

Aarhus School of Architecture // Design School Kolding // Royal Danish Academy

Klimavenligt Landbrugsbyggeri, rapport 1-9, ed. Jensen

Bjerregaard Jensen, Lotte M.; Ottosen, Lisbeth M.; Mahdi, Vania; W. Ryberg, Morten; Volden, Mikkel T. B. ; Tiedemann, Therese; Negendahl, Kristoffer; Thorsteinsson, Sune; McGinley, Tim ; Brink, Kristian; Halding, Philip Skov; Egerup, Arne ; Lima, Ana Teresa; Fischer, Caroline; Hartmann, Ditte

Publication date:
2023

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Bjerregaard Jensen, L. M., Ottosen, L. M., Mahdi, V., W. Ryberg, M., Volden, M. T. B., Tiedemann, T., Negendahl, K., Thorsteinsson, S., McGinley, T., Brink, K., Halding, P. S., Egerup, A., Lima, A. T., Fischer, C., & Hartmann, D. (2023). *Klimavenligt Landbrugsbyggeri, rapport 1-9, ed. Jensen: Samlet dokument med alle 9 rapporter, udgivet i 2022 og 2023.*

General rights

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

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

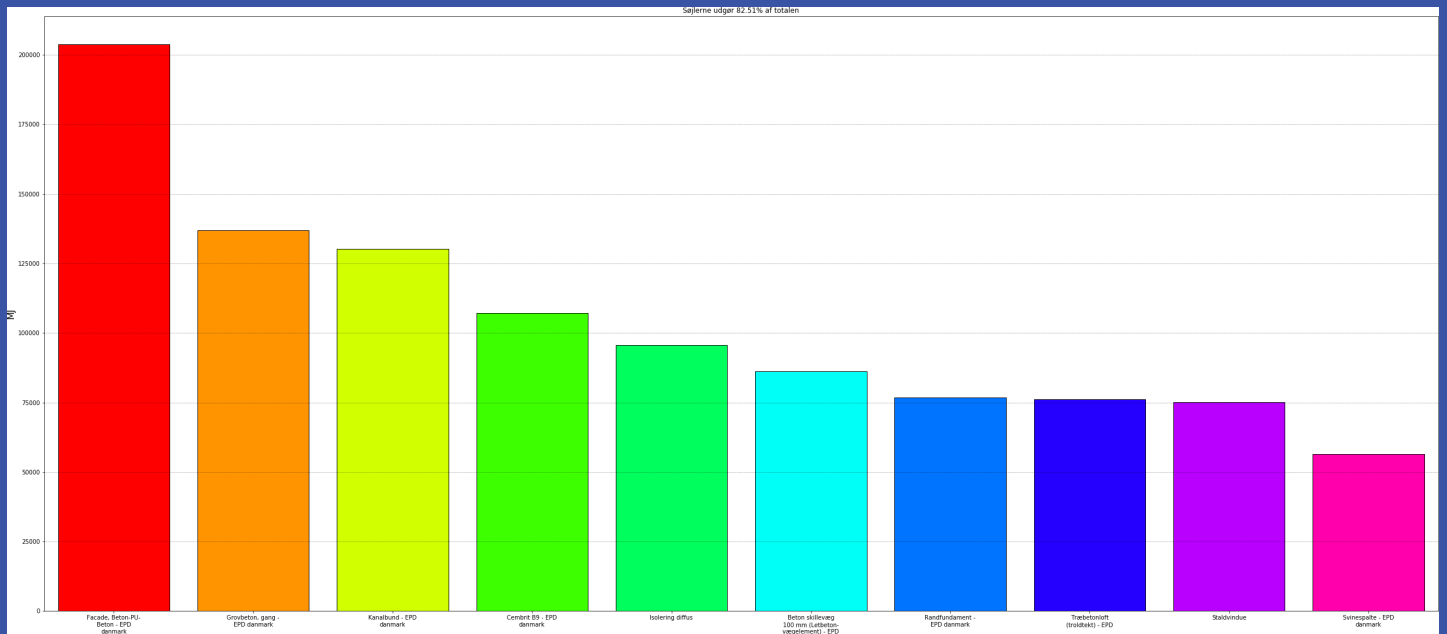
Take down policy

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

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

- LCA og LCC Baseline for 'Totalstalden'

Rapport 1



DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI
- LCA og LCC Baseline for 'Totalstalden'

Rapport 1

Januar, 2021

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

Projekt udarbejdet af SEGES Innovation P/S
Projektleder Kenneth Poulsen, Byggechef, SEGES Innovation P/S

ISBN: 978-87-7475-685-9

Copyright: Reproduction of this publication in whole or in part must include the customary bibliographic citation, including author attribution, report title, etc.
Cover photo: Gråkjær A/S 'Totalstald'
Published by: DTU, Department of Civil Engineering, Brovej, Building 118, 2800 Kgs. Lyngby Denmark
 www.byg.dtu.dk

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Indhold

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

1 Baggrund for projektet

Dansk landbrug ønsker at bidrage til en grøn omstilling i samfundet. Der er mange indgange til feltet, og én af dem er at undersøge mulighederne for at etablere bæredygtigt landbrugsbyggeri. I samarbejde med SEGES, som er en faglig del af erhvervsorganisationen Landbrug & Fødevarer, og entreprenørfirmaet Graakjær, blev det besluttet at benytte Gråkjærs konceptstald "Totalstalden" (i det efterfølgende benævnt casestalden) som casestudie, idet denne staldtype meget præcist repræsenterer en traditionel slagtegrisestald, som typisk opføres i dag.

Danmarks Tekniske Universitet, Institut for byggeri og Anlæg udfører en serie af analyser, med et nyt koncept, "Totalstalden", som udgangspunkt. Gråkjær A/S, som producerer 'Totalstalden', har været en væsentlig samarbejdspartner i projektet.

Der er 4 arbejdsopgaver i projektet. Denne rapport præsenterer resultaterne fra den første arbejdsopgave, hvor ønsket var at anvende et almindeligt anvendt Life Cycle Costing (LCC) og Life Cycle Assessment (LCA) værktøj til at etablere et grundlag at vurdere ændringsforslag til totalstalden ud fra. I denne delrapport præsenteres en såkaldt 'baseline', dvs. en opgørelse af miljøpåvirkningen af den nuværende traditionelle stald. På baggrund af 'baseline' vil det kunne demonstreres i hvilken grad de ændringsforslag, der udvikles i projektet, er mere bæredygtige end udgangspunktet samt sammenligne omkostninger i hele bygningens levetid. Til det formål er der udført en Life Cycle Costing (LCC) og Life Cycle Assessment (LCA) af case-stalden, ved hjælp af programmerne LCAByg 3.2¹ og LCCbyg 3.2² freeware. - begge programmer er udgivet af SBI, Aalborg Universitet.

1.1 Formål med resultaterne

Formålet med resultaterne fra LCAByg og LCCbyg er ikke at bruge dem som egentligt dokumentationsarbejde. Resultaterne skal altså ikke ses som dokumentation til en certificering eller i forbindelse med f.eks. den Frivillige Bæredygtighedsklasse³.

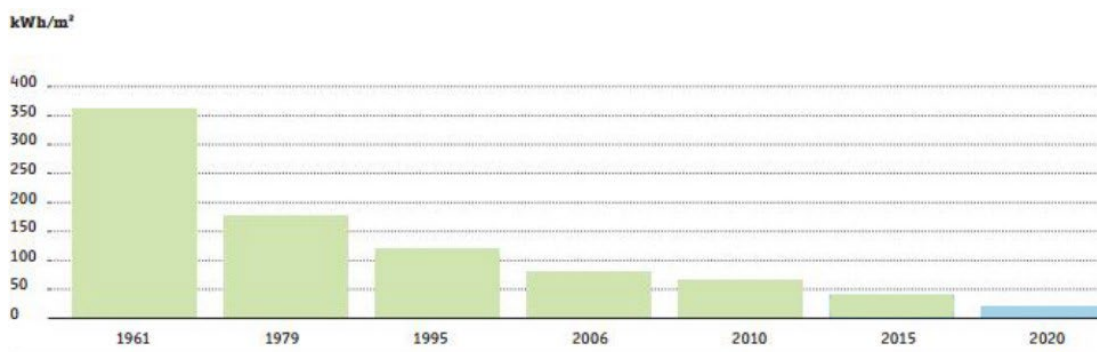
Formålet med resultaterne er derimod, at de kan bruges til at udpege hvor det giver mening at søge alternative løsninger for at bygge mere bæredygtigt (mindre miljøbelastende) – herunder alternative byggematerialer, byggemetoder, arkitektur, energiløsninger, osv.

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

¹<https://lcabyg.dk/>

²<https://lccbyg.dk/>

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



Kilde Energistyrelsen

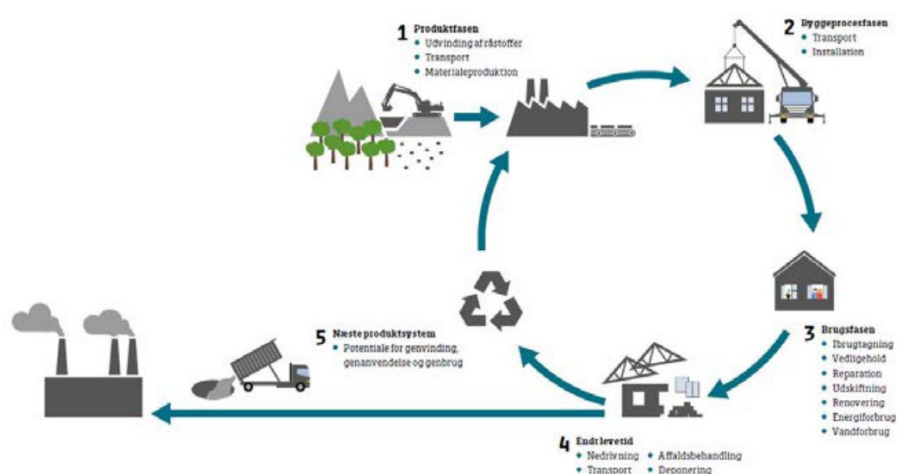
Figur 1.1: Udviklingen i energiforbrug til bygningsdrift siden det første bygningsreglement med energikrav i 1961 (Birgisdottir & Madsen, 2017)

1.2 "Totalstalden"

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

1.3 LCA - Livscyklusvurdering

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



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

Figur 1.2 viser de fem faser som er en del af livscyklusforløbet for en bygning. Første fase er produktfasen og angiver udvinding af råstoffer til byggematerialerne og transport til byggevareproducenten. Ved at genanvende byggematerialer kan man undgå (dele af) produktfasen. Anden fase er byggeprocessen; her medtages transport af byggevarer til byggepladsen og energi til opførelse af bygningen. Tredje fase er brugsfasen og her vurderes bygningen fra den er opført til den skal rives ned. Der medtages vedligehold, reparationer, udskiftning af byggematerialer, renovering, samt energiforbrug og vandforbrug til drift af bygningen. Fjerde fase er når bygningen har nået endt levetid og dermed skal rives ned. Her behandles energiforbrug i forbindelse med nedrivning af bygningen på byggepladsen samt transport og affaldshåndtering af bygge-materialerne. Affaldshåndtering af byggematerialer kunne være forbrænding eller deponi. Femte fase er potentialet for genanvendelse og genbrug af byggematerialer efter den endte levetid og medfører at byggematerialer kan medtages i endnu et nyt livscyklusforløb i en anden bygning/funktion.

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

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

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

1.3.1 Miljøpåvirkningskategorier og Indikatorer

Der findes mange miljøpåvirkningskategorier og indikatorer. Den miljøpåvirkning som er mest anvendt og generelt får størst opmærksomhed er kendt i daglig tale som drivhus-gasser/klimaforandringer (GWP) og måles i kg. CO₂ ækvivalenter. I LCAByg 3.2 indgår i alt fem miljøpåvirkningskategorier samt to kategorier for udtømmning af ressourcer og to kategorier for energiforbrug – altså 9 forskellige kategorier i alt.

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

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

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

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

1.4 EPD - Miljøvaredeklarationer

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

Byggevareproducenter vælger selv, om de vil have udarbejdet en EPD af deres produkt(er). Det er en selvbetalt ordning og EPD'en udarbejdes typisk af en LCA-konsulent, derefter kommer der verifikation, som udføres af en verifikator, som er godkendt af EPD Danmark⁴. På det danske marked er det EDP Danmark som godkender og udgiver EPD'er til byggevarer. EPD Danmark arbejder for en europæisk harmonisering af verificerbar dokumentation af byggevarers miljøegenskaber⁵. Standarden for udformning af en EPD bygger på CEN/TC 350-standarderne som indeholder en standard for miljøvaredeklarationer: DS/EN 15804:2012 'Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Miljøvaredeklarationer - Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer'⁶.

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

⁴www.epddanmark.dk

⁵EPD Danmark, 2019

⁶Birgisdottir & Rasmussen, 2015

I den kommende, reviderede udgave af EN 15804, som forventes udgivet i 2019 (med en overgangsperiode på 3 år), ændres standarden for EPD'er sådan, at faserne C1-C4 (endt levetid) samt D (næste produktsystem) også skal være obligatoriske⁷. Det er vigtigt at "End of Life" fasen (C1-C4) også tages med i udarbejdelsen af en EPD, for at opnå så præcise livscyklusanalyser som muligt.

1.5 LCC – Totaløkonomi og Levetidsomkostninger

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

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

⁷EPD Danmark, 2019

2 Metode

Den valgte metode fremkom på baggrund af diskussioner med SEGES og Gråkjær. Freeware programmer LCAByg og LCCbyg, udviklet af SBI, blev valgt fordi det generelt anbefales at bruge i Danmark – både i forhold til gængse bæredygtigheds certificeringssystemer såsom DGNB¹ (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) valgt til brug i Danmark af Green Building Council Denmark og i forhold til Den Frivillige Bæredygtighedsklasse², som blev lanceret i 2020³.

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

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

2.1 Dataindsamling

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

2.1.1 Første iteration: Indsamling af data til LCA og LCC

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

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

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

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

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

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

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

Den endelige inventoryliste⁴ må ses som værende præcis nok til at give et retvisende billede for casestaldens mest miljøpåvirkende bygningsdele – en såkaldt hotspot-analyse. Dette er netop formålet med denne LCA-beregning, så resultaterne kan bruges i et videre arbejde om at udpege bygningsdele som har en stor miljøpåvirkning, og undersøge mulighederne for at finde mindre miljøbelastende alternativer. Hvis meget præcise resultater for miljøpåvirkninger skal bruges i en anden sammenhænge, vil det være nødvendigt at indsamle mere præcis data for casestalden.

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

2.1.3 Miljøpåvirkningsdata for materialer

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

Den generiske data må anses for, udelukkende at være god nok til en umiddelbar vurdering af, hvilke bygningsdele som eksempelvis befinder sig på top-10 over GWP⁵ i bygningsens levetid. Dernæst vil det, hvis brugbare resultater ønskes, være nødvendigt at indsætte mere præcise data, for de bygningsdele, som det er muligt.

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

2.2 Input data

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

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

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

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

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

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

⁵Global Warming Potential – Klimaforandringer [kg. CO₂ ækvivalenter]

2.3 Betragtningstperiode

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

2.4 Antagelser

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

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

2.5 LCC metode

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

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

3 LCA-resultater

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

3.1 Hotspot-analyse

En effektiv måde at udpege de mest miljøbelastende bygningsdele, er igennem en hotspot-analyse. Dernæst er det nødvendigt at udvælge hvilke miljøpåvirkningskategorier der skal kigges på. Eftersom ønsket fra SEGES primært går på, at nedbringe casestalden påvirkninger til klimaforandringer (CO₂-aftryk) vil der først og fremmest blive præsenteret resultater for GWP (kg. CO₂-ækvivalenter).

3.1.1 Hotspot: Bygningsdele

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

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

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

3.1.2 Hotspot: Bygningskomponenter

For at udpege hvilke bygningskomponenter i de forskellige bygningsdele, som har det største CO₂-aftryk, kan man lave en hotspot-analyse over de forskellige bygningskomponenter i casestalden. På figur 3.1 ses GWP resultaterne heraf. Her kan det ses, at de fem mest miljøbelastende bygningskomponenter er:

1. Kanalbund (970 m²)
2. Facadevægge (429 m²)
3. Træbetonloftet (1715 m²)
4. Grovbeton, gang (550 m²)
5. Randfundament (184 m)

Dette giver en mere konkret idé om, hvilke steder casestalden har sit potentiale, i forhold til at nedbringe dens CO₂-aftryk.

3.1.3 Hotspot: Materialer

Slutteligt præsenteres en hotspot-analyse over hvilke materialer der har det største CO₂-aftryk. Resultaterne kan ses på figur 3.3. Her ses det, at mineralske byggematerialer (beton) uden sammenligning, er det byggemateriale med det højeste CO₂-aftryk.

Men eftersom det stitiske system og ydervægge + indervægge i casestalden er opbygget af beton, foruden fundament og terrændæk, så er resultatet ikke så underligt. Resultatet fortæller derimod, at der kan ligge et stort potentiale i at erstatte noget mineralsk materiale med et andet materiale, hvis casestaldens CO₂-aftryk skal nedbringes.

3.1.4 Konklusion på hotspot-analyse

Fundamenter, ydervægge og tag er de tre bygningsdele med det største CO₂-aftryk. Hvis man kigger mere præcist på, hvilke bygningskomponenter der er ansvarlige for klimabelastningen, så kan viser det sig at være kanalbunden, facadevæggene og træbetonloftet. Disse tre bygningskomponenter består i høj grad af beton, hvilket også kommer til udtryk i hotspot-analysen for materialer hvor mineralske byggematerialer, uden sammenligning, står for størstedelen af CO₂-aftrykket for casestalden i hele dens levetid.

3.2 Drift vs Bygningsdele

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

Casestalden har et samlet energiforbrug på 46 kWh/m² år, hvilket primært stammer fra bygningens ventilationsanlæg, da stalden har et højt luftskifte. Til gengæld er casestalden ikke opvarmet, hvilket gør, at energien til drift ligger på et niveau som kan sammenlignes med moderne bygger inden for boligsektoren – dette er på trods af, at casestalden slet ikke er isoleret efter samme høje krav, som der er til moderne boligbyggeri.

Resultaterne fra LCAbyg mellem drift og bygningsdele kan ses på figur 3.4. Her ses det, at igennem bygningens 40 års levetid, står bygningsdele for lidt under halvdelen af det samlede CO₂-aftryk.

3.2.1 Konklusion på Drift VS Bygningsdele

Konklusionen må være, at både energiforbruget (primært til ventilation) og bygningsdelene står for en væsentlig del af casestaldens CO₂-aftryk. Derfor ligger der et stort potentiale for forbedringer, både hvad angår bygningsdesign/konstruktionsvalg samt inden for energiforbrug- og forsyning til bygningen.

3.3 Øvrige miljøpåvirkningskategorier

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

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

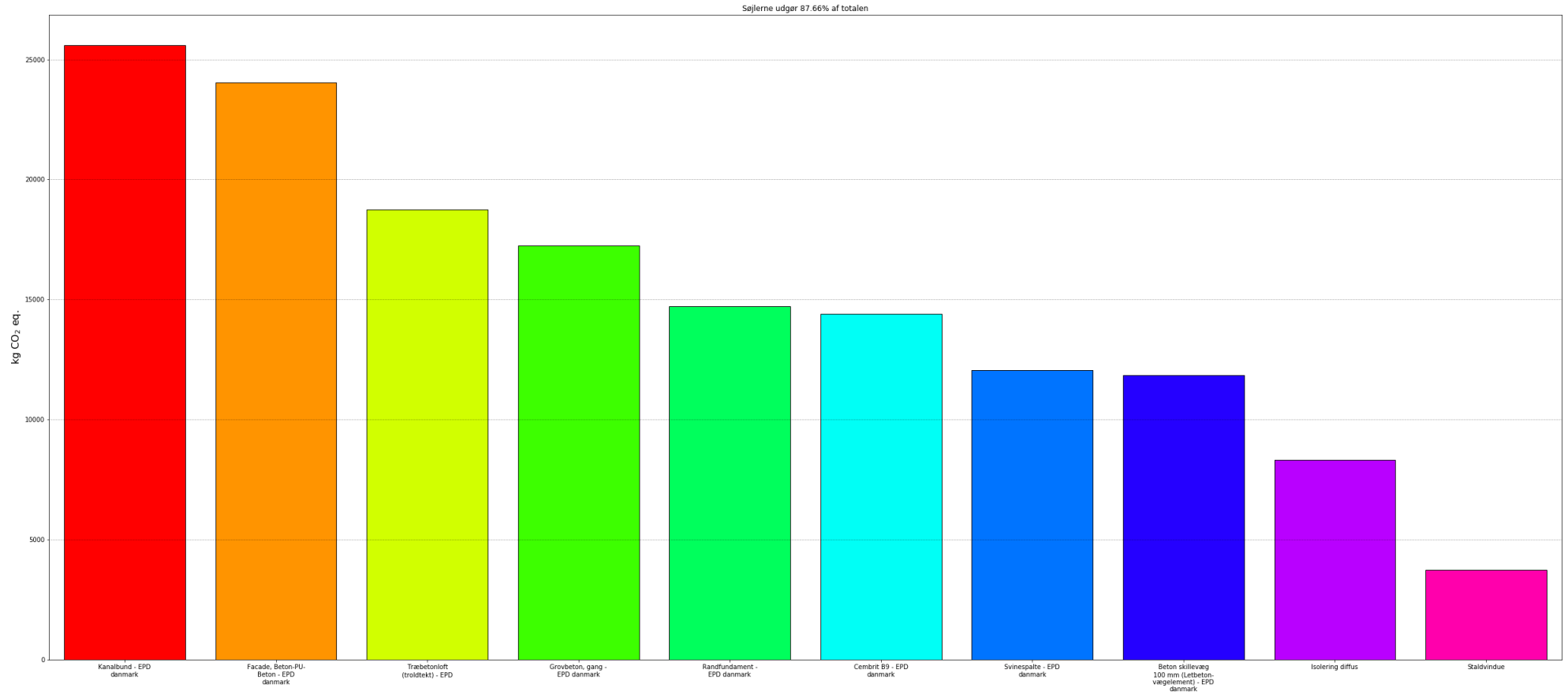
3.4 Konklusion

Konklusionen på LCA-resultaterne er, at der er mulighed for at nedbringe casestaldens CO₂-aftryk på flere måder.

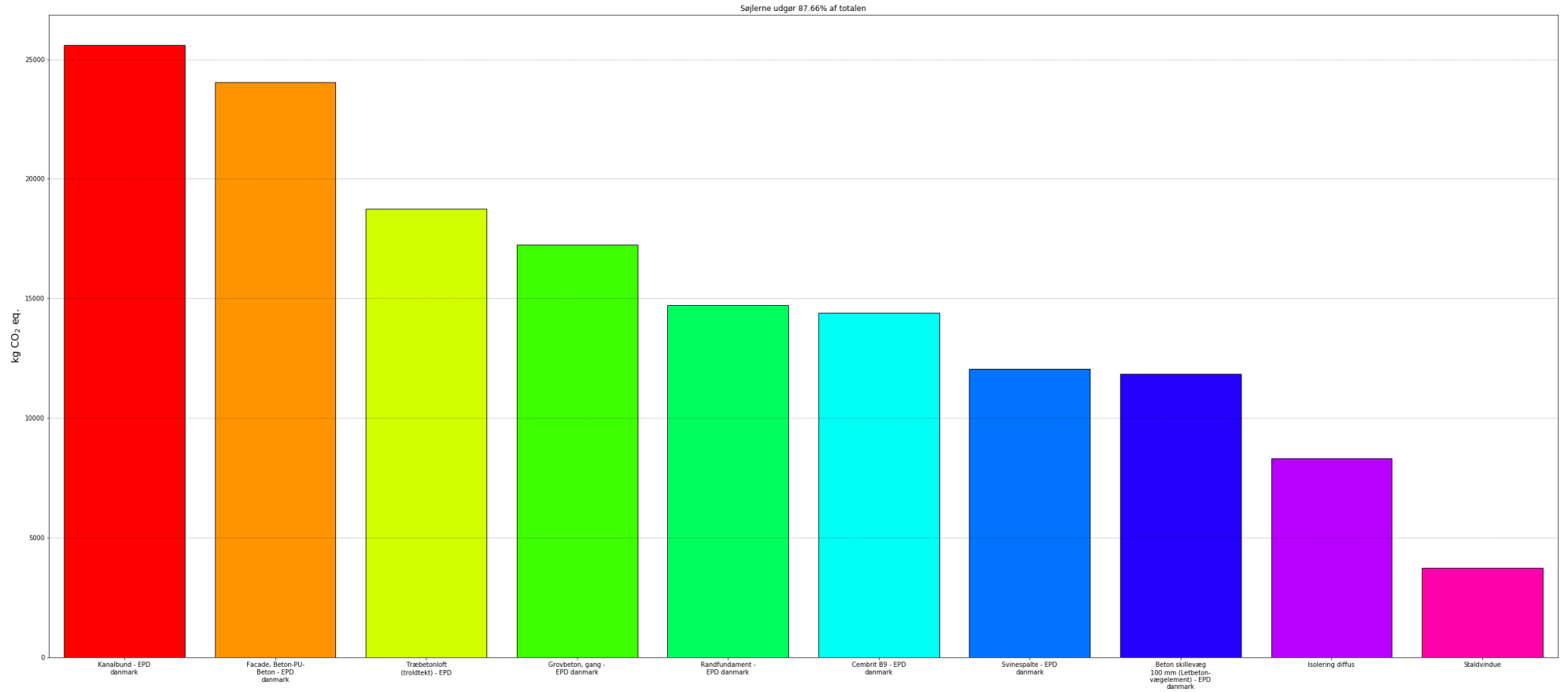
Den ene del af CO₂-aftrykket kommer fra driften af bygningen igennem dens levetid. Strømforbruget fra driften går primært til ventilationen i staldbygningen, hvor et højt luftskifte er nødvendigt.

Derudover er der en række miljøpåvirkninger fra forskellige bygningsdele og komponenter. Her er konklusionen, at i casestalden kommer bidraget til klimaforandringer, GWP, næsten udelukkende fra mineralske byggematerialer – altså primært beton. Derfor ligger der et stort potentiale i at nedbringe CO₂-aftrykket for casestalden, ved at finde alternative byggematerialer og designe nye bygningsdele, som kan opfylde funktionen på samme vis, som betonen gør i dag.

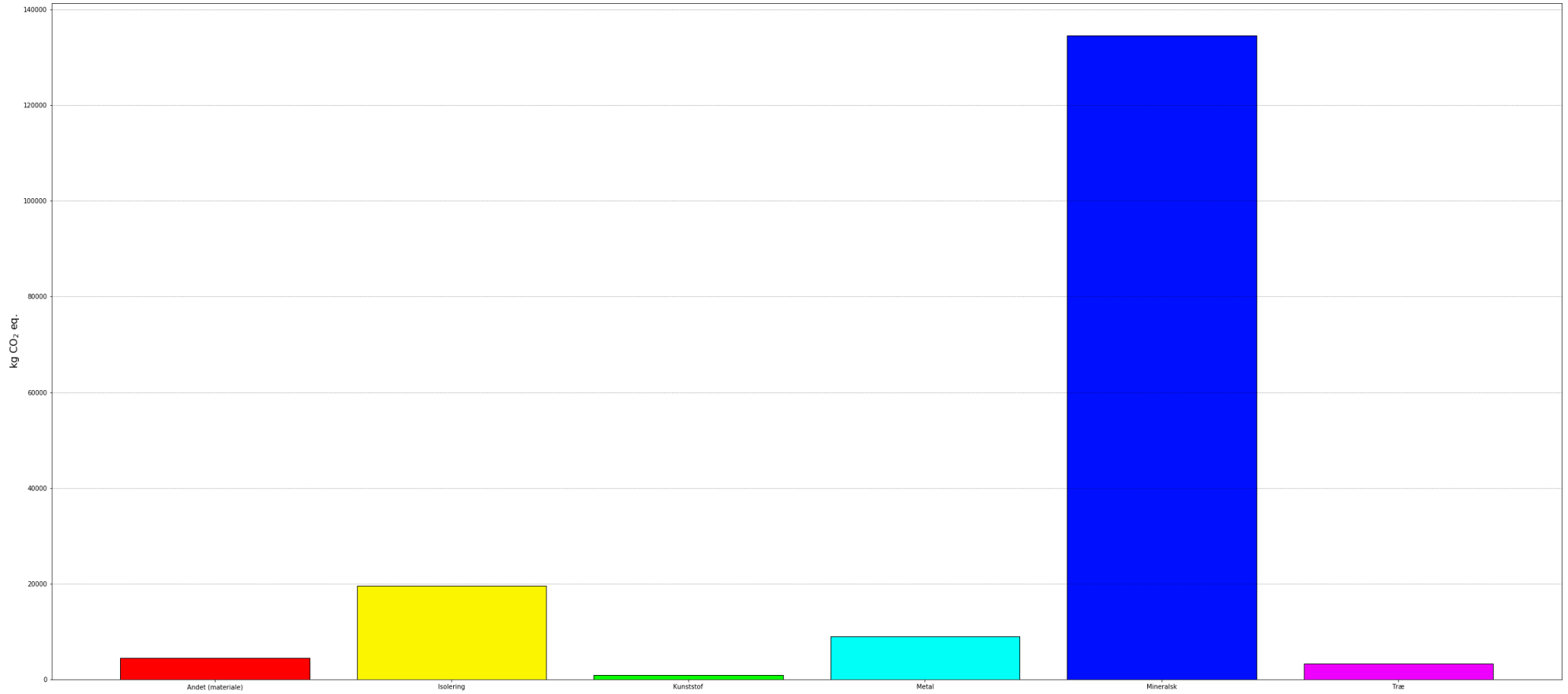
Alternativt skal de mineralske byggematerialer genanvendes efter endt levetid enten ved at bygningen renoveres og transformeres til evt. andet formål eller ved at betonelementerne anvendes igen i et andet byggeri. I de kommende arbejdsplaner i projektet vil dette blive undersøgt nærmere.



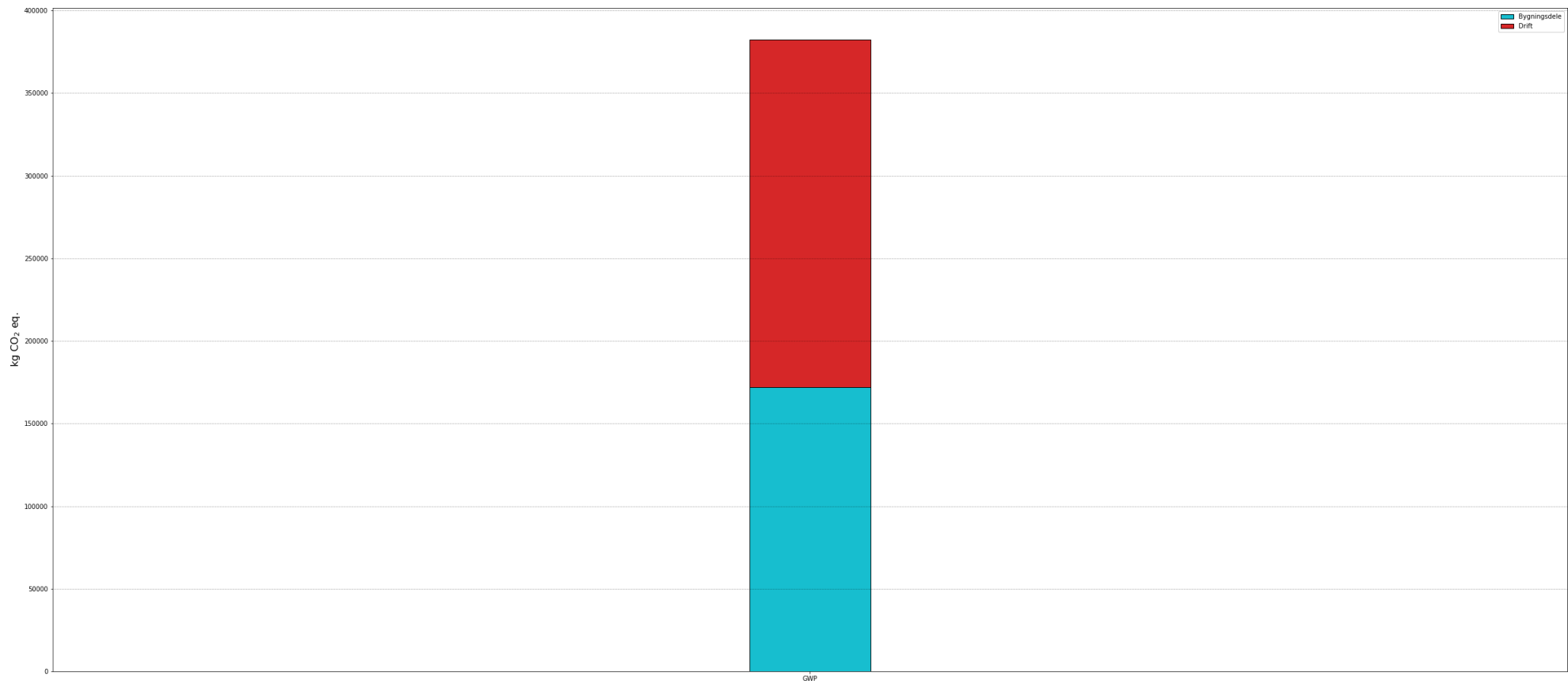
Figur 3.1: Total GWP for Casestaldns bygningskomponenter



Figur 3.2: Total GWP for Casestaldens bygningsdele



Figur 3.3: Total GWP for Casestaldens materialer



Figur 3.4: GWP – Drift VS Bygningsdele

4 LCC-resultater

Resultater stammer fra beregninger i LCCbyg 3.2.

Rapporten fra LCCbyg kan ses i appendiks A.4.

4.1 Beregningsforudsætninger

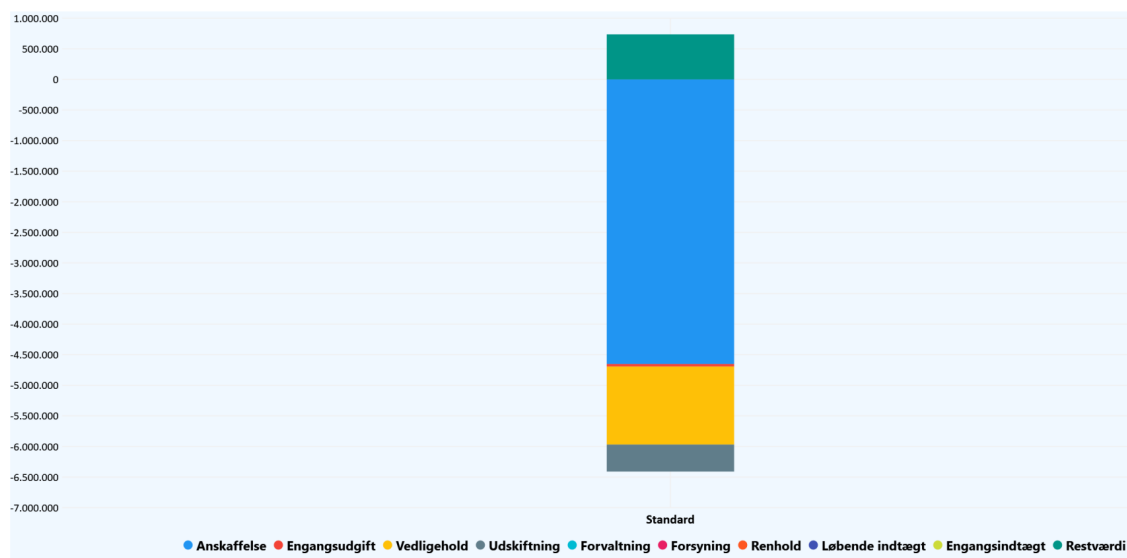
Beregningsforudsætninger for LCC-beregninger fremgår af tabel 4.1

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

Tabel 4.1: LCC – beregningsforudsætninger

4.2 Opsummerede omkostninger

De opsummerede omkostninger for Totalstalden kan ses på figur 4.1.

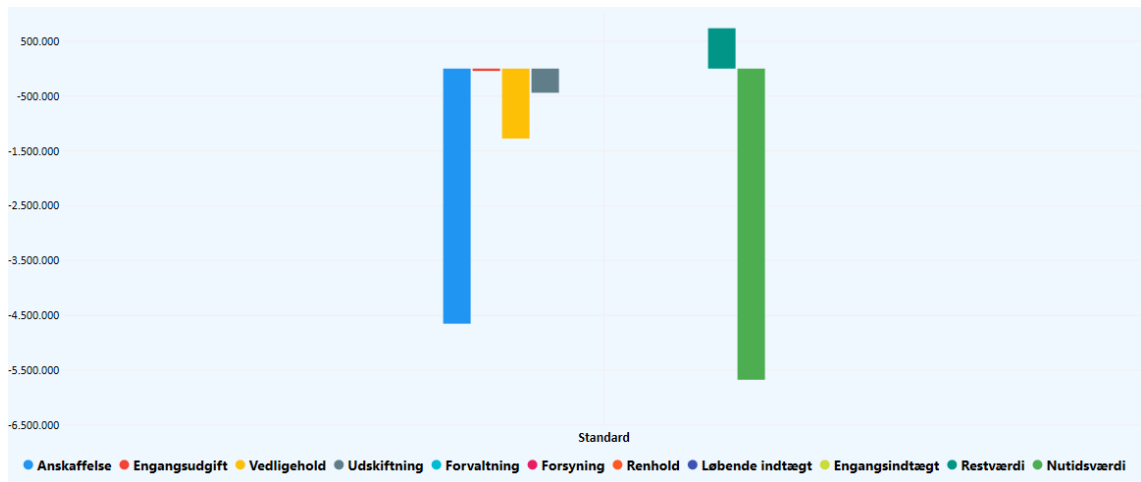


Figur 4.1: LCC – Opsummerede omkostninger for Casestalden

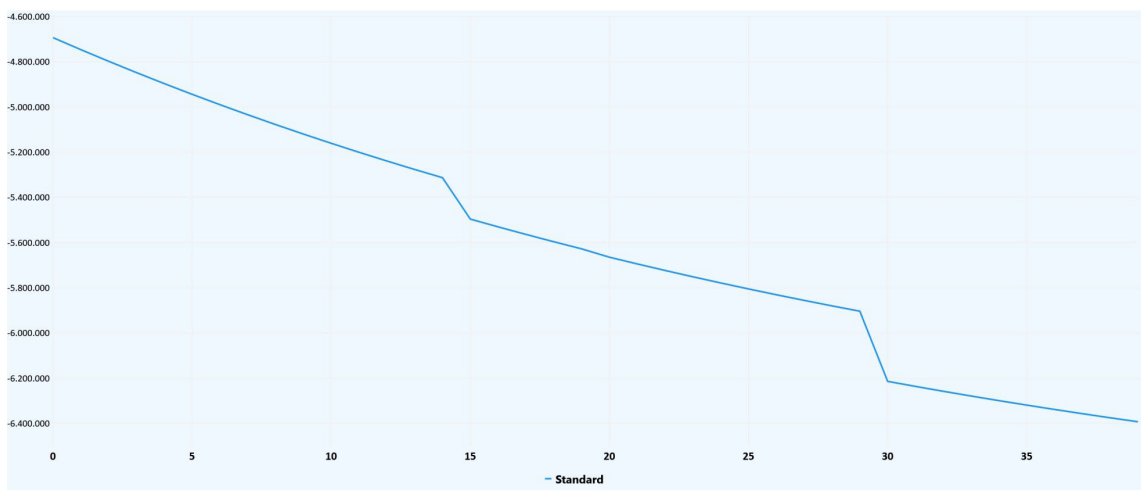
4.3 Nutidsværdier uden restværdi

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

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



Figur 4.2: LCC – nutidsværdier



Figur 4.3: LCC – Opsummerede nutidsværdier, uden restværdi

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

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

Tabel 4.2: LCC – hovedomkostningsposter og deres nutidsværdi

4.4 Konklusion

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

Bibliografi

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

A Appendiks

A.1 Inventoryliste fra LCAbyg 3.2

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

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

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

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

A.2 LCA-resultater for øvrige miljøpåvirkningskategorier

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

A.3 LCAByg rapport

Følgende er den generede rapport af LCAByg 3.2 over casestalden.

Casestalden - - vm januar 2021 v2



Miljø profil

Miljøvej 99, 9999 Fremtidsbyen

SBi

Bygningstype: Andet

Opvarmet etageareal: 1,715 m²

Samlet brutto etageareal: 1,715 m²

Start år: 2020

Betragtningsperiode: 40 år

Energiforbrug - el: 46 kWh/m² år

Energiforbrug - varme: 0 kWh/m² år

Drift varmforsyning: El

Drift scenarie: Fremskrivning 2015-2050

Nærmere beskrivelse af bygningen: Betragtningsperiode er sat ift bygningens levetid på 40 år jf. Sbi 2013:03

Areal stammer fra tegningsmateriale/revit model (3073-THAND-Kim Heiselberg)

SAMLET RESULTAT - BYGNINGSDELE OG DRIFT

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

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

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPf	PEtot	Sek
Enhed	kg CO 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)	3,066	0,114 x 10 ⁻⁹	0,007	0,033	0,009	0,001 x 10 ⁻³	29,618	63,432	3,262
Bygningsdele(B)	2,507	0,128 x 10 ⁻⁶	0,764 x 10 ⁻³	0,005	0,001	0,007 x 10 ⁻³	18,456	7,587	0,006
Sum	5,573	0,128 x 10 ⁻⁶	0,008	0,039	0,010	0,008 x 10 ⁻³	48,074	71,019	3,267

HOVEDRESULTATER - BYGNINGSDELE

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

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPe	ADPf	PEtot	Sek
Enhed	kg CO 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)	0,867	0,009 x 10 ⁻⁶	0,433 x 10 ⁻³	0,001	0,498 x 10 ⁻³	0,153 x 10 ⁻⁶	5,382	1,662	0,646 x 10 ⁻³
Primære bygningsdele (P)	1,202	0,117 x 10 ⁻⁶	0,226 x 10 ⁻³	0,003	0,786 x 10 ⁻³	0,005 x 10 ⁻³	9,396	3,972	0,003
Komplettering (K)	0,404	0,002 x 10 ⁻⁶	0,098 x 10 ⁻³	0,864 x 10 ⁻³	0,172 x 10 ⁻³	0,002 x 10 ⁻³	3,261	1,804	0,002
Installationer (I)	0,033	0,002 x 10 ⁻⁹	0,007 x 10 ⁻³	0,060 x 10 ⁻³	0,006 x 10 ⁻³	0,007 x 10 ⁻⁶	0,417	0,149	0

*De 9 indikatorer

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

- ADPe: Abiotic Depletion Potential, Elements – Abiotisk ressourceudtømmning, grundstoffer
- ADPf: Abiotic Depletion Potential, Fossil fuel – Abiotisk ressourceudtømmning, 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 casestalden.

Systemafgrænsning - Inkluderet i vurderingen

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

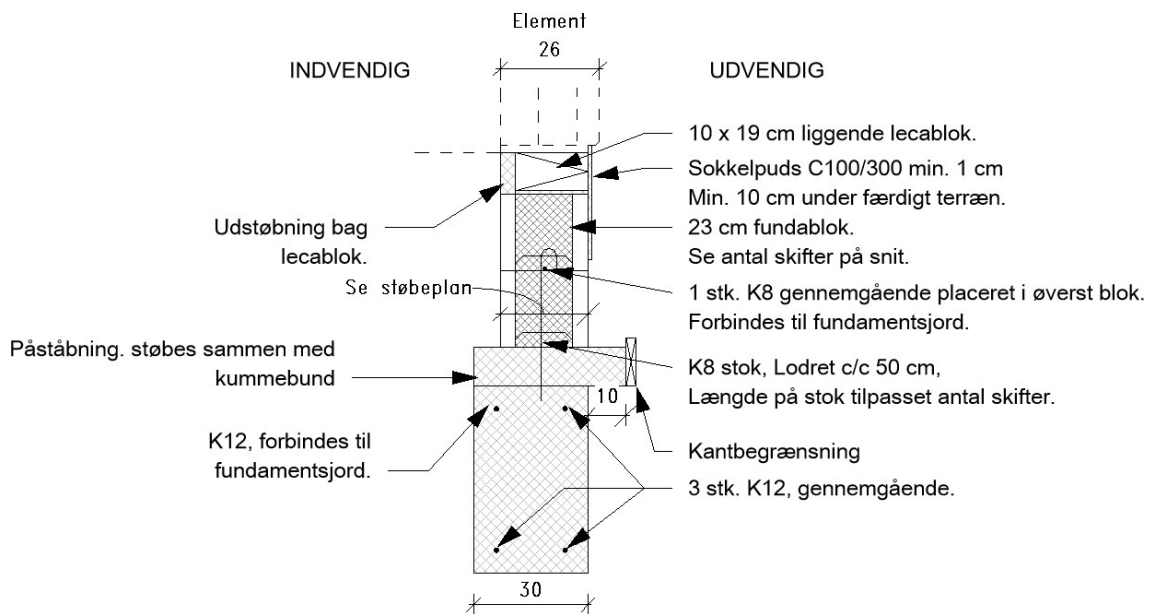
Bygningsdele

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

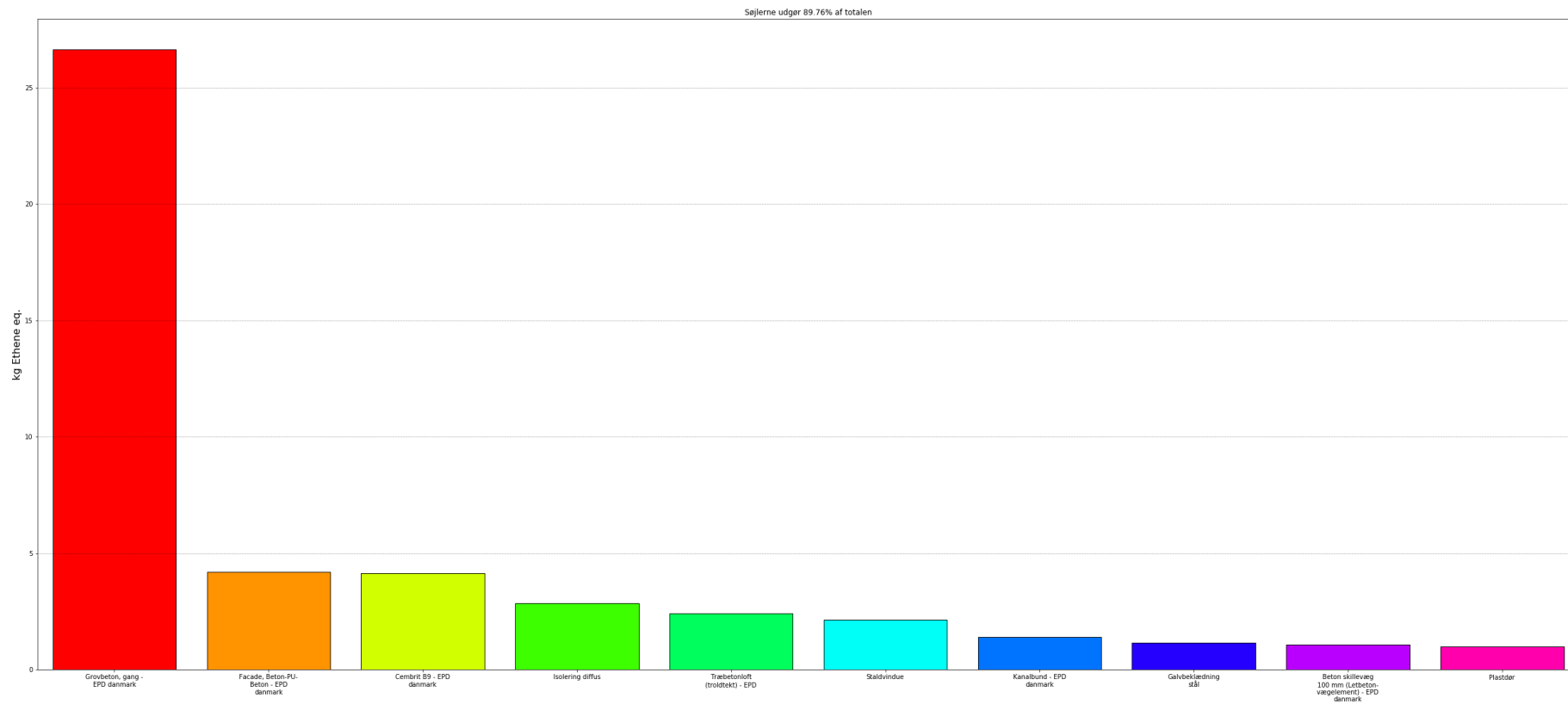
Tag spær	Bygningsdel	68 stk.	12,713.28 kg	-
→ Konstruktionstræ - EPD danmark _	Byggevarer	27.88 m ³	12,713.28 kg	120 år
Gitterbjælke	Bygningsdel	1 stk.	785.51 kg	-
→ Konstruktionstræ - EPD danmark _	Byggevarer	1.72 m ³	785.51 kg	120 år
Rustfri sålbænk	Bygningsdel	36 stk.	17.50 kg	-
→ Stålblade (0,3-3,0mm)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

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

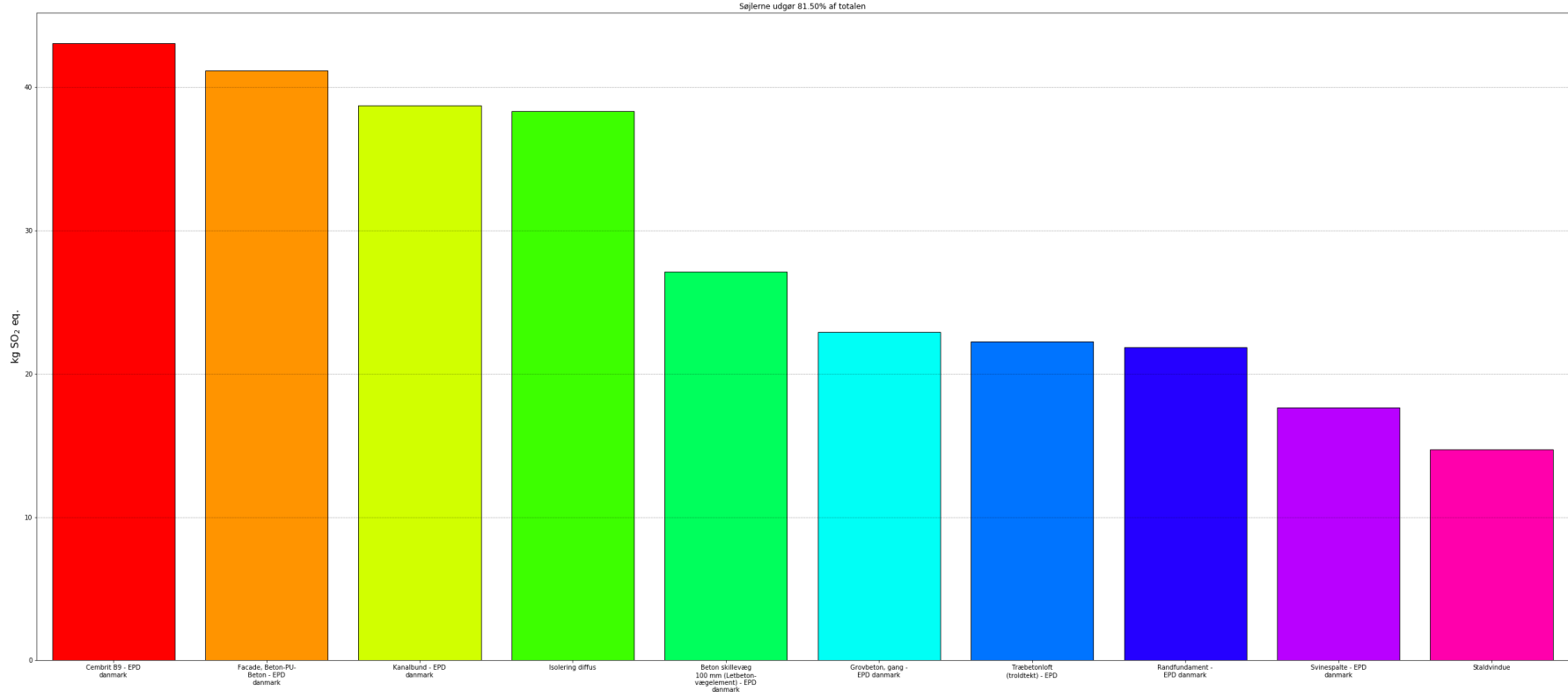
Tabel A.1: Udtræk fra Revit model med oversigt over mængder på forskellige kanalvægge



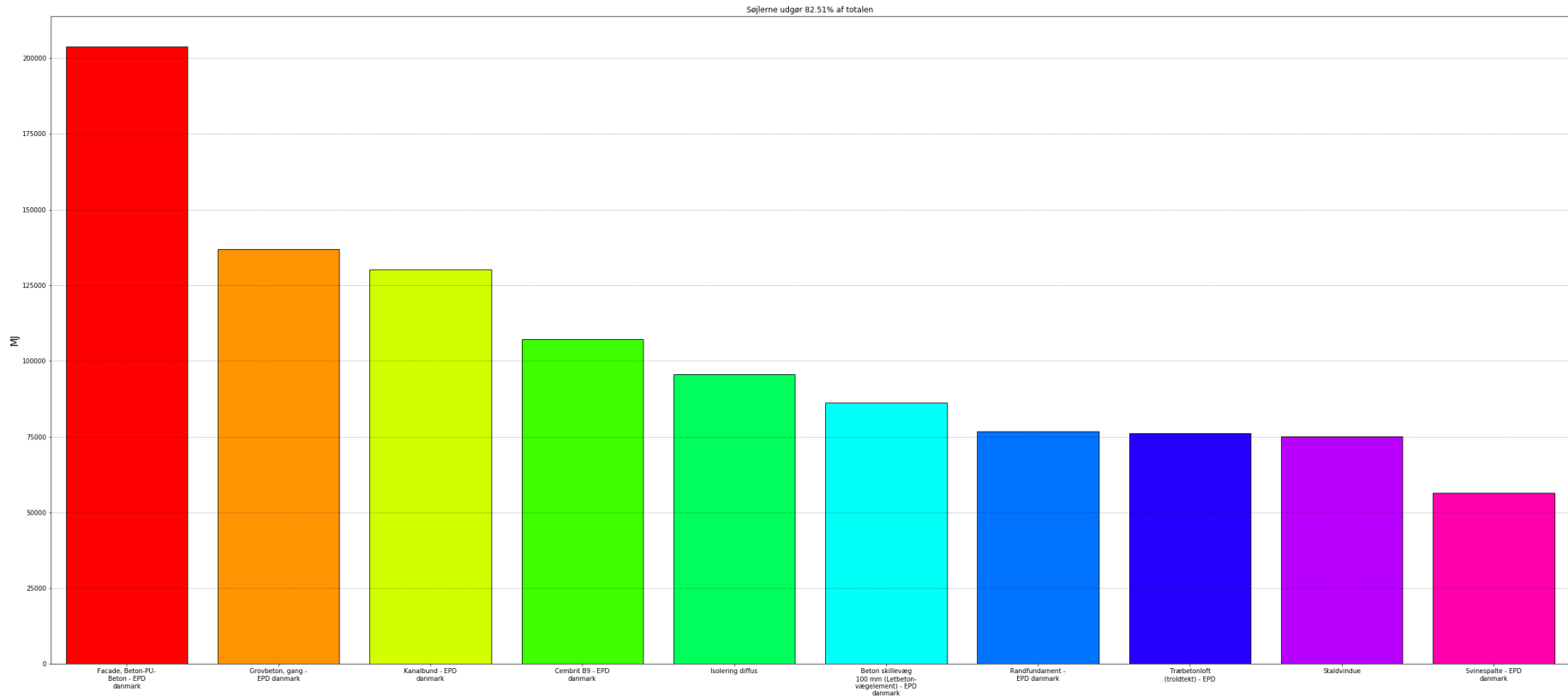
Figur A.3: Udtræk fra Revit model med oversigt over randfundamentet



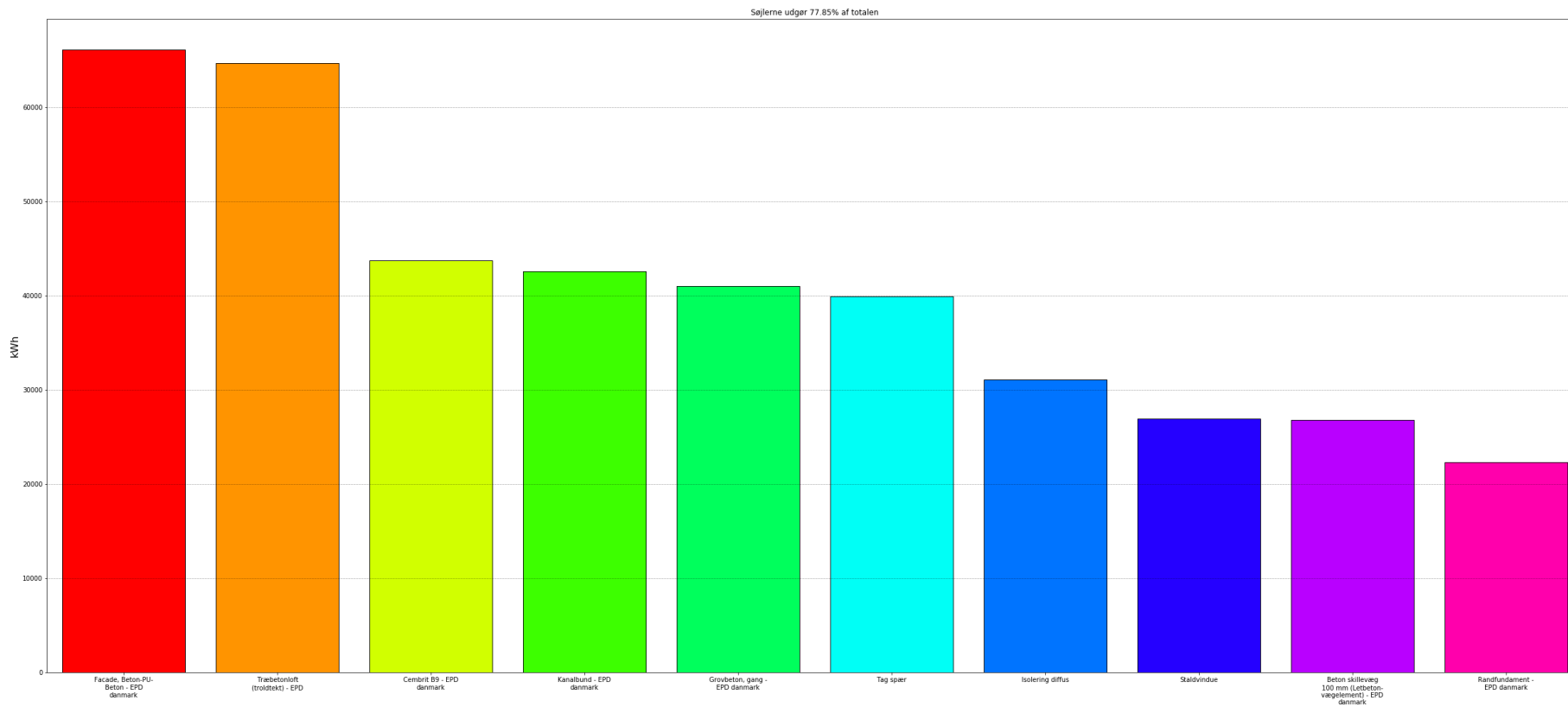
Figur A.4: Total for POCP – fotokemisk ozondannelse (sommersmog)



Figur A.5: Total for AP – forsurening



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



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

A.4 LCCbyg rapport

Følgende er den generede rapport af LCCbyg 3.2 over casestalden.



Casestalden

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

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

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

Beregningsforudsætninger for hvert alternativ

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

Beregningsforudsætninger for hvert alternativ

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



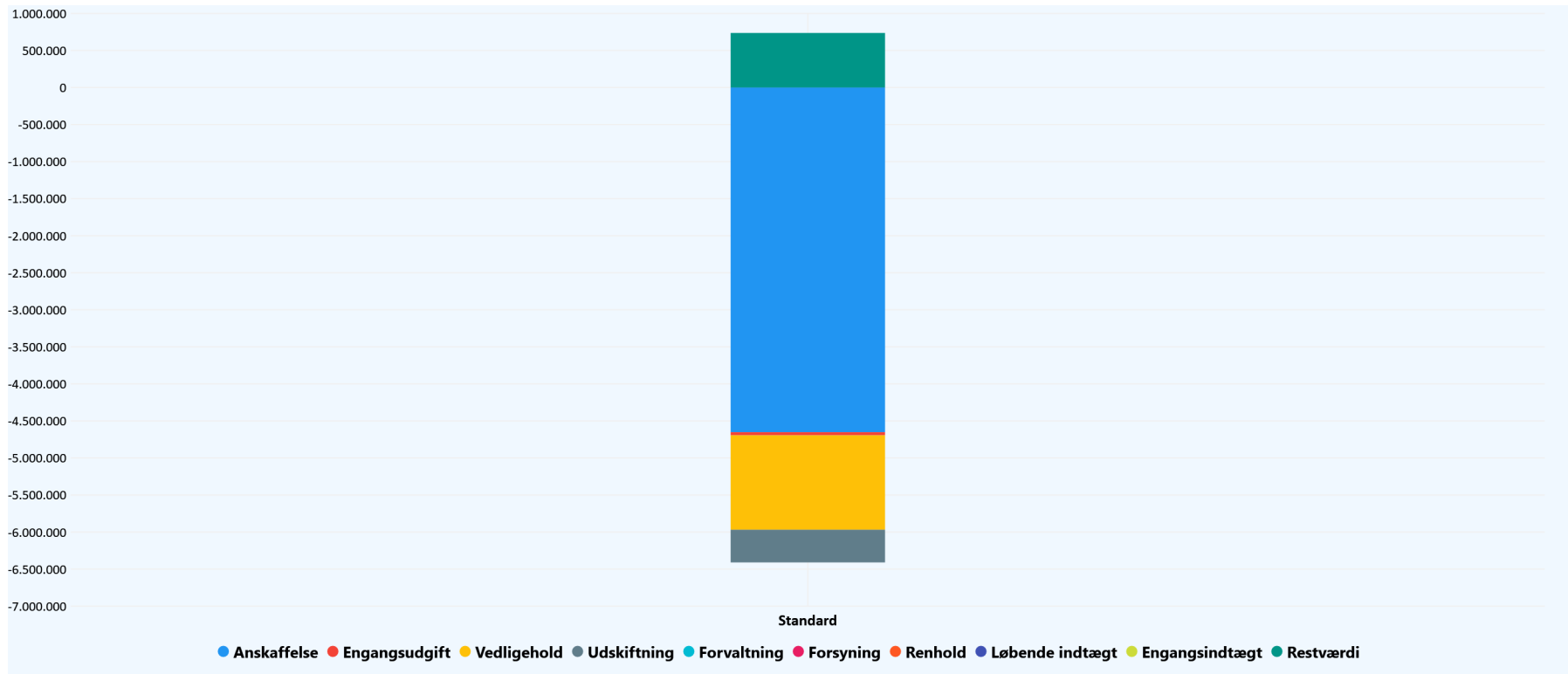
Prisudvikling for energi generelt	4,0 %
Prisudvikling for fjernvarme	3,0 %
Prisudvikling for gas	1,5 %
Prisudvikling for flydende brændsel	4,0 %
Prisudvikling for fast brændsel	3,0 %
Prisudvikling for el	3,5 %
Prisudvikling for skatter og afgifter	2,0 %
Prisudvikling for forsikring	5,0 %
Prisudvikling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

Tabel med alternativernes hovedomkostningsposter og deres nutidsværdi.

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



Søjlediagram med alternativernes opsummerede omkostninger

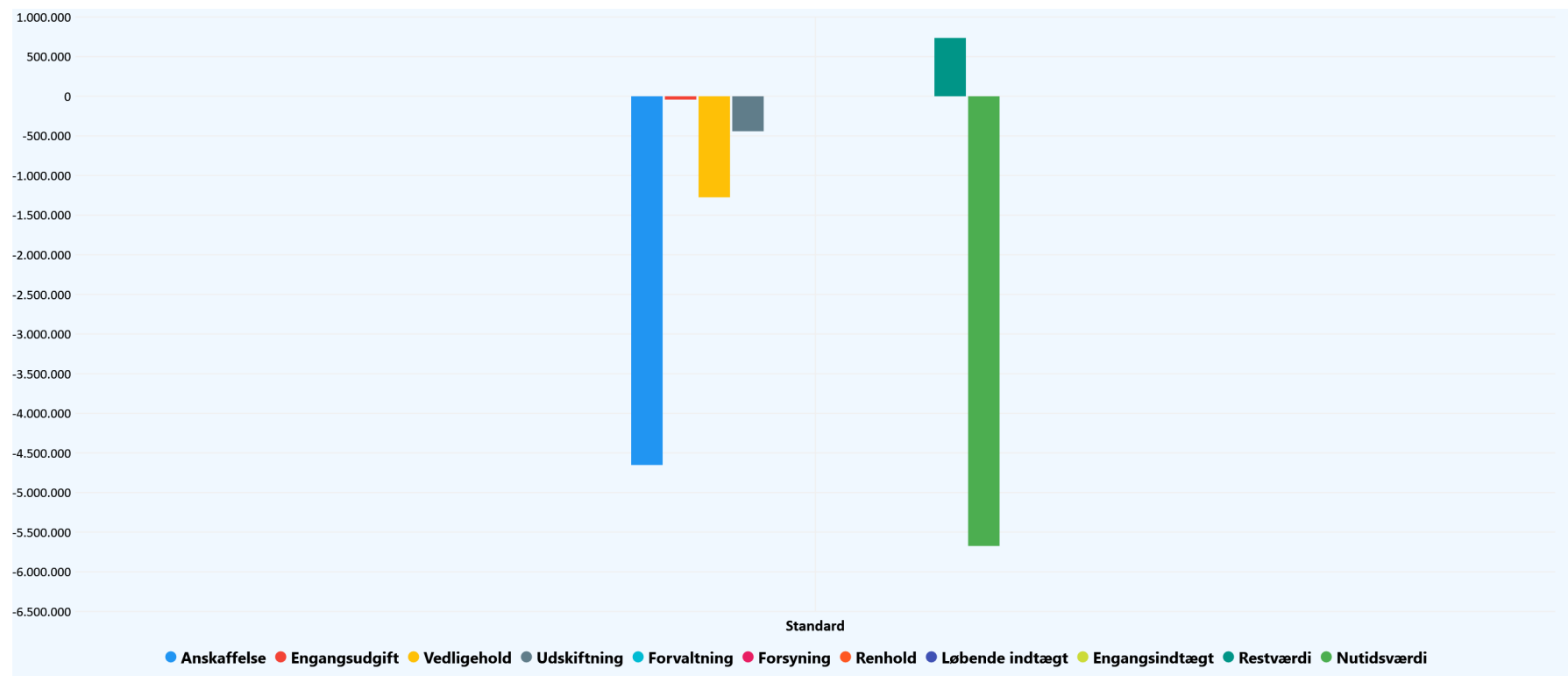




Nutidsværdien defineres som summen af de tilbagediskonterede fremtidige pengestrømme. Nutidsværdien er et udtryk for hvormange penge, der skal sættes til side i dag, for at kunne afholde alle fremtidige omkostninger i beregningsperioden.

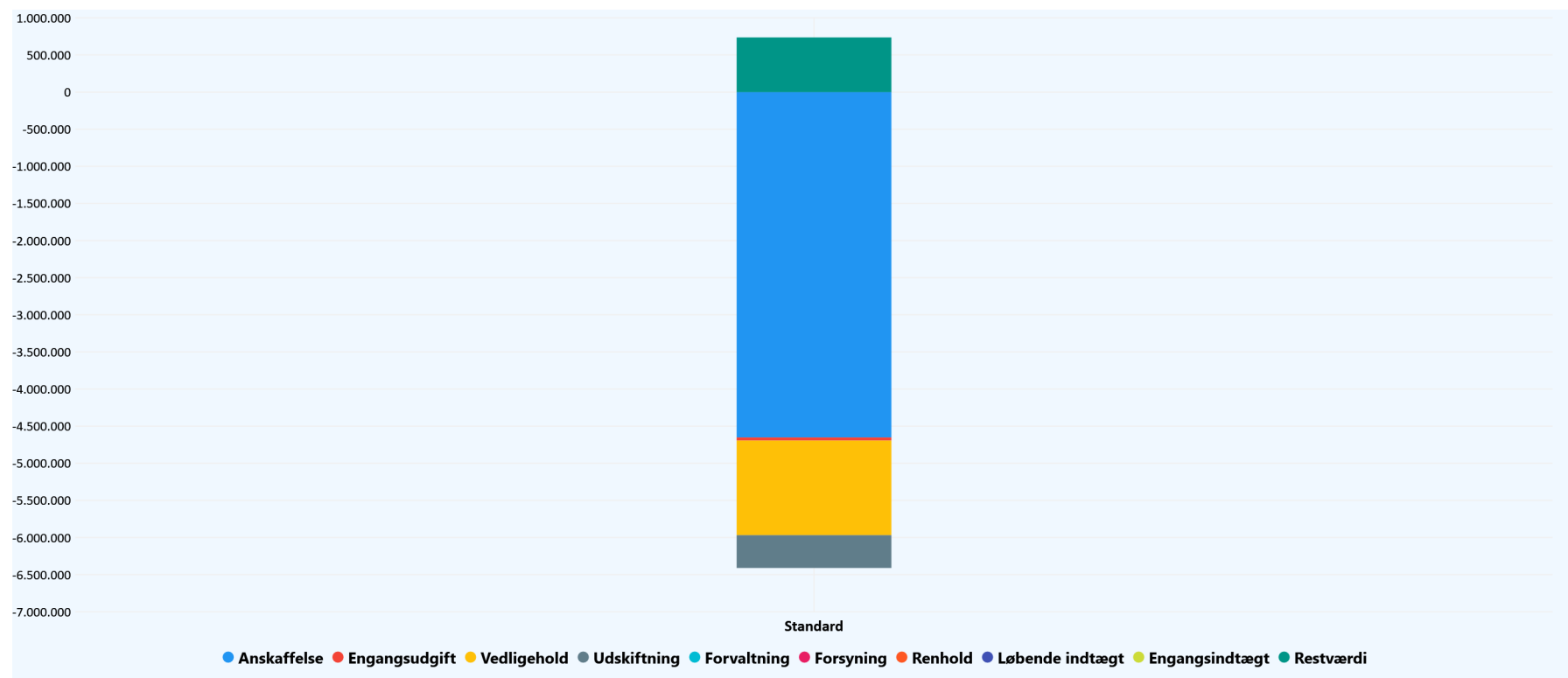
Årsomkostningen defineres som en annuitet af nutidsværdien. Årsomkostningen udtrykker hvor mange penge, der gennemsnitligt skal afsættes hvert år i beregningsperioden.

Søjlediagram med alternativernes nutidsværdier





Søjlediagram med alternativernes opsummerede omkostninger



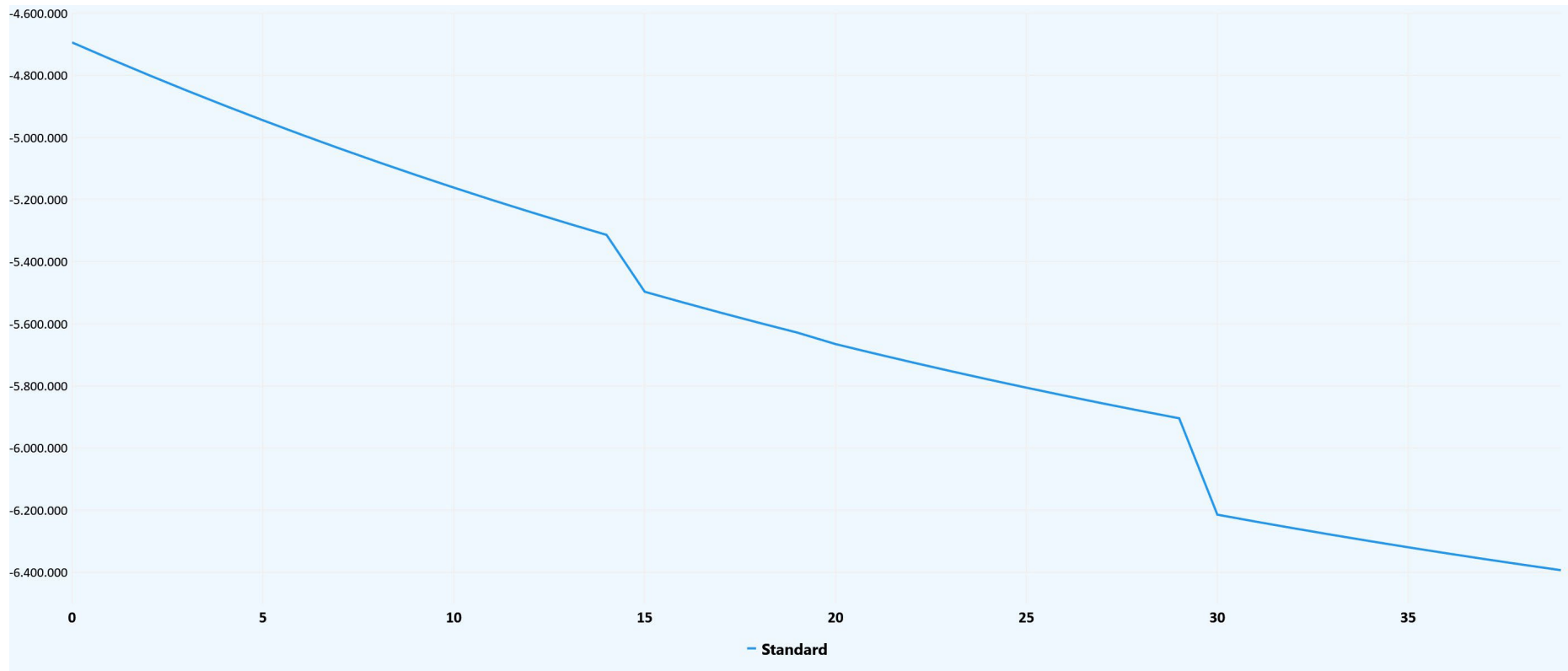


Søjlediagram med sammenligning af nutidsværdi og restværdi





Graf med opsummerede nutidsværdier, uden restværdi



Technical
University of
Denmark

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

www.byg.dtu.dk

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

- Prioritering af CO₂-belastende konstruktionsdele

Rapport 2



DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Prioritering af CO2-belastende konstruktionsdele

Rapport

Januar, 2022

Af

Mikkel Brivio Volden, Lotte Bjerregaard Jensen, Morten Ryberg

Projekt udarbejdet af SEGES Innovation P/S

Projektleder Kenneth Poulsen, Byggechef, SEGES Innovation P/S

ISBN: 978-87-7475-686-6

Copyright: Reproduktion af dele af eller hele denne publikation skal indeholde en reference til rapportens titel, forfattere etc.

Udgiver: DTU, Institut for byggeri og anlæg, Brovej, Building 118, 2800 Kgs. Lyngby Denmark
www.byg.dtu.dk

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Indhold

1 Resume	1
Forkortelser	2
2 Introduktion	3
3 Metode 3	
Funktion og funktionel enhed (FU)	4
Systemgrænser	4
Fuldstændighedskrav	5
LCIA-metode	5
Beskrivelse af miljøpåvirkningskategorier	6
Datakrav og kvalitet	6
4 Baseline: Betonelementstald	6
LCA-resultater, hotspot fra Betonelementstald	8
Udvælgelse af mest miljøbelastende bygningskomponenter og bygningsdele.....	9
Konklusion på de mest miljøbelastende bygningskomponenter fra betonelementstald	12
5 Optimering af Betonelementstaldens design i forhold til klimapåvirkning	12
6 Alternativt isoleringsmateriale	13
7 CLT-stalden – et alternativ i træ	14
Konklusion på LCA-resultater	21
8 Konceptstalden	
LCA-resultater fra Konceptstalden.....	25
LCA-optimering af Konceptstaldens bygningsdesign	27
Konklusion på LCA-resultaterne	28
9 Samlede resultater og anbefalinger	30
Referencer	33

1 Resume

Rapporten benytter resultater fra livscyklusvurdering (LCA) af udvalgte bygningsdele på en typisk dansk svinestald (Betonelementstald) som baseline (arbejdspakke 1) og sammenligner med CO2 emissionen fra en række alternative bygningskomponenter. Herudover sammenlignes den traditionelt opførte slagtegrisestald fra arbejdspakke 1, i det efterfølgende kaldet "Betonelementstalden", med Konceptstalden.

Konceptstalden er udviklet af SEGES i 2019, med fokus på pris, produktionssikkerhed og -effektivitet. Konceptstalden er opbygget med en traditionel bund, det vil sige gyllekanaler og -bund udført i beton, men med stålpær som bærende konstruktion. Facader er beklædt med PIR-skumselementer, og taget er opbygget på træåse med stålplade som tagbeklædning, herunder isolering og dampspærre, og stålplade som loftbeklædning.

Resultaterne viser, at den alternative staldtype, baseret på en stålramme-konstruktion (konceptstalden), har højere miljøpåvirkninger end betonelementstalden. Derimod demonstreres at hvis stalden i stedet for betonelementer opbygges af CLT elementer (Cross Laminated Timber) reduceres de samlede miljøpåvirkninger fra svinestalden væsentligt. Herudover konkluderes at valget af isoleringsmateriale også har en stor indvirkning på miljøpåvirkningen.

Forkortelser

LCA	Livscyklusvurdering (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)

2 Introduktion

Formålet med rapporten er at bidrage med viden om miljøpåvirkning af konstruktionsdele i en typisk nyere landbrugsbygning, med henblik på at der kan ske en prioritering og valg af de dele, som har mindst CO2 udledning.

Denne rapport bruger LCA-resultaterne af en typisk, dansk svinestald i beton fra rapporten "DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI, Arbejdspakke: 1, LCA og LCC Baseline for 'Betonelementstald'" (Mahdi m.fl. 2021), som baseline til at sammenligne med alternative designforslag til udvalgte bygningskomponenter. Formålet er som nævnt er at finde frem til løsninger, som har mindre miljøpåvirkning. Herudover vil analysen også resultere i en udvælgelse af bygningskomponenterne med særligt potentiale for "design for adskillelse"(c2ccertified.org 2017), hvilket vil blive belyst yderligere i rapporten ' Genanvendelse - Urban Mining og Design for Adskillelse'.

Formålet med rapporten er, at komme med konkrete designforslag til designet af en typisk dansk svinestald sådan, at det samlede bidrag til klimaforandringer mindskes.

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 svine- stalde 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.

Rapporten er opbygget med først en gennemgang af "Betonelementstaldens" opbygning, bygningsdele samt LCA-resultaterne fra arbejdsopgave 1 ("DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI, Arbejdspakke: 1, LCA og LCC Baseline for 'Betonelementstald'" (Mahdi m.fl. 2021). De efterfølgende kapitler behandler forskellige alternativer til- og mulige forbedringer af Betonelementstalden og sammenligner med den baseline, som ovenstående rapport udgør. Slutteligt sammenfattes og sammenlignes de fundne resultater, hvor der også bliver præsenteret en række anbefalinger til de forskellige designforslag, som er blevet gennemgået i rapporten. De fundne resultater, hvor der også bliver præsenteret en række anbefalinger til de forskellige designforslag, som er blevet gennemgået i rapporten.

3 Metode

Denne rapport bruger LCA-beregninger til at vurdere og sammenligne forskellige designs for Svinestalde i forhold til miljøpåvirkninger. Der findes to standarder som beskriver principper og rammer (ISO 14040 1) samt krav og vejledning (ISO 140442) 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 KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI, Arbejdspakke: 1, LCA og LCC Baseline for 'Betonelementstald'" (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 – der vurderes i alle sammenligningerne med alternative løsninger. Øvrige bygningsdele, som døre, vinduer, inventar i svinestalden etc. vurderes og sammenlignes således ikke i denne rapport.

Formålet med rapporten er som nævnt at finde måder at nedbringe danske svinestaldes klimaaftryk, og der fokuseres således kun på klimaforandringer (GWP) når forskellige designløsninger vurderes. Der bruges som allerede beskrevet en typisk, dansk svinestald som baseline, benævnt "Betonelementstald", til sammenligning med alternative designforslag. Der er således tale om et sammenlignende case studie (Hauschild, Rosenbaum og Olsen 2018).

LCA-analysen udføres 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 A/S leveret data angående detaljer og mængder, som indgår i casestudierne.

Funktion og funktionel enhed (FU)

Det der reelt sammenlignes i de forskellige scenarier, er forskellige byggematerialers evne til at opfylde samme funktioner for svinestalden. 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. Alternative løsninger har indflydelse på de medfølgende klimapåvirkninger (CO₂ emission, GWP), 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 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 3.1

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 l _{bm} fundament, som kan optage kræfterne fra ydervæggene i en svinestald, i 40 år

Tabel 3.1: FU for de seks bygningsdele som sammenlignes

Systemgrænser

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

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

Tabel 3.1.1: Livscyklusfaser som defineret i den europæiske standard EN 15978:2011
Tabel 3.1.1. viser et mere detaljeret overblik over de forskellige faser, som kan tages med i en LCA-beregning. I praksis inddrages dog normalt ikke alle faser. LCAByg 3.2 inkluderer modul A1-A3, B4, C3 og C4 i sine beregninger.

Fuldstændighedskrav

Det er kun de seks bygningsdele, som benævnt i Tabel 3.1, 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.

LCIA-metode

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

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

Tabel 3.2: Inkluderede miljøpåvirkningskategorier i LCAByg 3.2

Beskrivelse af miljøpåvirkningskategorier

De 8 forskellige miljøpåvirkningskategorier, 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 klimaændringer 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 udtømning af tilgængelige grundstoffer i form af f.eks. metaller eller mineraler
- ADPf: Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømning af tilgængelige energi i form af fossile brændsler

PEtot: Et højt forbrug af ressourcer i primærenergiform fra fossile og fornybare kilder kan bidrage til udtømning af naturlige ressourcer.

Datakrav og kvalitet

Der er fortrinsvist benyttet produkt- eller branchespecifikke EPD'er (primært fra EPD Dan- mark eller EPD Norge), som er udført i henhold til DS/EN 15804, på alle byggematerialer 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 kvalitet.

4 Baseline: Betonelementstald

Som allerede nævnt er baseline til LCA resultater- og sammenligninger, en typisk dansk svinestald med betonvægge og træspærkonstruktion, som bliver bygget i dag hos danske landmænd (GRÅKJÆR 2021). Denne type svinestald vil fremover blive benævnt "Betonelementstald". I rapporten "DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI, Arbejdspakke: 1, LCA og LCC Baseline for 'Betonelementstald'" (Mahdi m.fl. 2021) er der lavet livscyklusvurdering af Betonelementstalds miljøpåvirkninger. De 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. Rapporten er udført af DTU i samarbejde med Gråkjær og SEGES og benævnes i det følgende som 'baselinerapporten'.

Betonelementstalden er 1715 m² 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.

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 4.1.

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 4.1: Betonelementstald, Ydervæg

Indervægge

Indervægge har en afstivende funktion, og har dermed en statisk funktion for Betonelementstald. Hvis ikke der er nok gennemgående stabiliserende, skillevægge, vil det være nødvendigt med indspændte søjlerlangs ydervæggene, for at optage vandrette kræfter. Indervægge er opbygget af letbetonelementer, se tabel 4.2.

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

Tabel 4.2: Betonelementstald, Indervæg

Tagkonstruktion

Tagkonstruktionen består af gitterspær i træ med en center-afstand på 1 meter. Se tabel 4.3 for dimensioner.

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

Tabel 4.3: Betonelementstald, Tagkonstruktion

Randfundament

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

Se tabel 4.4 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 cm19	0,092 m ³ pr. meter	184 lbm
X 23 cm. lecablok	0,044 m ³ pr. meter	184 lbm

Tabel 4.4: Betonelementstald, 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 4.5.

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

Tabel 4.5: Betonelementstald, Terrændæk

Loft

Loftet i hele Betonelementstald består af 25 mm tykke træbetonplader samt 100 mm mineraluldisolering. Se tabel 4.6.

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

Tabel 4.6: Betonelementstald, Loft

Gavle

Gavlene i Betonelementstald består af metalplader og er ikke isolerede. Se tabel 4.7.

Materiale	Tykkelse	Mængde
Metaltrapezplader	0,75 mm	120 m ²

Tabel 4.7: Betonelementstald, Gavl

LCA-resultater, hotspot fra Betonelementstald

Levetider

De valgte levetider for bygningsdelene, som er brugt i LCA-beregningerne, er baseret på de relevante bygningskomponenters EPD'er – 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.

Et væsentligt udsnit af LCA-resultaterne fra baselinerapporten, kan ses i Figur 4.1 og 4.2.

Udvælgelse af bygningskomponenter

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

Der præsenteres dermed ikke en løsning på alle Betonelementstalds mest miljøbelastende bygningskomponenter fundet i hotspot-analysen (f.eks. terrændækket (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 (f.eks. 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 ét 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) (se Rapport om Urban Mining og Design for Adskillelse).

Udvælgelse af miljøpåvirkningskategorier

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

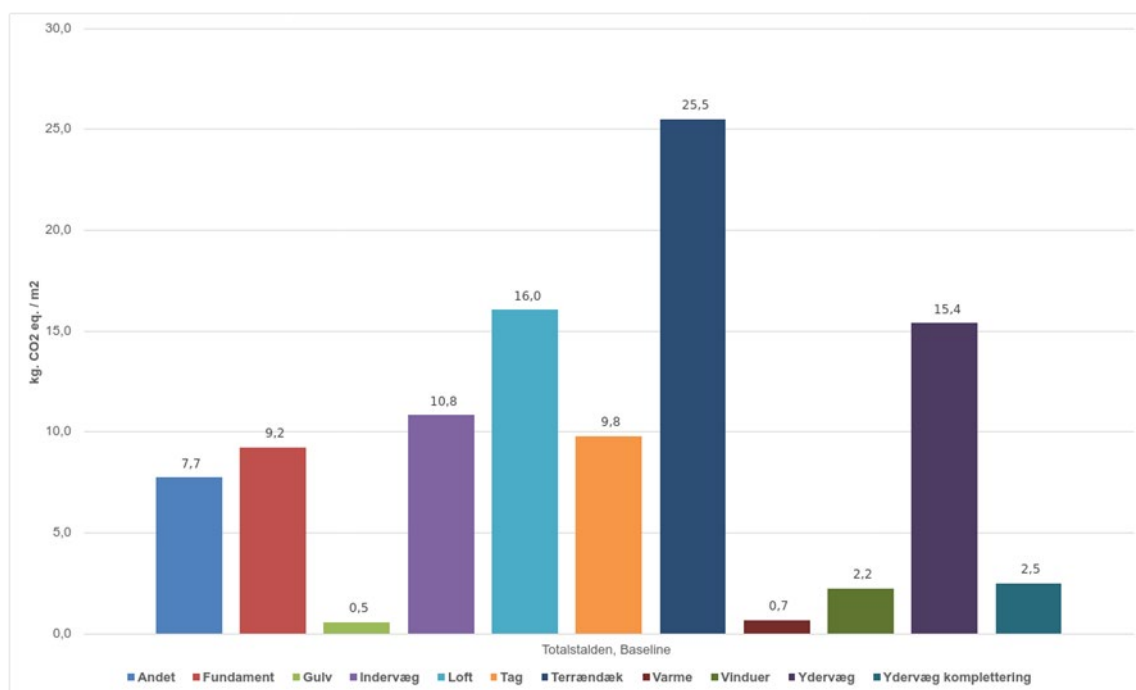
I LCAbyg 3.2, som er den software der er brugt i både baseline-rapporten (Mahdi m.fl. 2021) og denne rapport til at lave LCA-beregninger, bliver der beregnet miljøaftryk på 8 forskellige miljøpåvirkningskategorier, jf. tabel 3.2

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 ækvivalenter, den eneste miljøpåvirkningskategori der betragtes i denne rapport.

Dog er rapporten med alle miljøpåvirkningskategorier (tabel 3.2) som genereres i LCAbyg software inkluderet i appendiks (D.2.)

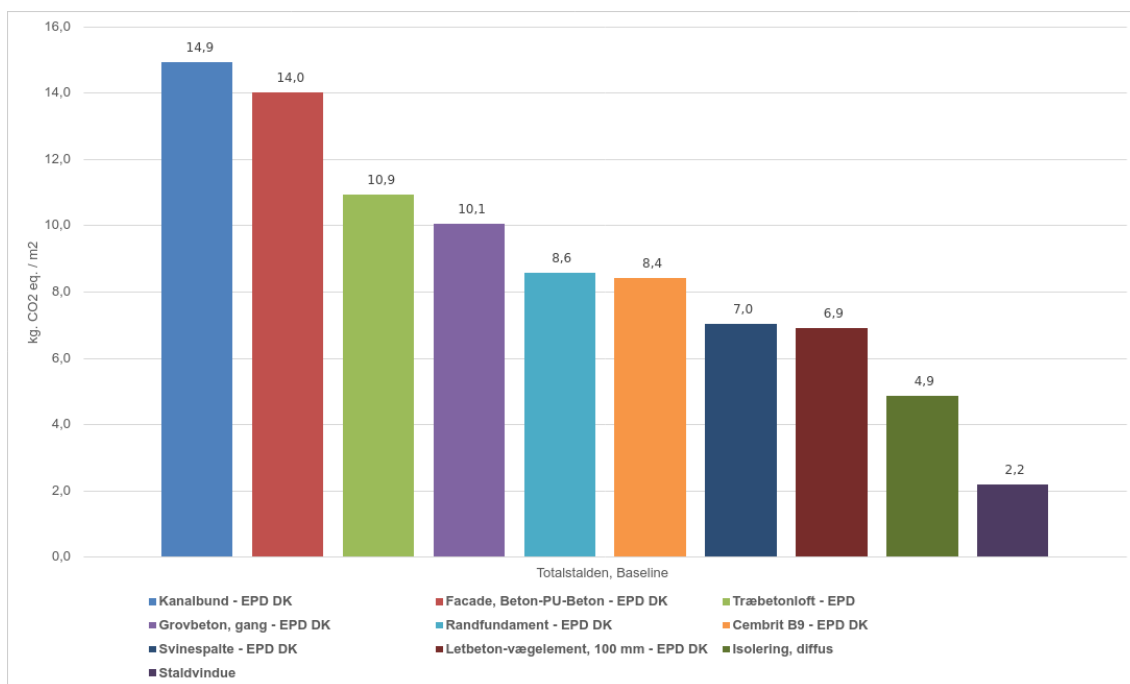
Udvælgelse af mest miljøbelastende bygningskomponenter og bygningsdele

For at kunne udvælge de mest miljøbelastende bygningsdele fra Betonelementstald, med det formål at finde mere bæredygtige alternativer, bruges såkaldte hotspot-resultater fra LCA-beregningerne for Betonelementstald (fra baselinerapporten). Kigger man på en hotspot-analyse over de mest miljøbelastende bygningsdele, ses det at terrændæk, loft og ydervæg er de bygningsdele, som står for det største CO₂-aftryk i Betonelementstalds levetid (blandt byggematerialer). Figur 4.1-



Figur 4.1: Hotspot for Betonelementstaldens bygningsdele

Et mere detaljeret indblik fås ved at se på konkrete bygningskomponenternes udledninger 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 4.2: Hotspot for Betonelementstalds Bygningskomponenter - GWP

En samlet prioriteret oversigt over de mest miljøbelastende (GWP) bygningskomponenter, samt hvilken bygningsdel de tilhører, kan ses i tabel 4.8.

#	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 4.8: Samlet oversigt over de mest klimabelastende (GWP) bygningskomponenter fra Betonelementstalden, samt hvilken bygningsdel de tilhører.

De mest miljøbelastende bygningsdele

Figur 4.2 viser miljøpåvirkninger, ift. GWP, fordelt på bygningsdele frem for bygningskomponenter (Figur 4.2). 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 4.8.

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

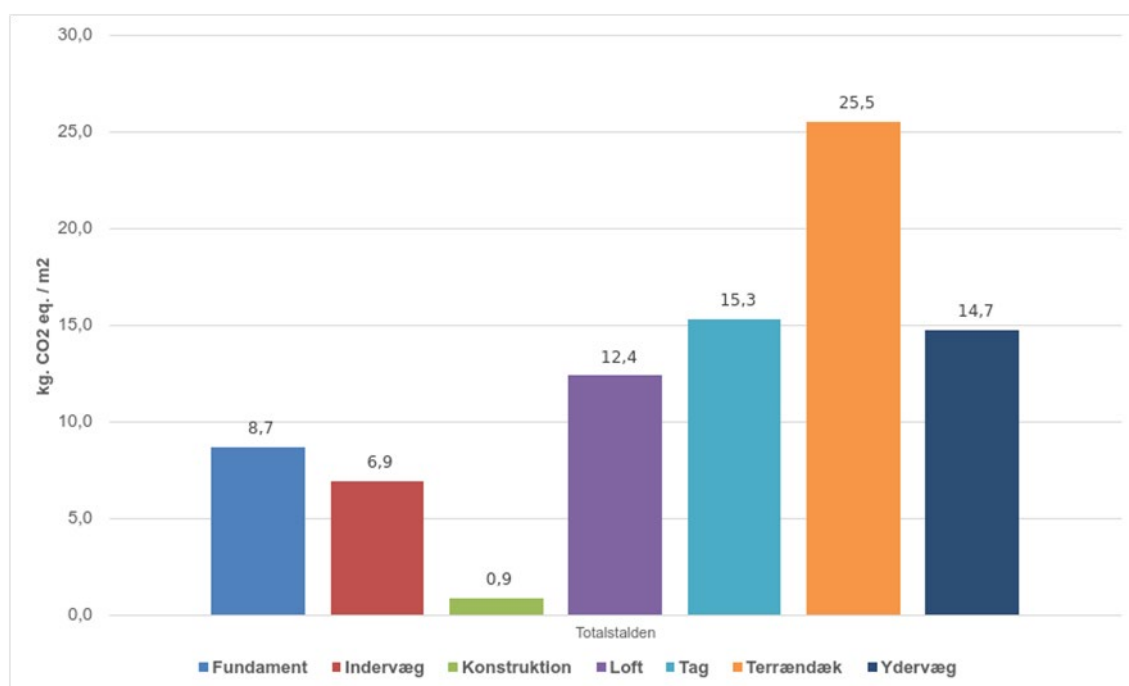
De 6 bygningsdele fra tabel 4.9, terrændæk, loft, ydervæg, indervæg, tag og fundament, er altså de mest betydningsfulde ift. GWP fra Betonelementstald. Det er udelukkende disse 6 bygningsdele som bruges i det videre arbejde i denne rapport, når der sammenlignes med alternative løsninger til Betonelementstald.

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

Tabel 4.9: De mest klimabelastende (GWP) bygningsdele for Betonelementstald

LCA-resultater fra Betonelementstald på de udvalgte bygningsdele

LCA-resultaterne for Betonelementstald på de 6 udvalgte bygningsdele i Tabel 4.9 kan ses på Figur 4.3.



Figur 4.3: Betonelementstald: LCA-resultat (GWP) for 6 udvalgte bygningsdele

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, samt måden bygningsdelene er kategoriseret på. "loft", indbefatter træbetonplader + mineraluld isolering + dampspærre. Kategorien "konstruktion" dækker over konstruktionstræ, som er brugt til tagkonstruktionen i Betonelementstald.

Denne måde at kategorisere og præsentere LCA-resultater kan gøre det svært at gennemskue hvilke bygningskomponenter som er inkluderet i hver bygningsdel. Alligevel bruges denne kategorisering, da den giver en mere overskuelig sammenligning. Efterfølgende vil der blive kigget nærmere på resultater for de enkelte bygningskomponenter, for at skabe klarhed over præcist hvilke komponenter som er ansvarlige for udledningerne.

Øvrige miljøpåvirkningskategorier fra LCA

For at sikre, at der ikke bliver overset andre bygningskomponenter med en betydelig miljøpåvirkning i andre miljøpåvirkningskategorier, er resultaterne for de øvrige kategorier jf. tabel 3.2 som allerede nævnt også taget i betragtning, men analysen præsenteres ikke i denne rapport.

Konklusion på de mest miljøbelastende bygningskomponenter

Alternative materialer og staldtyper

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

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).
3. Erstatte Betonelementstald med en helt anden staldtype

Angående 1: Ved afsøgningen af alternativer er det valgt at Betonelementstalds umiddelbare geometri, statiske system/princip og bygningsdesign bevares. 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 Betonelementstalds design.

Der stilles, som allerede nævnt, også det krav til det nye bygningsdesign, at det opfylder de samme funktioner, som det nuværende design.

I denne rapport undersøger vi erstatningen af bygningskomponenterne med et alternativ som består af et mindre CO₂ belastende materialer. Først udforskedes tilgange til at mindske betonelementstaldens CO₂-aftryk, hvor forskellige bygningsdesign og komponentløsninger præsenteres, vurderes og sammenlignes med Betonelementstalden på forskellige måder. Herefter undersøges mulighederne for at optimere det eksisterende design af Betonelementstalden uden at udskifte grundlæggende bygningsmaterialer (såsom beton).

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 alternativ løsning til det relativt høje CO₂-aftryk forbundet med beton bygningsdele. I det følgende kapitel undersøges bl.a. muligheden for at erstatte træ med beton.

Angående 2: Potentialer for genanvendelse bliver undersøgt i en anden dokument (se Rapport om 'urban mining' og design for adskillelse).

Angående 3: 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 Betonelementstald (antal m²,kapacitet etc.). Hvis en alternativ staldtype performer bedre (på GWP), er det måske en bedre løsning? I samråd med SEGES og Gråkjær A/S er en sådan staldtype også analyseret i det følgende (kapitel 5). Der er valgt en stald, hvor den primære konstruktion er stål.

5 Optimering af Betonelementstalden

I det følgende vil alternative bygningsdesigns til Betonelementstalden blive præsenteret og vurderet ud fra de parametre og kriterier, som er beskrevet i de forrige kapitler.

Der er helt grundlæggende, ift. materialeforbrug, nogle fordele forbundet med at bygge i en lignende geometri som ses i Betonelementstalden eftersom forholdet f.eks. mellem terrændæk og randfundament bliver fordelt på en fordelagtig måde. Det kræver dog at kræfterne fra taget kan føres ned i fundamentet på en fornuftig måde, hvilket er blevet gjort i Betonelementstalden 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..

For at nedbringe Betonelementstaldens CO₂-aftryk undersøges:

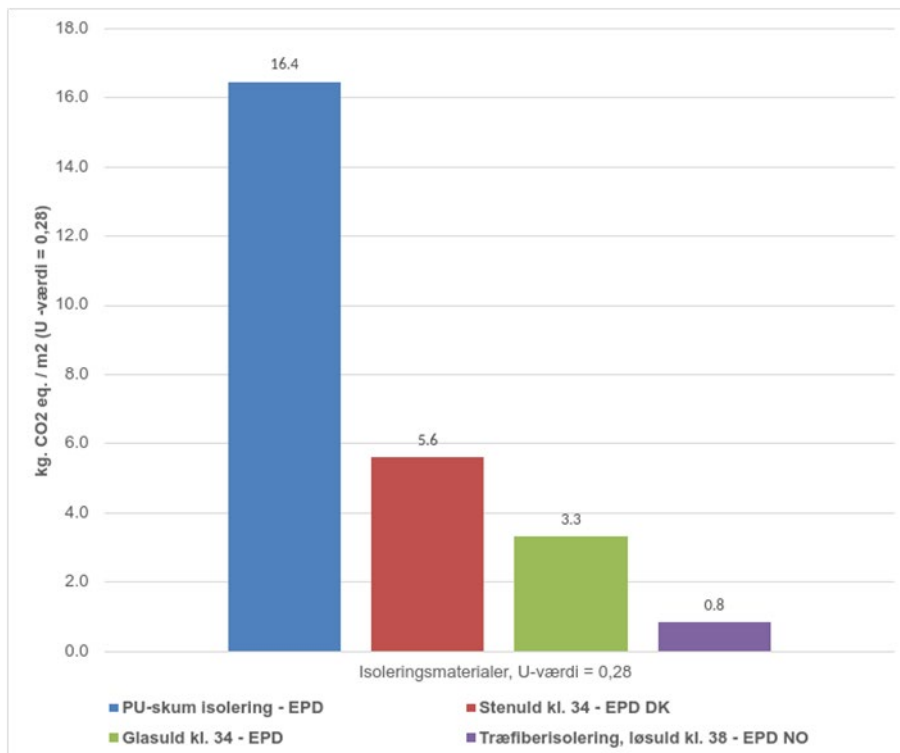
Et alternativt design af Betonelementstalds ydervægge, hvor isoleringen i erstattes med et andet materiale, præsenteres.

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? (CLT) Hvis de løsninger også har et potentiale for design for adskillelse betragtes det som en ekstra fordel.

Endelig præsenteres et grundlæggende nyt design af Betonelementstalds indervægge og ydervægge, samt fordele og ulemper ift. GWP (Konceptstalden med stålrammekonstruktion).

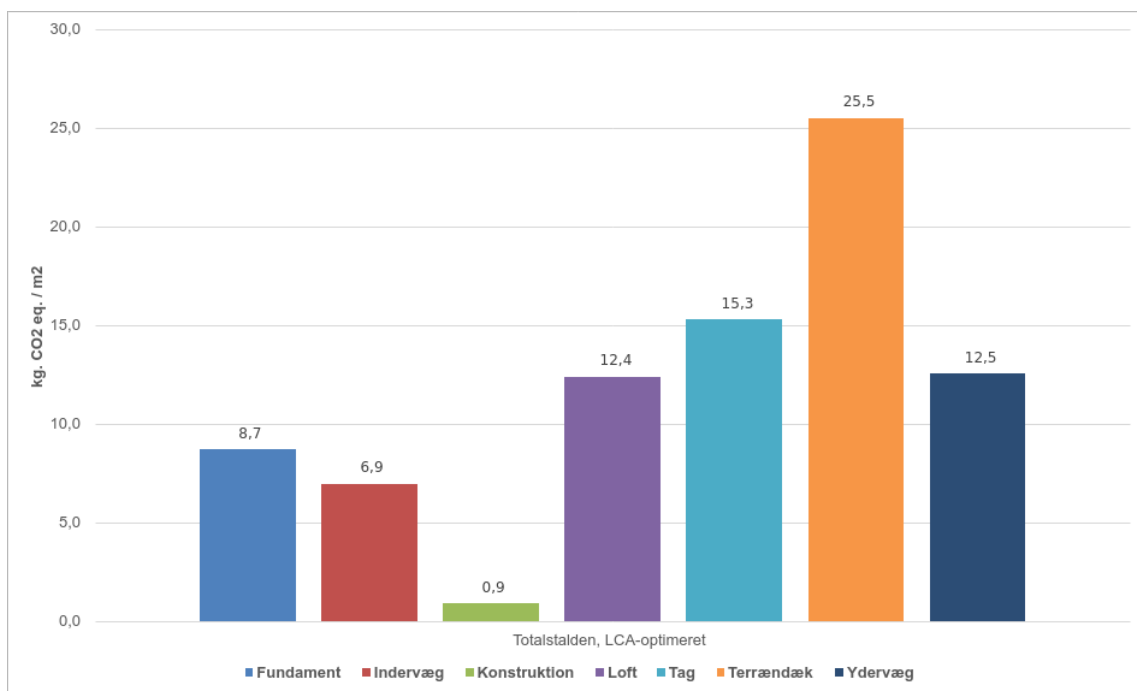
6 Alternativt isoleringsmateriale

Isoleringen i Betonelementstalds ydervægge er PU-skum isolering. PU-skum har en væsentligt højere CO₂-udledning end både mineraluldsisolering og træfiberisolering – se figur 6.1 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 træfiberisolering.



Figur 6.1: GWP for 1 m² af forskellige isoleringstyper med en U-værdi på 0,28

LCA-resultatet for ydervægge med træfiberisolering, i stedet for PU-skum, kan ses på figur 6.2.



Figur 6.2: Resultat for LCA-optimeret design af Betonelementstald med træfiberisolering.

I Tabel 6.1 er resultaterne for ydervæggene fremhævet fra de to figurer.

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

Tabel 6.1: CO₂-udledning fra Betonelementstalds ydervæg med træfiberisolering

Ydervæggens CO₂-aftryk i Betonelementstald kan reduceres med 15% ved at erstatte 100 mm PU-skum isolering med 136 mm træfiberisolering.

7 CLT-stalden – et alternativ i træ

I dette kapitel bliver et alternativt bygningsdesign af Betonelementstalden præsenteret, med brug af CLT (Cross-laminated Timber) elementer som erstatning for alt beton i ydervægge og indervægge. LCA-beregninger på GWP bliver præsenteret og sammenlignet med Betonelementstald og Konceptstaldens CO₂- aftryk. Dette designforslag, som er et alternativ til Betonelementstalden, vil i det følgende blive benævnt som "CLT-stalden".

Statisk system

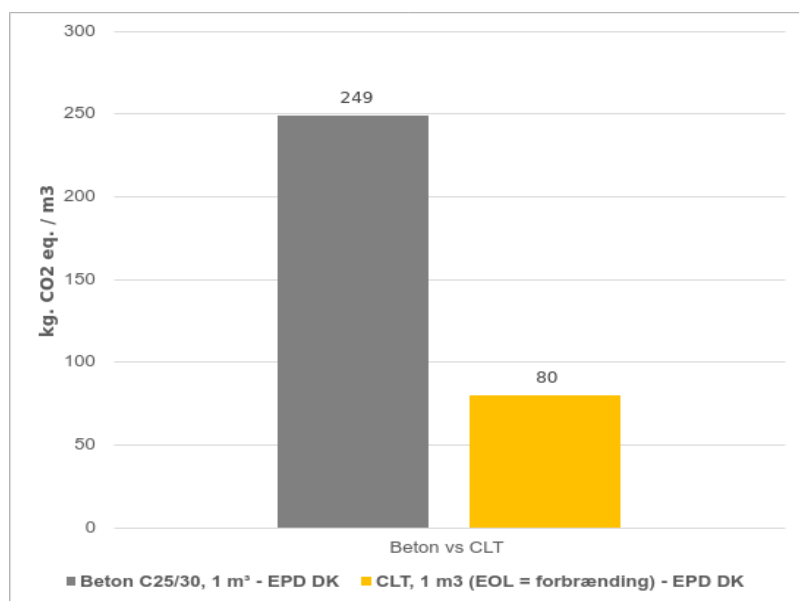
Det er målet at erstatte bygningskomponenter fra Betonelementstalden med alternative bygningskomponenter, som kan opfylde den samme funktion som betonelementerne gør. Det betyder, at eksempelvis skiveeffekten i ydervæggene, ønskes at blive bevaret. Der findes et godt alternativ til betonelementvægge kaldet CLT, som er krydslamineret massivtræ (cross laminated timber), 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 Betonelementstald, kan erstattes direkte med CLT og at det statiske princip og funktion fra Betonelementstald 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.

CO2-aftryk for CLT

I denne sammenhæng 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 7.1. 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 Betonelementstalds CO2-aftryk ved at erstatte bygningskomponenter i beton med en CLT-baseret løsning.



Figur 7.1: 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 7.1 har beton C25/30 et CO2-aftryk som er 311% højere end CLT målt pr. m³ i hele livscyklusfasen for produkterne.

Opbygning af CLT-stalden

De to mest oplagte bygningskomponenter i Betonelementstald 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.

Indervægge

Indervæggene i Betonelementstald består af 100 mm. letbetonelementer³ og har en afstivende funktion af Betonelementstald 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 sider, hvilket er taget med i LCA.

Ydervægge

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

Der er flere måder at opbygge en ydervæg til Betonelementstald med CLT elementer. Her præsenteres ét forslag, som tager udgangspunkt i, at den bærende bagvæg i beton fra Betonelementstalden, 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. For en konsistent LCA-sammenligning mellem CLT-stalden og Betonelementstald, 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), afstandslistor og bræddebeklædning.

Façade beklædnings alternativer – f.eks. i ubehandlet træ

Med en ubehandlet træfacade 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 Skovfyr. 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 mursten.

Bygningskomponenter og mængder

Ydervægge, indervægge og gavle er de bygningskomponenter, som er forskellige fra Betonelementstalden (se Tabel 7.4). Alle CLT-staldens øvrige bygningsdele er identiske med Betonelementstaldens, både i opbygning og mængder, og er beskrevet tidligere.

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 afstandslistor og bræddebeklædning.

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

Tabel 7.1: CLT-stald, opbygning af ydervæg

Indervægge

Indervæggene i CLT har en afstivende funktion i form af deres skiveeffekt, ligesom let-betonvæggene i Betonelementstald. 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 7.2: CLT-stald, opbygning af indervæg

Gavle

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

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 7.3: CLT-stald, opbygning af gavle

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.

Bygningskomponenter til LCA-sammenligning

Der demonstreres i det følgende en LCA-sammenligning mellem CLT-stalden og Betonelementstald (Baseline rapporten).

Tabel 7.4 viser de 6 udvalgte bygningsdele til LCA-sammenligningen og skaber et overblik over, hvilke komponenter som er identiske mellem Betonelementstald og CLT-stalden.

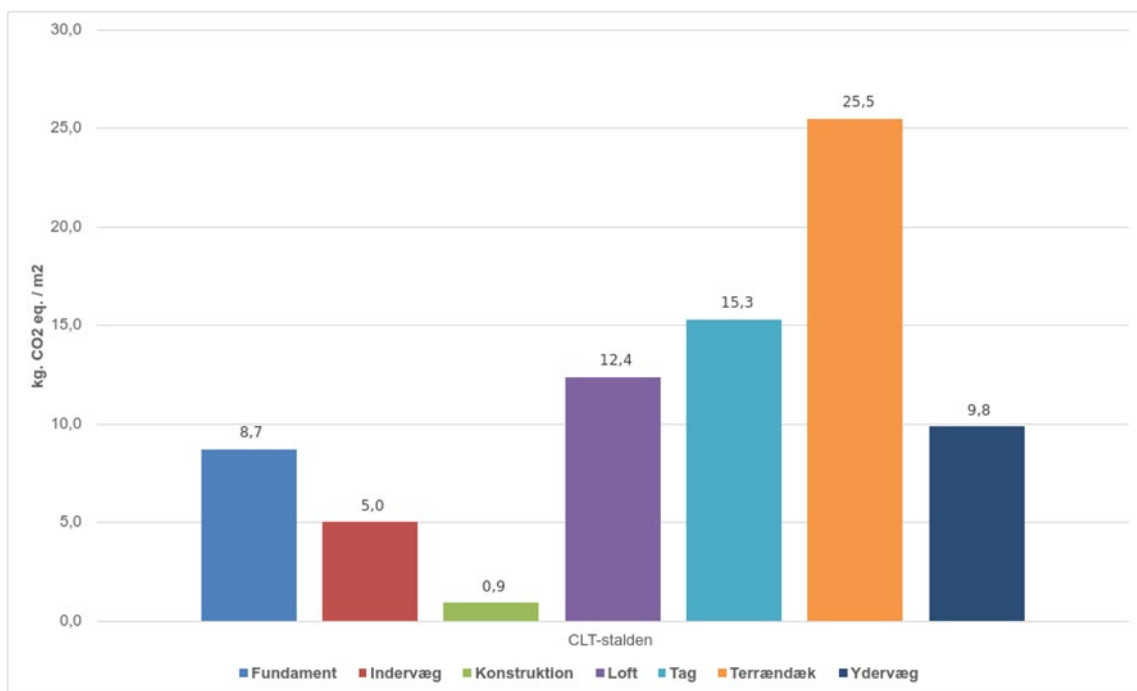
Bygningsdele	Identisk	Anderledes
Terrændæk	X	
Loft	X	
Ydervægge		X
Indervægge		X
Tag	X	
Fundament	X	

Tabel 7.4: Oversigt over udvalgte bygningsdele til LCA-sammenligningen, samt identiske bygningsdele, mellem CLT-stalden og Betonelementstald

Det ses på Tabel 7.4, at kun indervægge og ydervægge varierer mellem Betonelementstald og CLT-stalden. Resten af bygningsdelene er således identiske – både i opbygning og mængder.

LCA-resultater for CLT-stalden

LCA-resultaterne (GWP), udført i LCAbyg 3.2, for forskellige bygningstyper i CLT-stalden kan ses på Figur 7.2. 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 7.2: CLT-stalden: LCA-resultat (GWP) for udvalgte bygningstyper

Sammenligning af LCA-resultater

På Figur 7.2 ses det, at både ydervægge og indervægge i CLT-stalden har et lavere CO₂-aftryk end for Betonelementstald.

Tabel 7.5 præsenterer en overskuelig sammenligning af udledningerne (GWP) fra de udvalgte bygningstyper for Betonelementstalden 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	0,88	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. CO ₂ eq. / m ²]		
Totalstald	84 [kg. CO ₂ eq. / m ²]		

Tabel 7.5: CO₂-udledning fra forskellige bygningsdele for Betonelementstald og

CLT-stalden.

CO₂-belastningen fra ydervægge (inkl. gavle) er reduceret med 33%

CO₂-belastningen fra indervæggene er reduceret med 29%

Reduktionen for de enkelte bygningsdele, isoleret set, er således markant. Ydervæggene kan reducere CO₂-aftryk med 33 % ved at opbygge væggen som beskrevet i Tabel 7.1 fremfor som den er opbygget i Betonelementstald; ydervæggene kan reducere GWP med 29 % ved at benytte en løsning med CLT elementer og fibergips frem for letbetonelementer.

LCA-optimering af CLT-stalden

Isoleringen i CLT-staldens ydervægge er PU-skum isolering – ligesom der bruges i betonstalden. PU-skum har dog en væsentligt højere CO₂-udledning end både mineraluldsisolering og træfiberisolering, se Figur 6.1 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 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 Betonelementstalden.

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

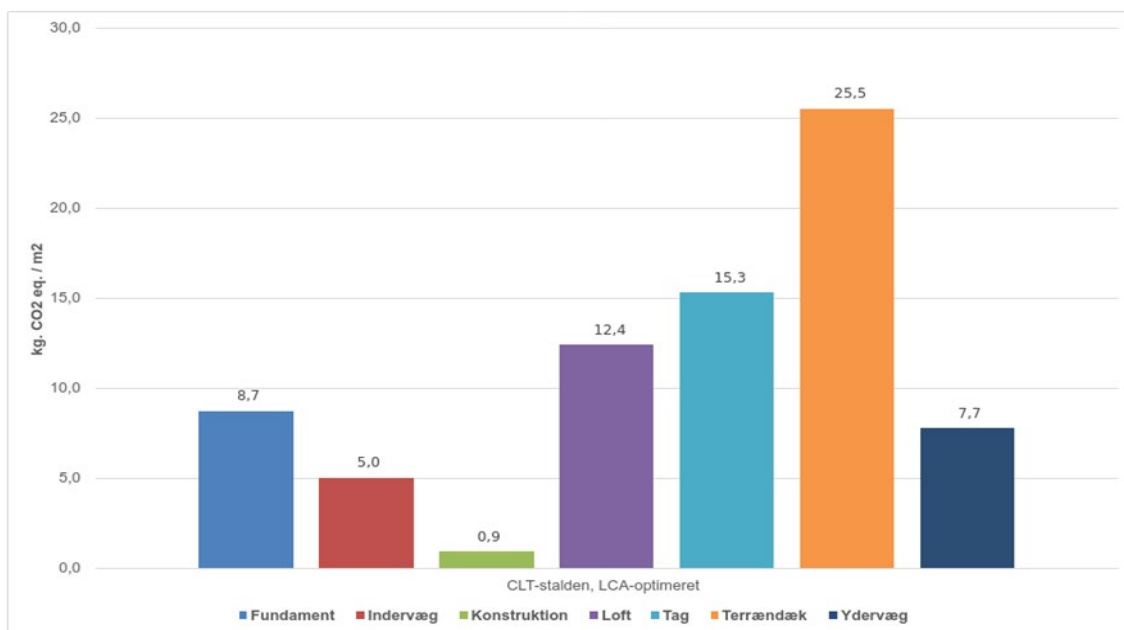
Alternativ ydervæg med et andet isoleringsmateriale

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 7.6.

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

Tabel 7.6: CLT, Ydervæg med træfiberisolering

CO₂-aftrykket fra denne CLT-ydervæg med træfiberisolering kan ses på Figur 7.3. Det ses at GWP for ydervægge er faldet fra 9,8 [kg. CO₂ eq. / m²] til 7,7 [kg. CO₂ eq. / m²].



Figur 7.3: CLT-stalden: GWP for LCA-optimeret design med træfiberisolering

Tabel 7.7 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	Ydervæg	7,7	429 m ²
CLT-stald, oprindelig	Ydervæg	9,8	429 m ²
(Totalstald, oprindelig)	(Ydervæg)	(14,7)	(429 m ²)
CO ₂ -reduktion		2,1	

Tabel 7.7: 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 21%.

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

I forhold til Betonelementstaldens ydervæge, er det en reduktion på 48%.

CLT-staldens samlede CO₂-udledning med træfiberisolering fremgår af Tabel 7.8.

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

Tabel 7.8: CO₂-udledning fra CLT-stalden med træfiberisolering

CLT-stalden med træfiberisolering i ydervæggene har reduceret den samlede CO₂-udledning med 11% i forhold til Betonelementstalden.

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.) Se yderligere information i rapport om Urban Mining og Design for adskillelse.

Konklusion på LCA-resultater

Konklusionen på sammenligningen af LCA-resultaterne mellem de 6 udvalgte bygningsdele 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 ydervæggene i betonelementstalden svarer det til en reduktion på næsten 50 % og en samlet CO₂-udledning for hele CLT-stalden som er reduceret med ca. 11 % i forhold til Betonelementstald.

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 Betonelementstalden ved at bruge den foreslåede løsning til ydervægge.

En yderligere 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 Betonelementstalden, som er det mest CO₂-belastende bygningskomponent ifølge resultaterne fra Figur 4.2., tabel 4.8. 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.

Konklusion på CLT-stalden

CLT-stalden som alternativ tager udgangspunkt i Betonelementstaldens geometri samt opbygning af bygningsdele. Der er blevet præsenteret et alternativt bygningsdesign til Betonelementstald 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 Betonelementstalds. Dette skyldes udelukkende udskiftningen af betonen i ydervægge og indervægge med træbaserede løsninger (CLT).

Optimering af bygningskomponenter: isoleringsmateriale

De første sammenligninger mellem CLT-stalden og Betonelementstald blev baseret på, at CLT-stalden benytter det samme isoleringsmateriale som i Betonelementstald, 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 ved at bruge mindre CO₂ belastende isoleringsmateriale reduceres med yderligere 21 %

– det betyder at CLT-stalden har reduceret CO₂-udledninger fra ydervæggene med knap 50 % i forhold til Betonelementstald.

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

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.

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.

8 Konceptstalden (stålramme konstruktion).

I det følgende undersøges om en alternativ staldtype, som allerede findes på markedet er mere klimavenlig end Betonelementstalden. I samråd med SEGES er valgt 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 "Konceptstalden" og er grundlæggende opbygget meget anderledes end Betonelementstald (som bruges som baseline dvs. sammenligningsgrundlag). Konceptstalden er som sagt et allerede eksisterende og færdigarbejdet alternativ til Betonelementstalden.

Konceptstaldens opbygning

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

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). Genanvendelsens fordele ift. miljøpåvirkninger faktoren er allerede inkluderet i EPD'er for stål.

Klimaskærm

Konceptstaldens 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 højst 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 Konceptstalden 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.

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 8.1

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 8.1: Stålkonstruktionsstald, 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 8.2 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 cm19	0,092 m ³ pr. meter	115 lbm
X 23 cm. lecablok	0,044 m ³ pr. meter	115 lbm

Tabel 8.2: Stålkonstruktionsstald, 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 8.3.

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

Tabel 8.3: Baseline, Terrændæk

Gavle

Gavlene i Konceptstalden består også af sandwichelementer med 100 mm PU skum isolering i kernen. Se Tabel 8.4.

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

Tabel 8.4: Stålkonstruktionsstald, Gavl

Konceptstaldens geometri

En vigtig forskel på Konceptstalden er dens grundlæggende anderledes geometri i forhold til Betonelementstald. I appendiks C ses et udvalg af tegningsmateriale over Konceptstalden samt mængder på stålrammerne (Figur C.1). Det kan ses af tegningsmaterialet, at én stålstald udgør 577 m² i modsætning til 1715 m² for Betonelementstalden. 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 bygninger med varierende grundplan og geometri.

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.

Bygningskomponenter til LCA-sammenligning

For at lave en LCA-sammenligning mellem Konzeptstalden og Betonelement-stalden, 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.

Tabel 8.5 viser de 6 udvalgte bygningsdele til LCA-sammenligningen og skaber et overblik over, hvilke bygningsdele som er identiske mellem Konzeptstalden Betonelementstalden.

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

Tabel 8.5: Oversigt over udvalgte bygningsdele til LCA-sammenligningen, samt identiske bygningsdele, mellem Konzeptstalden og Betonelementstalden.

Mængder på udvalgte bygningskomponenter

En samlet oversigt over bygningskomponenter og mængder for Betonelementstald og Stålstalden kan ses på Tabel 8.6. Det er disse mængder som er brugt til indtastning i LCAbyg 3.2 til beregning af de to staldes miljøaftryk.

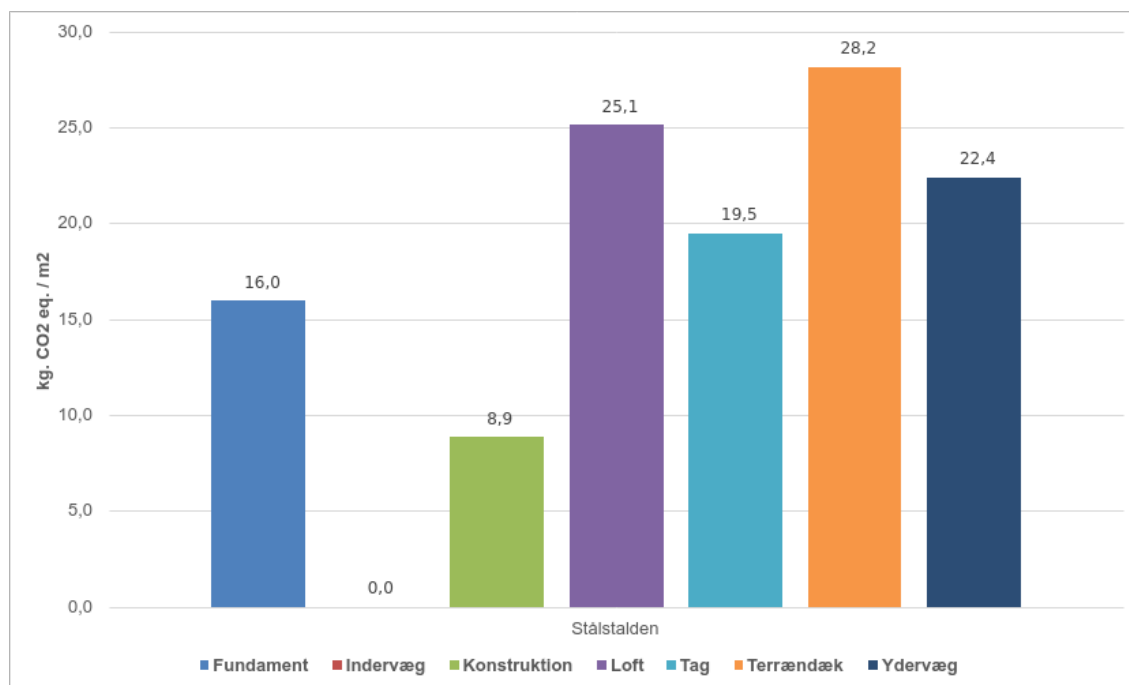
Bygningsdel	Bygningskomponent	Mængde (total)	Antal
Terrændæk			
Stålstald	Terrændæk, beton C25/30	577 m ²	1 stk.
Stålstald	Terrændæk, trykfast isolering	577 m ²	1 stk.
Betonstald	Terrændæk, beton C25/30	970+550 m ²	1 stk.
Betonstald	Terrændæk, trykfast isolering	475 m ²	1 stk.
Loft			
Stålstald	Loft, metalplader + mineraluld	668 m ²	1 stk.
Betonstald	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.
Betonstald	Ydervæg, beton-PU-beton	429 m ²	4 stk.
Betonstald	Gavl, metalplade	87,4 m ²	2 stk.
Indervæg			

Stålstald	Indervæg	0 m ²	0 stk.
Betonstald	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.
Betonstald	Konstruktion, tagspær	27,8 m ³	68 stk.
Betonstald	Konstruktion, gitterspær Tag,	262 m ³	5 stk.
Betonstald	fibercementbølgeplader	1.874 m ²	1 stk.
Fundament			
Stålstald	Randfundament	115 lbm.	1 stk.
Betonstald	Randfundament	184 lbm.	1 stk.

Tabel 8.6: Mængder på udvalgte bygningskomponenter som bruges til sammenligning af LCA- resultater mellem Totalstald og Stålkonstruktionsstald

LCA-resultater fra Konceptstalden

LCA-resultaterne (GWP), lavet i LCAByg 3.2, for de 6 udvalgte bygningstyper i Stålstalden kan ses på Figur 8.1. Det kan ses, at terrændæk, loft og ydervægge i Konceptstalden er de største bidragere til GWP for Konceptstalden. I modsætning til Betonelementstald er terrændækket ikke den ubetinget største udleder. Kategorien "konstruktion" dækker over konstruktions- stålet, som bruges til stålrammerne. Summeres denne med enten "tag" eller "ydervægge" ville det være den mest udledende bygningsdel for hele Konceptstalden.



Figur 8.1: Konceptstalden: LCA-resultat (GWP) for udvalgte bygningstyper,

Sammenligning af LCA-resultater

Sammenlignes resultaterne på Figur 8.1 kan det ses, at terrændæk og loft i Konceptstalden er de to bygningsdele med det største CO₂-aftryk blandt samtlige bygningsdele. En anden stor udleder fra Konceptstalden er ydervæggen, som

udelukkende dækker over det selv bærende sandwichelement på 100 mm (metal-PU-metal) der bruges i Konceptstalden som klimaskærm. Konstruktionsstålet, der bruges som stålrammer til det bærende system for stalden, er repræsenteret i kategorien "konstruktion".

Tabel 8.7 sammenfatter resultaterne. På tabellen ses det, at Konceptstaldens samlede CO₂-udledning for de udvalgte bygningskomponenter som beskrevet i Tabel 8.5, er på 120 [kg. CO₂ eq. / m²]. Betonelementstaldens 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 Konceptstaldens CO₂-aftryk for de udvalgte bygningsdele er 43% højere end Betonelementstaldens.

Her er der flere ting som er værd at bemærke:

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

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

Tabel 8.7: CO₂-udledning fra forskellige bygningsdele for Betonelementstald og Konceptstalden.

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

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

LCA-optimering af Konzeptstaldens bygningsdesign

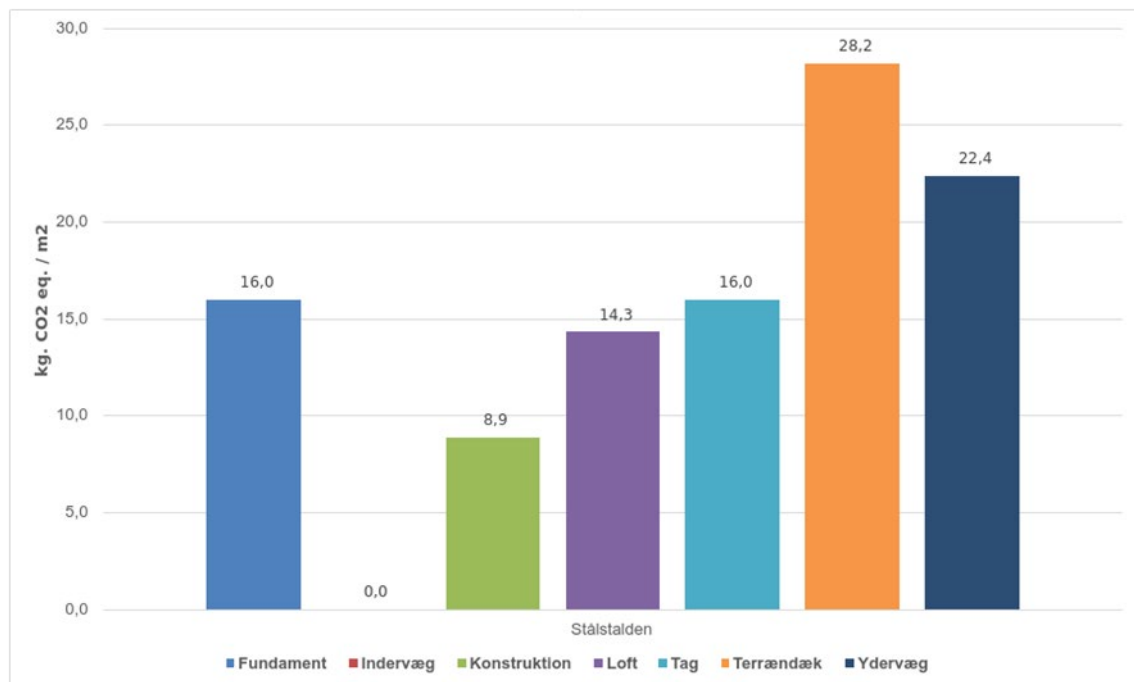
Nyt bygningsdesign for Konzeptstalden

Det optimerede bygningsdesign af Konzeptstalden, i forhold til CO₂-udledninger, er identisk med Konzeptstaldens oprindelige design, bortset fra loftet og taget (tagpladerne). Som det fremgår af Tabel 8.7 har disse to bygningsdele et væsentligt højere CO₂-aftryk i forhold til Betonelementstald.

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

LCA-resultater for LCA-optimeret design af Konzeptstalden

De nye LCA-resultater for det LCA-optimerede design af Konzeptstalden, så den bruger sam me bygningskomponenter som Betonelementstald i loft og tag, kan ses på Figur 8.2.



Figur 8.2: GWP: LCA-optimeret design af Konzeptstalden

Bygningsdel	Bygningskomponent	[kg. CO ₂ eq. / m ²]	Mængde (total)
Loft			
Stålkonstruktionsstald, optimeret ⁴	Loft	14,3	668 m ²
Stålkonstruktionsstald, oprindelig ⁵	Loft	25,1	688 m ²

Tag			
Stålkonstruktionsstald, optimeret ⁶	Tag	16,0	668 m ²
Stålkonstruktionsstald, oprindelig ⁷	Tag	19,5	688 m ²
CO ₂ -reduktion		14,3	[kg. CO ₂ eq. / m ²]

Tabel 8.8: CO₂-udledning fra LCA-optimerede bygningskomponenter i Konceptstalden.

Effekt på samlede LCA-resultater

Forskellen i udledningerne fra de oprindelige bygningsdele og det LCA-optimerede design for Konceptstalden kan ses på Tabel 8.8. Den samlede reduktion er mere end 14 kg. CO₂ eq./ m².

Trækkes denne forbedring fra Konceptstaldens oprindelige CO₂-aftryk på 120 kg. CO₂ eq. / m², bliver det samlede CO₂-aftryk for det LCA-optimerede design af Konceptstalden 105,7 [kg.CO₂eq./m²].

Dette er en samlet reduktion for Konceptstaldens CO₂-aftryk på 12%.

Det er en væsentlig reduktion, i forhold til, at der blot er udskiftet to bygningskomponenter med komponenter, som allerede bruges i Betonelementstald⁹.

Konceptstaldens samlede CO₂-udledning med de udskiftede bygningsmaterialer fremgår af Tabel 8.9.

CO ₂ -udledning TOTAL	
Stålstald, optimeret ¹⁰	105,7 [kg. CO ₂ eq. / m ²]
Stålstald, oprindelig	120 [kg. CO ₂ eq. / m ²]
(Betonstald, oprindelig)	(84 [kg. CO ₂ eq. / m ²])

Tabel 8.9: CO₂-udledning fra Konceptstalden med LCA-optimeret design

På trods af en samlet reduktion på 12 % har Konceptstalden stadigvæk et CO₂-aftryk som er 25,8% højere end Betonelementstaldens.

Konklusion på LCA-optimeret design af Konceptstalden

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

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

Konklusion på LCA-resultaterne

Konceptstalden har en højere miljøpåvirkning, ift. GWP, end Betonelement-stalden, målt på de 6 bygningsdele som beskrevet i kapitel 4. Dette skyldes både Konceptstaldens 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. To andre vigtige bygningsdele ift. GWP er loft og tag. Disse to bygningsdele viste sig at have et markant højere CO₂-aftryk ift. Betonelementstald. Derfor blev bygningskomponenterne i disse to bygningsdele analyseret, og et alternativt

design til Konzeptstalden præsenteret; et design som benytter samme bygningskomponenter for loft og tag, som Betonelementstald. Dette havde en betydelig effekt for Konzeptstaldens CO₂-aftryk, men ikke nok til at komme under Betonelementstald. Konzeptstalden har, med det optimerede design for loft og tag, stadigvæk et CO₂-aftryk som er over 25 % højere end Betonelementstaldens.

Slutteligt må det konstateres, at selv om Konzeptstaldens 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 Betonelementstalden.

Jf. betingelse "Mindre CO₂-aftryk i forhold til det bygningskomponent det erstatter" må det konstateres, at Konzeptstalden ikke lever op til det punkt.

Den anden delbetingelse, (b), for alternative bygningskomponenter til Betonelementstald lyder således: "Egner sig til design for adskillelse (så hele eller dele af bygningskomponenter kan skilles ad og bruges direkte igen i en ny svinestald eller anden type byggeri)". Det potentiale der er for Konzeptstalden ift. en implementering af direkte genanvendelse af væsentlige bygningskomponenter, kan have en betydelig effekt på CO₂-aftrykket fra en bygning. Denne mulighed for Betonelementstaldundersøges yderligere i Rapport om 'urban mining' og design for adskillelse. Konzeptstaldens stålrammer, som er det primære bærende system i stalden, har 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.

D-modulet er den sidste fase i livscyklussen efter "bortskaffelsesfaserne" (C1-C4 processerne). Den omhandler potentialet for genbrug, genanvendelse- eller nyttiggørelse af produktet/systemet og ligger således udenfor systemet. Således er D-modulet for konstruktionsstål i Konzeptstalden på 2,5 kg. CO₂ eq. / m² ydervæg. Dette skal ses i lyset af, at konstruktionsstålet allerede består af 78 % genanvendt stål jf. EPD'en for konstruktionsstål (GiveSteelA/S 2020).

Konklusion i forhold til Konzeptstalden

Konzeptstaldens grundlæggende materialevalg med sandwichelementer og stålrammer viser sig primært at være en ulempe, når der måles på GWP fra de væsentlige bygningskomponenter sammenlignet med Betonelementstald. Valget af GWP-tunge materialer som konstruktionsstål og sandwichelementer med PU-skum smitter tydeligt af på CO₂-aftrykket fra Konzeptstalden med en udledning der er 43 % højere end Betonelementstaldens, målt pr. m² etageareal.

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 Betonelementstald. Effekten ved at udskifte materialer i disse bygningsdele er ikke ubetydeligt eftersom det viste sig, at Konzeptstaldens samlede CO₂-aftryk kan reduceres med op til 12 %. Selvom det er en betydelig reduktion, er Konzeptstaldens CO₂-udledninger stadigvæk over 25 % højere end Betonelementstaldens.

Opsummering

I forhold til CO₂-udledninger fra de 6 udvalgte bygningsdele i Konzeptstalden, 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 Betonelementstalds, kan Konzeptstaldens 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 Konzeptstalden har en væsentligt højere CO₂-udledning ift.

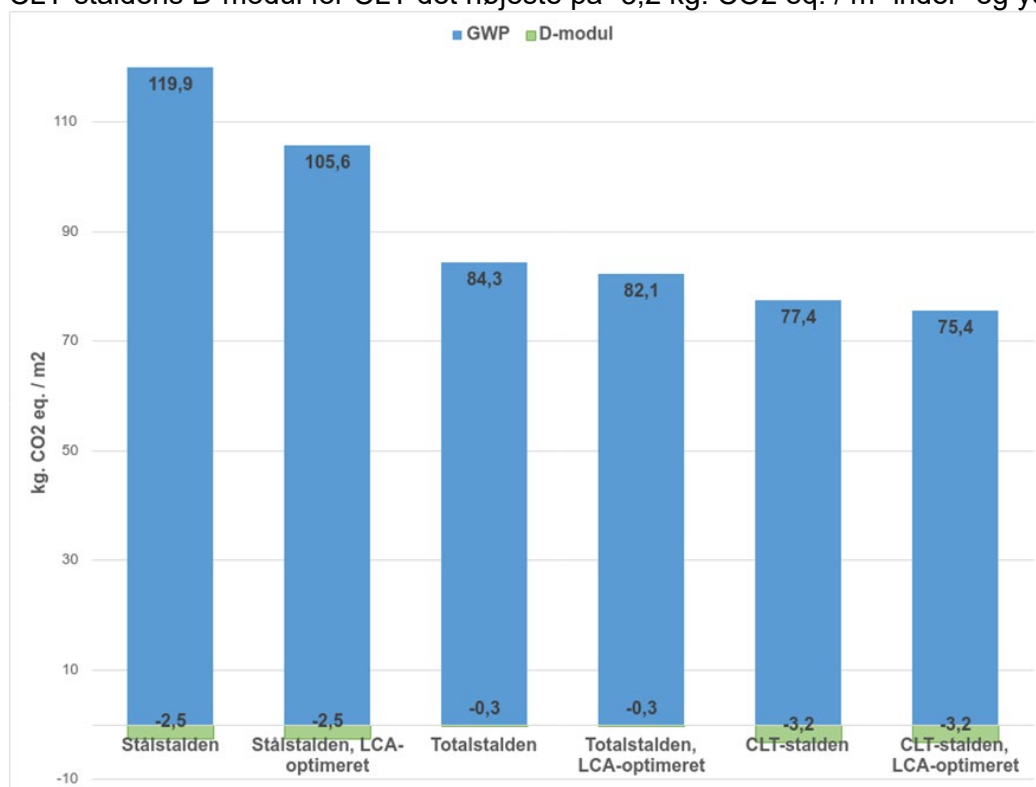
Betonelementstald, som er baseret på beton-elementer og træspær.

9 Samlede resultater og anbefalinger

Der er blevet behandlet flere forskellige designløsninger, materiale-alternativer og optimeringer af både Betonelementstalden, Konzeptstalden 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.

Samlede resultater

De samlede resultater kan ses på Figur 9.1 for både det oprindelige og et LCA-optimeret design af de tre staldtyper. Her ses det, at Konzeptstalden har det højeste CO₂-aftryk, Betonelementstalden 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 det højeste på -3,2 kg. CO₂ eq. / m² inder- og ydervæg.



Figur 9.1: GWP for Betonelementstald, Konzeptstalden og CLT-stalden

Tabel 9.1 giver et samlet overblik over resultaterne fra Figur 9.1.

Betonelementstald	[kg. CO ₂ eq. / m ²]
Oprindeligt	84,3
LCA-optimeret	82,1
D-modul	-0,3
Konzeptstalden	
Oprindeligt	119,9
LCA-optimeret	105,6
D-modul	-2,5
CLT-stalden	

Oprindelig	77,4
LCA-optimeret ³	75,4
D-modul	-3,2

Tabel 9.1: GWP for Betonelementstald, Konzeptstalden og CLT-stalden

Betonelementstald

Betonelementstald har som baseline i denne rapport placeret sig i midten af resultaterne. Den scorer hverken bedst eller dårligst i nogle af scenarierne fra Tabel 9.1.

Men i forhold til design for adskillelse og direkte genanvendelse, er det nærliggende at drage den konklusion, at Betonelementstalds 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 Betonelementstalds meget lave D-modul, sammenlignet med de to andre stalde.

Betonelementstalds "optimerede" design, hvor PU-skum isolering erstattes med træfiberisoleringsring, reducerer alene det samlede CO₂-aftryk for stalden med 2,6 %.

Isoleringen i ydervæggene vejer samlet ca. 1,3 ton. De 6 bygningsdele i Betonelementstald, som er brugt til LCA-beregningerne⁵, vejer tilsammen mere end 713 ton. Det vil sige, at isoleringen udgør ca. 0,18% 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.

Anbefalinger

Anbefalingerne til Betonelementstalden 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.
- Tagkonstruktionen af fibercementplader viste sig at score mærkbart bedre, end ståltrapezpladerne i Konzeptstalden. 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 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 nybyggeri generelt).

Konzeptstalden

Konzeptstaldens 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. Dog er den anvendte EPD for konstruktionsstål allerede bestående af 78 % genanvendt stål.

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

Anbefalinger

Anbefalingerne til Konzeptstalden er:

- Konzeptstaldens grundlæggende bygningsdesign er svært at anbefale, hvis ønsket er at bygge fremtidens svinestalde med et mindre CO₂-aftryk, eftersom den scorer dårligere end både Betonelementstald og CLT-stalden – både i dens oprindelige og LCA- optimerede design
 - Hvis Konzeptstalden skal optimeres ift. GWP, bør der eksperimenteres med at ændre den grundlæggende geometri, så den minder mere om Betonelementstald 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
 - Konzeptstaldens 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
 - Konzeptstaldens stålrammer bør, hvis muligt, altid blive adskilt og genanvendt, eftersom en af fordelene ved konstruktionsstålet er, at det både kan genanvendes direkte og indgå i produktionen af nyt konstruktionsstål
- Konzeptstalden kan på baggrund af resultaterne i denne rapport ikke anbefales, hvis ønsket er at bygge fremtidens svinestalde med et mindre klimaaftryk særligt inden for GWP.

CLT-stalden

CLT-stalden har det laveste CO₂-aftryk blandt de tre staldtyper jf. de opsummerede resultater fra Tabel 9.1.

CLT-stalden har, ligesom de to andre staldtyper, stadig en markant CO₂ udledning fra terrændækket sammenlignet med de øvrige bygningsdele. 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.

Anbefalinger

Anbefalingerne til CLT-stalden er:

- CLT-stalden bør ikke benytte PU-skum isolering, men i stedet træfiberisolering eller alternativt mineraluldsisolering.
- 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. Konstruktiv beskyttelse i form af tagudhæng samt godt håndværk i forbindelse med opsætning af brædderne, sikrer ubehandlede brædders levetid i mange år
- CLT-staldens fundament, som er identisk til Betonelementstalds fundament, kan muligvis optimeres eftersom CLT-elementerne har en væsentligt lavere densitet end den beton, som er brugt i Betonelementstald. Dette bør undersøges nærmere
- Et mindre miljøbelastende alternativ til terrændækket har umiddelbart det største potentiale ift. at nedbringe klimaaftrykket yderligere fra CLT-stalden

Referencer

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 KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI, Arbejdspakke: 1, LCA og LCC Baseline for 'Betonelementstald'“

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). Betonelementstald. URL: www.graakjaer.dk/betonelementstald.

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.

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

- Urban Mining og Design for Adskillelse

Rapport 3



DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Arbejdspakke 2

- Urban Mining og Design for Adskillelse

Rapport

Januar, 2022

Af

Mikkel T. B Volden

Lotte M. B. Jensen

Morten Ryberg

Projekt udarbejdet af SEGES Innovation P/S
Projektleder Kenneth Poulsen, Byggechef, SEGES
Innovation P/S

Copyright: Reproduktion af dele af eller hele denne publikation skal indeholde en reference til rapportens titel, forfattere etc.

Udgiver: DTU, Institut for byggeri og anlæg, Brovej, Building 118, 2800 Kgs. Lyngby Denmark
www.byg.dtu.dk

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Indhold

1	Introduktion	1
2	Metode	3
3	Resultat	4
	3.1 Genanvendelse af betonelementer - Betonelementstalden	4
	3.2 Stålstalden – Design for adskillelse	7
	3.3 CLT udgave af betonelementstalden – og design for adskillelse	8
4	Konklusion	9
	Referencer	12

1 Introduktion

Byggesektoren står for ca. 40 % af den samlede CO2 emission på planeten. En stor del af emissionen stammer fra driften af bygninger. Men i Europa er vi blevet gode til at reducere energiforbruget til drift af bygninger. Derfor bør fokus i stigende grad være på klimabelastninger forbundet med produktion af byggematerialer og byggeaffald. Der er grundlæggende tre måder vi kan reducere miljøpåvirkningen fra byggematerialer –

- Genanvende bygninger direkte (renovere og transformere dem 'som de er' til ny brug).
- Bygge i biobaserede materialer (f.eks. træ).
- Genanvende bygningskomponenter og materialer direkte, så de i princippet aldrig når at blive til affald.

En række større Europæiske forskningsprojekter fokuserer i disse år på hvordan byer eller regioner kan etablere et næsten lukket flow af byggematerialer (CIRCulT, Loops). Københavns Kommune har skrevet forskningsansøgningen og vundet CIRCulT sammen med London, Helsinki og Hamborg. I hver af de 4 store byer, vil der skulle ske en reduktion af brugen af jomfruelige byggematerialer med op til 20% i den 4 årige projektperiode. Til at understøtte denne trend har også Realdania Fonden lanceret en serie af erhvervs Ph.d. projekter og to store 4 årige såkaldte Grand Solutions projekter (CIRCLEBANK og BusinessReuse). I CIRCLEBANK etableres en platform, og såkaldt 'hoteller' hvor byggekomponenter kan opbevares og handles. Arkitekter og andre designere kan se, hvad der er i 'banken' og designe ud fra det. Det er en meget anderledes design proces, end den som i dag praktiseres af arkitekter. BusinessReuse projekter omhandler et andet vigtigt element i denne omstilling; at vi får adgang til at teste 'gamle' materialer og byggekomponenter på en ikke- destruktiv måde, så de igen kan genanvendes og der kan udstedes nødvendige garantier ift. statik og holdbarhed.

Urban Mining betyder at man 'høster', 'sourcer' eller 'miner' byggekomponenter fra den eksisterende bygningsmasse. Det kan ske når bygninger enten skal nedrives eller renoveres. Jo mere direkte en byggevarer kan genanvendes i den samme form, og til den samme brug, jo mere CO2 emission undgås. Hvis byggevarer skal igennem en kompliceret og lang proces for at kunne genanvendes eller måske kun dele kan genanvendes i nye byggevarer, reduceres fordelene i forhold til undgået CO2 emission.

For mange landbrugsbygninger er vilkårene sådan, at det nogle gange bedre kan betale sig bare at lade dem stå. De bliver ikke aktivt nedrevet eller renoveret.

Dette vil måske ændre sig, fordi prisen på byggematerialer vil stige - dels pga. forsyningsvanskeligheder, dels pga. politiske indgreb. Det mest tydelige eksempel på sådanne indgreb er den frivillige bæredygtighedsklasse, som leder over i at man fra 2023 skal dokumentere CO2 aftrykket fra bygninger.

Der er stadig diskussion om hvordan miljøgevinsten fra genanvendte byggematerialer skal beregnes, men i alle metoder fremgår at det selvfølgelig vil reducere emissionen, fordi man undgår den CO₂ emission, som er forbundet med udvinding af råstoffer og produktion af nye byggevarer.

I softwaret LCAByg, som generelt bruges til LCA på byggeri i Danmark, beregnes genanvendelse af byggematerialer, som udgangspunkt, som værende "burden free" CO₂-mæssigt. Dvs. det er CO₂-mæssigt "gratis" at bruge genanvendte materialer. På den anden side gives der heller ingen CO₂-kreditering for genanvendelse eller anden nyttiggørelse af materialer efter endt levetid

En mulighed for at medtage kreditering for genanvendelse eller anden nyttiggørelse af materialer efter endt levetid er at benytte et såkaldt D modul fra EPD'en. Her er skitseret et endt-leve-tids-scenarie, som typisk er konservativt (f.eks. at beton nedknuces og benyttes til vejfyld og hvor der krediteres for at beton erstatter grus som vejfyld og dermed CO₂-udledningen i forbindelse med udvinding og transport af grus til brug som vejfyld).

En anden metode giver i beregningen en CO₂ 'rabat' for genanvendte materialer på f.eks. 50% i LCA'en, og ved 3. genanvendelse yderligere en rabat på 25%. Men måske skal 'CO₂ rabatten' for genanvendte byggevarer (SLC, Second Life Components) være væsentligt højere i fremtiden.

Design for Disassembly (DfD) - Design for Adskillelse

Design for Adskillelse adresserer at byggevarer skal være forberedte på at blive direkte genanvendt til stort set det samme formål. F.eks. skal stålelementer være boltet sammen i stedet for svejset, og beton elementer kan boltes sammen i stedet for at samlingerne udstøbes (som er praksis i dag). Ligesom størrelsen for CO₂ rabatten for at anvende SLC (Second Life Components= genanvendte byggevarer) er til diskussion, så diskuteres det også hvilken CO₂ rabat, der skal manifesteres i en EPD, hvis et produkt er forberedt på direkte genanvendelse ved at være designet for (fremtidig) adskillelse.

Er Urban Mining og Design for Adskillelse – interessante principper for landbrugsbygninger? En stald kræver en mængde bygningsmaterialer for at blive opført, som alle bidrager med miljøpåvirkninger. En moderne dansk svinestald har typisk en levetid på blot 40 år inden den tages ud af drift. Visse bygningskomponenter kan dog have en væsentligt længere levetid end 40 år (f.eks. 120 år) og dermed et potentiale for at blive genanvendt igen i en ny bygning.

Danske svinestalde har som sagt 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 kunne udtjene deres levetid, medmindre de adskilles og bruges igen i et nyt byggeri.

Der kan dermed ligge et stort potentiale i at undersøge de potentielle, miljømæssige gevinster ved at genanvende egnede bygningskomponenter igen i opførelsen af en ny svinestald eller andre bygninger.

I RAPPORTEN Prioritering af CO₂-belastende konstruktionsdele (Volden et al, 2021) er beskrevet to umiddelbare løsninger på at nedbringe CO₂-aftrykket fra de mest miljøbelastende bygningskomponenter fra en Betonelementstald:

(a) Erstatte bygningskomponenterne med et alternativ, som består af et mindre CO₂-belastende materiale (f.eks. biobaserede materialer såsom træ)

(b) 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, Betonelementstaldens umiddelbare geometri, statiske system/princip og bygningsdesign.

I det følgende vil vi se på Betonelementstalden som et case studie for ad b: genanvendelse af bygningskomponenter, der kan erstatte produktionen af nye materialer, og dermed undgå den CO₂ emission, der er forbundet med produktionen af nye byggevarer. 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 mindske svinstaldes bidrag til klimaforandringer.

Rapporten er opbygget som Case studier og der tages udgangspunkt i de tre staldtyper, som blev analyseret i RAPPORT Prioritering af CO₂-belastende konstruktionsdele – IDÉKATALOG (Volden et al, 2021).

Der stilles det krav til det nye bygningsdesign, at det opfylder de samme funktioner, som det nuværende design kendt fra betonelementstalde.

I rapporten vurderes det miljømæssige potentiale for tre staldtyper 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 styrke- vurderinger 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, men måske står vi overfor nye muligheder, som kan gøre betonelementer attraktive for genanvendelse.

2. Metode

Allokeringsmetode

Det software, som er benyttet til Baseline rapport og Rapport om prioritering af miljøbelastende dele er LCAByg. Det vil derfor være naturligt at fortsætte med at benytte dette software. 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. Brug af genanvendte byggematerialer betragtes således som gratis' eller burden free.

Det betyder at genanvendte byggematerialer anses for ikke at have en klimapåvirkning. Kreditering 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 allokeringssystemet og vil give en unfair miljøfordel til det valgte system, som kan karakteriseres som "greenwashing" og i strid med korrekt LCA-metode.

I en EPD efter standarden DS/EN 15804 (og dermed "cut-off-metoden") er der som sagt mulighed for at regne på et såkaldt "D-modul" 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 genvindingspotentialer (nyttiggørelse) 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 genvindingspotentialer for produktet.

3. Resultat

Urban Mining og Design for adskillelse for 3 stald-eksempler

3.1 Genanvendelse af betonelementer - Betonelementstalden

I dette kapitel vil mulighederne for at udnytte design for adskillelse i Betonelementstalden blive undersøgt. Betonelementstalden i nærværende casestudie er opbygget af beton sandwichelementer med træspær, og terrændæk/fundament af beton.

Betonelementstaldens geometri har en række fordele både i forhold til funktion men også ift. mængden af eksempelvis randfundament og ydervægge sammenlignet med alternative staldtyper (f.eks. Stålstalden). Med udgangspunkt i Rapport 1 (Baseline, Mahdi et al) og Rapport 2 (Prioritering af CO2 belastende dele, idékatalog, Volden et al) fokuseres på Betonelementstaldens betonelementer, fordi de både har en meget længere levetid (120 år) end staldens typiske brugstid (40 år), og de er CO2 tunge.

Derfor er spørgsmålene; hvor stort er potentialet i nogle af Betonelementstaldens CO2-eq-tunge bygningskomponenter ift. til design for adskillelse? For at svare på dette beregnes D-modulet og der diskuteres løsninger/udfordringer ved adskillelse af betonelementerne i Betonelementstalden

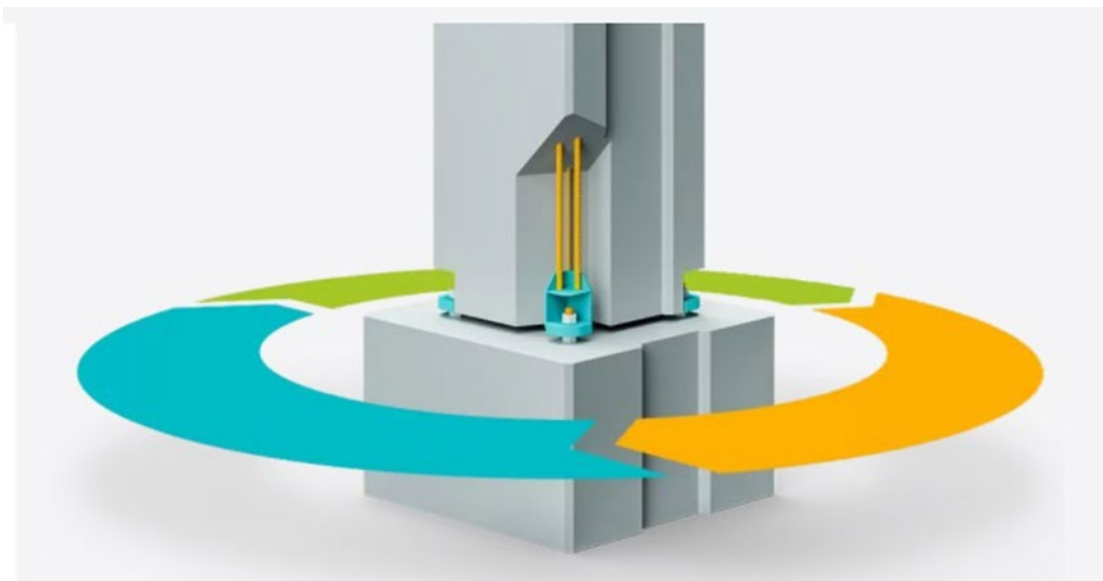
Direkte genanvendelse af beton fra Betonelementstalden

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 beslag, 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 styrke- krav 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.



Figur 1. Boltet istedet for udstøbt samling, udviklet af det finske betonelement firma Peikko. <https://www.peikko.com/products/circular-economy/overview/>

Herudover er udfordringerne at betonelementer ofte er 'skræddersyede' og den direkte anvendelse vil kræve at arkitekter og andre designere vender deres design proces 'på hovedet' og designer ud fra de betonelementer de har til rådighed. Arkitekter og andre bliver også nødt til fra starten at forholde sig til hvilke retninger armeringen i betonelementerne spænder.

Der er således en lang række udfordringer ved den direkte genanvendelse af betonelementer. Men den åbenlyse mulighed er også tilstede fordi det som allerede nævnt har en meget lang levetid og et meget stort CO2 aftryk.

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.

Det er vigtigt at bemærke potentialet for 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, som beskrevet ovenfor.

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 genanvendelse eller nyttiggørelse af nedrevet beton.

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

-4,6 [kg. CO₂ eq.] 1 m³ beton C25/30

Dvs. det samlede potentiale for D-modulet er en reduktion på 515 kg. CO₂ eq. i forhold til mængden af beton på 112 m³ i inder- og ydervægge. Betonelementstaldens potentiale ift. nedrivning og genanvendelse af betonen er relativt lille, som det fremgår af D-modulet i EPD'en for beton. Dette skyldes, som nævnt tidligere, at betonen i dag erstatter stabilgrus som tilslag i vejfyld.

D-modulet og genanvendelsespotentialet har dog potentiale til at vokse markant i fremtiden, hvis der findes en måde at genanvende beton-elementerne direkte i et nyt byggeri. I en sådan situation vil den genanvendte beton kunne erstatte produktionen af nye betonelementer.

Ved brug af "cut-off" metoden for allokering, som benyttes til livscyklusvurderinger på bygninger jf. DS/EN 15804, er genanvendte byggematerialer "gratis". Det betyder, at genanvendt materiale kun tilskrives miljøpåvirkninger der sker i forbindelse med omdannelsen fra affald til genanvendeligt materiale. Hvis betonelementer fra Betonelementstalden i fremtiden kan adskilles, transporteres til en ny byggeplads og bruges igen i opførelsen af eksempelvis en ny Betonelementstald, vil brugen af disse genanvendte betonelementer således være næsten "gratis" i LCA beregningen, da de kun vil blive tildelt miljøpåvirkninger i forbindelse med evt. rensning og transport til ny byggeplads. Adskillelse er en del af modul C for 'tidligere produktsystem' og skal ikke medregnes. Dette kræver dog som nævnt en ændring af praksis ift. hvordan betonelementerne samles, således af de kan adskilles igen, samt implementeringen af ikke-destruktive metoder til at kortlægge elementernes kvalitet og forventede restlevetid, for at de kan benyttes i genanvendt form i et nyt byggeri.

Man kunne forestille sig en cirkulær model for Betonelementstalden, hvor de samme betonelementer anvendes i flere svinestalde, i løbet af deres livscyklus.

3.2 Stålstalden – Design for adskillelse

Stålrammer

Konstruktionsstålet har et stort potentiale i forhold til design for adskillelse, eftersom der er mulighed for at genbruge stålrammerne direkte 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 med 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.

Potentialet i genanvendelse af stål er som allerede nævnt stort. Det vidner om, at det allerede er en realitet, at stål bliver genanvendt og brugt i produktionen af nyt stål. Dette er selvfølgelig positivt, men disse fordele ved konstruktionsstål er der således allerede taget højde for, når miljøpåvirkningerne fra konstruktionsstål bliver vurderet i en EPD (EPD-Danmark 2021, Jf. DS/EN 15804).

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 RAPPORT Prioritering af CO₂- belastende konstruktionsdele – IDÉKATALOG (Volden et al) 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.

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

-318 [kg. CO2 eq.] pr. ton konstruktionsstål

Da Stålstalden indeholder 4,5 ton konstruktionsstål, betyder det at det samlede potentiale for genbrug, genanvendelse eller nyttiggørelse for konstruktionsstålet i Stålstalden er en besparelse på 1,43 ton CO2 eq.

Øvrige bygningskomponenter i stålstalden

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 Stålstalden. 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 adskillelse.

3.3 CLT udgave af betonelementstalden – og design for adskillelse

I RAPPORTEN Prioritering af CO2 belastende dele (Volden et al) demonstreres at der kan opnås en markant reduktion af CO2 aftrykket ved Betonelementstalden, uden at ændre geometri, ved at erstatte betonelementerne med CLT elementer (træ - Cross Laminated Timber). Herudover er der også fordele i relation til direkte genanvendelse, fordi CLT elementer nemt kan blive, faktisk som de er allerede nu, forberedt for design for adskillelse. De er ofte samlet med skruer eller beslag, ligesom andre træbaserede elementer og materialer. Dette gør CLT elementer relativt nemme at adskille igen, og betyder, at de egner sig til direkte genanvendelse og har derfor fordel af en design-for-adskillelises strategi. 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) for genanvendelses-potentialet.

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 skovdrift, så er det ikke umiddelbart noget, miljømæssigt problem at skulle kassere bræddebeklædningen efter den forventede levetid for svinestalden.

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 elementer.

Potentiale for genanvendelse -- D-modul

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

-57,4 [kg. CO₂ eq.] m³ CLT for et scenarie hvor CLT'en genanvendes og således erstatter produktionen af nyt CLT.

Da stalden indeholder 95 m³ CLT, betyder det, at det samlede potentiale ved genbrug, genanvendelse eller nyttiggørelse, som dermed erstatter produktionen af ny CLT, er en besparelse på 5,5 ton CO₂ eq.

Potentiale for genanvendelse af CLT

Jf. den anvendte EPD for CLT, betragtes der allerede en situation hvor CLT kan adskilles og genanvendes igen i et nyt byggeri. Dette kommer til udtryk i D-modulet for genbrug (EPD_CLT_md-20007_2020).

Ved brug af "cut-off" metoden for allokering, som benyttes til livscyklusvurderinger på bygninger jf. DS/EN 15804, kan (direkte) genanvendte byggematerialer dog betragtes som "gratis". som allerede nævnt. Det betyder, at genanvendt materiale kun tilskrives miljøpåvirkninger der sker i forbindelse med omdannelsen fra affald til genanvendeligt materiale. Hvis CLT-elementer fra CLT-stalden kan nedtages og blive brugt direkte igen i opførelsen af en ny CLT-stald, vil brugen af disse direkte genanvendte elementer være næsten "gratis" i LCA-beregningen, da de kun vil blive tildelt miljøpåvirkninger i forbindelse med, evt. rensning og transport til ny byggeplads (adskillelse er der taget højde for allerede). Det kræver dog, at CLT-elementernes kvalitet og forventede restlevetid kan dokumenteres tilfredsstillende, for at de kan benyttes i genanvendt form i et nyt byggeri.

Man kunne også for CLT-stalden forestille sig en cirkulær model, hvor de samme CLT-elementer anvendes i flere svinestalde, i løbet af deres livscyklus.

4. Konklusion

For alle tre materialetyper - beton, stål og CLT - er der blevet betragtet to scenarier for genanvendelse af materialer:

1. D-modulet fra den relevante EPD, som er et udtryk for genanvendelsespotentialet ud fra en betragtning om det mest sandsynlige scenarie, som kendes i dag.
2. Et scenarie hvor materialerne (beton-elementer, stålrammer og CLT-elementer) genanvendes direkte i opførelsen af en ny svinestald i en cirkulær model, hvorledes materialerne vil indgå "gratis" i LCA-beregningen jf. DS/EN 15804 for "cut-off" metoden ift. allokering. Dette scenarie indbefatter dog en række forudsætninger, for at det kan

lade sig gøre. F.eks. skal beton-elementerne være mulige at adskille, samt der skal implementeres ikke-destruktive analyse-metoder for at kortlægge materialernes egenskaber.

Scenarie 2, hvor bygningsdele kan indgå i en cirkulær model og genanvendes direkte igennem flere svinestalde, har det største potentiale for CO₂-besparelser i fremtiden, men kræver også en række forudsætninger samt ændringer i praksis, for at det kan lade sig gøre.

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

Tabel 4.1: GWP for Betonelementstalden, Stålstalden og CLT-stalden

I forhold til "genanvendelsespotentialet" udtrykt i D-modulet, er det kun beregnet for beton (for Betonelementstalden), 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 svinestalds på blot 40 år, og dermed forventes at have en lang resterende levetid efter staldens levetid.

Potentialet i direkte genanvendelse af beton i ydervægge og indervægge kan være stort fordi elementerne har en estimeret levetid på 120 år, og muligheder for dette i fremtiden bør undersøges og udforskes. Med nutidens teknologier, er genanvendelsespotentialet for beton meget begrænset, hvilket kommer til udtryk i det meget lave D-modul som er beregnet for betonen i Betonelementstalden.

Stålstaldens stålrammer viste sig på flere parametre at egne sig godt til design for adskillelse og genanvendelse/nyttegørelse. 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 så stort som man kunne forvente for den anvendte stål.

Stålstaldens LCA-optimerede design, med samme loft- og tagkonstruktion som betonelementstalden 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 bygningsdele som Betonelementstalden – dvs. 'låne' Betonelementstaldens geometri.

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.

Referencer

<https://www.peikko.com/products/circular-economy/overview/>

<https://circlebank.dk/index.php/2021/04/26/grand-solution-circle-bank-will-outcompete-linear-construction-by-2030/>

<https://bloxhub.org/news/denmark-and-realdania-launch-call-for-new-research-team-on-circular-buildings/>

<https://innovationsfonden.dk/da/nyheder-presse-og-job/hold-af-forskere-og-virksomheder-er-udvalgt-til-accelerere-cirkulaert-byggeri>

<https://www.dtu.dk/nyheder/2021/10/cirkulaert-byggeri-sikrer-bedre-udnyttelse-af-ressourcer?id=a62718c8-89e7-4c75-bca2-079fedf58968>

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.

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). Betonelementstald. URL: www.graakjaer.dk/betonelementstald.

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.

Danmarks
Tekniske
Universitet

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

www.byg.dtu.dk

ISBN: 978-87-7475-688-0

DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI

- Grøn energi : Solceller

Rapport 4

August, 2021

Udarbejdet af

Sune Thorsteinsson

Projekt udarbejdet af SEGES Innovation P/S

Projektleder Kenneth Poulsen, Byggechef, SEGES Innovation P/S

ISBN: 978-87-7475-688-0

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

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

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Hvad er potentialet ved at placere solceller på Konceptstalden?

Indledning

Der er lavet en overordnet og særskilt analyse af potentialet for solceller på Konceptstalden samt en analyse af rentabiliteten af en sådan investering. Følsomhed på orientering, og benyttelse af én versus benyttelse af begge tagsider, samt skygge analyse er foretaget.

Metode og forudsætninger

Baseret på tegninger fra Konceptstalden er solindstråling på taget af bygningerne udregnet og skygge virkninger er taget i betragtning. Der er kun betragtet skygger fra bygningsdele på Konceptstalden og ikke betragtet evt. omgivende skygger fra allerede eksisterende bygninger, højre træer og lign. For uddybende baggrundslæsning om solindstråling, solceller og solcellesystemers virkemåde henvises til PVEDucation (<https://www.pveducation.org/>) og Konrad Mertens "Photovoltaics: Fundamentals, Technology, and Practice," 2nd Edition (ISBN: 978-1-119-40133-9).

Derudover er solindstrålings data hentet fra PV GIS (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP) som TMY (typical meteorological year).

Der er benyttet System Advisor Model (SAM) og PV-SOL Premium til udregning af energi strømmene. Begge programmer tager time baseret solindstråling, luft temperatur samt PV system data og udregner en timebaseret energiproduktion og forbrug. Disse data summeres efterfølgende og årlige total værdier udregnes, og de årlige værdier benyttes som input til udregning af total økonomi, baseret på en 25 årig betragtnings tid.

SAM er parametrisk opbygget og benyttes til de indledende beregninger m.h.t. størrelse og orientering, og PV-SOL benyttes på udvalgte løsninger til at lave detaljerede analyser, der også tager højde for nærskygge virkninger såsom ventilations hætter mv på bygningerne. Begge programmer benytter som input såkaldte typisk meteorologisk år (TMY), hvilket er en statiske måde at kondensere 10 års satellit baseret vejrdata ind til et typisk år. Til simuleringer i SAM benyttes PV GIS og vejrdata i PV sol er fra Meteonorm 7.3.

I SAM er der lavet parametriske analyser af Konceptstaldens orientering, ved benyttelse af den sydligst vendte tagflade samt begge tagflader. I forhold til økonomi-betragtning, er der for de samme forudsætninger, lavet parametriske simuleringer for at finde den anlægs størrelse med den største nutids værdi.

Økonomiske forudsætninger:

Parametre		
Rente	2%	
Installeret omkostninger	8 kr/Wp	https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/11/IEA_PVPS_Trends_Report_2020-1.pdf
Køb af elektricitet	59 øre/kWh	
Salg af overskuds elektricitet	25 øre/kWh	
Betragtnings tid	25 år	

Table 1: Økonomiske forudsætninger

I alle simuleringer er der regnet med timebaseret netto afregning, således at overskuds strøm, der ikke bliver forbrugt i løbet af den pågældende time sælges til nettet til EL-spotprisen, antaget til 25 øre pr kWh¹. Er produktionen fra solcellerne inden for en time ikke tilstrækkelig til at dække elektricitets behovet for stalden købes den manglende el til en slutbruger pris på 59 øre pr kWh, hvor forskellen primært skyldes div. transmissions omkostninger og afgifter.

¹ Spotprisen på elektricitet varierer time for time og historisk data kan ses på: <https://www.nordpoolgroup.com/>

Til beregningerne er der benyttet time baseret elektricitets forbrug, hvor et gennemsnit er udregnet baseret på måler data fra fire traditionelt opførte slagtegrise besætninger. Hver af dem har en produktion på 30.000 grise årligt. Dette elektricitets forbrug er så skaleret ned med antal stipladser til koncept staldens 16.800 årlig producerede grise, hvilket giver en skalerings faktor på 0.56 og dermed et totalt årlig forbrug for Konceptstalden på 257MWh.

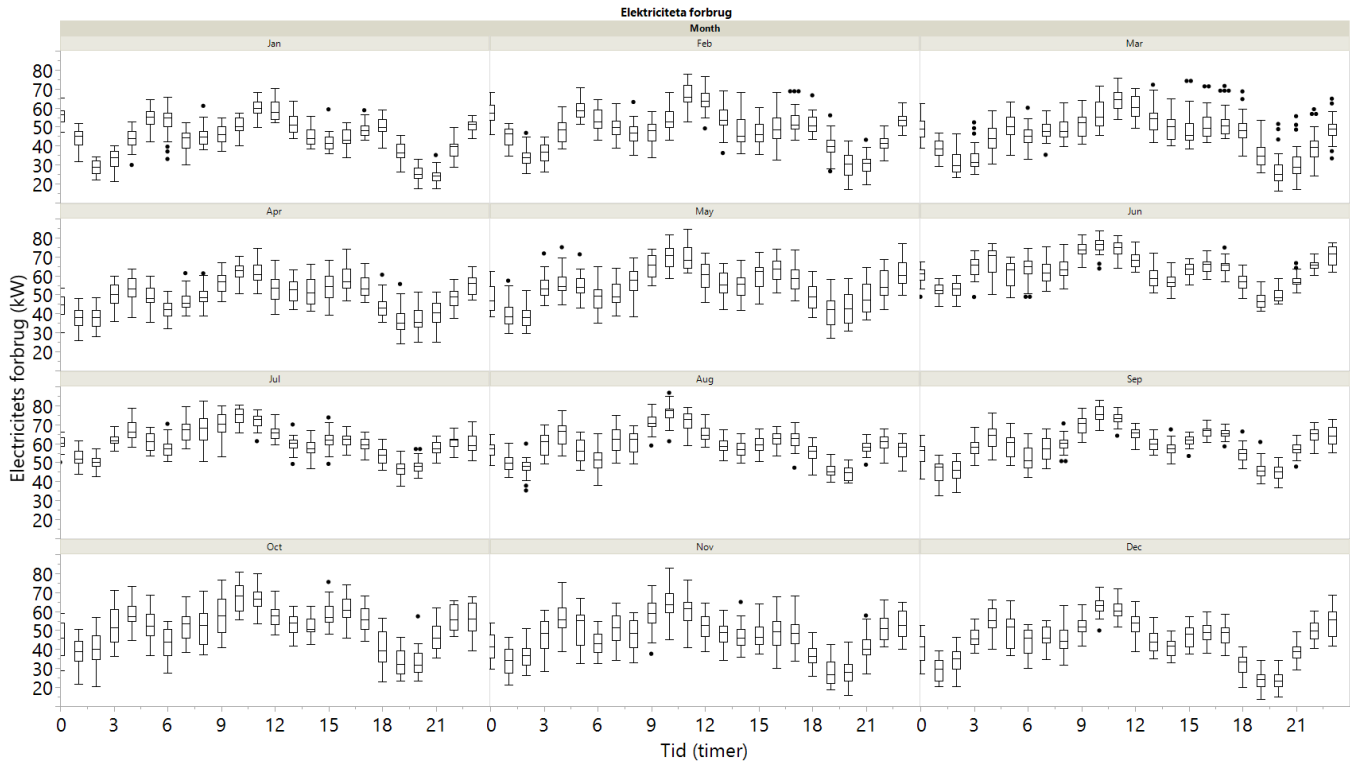


Figure1 : Boxplot af elektricitets forbrug i løbet af dagen udregnet som månedligt gennemsnit.

Dagsprofilerne for de enkelte måneder ses i figure 1. Her ses et ensartet forbrugsmønster på de forskellige måneder, med en tendens til et højt forbrug midt på dagen og et lavere forbrug efter solnedgang, og en belastnings spids omkring midnat - dog med variationer. I figure 2 er det gennemsnitlige daglige elforbrug for Konceptstalden vist opdelt på måneder. Elforbruget er ca. 30 % større om sommeren, hvor der også er mere solenergi.

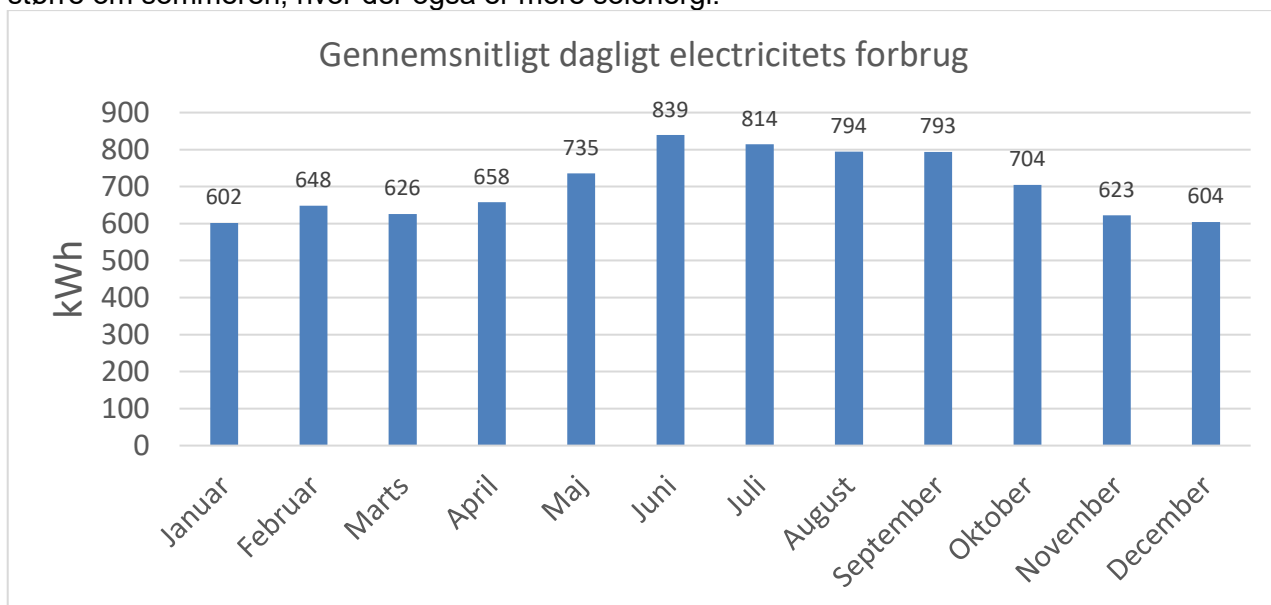


Figure2: Gennemsnitligt dagligt forbrug i de forskellige måneder.

Resultater

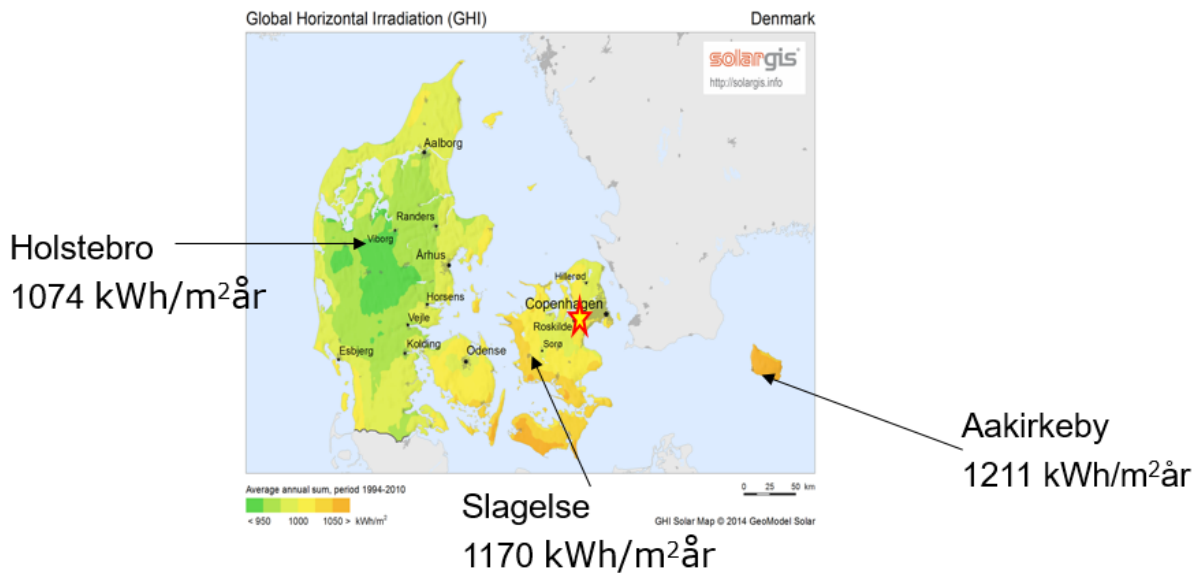


Figure 3: Årlig solindstråling på i vandret plan i Danmark (Solar GIS)

På figur 5 ses den gennemsnitlige årlige solindstråling i Danmark på et vandret plan. Det ses at midt-Jylland modtager lidt mindre solindstråling end øerne og i særdeleshed Bornholm. Baseret på denne figur er Holstebro valgt eksemplificeret som det sted med lavest indstråling, Slagelse med middel indstråling og Aakirkeby på Bornholm som det sted med højest solindstråling. Geografiske varierer solindstrålingen mindre end 10 % på årsbasis.

Udbytte som funktion af bygningernes orientering mod verdenshjørnerne og længernes egen skygge

I resten af analysen benyttes vejrdata fra Slagelse som vurderes bedst repræsentativt for Danmark. Det normaliserede udbytte i kWh/Wp er udregnet for forskellige orienteringer både hvis en side benyttes (figur 7) og hvis 2 sider benyttes (Figur 5). Samtidig er det benyttet forskellige Ground Cover Ratios (GCR) som tager højde for længernes egenskygge. Jo højre GCR desto tættere står bygningerne på hinanden (se figur 6).

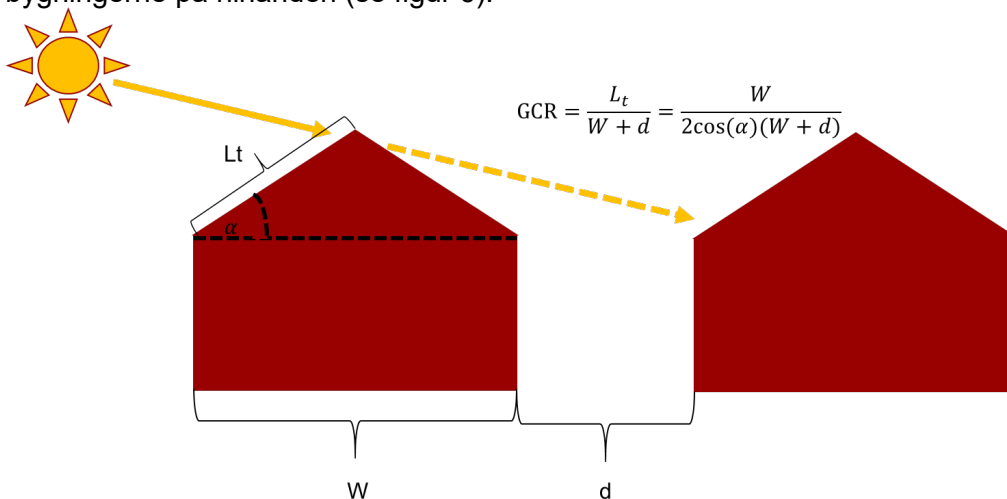
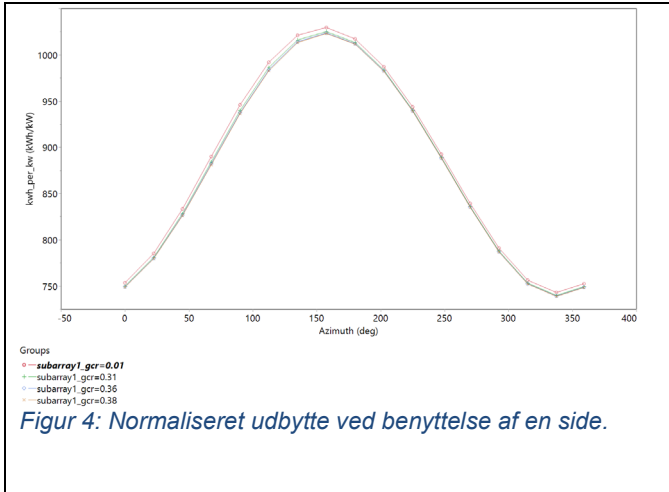


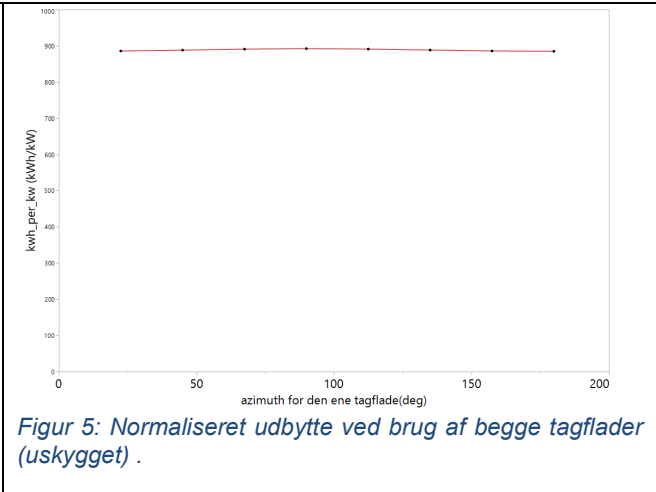
Figure 6: Illustration af Ground cover Ratio

Udregning af GCR ses i nedenstående tabel:

Længe bredde	Taghældning	Længe afstand	GCR
13.32	15	5	0.38
17.50	15	8	0.36
13.32	15	9	0.31



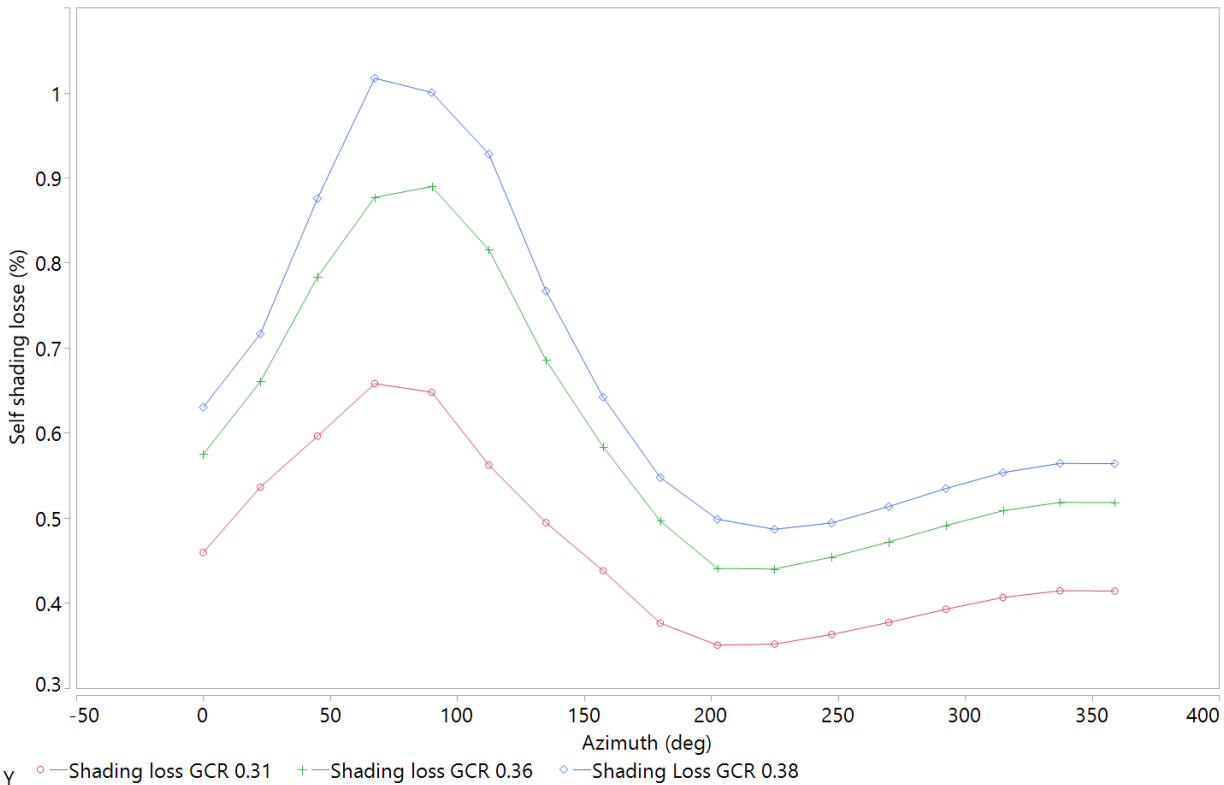
Figur 4: Normaliseret udbytte ved benyttelse af en side.



Figur 5: Normaliseret udbytte ved brug af begge tagflader (uskygget) .

Figur 7 viser at selv ved den nordvendte orienterings fås et udbytte på 750 kwh/wp per år og at udbyttet øges til ca 1150 kwh/wp med sydlige orienteringer.

Figur 8 viser, at hvis begge tagflader benyttes, er udbyttet stort set uafhængigt af orientering og er omkring 900 Kwh/wp.



Figur 6: Skygge tab fra egen skygge af længer.

Figur 9 viser at skygge tabet fra længerne med de givne GCR parametre er mindre en 1% og kan med stor sandsynlighed ved et anlægs design blive helt ubetydelig.

Det årlige udbytte kan udregnes vha. følgende ligninger:

$$E_{ac} = Y_f Wp$$

$$Wp = \eta * A$$

E_{ac} =AC energi ((M)Wh)

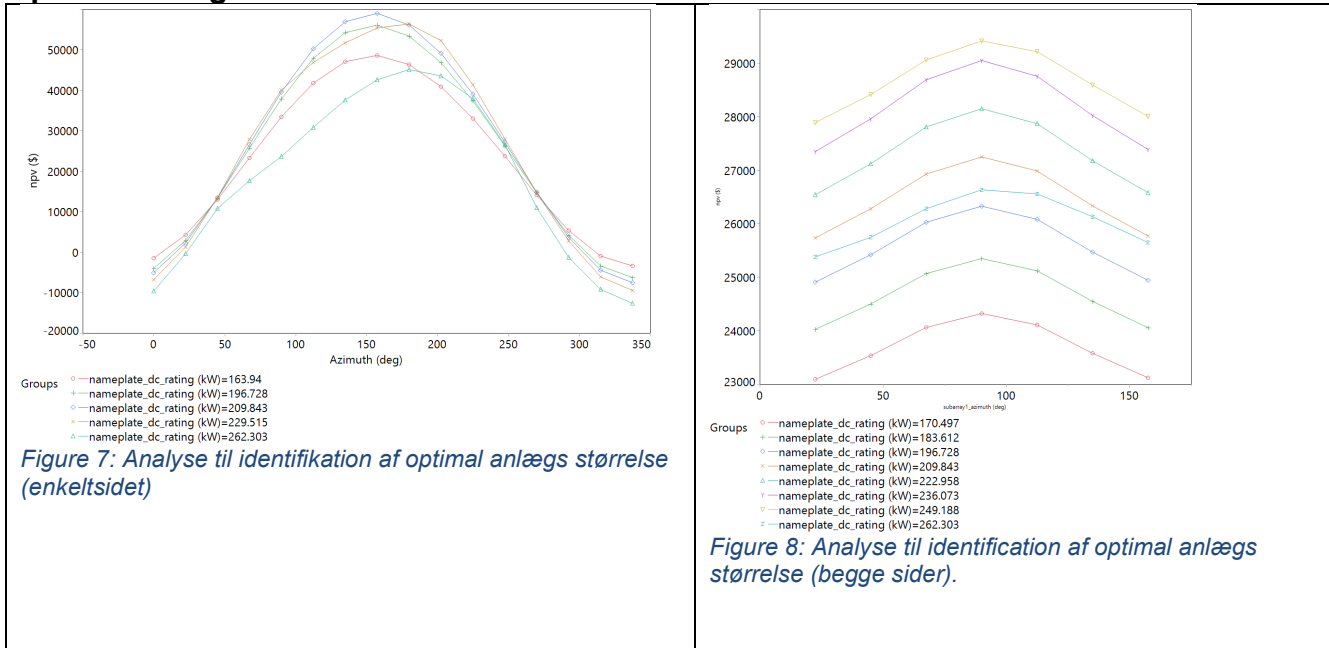
Y_f =normaliseret ydelse (h) eller (KWh/Wp) fra figur 7 og figur 8.

Wp = Installeret DC effekt, som er estimeret ved Panel effektivitet η gang med areal A .

Antages taget at blive bestykket med paneler med en effektivitet på 20 % vil et tagareal på 1430 m²

give en årlig produktion svarende til det årlige elektricitets forbrug. Hvis begge tagflader benyttes og i et sydvendt tilfælde vil 1253 m² være tilstrækkeligt, og da tagarealet er på 3644 m², er kun 35-40% af tagarealet nødvendigt. Heri er skygger fra mellemgangen der forbinder længerne, skygger fra ventilations hætter samt skygger fra omgivelserne, negligeret.

Optimal anlægs størrelse



Den optimale anlægsstørrelse for de 2 situationer er fundet ved at variere anlægsstørrelsen baseret på ovenstående antagelser og økonomiske antagelser fra table 1, samt det timebaserede elektricitetsforbrug. NPV (nutids værdi) er udregnet i SAM baseret på standardiserede finansielle modeller, se dokumentation som SAM (<https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70414.pdf>). Benyttes kun den ene tagflade ses, at størst værdi fås ved en installeret kapacitet på 210 KWp (figur 10) og benyttes begge sider fås den største værdi ved en anlægsstørrelse på 250 KWp (figur 11). Sammenlignes figur 10 og Figur 11 ses at størst værdi opnås ved kun at bruge 1 side pegende mod SØ.

Detaljeret skygge evaluering

Skygge virkninger fra ventilations hætter og midtergangen er illustreret i figur 12. I tallene, der er vist i figuren, er tabet forårsaget af skygge relativt til det uskyggede panel i samme orientering.

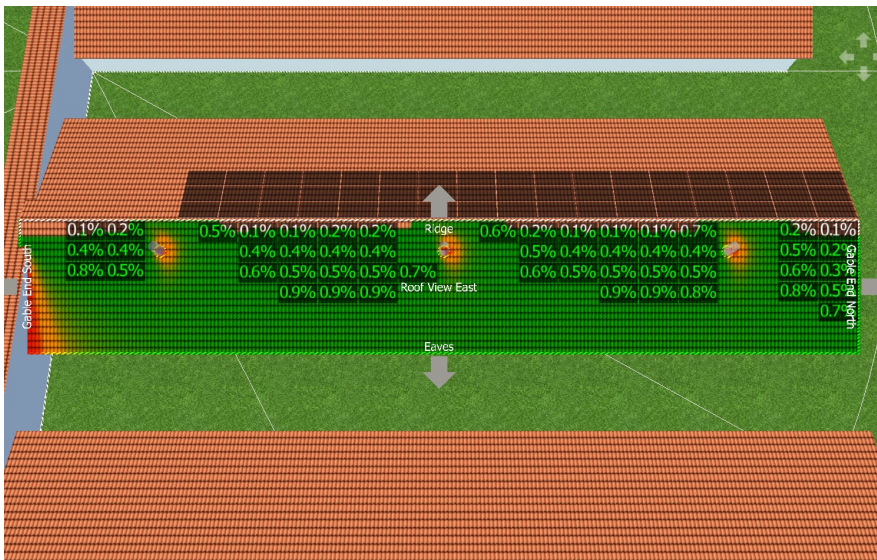


Figure 9: Indflydelse af skygger fra ventilations hætter og mellemgang. Tegningen er i rigtig skala således at længden er 44 meter langt og hvert panel er ca. 2 m langt.

Det ses, at der bør friholdes 2-4 meter tagflader op mod mellemgangen, for de nordlige længers vedkommende, samt at ventilations hætterne giver et skygge tab på panelerne. Panelerne kan placeres så skygge tabet er mindre end 1 % for det øst vest vendte anlæg.

Detaljeret simulering

En detaljeret system simulering er sat op i PVSOL Premium hvor optimal system størrelse og orientering fra indledende SAM simuleringer er benyttet.

Der er valgt et panel fra Longi Solar med en mærke effekt på 425, som vurderes at være et markeds-mæssigt standardpanel, der sælges til disse anvendelser. Panelet har en effektivitet på 19.1 % og en størrelse på 104 cm *210. (Datablad i appendix). På markedet findes en del moduler med tilsvarende parametre og derfor vil dette panel let kunne erstattes.

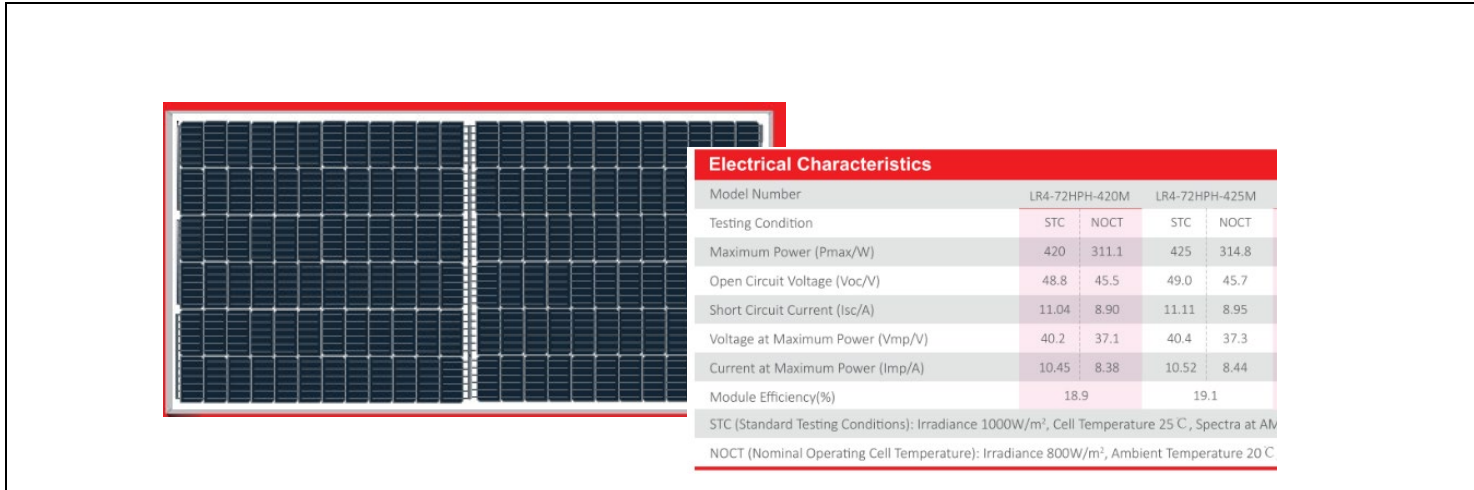


Figure 10: Billede og elektriske parametre for Longi Modulet

Mht. inverterer er der anvendt Huawei's serie sun2000 i effektklasser 17 KW og 15 KW. Disse vil også let kunne erstattes af andre modeller. (Data blad i appendix)

Ensidet sydvendt anlæg:

For det ensidet sydvendte anlæg er der lavet en simulering nedskalleret til én længe med en installeret effekt på 34 KW, svarende til 80 paneler, og med en konfiguration som vist i figur 14, hvor 2 vekselrettere på 15 KW er benyttet med 20 serielle paneler på hver deres maximum powerpoint (MPP) tracker.

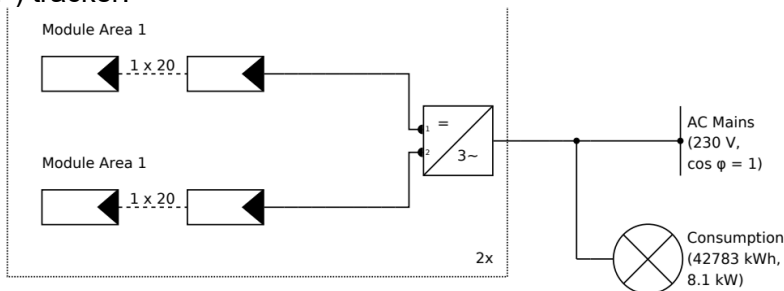
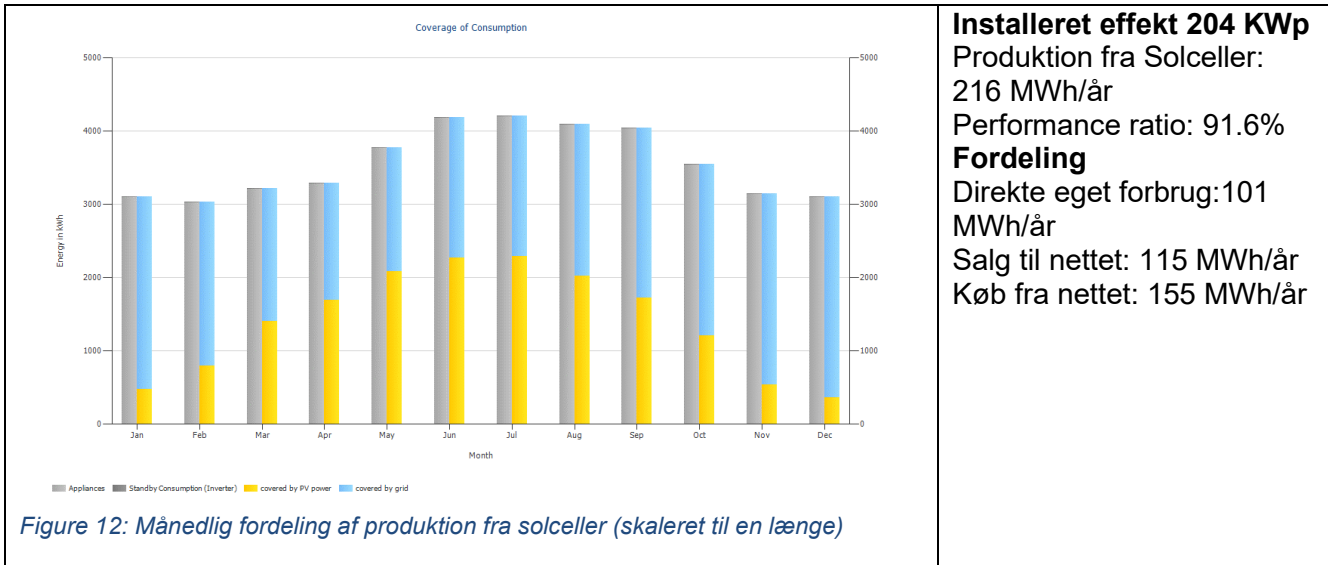


Figure 11: Anlægs diagram, for den ensidige taghældning.

Resultatet af simuleringerne er vist i figur 15, hvor strøm-dækningen er vist pr. måned. Til højre er de årlige værdier vist skaleret op til den fulde Konceptstald (Stålkonstruktions-stald). Det ses således at på årsbasis vil halvdelen af produktionen gå til direkte eget forbrug, og dette dækker ca. 40 % af det totale årlige strømforbrug.



Tosidet øst vest anlæg:

Det er lavet en tilsvarende simulering af et anlæg, hvor begge sider af taget benyttes. Også her skaleret ned til én længe. Fordelingen af paneler samt skygge objekters placering er vist i figur 16, hvor man kigger mod nord. Der er benyttet 51 moduler på hver tagside svarende til en total installeret effekt på 43 KWP.

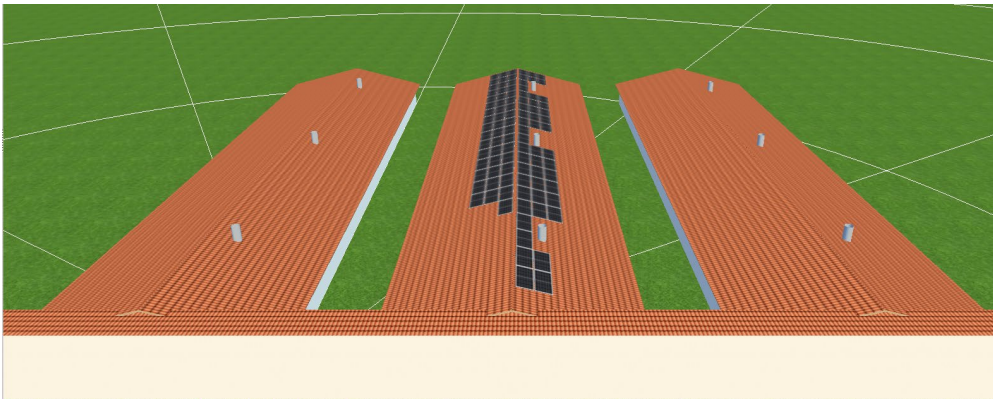


Figure 13: illustration af panel placering og simulering ved benyttelse af begge sider.

Skygge virkningen fra midtergangen, ventilationsaftræk samt de andre længer er vist for den værste tænkelige situation i figur 12. I Figure 10 er der også et forslag til en panel placering, der minimerer indflydelsen af skygger.

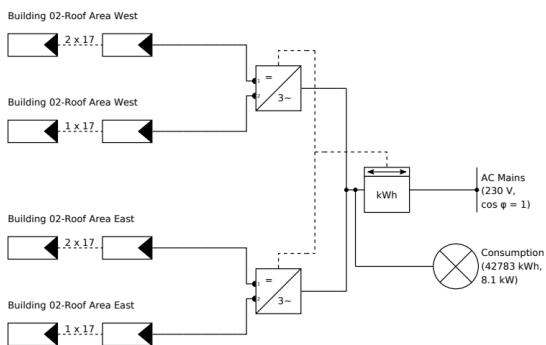
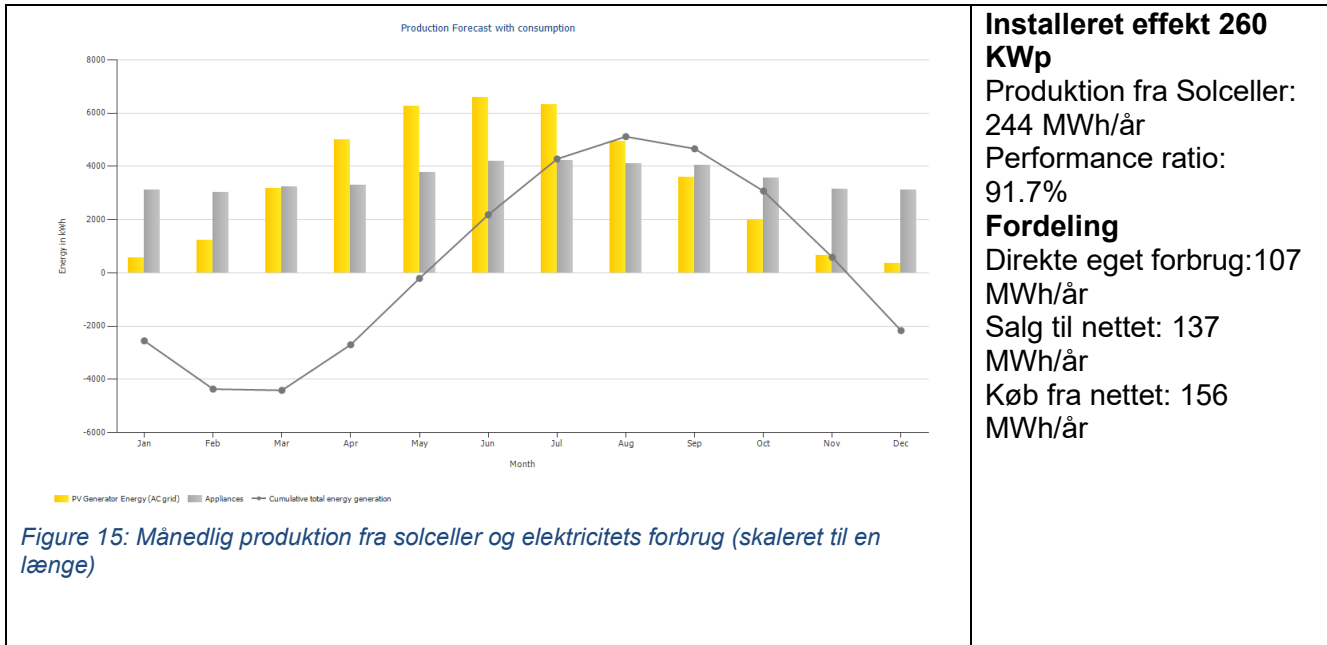


Figure 14: System diagram 2 sided tagløsning.

System diagrammet for en 2 siddet tagløsning er vist i figur 17, hvor 17 paneler er sat i serie til vekselretteren - dvs. i alt 3 strenge, 2 i parallel til samme MPP tracker.



Resultatet af simuleringen er vist i figur 18, hvor strømdækningen er vist pr. måned. Til højre er de årlige værdier vist, skaleret op til den fulde Konceptstald (Stålkonstruktions-stald). Det ses således, at på årsbasis vil ca. 40% af produktionen gå til direkte eget forbrug, og dette dækker ca. 40 % af det totale årlige strømforbrug.

Sammenligning

De to scenarier er sammenlignet (for første år) i figur 19 for den fulde koncept stald. Det skønnes at en investering i solcelle anlægget for en énsidet løsning er ca. 1.6 Mio DKK (totalt) og for en tosidet løsning er ca. 2.1 Mio kr. EL produktionen, værdien og besparelsen er størst for den tosidede løsning, men investerings omkostningerne er også størst. Med reference til de indledende simuleringer (figur 10 og figur 11) er nutidsværdien for systemet ca. 50000 USD svarende til 330.000 DKK for den enkeltsidede løsning med optimal orientering og ca. 29000 USD svarende til 191.000 DKK den for den tosidede. Da nutids værdien for begge er positiv er begge investeringer fordelagtige og den énsidede er den, der er mest økonomisk fordelagtigt. Tilføjelse af et tilstrækkeligt stort batteri vil kunne øge egetforbruget, men også installations omkostningerne. En analyse i forhold til batterier analyse udover denne rapport.

	1 Sidet sydvendt (MWh)	PV syd (tkr)	2sided øst vest MWh	Med PV (øst vest) tkr	MWh	Uden PV
Anlægs investering	204	1632	260	2080		
Produktion fra solceller	216		244			
Energi køb	155	91.45	149	87.91	256	151.04
Energi salg	115	-28.75	137	-34.25		0
Besparelse ved eget forbrug	101	-59.59	107	-63.13		
Total gevinst ved PV		88.34		97.38		
Elregning		62.7		53.66		151.04
Direkte selvforsyning	47%		44%			
Årlig total produktion/forbrug	84%		95%			

Figure 16: Sammenligning af scenarier.

Følsomhed

De viste resultater er generelt valide for Danmark, men forudsætter, at der ikke er væsentlige skygger fra andre objekter. Økonomisk er der antaget elektricitets priser og disse har især det sidste halve år været væsentlig højere end antagelserne i denne rapport. Stiger elektricitets priserne stiger både elregning men også besparelsen samt gevinst ved PV, og derfor vil nutidsværdien øges.

Installations prisen er antaget, baseret på litteratur, og historisk er komponent priserne på solceller faldet betydeligt og dette forventes også vil være tilfældet i fremtiden.

Værdierne i figur 19 er resultater for år 1. Solcellernes effektivitet falder med tiden og for solrige egne ca. 0.5 % pr år og sandsynligvis mindre herhjemme, hvilket skal tages i betragtning når nutids værdien udregnes (i figur 10 og figur 11 er denne sat til 0.5 % pr år).

Konklusion

Følgende simuleringer viser at:

1. Et tag areal på ca. 1250 -1450 m² er nok til at producere Konceptstaldens årlige strømforbrug og dette er en udnyttelse på ca. 35-40 % af det tilgængelige tagareal.
2. Benyttes begge tagflader er energi produktionen uafhængig af orientering. Er en rimeligt uskygget sydvendt tagflade til rådighed bør man i praksis kun bruge denne.
3. Optimal anlægsstørrelse i forhold til størst nutids værdi er 210 KWp hvis kun en (sydvendt (SØ-SW tagflade benyttes)) og 250 KWp hvis begge tagflader benyttes.
4. Skygge virkningen fra længe til længe giver under 1 procents tab.
5. For den optimale anlægsstørrelse under de givne forudsætninger, kan panelerne placeres således, at skygge tabet fra diverse ventilations hætter mv. er under 1 %.
6. Under de givne finansielle forudsætninger giver begge scenarier en positiv nutids værdi. Den sydvendte tagflade giver den største på 33000 kr. nutidsværdi. Haves en suboptimalt placeret bygning til rådighed, kan der sandsynligvis stadig opnås en høj nutids værdi.

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Design Proces – Understøttelse af bæredygtigt design af landbrugsbygninger

Rapport 5

Tag med PV (Blå)



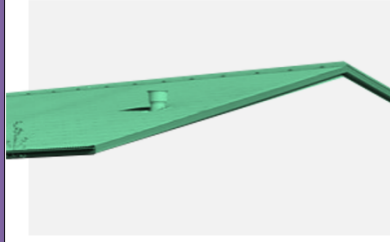
LCA 


Cost / m2 


Functional Properties
Sed nec tellus nec justo ornare efficitur.
Proin laoreet vulputate massa ut pulvinar.
Aliquam aliquet cursus suscipit. Phasellus
varius venenatis leo non rutrum.




Grønt tag



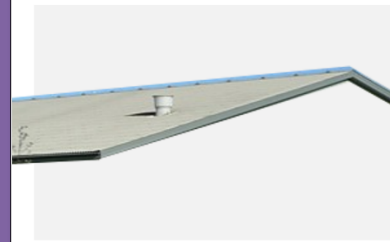
LCA 


Cost / m2 


Functional Properties
Sed nec tellus nec justo ornare efficitur.
Proin laoreet vulputate massa ut pulvinar.
Aliquam aliquet cursus suscipit. Phasellus
varius venenatis leo non rutrum.




Normalt tag



LCA 

Cost / m2 

Functional Properties
Sed nec tellus nec justo ornare efficitur.
Proin laoreet vulputate massa ut pulvinar.
Aliquam aliquet cursus suscipit. Phasellus
varius venenatis leo non rutrum.

DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI

- Design Proces - Understøttelse af bæredygtigt design af landbrugsbygninger

Rapport 5

Januar, 2022

Af

Tim McGinley, Kristian Brink, Jan Karlshøj

Projekt udarbejdet af SEGES Innovation P/S

Projektleder Kenneth Poulsen, Byggechef, SEGES Innovation P/S

ISBN: 978-87-7475-689-7

Copyright: Reproduktion af dele af eller hele denne publikation skal indeholde en reference til rapportens titel, forfattere etc.

Udgiver: DTU, Institut for byggeri og anlæg, Brovej, Building 118, 2800 Kgs.

Lyngby Denmark

www.byg.dtu.dk

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Design Proces - Understøttelse af bæredygtigt design af landbrugsbygninger

Indledning

Nærværende delprojekt er en del af et større projekt finansieret SEGES, som en del af Landbrug & Fødevarer. Delprojektet formål er at integrere bæredygtighed og specifikt Life Cycle Assessment (LCA) i projektering- og udførselsprocesser af landbrugsbygninger. Design af bæredygtige landbrugsbygninger starter med bygherredialogen, hvor kravene til bæredygtighed fastlægges. Kravene er styrende for den efterfølgende projekteringsproces, hvor BIM-værktøjer kan anvendes til modellering af bygningerne og beregningsværktøjer til at analysere bygningernes LCA. Slutligt skal projekteringsdokumentationen suppleres med krav til udførelsen, for at sikre den sker i overensstemmelse med bygherrens intentioner til bæredygtighed.

Projekteringsprocessen er ofte overset i forhold til bæredygtighedsdiskussionen, men det er her der træffes afgørende beslutninger, som ikke står til at rede under udførelsen. Det er gennem projekteringen bygningers udformning og materialevalg kan påvirkes gennem LCA og Life Cycle Cost (LCC) analyser og medvirker til at valg træffes på et oplyste grundlag.

Denne rapport er skrevet på baggrund af et casestudie med totalentreprenøren Gråkjær, men den er beregnet til at blive brugt som en vejledning, som SEGES kan bruge til at understøtte deres medlemmer i overgangen til design og udførelse af mere bæredygtige landbrugsbygninger. Trinene i den her foreslåede designproces illustreret her en række opmærksomhedspunkter, som en virksomhed bør overveje for at inkorporere i deres egen proces.

Metode og forudsætninger

Projektet har haft glæde af samarbejde med totalentreprenøren Gråkjær, som sætter stor pris på input fra Gråkjær.

For at identificere den foreslåede designproces diskuterede vi først med Gråkjær, hvordan man kan forbedre bygningernes bæredygtighed ved at forsøge at forstå, hvordan de fungerer i øjeblikket.

I samarbejde med Gråkjær, er det vigtigt, at slå fast, at de allerede har en moden proces til at engagere sig med deres kunder, og enhver proces, der foreslås her, bør bygge videre på det. Baseret på vores diskussioner med dem og vores analyse af deres designproces var vi i stand til at identificere følgende trin.

Workflow oversigt



Figur 1: Processen fulgt i rapporten. Foto copyright Gråkjær

1. Bygherredialog	4. Tjek betydning (impact)
2. Standardbygningsdele	5. Stil krav til entreprenør
3. Tilpas løsning	6. IOT/ Digital Twins - vedligehold etc.

Trin 1. Bygherredialog

Dette trin bygger på de eksisterende stærke kundeinddragende processer hos Gråkjær¹. De bæredygtige muligheder, som tilbydes kunden, skal passe ind i virksomhedens eksisterende processer og viden. Det er vigtigt at hjælpe bygherren med at formulere deres egne krav og værdier samt forstå de lovgivningsmæssige og regulatoriske krav til bæredygtighed.

Bygherredialogen kan med fordel baseres på PESTEL², som sikrer at bygherren overvejer forskellige aspekter vedrørende bæredygtighed. PESTEL er en forkortelse for Political, Economic, Social, Technological, Environmental og Legal.

Political/politisk: Har den kommende bygning politisk betydning fx gennem demonstrationsprojekt inden for bæredygtighed. Er der lokale eller regionale forhold, som øger betydningen af bæredygtige landbrugsbygninger? Kan frivillige tiltag om bæredygtige landbrugsbygninger indgå et som element i at undgå politiske initiativer om tvang?

Economic/Økonomisk: Kan bæredygtighed betale sig? Kan ekstraomkostninger finansieres? Hvor stort usikkerhed er der for værdien bevares over bygningens levetid? Hvis bygningen bliver energiproducerende, hvordan vil priserne for energi udvikle sig? Hvor stor vil omkostninger i fremtiden blive, hvis bygninger ikke kan recirkuleres? Hvor stor skal gensalg værdien være for løsningen er rentable? Hvor lang er tilbagebetalingstiden for ekstraomkostninger til bæredygtighed?

¹ <https://www.graakjaer.dk/miljoe>

² [PEST analysis - Wikipedia](#)

Social/social: Er det vigtigt for bygherren at bygninger fremtræder med en synlig bæredygtige elementer når man besøger eller passere den fx solceller? Er det vigtigt at bygningen har bæredygtighedscertifikater, som vil der være vigtigt at sikre point i certificeringsordningen?

Technological/teknologisk: Hvilke teknologiske løsninger er til rådighed, stabile, varige eller kommende? Er den teknologiske løsninger i slutningen af dens liv, eller vil den forsat have værdi efter en forventet levetid på 40 år? Skal bygningen forbedres for fremtidige teknologiske løsninger? Kan kritiske elementer opdateres når teknologien videreudvikles?

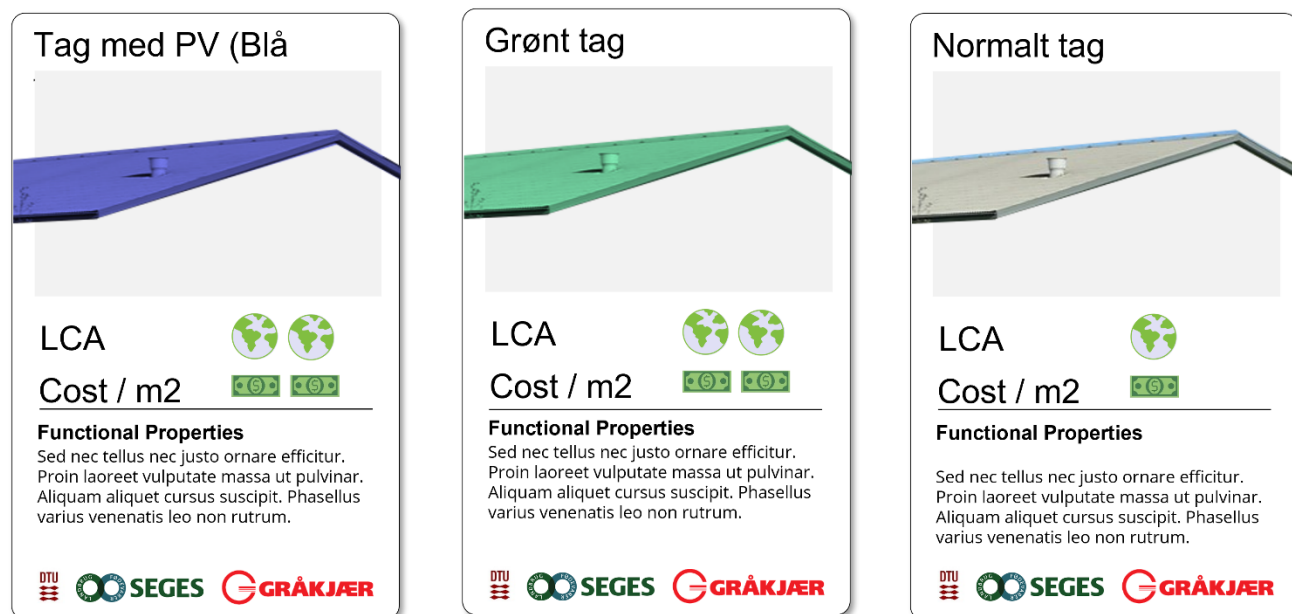
Environment/Miljø: Hvordan vil bæredygtige landbrugsbygninger være i forhold traditionelle bygninger i løbet bygningslevetid? Hvilket materialer vil i fremtiden betragtes som farlige? Vil bestemte materiale forhindrer genbrug af bygningsdele? Vil bestemte materiale eller udførelsesmetoder giver arbejdsmiljøprogrammer eller påvirker påvirke produktioner? Hvilke materialer er modstandsdygtige til produktionen i bygningen?

Legal/Lovgivning: Hvordan vil lovgivningen bliver? Vil kravene blive skærpet? Gå lovningen i en bestemt retninger fx maksimal CO₂ per pr m², per produceret dyr? Vil det være en fordel at producere sin egen energi? Hvordan forventes kravene at være til recirkulationer af bygningen?

Trin 1 skal afsluttes med skriftlige dokumentation, som fastholder bygherrens ønsker, risikoprofil og villighed til at acceptere eventuelle ekstraomkostninger til bæredygtighedselementer.

Trin 2. Standardbygningsele

I dette trin bruges standardbygningsele, eventuelt i form af kortene, til at hjælpe med at nedbryde beslutningerne om bygningen i mere overskuelige dele. I dette tilfælde refererer standarddelene til de traditionelle bygningsele af bygningen, tag, gulv, indvendige og udvendige vægge og struktur. Disse standarddele kan derefter bære yderligere muligheder, såsom solceller på taget. Et eksempel på tre kort til tagelementet er vist nedenfor.



Figur 2: Eksempel på kort, der viser forskellige muligheder for tage.

Fra et LCA-perspektiv giver 'delene' den funktionelle ækvivalens for bygningsdelen i figur 2, dette ville for eksempel være vandtætningen af bygningen, men kun én (det blå tag) genererer elektricitet til bygningen. Det er derfor meget vigtigt at overveje de funktioner, der definerer den del, da dette i høj grad vil være med til at bestemme, hvilke alternative materialer, produkter og systemer der kan understøtte den.

Videreudvikling: Disse bygningsdele kunne knyttes til både IFC- og REVIT-enheder, så de let kunne identificeres og forespørges i modellerne.

Løbende opdatering af kortene (bygningsdele) på af ny teknologi eller lovgivning, forventninger, tilbage betalingstid, gensalgsværdi økonomisk og bæredygtighedsmæssigt.

Trin 3. Tilpas løsning

Standardbygningsdelene, der er defineret i det foregående trin, kan derefter kobles til forskellige muligheder for disse dele i designmodellen. I denne forstand kunne BIM-modelleren efter kundemødet opdatere modellen med de ønskede dele fra kunden.

Videreudvikling: Der er mulighed for at automatisere denne proces, således at kortene automatisk genereres ud fra delmuligheden i modellen. På denne måde kunne kunden nemt se implikationerne af forskellige designbeslutninger i modellen.

Trin 4. Tjek betydning

For at kunne lave en analyse der viser status på det designstadiet der ligger i BIM modellen, skal modellen indeholde objekter med retvisende geometri, og som kan parres op imod produkt specifik LCA data fra Environmental Product Declaration (EPD), en miljøvaredeklaration. Hvis en EPD ikke er tilgængelig, så kan generisk data fra den tyske Ökobaudat database anvendes³.

Produktionsfase			Konstruk-tionsfase		Brugsfase							Bortskaffelsesfase				Næste produkt-system
Udvinding af råstoffer	Transport til fremstilling	Materialefremstilling	Transport til byggeplads	Installation	Ibrugtagning	Vedligehold	Reparation	Udskiftning	Renovering	Energiforbrug til opvarmning og byg-ningsdrift	Vandforbrug	Nedrivning	Transport til affaldsbehandling	Affaldsbehandling	Deponering	Genbrugs-/genanvendelses-/el. genindlingspotentiale
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

Tabel 1: De faser et produkt går igennem fra det skabes, til det skal bortskaffes eller indgå i et nyt produktsystem.

Når produkt eller systems EPD'er er fundet for de påtænkte bygningsdele kan en LCA

³ <https://tbst.dk/da/Byggeri/Baeredygtigt-byggeri/Om-baeredygtigt-byggeri#livcyklusvurdering-lca> – Klimavenligt byggeri og LCA

gennemføres. LCA kan udføres i LCAByg⁴ eller som i nedenstående eksempel, hvor et Dynamo-modul til Revit generere LCA-funktionalitet. Fordelen ved modulet at mængder direkte kan beregnes fra BIM-modellen i Revit. Der er pt. ikke lovgivningskrav til at udføre LCA-beregninger i landbrugsbygninger, men dette kan ændre sig og bestemte programmer kan blive lovpligt at benytte.

Data fra EPD'er linkes til bygningsdele i Revit modellen. Dette kan gøres enten ved at oprette parameter i Revit, hvor data indtastes, eller ved at linke en ekstern kilde til projektet, f.eks. et Excel ark.

Da det er forskelligt om en EPD gælder for et produkt eller et helt system, så vil det grundet Revits dataarkitektur, være fordelagtigt at anvende en ekstern kilde, da der også skal tænkes på vedligehold af data fra de anvendte EPD'er.

Figur 3 viser et eksempel på de miljøpåvirkninger der er i forbindelse med at fabrikere en m² sandwichelement hvor 10% af arealet er udsparinger. I dette tilfælde er EPD'en lavet på hele systemet. Det ses at flere af faserne er slået sammen, og at nogle faser er har værdien MND, Module Not Declared, eller MNR, Module Not Relevant. Disse to værdier anvendes hhv. hvis producenten enten ikke har oplyst værdien og den skal oplyses af eks. Den udførende entreprenør, eller at den ikke er relevant for det pågældende produkt.

Miljøpåvirkninger, Sandwichelement/facadeelement med mineraluldsisolering, 10% udsparinger											
Parameter	Enhed	A1-A3	A4	A5	B1	B2-B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -eq.]	9,06E+01*	1,84E+00	MND	-4,02E+00	MNR	2,72E+00	1,47E+00	1,51E+00	1,25E+00	-1,21E+00
ODP	[kg CFC11-eq.]	9,01E-07	3,03E-16	MND	0,00E+00	MNR	3,46E-16	2,42E-16	1,22E-16	2,38E-15	-1,04E-14
AP	[kg SO ₂ -eq.]	1,94E-01	4,27E-03	MND	0,00E+00	MNR	9,69E-03	3,42E-03	5,25E-03	4,30E-03	-5,91E-03
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -eq.]	4,31E-02	1,03E-03	MND	0,00E+00	MNR	2,32E-03	8,24E-04	1,27E-03	7,45E-04	-1,05E-03
POCP	[kg ethene-eq.]	9,56E-03	-1,43E-03	MND	0,00E+00	MNR	9,40E-04	-1,14E-03	4,91E-04	-4,97E-04	-5,57E-04
ADPE	[kg Sb-eq.]	4,87E-05	1,30E-07	MND	0,00E+00	MNR	1,49E-07	1,04E-07	5,23E-08	9,98E-08	-1,71E-07
ADPF	[MJ]	6,52E+02	2,49E+01	MND	0,00E+00	MNR	2,84E+01	1,99E+01	9,97E+00	1,71E+01	-1,43E+01
Caption	GWP = Global opvarmning; ODP = Nedbrydning af ozonlaget; AP = Forsuring a fjord og vand; EP = Eutrofiering; POCP = Fotokemisk ozondannelse; ADPE = Udtynding af abiotiske ikke-fossile ressourcer; ADPF = Udtynding af abiotiske fossile ressourcer										

* Det vægtede gennemsnit dækker et spænd af producenter, GWP kan variere med op til 15%, afhængigt af producent.

Figur 3: Eksempel på miljøpåvirkningen fra 1 m² sandwichelement⁵.

For at skabe et link mellem regnearket med CO₂ data og Revit, anvendes det visuelle programmeringsværktøj Dynamo. Figur 4 viser opsætningen af Dynamo scriptet, som først indlæser data fra Excel (gråt område), derefter indsamler mængder fra Revit objekter (grønne områder) og til sidst sammenligner mængder og data fra Excel og skriver resultatet tilbage til Revit, ved at farve objekter i det 3D view man står i, som det også ses af figur 6.

⁴ lcabyg.dk | Hjem

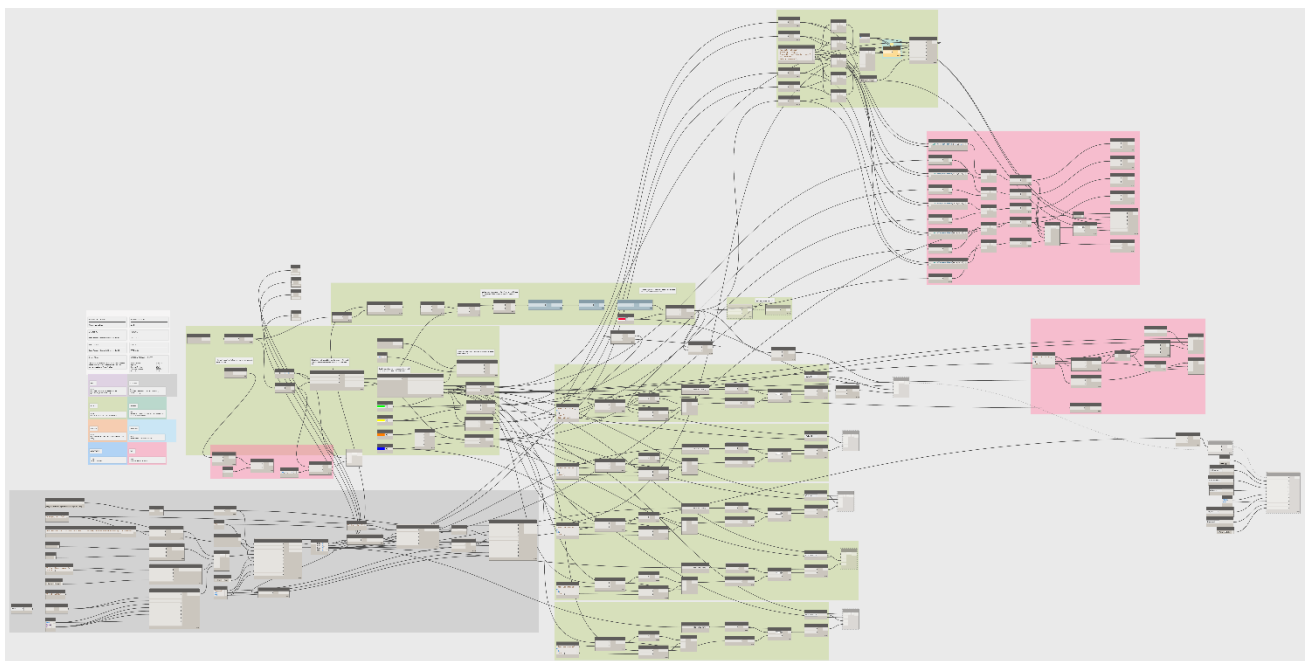
⁵ https://www.epddanmark.dk/media/0bpbhpbpl/md-20019-da_rev2.pdf

Produkt navn	Fase															Enhed på mængde materiale	Producent			
	Produktionsfase			Konstruktionsfase		Brugsfase						Borstskæffelsesfase						Næste produktsystem		
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D			
Sandwichelement				1,84	MND					MNR									m2	Betonelementforeningen
Facadesystem, 3-lags rude, aluprofiler		109,2			MND					74,7	MND	0							m2	Eller Thomsen Alufacader
Facadesystem, 2-lags rude, emaljeret		67,4			MND					66,1	MND	0							m2	Eller Thomsen Alufacader
Huldæk, 270mm med 4,14 kg armering pr. m2		54			1,19														m2	CRH Concrete
Galvaniseret konstruktionsstål		1,04			0,00839					0									kg	Give Steel
C25/C30 Beton til anvendelse i terrændæk i passiv miljøklasse		261			4,46														m3	DK Beton
38mm EPS isolering		1,59			0,0294														m2	Plastindustrien

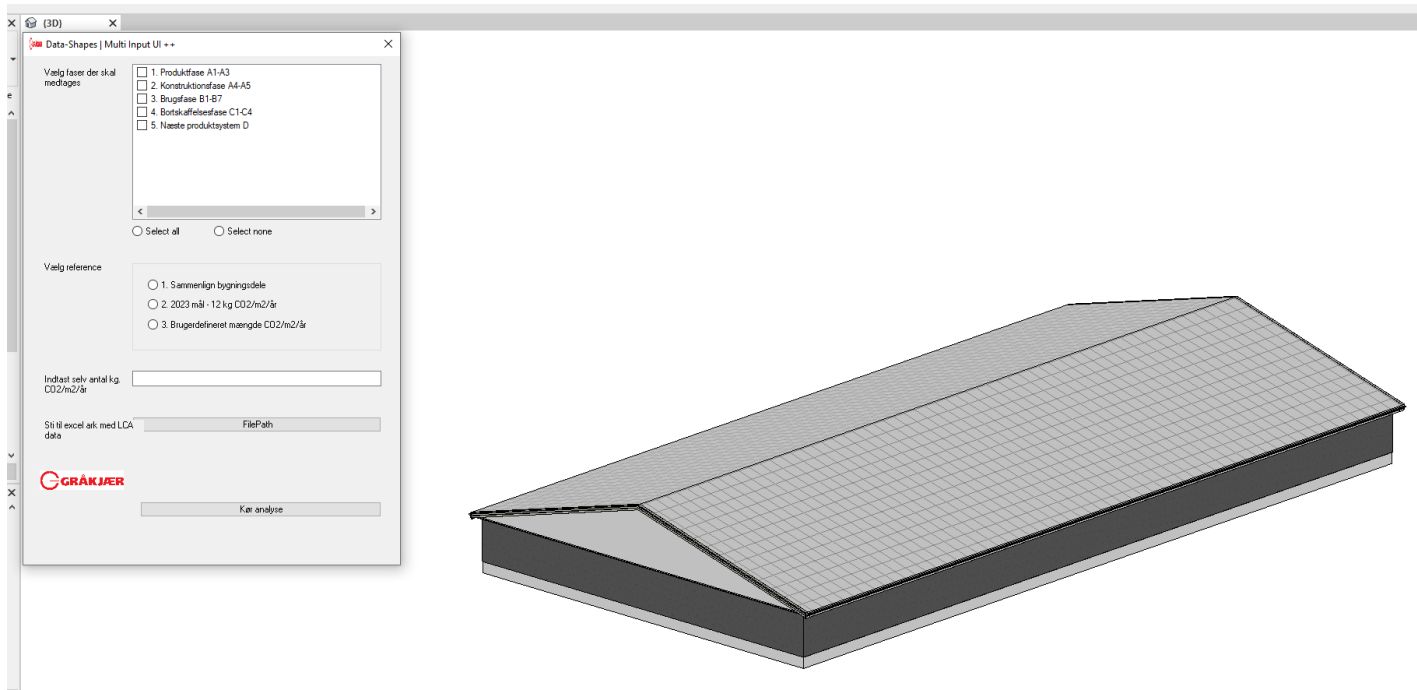
Tabel 2: Eksempler på Global Warming Potential (GWP) fra forskellige produkter.

Det er tiltænkt at script køres gennem Revits Dynamo player funktionalitet, således at en bruger ikke skal ind og ændre på noget i selve scriptet. I stedet mødes man af en brugerflade som det ses af figur 5, hvor man skal tage stilling til et nogle opstillede kriterier for analysen. Først vælges hvilke produktfaser der skal inkluderes i analysen. Derefter vælges referencerammen for analysen. Her kan enten vælges om bygningsdelene skal sammenlignes internt for at visualisere størrelsesordenen af CO₂ udledningen i forhold til andre bygningsdele, pr mængdeenhed. Alternativt kan der sammen lignedes med 2023 referencerammen, som er 12 kg CO₂ pr. m² pr. år, eller brugeren kan indtaste sin egen referenceramme. Til sidst skal der navigeres frem til det Excel ark der indeholder produkt og system data på Revit objekterne.

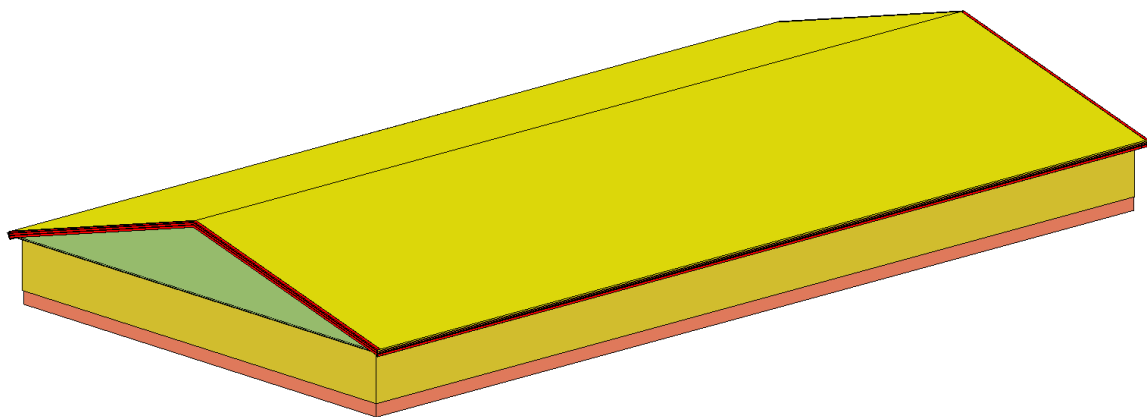
Efter analysen er udført, vil der i det pågældende 3D view være farvede elementer, alt efter analysens start parametre, vil objekterne være sammenlignet med hinanden, eller med 2023 rammen. Objekterne er farvede ved at bruge "Temporary override color" således at den let kan fjernes igen.



Figur 4: Dynamo script til anvendelse i analysen.



Figur 5: Det bruger interface der interageres med.



Figur 6: Resultater fra analysen vises som farvede bygningsdele.

Afgrænsninger

Analysen er kun præcis i forhold til at visualisere et øjebliksbillede af de indtegnede mængder, og tager således ikke højde for energiforbrug eller varmetilførsel, og kan således hverken erstatte en indledende eller fuld LCA.

Videreudvikling: Som en forlængelse af dette arbejde ville det være godt, at trin 4 kunne falde sammen med trin 1, måske gennem en webbaseret tilpasningsgrænseflade til kunden.

Trin 5. Stil krav til entreprenør

Denne fase kunne belønne det tidligere arbejde i trin 2 med at definere elementernes funktionelle egenskaber og tilbyde potentialet til at understøtte en performativ ret eksplicit BIM-model. Dette ville

give større muligheder for at udforske alternative produkter og materialer selv på dette senere trin i projekt.

Trin 6. IoT / Digital tvilling - vedligehold

Gennem eventuel overvågninger fra aktive elementer, som solceller, varmepumper, ventilatorer eller målere kan bygningen effektivt overvåges, og det vil være muligt at tage stilling, hvilke foranstaltninger der er relevante, nyttige og som er økonomisk og bæredygtig rentable. Gennem opkobling til internettet vil det både være bygherren selv eller tredjepart, som afgøre hvad der er en hensigtsmæssig handling. En systematisk vedligeholdelse af bygningen kan være medvirkende til at gøre bygningen mere bæredygtig, men det skal vurderes, hvorvidt det er økonomisk rentabelt at bruges ressourcer på vedligehold i det enkelte tilfælde.

Konklusion

På baggrund af denne rapport er det vigtigt at:

1. Ikke alle materialer og elementer i processen skal overvejes i samme detalje, og tricket er at identificere de materialer og elementer, der vil have størst indflydelse i forhold til LCA / CO₂. Dette er kompliceret, fordi landbrugsbygningernes intense funktionskrav betyder, at det i tilfælde, hvor materialerne har kontakt med dyrene, reducerer de materialer, der kan bruges. For eksempel kan tømmer spises af grisene.
2. Hensynet til den funktionelle ækvivalens af forskellige produkter skal i denne sammenhæng præsenteres for bygherren sammen med omkostningskonsekvenserne, således at de fulde konsekvenser af beslutningerne kan forstås.
3. Dette betyder i sidste ende, at det arkitekt/ingeniør/entreprenørfirmaet, som skal identificere et lille sæt af virkningsfulde muligheder, som de kan eksponere for deres bygherrer uden at overvælde deres beslutningstagning eller overkomplicere deres egne tilpasningsmuligheder. Imidlertid kan identifikation af disse "effektfulde muligheder" variere mellem forskellige virksomheder, så det bør foretages af virksomhederne. Kortskabelonen, der tilbydes her, giver et eksempel, der kan bruges til at støtte kunder i beslutningstagningen for bæredygtigheden af deres landbrugsbygninger.

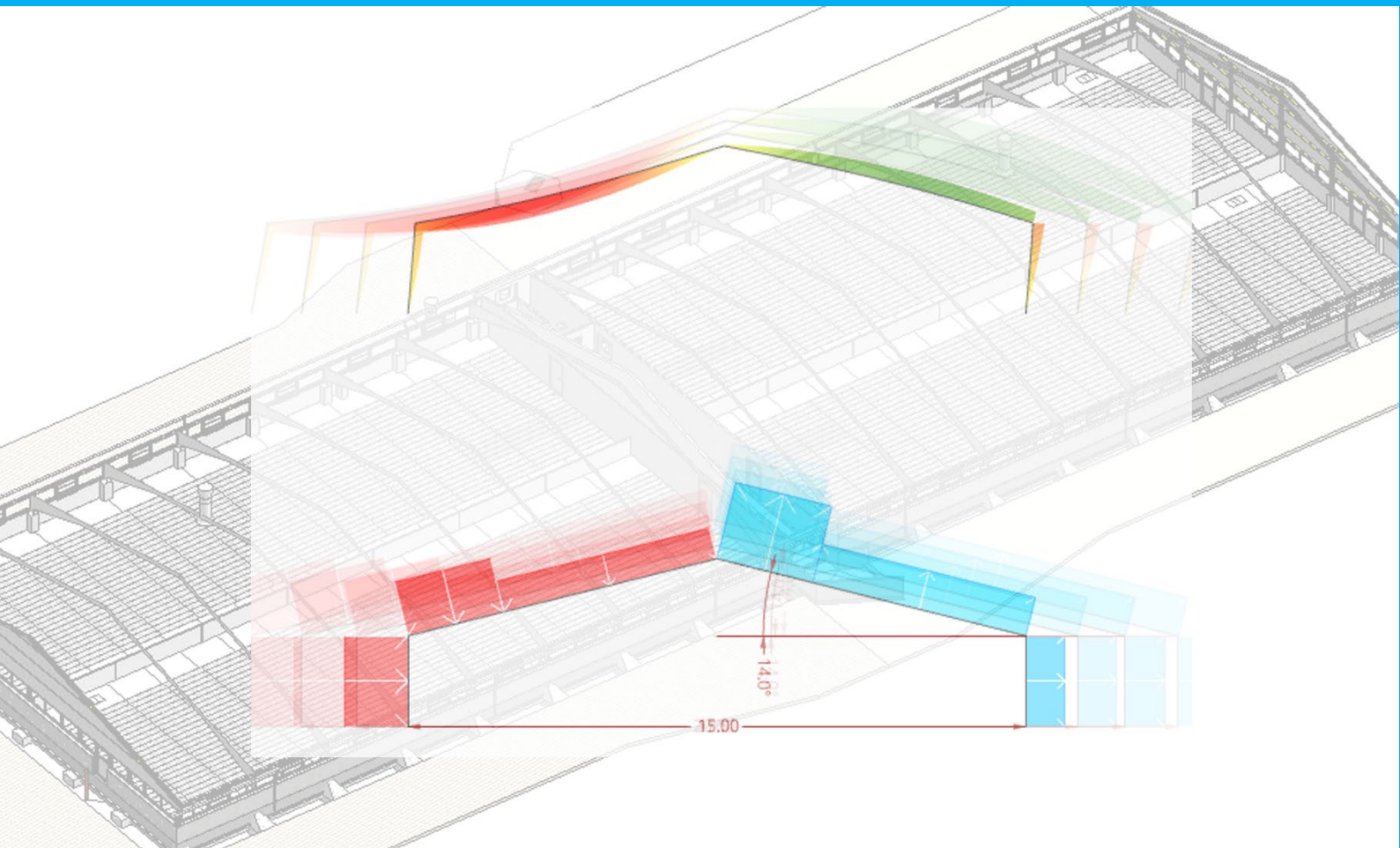
Bemærkning

Tak for det værdifulde input vedrørende projektering og udførselsprocesserne fra Kenneth Poulsen fra SEGES og Martin Rindom fra Gråkjær.

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

- Parametrisk optimering af staldbygninger med fokus på CO₂-udledning

Rapport 6



DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI

- Parametrisk optimering af staldbygninger med fokus på CO₂-udledning

Rapport 6

Januar, 2022

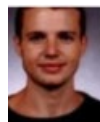
Af



Philip Halding



Arne Egerup



Kristoffer Negendahl

Projekt udarbejdet af SEGES Innovation P/S

Projektleder Kenneth Poulsen, Byggechef, SEGES Innovation P/S

ISBN: 978-87-7475-690-3

Copyright: Reproduktion af dele af eller hele denne publikation skal indeholde en reference til rapportens titel, forfattere etc.

Udgiver: DTU, Institut for byggeri og anlæg, Brovej, Building 118, 2800 Kgs. Lyngby Denmark
www.byg.dtu.dk

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Indhold

1. Introduktion	1
1.1 Parametrisk optimering	1
1.2. Typer af stalde	3
1.3. Udregning af CO ₂ -udledning (GWP) via livscyklusanalyse	4
2. Modelleringsforudsætninger	4
3. Resultater	6
4. Konklusion	9
Bilag	10

1. Introduktion

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

Der er fire arbejdsopgaver i projektet. Denne rapport er tilknyttet arbejdsopgave 3, hvor det er hensigten at belyse, om der er et fremtidigt potentiale i at optimere staldbygningers bærende konstruktion. Optimeringen er med henblik på at minimere udledningen af CO₂ uden at påvirke udgifterne ved opførelse og drift.

Denne rapport viser en såkaldt parametrisk computermodel af staldtværsnit, som sammenligner et stort antal forskellige parametre for at kunne bestemme, hvilken kombination, som er optimal. Parametrene er: Bygningsbredde, taghældning og type af rammetværsnit.

Resultaterne fra den parametriske staldtværnsnitsanalyse viser, at der umiddelbart er en fordel ved at anvende rammer i limtræ frem for stålrammer, når vi kigger på udledning af CO₂. Den optimale kombination af spænd og taghældning er beskrevet for både stål- og limtræsrammer med angivne beregningsforudsætninger, og de optimale forhold lader til at være:

Spænd: 15 m, Taghældning: 8 til 10 grader.

Det skal dog understreges, at udviklinger inden for fremstilling af materialer og byggeteknologi hele tiden ændrer på forudsætninger for beregningen af CO₂-udledningen. Desuden er der gjort en række antagelser for at simplificere de parametriske beregninger, og de gør, at resultaterne ikke kan anvendes 1-til-1 i en faktisk staldbygning. I et konkret dimensioneringstilfælde bør bygningen detailberegnes for at opnå tilstrækkelig nøjagtighed.

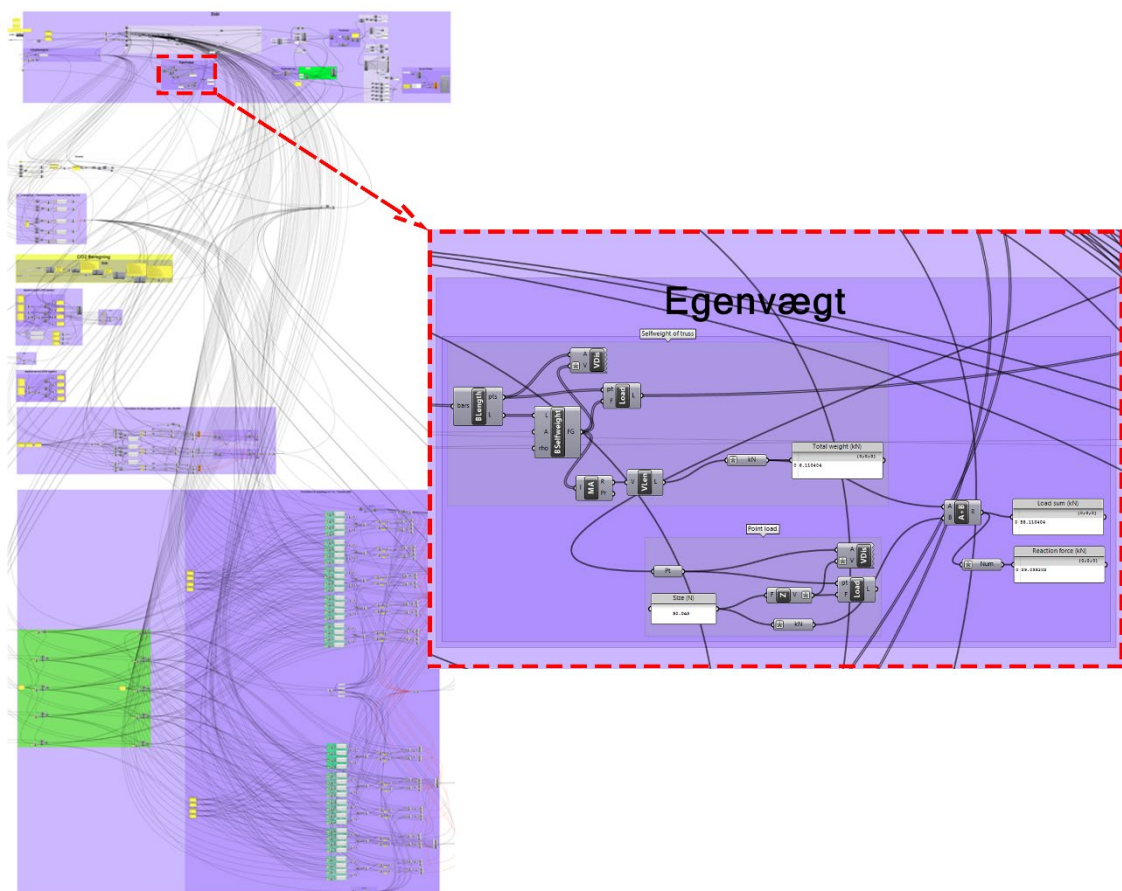
1.1 Parametrisk optimering

Parametrisk optimering er et relativt nyt værktøj for bygningsingeniører. Grundlæggende er der tale om, at der ved hjælp af computerkraft kan gennemregnes et stort antal forskellige kombinationer af bygningsparametre for at kunne opnå det mest optimale byggeri. Det optimale resultat afhænger af formålet med den parametriske model – i dette tilfælde den mindste udledning af CO₂ per areal af staldbygning.

Alle parametrene i en model (fx bygningshøjde, spænd af en konstruktionsdel osv.) opsættes på forhånd inden for nogle grænseværdier. Desuden skal det defineres, hvor store spring der skal være for hver parameterværdi. Et stort antal vil give et mere præcist resultat, men vil tage lang tid til at få beregnet, mens et mindre antal vil give et lidt grovere resultat, men med mindre behov for tid til beregning.

Der kan benyttes forskellige typer af software for at kode de scripts, som ligger til grund for beregningerne. I forbindelse med undersøgelsen er benyttet programmet Grasshopper, som oftest er anvendt af arkitekter. Der fungerer på den måde, at der kodes visuelt, ved at forskellige sektioner af kode forbindes på skærmen med "ledninger", se figur 1. En sektion kan fx være beregning af egenvægt, som det ses. I Grasshopper findes der forskellige "plug-ins", som er mindre tilknyttede underprogrammer, der kan gøre selve kodningen lettere.

I forbindelse med staldbygningerne er benyttet plug-in programmet K2Engineering og KIWI, som man begge kan anskue som en form for Finite-Element (FE) beregningsmetode (numerisk beregning). Altså et tilknyttet program, som kan beregne momenter, forskydningskraft og normalkraft af et bygningsdesign i Grasshopper, som er påvirket af en specificeret last. K2Engineering (udviklet ved DTU) blev først anvendt, men dets anvendelse var for begrænset til at give et retvisende billede af fordelingen af snitkræfterne i hver ramme. KIWI blev efterfølgende benyttet med succes, og de viste resultater i næste kapitel stammer fra beregning via dette plugin.



Figur 1: Eksempel på et visuelt script fra Grasshopper.

Selve beregningen af de mange kombinationer af parameterværdier tager oftest nogle timer, men det er selve arbejdet med at få udviklet og nedfældet scriptet, som er utroligt vanskeligt og tidskrævende. En grov beskrivelse af processen for udviklingen af et script til brug for optimering af CO₂-udledning for staldeværnsnit er givet i næste kapitel.

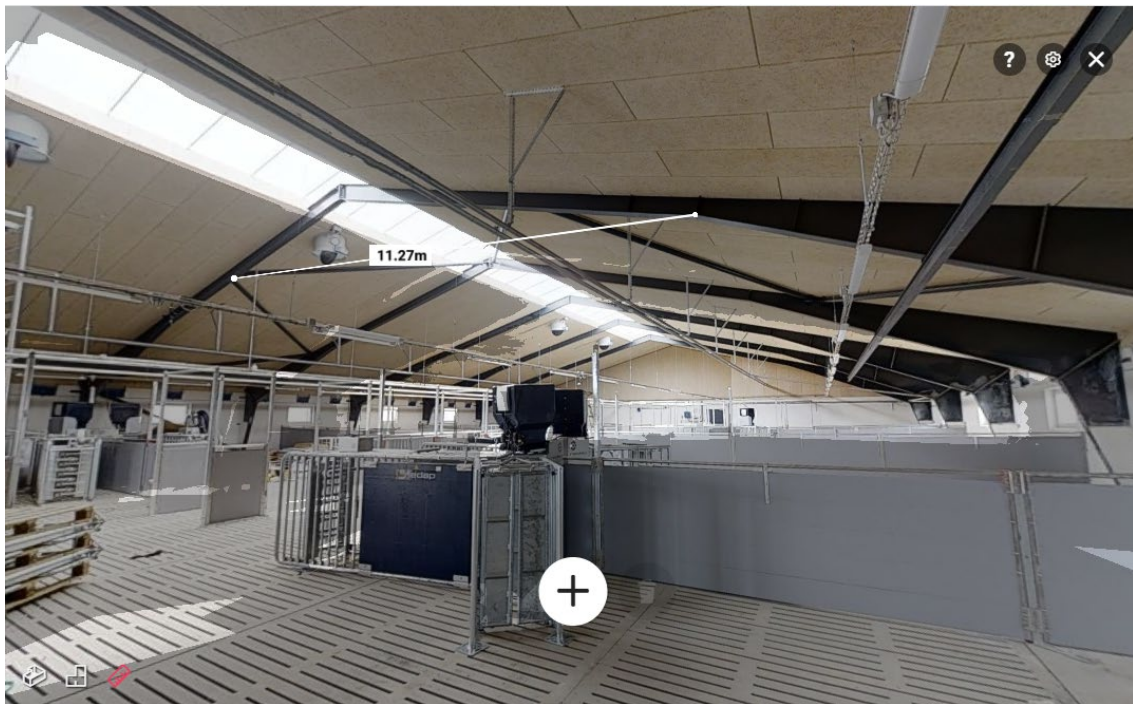
1.2. Typer af stalde

I de foregående rapporter vises nogle af de gængse staldd typer, som eksisterer i Danmark. Det har i denne rapport været mest hensigtsmæssigt at foretage den parametriske analyse for rammekonstruktioner i stål og limtræ. Der findes mange staldbygninger med stålrammer og projektdeltagerne har været på flere ekskursioner til den type af stalde, både under opførelse og i drift.

Det har været muligt at få tegninger på eksisterende stalde, og der har været anvendt 3D scanning til efterfølgende computergengivelse af opførte staldbygninger med bærende systemer som stålrammer.

Det er muligt i en begrænset periode at se et eksempel på en af de omtalte 3D scanninger via følgende link (se også figur 2):

<https://my.matterport.com/show/?m=x2TJHWaKMEP>



Figur 2: Opmåling ved hjælp af 3D scannet billede fra Hasbjergvej 39 i Vordingborg.

Der skal her nævnes, at den omstændelige udvikling af den parametriske model har gjort, at der kun har været tid til at arbejde med rammekonstruktioner med et konstant rammetværnsnit. Det vil sige, at stålrammernes størrelse fx ikke varierer fra kip til ramnehjørne, som det ses på figur 2. Der er således en yderligere mulighed for optimering af CO₂-udledningen ved at tage varierende rammehøjder i regning i modellen.

1.3. Udregning af CO₂-udledning (GWP) via livscyklusanalyse

Metoden til at udregne CO₂-udledningen (også kaldet GWP: "Global Warming Potential") for et staldbyggeri er allerede gennemgået i de tidligere projektrapporter, og der henvises til udredningen der.

I modsætning til de andre rapporter anvendes ikke LCA byg software til beregningen. Der anvendes her et LCA-skøn, hvor de forskellige faser af staldens levetid medregnes i vurderingen af den samlede CO₂-udledning. Der er dog ikke tale om anvendelse af genbrugsscenarier (normens fase D¹), hvilket også er normalt at undlade i denne typer af byggerier.

Der er i optimeringen fokus på udledningen fra den primært bærende konstruktion, hvilket er rammerne. Det antages, at træåse, pladetag og isoleringsmateriale har den samme udledning af CO₂ per m₂ i alle tilfælde. Der ændres derfor ikke i afstanden imellem rammerne, da det vil influere på denne antagelse.

Beregning af udledning af antal kg CO₂ per m³ materiale foregår som følger:

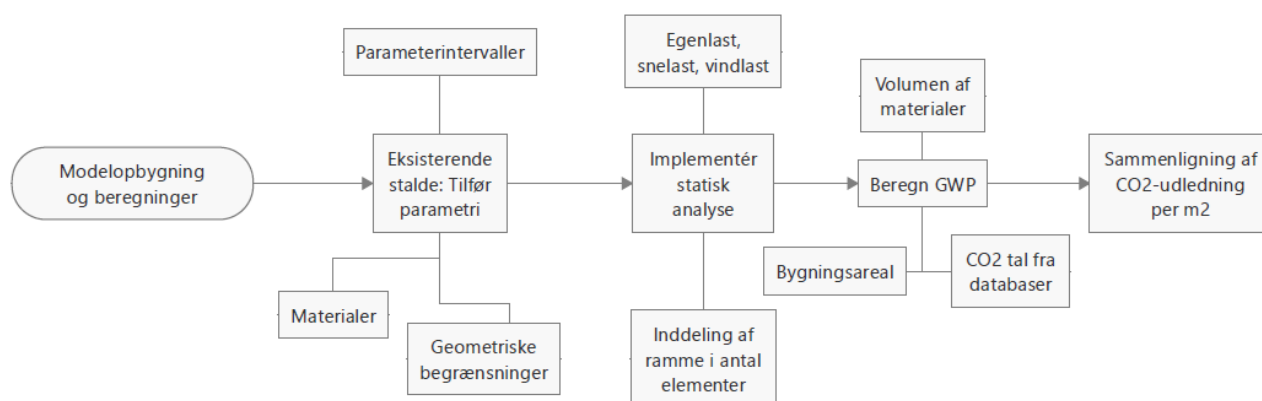
Limtræseksempel med LCA-data fra epd-Danmark:

$$\begin{aligned} A1 \text{ til } A3: & - 610 \text{ kg CO}_2 \text{ per m}^3 \\ C3 \text{ (afbrænding):} & +743 \text{ kg CO}_2 \text{ per m}^3 \\ \text{Sum:} & 133 \text{ kg CO}_2 \text{ per m}^3 \\ \text{Ved } 450 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \text{ svarer det til ca. } 0,3 \text{ kg CO}_2 \text{ per kg limtræ} \end{aligned}$$

Dette er et eksempel fra en dansk produktion af limtræ fra de nordiske lande, og udledningen er her noget lavere end fx den tyske database Ökobaudat. For stål er værdierne mere konsistente på tværs af databaser, og der regnes med 0,99 kg CO₂ per kg stål med forudsætning om, at der anvendes genbrugsstål.

2. Modelleringsforudsætninger

Modelleringen af staldtværsnit i Grasshopper er baseret på metoden i figur 3.



Figur 3: Metode for opbygning af parametriske model.

¹ EN 15978:2011

Der er fastlåst følgende geometriske forhold i modellen:

1. Rammerne kan rotere ved fundamentet, men er fastlåst mod bevægelse vandret og lodret.
2. Siderne af rammen er fastlåst i højden til 2,2 m
3. Rammeafstanden er 4,5 m.
4. Der regnes kun på fulde rammeafstande med tværlast uden vindkryds eller ved endevæg.
5. Der er for at simplificere beregninger gjort den antagelse, at rammen har det samme tværsnit overalt.
6. Modellen er inddelt i 24 elementer ved den numeriske statiske beregning.

Der er anvendt følgende parametriske betingelser i modellen:

1. Taghældning varierer fra 10 til 30 grader med et interval på 2 grader.
2. Den totale bredde (spændet) af rammen varierer fra 15 til 30 m med et interval på 2,5 m

Der er anvendt følgende materialeegenskaber i modellen:

1. Stål:
 - a. E-modul: 210 GPa
 - b. G-modul: 81 GPa
 - c. F_{yd} : 229 MPa
 - d. Der er derudover anvendt IPE-profil tværsnitsdata fra Teknisk Ståbi² for profiler fra 160 mm til 300 mm højde.
 - e. Densitet: 7850 kg/m³
2. Limtræ:
 - a. E-modul: 12,6 GPa
 - b. G-modul: 780 MPa
 - c. F_d : 28 MPa (bøjning af træ med k-last)
 - d. Der er desuden valgt tværsnitsdata fra Teknisk Ståbi, som ikke er kritiske for kipning): Fra 300 mm til 800 mm højde.
 - e. Densitet: 450 kg/m³

Lasterne i modellen er som følger:

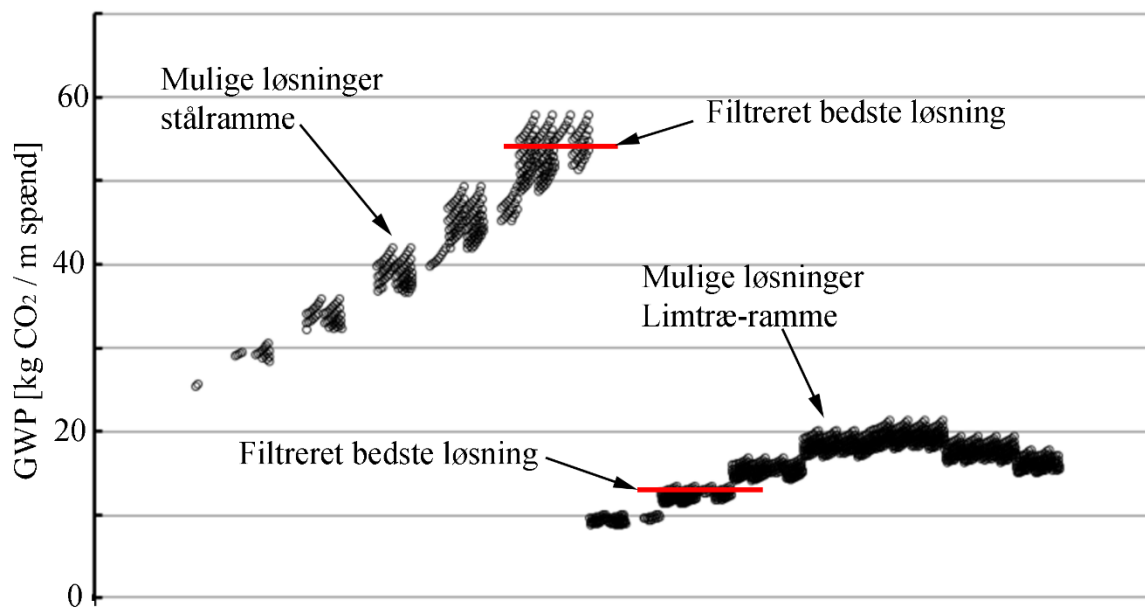
1. Egenlasten er baseret på materialevolumen og densiteten af materialerne for rammerne. Dette er tillagt vægten per kvadratmeter for beklædningen af bygningen, som er sat til 100 kg. Der er anvendt KFI på 1.0 og ingen faktor på egenlasten.
2. For at opnå et overskueligt antal lasttilfælde, er kombinationen af vind- og sne laster reduceret til fire kritiske tilfælde:
 - a. Dominerende vindlast med maksimalt tryk på den ene tagflade og maksimalt sug på den anden.
 - b. Dominerende vindlast med maksimalt sug på begge tagflader.
 - c. Dominerende snelast over hele taget med reduceret vind som a), men uden sug.
 - d. Dominerende snelast over den ene tagflade med reduceret vind som a)
3. Der er anvendt designlaster med lastkombinationsfaktorer i henhold til gældende standard.

² <http://staabi.dk/teknisk.aspx>

3. Resultater

Undersøgelsen i Grasshopper er foretaget på en sådan måde, at alle 3360 "iterationer" er gennemført uden hensyntagen til begrænsninger som maksimale udbøjninger og tilladte spændinger i tværsnittet. Efterfølgende har det således været nødvendigt at filtrere resultaterne for at kunne fremvise de optimale variationer af parametre uden at medtage urealistiske tilfælde. De filtrerede løsninger er sammenfattet i figur 4, hvor der dog fortsat ikke er taget hensyn til, at hver kombination af parametre skal kunne bære i alle fire opstillede lasttilfælde

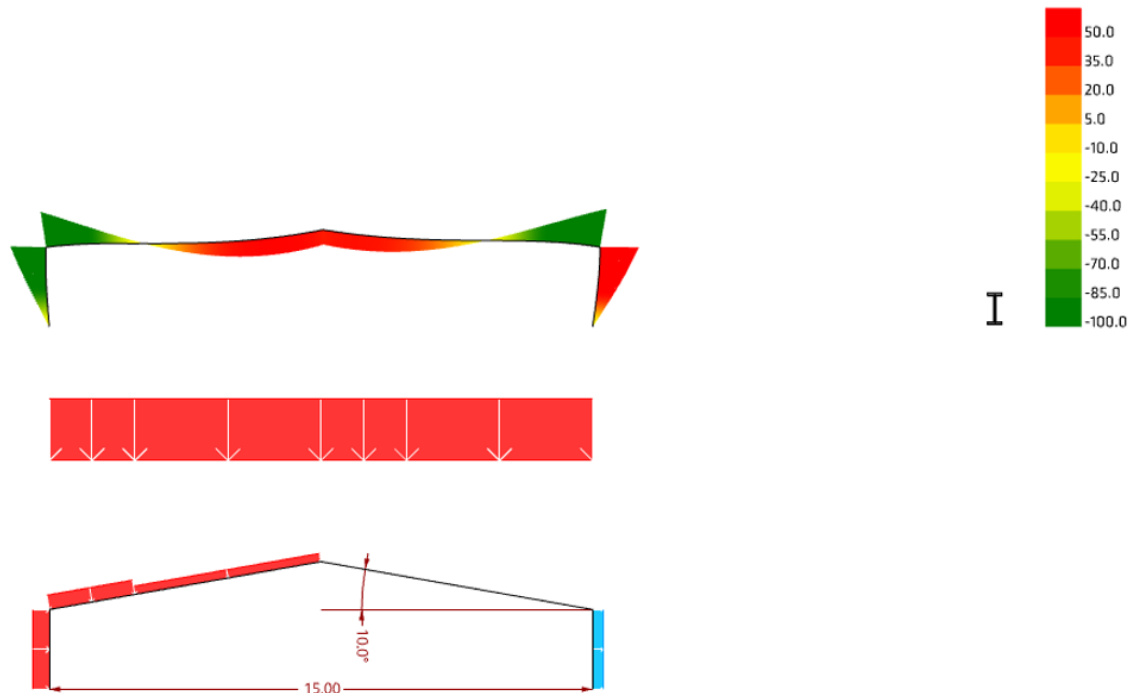
For videre at kunne filtrere resultaterne, således at en given kombination af spænd, taghældning og rammetværsnit kan bære alle de fire lastkombinationer, er der foretaget en gennemgang af output i Excel.



Figur 4: Udledning af CO₂ per m spænd. Alle løsninger filtreret for tilladelige tværsnitsspændinger. Hvert punkt svarer til et lasttilfælde for en given kombination af parametre. Tilladte løsninger som modstår alle lastkombinationer ligger over de røde streger.

Den dimensionsgivende lastkombination er dominerende sne med reduceret vind (se eksempel i figur 5). Ved denne lastkombination er bøjningsmomentet størst ved rammernes indspændte hjørner.

Idet at stålrammerne i den parametriske model ikke er udført med varierende profilstørrelse er der en stor materiale- og CO₂-besparelse at hente for stålløsningen ved bl.a. at minimere profilstørrelsen hen over midten af spændet, som det ses på eksisterende staldbygninger. Det vurderes, at der samlet set kan spares mindst 50% af den udledte CO₂ i forhold til det viste niveau i figur 4.



Figur 5: Eksempel på geometri, last og tilhørende momentfordeling for staldramme.

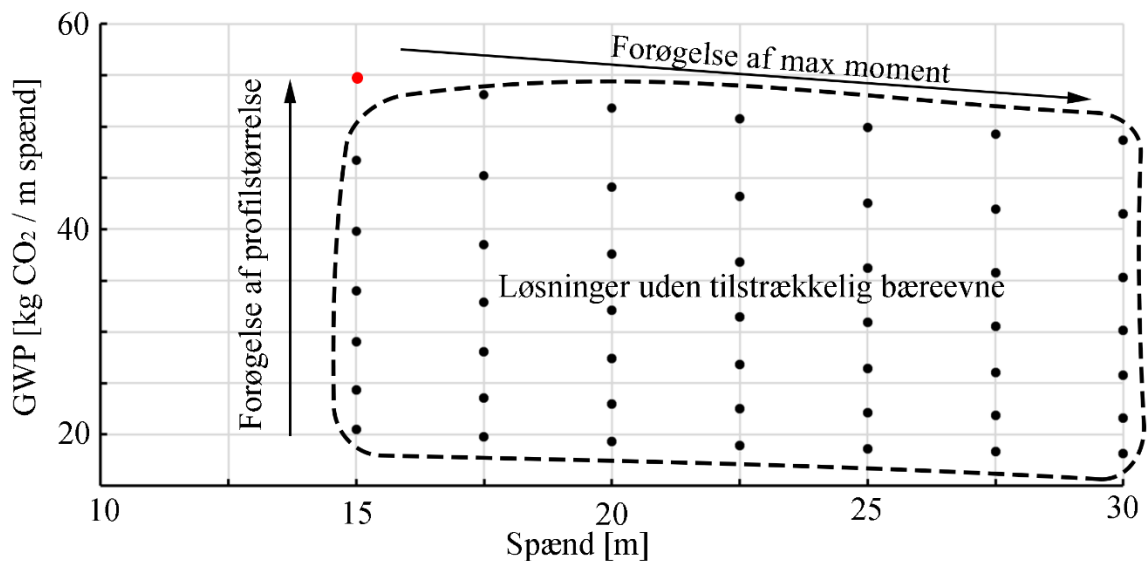
Uanset om der medregnes stålrammer med optimeret profilhøjde eller ej, så er niveauet for udledning af CO₂ fra limtræsrammerne mindre end for stålrammerne i alle tilfælde:

- Kombinationer med mindste udledning af CO₂:
 - Stålramme IPE 300 uden profilhøjdevariation: Spænd på **15 m**, taghældning på **8 grader: 55 kg CO₂** per m spænd for hver ramme.
 - Limtræsramme 400x185 mm: Spænd på **15 m**, taghældning på **8 til 10 grader: 13 kg CO₂** per m spænd for hver ramme.

I figur 6 ses GWP i forhold til spænd for alle stålløsningerne ved 8 graders taghældning (også løsninger, som overskrider de maksimalt tilladte tværsnitsspændinger). Det kan ses, at der kun er en ganske lille besparelse i udledningen af CO₂ ved en forøgelse af spændet. Samtidigt vil det betyde en markant forøgelse af momentet i rammen, og derfor vil det være nødvendigt at øge profilstørrelsen. Hver forøgelse af profilstørrelse har derimod en relativt større betydning for CO₂-udledningen.

Det indikerer, at et mindre spænd er at foretrække for at opnå den mindste udledning af CO₂.

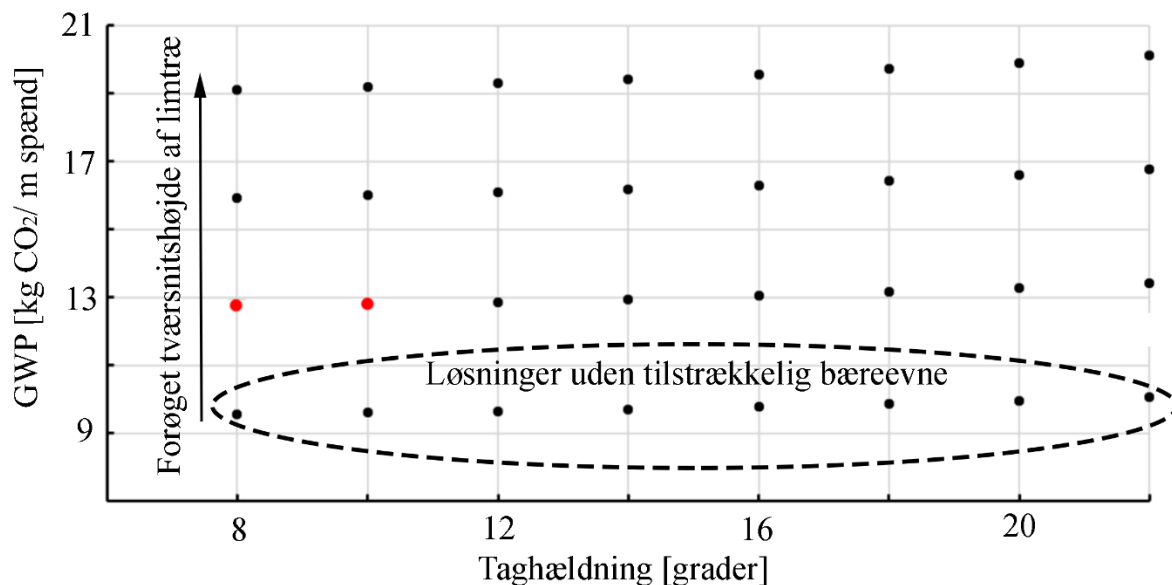
Den optimale stålløsning er vist med rød markering. Med de valgte profiler var det den eneste kombination, som kunne modstå alle fire lasttilfælde.



Figur 6: Spænd vs GWP per m for én ramme i stål med 8 grader taghældning.

Ud fra ovenstående formodes det, at en yderligere gennemkøring af den parametriske model med større stålprofiler ikke vil lede til et mere optimalt resultat. Der er som sagt i figuren anvendt samme profilstørrelse i hele rammen.

I figur 7 ses variationer af limtræsrammer med 15 m spænd. Igen er alle løsninger medtaget for at illustrere sammenhængen. Da der ikke er en tendens i ændring af momentet ved en ændring af taghældningen (varierer meget for hvert lasttilfælde), ser det ud til, at en mindre taghældning i gennemsnit vil være en fordel. Den optimale løsning er da også 8 til 10 grader her, som det ses markeret med rødt i figuren.



Figur 7: GWP per m ramme for limtræsrammer med forskellige taghældning for 15 m spænd. Medtaget er tværsnitsdimensioner: 300x185 mm, 400x185 mm, 500x185 mm og 600x185 mm.

4. Konklusion

Den parametriske optimering via Grasshopper og plug-in'et KIWI er et stærkt værktøj til at undersøge et stort antal forskellige parametre i en stald-rammekonstruktion. Det er dog omstændeligt at udarbejde det script, som ligger bag beregningen.

Der er foretaget en analyse af rammer til staldbygninger i limtræ og stål. Parametrene er bygningsspænd, taghældning og tværsnitstype. Det har været nødvendigt at gøre en række antagelser for at simplificere udregningen. Bl.a. vurderes kun de fire skønnet mest kritiske lastkombinationer og der arbejdes ikke med varierende stålprofilhøjder i en ramme (som der typisk ses i eksisterende stald-rammer af stål). Det sidstnævnte vil uvægerligt have en betydning for udledningen af CO₂ fra stålramme-stalde, og det vurderes, at der kan skæres mindst 50% af udledningen.

Således vil resultaterne for CO₂-udledningen per m ramme inkl. beklædning ikke direkte kunne anvendes i praktiske dimensioneringstilfælde. Resultaterne skal derfor kun ses som vejledende.

Alle resultaterne er opgjort som kg CO₂ per meter rammespænd – altså noget der kan omregnes til en udledning af CO₂ per gulvareal for indre rammer i konstruktionen. For en hel bygning må der så ganges op med antal rammer og tillægges gavle, vindkryds etc.

De optimerede resultater giver en indikation af, at limtræ er en bedre løsning end stålrammer i forhold til CO₂-udledning bygningens levetid. Dog skal det understreges, at udvikling inden for produktion af materialerne er i konstant udvikling, og at der om få år kan være helt andre CO₂-tal tilgængelige fra fx produktion af genbrugsstål. Desuden er materialeholdbarheden en vigtig faktor i det barske staldmiljø, som heller ikke er berørt her.

Resultaterne fra det analyserede eksempel viser, at der er en tendens til, at det mindste spænd i det angivne parameterinterval (15 m) giver den laveste udledning af CO₂ per meter ramme for stål-tilfældet. Det samme gælder limtræ.

I et eksempel for limtræsrammer er der vist, at der udledes marginalt mindre CO₂ ved de laveste taghældninger i det undersøgte interval (8 til 10 grader). Da der ikke umiddelbart er en fast tendens i forhold til fx udviklingen af største moment som funktion af taghældning af staldrammer, kan det som tommelfingerregel siges, at taghældningen kan vælges frit, men ser ud til i de fleste tilfælde at være optimal ved de laveste hældninger.

Samlet set må det konkluderes, at den største CO₂-besparelse i eksemplet ses ved at reducere staldtværsnitsspændet ned til fx 15 m. De funktionsmæssige udfordringer ved en smallere stald er ikke taget i betragtning her.

Bilag

Ved henvendelse til Philip Halding, Arne Egerup eller Kristoffer Negendahl fra DTU Byg kan udleveres Excel-ark med al data, rapport fra den studerende (der har arbejdet indledningsvist med emnet) og figurer af samtlige parametriske iterationer.

Danmarks
Tekniske
Universitet

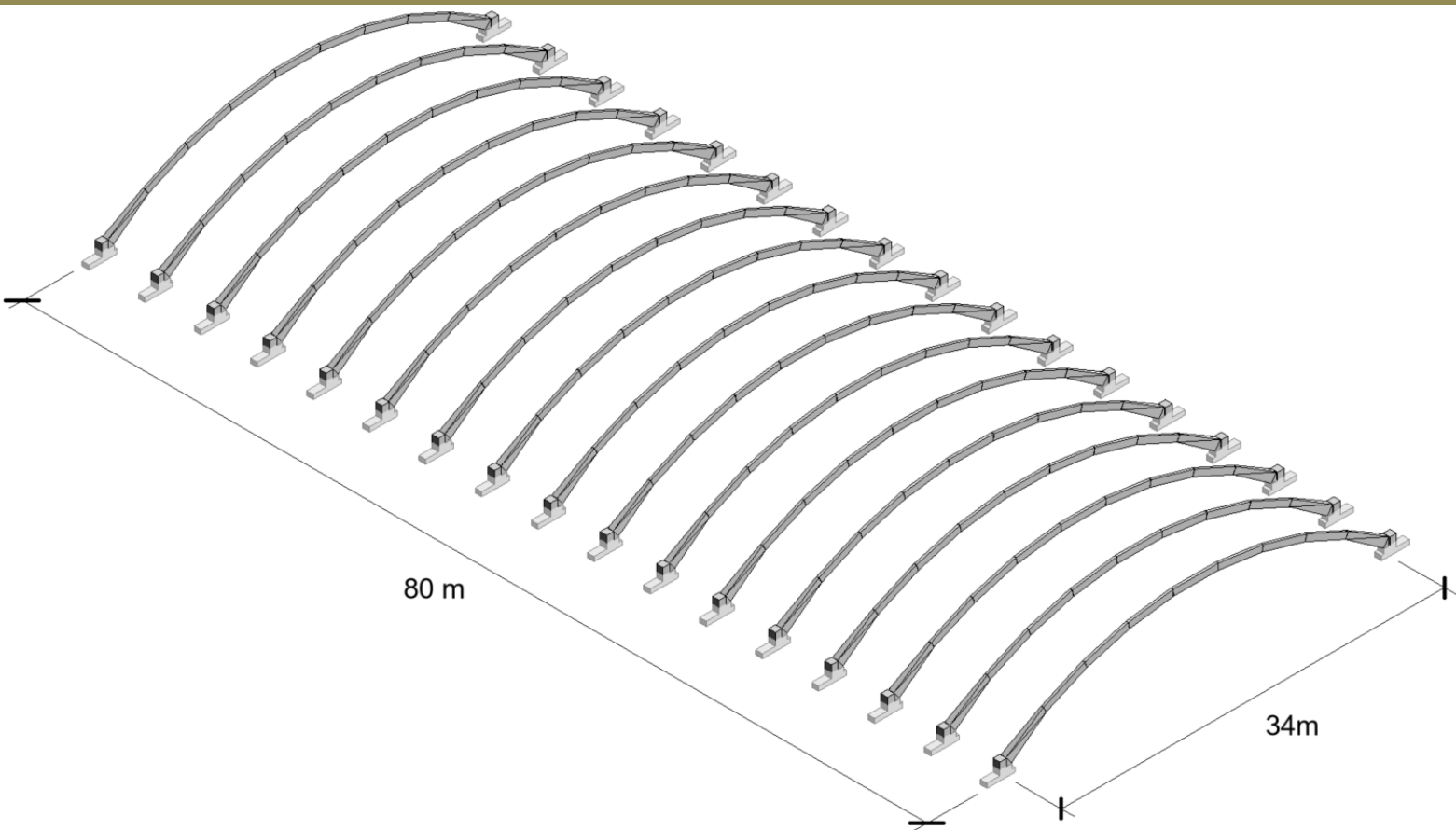
Brovej, bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 4525 1700

www.byg.dtu.dk

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

- Pris og CO₂-udledning af typiske stalde og en stald med ny byggeteknologi

Rapport 7



DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI

- Pris og CO₂-udledning fra typiske stalde og en stald med ny byggeteknologi

Rapport 7

Januar, 2022

Af



Philip Halding

Projekt udarbejdet af SEGES Innovation P/S

Projektleder Kenneth Poulsen, Byggechef, SEGES Innovation P/S

ISBN: 978-87-7475-691-0

Copyright: Reproduktion af dele af eller hele denne publikation skal indeholde en reference til rapportens titel, forfattere etc.

Udgiver: DTU, Institut for byggeri og anlæg, Brovej, Building 118, 2800 Kgs. Lyngby Denmark
www.byg.dtu.dk

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Indhold

1	Introduktion	1
1.1	Buer i konstruktioner	1
1.2	Perlekædeteknologi.....	4
1.3	Udregning af CO ₂ -udledning (GWP) og referencestalde.....	6
2	Konstruktionsopbygning	8
2.1	Montage.....	11
3	Resultater	12
4	Konklusion	15
	Bilag	16

1. Introduktion

Dansk landbrug ønsker at bidrage til en grøn omstilling i samfundet. Der er mange indgange til feltet, og én af dem er at undersøge mulighederne for at etablere bæredygtigt landbrugsbyggeri. I samarbejde med SEGES, som er tilknyttet interesseorganisationen Dansk Landbrug og Fødevarer og entreprenørfirmaet Graakjær, blev det besluttet at benytte en standard svinestald som casestudie. Danmarks Tekniske Universitet, Institut for byggeri og Anlæg udfører en serie af analyser, med fokus på at minimere udledningen af CO₂.

Der er fire arbejdsplaner i projektet. Denne rapport er tilknyttet arbejdsplan 3, hvor det er hensigten at belyse, om der er et fremtidigt potentiale i at optimere staldbygningers bærende konstruktion. Optimeringen er med henblik på at minimere udledningen af CO₂ uden i for høj grad at påvirke udgifterne ved opførelse og drift.

Denne rapport viser en alternativ opbygning af stalde med buer af præfabrikerede betonelementer, som er spændt sammen i en buform. Løsningen baserer sig på teknologi, som er opfundet og afprøvet af DTU Byg. Buerne er opsat på samme vis, som rammerne i en stålstald, og der er monteret beklædning og isolering uden på buerne. Bueløsningen er holdt op imod typiske staldeværsnit med spænd på 25 m, og der foretages en sammenligning af CO₂-udledning og gives skøn af opførelsesomkostningerne.

Resultatet viser at den nye foreslåede betonbuekonstruktion er teoretisk brugbar og fuldt konkurrencedygtig i forhold til to referencetalde, når der sammenlignes på pris for de bærende materialer. Dog er den beregnede CO₂-udledning fra betonbueløsningen 127% højere end for referencetalde med træspær. Det er kun de primært bærende dele af konstruktionerne, som er sammenlignet.

Det skal understreges, at beregningerne er vejledende, og at der i alle tilfælde skal foretages en detaljeret statisk beregning, samt en opdateret LCA-analyse af konkrete stalddprojekter.

1.1 Buer i konstruktioner

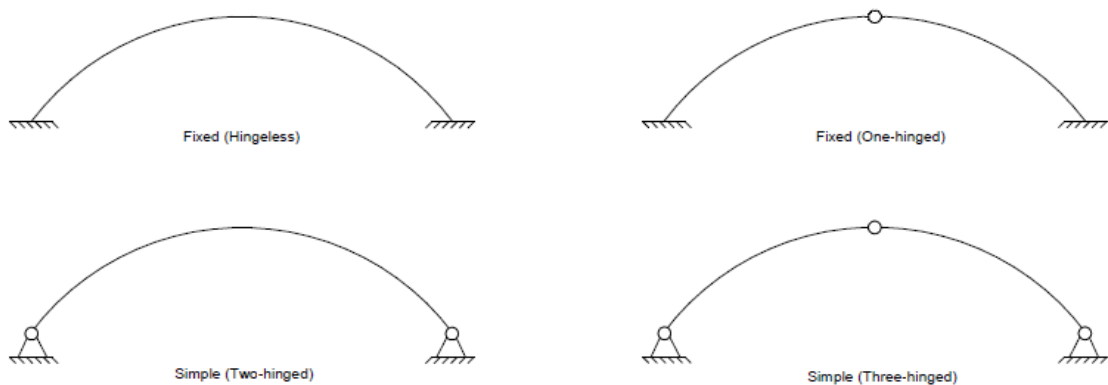
Buer har været anvendt i konstruktioner i tusindvis af år. Årsagen til denne popularitet har været, at det er en utrolig stærk form til at modstå typiske jævnt, fordelte laster som trykspændinger. En parabelformet bue kan faktisk modstå en jævnt fordelt last udelukkende som tryk i buen og uden momenter.

Denne fordel gør, at der i mange tilfælde kan spares materiale ved at benytte bueformen. Buer har dog den udfordring, at der altid vil opstå udskridende vandrette reaktionskræfter

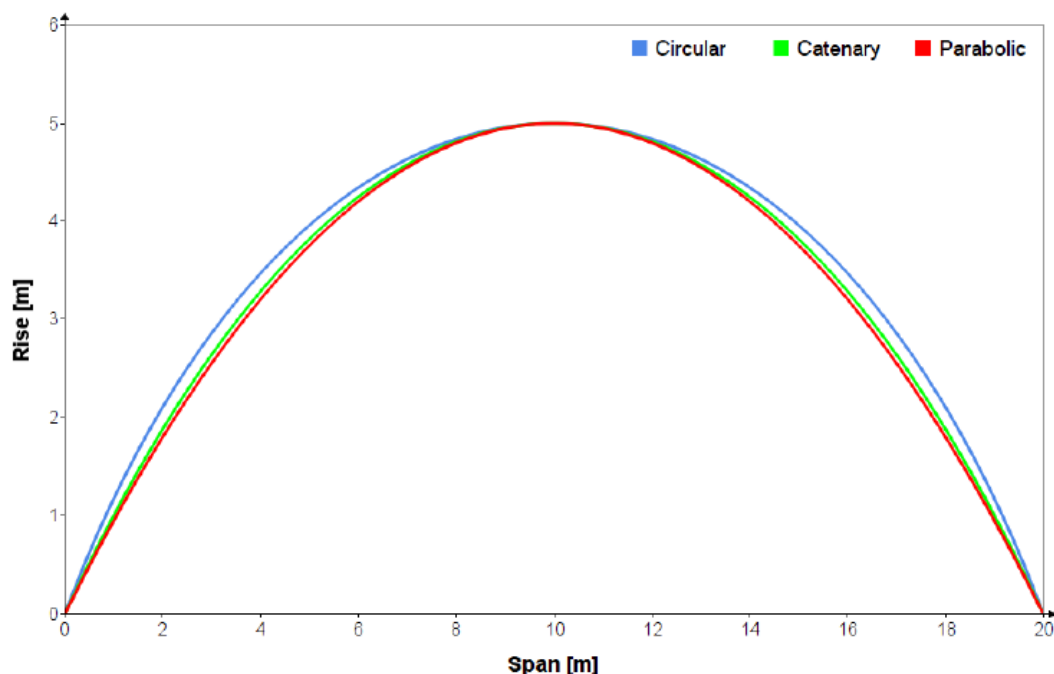
ved fundamentene, når buen er belastet, og disse kræfter skal modvirkes ved at bygge store fundamenter, som fx udnytter jordtrykket, eller et trækbånd, som forbinder bueenderne.

Det statiske system (figur 1) og bueformen (figur 2) og lasterne (figur 3) har betydning for om der opstår momenter og forskydningskræfter i buen og med hvilke størrelser. I dette projekt anvendes cirkelformen, da det giver en ens krumning i hele buen. Det har en fordel i forbindelse med opbygning af buen, da alle betonelementer kan laves identiske. Forskellen på de forskellige bueforme er beskeden, når der er tale om en relativt lav bue.

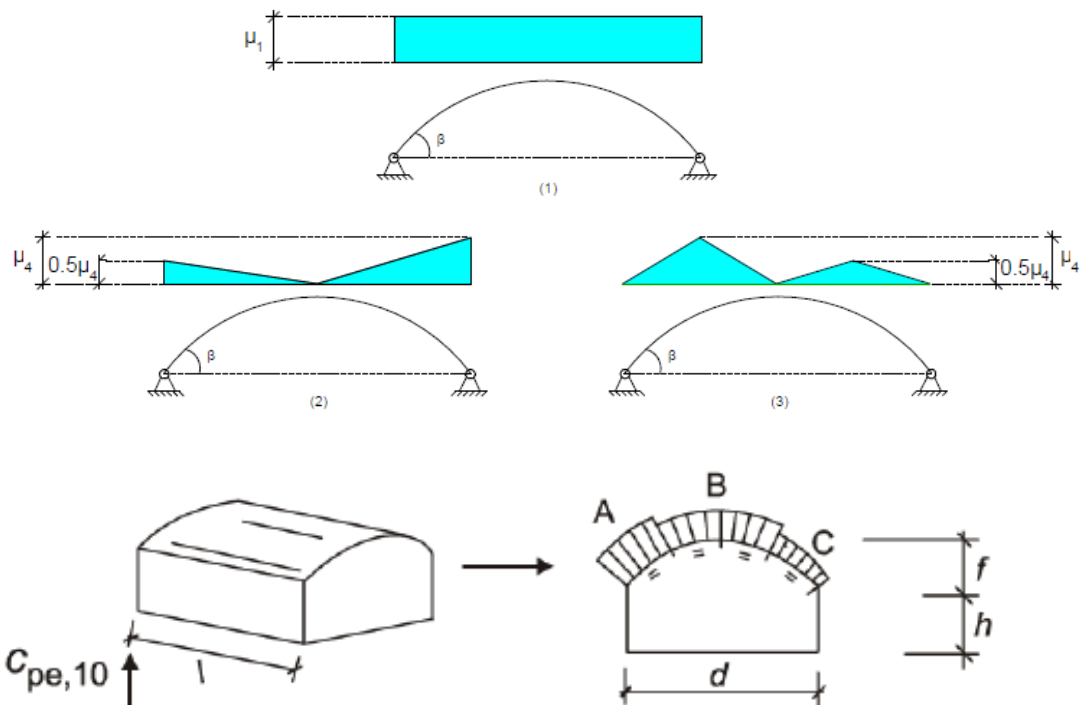
Til statisk system er valgt en to-hængslet løsning, hvilket i praksis er lettest at opføre.



Figur 1: Statisk system fra indspændt til trehængslet. Mest praktisk er en to-hængslet løsning.



Figur 2: Tre gængse bueformer i konstruktioner: Parabel er optimal for jævn lodret last, kædelinjen (catenary) er optimal for egenlast, og cirkelformen er optimal for jævn last vinkelret på buen.

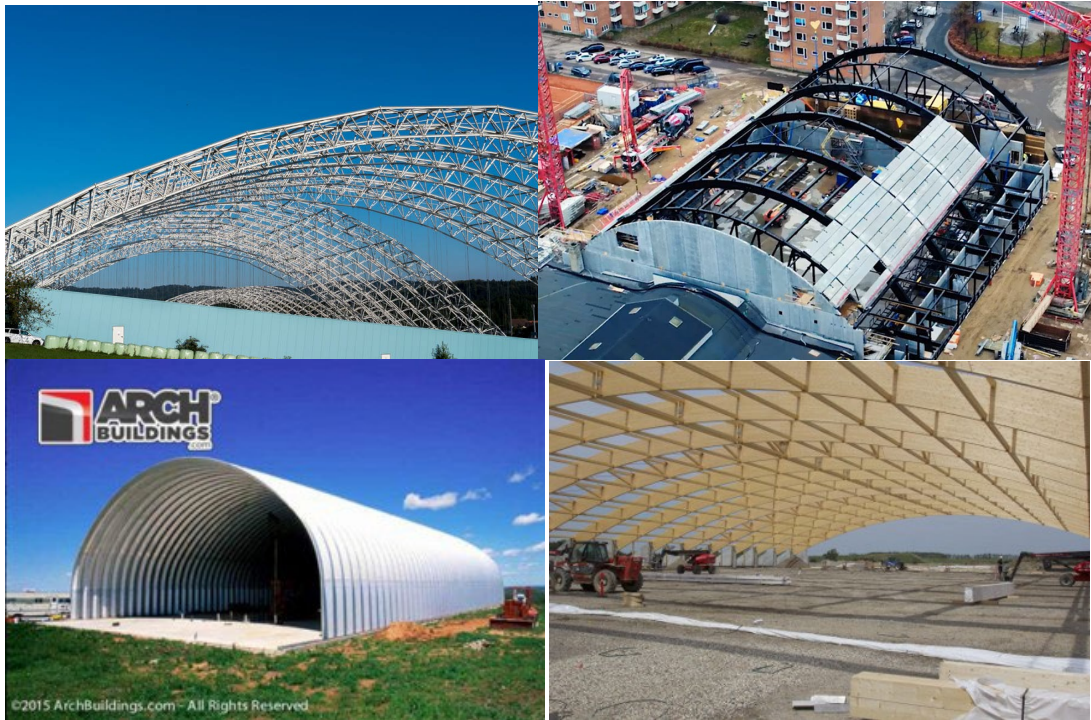


Figur 3: Øverst: Mulige snelastkonfigurationer. Nederst: Vindlast på buede tage¹

Ud over at der opstår vandrette reaktioner i en bue, så skal man være opmærksom på skæv belastning, som oftest er dimensionsgivende. En belastning på den ene buehalvdel vil give positive momenter i den belastede side, og negative momenter i den ubelastede side. Det betyder, at den negative momentkapacitet også kan være kritisk i forhold til eftervisning af buetværsnit.

I figur 4 er der givet en række eksempler på større buede konstruktioner i forskellige andre materialer.

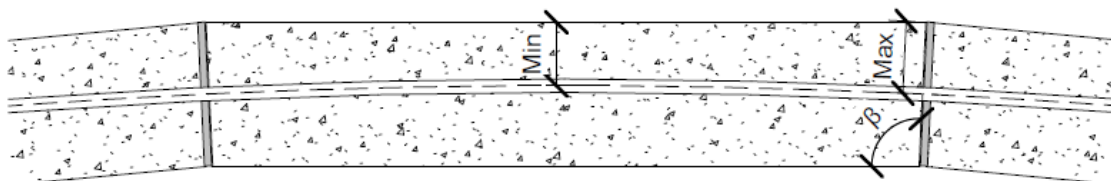
¹ EN 1991 FU:2015 Actions on structures



Figur 4: Top: ståløsninger med gitteropbygning og massive profiler. Bund: Rundbuehal i stål og limtræsuer.

1.2. Perlekædeteknologi

For de præfabrikerede betonelementbuer anvendes en ny teknologi kaldet "perlekædearmering". Princippet er, at der støbes flade betonelementer med en lille hældning i enderne. Inden i elementerne indstøbes en kabelkanal, hvorigennem der trækkes et kabel. Når et antal af disse elementer "trækkes" på det samme kabel, og kablet derefter spændes op imod enderne, så opstår der en bueform, som afhænger af kabelkanalens krumning og vinklerne for enden af hvert betonelement. Se figur 5 for et eksempel.



Figur 5: Øverst: Principskitse set fra siden af kabel, der løber igennem flere flade betonelementer med skrå ender. Nederst: Teknologien i brug ved bro over å i Jylland. Opspændingen af kablet ses i enden af det sidste element.

Elementernes længde, kabelkanalens krumning, og endernes vinkel beregnes, så de stemmer overens med den ønskede form af buen. Det er også muligt at have flere forskellige krumninger i én bue. Elementerne er flade for at opnå en så simpel og billig produktion og transport som muligt. Der kan ilægges armering i elementerne for at opnå en højere bæreevne, og det er også muligt at lægge in-situ armering imellem elementer, hvis det er nødvendigt.

I forbindelse med opspændingen er det som minimum nødvendigt at gøre plads til specialarmering i enderne, for at undgå lokale brud. Man vil oftest injicere en mørtel ind i kabelkanalen efter opspænding, men det kan overvejes and undlade dette, da det så i fremtiden vil være muligt at afmontere buerne og adskille elementerne til genbrug. Montage sker ved at elementerne til en bue placeres på et vandret underlag i den rigtige vinkel (se figur 6), så støbes mørtel i overgangen mellem hvert element, og dagen efter sker opspændingen. Buerne løftes på plads med en kran og sættes på forberedte fundamenter.



Figur 6: Elementer står på siden og er klar til at få støbt samlinger og blive spændt op.

Alle metoderne til at samle og montere buerne er gennemprøvede og perlekædebuer har været udsat for verificerende fuldskala brudforsøg af flere omgange.

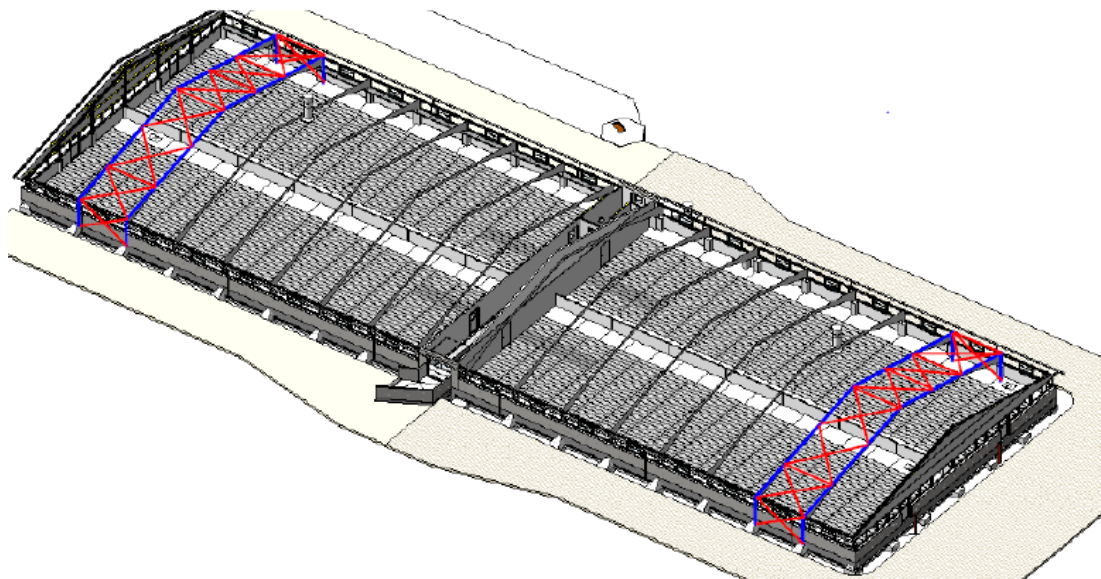
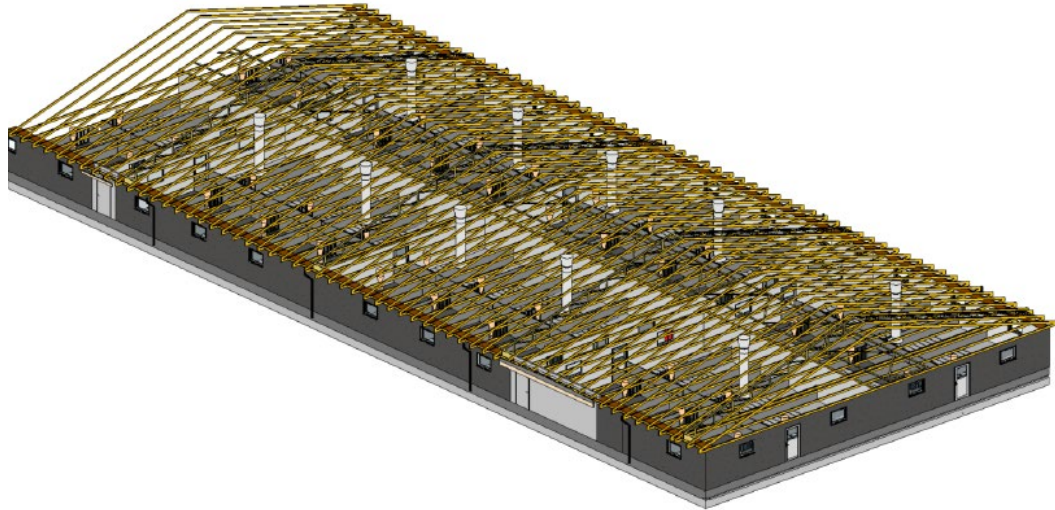
1.3. Udregning af CO₂-udledning (GWP) og referencestalde

Metoden til at udregne CO₂-udledningen (også kaldet GWP: "Global Warming Potential") for et staldbyggeri er allerede gennemgået i de tidligere projektrapporter, og der henvises til udredningen der.

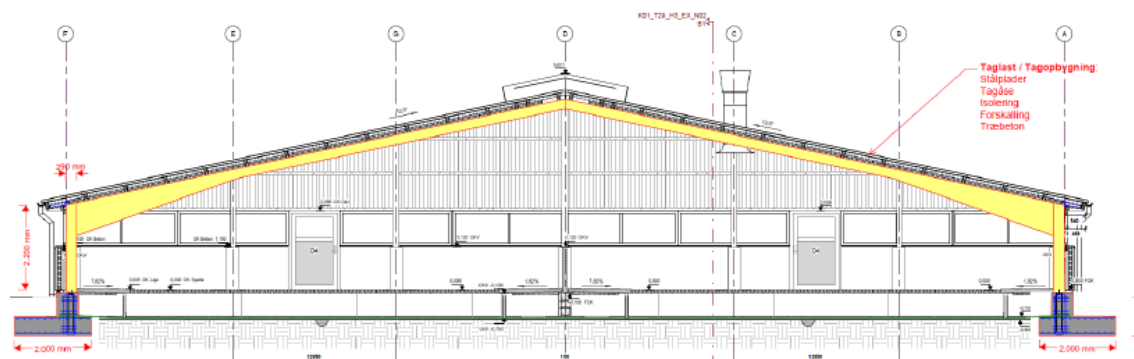
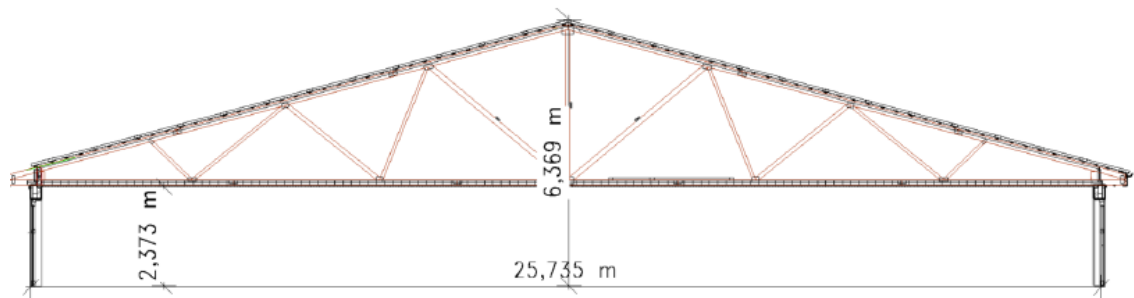
Der anvendes ligeledes her et LCA-skøn, hvor de forskellige faser af staldens levetid medregnes i vurderingen af den samlede CO₂-udledning. Der er dog ikke tale om anvendelse af genbrugsscenerier (normens fase D²), hvilket også er normalt at undlade i denne typer af byggerier.

CO₂-udledningen for den nye type stald med betonbuer er sammenlignet med to typiske staldtyper i Danmark med et rent spænd på næsten 26 m, se figur 7 og 8.

² EN 15978:2011



Figur 7: Øverst: Staldbygning med bærende vægge i beton og træspær. Nederst: Staldbygning med bærende stålrammer.

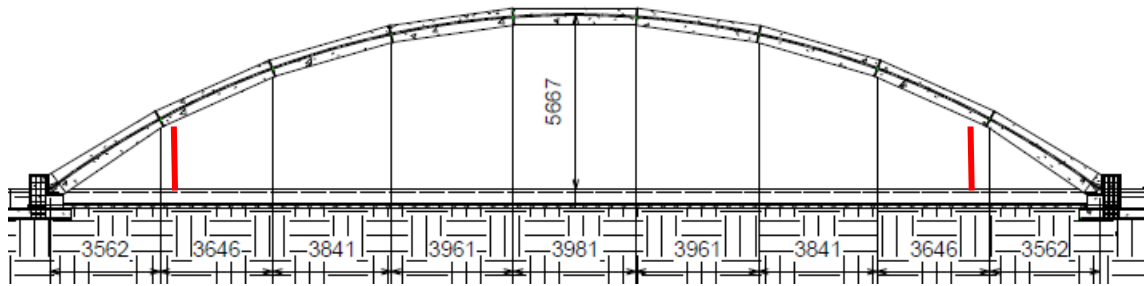


Figur 8: Staltdværsnit af de to typiske stalddtyper med spænd på ca. 26 m, som betonbueløsningen sammenlignes med.

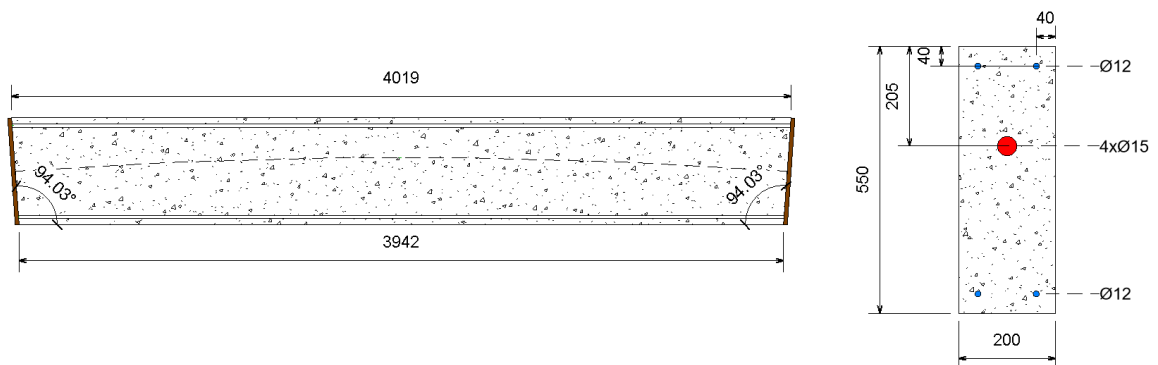
2. Konstruktionsopbygning

For at opnå et brugbart spænd af bygningen, som svarer til de 26 m for de to referencetalde, så må buespændet gøres længere. Det valgte design har et spænd på 34 m og en højde på 5.67 m. Det svarer til et højde/spænd forhold på 1/6, hvilket er valgt for at undgå for meget spildplads i siderne, uden at buen bliver for høj.

Det antages, at buerne beklædes med et let tag og isoleres tilsvarende stålstalden og med samme afstand imellem buerne, som der typisk er afstand imellem stålrammerne (5 m). Buerne er hver inddelt i ni betonelementer (se figur 9) hvoraf de midterst syv er ens med et tværsnit på 550 x 200 mm og en længde på 4019 mm (se figur 10). Der er brugt en buet kabelkanal som indeholder et kabel til efterspænding med fire liner. Mellem hvert element er der en 20 mm mørtelsamling. Endeelementerne i hver side er konstrueret således, at de gradvist bliver bredere, og ved overgange til fundamentet har de et større tværsnit (780 x 500 mm) for at kunne gøre plads til den ekstra armering omkring kabelforankringspunkterne.



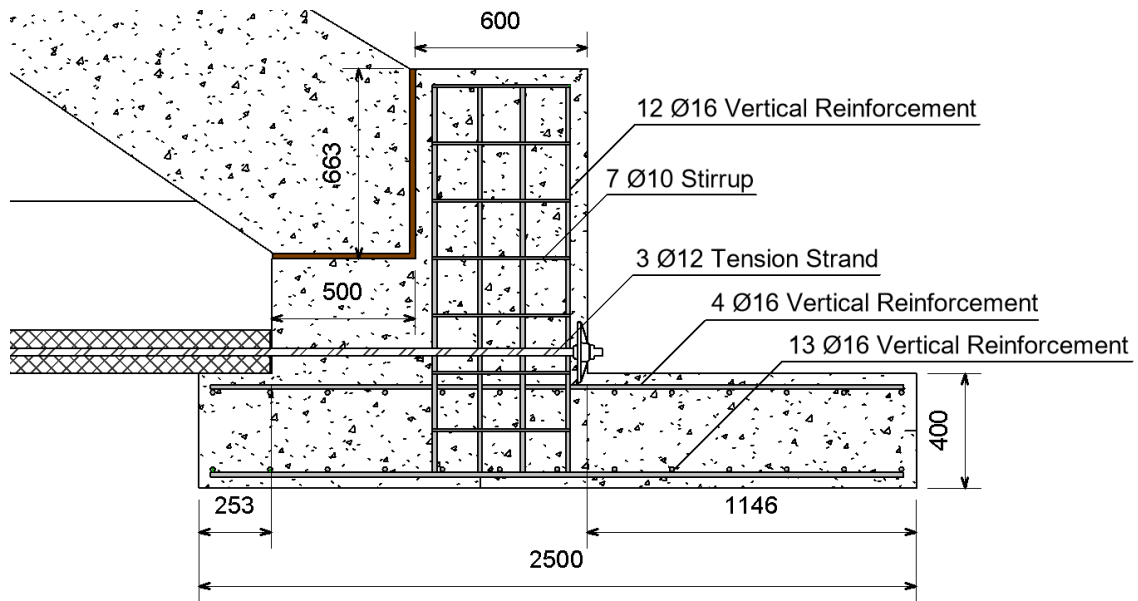
Figur 9: Tværsnit af stald med opbygning af betonbuer vha. perlekædeprincippet. De røde streger angiver, hvor evt. plastvægge kan placeres, så dyrene ikke er i kontakt med hverken bue eller væg/loft.



Figur 10: Geometri af betonelementer til bueopspænding. Betontrykstyrke 45 MPa.

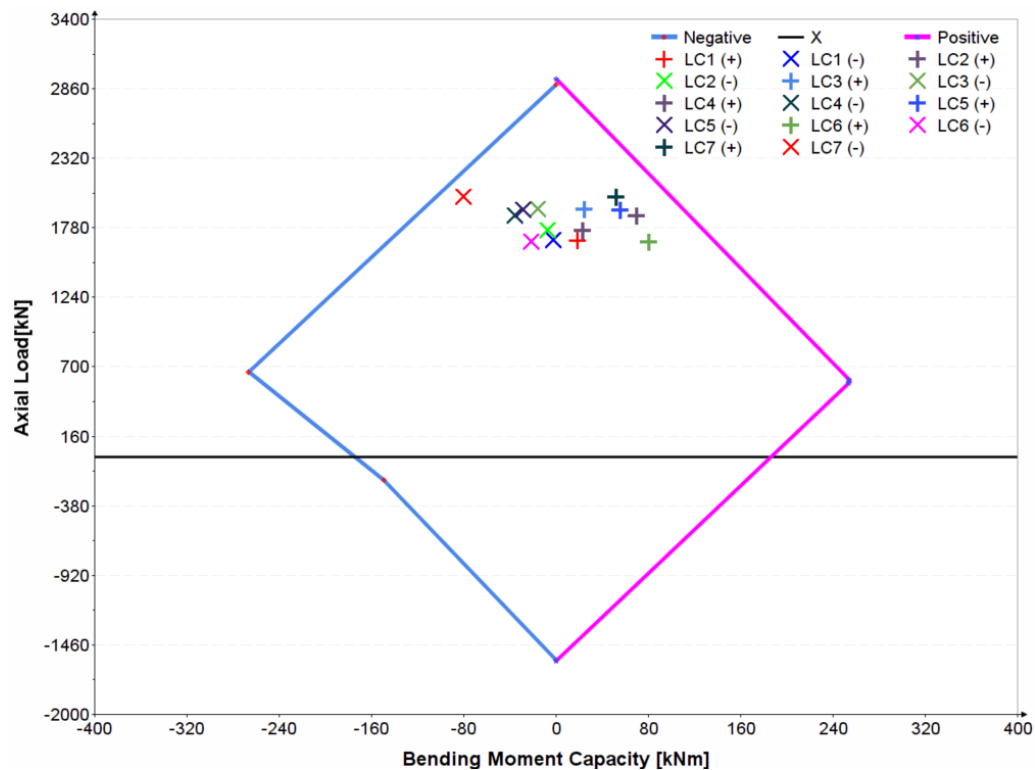
Dimensionering af fundamentet ses i figur 11. Fundamentet udvides med en "knast" med et vinkelret leje, hvor buen hviler af. Det er ikke nødvendigt at armere overgangen mellem bue og fundament, da buen altid vil trykke ned mod fundamentet. I overgangen mellem fundament og bue støbes en mørtelfuge, som vil gøre, at forbindelsen opfører sig som et "semi-hængsel".

Bemærk, at der er valgt en løsning med et efterspændt "trækbånd" i bunden imellem de to bueender. Det efterspændte kabel føres igennem en istøbt kabelkanal i bunden af gyllerenden, og således bliver der et mere lukket statisk system, som kun overfører lodrette kræfter til jorden.



Figur 11: Udviklet fundamentsløsning med forbindelse til trækbånd og samling mellem bue og fundament. Betontrykstyrke 30 MPa.

Bæreevnen af det foreslåede design er eftervist for alle relevant lastkombinationer inklusive løft af buerne med kran, når de skal monteres. Der er i løftetilfældet taget hensyn til dynamiske effekter med en ekstra sikkerhedsfaktor på 2. Der er taget hensyn til opspændingstab, og bæreevnen er beregnet både i forbindelse med positivt og negativt moment. Et M-N diagram er vist med alle de relevante lastkombinationer i figur 12. Forskydningsbæreevnen er også eftervist, og der er gjort undersøgelser af spændingsniveauet i anvendelsesgrænsetilstanden.

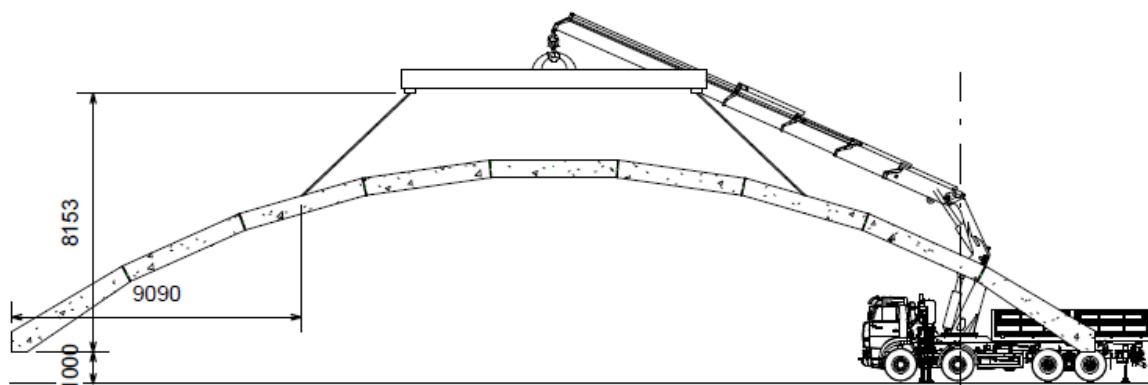


Figur 12: Bæreevnekurve for det valgte design.

2.1. Montage

Som beskrevet består selve opspændingen af en række skridt:

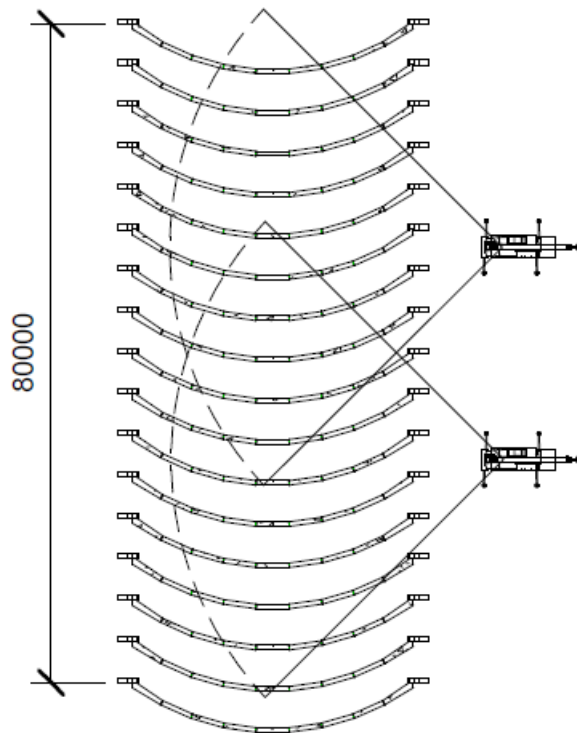
1. Med lastbilkran placeres elementerne på siden på det flade gulv i stalden med endeelementerne ud for de forberedte fundamenter og med alle ni elementer i den korrekte bueform (justering med koben). På forhånd er "trækbåndet" i gulvet blevet opspændt.
2. Kabelkanalerne forbindes med muffers.
3. Der støbes en mørtelfuge i overgangene imellem alle elementer. Fugen hærdner til næste dag.
4. Opspænding af elementer finder sted, samt muligt mørtel injicering i kanalen efter opspænding.
5. Alle buerne vippes nu roligt på plads med en lastbilkran eller en mobilkran og der sikres forbindes på langs af bygningen. De placeres på plastik afstandsstykker, så der er plads til at kunne støbe en mørtelfuge med overgangen mellem bue og fundament. Løftepunkter er vist på figur 13. Der løftes med åg.



Figur 13: Løftesituation, hvor buerne vippes fra vandret til lodret position.

En mellemstor mobilkran vil kunne nå halvdelen af buerne i en 80 m lang stald, fra én position. Det betyder, at selve opsætningen bør kunne gøres på én dag. Hvis der bruges en billigere lastbilkran, så vil det tage længere tid, da lastbilen skal skifte position flere gange. Desuden er det ikke sikkert, at det er muligt for en lastbil at finde plads imellem buerne, som det ses på figur 13.

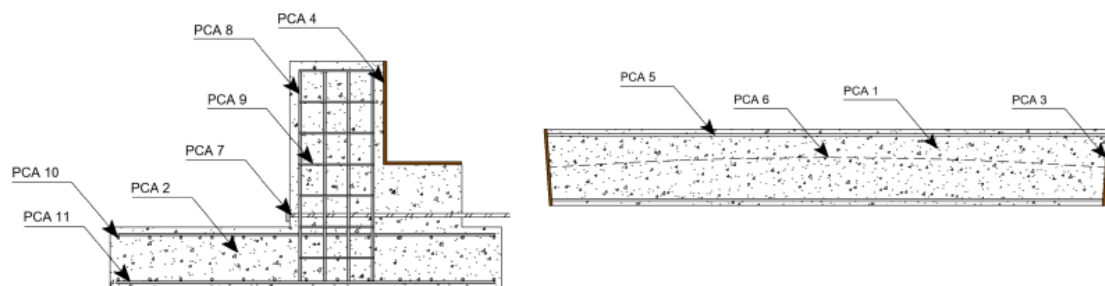
På figur 14 ses en plantegning af løft med mobilkran.



Figur 14: Plantegning af løfteområder fra to positioner med mellemstor mobilkran³.

3. Resultater

I figur 15 og tabel 1 ses de medtagne materialer til beregningen af GWP for buerne og fundamentet. Der medtages her kun de bærende dele og tilsvarende er gjort for de to referencestalde af stålrammer og træspær.



Figur 15: Position af materialerne til LCA analysen af CO₂-udledning for buerne.

³ www.BMS.dk

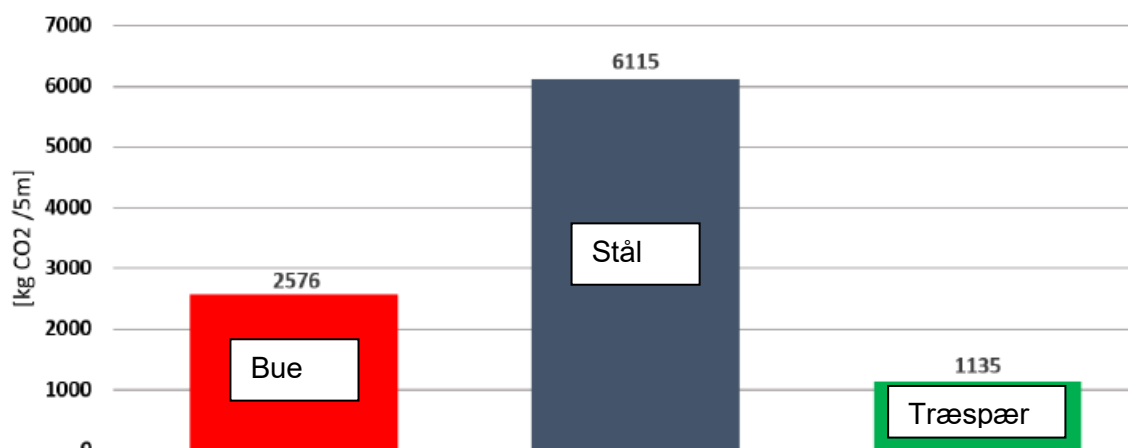
Tabel 1: Volumen af materialerne for hver bue og fundament.

	Volume [m^3]	Density [kg/m^3]	[Weight kg]
PCA 1 - Concrete C50 (Arches)	4.16	2400.00	9980
PCA 2 - Concrete C30 (Foundation)	2.20	2400.00	5290
PCA 3 - Mortar (Arches)	0.0240	2111.00	51
PCA 4 - Mortar (Foundation)	0.0368	2111.00	78
PCA 5 - Pretensioning Steel (Arches)	0.0184	7850.00	145
PCA 6 - Posttensioning Steel (Arches)	0.0286	7850.00	224
PCA 7 - Posttensioning Steel (Foundation)	0.0206	7850.00	162
PCA 8 - Vertical Reinforcement	0.0064	7850.00	50
PCA 9 - Horizontal Reinforcement	0.0025	7850.00	20
PCA 10 - Horizontal Reinforcement - Depth	0.0040	7850.00	31
PCA 11 - Horizontal Reinforcement - Width	0.0082	7850.00	65

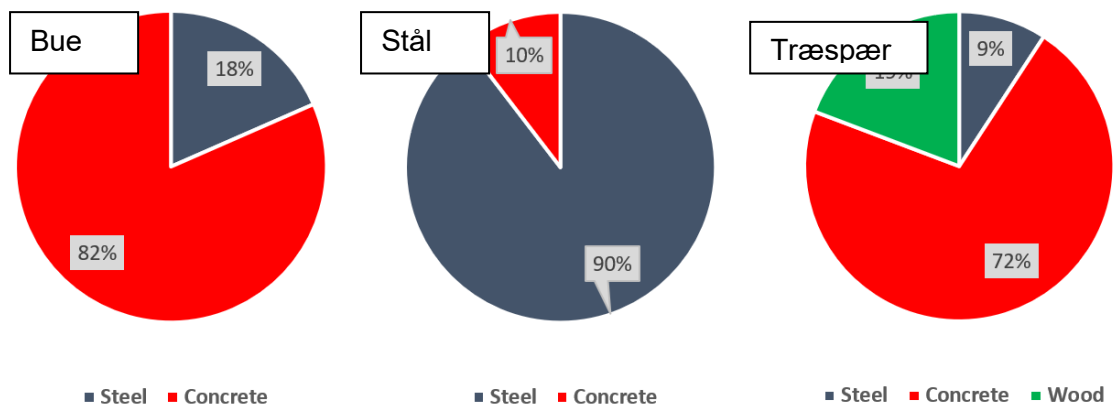
En sammenligning af CO₂-udledningen er gjort med de to referencetalde af hhv. stål og med træspær. Stalden med træspær har en spærafstand på 1 m. For at foretage en ordentlig sammenligning med en stålramme og en betonbue, er der således beregnet for fem spærfag. Der er ikke inkluderet gavlopbygninger og vindkryds, så CO₂-sammenligningen er baseret på de bærende dele for et fag af 5 m udstrækning inkl. fundamenter i beton.

Der er brugt de samme CO₂-data, som i de tidligere projektrapporter, og der henvises til disse, hvis de konkrete tal ønskes.

Figur 16 viser en sammenligningen. Det ses, at det fortsat er stalden med træspærfag på betolvægge, som giver den mindste udledning (1135 kg CO₂ per 5 m bygning), mens betonbueløsningens bærende konstruktion udleder 127% mere og stålrammestalden 439 % mere.

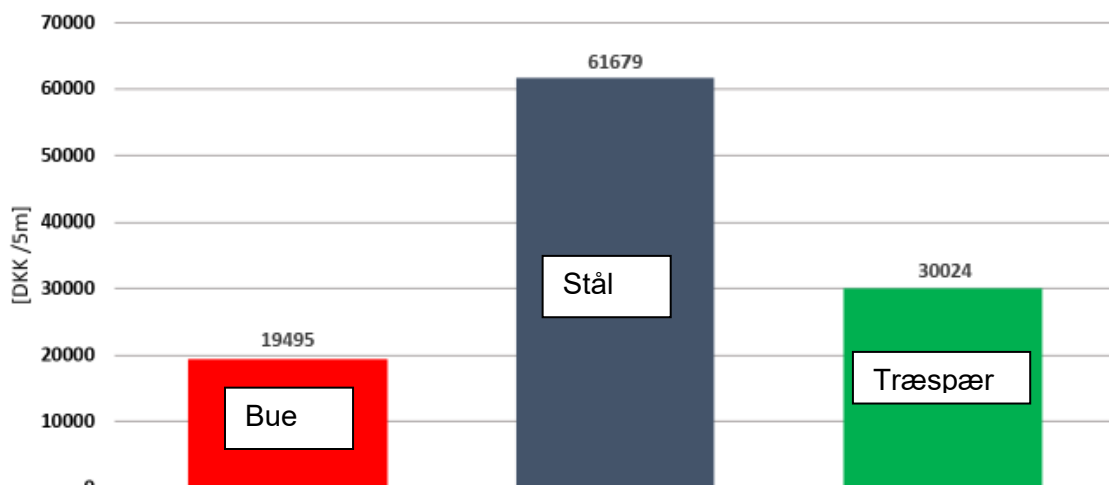


Figur 16: CO₂-Sammenligning af bærende dele af betonbuestalden, stålstalden og stalden med træspær for 5 m bygningbredde = per bue/ramme.

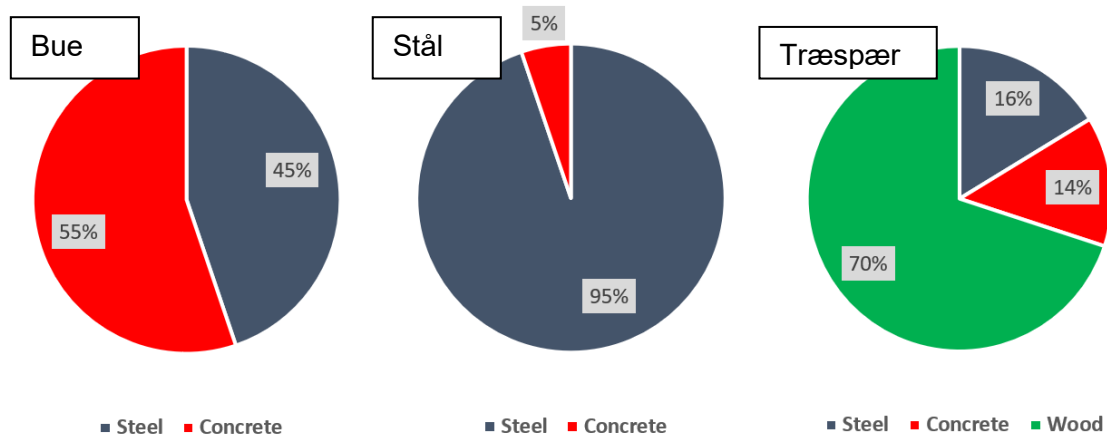


Figur 17: Fordeling af CO₂-udledning for den bærende konstruktion i hver type stald.

Ved at undersøge byggematerialers priser (december 2021) er det muligt ud fra mængderne af de forskellige typer af stalde at beregne et groft overslag af den rå materialepris. Resultatet er vist i figur 18 og 19. Her ses det, at det er en fordel at benytte betonbuerne. Dog skønnes det, at den nye betonbueløsning i begyndelsen vil kræve en større udgift til samling og montage grundet manglende erfaring hos entreprenørerne.



Figur 18: Sammenligning af rå materialepriser for de bærende dele for hver bygning. Estimatet er per bue (= 5m bygningsbredde).



Figur 19: Fordeling af pris på bærende materialer i hver type stald.

4. Konklusion

Det er vist, hvordan flade bueelementer af beton kan spændes sammen i en bueform, som let kan vippe på plads på forberedte fundamenter.

Ud fra det valgte design af betonbuerne er der foretaget sammenligning med en staldkonstruktion med stålrammer, og en staldbygning af betonvægge. Alle de tre stalde har samme brugbare areal.

I forhold til en LCA-analyse af CO₂-udledningen har betonbueløsningen en 127% højere udledning i forhold til stalden med træspær og ser derfor ikke ud til at være konkurrencedygtig, hvad det angår. En opgørelse af de rå materialepriser viser dog, at bueløsningen er billigere end de to andre alternativer. Der er kun sammenlignet CO₂-udledning for de primært bærende dele af de forskellige stalde og kun for et 5 m bredt snit midt i stalden uden hensyntagen til fx vindkryds, gavlopbygning, tag, isolering osv.

Det skal bemærkes, at der hele tiden udvikles nye fremstillingsmetoder og materialetyper, og således kan LCA-resultaterne på kort tid ændre sig meget.

Buerne har et spænd på 34 m, hvilket giver ekstra plads med lav loftshøjde i siderne. Der kan sættes lodrette plastvægge op for at undgå, at dyrene er i kontakt med buer og loft, og dermed opnås en forbedret holdbarhed. Desuden er der mulighed for, at buerne kan spændes op uden mørtelinjicering i kabelkanalerne, så de kan adskilles og genbruges efter endt levetid.

Bilag

Ved henvendelse til Philip Halding fra DTU Byg kan udleveres en rapport fra den kandidatstuderende, som har hjulpet med arbejdet med udvikling af betonbueløsningen.

Danmarks
Tekniske
Universitet

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

www.byg.dtu.dk

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Idékatalog: 3 transformationer af eksisterende beton stald

Rapport 8



Promilleafgiftsfonden for landbrug

Projekt udarbejdet af SEGES Innovation P/S, Projektleder Kenneth Poulsen, Byggechef,
SEGES Innovation P/S

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Idékatalog: 3 transformationer af eksisterende beton stald

Rapport 8

Januar, 2022

ISBN: 978-87-7475-692-7

Lotte Bjerregaard Jensen, Therese Tiedemann

Copyright: Reproduktion af dele af eller hele denne publikation skal indeholde en
reference til rapportens titel, forfattere etc.

Udgiver: DTU, Institut for byggeri og anlæg, Brovej, Building 118, 2800 Kgs.
Lyngby Denmark
www.byg.dtu.dk

IDEKATALOG

FREMTIDIG TRANSFORMATION AF TOTALSTALDEN

En livscyklusvurdering af Totalstalden, udviklet af Danmarks Tekniske Universitet, viser en oversigt over byggekomponenternes tekniske levealder. Mange af bygningskomponenterne, som elementer i beton og træ, har en estimeret teknisk levealder på 120 år. Desværre når disse materialer ikke deres fulde potentiale. Den funktionelle levealder, og det vil sige den faktiske levealder for svinestalden, er nemlig vurderet til 40 år. En måde at udnytte materialerne længere er at transformere bygnings funktion som svinestald til noget andet. I stedet for at man genbruger materialerne i et andet byggeprojekt, så tilpasser man materialerne til nye funktioner uden brug af afmonterings besvær og energi på transport.

Det kan være svært at gennemskue, hvad der vil være aktuelt om 40 år. Derfor vil dette idekatalog fremvise tre forskellige potentialer. En omdannelse til en feriebolig, en kontorbygning og til indendørs grøntsagsdyrkning. Idekataloget skal være med til at inspirere mulighederne og skabe et større segment for salg og brug i fremtiden.

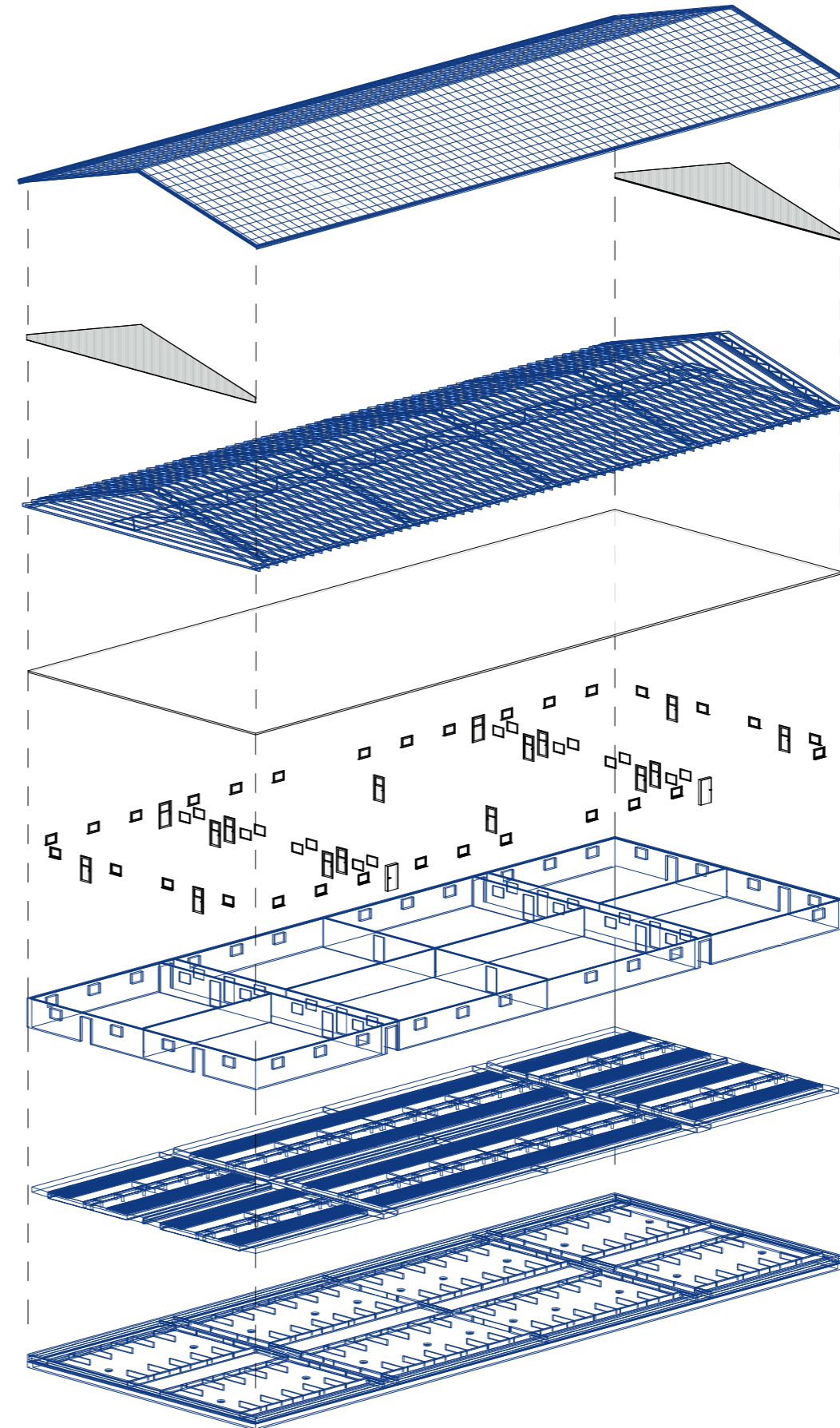
En transformation af en svinestald har sine udfordringer. Normalt står svinestalde, hvorderikkeermangeandreanvendelsesmulighederendlandbrug. Svinestaldens geometri og materialer kan også begrænse mulighederne af design og brug. Dette idekatalog vil udfordre disse problematikker samtidig med at udvise varsomhed overfor de eksisterende materialer.



EKSISTERENDE FORHOLD ARKITEKTUR OG MATERIALER

Svinestalden er en lavloftet bygning med et højt saddeltag. Saddeltaget er bygget op af gitterspær med X mellemrum. Dette er for at imødekomme det enorme spænd uden løbende understøtninger. Nettoarealet spænder fra X i tværsnittet til X i længdesnittet. Facaden er opbygget af beton sandwichelementer med X tykkelse. Isoleringen vil ikke være tilstrækkelig til opvarmede formål. Vinduesåbningerne er relative små og ligger højt. Dette betyder, at der er et svagt lysindfald i bygningen, og der er ikke meget udsyn.

I diagrammet kan man se en grafisk illustration af hvilke materialer, der kan genbruges og hvilke, der skal vedligeholdes eller udskiftes. Hertil er der beskrevet hvilke dele, der kan beholdes, udskiftes, vedligeholdes eller skal gentænkes.



Tagbeklædning / Eternittag/ 100 år

Et eternittag er et tag lavet af fibercementplader. Ved at algebehandle og ved at tilføje tætningsbånd ved rygningen, kan man forlænge den tekniske levealder.

Gavlbeklædning / Stålblade / 40 år

Den galvaniseret stålblade skal enten udskiftes eller erstattes.

Tagkonstruktion / Konstruktionstræ / 100-120 år

Hvis konstruktionstræet har været overdækket og ikke er blevet udsat for fugt, er der ingen grund til at udskifte.

Isolering / Mineraluld / 50 år

Indenunder skråtaget er der isoleret med X mm mineraluld. Dette skal udskiftes. Da der er adgang til loftet, burde dette ikke være et problem. Alt afhængigt af hvilket funktionsskift der foretages, skal der isoleres mere end før.

Loft / Træbeton / 50 år

Loftpladerne i træbeton skal udskiftes eller erstattes.

Vinduer og døre / 50 år

De forskellige slags vinduer og døre skal udskiftes eller erstattes.

Ydre - og indervægge / Beton sandwichelementer / 100 år og 50 år

Både ydre- og indervæggene er lavet i beton. Ydrevæggene er lavet af sandwichelementer, som har PUR isolering imellem to betonplader. Betonelementer med PUR kan ikke renoveres. Isoleringen smuldrer med alderen og bliver infiltreret med udeluften. Derfor kan isoleringen ikke medtages i en ny U-værdi beregning. Derfor skal ydrevæggen efterisoleres. Det er ikke

umiddelbart muligt at udskifte isoleringen. Det er heller ikke muligt at fjerne dele af betonelementerne da de er medregnet i statikken.

Gulv af svinespalte / 120 år

Svinespalte er lavet af cement. De har en lang teknisklevealder men er funktionsspecificeret til svinestalde. Det vurderes, at de ikke er værd at genbruge i et opvarmet funktionsskift.

Terrændæk / Grovbeton med EPS isolering/ 120 år og 80 år

Terrændækket udgør gangarealet mellem svinestalde. Der er isoleret med EPS. Derudover er der en støbt kanalbund i 100 mm tyk beton. Det vurderes, at der skal foretages en indvendig udgravning ved et opvarmet funktionsskift.

Fundament / Beton, stålprofiler, letklinkebeton og isolering / 120 år og 60 år

Fundamentet skal ikke udskiftes. Randfundamentet af lecablokke har en levealder på 60 år. Der skal undersøges efter sætningsrevner. Revner skal repareres. Ved store skader kan randfundamentet understøbes eller presses af stålspæle.

ARKITEKTONISKE KVALITETER

I det senere år er det blevet moderne at transformere ældre industribygninger. Dette skyldes ikke kun fra et bæredygtigt perspektiv men i højere grad for den arkitektoniske æstetik, atmosfære og historiske værdi.

Denne idekatalog for fremtidige transformation tager udgangspunkt i svinestaldens fortid. Der bibeholdes så meget som muligt. Nye materialer bliver i industriensånd, som konstruktionstræ, beton, aluminium og pvc.

Om Totalstalden bliver omdannet til bolig, kultur, kontor eller andet industri er det vigtigt at historien eller atmosfæren ikke går tabt. Ved mindre og større arkitektoniske indgreb og et klart forbrugerprogram har Totalstalden potentialet for at blive bevaringsværdi.





ARKITEKTONISKE KVALITETER



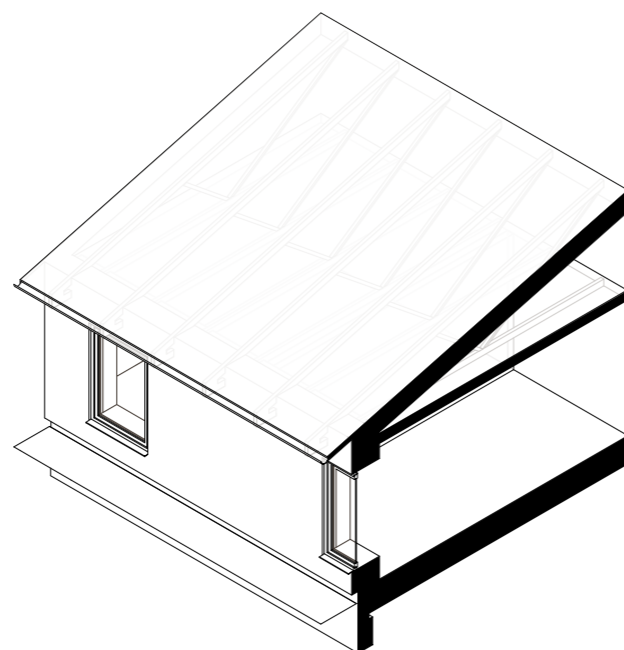


TRANSFORMATIONS KATALOG

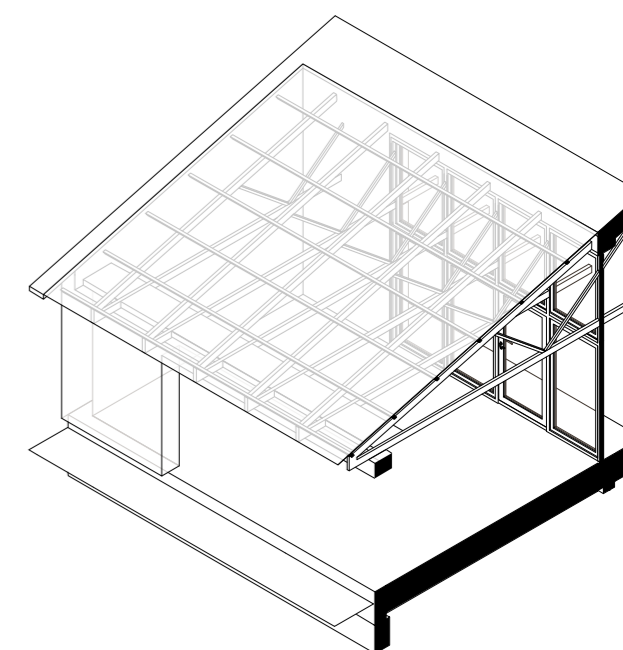
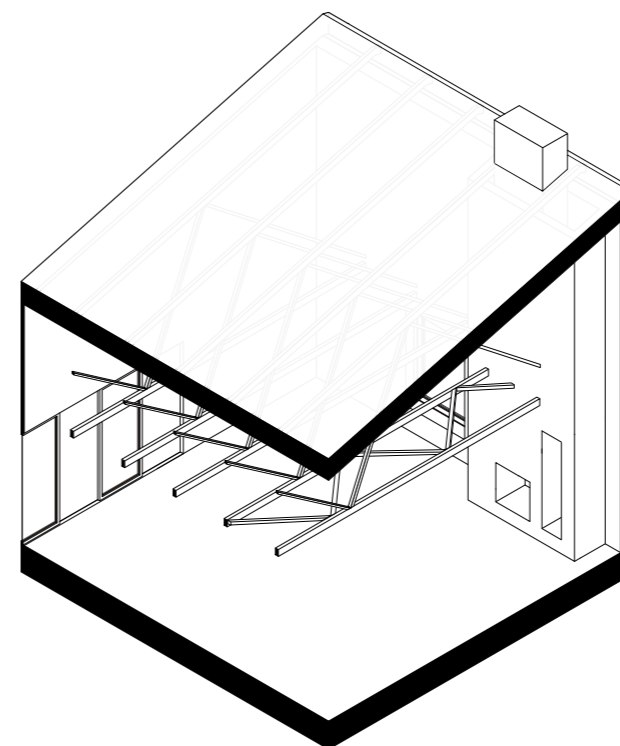
Følgende illustrationer viser en katalog af forskellige designløsninger af indgreb i den eksisterende konstruktion.

III. 1: Indvendige efterisolering i loft, ydrevæg og gulv.

III. 2: Gittersystem er fritlagt og der er åbnet op til kip. Indvendig efterisolering i tag, ydrevæg og gulv. Derudover er der illustreret en mulig design til en kamin.

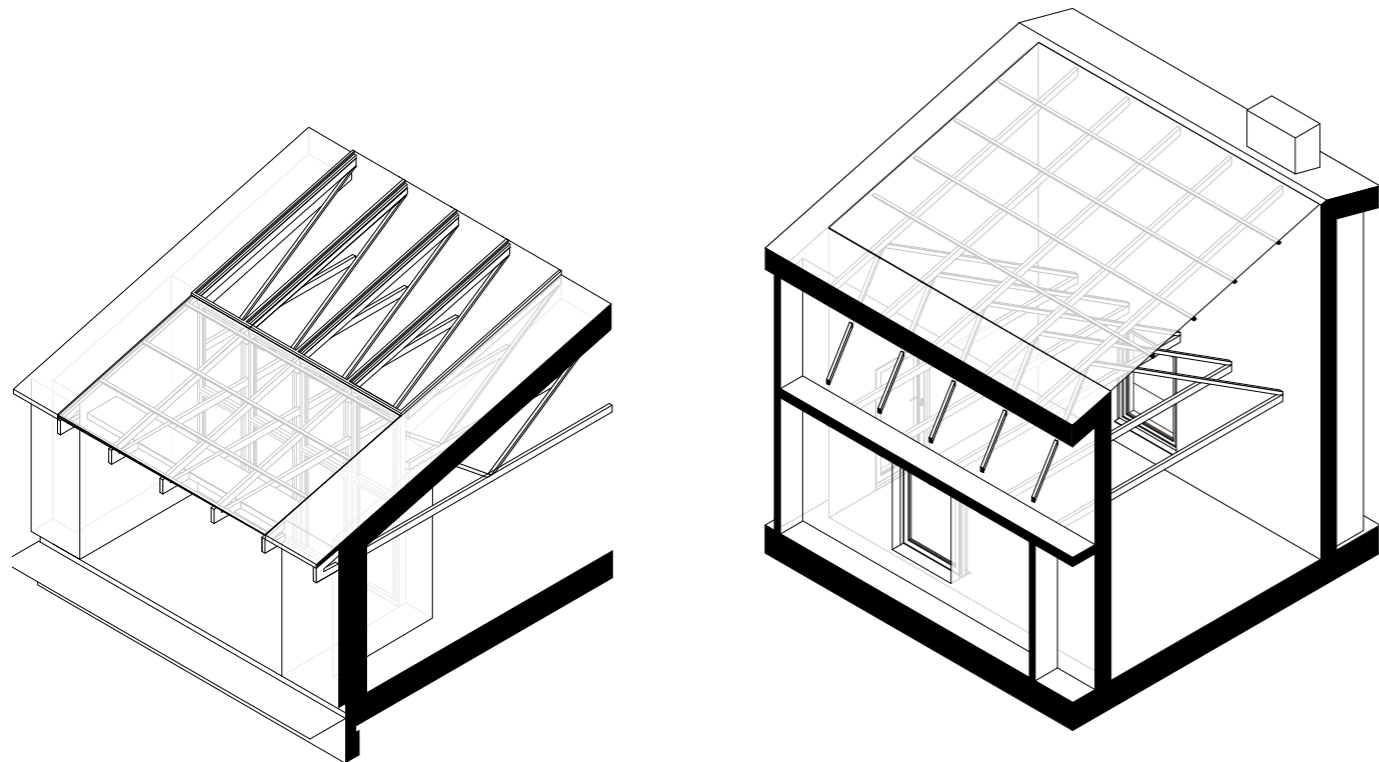


III. 3: Overdækket terrasse. Gittersystem er fritlagt med et halvtag af bølgeplader i delvis transparent plast. Vinduer ud til terrassen går fra gulv til loft.



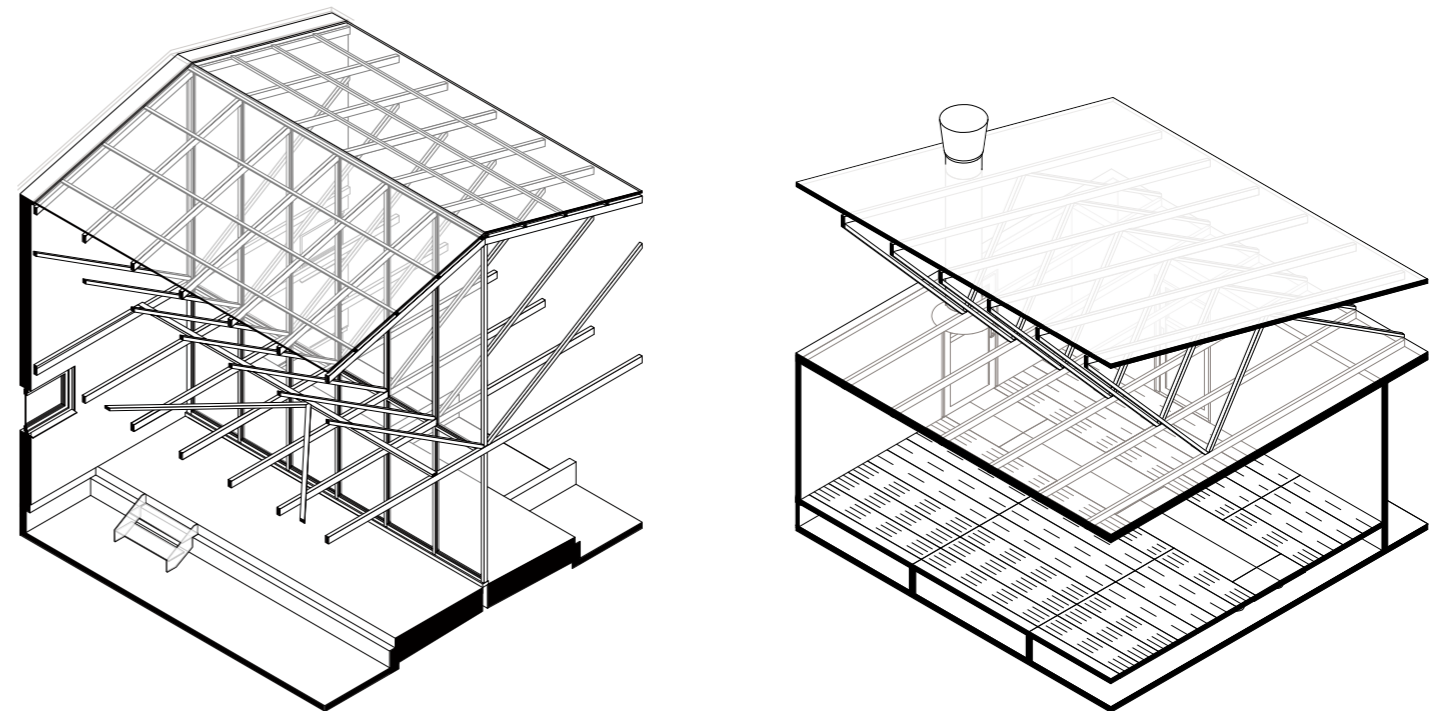
III. 4: Kombineret ovenlys med halvtag. Dette giver en løsning til større vinduespartier.

III. 5: Overdækket gårdrum. Gittersystem er fritlagt med et overdæk i bølgeplader i delvis transparent plast. En overdækket gårdrum i delvis transparent bølgeplader giver mere lys til de øvrige rum.



III. 6: Tilhørende drivhus. Ved at benytte transparent bølgeplader som overdæk og fritlægge gittersystemet kan man skabe et drivhus til grøntsag-og frugtproduktion.

III. 7: Genbrugte svinespalter til gulv. Det er muligt at genbruge beton svinespalter, som ikke bruges til gulv i andre rum.

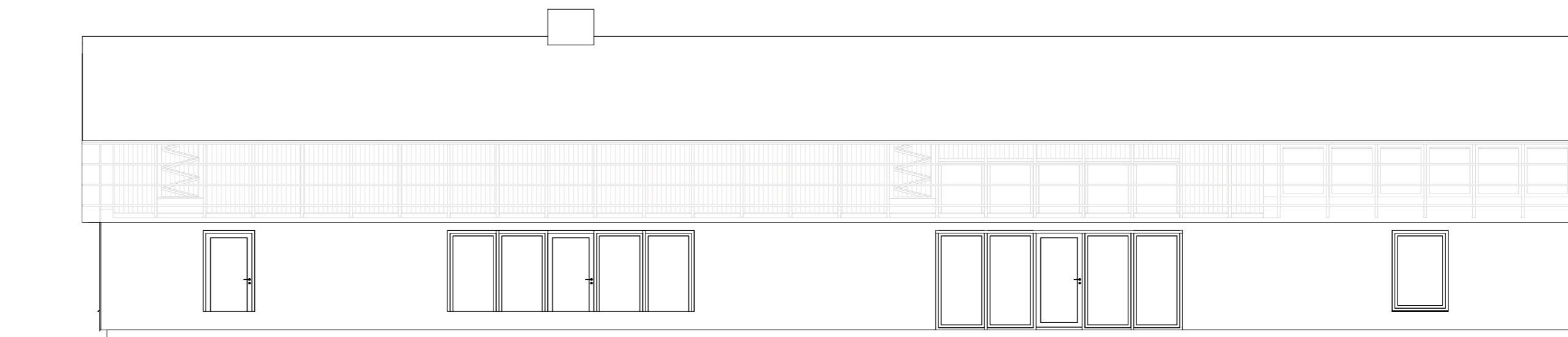


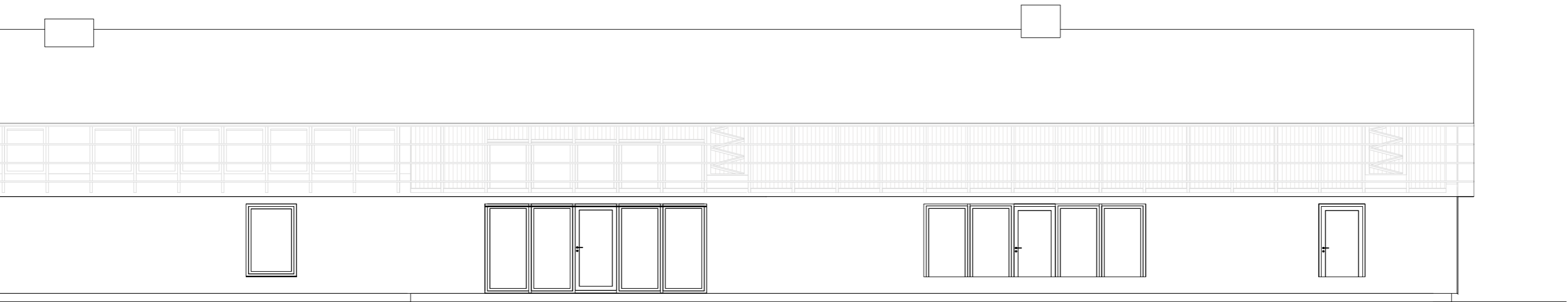
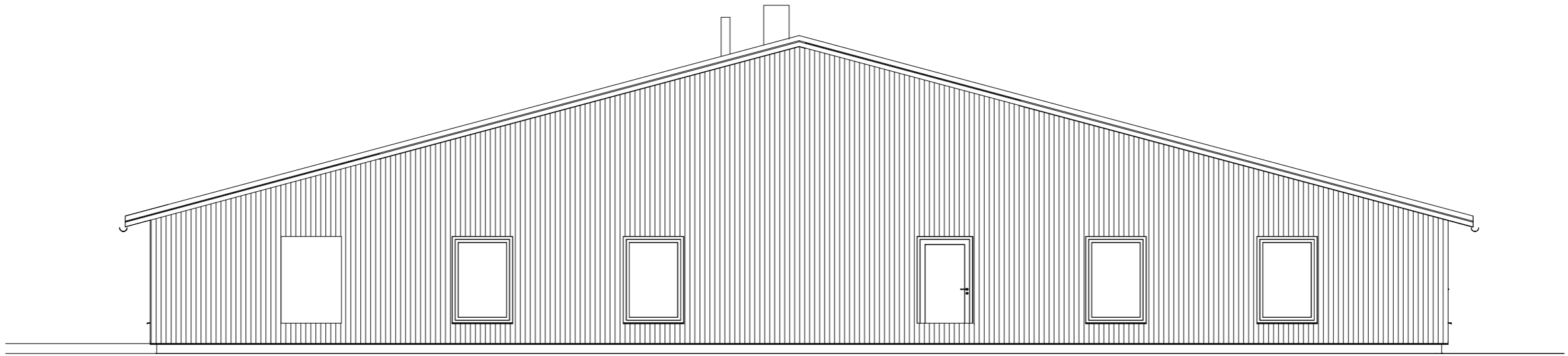
PROJEKT 1 / FERIEBOLIG

I en fremtid hvor flyrejser måske bliver mindre attraktivt, for at lette CO₂ aftrykket, vil ferieboliger i Danmark blive mere efterspurgt. Svinestaldene er ofte placeret i landet og væk fra storbyerne. Uanset beliggenhed i Danmark vil det være tæt på naturskønne områder. Derfor ligger der et stort potentiale i at transformere de oprindelige svinestalde til ferieboliger.

Svinestalden er i dette forslag blevet omdannet til to ens ferieboliger i forlængelse af hinanden.

Facaden og taget er blevet åbnet op for at skabe uderum inde i boligen. Dette er med til at skabe lys og luft. Vinduer og døre er blevet placeret efter eksisterende forhold men der er skåret ud til større vinduespartier. Ud mod syd er der kommet en terrasse med store vinduespartier. Gavlfacaden har fået en facadebeklædning i blankt bølget aluminium. Dette referer til sin historiske sammensætning og giver boligen karakter.





PROJEKT 1 / FERIEBOLIG

Grundet svinestaldens geometri, med et stort grundareal, kan man skabe et niveaufri opbygning, er der er særlig tilgængelig for mennesker med fysisk handicap. Svinestaldens areal på 1600 m² giver to ferieboliger hvor der er rigeligt med plads til aktiviteter, uderum, selskaber og luksus. I ferieboligerne er der tiltænkt to uderum, et varmvandsbassin med tilhørende sauna, et billardrum og biograf.

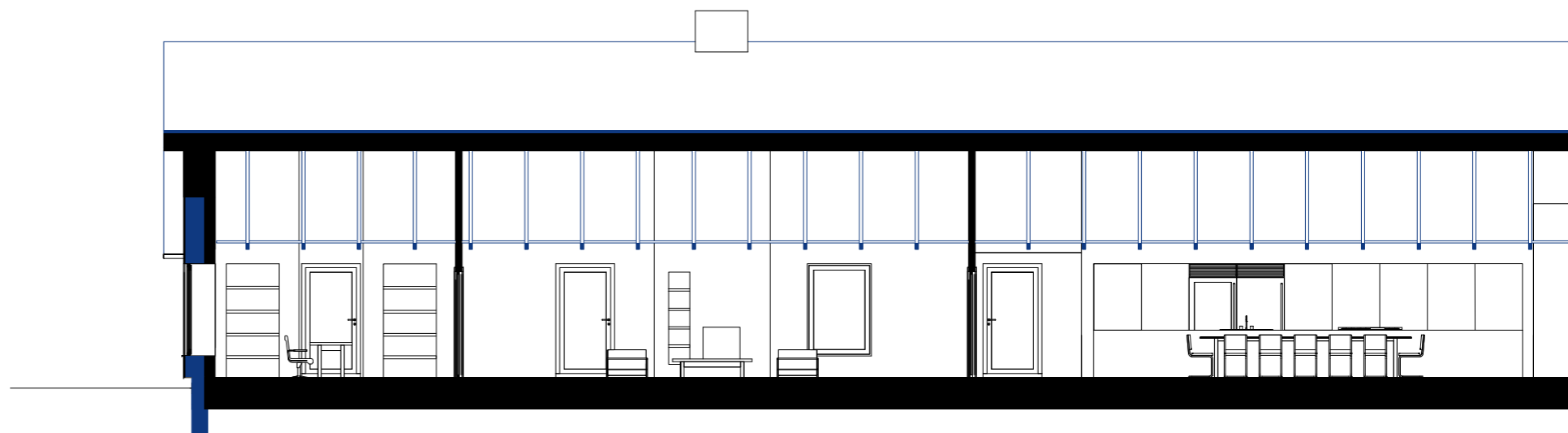


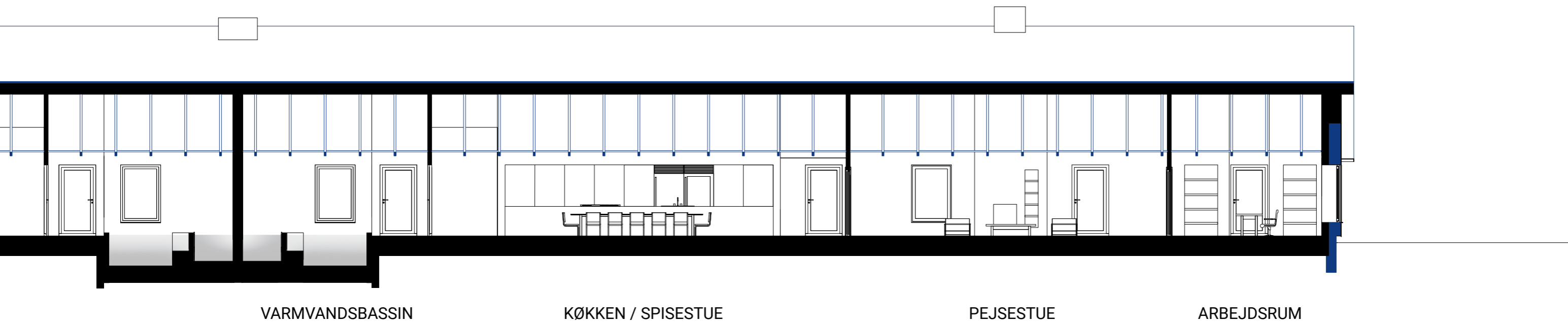
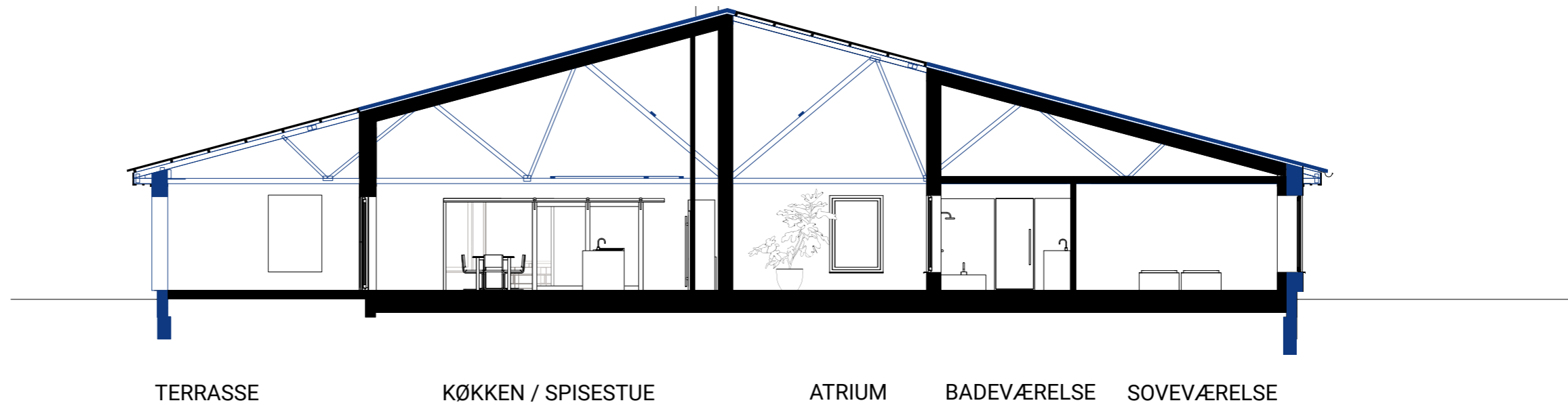


PROJEKT 1 / FERIEBOLIG

Fællesrummene er der blevet åbnet op til kip. Dette er for at skabe mere luft i bygningen og for at afsløre gitterspær systemet. Dette er muligt ved at bygge et eller flere stabiliserende gitter mellem to gitterspær. De to atrium er med til at give lys til resten af boligen. Atriummerne og terrassen er overdækket med opalhvid bølge PVC-plader.

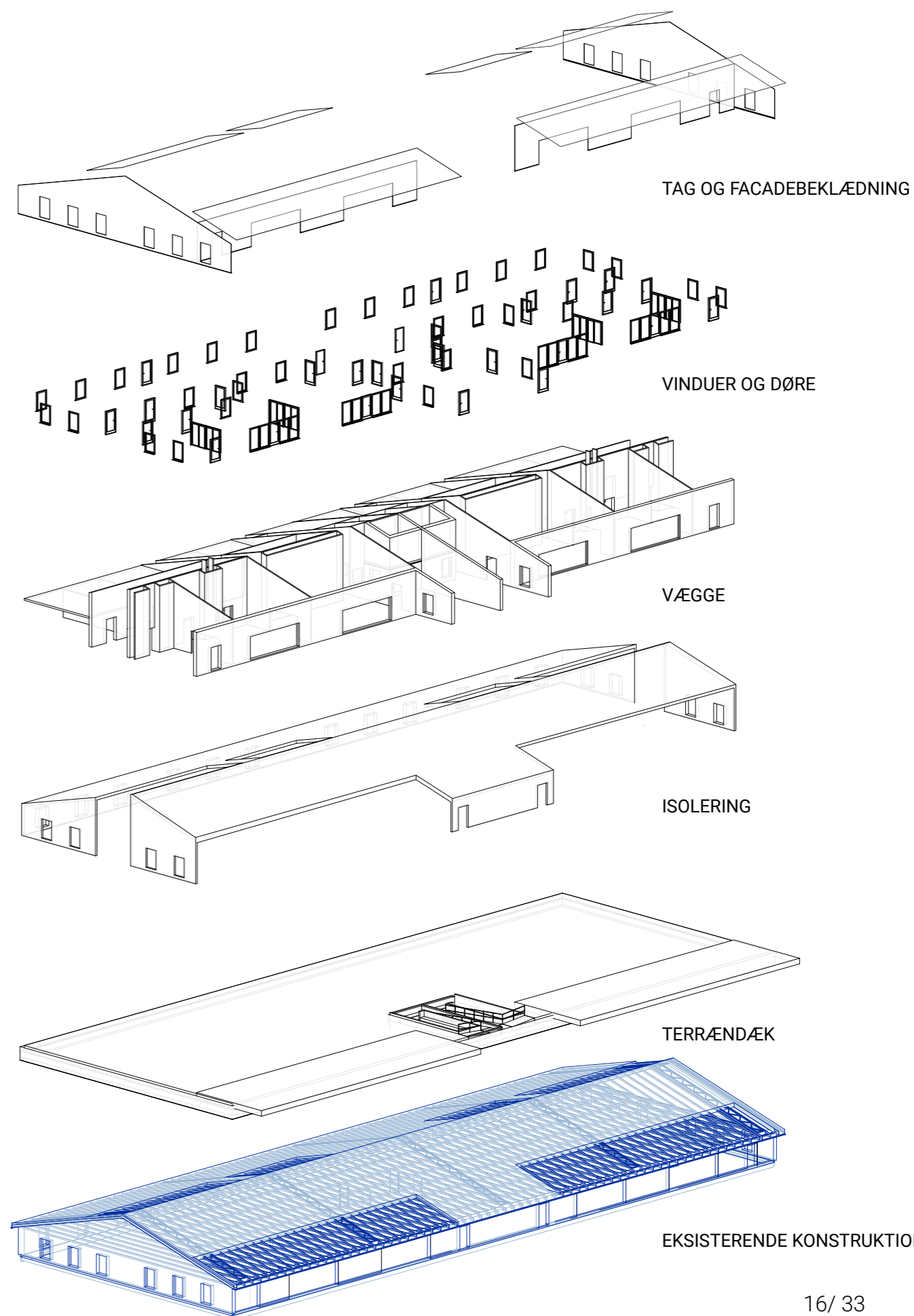
Den blå farve indikere eksisterende byggemasse.





PROJEKT 1 / FERIEBOLIG

Svinestalden beholder dele af sit eternittag og ydrevægge. Tagkonstruktionen står som oprindelig. Bygningen får et nye facade elementer og overdækning, vinduer, gipsvægge, vinduer og døre, efterisolering og nye gulve samt terrændæk.



Tagbeklædning / eksisterende eternittag 60 år og PVC-tag 40 år

Eternittag algebehandles og hvis det er nødvendigt tilføjes tætningsbånd ved rygningen. Dele af eternit skæres fri eller afmonteres til genbrug. Der skal erstattes med PVC overdækning.

Gavlbeklædning / ny stålplade / 40 år

Den galvaniseret stålplade udskiftes til et mere blankt stålplade. Pladen skal dække hele gavlen.

Isolering på loft / Mineraluld / 50 år

Indenunder skråtaget skal der isoleres med mineraluld. Hvor der er åbnet op til kip skal der skrâisoleres og dækkes af med gips.

Vinduer og døre / 50 år

De forskellige slags vinduer og døre afmonteres og der skæres større åbninger. Nye vinduer og døre sættes ind.

Ydre - og indervægge / eksisterende beton 60 år, ny isolering 50 år, ny beton 100 år

De oprindelig indervægge i beton rives ned. Ydrevægge skal efterisoleres. For at undgå for tykke vægge, bliver den yderste betonvæg brækket ned. Det gamle isolering tages ned og erstattes med tykkere isolering. Betonfacaden bygges op igen.

Gulv af svinespalte / beton 80 år (genbrug)

Svinespalte bliver lagt forsigtigt til genbrug, så de kan genbruges direkte til en anden staldbygning mm.

Gulvbeklædning / Træ eller rå beton 100 år

Gulvbeklædning skal være i rå beton eller med træplader. Træplader har en længere levealder. Dette kan findes brugt.

Terrændæk / Grovbeton med EPS isolering/ 120 år og 80 år

Der skal foretages en indvendig udgravning. Herefter skal der ligges et nyt terrændæk med passende isolering.

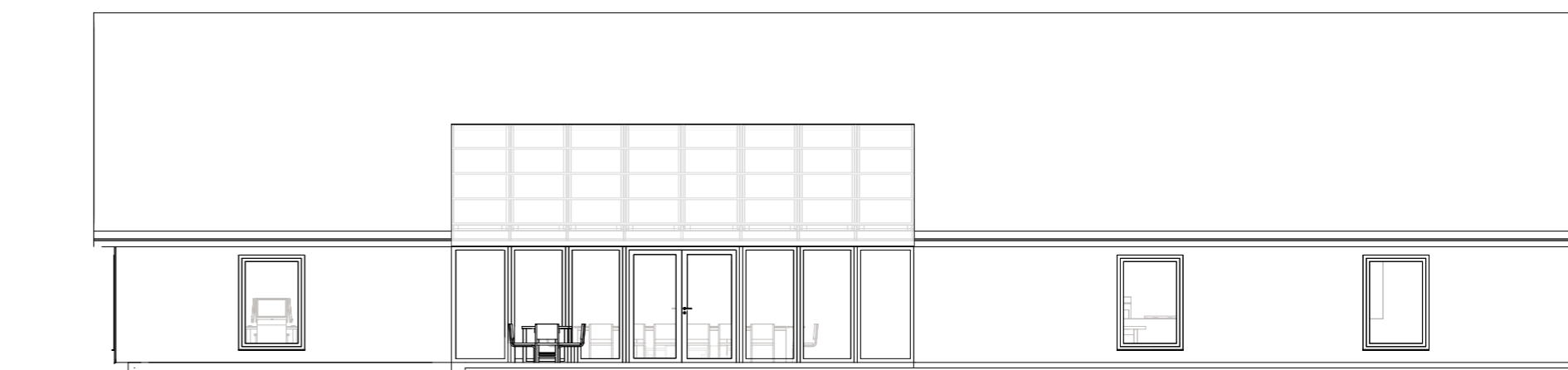
PROJEKT 2 / KONTORBYGNING

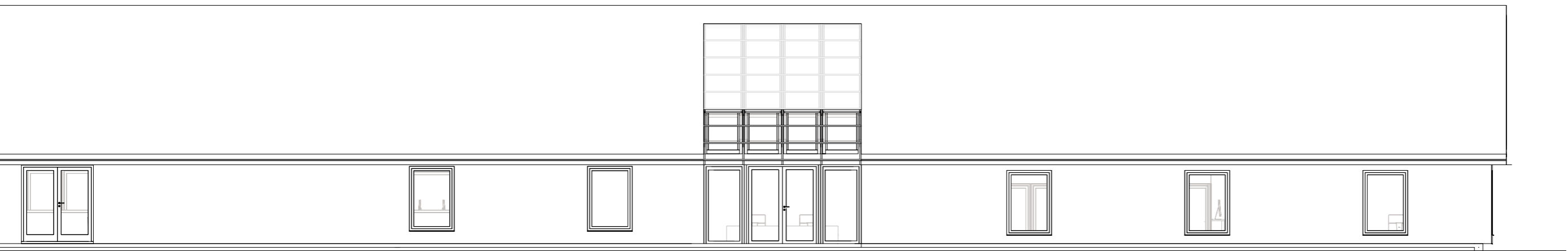
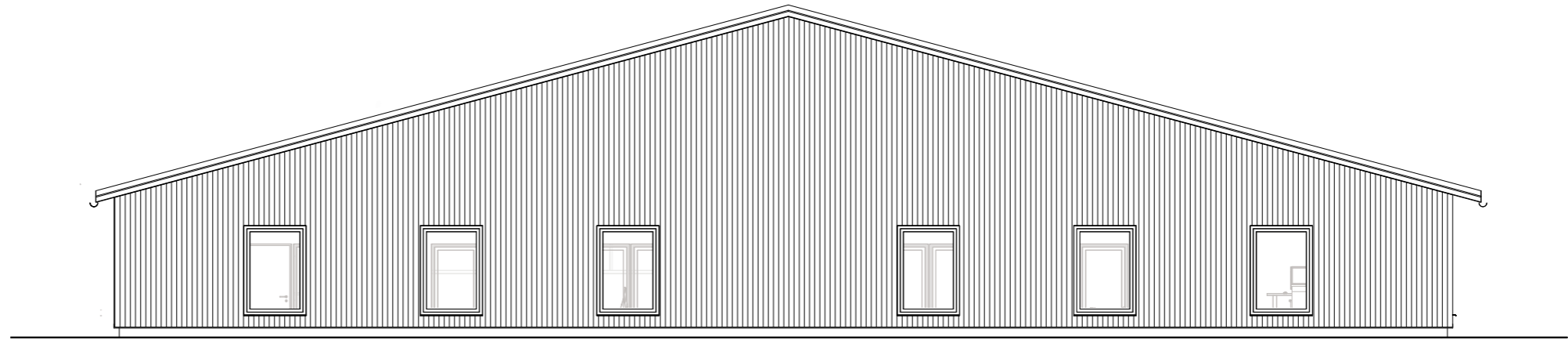
Grundet pladsmangel i byerne, kan der forekomme efterspørgelse for større kontorbygninger på landet. De store svinestalde har store arealer og ofte ligger der flere stalde i nærheden. Dette kan i mødekomme store virksomheder eller skabe flere kontorfællesskaber i forlængelse af hinanden.

Svinestalden er i dette forslag blevet omdannet til et enkelt kontorbygning. Der er kontorpladser til 60 ansatte i en åben kontorplads. Derudover er der 3 enemands kontorer.

Facaden og taget er blevet åbnet op for at skabe uderum inde i boligen. Dette er med til at skabe lys og luft. Vinduer og døre er blevet placeret efter

eksisterende forhold men der er skåret ud til større vinduespartier. Ud mod syd er der kommet en terrasse med store vinduespartier. Gavlfacaden har fået en facadebeklædning i blankt bølget aluminium. Dette referer til sin historiske sammensætning og giver boligen karakter.





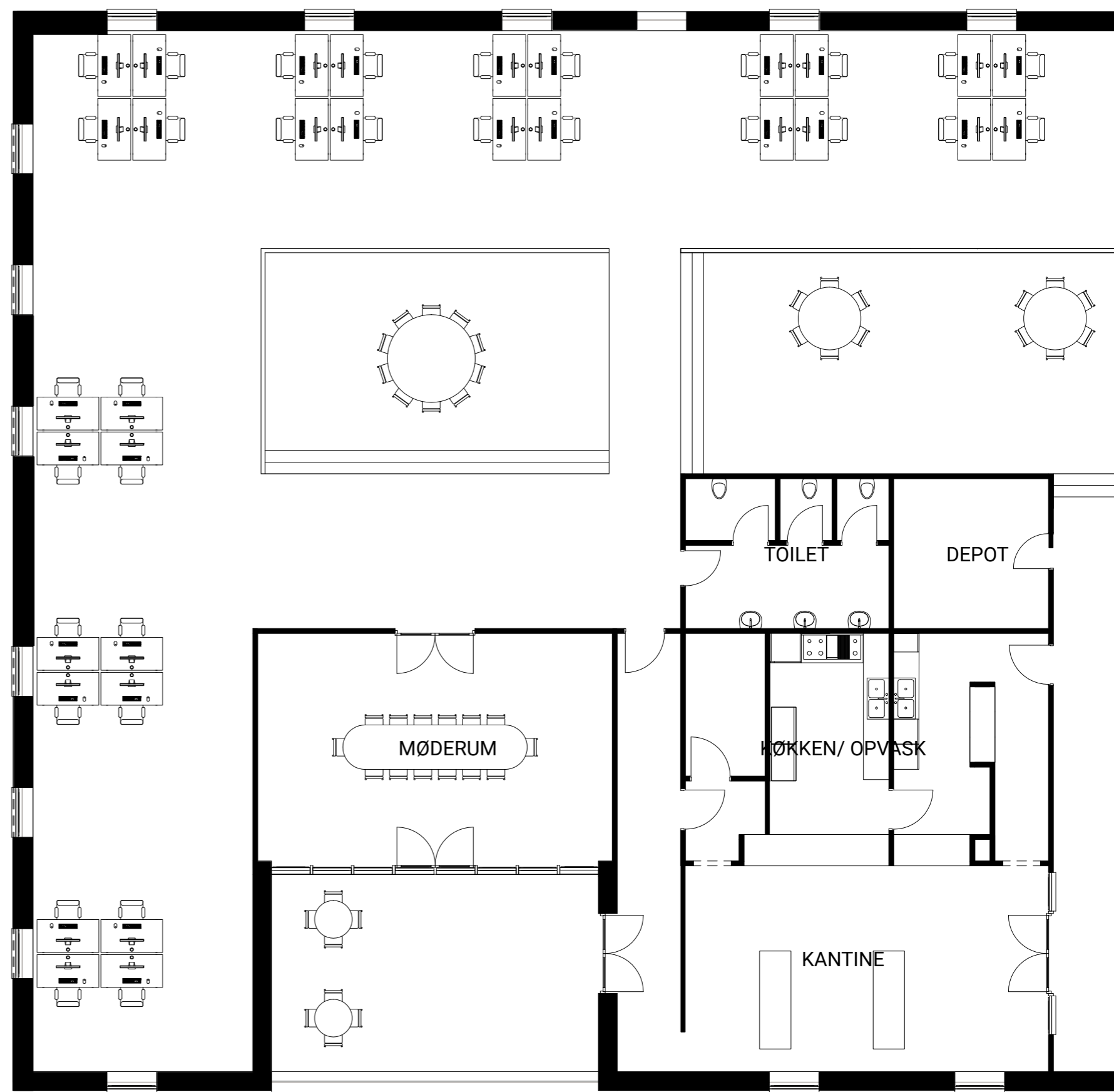
PROJEKT 2 / KONTORBYGNING

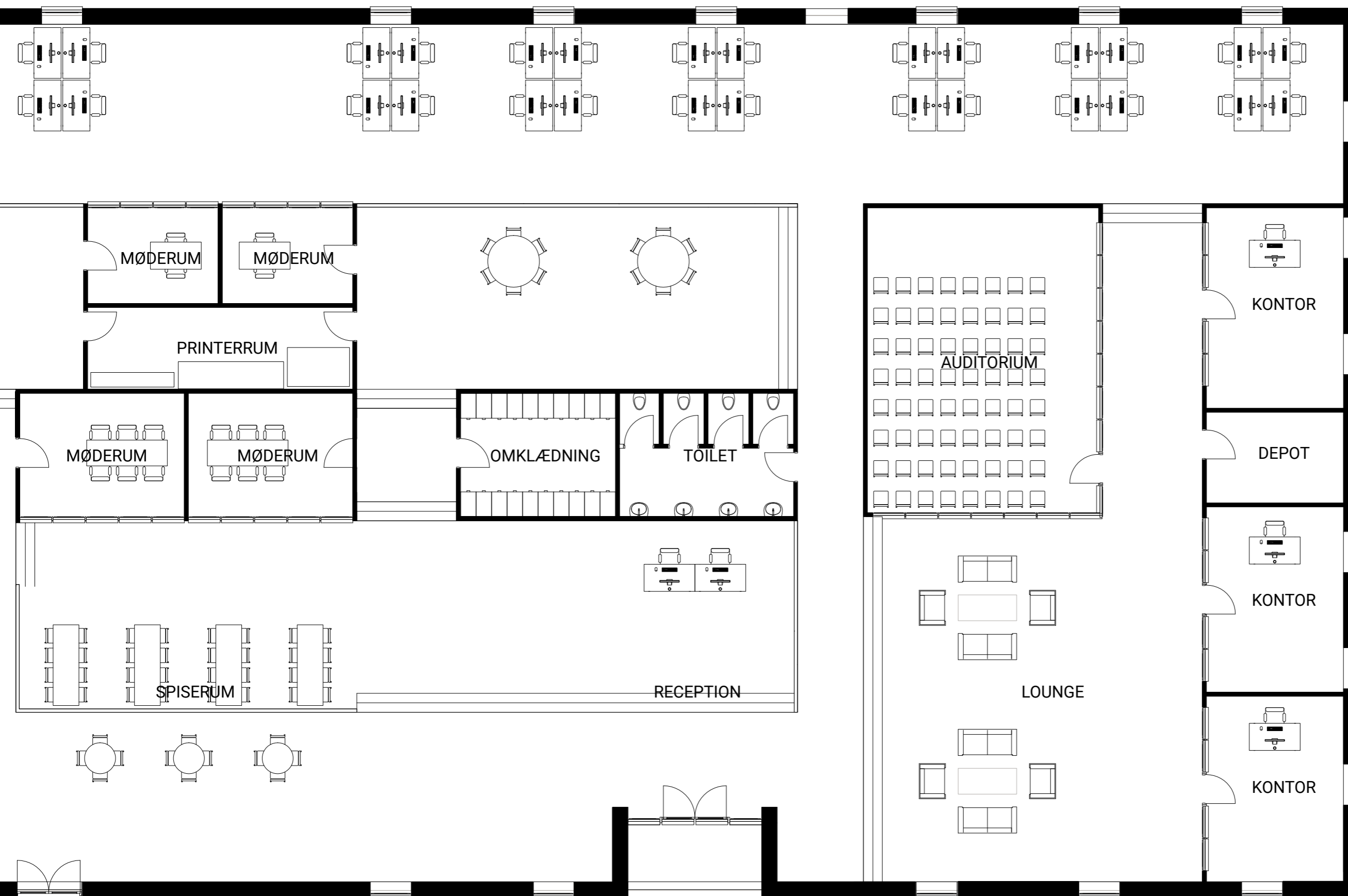
Svinestaldens oprindelig små niveauer giver anledning til skabene varierende gulvplan som indeler rumprogrammet.

Arbejdstilsynet råder om god udsyn og lys til alle lange varige arbejdspladser. Derfor er alle arbejdspladser pladseret langs vinduerne. Arbejdspladserne er vendt væk fra syd, for at få bedre arbejdslys.

Kortvarrige arbejdspladser som møderum er pladseret i midten sammen med depoter, toiletter, printerrum, omklædning og auditorium.

Receptionen som ligger ind mod midten har fået ovenlysvinduer.

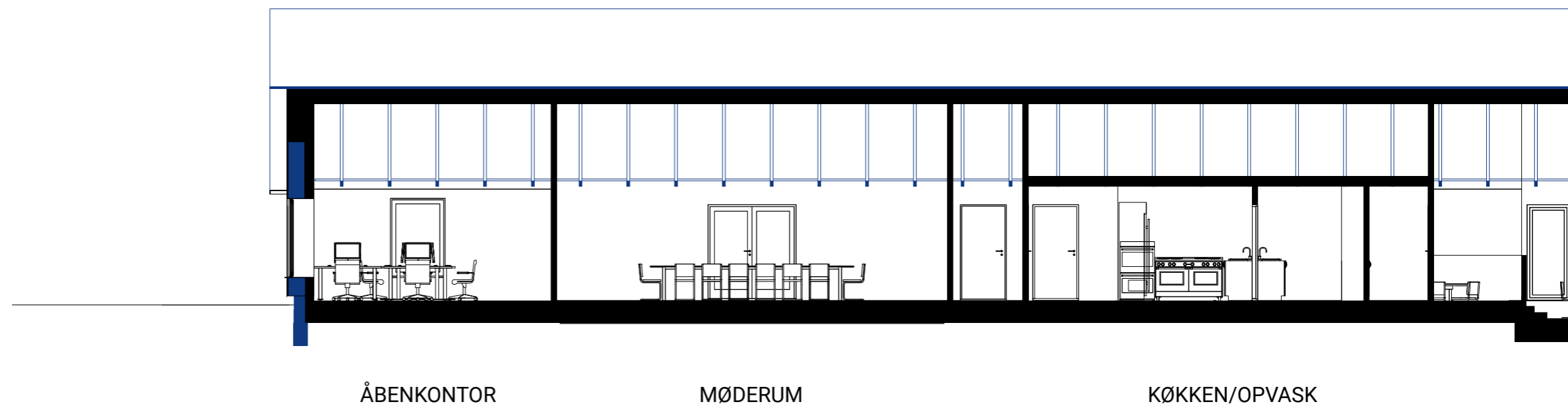


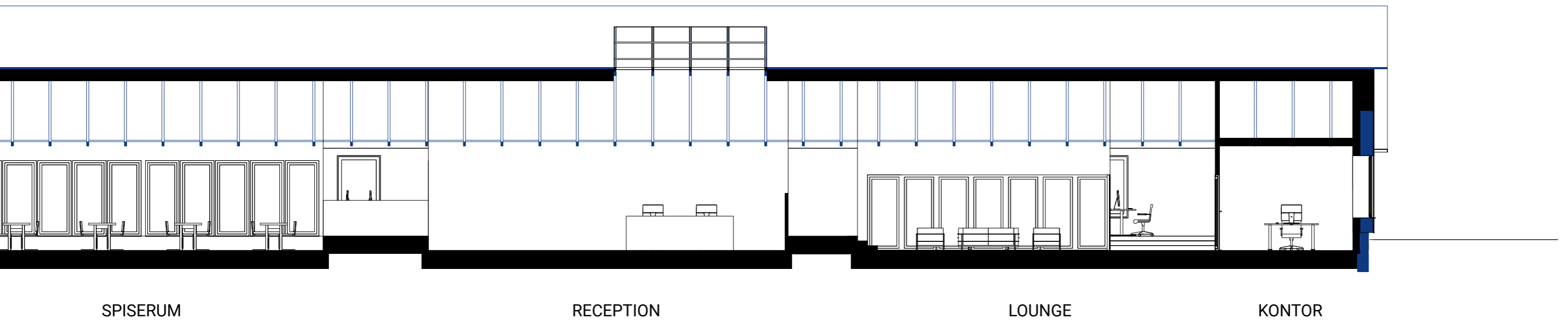
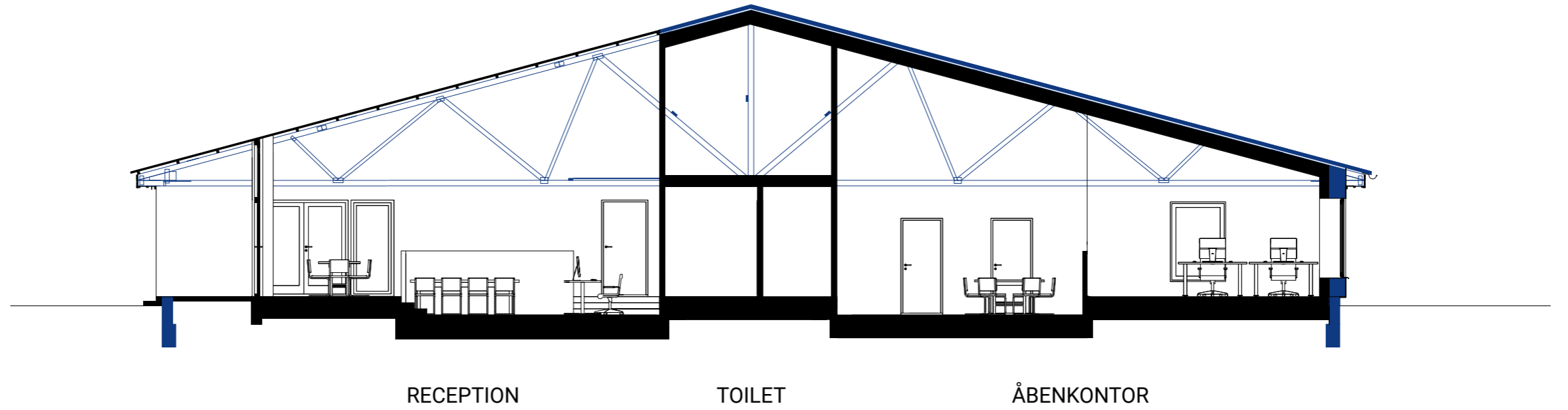


PROJEKT 2 / KONTORBYGNING

Det store åbne kontorrum er der åbnet op til kip. Dette er for at skabe mere luft i bygningen og for at afsløre gitterspær systemet. Dette er muligt ved at bygge et eller flere stabiliserende gittre mellem to gitterspær. De mindre lukkede rum mod midten af bygningen er med loft. Møderum er bygget med vinduer som kigger ind mod det åbne kontorrum.

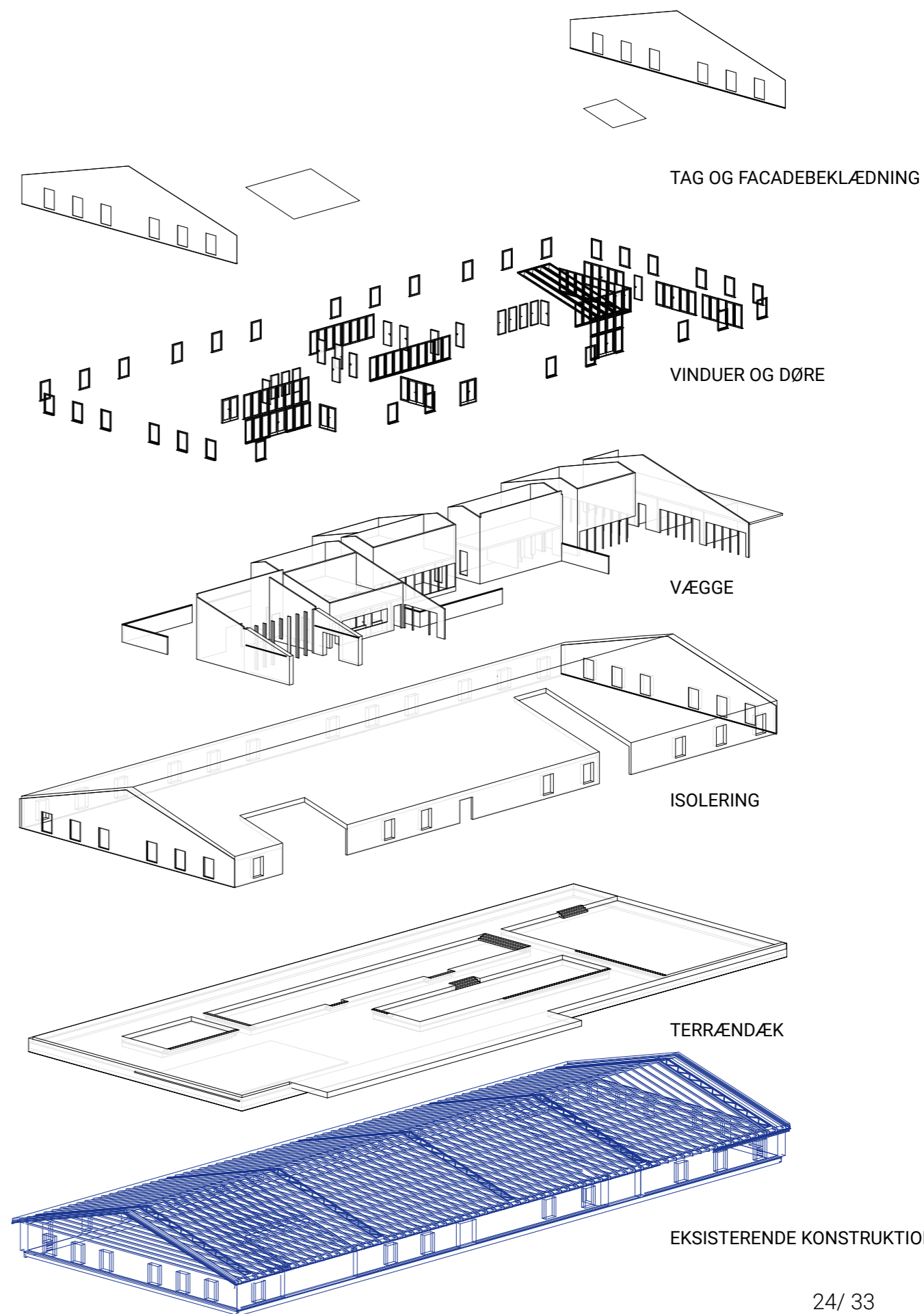
Den blå farve indikere eksisterende byggemasse.





PROJEKT 2 / KONTORBYGNING

Svinestalden beholder dele af sit eternittag og ydrevægge. Tagkonstruktionen står som oprindelig. Hvor der åbnes op til kip, skal der indføres tværgående gittersystem for stabiliserende årsager. Bygningen får nye facadeelementer og overdækning, døre, vinduer og oven vinduer. Ydrevægge og loft skal efterisoleres og der foretages et indvendig udgravning af terrændæk og der etableres et nyt. Nye ydrevægge bygges i beton sandwichelementer og indervægge er bygget af almindelig gipsvægge med træskelet.



Tagbeklædning / eksisterende eternittag 60 år og PVC-tag 40 år Eternittag algebehandles og hvis det er nødvendigt tilføjes tætningsbånd ved rygningen. Dele af eternit skæres fri eller afmonteres til genbrug. Der skal erstattes med PVC overdækning. Gavlbeklædning / ny stålplade / 40 år Den galvaniseret stålplade udskiftes til et mere blankt stålplade. Pladen skal dække hele gavlen.

Isolering på loft / Mineraluld / 50 år Indenunder skråtaget skal der isoleres med mineraluld. Hvor der er åbnet op til kip skal der skrâisoleres og dækkes af med gips.

Vinduer og døre / 50 år De forskellige slags vinduer og døre afmonteres og der skæres større åbninger. Nye vinduer og døre sættes ind.

Ydre - og indervægge / eksisterende beton 60 år, ny isolering 50 år, ny beton 100 år De oprindelig indervægge i beton rives ned. Ydrevægge skal efterisoleres. For at undgå for tykke vægge, bliver den yderste betonvæg brækket ned. Det gamle isolering tages ned og erstattes med tykkere isolering. Betonfacaden bygges op igen.

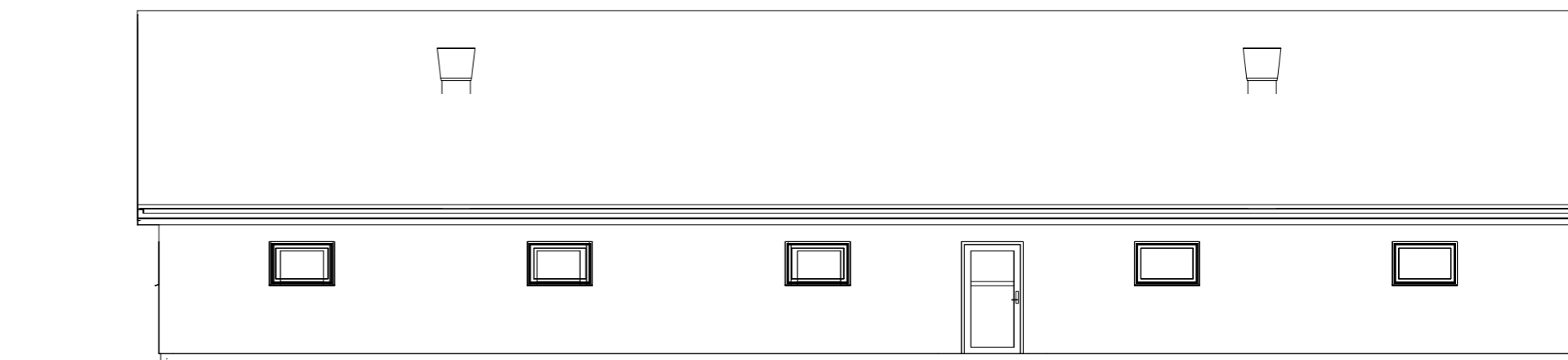
Gulv af svinespalte / beton 80 år (genbrug) Svinespalte bliver lagt forsigtigt til genbrug, så de kan genbruges direkte til en anden staldbygning mm.

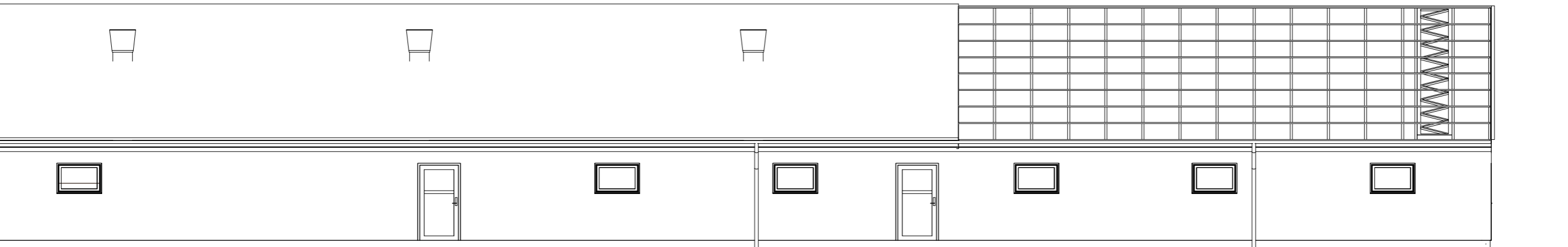
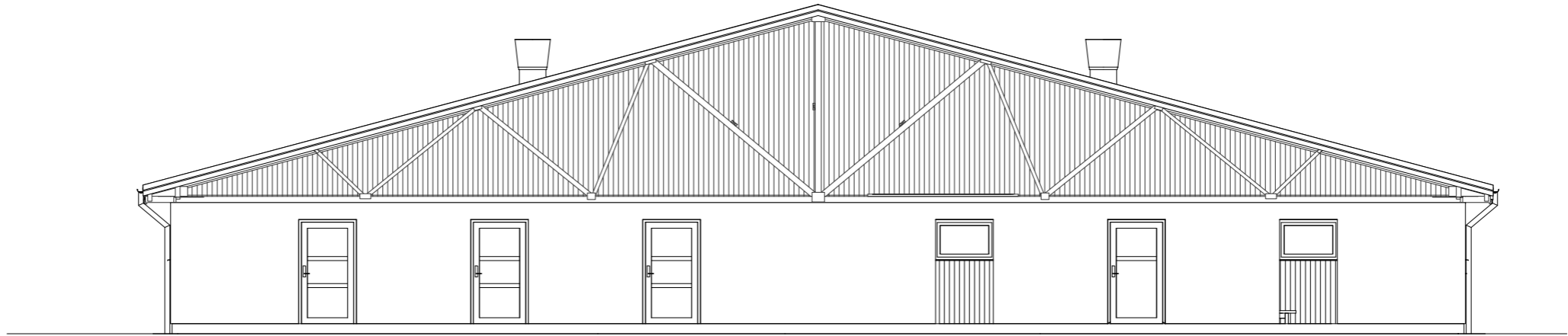
Gulvbeklædning / Træ eller rå beton 100 år Gulvbeklædning skal være i rå beton eller med træplader. Træplader har en længere levealder. Dette kan findes brugt.

Terrændæk / Grovbeton med EPS isolering/ 120 år og 80 år Der skal foretages en indvendig udgravning. Herefter skal der ligges et nyt terrændæk med passende isolering.

PROJEKT 3 / GOURMETSVAMPE-OG MIKROGRØNFARM

I en fremtid hvor vi begynder at blive mere grønt baseret i vores diet, er der god potentiale for at omdanne svinestalden til primærproduktion. Dette projekt giver et forslag til hvordan man kan omdanne svinestalden til produktion af gourmetsvampe, mikro-grønt, drivhus samt restaurant. Der er taget udgangspunkt i at bibeholde så meget som muligt af den eksisterende konstruktion.

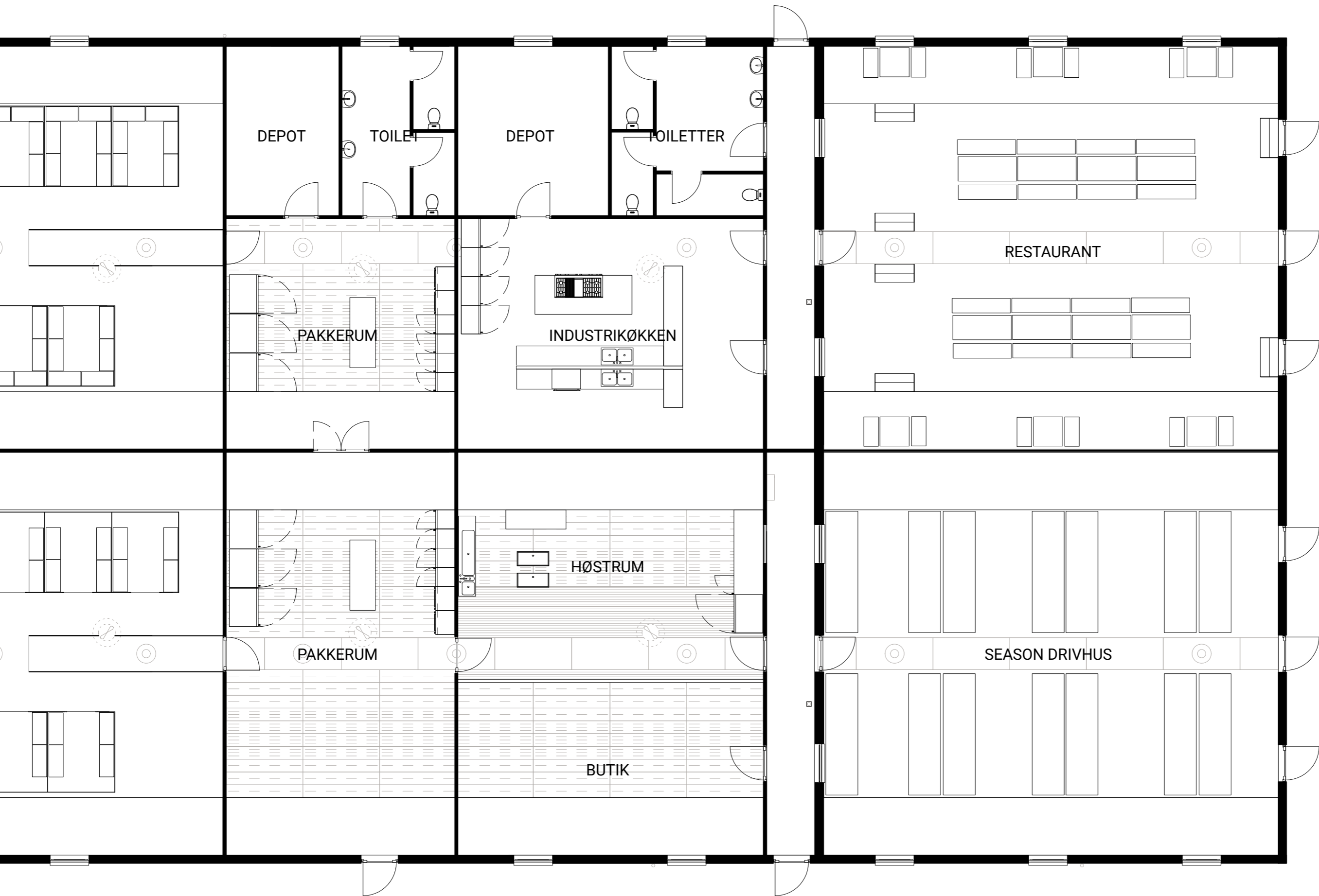




PROJEKT 3 / GOURMETSVAMPE-OG MIKROGRØNFARM

Gourmetsvampe - og mikrogrøntproduktionen går gerne hånd i hånd. Dette skyldes at de har en lignende steriliserings program og vokser godt i grotelte eller specialiserede rum. Gourmetsvampe har forskellige stadier i sin vækst som kræver god plads og det er en fordel at produktionen foregår i et plan. Rumprogrammet følger samme proces som produktionen. Gourmetsvamperne starter med sterilisering af substrat og produktion af svampesporer til grotelte. Produktionen kræver forskellige klimaer som man kan styre i grotelte. Derefter lægges de færdig groet svampe på køl og bliver pakket eller serveret i restauranten. Mikrogrønt fungerer på samme måde med en lidt lettere proces. Den ene af stalden er omdannet til drivhus og restaurant. Dette øger mulighederne af produktion og erhvervsmuligheder.



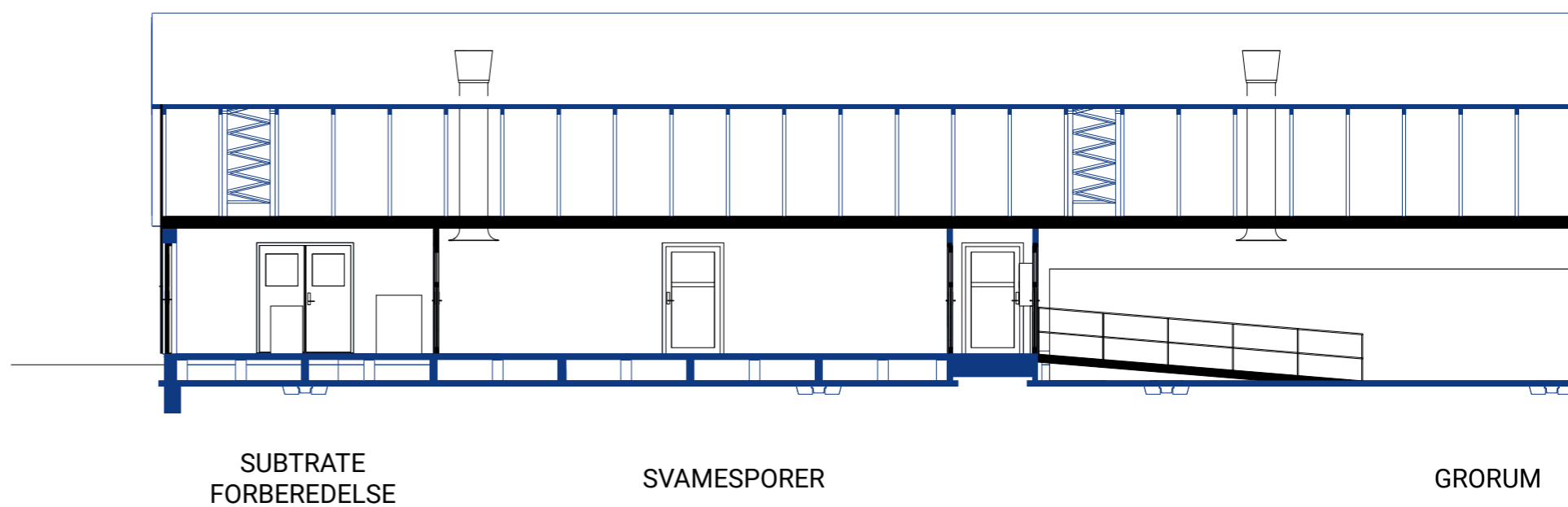


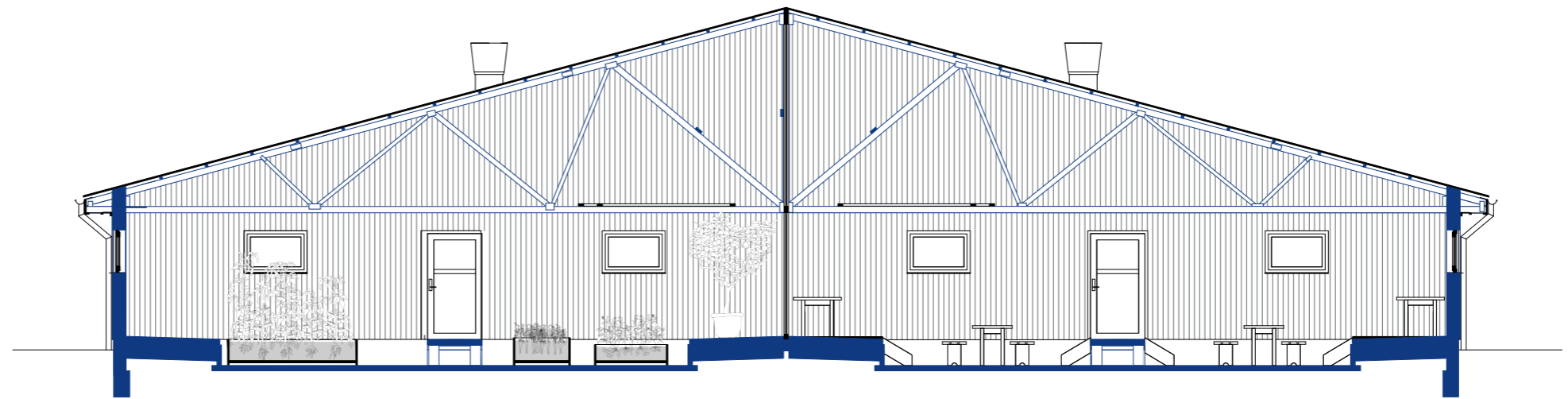
PROJEKT 3 / GOURMETSVAMPE-OG MIKROGRØNFARM

Der er blevet beholdt store dele af den eksisterende bygningsmasse. Næsten alle betonelementer er genbrugt. Vinduer er døre er her indikeret med sort, men udskiftningen kan ske løbende efter behov.

Den større transformation ligger i drivhus og restaurant. Industrikøkkenet vil have en del byggekrav til brænd og udluftning. Drivhuset kræver at man erstatter eternittaget med plasttag. Hvis beplantningen skal have hjælp med LED-lys, skal evt. brandkrave undersøges.

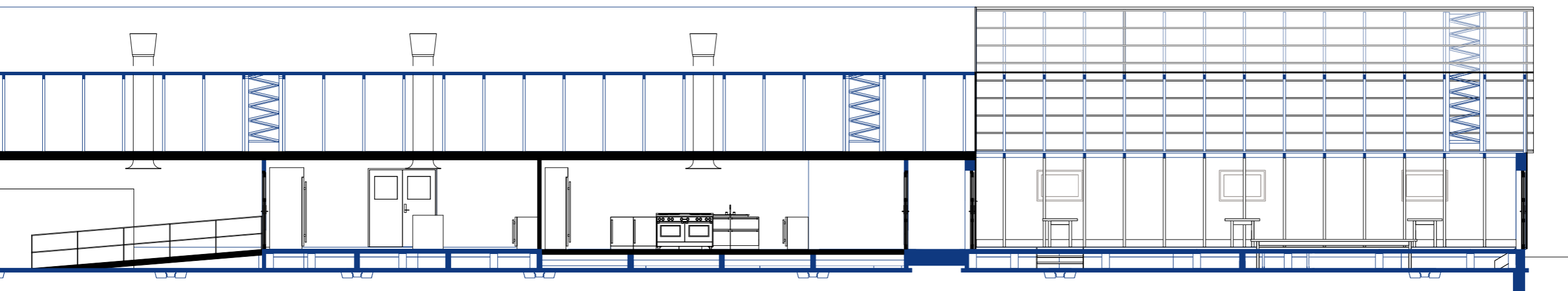
Den blå farve indikere eksisterende byggemasse.





DRIVHUS

RESTAURANT



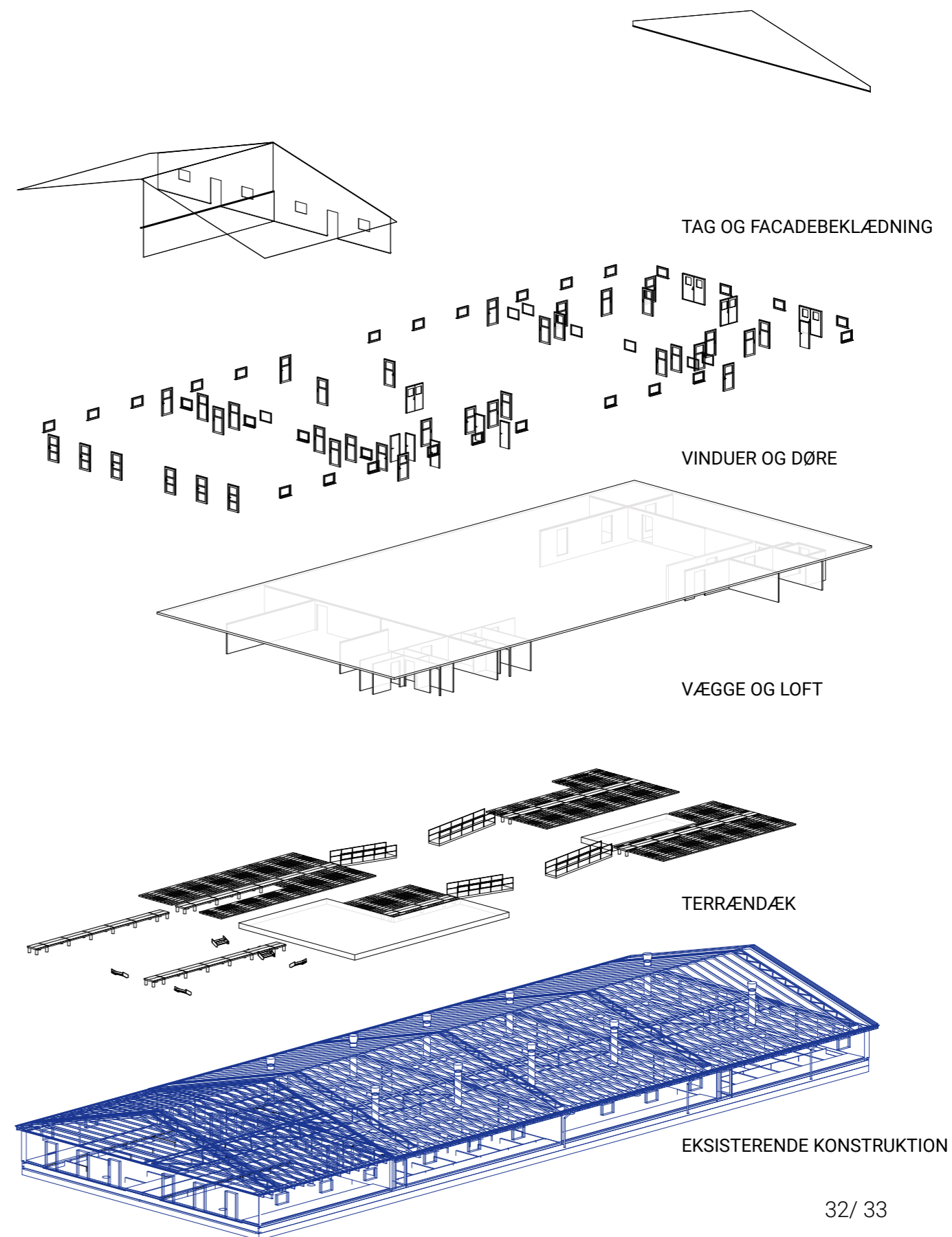
PAKKERUM

INDUSTRIKØKKEN

RESTAURANT

PROJEKT 3 / GOURMETSVAMPE-OG MIKROGRØNFARM

Svinestalden beholder de største dele af sine konstruktioner. De rum hvor der er særlig fokus på klima, skal muligvis udstyres med isolering og ventilation eller udskiftning af vinduer. Det største indgreb er ved drivhuset. Her nedtages eternittaget og erstattes med transparent plast. Enkelte døråbninger bliver udvidet for at imødekomme produktionen. Mange af ændringerne kan ske løbende, som produktionen vokser.



Tagbeklædning / eksisterende eternittag 60 år og PVC-tag 40 år

Eternittag algebehandles og hvis det er nødvendigt tilføjes tætningsbånd ved rygningen. Dele af eternit skæres fri eller afmonteres til genbrug. Der skal erstattes med PVC overdækning. Gavlbeklædning / ny stålplade / 40 år Den galvaniseret stålplade udskiftes til et mere blankt stålplade. Pladen skal dække hele gavlen.

ISBN: 978-87-7475-692-7

Isolering på loft / Mineraluld / 50 år

Der foretages ingen ændringer. Der kan efterisoleres efter behov for produktionen.

Vinduer og døre / 50 år

Vinduer og døre udskiftes efter behov.

Ydre - og indervægge / eksisterende beton 60 år, ny isolering 50 år, ny beton 100 år

De oprindelig indervægge og ydrevægge i beton beholdes. Der kan efterisoleres efter behov for produktionen.

Gulv af svinespalte / beton 80 år (genbrug)

Svinespalte bliver lagt forsigtigt til genbrug, mange af svinespaltene kan genbruges til andre rum.

Gulvbeklædning / Træ eller rå beton 100 år

Gulvbeklædning skal være i rå beton eller med træplader. Træplader har en længere levealder. Dette kan findes brugt.

Tærrændæk / Grovbeton med EPS isolering / 120 år og 80 år. Der skal foretages ingen ændringer.

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Life Cycle Costing

- 3 transformationer af eksisterende beton stald

Appendix rapport til 8



Indhold

Intro - Transformation af eksisterende, ikke længere anvendte stalde til nye formål	3
Metode	3
Antagelser.....	3
Turisme - Feriebolig.....	3
Erhverv - Kontorfællesskab	4
Plantebaseret landbrugsproduktion - Gourmetsvampeproduktion / restauration	5
Resultater	6
Feriebolig.....	6
Beregningsforudsætninger	6
Opsummerede omkostninger for transformation til ferieboliger.....	6
Nutidsværdier uden restværdi	7
Opsummerede nutidsværdier uden restværdi.....	7
Hovedomkostningsposter	8
Ombygning af betonelement stald til Kontorfællesskab.....	8
Beregningsforudsætninger	8
Opsummerede omkostninger	9
Nutidsværdier uden restværdi	9
Opsummerede nutidsværdier uden restværdi.....	9
Hovedomkostningsposter	10
Gourmetsvampeproduktion / restauration	10
Beregningsforudsætninge	10
Opsummerede omkostninger	10
Nutidsværdier uden restværdi	11
Opsummerede nutidsværdier uden restværdi.....	11
Hovedomkostningsposter	12
Samlet Analyse	13
Opsummerede omkostninger	13
Nutidsværdier uden restværdi	13
Opsummerede nutidsværdier uden restværdi.....	14
Hovedomkostningsposter	Error! Bookmark not defined.
Diskussion	15
Kildehenvisninger	15

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Life Cycle Costing

- 3 transformationer af eksisterende beton stald

Rapport 9

Januar, 2022

Udarbejdet af D. Hartmann, C. Fischer, Morten Ryberg, Lotte Bjerregaard Jensen

Projekt udarbejdet af SEGES Innovation P/S

Projektleder Kenneth Poulsen, Byggechef, SEGES Innovation P/S

ISBN: 978-87-7475-693-4

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

Cover photo: Gråkjær A/S 'Totalstald'

Published by: DTU, Department of Civil Engineering, Brovej, Building 118, 2800 Kgs.

Lyngby Denmark

www.byg.dtu.dk

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Intro - Transformation af eksisterende, ikke længere anvendte stalde til nye formål

Rapporten analyserer klimavenlig transformation af standard betonelement stalde med hensyn til cirkulær økonomi. Målet er at undersøge tre scenarier for transformation af betonelementstalde for at finde den løsning, som har den bedste totaløkonomi – dvs. hvor både anlæg og vedligehold i de kommende år inddrages. De tre scenarier er beskrevet i tegninger og tekst i rapport som appendix til denne rapport.

De tre scenarier er:

- transformation til turisme
- til plantebaseret produktion
- til kontor erhverv

Det er i de seneste år dokumenteret at transformation og renovering af eksisterende bygninger er det mest bæredygtige, sammenlignet med at nedrive og 'source' bygningsselementerne til ny anvendelse (urban mining). Selvom en transformation og renovering indebærer tilføjelse af nye materialer og bortskaffelse af eksisterende materialer, er transformation og renovering af eksisterende bygninger stadig den løsning, der indebærer det mindste klimaaftryk (GWP). Selvom vi ikke har udført en LCA i denne rapport, er der derfor en vis sandsynlighed for at alle tre scenarier vil mindske CO₂ udledende end hvis bygningen nedrives, og en ny bygning til nye funktioner (de 3 scenarier) opføres.

Men er det en god økonomi for landmanden at gå i gang med ombygningen? Dette spørgsmål besvares ikke i denne rapport. Det spørgsmål, som besvares er hvilke af de 3 scenarier der har størst økonomisk påvirkning i et totaløkonomisk perspektiv (hvor både anlæg og vedligehold er regnet med). Der er valgt en betragtningsperiode på 40 år (levetiden for staldbygning jf levetidstabellen 2021).

Næste skridt for landbrugsvirksomheden vil være at opstille forretningsmodeller, hvor denne rapport totaløkonomiske overvejelser kan indgå.

Metode

I denne rapport analyseres økonomiske omkostninger ved de 3 transformationsscenarioer, i forhold til den originale betonelement stald fra rapport 1 (Baseline, Mahdi et al) i form af en LCC (Life Cycle Costing beregning).

Der er i nærværende rapport udført LCC-analyse over byggevarer og inventar i de tre forskellige transformations projektforslag. Analysen er foretaget ved brug af programmet LCCbyg i samarbejde med Gråkjær A/S, SEGES og DTU byg.

Antagelser

For at foretage analysen er der blevet gjort en række antagelser som bliver beskrevet nedenfor.

Turisme - Feriebolig

I ferieboligtransformationen er der designet et PVC tag, der dækker en del af bygningens tag. Det har ikke været muligt at finde PVC i LCC-byg, der er i stedet blevet indtastet tagpap, da begge produkter er

plastholdige¹. Det resterende tag bevarer eksisterende eternittag. Det eksisterende eternittag er dog stadig medregnet i LCC, da det skal algebehandles og har brug for et nyt tætningsbånd. Eternittaget er derfor indtastet som værende tæt på miljømæssigt og økonomisk 'gratis', hvor under tætningsbånd og algebehandling er sat ind som vedligehold.

Eftersom tagkonstruktionen nogle steder åbnes til kip, er det nødvendigt at understøtte tagkonstruktionen yderligere, ved brug af gitterspær, det er blevet antaget at fem styk er passende. I alle fællesområder åbnes der til kip og efterisoleres med 200 mm mineraluld, hvorefter der lukkes af med 2 lag gips i de resterende rum, hvor der er nedhægt loft, lukkes der ligeledes af med 2 lag gips.

Facadebeklædningen ændres til at være stålbeklædning i de to gavle, på baggrund af modtaget projektoplag, de resterende facader bevares i eksisterende beton.

Samtlige yderdøre har store vinduespartier og en dertilhørende aluminiumsramme, dørene er derfor sat ind i LCC-byg som vinduer i stedet for. Samtlige indendørs døre er sat til at være trædøre. Med udgangspunkt i Revit fil udarbejdet af tidligere DTU-studerende, er alle vinduer sat til at have plastrammer.

I ledtog med Martin Rindom fra Gråkjær, er det blevet besluttet at efterisolere ydervæggene med 200 mm mineraluld, for at leve BR18's standard.

Eksisterende indervægge bliver revet ned og erstattet med nye, de nye indervægge består af 2 lag gips, konstruktionstræ, 2 lag gips. Bærende vægge er udført i 100 mm beton.

Ved vådrum er gulvbeklædningen rå beton, i de resterende rum er gulvet svømmende trægulv. Gulvet efterisoleres med 100 mm.

Poolene er udarbejdet i 150 mm beton som væg og gulv og saunaen udarbejdes af svømmende trægulv, træloft og konstruktionstræ.

Det er en forudsætning for at foretage analysen, at ferieboligen er en udlejningsbolig, som bruges hele året rundt. Denne antagelse er lavet på baggrund af at det ellers vil være for dyrt at opvarme poolen, da det er opvarmningsprocessen som er den mest energikrævende del af poolens drift. Derefter skal poolen blot vedligeholde sin temperatur hvilket svarer til ca. 115 kWh om ugen eller 345 kr¹ svarende til 17.940 kr om året.

Poolenes drift er blevet indtastet i LCC byg som forbrugsanlæg, hvor prisen for en varmepumpe (til at opvarme poolen) er sat som engangsudgiften og den årlige drift af en pool (det vil sige 17.940 plus rens og vedligehold) ind som årligt vedligehold af forbrugsanlægget for at få poolens drift medregnet i udgifter.²

Saunaens drift er indtastet i LCC byg som varmforsyningsanlæg, hvor prisen for en saunaovn (til at opvarme saunaen) er sat som engangsudgiften og den årlige drift af sauna (det vil sige opvarmning af sauna i 2 timer, 3 gange om ugen i 52 uger = 312 timer, hvor det koster 15 kWh pr time tændt sauna) ind som årligt vedligehold af varmforsyningsanlægget for at få saunaens drift medregnet i udgifter.²

Erhverv - Kontorfællesskab

I kontorfællesskabsombygningen er der designet PVC tag, det har ikke været muligt at finde PVC i LCC-byg, der er i stedet blevet indtastet tagpap, da begge produkter er plast, det resterende tag bevarer

¹ "Tag overflade asfalt" i LCCbyg som der er valgt her, har en levetid på 20 år, dette gælder for 1 lag tagpap. Jf. levetidstabellen 2021 er levetiden på 2 lag tagpap 40 år. Dette kan have stor betydning for det endelige resultat, da dette betyder flere udskiftninger i betragtningsperioden på 50 år. Tagoverflader af plast har en levetid på 20 år jf. levetidstabel 2021. PVC meget brandbart.

eksisterende eternittag. Det eksisterende eternittag er dog stadig medregnet i LCC, da det skal algebehandles og har brug for et nyt tætningsbånd. Eternittaget er derfor indtastet som værende tæt på gratis, hvor under tætningsbånd og algebehandling er sat ind som vedligehold.

Eftersom tagkonstruktionen nogle steder åbnes til kip, er det nødvendigt at understøtte tagkonstruktionen yderligere, ved brug af gitterspær, det er blevet antaget at fem styk er passende. Der hvor der åbnes til kip efterisoleres med 150 mm mineraluld, hvorefter der lukkes af med 2 lag gips. I vådrum og mindre kontorer er der nedhægt loft, ligeledes med 2 lag gips.

Facadebeklædningen ændres til at være stålbeklædning i de to gavle, på baggrund af modtaget projektoplag, de resterende facader bevares i eksisterende beton.

Samtlige yderdøre har store vinduespartier og en dertilhørende aluminiumsramme, dørene er derfor sat ind i LCC-byg som vinduer i stedet for, det samme er gældende for indendørs døre til kontorer. Alle toilettdøre er sat til at være trædøre. Med udgangspunkt i Revit fil udarbejdet af tidligere DTU-studerende, er alle vinduer sat til at have plastrammer.

Sammen med Martin Rindom fra Gråkjær A/S, er det blevet besluttet at efterisolere ydervæggene med 150 mm mineraluld, for at leve BR18's standard.

Eksisterende indervægge bliver revet ned og erstattet med nye, de nye indervægge består af 2 lag gips, konstruktionstræ, 2 lag gips. Bærende vægge er blevet udført i 100 mm beton.

Ved vådrum er gulvbeklædningen rå beton, i de resterende rum er gulvet svømmende trægulv. Gulvet over alt efterisoleres med 100 mm.

Plantebaseret landbrugsproduktion - Gourmetsvampeproduktion / restauration

I gourmetsvampeproduktions- /restaurationsombygningen er der designet PVC tag, det har ikke været muligt at finde PVC i LCC-byg, der er i stedet blevet indtastet tagpap, da begge produkter er plast, det resterende tag bevarer eksisterende eternittag. Det eksisterende eternittag er dog stadig medregnet i LCC, da det skal algebehandles og har brug for et nyt tætningsbånd. Eternittaget er derfor indtastet som værende tæt på gratis, hvor under tætningsbånd og algebehandling er sat ind som vedligehold.

Eftersom tagkonstruktionen nogle steder åbnes til kip, er det nødvendigt at understøtte tagkonstruktionen yderligere, ved brug af gitterspær, det er blevet antaget at fem styk er passende. Med udgangspunkt i det givne projektmateriale efterisoleres der ikke ved åbning til kip.

Facadebeklædningen ændres til at være stålbeklædning i de to gavle, på baggrund af modtaget projektoplag, de resterende facader bevares i eksisterende beton.

Det antages at vinduer og døre i gourmetsvampeproduktions- /restaurationsombygningen er de samme som ved det oprindelige byggeri, og de medtages derfor ikke i denne analyse.

I ledtog med Martin Rindom fra Gråkjær A/S, er det blevet besluttet at efterisolere ydervæggene med 150 mm mineraluld, for at leve BR18's standard.

Eksisterende indervægge bliver revet ned og erstattet med nye, de nye indervægge består af 2 lag gips, konstruktionstræ, 2 lag gips. Bærende vægge er blevet udført i 100 mm beton.

Da det er en produktionsfacilitet med dertilhørende restaurant, er det besluttet at udføre al gulv i rå beton.

Det har ikke været muligt at finde en tynd plastfilm tilsvarende groteltene i svampeproduktionen, det blev derudover sidenhen konkluderet at plastfilmens var på niveau med møblelement og at dets indflydelse på analysen vil være beskedent, det blev derfor konkluderet at se bort fra plastfilmen i groteltene.

Resultater

Feriebolig

I det følgende præsenteres resultaterne for transformationsscenarioet, hvor betonelementstalden til svineproduktion i stedet transformeres og ombygges til feriebolig (se appendiks til denne rapport for detaljerede tegninger og beskrivelser af transformationsprojektet).

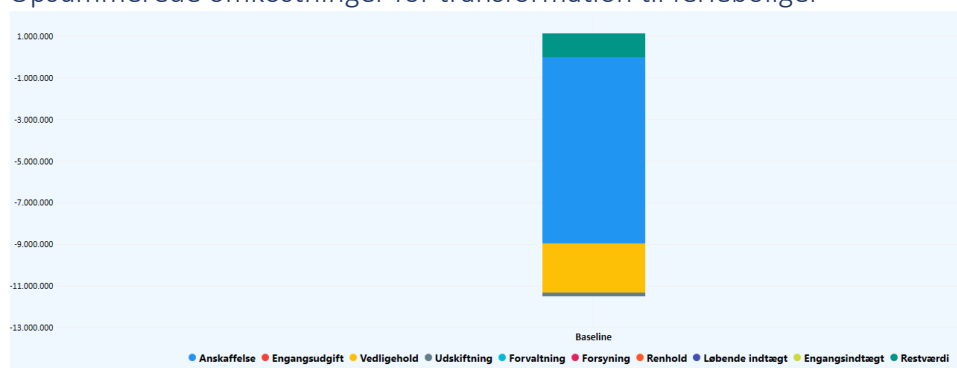
Beregningsforudsætninger

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

Tabel 1 – Beregningsforudsætninger, feriebolig

Beregningsforudsætninger for LCC-beregninger fremgår af tabel 1, det er de samme som ved betonelementstaldens (baseline rapport 1, Mahdi et al), for at kunne sammenligne scenarierne.

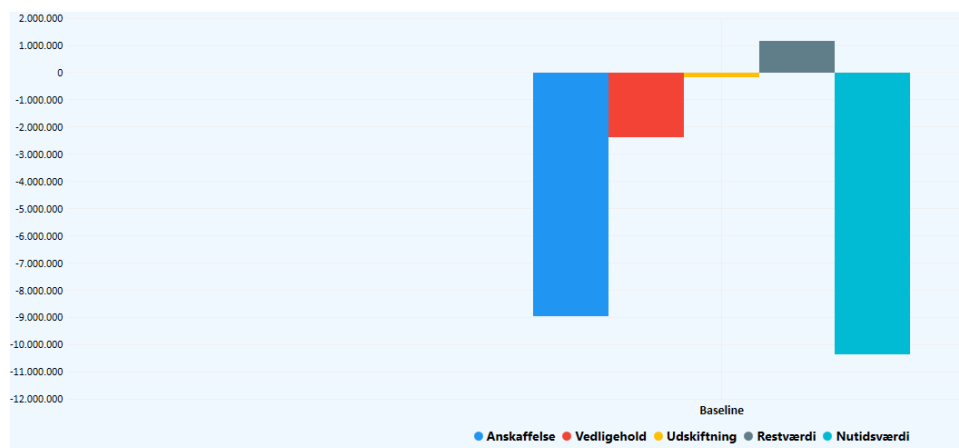
Opsummerede omkostninger for transformation til ferieboliger



Figur 1 – Opsummerede omkostninger, feriebolig

De opsummerede omkostninger for ombygningen til feriebolig kan ses på figur 1.

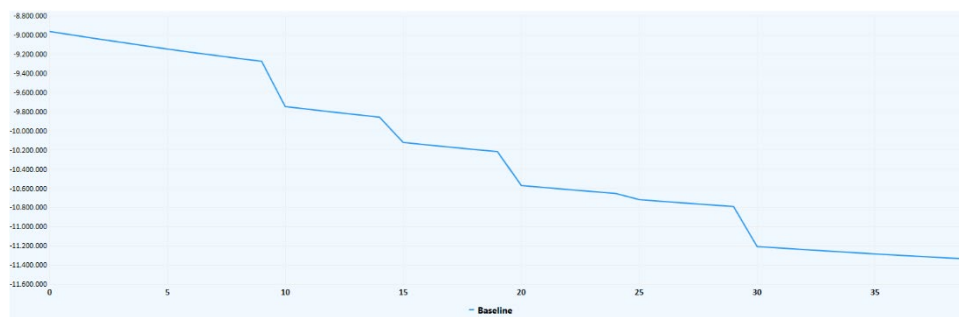
Nutidsværdier uden restværdi



Figur 2 – Nutidsværdier uden restværdi, feriebolig

Nutidsværdien er et udtryk for hvor mange penge, der skal sættes til side i dag, for at kunne betale alle fremtidige omkostninger i beregningsperioden for ombygningen til feriebolig. I figur 2 vises nutidsværdien for ombygningen til feriebolig.

Opsummerede nutidsværdier uden restværdi



Figur 3 – Opsummerede nutidsværdier uden restværdi, feriebolig

Figur 3 viser resultatet af opsummerede nutidsværdier, uden restværdi. Knækkene i grafen indikerer, at der vil være en forøgelse i omkostningerne ift. vedligeholdelse eller udskiftning af forskellige bygningsdele.

Hovedomkostningsposter

Navn	Baseline
Anskaffelse	-8.963.416
Engangsudgift	
Vedligehold	-2.369.752
Udskiftning	-172.750
Forvaltning	
Forsyning	
Renhold	
Løbende indtægt	
Engangsindtægt	
Nutidsværdi uden restværdi	-11.505.918
Restværdi	1.153.940
Nutidsværdi	-10.351.978

Tabel 2 – Hovedomkostningsposter, feriebolig

En oversigt over hovedomkostningsposter ved ombygning af svinestald til ferieboliger og deres nutidsværdi kan ses i tabel 2.

Ombygning af betonelement stald til Kontorfællesskab

I det følgende præsenteres LCC resultater for ombygning til af betonelementstalden fra Baseline rapporten (Mahdi et al) til kontorfællesskab. Tegninger og beskrivelser af projektet ses i appendiks til denne rapport.

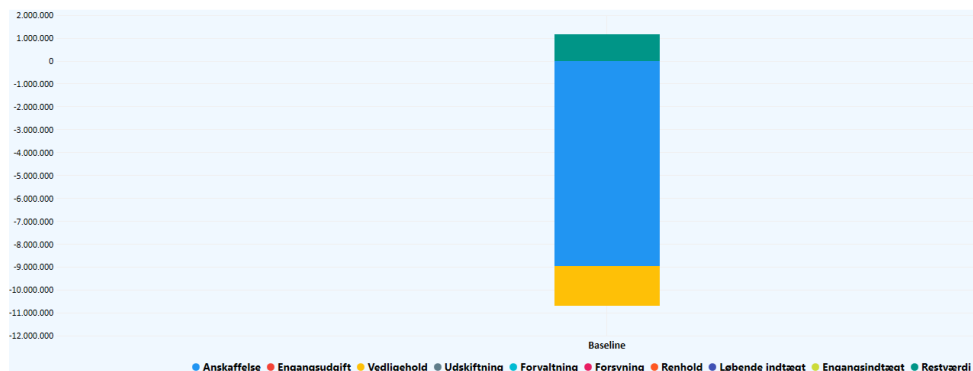
Beregningsforudsætninger

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

Tabel 3 3 – Beregningsforudsætninger, kontorfællesskab

Beregningsforudsætninger for LCC-beregninger fremgår af tabel 3 og er sat til at være de samme som ved betonelementstalden (baseline), for at gøre dem sammenlignelige.

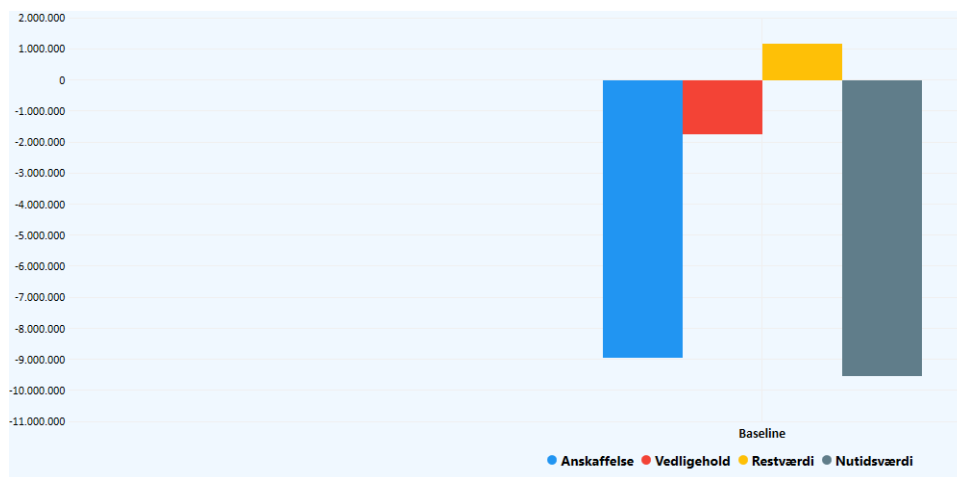
Opsummerede omkostninger



Figur 4 – Opsummerede omkostninger, kontorfællesskab

De opsummerede omkostninger for ombygningen til kontorfællesskab kan ses på figur 4.

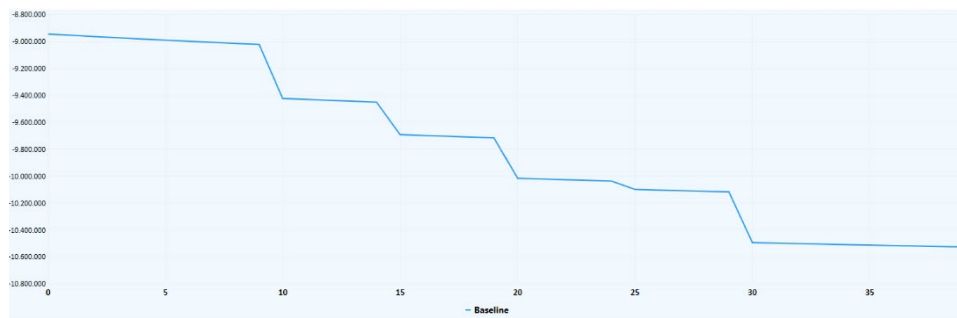
Nutidsværdier uden restværdi



Figur 5 -Nutidsværdier uden restværdi, kontorfællesskab

Nutidsværdien er et udtryk for hvor mange penge, der skal sættes til side i dag, for at kunne betale alle fremtidige omkostninger i beregningsperioden. I figur 5 vises nutidsværdi for ombygningen til kontorfællesskab.

Opsummerede nutidsværdier uden restværdi



Figur 67 – Opsummerede nutidsværdier uden restværdi, kontorfællesskab

Figur 6 viser resultatet af opsummerede nutidsværdier, uden restværdi. Knækkene i grafen indikerer, at der vil være en forøgelse i omkostningerne ift. vedligeholdelse eller udskiftning af forskellige bygningsdele.

Hovedomkostningsposter

Navn	Baseline
Anskaffelse	-8.945.723
Engangsudgift	
Vedligehold	-1.749.832
Udskiftning	0
Forvaltning	
Forsyning	
Renhold	
Løbende indtægt	
Engangsindtægt	
Nutidsværdi uden restværdi	-10.695.556
Restværdi	1.156.060
Nutidsværdi	-9.539.495

Tabel 4 – Hovedomkostningsposter, kontorfællesskab

En oversigt over hovedomkostningsposter og deres nutidsværdi kan ses i tabel 4.

Gourmetsvampeproduktion / restauration

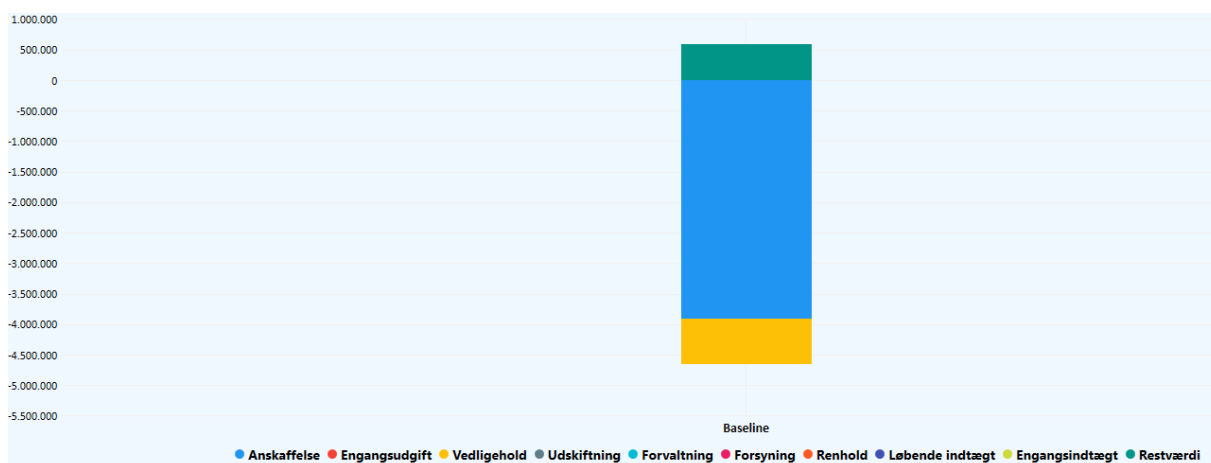
Beregningsforudsætninger

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

Tabel 5 5 – Beregningsforudsætninger, gourmetsvampeproduktion / restauration

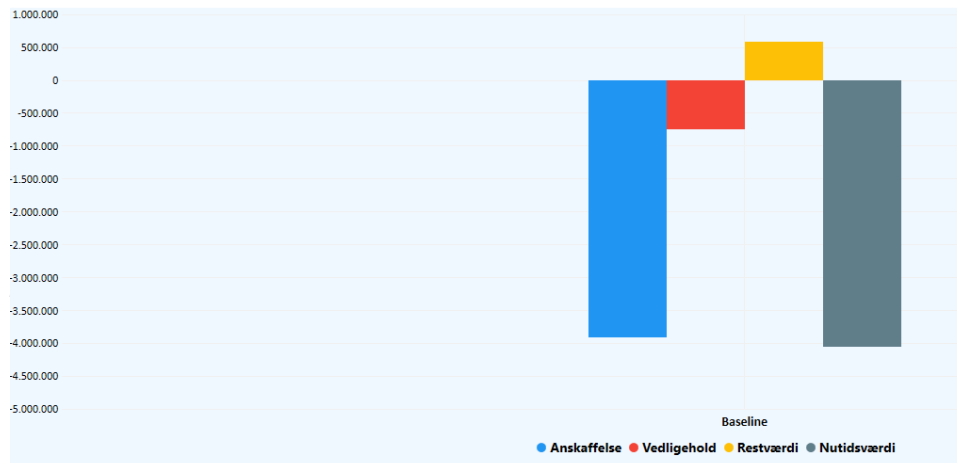
Beregningsforudsætninger for LCC-beregninger fremgår af tabel 3 og er sat til at være de samme som ved betonelementstalden, for at gøre dem sammenlignelige.

Opsummerede omkostninger



De opsummerede omkostninger for ombygningen til gourmetsvampeproduktion / restauration kan ses på figur 7.

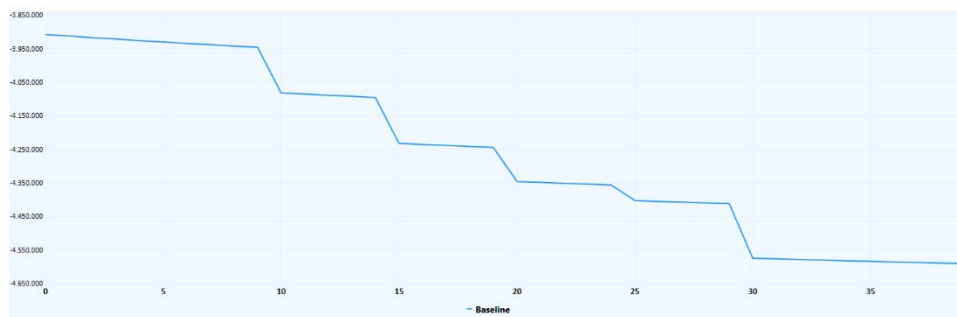
Nutidsværdier uden restværdi



Figur 9 – Nutidsværdier uden restværdi, gourmetsvampeproduktion / restauration

Nutidsværdien er et udtryk for hvor mange penge, der skal sættes til side i dag, for at kunne betale alle fremtidige omkostninger i beregningsperioden. I figur 8 vises nutidsværdi for ombygningen.

Opsummerede nutidsværdier uden restværdi



Figur 10 – Opsummerede nutidsværdier uden restværdi, gourmetsvampeproduktion / restauration

Figur 9 viser resultatet af opsummerede nutidsværdier, uden restværdi. Knækkene i grafen indikerer, at der vil være en forøgelse i omkostningerne ift. vedligeholdelse eller udskiftning af forskellige bygningsdele.

Hovedomkostningsposter

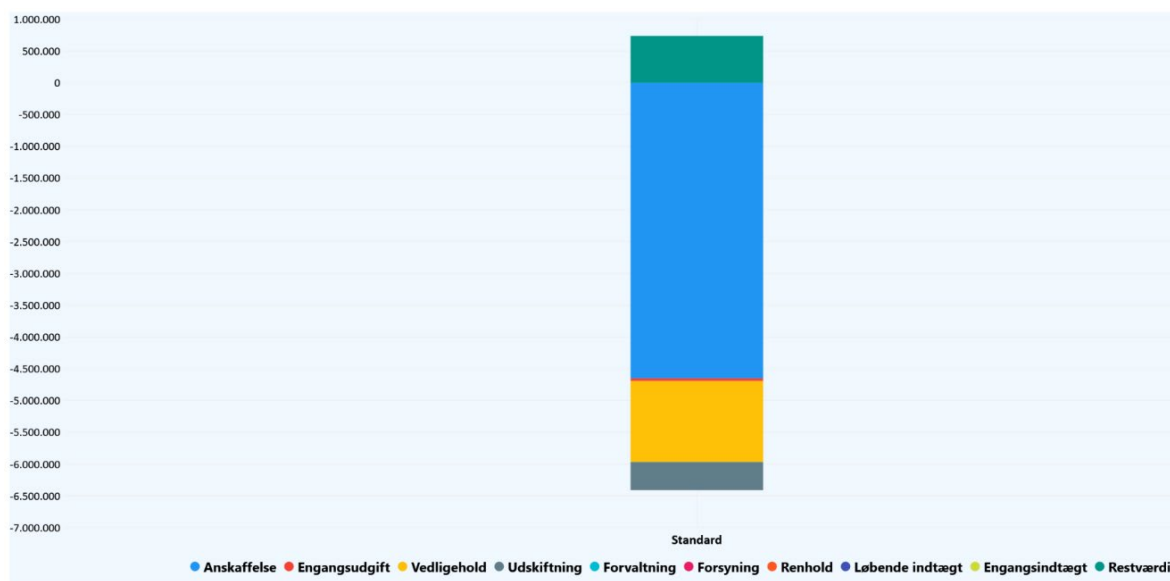
Navn	Baseline
Anskaffelse	-3.908.496
Engangsudgift	
Vedligehold	-739.787
Udskiftning	0
Forvaltning	
Forsyning	
Renhold	
Løbende indtægt	
Engangsindtægt	
Nutidsværdi uden restværdi	-4.648.283
Restværdi	589.353
Nutidsværdi	-4.058.931

Tabel 6 – Hovedomkostningsposter, gourmetsvampeproduktion / restauration

En oversigt over hovedomkostningsposter og deres nutidsværdi kan ses i tabel 6.

Samlet Analyse

Opsummerede omkostninger

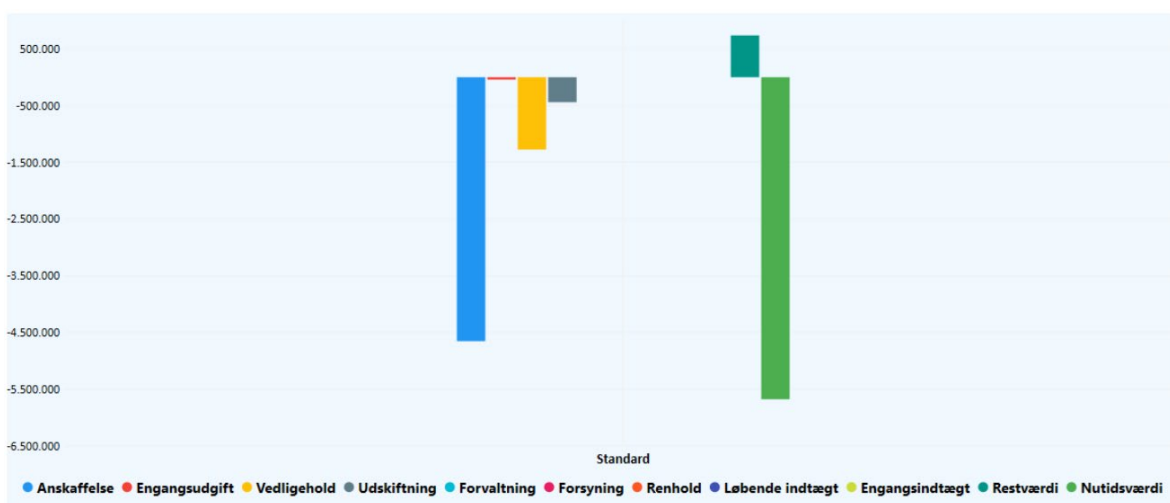


Figur 10 11 – Opsummerede omkostninger, betonelementstald

Generelt for ombygningerne ligger restværdien mellem 589.000 kr og 1.130.000 kr. Her ligger betonelementstalden sig i midten på 736.000 kr.

Det ses ud fra *Figur 1 – Opsummerede omkostninger, feriebolig* at de opsummerede omkostninger for ferieboligombygningen ligger på lidt over 11.500.000 kr, ud fra *Figur 4 – Opsummerede omkostninger, kontorfællesskab* ses det at ombygningen til et kontorfællesskabs omkostninger ligger på omkring 10.600.000 kr og ud fra *Figur 7 – Opsummerede omkostninger, gourmetsvampeproduktion / restauration* ses det at ombygningen til gourmetsvampeproduktion / restauration har en omkostning på omkring 4.600.000 kr. Det vil sige at gourmetsvampeproduktion / restauration er den eneste af ombygningerne som har en lavere opsummeret omkostning, det skyldes at det er den bygning med klart færrest ombygninger og hvor den største del af bygningsmassen bevares.

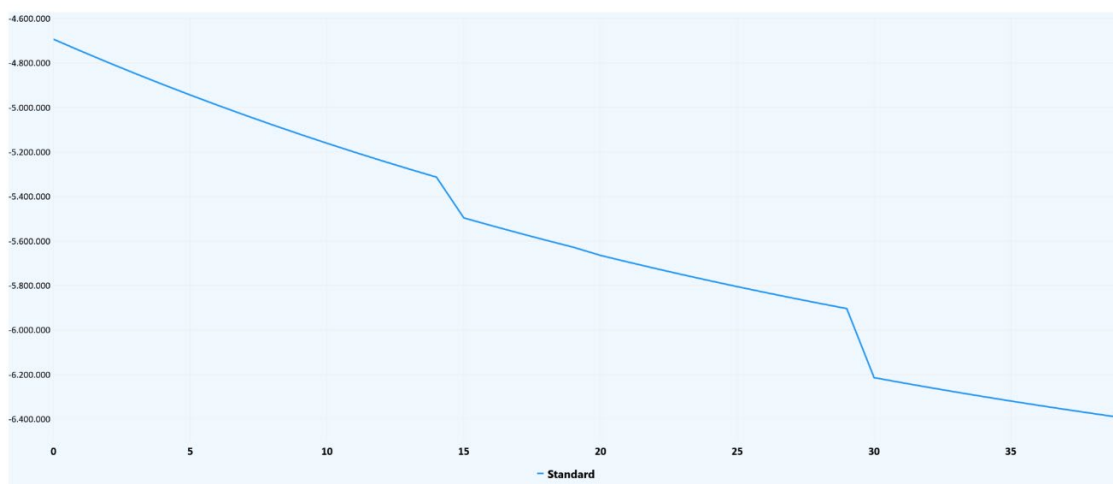
Nutidsværdier uden restværdi



Figur 1112 – Nutidsværdier uden restværdi, betonelementstald

Sammenlignes *Figur 11 – Nutidsværdier uden restværdi, betonelementstald* med ombygningerne ses det at der er en engangsudgift i *Figur 11*, hvilket ikke forekommer i nogle af ombygningerne, det vides ikke om engangsudgiften i *Figur 11* er en fejl, eftersom den ligger tæt på 0 kr. Derudover har *Figur 11* en udskiftningsudgift, som ikke ses i *Figur 5 - Nutidsværdier uden restværdi, kontorfællesskab* eller *Figur 8 – Nutidsværdier uden restværdi, gourmetsvampeproduktion / restauration*, men som ses i *Figur 2 – Nutidsværdier uden restværdi, feriebolig*, det skyldes at der i ferieboligen og i betonelementstalden er komponenter som har en levetid på lavere end 40 år, og som derfor skal udskiftes inden for bygningens levetid.

Opsummerede nutidsværdier uden restværdi



Figur 13 12 – Opsummerede nutidsværdier uden restværdi, betonelementstald

Knækkene i grafen indikerer, at der hvor en forøgelse i omkostningerne vil forekomme i forhold til vedligeholdelse eller udskiftning af forskellige bygningsdele. Sammenlignes *Figur 12 – Opsummerede nutidsværdier uden restværdi, betonelementstald* med ombygningerne, ses det at ombygningerne har en del flere knæk på deres kurver over opsummerede nutidsværdier uden restværdi end betonelementstalden. Det skyldes at der i ombygningerne er valgt materialer med en lavere levetid end betonelementstaldens oprindelige materialer, hvilket betyder udskiftning af komponenter og regelmæssigt vedligehold.

Hovedomkostningsposter

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

Tabel 7 – Hovedomkostningsposter, betonelementstald

Udgiften for vedligeholdelse i de tre forskellige transformationsforslag sammenlignet med betonelementstalden er økonomisk meget forskellige. Det ses på tabel 7 a vedligeholdelsen for betonelementstalden er 1.27 mio DKK, hvor vedligeholdelsen for ferieboligen i tabel 2 er 2,37 mio. Dette skyldes blandt andet at der i ferieboligen er pool samt sauna, derudover er der flere materialer der skal vedligeholdes bl.a. isolering, gips, døre og vinduer som alle løbende skal vedligeholdes.

I tabel 4 ses vedligehold for kontor dette har en udgift på 1,75 mio DKK. Dette indebærer igen vedligehold af materialer med lavere levetid, dette indebærer trægulve, gipsplader døre og vinduer.

I tabel 6 ses vedligeholdelsen af svampeproduktionen det ligger på 0,7 mio kr. Vedligeholdelsen her er så lav da der ikke er mange materialer med lav levetid, der er et begrænset antal gipsvægge og gulvet er i beton. Døre og vinduer er genbrug fra det oprindelige byggeri og der derfor ikke taget med i beregningen, dette er ligeledes en faktor i at vedligeholdelsen er så lav.

Diskussion

Hvis man udelukkende ser på investering til ombygning af bygningen den nye funktion er svampeproduktionen totaløkonomisk set mest fordelagtig. Her genanvendes størstedelen af materialerne og der er meget begrænset hvor mange nye materialer der tilføjes. I LCC-analysen er der ikke medregnet energi til selve produktionen. Det må forventes at der skal anvendes elektricitet til lamper, varme samt udluftning.

Det vil være muligt at gøre ferieboligerne billigere i både vedligehold og renovering ved at fjerne pool og sauna. Ved at fjerne de to dele vil man spare omkring 1 mio kr. på vedligehold og lidt over 3 mio kr. generelt set. Pool samt sauna skal hvert 10. år have ny hhv. vandvarmer og saunaovn, dette er meget bekosteligt, ligeledes er driften af pool og sauna. Det vil være muligt at lave et multirum, med mulighed for badminton, yoga og styrketræning i stedet for, hvilken stadig vil være i ånd med ferieboligstemningen.

Kildehenvisninger

- 1) <https://www.skagensavis.dk/2016/07/26/pas-paa-den-dyre-el-i-sommerhuset.html>
- 2) <https://www.swimmingpool.dk/>

<https://lccbyg.dk/>

Ryberg, Morten, Comparative life cycle assessment of four buildings in Greenland, 2021

Sørensen, LHM, Collin, C.. Analyse af CO2 udledning og totaløkonomi i renovering og nybyg, Rambøll 2020, https://issuu.com/realdania.dk/docs/komparativ_analyse_renovering_og_nybyg_inkl_bilag

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Concrete quality in pig farms

– Is reuse an option?

Rapport 9

Lisbeth M. Ottosen & Ana T. Lima, 2022



Concrete quality in pig farms – Is reuse an option?

Report
2022

By
Lisbeth M. Ottosen & Ana T. Lima

Projekt udarbejdet af SEGES Innovation P/S
Projektleder Kenneth Poulsen, Byggechef, SEGES Innovation P/S

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

Cover photo: Core samples from two investigated stable

Published by: DTU, Department of Environmental and Resource Engineering, Bygningstorvet,
Building 115, 2800 Kongens Lyngby Denmark
www.sustain.dtu.dk

Preface

This report documents and discusses the results from two projects carried out in collaboration between SEGES Innovation P/S (Projektleder Kenneth Poulsen, Byggechef, SEGES Innovation P/S) and DTU Byg/DTU Sustain (prof. Lisbeth M. Ottosen and senior researcher Ana T. Lima)

The project was financed through Promilleafgiftsfornden for Landbrug after an application from SEGES.

The work was made in two projects. It was initiated in the project “Climate friendly agricultural buildings” (2021-2022) as one of the work packages, and it was extended in the project “Concrete quality in pig farms” (2022).

Lyngby, December 2022

Lisbeth M. Ottosen & Ana T. Lima

Content

Summary	5
1. Introduction.....	6
1.1 Background	6
1.2 Degradation of concrete elements in stables	6
1.3 Aim of investigation	7
2. The investigated stables and concrete sampling	7
2.1 The stables and concrete sampling locations.....	7
2.2 Concrete core specimens.....	8
2.3 Drilling powder samples	10
3. Results and discussion.....	11
3.1 Compressive strength of core samples	12
3.2 Drilling powder samples	18
4. Conclusions.....	21
References	23
Appendix A: Betonelementer fra Give Elementefabrik over tid	24

Summary

In Denmark, the average demolition rate for farm buildings is higher than the average for Danish buildings in general. At the same time, quite many new square meter of farm buildings are built (500,000 m² in 2020). In a time, where we are facing resource scarcity – also for e.g. sand and gravel, it is worth investigating if some of the concrete elements from the demolished stables can be reused in the new.

This project served to compare the quality of concrete elements after 5, 15 and +30 years of exposure to animal livelihood and pig manure rejects. The ultimate goal of this comparison is to define the duration of concrete in these harsh environments and ***screen the possibility of reusing concrete elements***.

Concrete cores with a diameter of 10 mm were taken from inner and outer walls of the stables, as well as powder samples. Conductivity, pH, Cl and SO₄²⁻, S, Cu and Zn concentrations were measured in the drilling powder samples, while the cores were tested for their compressive strength.

Results show that the older concrete elements of 30+ years were very damaged. The specimens were made of lightweight aggregate concrete and broke apart during the sampling – due to reinforcement corrosion and degradation in the concrete. The high level of sulphur found in the concrete may be part of the explanation on the degradation. The 30 year old concrete specimen had no reuse value.

The 15 and 4 year old concrete elements were in a better state. The investigated walls all had different compositions and material layers (as expected from the developments in the design over the years) so no comparison or evaluation of the degradation as result of the age was possible. However, this screening showed that the elements from the two investigated stables had reuse potential when considering the state of the concrete.

1. Introduction

1.1 Background

Resource scarcity is one of the global crises that we are facing. A strategy to combat the scarcity is the transition towards a circular economy, and the buildings and construction sectors are key product value chains in the transition towards a circular economy (CE) in the EU (European Commission 2015, 2020). Yet, the buildings connected to agriculture have not received major attention in the context of a circular economy. However, since farm buildings account for 17% of the building stock in Denmark (Andersen et al. 2022), it is relevant to consider circular principles for this type of buildings to buildings.

The average demolition rate for farm buildings in Denmark is 0.42%, which is higher than the average for Danish buildings in general (0.19%). Actually, farm buildings has the highest demolition rate among all different building types in Denmark (Andersen et al. 2022). This adds to the relevance of considering a circular economy strategy for farm buildings, and not at least because new farm buildings are build. In 2020, this accounted to about 500,000 m² new farm buildings (Andersen et al 2022).

This project was initiated by SEGES as a first screening of the quality of the concrete elements in pig stables in relation to possible reuse of the concrete elements in new buildings in the support of a circular economy. Stables are not designed for disassembly (i.e. reuse of the elements), but it might be a future option.

1.2 Degradation of concrete elements in stables

Pig stables are a harsh environment for concrete elements, which may hamper the reuse and recovery options.

Results from a survey, carried out by De Belie (1997) on farms with fattening pigs in Belgium, showed that even for high-quality precast-concrete slats, on 15% of the farms surveyed, the coarse aggregates of some slats were exposed within 2 yr of use. After 5 years, wear was observed on 40% of the farms. Consequences were an increased gap between the slats and increased surface roughness (resulting in animal injuries), corrosion of the reinforcement and a reduced slat stability. The reason for this degradation was the specific aggressive conditions occurring on floors in animal houses. Chemical components from feed residues and manure may attack the concrete floor surface. Animals and (high pressure) cleaning exert a mechanical impact.

It is well-known (Eglinton, 1987) that that no cementitious material can withstand lengthy exposure to acids. Portland cement concretes would not be resistant to pH values below 6.0 and it is considered that, where pH values are less than 3.5, there is a high risk of damage to concrete made with any type of cement. Prolonged exposure of concrete structures to animal manure, agricultural effluents, and other chemicals results in the hydration of the cement, the formation of calcite crystals, and the disintegration of the structure (Maraveas, 2022).

Reinforcement corrosion is also induced in the harsh environment in a stable. Poultry, cow, and pig manure contain variable quantities of corrosion-inducing chemicals, such as sulfates, nitrates, chlorides, hydrogen sulfide, and ammonia (Maraveas, 2020). Metallic structures are easily corroded by chemicals found in animal manure products, organic and inorganic acids (Maraveas, 2020).

1.3 Aim of investigation

The present project is an experimental investigation of the state of the concrete in three Danish stables from three different ages. ***The aim is to discuss and evaluate the possibility for reusing the concrete elements on basis of these specific cases.***

2. The investigated stables and concrete sampling

2.1 The stables and concrete sampling locations

The three investigated stables are listed in table 1. They are chosen so they represent the three different types of concrete used in stables. In appendix A, the different concrete types produced by Give Elementfabrik for stables in the periods (I) before 2004, (II) in the period 2004 – 2016, and (III) after 2018, and one stable from each period is investigated. All three stables are built with elements from Give Elementfabrik.

Core samples (paragraph 2.2) and drill powder samples (paragraph 2.3) were taken from walls of the investigated stables. Table 1 gives an overview of the amounts and heights in which the samples were taken.

Table 1: Stables and sampling heights for core samples and powder samples

	Stable A	Stable B	Stable C
Year	Ca. 1992	2006	2018
Core samples	Internal wall: A1: H15; Ø100 A2: H20; Ø50 A3: H91; Ø50 A4: H155; Ø50	Internal wall: B1: H30 B2: H90 B3: H160 Outer wall: B4: H30 B5: H90 B6: H160	Internal wall: B1: H30 B2: H90 B3: H160 Outer wall: B4: H30 B5: H90 B6: H160
Drill powder samples	Heights: 10, 64, 91, 125, 150, 190 cm	Heights: 30, 60, 90, 120, 160, 180 cm (from inner and outer wall)	Heights: 30, 60, 90, 120, 160, 180 cm (from inner and outer wall)

2.2 Concrete core specimens

2.2.1 Core sampling

Concrete cores were taken from the investigated walls with a core drilling machine (Figure 1(a and b)). Except from the first core the diameter of the cores were 50 mm ($\text{\O}50$). The first core taken had a diameter of 10 mm ($\text{\O}100$). The choice of the $\text{\O}50$ for the investigation was based on the wish to make as little disturbance of the wall as possible. Compressive strength can be measured from the $\text{\O}50$ cores. There were no structural risk in taking these core samples. After the core sampling, the wholes were filled with new concrete.



Figure 1: (a) The core drilling machine, (B) the core drilling machine during sampling at a wall, and (c) the wall in Stable A after sampling,

The core samples taken are shown in Figure 2. Three of the four cores from Stable A did not come out in one piece (Figure 2(a)), whereas all cores were intact for Stables B and C.

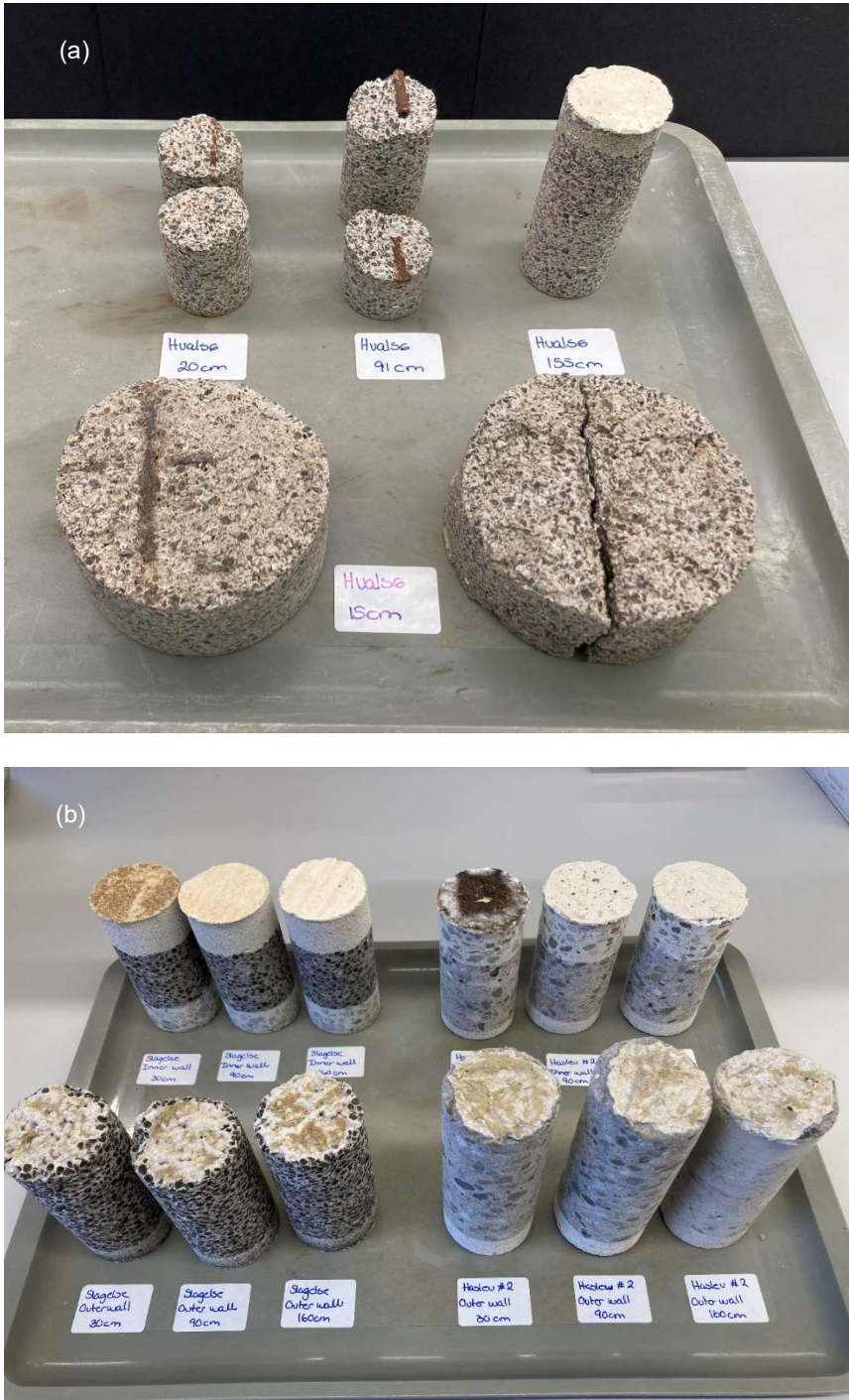


Figure 2: (a) the core samples from Stable A, and (b) the core samples from Stables B and C (at the back from the inner walls and in front from the outer walls).

2.2.2 Compressive test measurements

The cores were dried at room temperature in a fume cupboard for about 1 month before compressive test measurements.

The cores from Stable B - outer wall and Stable C - outer wall had angled surfaces and about 0.5 cm were cut from these to smoothen them out before compressive test measurements. The remaining specimens were tested as they were after the drilling.

The compressive strength of the core samples was measured on a MATEST Cyber Plus Progress - model: E161 (Figure 3) with a load speed of 1.2 kN/sec.



Figure 3: MATEST Cyber Plus Progress used for compressive test measurements

2.2.3 Density of cores from Stable A

An approximate density of the core samples from Stable A was found on basis of weighing and measuring the height of the broken parts of the specimens taken at 20 and 90 cm height.

2.3 Drilling powder samples

Drilling powder samples were taken at different heights from the investigated walls (see Table 1). The sampling was done using a 10 mm drill and a powder collection unit (Figure 2). The samples were taken to the depth of 15 cm. The drilling powder samples were taken from the side turning down in Figure 2(a and b).

Conductivity, pH, Cl and SO_4^{2-} concentrations were measured in the drilling powder samples. The procedure was to suspend 2.0 g of dried powder into 15 ml distilled water, place the suspension

on an agitating table for 1 hour where after the pH and conductivity were measured directly in the suspension with the respective electrodes.

The total content of different elements were measured after pre-treatment of the powder samples according to the US EPA 3015A method (U.S. EPA., 2007) with a Varian 720-ES ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry). Sulphur, copper and zinc concentrations are chosen here.

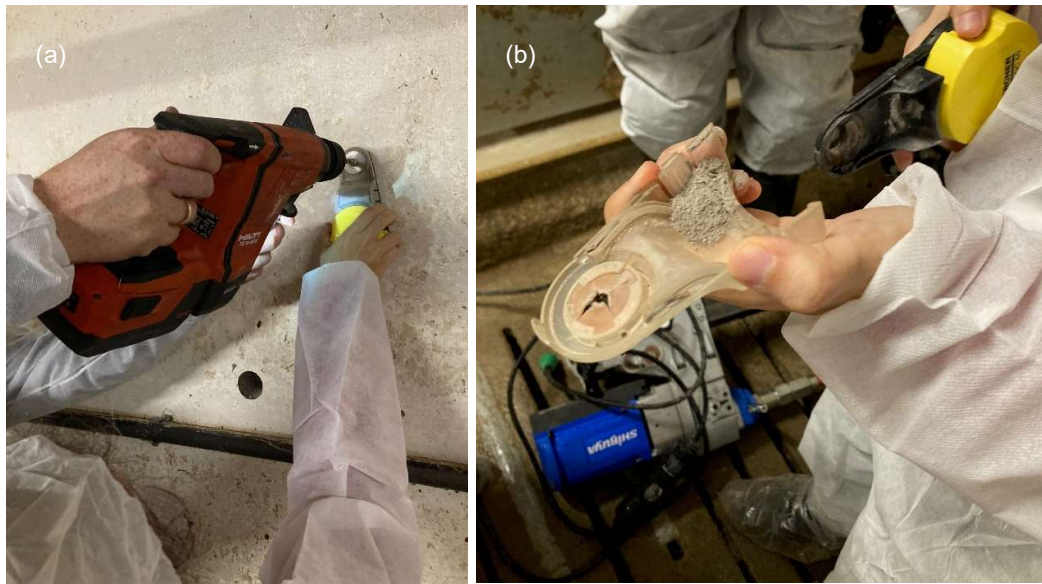


Figure 4: Drilling powder samples (a) sampling from the wall and (b) the powder in the powder collection unit after drilling.

3. Results and discussion

A photo of each of the core samples before test are given in Figures 5 – 9 (upper part of the figures) and just below is the expected basic composition (referring to Appendix A) of a wall of the same type and from the same time period. At first, it is interesting to see if the different layers in the core specimens reflects the expected:

- Stable A - Inner wall (Figure 5). The core sample had two layers; a plaster layer of about 1.5 cm and a lightweight aggregate concrete (about 8.5 cm). The expected 1 cm of concrete was not present.
- Stable B – Outer wall (Figure 6). The core sample had two layers: a plaster layer of about 2 cm and a lightweight aggregate concrete of 8 cm. This is as expected.
- Stable B – Inner wall (Figure 7). The core samples had three layers: A layer of plaster about 2.5 cm, a layer of lightweight aggregate concrete (about 5 cm) and a layer of concrete (about 2.5 cm). The three layers were as expected, however the mutual thicknesses of the layers were slightly different as the plaster and concrete layers were expected to be 1 cm thick and the lightweight aggregate concrete 8 cm.

- Stable C – Outer wall (Figure 8). The core samples had two layers: plaster of 1.5 – 2 cm. and a layer of concrete. This was as expected.
- Stable C – Inner wall (Figure 9): The core samples had about 1 cm plaster, 6 cm of grey concrete and 3 cm of white concrete. Except from the plaster, this was as expected.

Thus, in general, the core samples taken from the three stables were representative for the time of which they originate.

3.1 Compressive strength of core samples

The results from the compressive test experiments are given in Figures 5 – 9.



Stable A	Core samples inner wall	
Inner wall	155 cm 	
	Expected composition: 10 mm. plaster, 80 mm. pimpsten/letbeton, 10 mm. beton LC 20-25 / 1600	
Compressive strength test		
	Compressive strength at 155 cm: 5.2 MPa	

Figure 5: Core sample from 155 cm height in Stable A. Pictures from before and after compressive strength test, the expected layers in the sample in relation to Appendix A, and the compressive strength test measured.


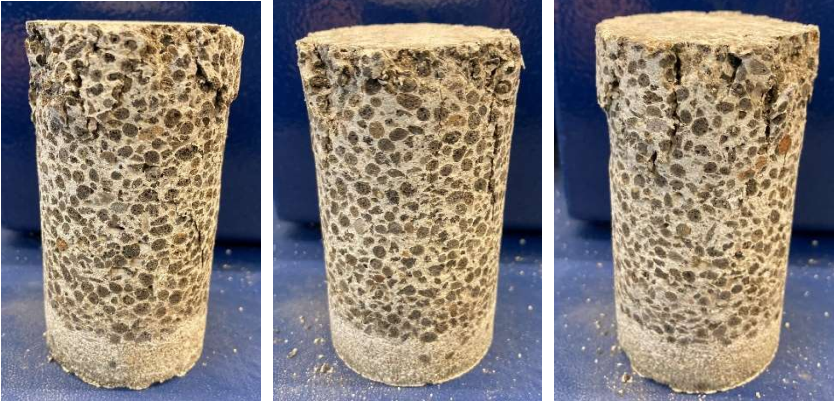
Stable B	Core samples outer wall
	<p>30 cm 90 cm 160 cm</p> 
	<p>Expected composition: 10 mm. pudslag, letbeton 90 mm. Vådstøbt, LC16/1600, Armering, plastfibre</p> <p>The element were 26 cm thick in total, and consist of 10 cm. inner wall/concrete, 10 cm. mineral insulation and 6 cm. outer wall concrete.</p>
Compressive strength test	
	<p>30 cm: 5.3 MPa 90 cm: 6.1 MPa 160 cm: 5.0 MPa</p>

Figure 6: Core samples from Stable B outer wall. Pictures from before and after compressive strength test, the expected layers in the sample in relation to Appendix A, and the compressive strength test measured.



Stable B	Core samples inner wall
	<p>30 cm 90 cm 160 cm</p> 
	10 mm. puds, 80 mm. pimpsten/letbeton, 10 mm. beton, LC 20-25/1600
Compressive strength test	
	<p>30 cm: 6.7 MPa 90 cm: 8,8 MPa 160 cm: 12,4 MPa</p>

Figure 7: Core samples from Stable B inner wall. Pictures from before and after compressive strength test, the expected layers in the sample in relation to Appendix A, and the compressive strength test measured.



Stable C	Core samples outer walls		
Outer Wall	30 cm	90 cm	160 cm
			
	<p>10 mm. pudslag, 90 mm. Traditionel vådstøbt beton som bagmur LC25/2400 Armering Y6 / 200 mm.</p>		
Compressive strength test			
	<p>30 cm: 32.8 MPa 90 cm: 36.6 MPa 160 cm: 32.4 MPa</p>		

Figure 8: Core samples from Stable C outer wall. Pictures from before and after compressive strength test, the expected layers in the sample in relation to Appendix A, and the compressive strength test measured.







Stable C	Core samples inner walls
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>30 cm</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>90 cm</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>160 cm</p>  </div> </div>
	<p>20 mm. hvid, 90 mm traditionel vådstøbt beton som bagmur LC25/2400 Armering Y6 / 200 mm.</p>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div>
	<p>30 cm: 32.1 MPa 90 cm: 40.8 MPa 160 cm: 41.7 MPa</p>

Figure 9: Core samples from Stable B inner wall. Pictures from before and after compressive strength test, the expected layers in the sample in relation to Appendix A, and the compressive strength test measured.

3.1.1 Stable A.

The three core samples from 15, 20 and 91 cm height did not come out in one piece (Figure 2(a)). They all broke in the exact position of the reinforcement. Since the reinforcement was seen to be very corroded, this is most likely causing the issue. When the reinforcement corrodes, it expands in volume, and since there is no room for this expansion, internal forces are created, which subsequently causes cracking.

Lightweight aggregate concrete (LAC) has typically densities in the range of 1200 – 1900 kg/m³ (Fredborg, 2004). The strength is to some extent determined by the density. Some typical specifications for wall elements are LAC6 and LAC15. LAC6 has a density of 1350 kg/m³ and the compressive strength of 6 MPa, whereas LAC15 has the density of 1850 kg/m³ and the compressive strength of 15 MPa (Fredborg, 2004).

The compressive strength of the core sample from 155 cm height was 5.2 MPa. It is seen from Figure 5 that the core sample broke in the depth of about 3-4 cm into the sample in a layer parallel to the surface, i.e. in the matrix of lightweight concrete. Since the compressive strength was 5.2 MPa, i.e. a low strength compared to the typical values. The lightweight concrete might have lost strength in this height in the use period, which is likely considering the broken specimens from the other depths. The density of the four pieces of the broken core specimens from 20 and 91 cm height (Figure 2a) was between 3.6 and 4.2 kg/m³ (average 3.8 kg/m³) which is also low compared to the typical values. The reason may be degradation of the cement phases in the harsh environment during the lifetime of the stable.

3.1.2 Stable B

The core samples from the *outer wall* of Stable B had two layers (plaster and lightweight concrete) and it broke in the lightweight concrete. The compressive strengths were at 30 cm height 5.3 MPa, at 90 cm height 6.1 MPa and at 160 cm height 5.0 MPa. The average being 5.5 MPa.

The core samples from the *inner wall* of Stable B, which were composed of three layers, did have the lowest compressive strength in the middle layer of lightweight concrete. The sample from 30 cm height broke mainly in the interphase between plaster and lightweight concrete, whereas the two other core specimens broke in the layer. Due to this, the compressive strength of the three cores reflect the strength of the layer of light way concrete: at 30 cm - 6.7 MPa, at 90 cm - 8,8 MPa and at 160 cm - 12,4 MPa. The average was average 9.3 MPa.

The outer walls in Stable B, which had similar composition as the wall from Stable A, was reinforced with plastic fibres. And the same problem as in Stable A with reinforcement corrosion is hereby avoided. In stables, concrete structures made of fiber-reinforced polymers are less prone to corrosion and are more durable. (Maraveas, 2020)

3.1.3 Stable C

The core samples from Stable C did not contain lightweight concrete, which is on the contrary to the core specimens from Stables A and B. The strength is much higher in accordance to the use of sand and gravel aggregates.

The strength of the core samples from the *outer walls* were in 30 cm - 32.8 MPa, in 90 cm - 36.6 MPa and in 160 cm - 32.4 MPa. The average being 33.9 MPa.

The strength of the core samples from the *inner walls* were in 30 cm - 32.1 MPa, in 90 cm – 40.8 MPa and in 160 cm – 41.7 MPa. The average being 38.2 MPa.

3.2 Drilling powder samples

Since the investigated walls had different compositions (layers) the basic material in the drilling powder samples were also different. The drilling powder from the wall in

- Stable A. consist of lightweight aggregate concrete.
- Stable B contained plaster and lightweight aggregate concrete (outer wall) and concrete and lightweight concrete aggregate (inner wall).
- Stable C contained plaster and concrete bot from inner and outer walls

Due to the different base of the drilling powder samples the measured pH, conductivity and content of elements cannot be compared directly between the different walls, since the initial and e.g. background content varies. Regardless this, the results for each parameter are shown in the same figures, but they are discussed separately.

3.2.1 Aggressive ions

Aggressive ions (aggressive ions Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} and NH_4^+) and acetic acid would come from the manure (De Belie, et al. 2000). This investigation includes Cl^- and SO_4^{2-} .

The concentration of SO_4^{2-} was very high in the powder samples from Stable A (4500 – 5500 mg/kg) compared to the two other walls (<35 mg/kg). Even taking the different materials of the powder samples into account, the content of SO_4^{2-} in the 30 year old wall (Stable A) shows a high contamination of the wall during the long use phase. Also the Cl^- content was much higher in the wall from Stable A and especially until the height of 61 cm, where it was 1200-3400 mg/kg compared to the less than 90 mg/kg in the two newer Stables B and C. The lowest concentration measured in Stable A was 390 mg/kg.

3.2.2 pH and conductivity

Figures 10 and 11 shows the pH and conductivity, respectively, in the different heights of the walls.

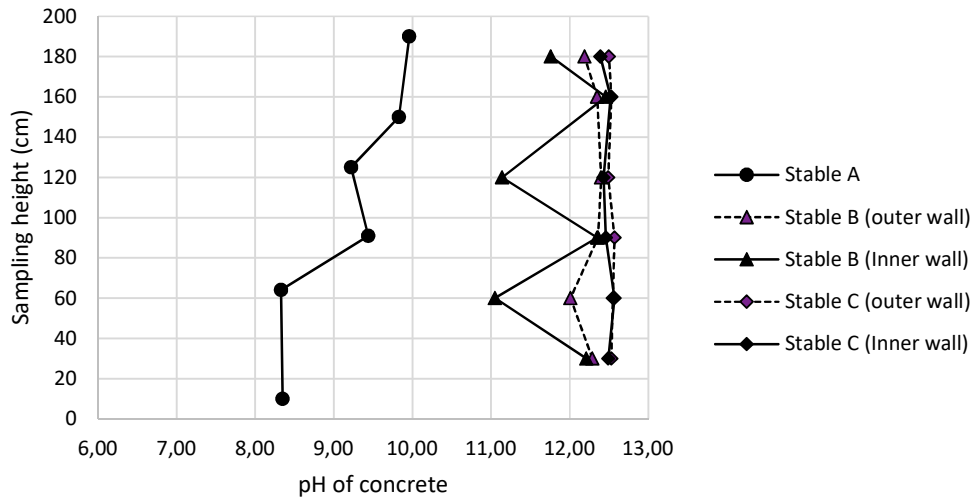


Figure 10: pH in the drilling powder samples from the investigated walls

The pH is interesting in relation to protecting the reinforcement steel towards corrosion. The cement in concrete has a high pH, usually around 13-14. At such high pH, the passive layer on the reinforcement steel is intact and the steel is protected towards corrosion (unless Cl^- is present). The passivation effect protecting the steel is lost at around pH 9.5 to 10.5. The pH in the wall from Stable A has a too low pH for the reinforcement steel to be protected (<10 , see Figure 10), and this corresponds well to the found corrosion of the reinforcement bars in the core samples (Figure 2a). In the walls from Stables B and C, the pH was high enough to expect passivation of the reinforcement.

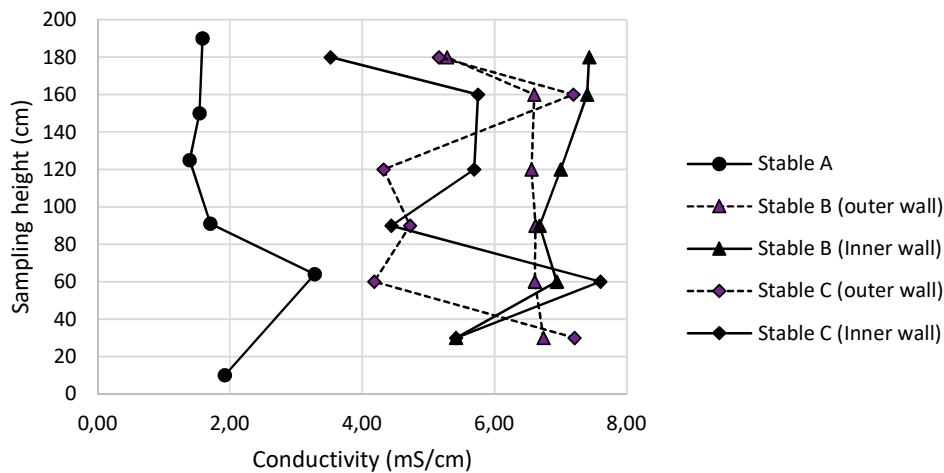


Figure 11: Conductivity in the drilling powder samples from the investigated walls

The measured conductivity expresses the content of ions in the drilling powder. In case pH of concrete is at the same level, the conductivity is linked to the soluble salt content. However, the conductivity also depends on pH (at high pH there is a high content of OH^- ions, which result in high conductivity). This means that the low conductivity in the drilling samples from Stable 1 (relative to the other) probably is due to the almost neutral pH rather than a lower ionic content.

The varying conductivity in the powder samples from the walls in Stables B and C do likely reflect that the plaster layer has slightly different thicknesses and thus the relation between plaster and concrete differs, which most likely influences the conductivity. There are too many influencing variables in relation to the conductivity to make conclusions on the measurements.

3.2.3 Concentrations of sulphur and copper

Figures 12, 13 and 14 shows the concentrations of sulphur, copper and zinc, respectively, in the different heights. The high concentration of sulphur in the wall of Stable A supports the finding of a high SO_4^{2-} content (paragraph 3.2.1).

A high sulphate content may cause degradation of the concrete. Sulphate attack on concrete is a well-known decay mechanism where chemical breakdown mechanism where sulphate ions attack components of the cement paste. The compounds responsible for sulphate attack on concrete are water-soluble sulphate-containing salts, i.e. the sulphate ions in paragraph 3.2.1. It combines with the concrete paste, and begins destroying the paste that holds the concrete together. As sulphate dries, new compounds are formed, often called ettringite. These new crystals occupy empty space, and as they continue to form, they cause the paste to crack, further damaging the concrete. The high sulphide content in the wall from Stable A must be considered problematic in relation to reuse, since it shortens the technical lifetime of the wall elements significantly.

Pig manure contain copper and zinc, which has received attention as problematic to spreading the manure at agricultural land (Landbrugsavisen 2015). High concentrations in the walls of these toxic heavy metals could hamper reuse. However, the concentrations of the two heavy metals in the powder samples from the investigated walls are all at a relatively low level, and is not considered problematic in case reuse of the walls is planned.

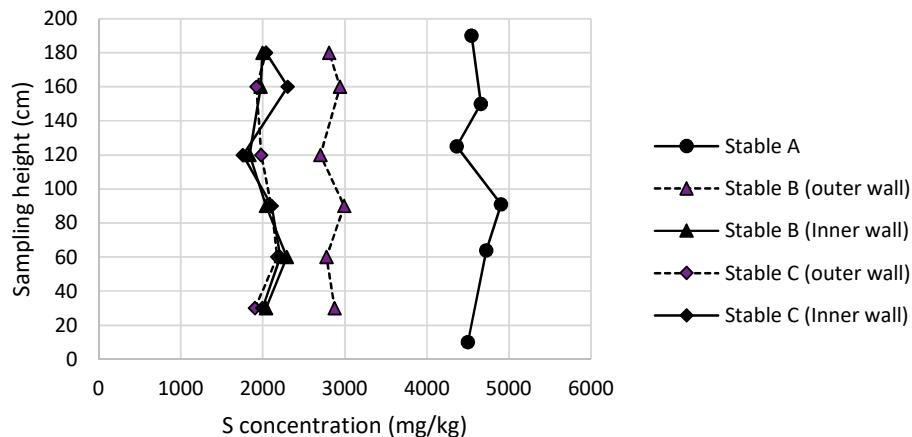


Figure 12: Sulphur concentration in the drilling powder samples from the investigated walls

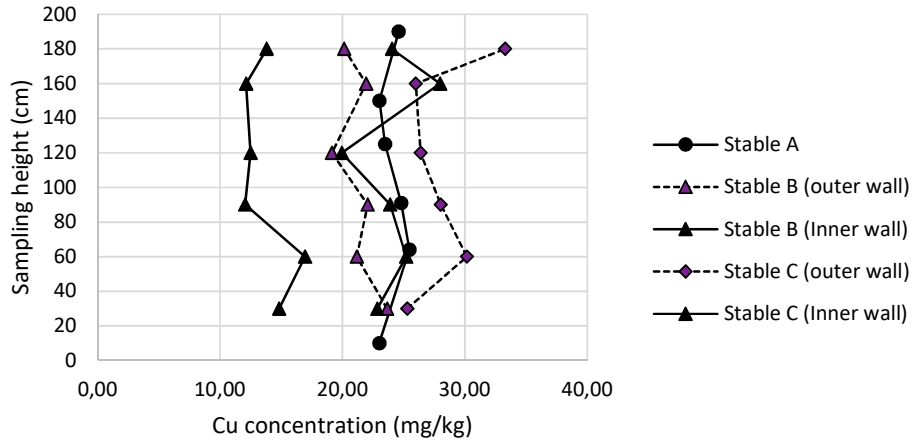


Figure 13: Copper concentration in the drilling powder samples from the investigated walls

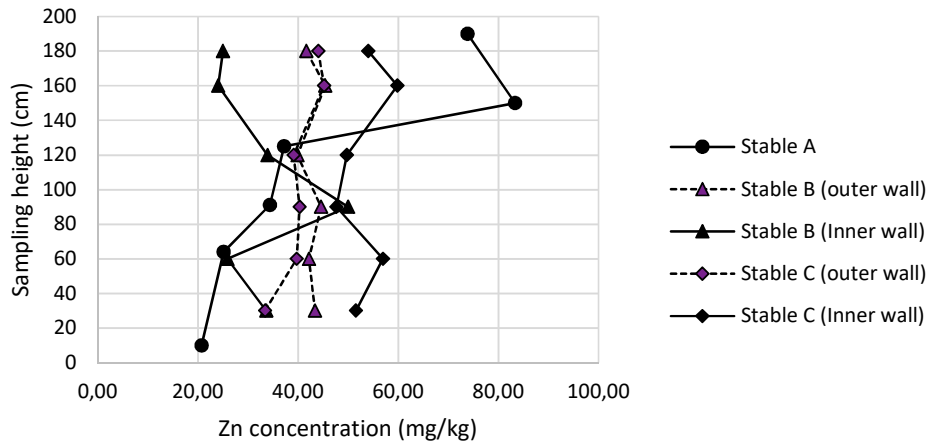


Figure 14: Zinc concentration in the drilling powder samples from the investigated walls

4. Conclusions

The three investigated stables represent different compositions of concrete wall elements in pig farms. The compositions (layers) were found representative for the respective periods.

The investigated inner wall of Stable A from about 1992 suffered from reinforcement corrosion due to a low pH in the lightweight aggregate concrete, which it was composed from. This meant that the core samples were broken when they were drilled out from the wall. In addition, the wall had a high sulphur (and sulphate) content which may have induced sulphate attack on the cement paste, or give high risk for it. A low technical lifetime must be expected due to this. Thus reuse of the wall elements from this period cannot be advised, in case the degradation of the investigated wall is representative.

The compositions of the walls from Stable B (2006) and Stable C (2018) were very different. Both inner and outer walls from Stable B contained lightweight aggregate concrete, which was not the case for the walls in Stable C.

No issues with the walls in Stable B were found in relation to reuse. Thus it is suggested to make a more detailed investigation of the stables from this period to explore the reuse potential.

Stable C is only few years old, but since it is made from concrete with +30 MPa the durability must be expected much better than the 30 years old stable A. Reuse could be an option due to the improved composition, and it might be beneficial in such case to think of the option already when building the stable. Design for disassembly could be considered.

References

- Andersen, R., Jensen, L.B., Ryberg, M.W. (2022) Adaptation of circular design strategies based on historical trends and demolition patterns. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1085, 012062
- Eglinton, M.S. (1987) Concrete and Its Chemical Behaviour. Thomas Telford
- European Commission (2015) Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy
- European Commission (2020) A new circular Economy Action Plan - For a cleaner and more competitive Europe
- Fredborg, E. (2004) Anvendelse af letklinkerbeton. Dansk Betonforening. [Microsoft Word - Erik Fredborg_Letklinker.doc \(danskbetonforening.dk\)](#)
- De Belie, N. (1997) A survey on concrete floors in pig houses and their degradation. Journal of Agricultural and Engineering Research, 66(3), 151-156
- De Belie, N., Lenehan, J.J.; Braam, C.R.; Svennerstedt, B.; Richardson, M.; Sonck, B. (2000) Durability of Building Materials and Components in the Agricultural Environment, Part III: Concrete Structures. Review paper. J. agric. Engng Res., 76, 3-16
- Landbrugsavisen (2015) <https://landbrugsavisen.dk/kv%C3%A6g/rapport-skadeligtungmetaller-fra-gylle-ophobes-i-landbrugsjord>
- Maraveas, C. (2020) Review Durability Issues and Corrosion of Structural Materials and Systems in Farm Environment. Applied Sciences, 10(3), 990, 1-21
- U.S. EPA (2007) EPA Method 3015A: Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts.

Appendix A: Betonelementer fra Give Elementefabrik over tid

Note from Kenneth Poulsen – supplied by mail on 15.09.22

Type 1: Frem til 2004

Facade bagmur

- 10 mm. pudslag
- 90 mm. Letbeton/lecabeton (tørbeton)
- LC8 /1400 (Mpa/rumvægt)
- Armering Y5 / 150 mm.

Skillevægge

- 10 mm. puds
- 80 mm. pimpsten/letbeton?
- 10 mm. beton?
- LC 20-25 / 1600

Type 2: 2004 til 2016

Facade bagmur

- 10 mm. pudslag
- Letbeton 90 mm. Vådstøbt
- LC16/1600
- Armering, plastfibre

Skillevægge

- 10 mm. puds
- 80 mm. pimpsten/letbeton?
- 10 mm. beton?
- LC 20-25/1600

Type 3: 2018 og frem

Facade bagmur

- 10 mm. pudslag
- 90 mm. Traditionel vådstøbt beton som bagmur
- LC25/2400
- Armering Y6 / 200 mm.
- Ekstra armering omkring døre og vinduer.

Skillevægge

- (20 mm. hvid)
- 90 mm. Traditionel vådstøbt beton som bagmur
- LC25/2400
- Armering Y6 / 200 mm.
- Ekstra armering omkring døre og vinduer.