

DET KLIMAVENNLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Design Proces – Understøttelse af bæredygtigt design af landbrugsbygninger

Rapport 5

Tag med PV (Blå)



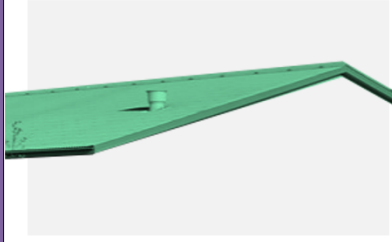
LCA 


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



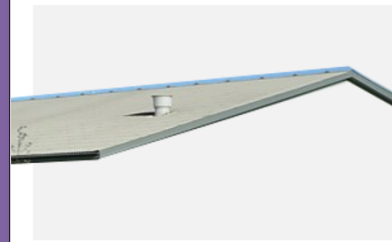
LCA 

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 projekterings- 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.

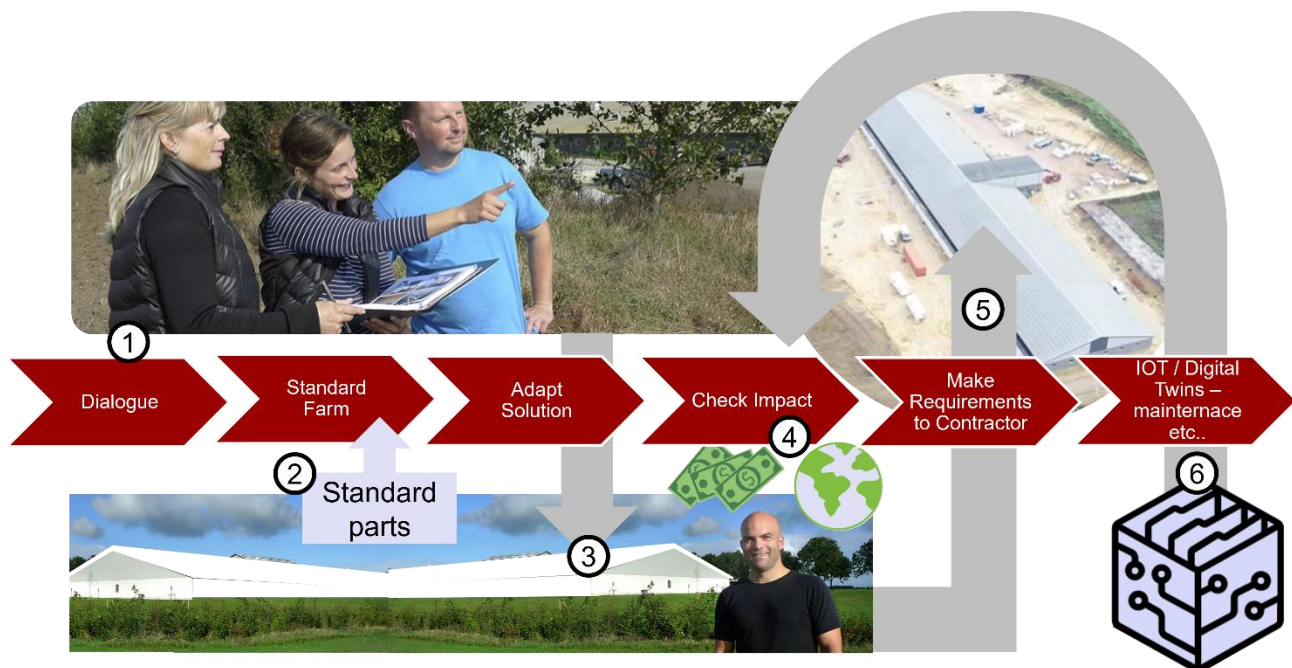
Metode og forudsætninger

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 sikre 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 øge 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 energi-producerende, 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?

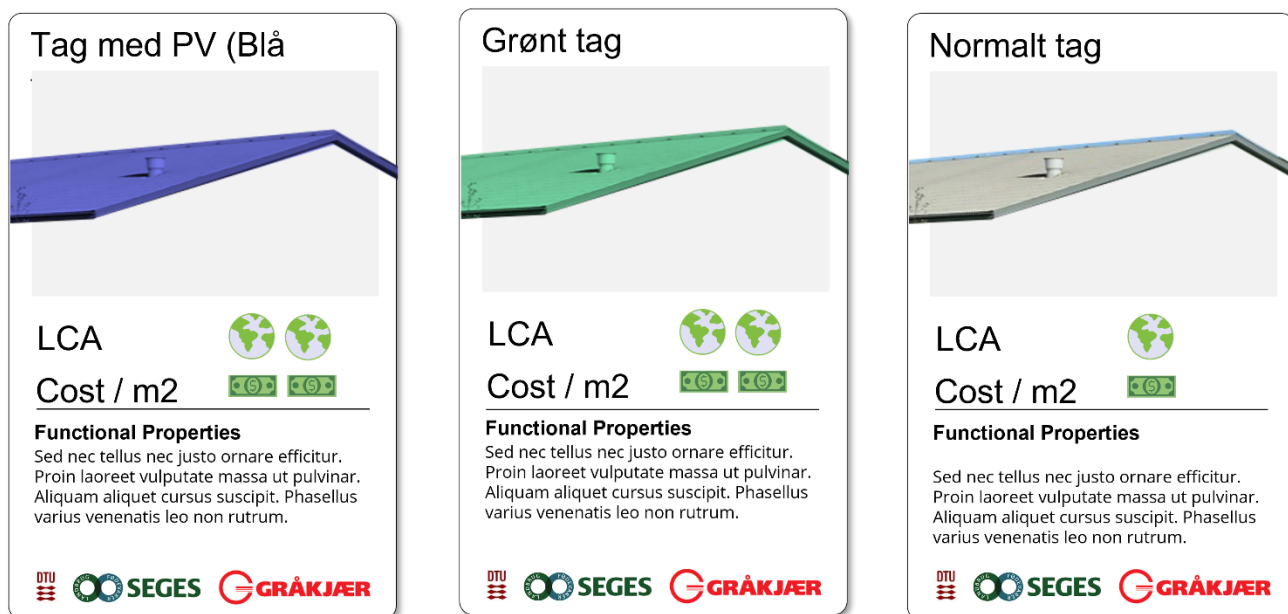
Environment/Miljø: Hvordan vil bæredygtige landbrugsbygninger være i forhold traditionelle bygninger i løbet bygningslevetid? Hvilket materialer vil i fremtiden betragtes som farlige? Vil bestemte materiale forhindrer genbrug af bygningsdele? Vil bestemte materiale eller udførelsesmetoder giver arbejdsmiljøprogrammer 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. Standardbygningsdele

I dette trin bruges standardbygningsdelene, 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 bygningsdele 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			Konstruktionsfase		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 bygningsdrift	Vandforbrug	Nedrivning	Transport til affaldsbehandling	Affaldsbehandling	Deponering	Genbrugs-/genanvendelses-/ el. genvindingspotentiale
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.

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

Når produkt eller systems EPD'er er fundet for de påtænkte bygningsdele kan en 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 lovligt 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/0bpbhpb1/md-20019-da_rev2.pdf

Produktnavn	Fase															Næste produktsystem	Enhed på mængde materiale	Producent			
	Produktionsfase			Konstruktionsfase		Brugsfase						Borstskæffelsesfase									
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D				
Sandwichelement				1,84	MND					MNR				2,72	1,47	1,51	1,25			m2	Betonelementforeningen
Facadesystem, 3-lags rude, aluprofiler	109,2				MND			MND	74,7	MND	0			MND	2,22	0,44				m2	Eller Thomsen Alufacader
Facadesystem, 2-lags rude, emaljeret	67,4				MND			MND	66,1	MND	0			MND	0,575	0,352				m2	Eller Thomsen Alufacader
Huldæk, 270mm med 4,14 kg armering pr. m2	54			1,19										1,92	1,04	1,06	0,781			m2	CRH Concrete
Galvaniseret konstruktionsstål	1,04			0,00839	0,000658					0				0,000658	0,00847	0,0233	0			kg	Give Steel
C25/C30 Beton til anvendelse i terrændæk i passiv miljøklasse	261			4,46	MND					0				12,2	6,59	6,76	5			m3	DK Beton
18mm EPS isolering	1,59			0,0294	0,0293					MNR				MND	0,00293	1,92	MND			m2	Plastindustrien

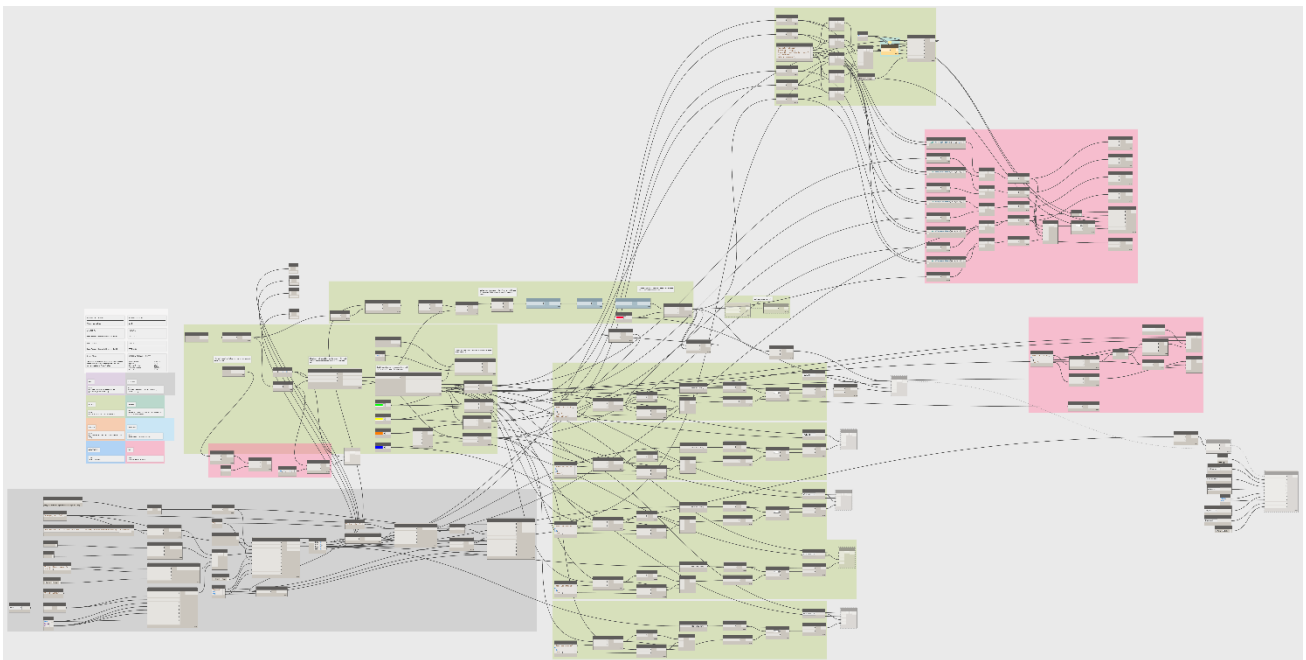
Tabel 2: Eksempler på Global Warming Potential (GWP) fra forskellige produkter.

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.

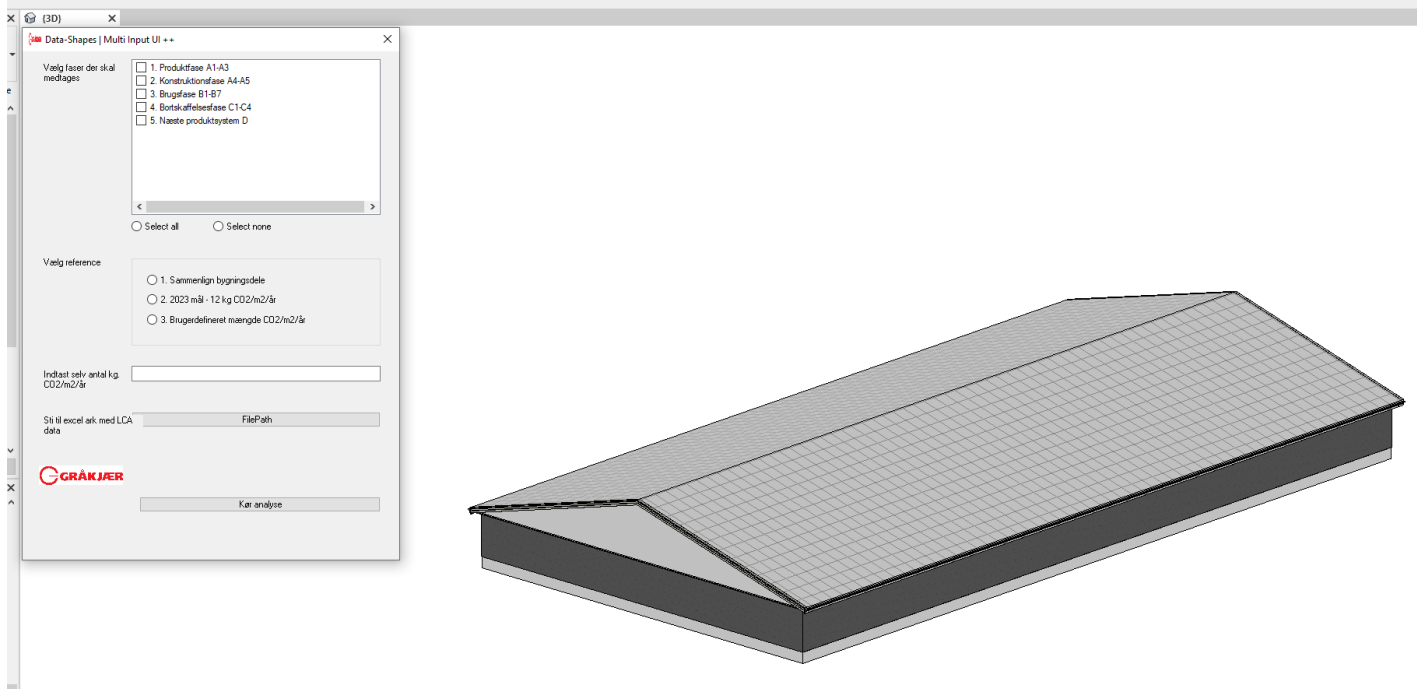
Først vælges hvilke produktfaser der skal inkluderes i analysen. Derefter vælges referencerammen for analysen. Her kan enten vælges om bygningsdelene skal sammenlignes internt for at visualisere størrelsesordenen af CO₂ udledningen i forhold til andre bygningsdele, pr mængdeenhed. Alternativt kan der 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.

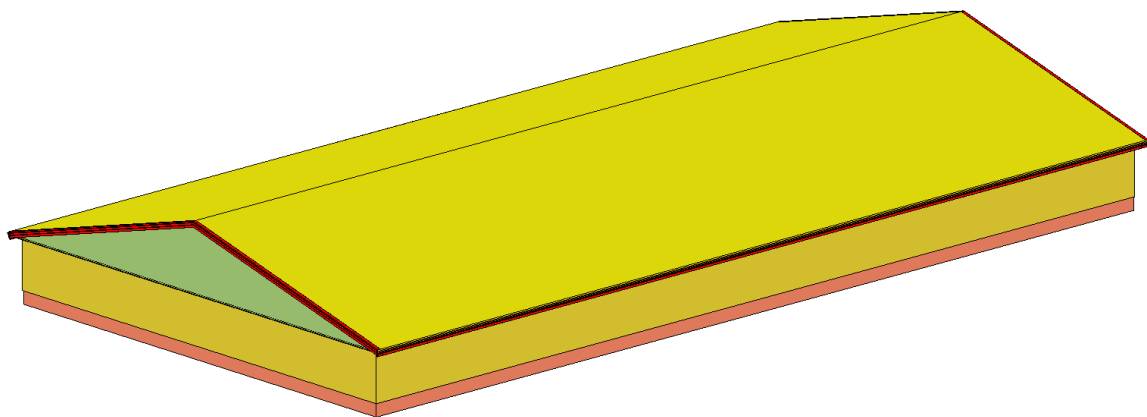
Efter analysen er udført, vil der i det pågældende 3D view være farvede elementer, alt efter analysens start parametre, vil objekterne være sammenlignet med hinanden, eller med 2023 rammen. Objekterne er farvede ved at bruge "Temporary override color" således at den let kan fjernes igen.



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 effektiv 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.

