



**Forfattere:** Jacob D. Buhl, Artelia A/S  
Mathilde S. Nilsson, Artelia A/S

**Bidragere:** David L. R. Eltang, Aarhus Kommune, Børn og Unge  
Rune S. Andersen, Aarhus Kommune, Teknik og Miljø  
Jimmy S. Larsen, Aarhus Kommune, Sundhed og Omsorg

**Kontrolleret af:** Louise Ø. Pedersen, Artelia A/S

**Godkendt af:** Steffen E. Maagaard, Artelia A/S

**Layout:** RAIN CREATIVE

**Formål:** Projektets formål er at opsamle erfaringer og generere viden til fremtidens mere klimabevidste daginstitutionsudbud. Projektet er støttet af den filantropiske forening Realdania, som en del af puljen 'Sammen om bæredygtigt byggeri'. Det anbefales at læse Publikation 1 – Introduktion og sammenfatning først.



## 1. Indledning

Byggeriet står for en betydelig del af Aarhus Kommunes klimapåvirkning. Samtidig har et mere vedvarende energimix og energioptimering af bygningsdriften gennem årene betydet, at andelen af klimapåvirkning fra byggematerialer i dag udgør en større andel end driftsfasen set over 50 år. Det er derfor relevant at øge fokus på reducere klimapåvirkningen fra materialerne. Dette kræver viden og værktøjer, både internt i Aarhus Kommune og i branchen generelt.

En af Aarhus Kommunes største bygherrer er Magistratsafdeling for Børn og Unge, der på bygningsområdet arbejder med at skabe sunde og inspirerende læringsrum samt at sikre den rette kapacitet på skole- og daginstitutionsoverområdet. Dette sker bl.a. gennem løbende ombygning og opførelse af daginstitutioner, hvorfor der for denne bygningstype, er et stort, vidensgrundlag. Dagstitutionsbyggeri kan derfor være med til at give vigtig viden til den grønne omstilling af byggeriet i Aarhus Kommune, og kommunens ambition om at dens byggerier skal overholde Bygningsreglementets lavemissionsklasse.

Projektets formål er at opsamle erfaringer og generere viden til fremtidige klimabevidste dagstitutionsudbud. Herudover at opsamle viden til andet byggeri i forhold til at reducere klimapåvirkningen mest muligt. Projektet tager primært udgangspunkt i tre nye daginstitutioner som omtales - Malinggårdsvej, Lokesvej og Høiriisgårdsvej, - samt tre tidligere opførte daginstitutioner som omtales - Grenåvej, Tronkærgårdsvej og Frijsenborgvej. Alle seks institutioner har sit afsæt i Aarhus Kommune. Erfaringerne vurderes dog at have relevans for alle landets kommuner.

Projektet, som er døbt "Tværgående klimaanalyse – daginstitutioner", er støttet af Realdania, hvor Artelia har udarbejdet analyserne og publikationerne i tæt dialog med Aarhus Kommune.

Denne første publikation definerer rammen for den tværgående klimaanalyse, som i alt består af syv publikationer, men med ambition om at udvide med yderligere 1-2 publikationer. Herunder bl.a. en publikation der behandler det økonomiske perspektiv. Disse emner er udvalgt for at vise klimaudfordringerne, -potentialerne og -tendenserne for daginstitutioner. Emner som er essentielle for at komme nærmere mere klimabevidst byggeri til daginstitutioner.:

1. Introduktion og sammenfatning
2. LCA i processen
3. Nøgletal
4. Arbejdet med EPD'er
5. Endt levetid (C3-C4)
6. Potentialer for fremtidens (dagstitutions)byggeri
7. Byggeproces (A4 og A5)

Den tværgående klimaanalyse er opbygget af flere publikationer for at gøre udgivelsen mere operationel, hvor modtagerne selv kan vælge emner. Publikationerne kan læses uafhængigt af hinanden, men det anbefales at læse publikation 1 først. Publikation 1 er den primære publikation med sammenfatninger af de seks behandlede emner. For mere og uddybende information henvises der til de enkelte publikationer.

## 2. Metode

Det globale klima er under hastig forandring og for at imødekomme denne udfordring er der fra januar 2023 indført nye klimakrav i Bygningsreglementet. Kravet betyder, at bygningers klimpåvirkning skal beregnes ud fra en livscyklusvurdering (LCA). Med dette krav sættes der fokus på hele bygningens livscyklus, som ofte inddeles i fem faser - produktfremstilling, byggeproces, brug, endt levetid og udenfor system (se Tabel 1). Ifølge Bygningsreglementet skal modulerne A1-A3 (produkt), B4 (udskiftninger - når byggevaarens levetid er under 50 år), B6 (drift), C3-C4 (bortskaffelse) samt D (genbrugs- og genanvendelsespotentiale) i dag dokumenteres i en bygnings-LCA over en 50-årig referencerperiode. Modul D skal dog rapporteres selvstændigt og indgår ikke i beregningen af bygningens samlede klimaaftryk.

Det miljødata, som anvendes til beregning af bygningens klimaaftryk, kan enten hentes i LCA-databaser, som generisk data, eller som miljøvaredeklarationer (EPD'er), der beskriver miljøpåvirkningen fra et specifikt produkt. Mere information om EPD'er kan findes i Publikation 4 – Arbejdet med EPD'er.

De tre daginstitutioner Mallinggårdsvej, Lokesvej og Høiriisgårdsvej er alle tilmeldt afprøvning af den frivillige bæredygtighedsklasse (FBK), hvor ni krav, udover Bygningsreglementets øvrige minimumskrav, skal dokumenteres for at gøre byggerierne mere bæredygtige. I nærværende projekt fokuseres der primært på to af kravene:

- Livscyklusvurdering
- Ressourceanvendelse på byggepladsen

Tabel 1.

Livscyklusfaser i henhold til EN 15978. Systemafgrænsningen for nybyggeri anvendt i den frivillige bæredygtighedsklasse er markeret med lysegrøn.

Processer	Moduler	Livscyklus faser
Råmaterialer	A1	Produkt
Transport	A2	
Fremstilling	A3	
Transport	A4	Byggeproces
Opførelse/montering	A5	
Brug	B1	Brug
Vedligehold	B2	
Reparation	B3	
Udskiftning	B4	
Renovering	B5	
Energiforbrug til drift	B6	
Vandforbrug til drift	B7	
Nedtagning/nedrivning	C1	Endt levetid
Transport	C2	
Affaldsbehandling	C3	
Bortskaffelse	C4	
Potentiale for genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse	D	Udenfor projekt

Fremtidsscenerier

50-årig referencerperiode

De tre benchmark daginstitutioner Grenåvej, Tronkærgårdsvej og Frijsenborgvej har ikke arbejdet med klimabelastningen på samme måde, som de nye daginstitutioner.

Publikationerne udarbejdet i nærværende projekt har et tværgående fokus på klimabelastning (CO<sub>2</sub>), mens de øvrige miljøindikatorer fra LCA-beregningen ikke evalueres. Der findes forskellige afarter af LCA-metoder til at dokumentere klimabelastningen f.eks. FBK-, DGNB- og BR18-metoden, hvilket er gennemgået i Tabel 2. Metoderne læner sig op ad hinanden, men adskiller sig f.eks. ift. levetider, affaldsscenerier, detaljeringsgrad og usikkerhedsfaktorer, hvilket betyder at klimabelastningen ikke er direkte sammenlignelige.

I dette projekt dokumenteres klimabelastningen efter BR18-metoden, men afrapporterer derudover på fase A4 og A5 samt udendørsarealerne. Dette skal sikre en balance mellem et mere retvisende og fremadskuende klimaaftryk, og samtidig sikre erfaringer til branchen i forhold til andel af klimabelastningen fra modul A4 og A5 samt udendørsarealerne. Modul A4 og A5 belyses selvstændigt i Publikation 7 – Byggeproces (A4 og A5).

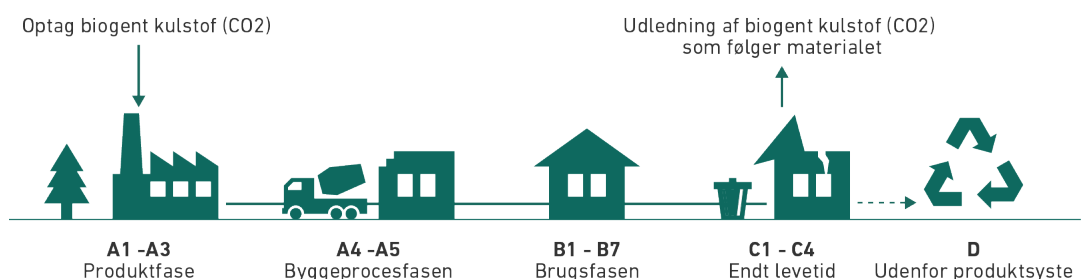
Den nuværende metode i BR18 er udfordret i forhold til at medregne klimagevinsten ved genbrugsmaterialer, fordi de skal regnes som nye materialer. Dette er en udfordring for Høriisgårdvej, hvor der arbejdes med genbrugsmaterialer. For at sikre en mere retvisende beregning af genbrugsmaterialerne medregnes kun klimabelastning fra endt levetid (C3-C4) i disse publikationer – hvorledes produktfasen (A1-A3) regnes med et klimaaftryk på 0.

For genbrugte biobaserede materialer, regnes det biogene carbon dog med som negativt i A1-A3, for at sikre at det biogene carbon (i f.eks. træ) er i balance. Metoden omtales typisk som -1/+1 metoden (kommer fra EN15804-standard), og er visualiseret i Figur 1. Mere information om emnet kan findes i BUILD's rapport 2021:27.

I Tabel 1 er bygningens livscyklus visualiseret gennem 5 faser og 17 moduler. Publikationerne forholder sig til de mørkegrønne moduler, mens de øvrige moduler på nuværende tidspunkt ikke er en del af evalueringsgrundlaget. Forventningen er, at der med tiden vil komme til at indgå flere moduler i LCA-beregningen i Bygningsreglementet, i takt med at datagrundlaget stiger.

**Figur 1.**

-1/+1 metode til beregning af biogent kulstof i biobaserede produkter. Figur fra BUILD-rapport 2021:27.



Tabel 2.

Sammenligning af LCA-metoderne efter BR18, DGNB 2023 og FBK samt præcisering af den anvendte metode i nærværende projekt.

	BR18	DGNB 2023	FBK	Anvendt metode	
Referenceareal	Arealet reletere sig til det areal, som CO2 udledninger fra materialerne opgøres i forhold til. Opgøres efter BR18 - Bygningsreglementets vejledning om bygningers klimapåvirkning punkt 1.3. F.eks. medtages 25% af altanerarealerne jf. BR18.	Arealet skal opgøres efter BR18 - Bygningsreglementets vejledning om bygningers klimapåvirkning punkt 1.3.	FBK henviser til BR18 § 455, som kan afvige fra metoden i BR18 - Bygningsreglementets vejledning om bygningers klimapåvirkning punkt 1.3.	Samme metode som i BR18.	Generelt
Bygningsdele	De inkluderede bygningsdele skal følge BR18, bilag 2, tab el 6.	De inkluderede bygningsdele skal følge BR18, bilag 2, tabel 6.	De inkluderede bygningsdele skal følge bilag 2: bygningsmodellen tabel 12 og 13. Eksempelvis skal udearealer også medregnes i FBK, mens de ikke er en del af BR18 eller DGNB.	Samme metode som i BR18 + udearealer	
A1-A3	Både generisk miljødata iht. BR18 bilag 2 - tabel 7, branche-EPD'er, produktspecifikke EPD'er og projektspecifikke EPD'er må anvendes. Dette gælder både nye og genbrugte materialer. Der er ikke en prioriteret rækkefølge.	Produkt-/projektspecifikke EPD'er prioriteres over branche EPD'er og generisk data.	Både generisk miljødata iht. BR18 bilag 2 - tabel 7, branche-EPD'er, produktspecifikke EPD'er og projektspecifikke EPD'er må anvendes. Hvis konkrete leverancer er ukendte, eller hvis der ingen relevant EPD findes, anvendes generisk data fra Ökobaudat.	Samme metode som i BR18. Der afviges dog for genbrugsmaterialer, hvor klimabelastning fra endt levetid (C3-C4) kun medregnes. For biobaserede genbrugsmaterialer regnes det biogene karbon negativt i A1-A3, for at sikre at det biogene carbon er i balance jf. EN 15804.	Produktfase
A4	Dokumenteres ikke	Giver point at medregne, men er ikke et krav. Hvis A4 dokumenteres, skal det være efter FBK-metoden.	Udledning fra transport beregnes ud fra afstande og bilag 1: emissionsfaktorer, Tabel 7 og 8 (FBK) Ved ukendt transport: 500 km for byggevarer med standard lastbil og 200 km for jord	Samme metode som i FBK	
A5	Dokumenteres ikke	Giver point at medregne, men er ikke et krav. Hvis A5 dokumenteres, skal det være efter FBK-metoden.	Energiforbruget beregnes med faktorerne i Bilag 1: Emissionsfaktorer, Tabel 11 (FBK) Transport i byggeperioden, skal regnes på samme måde som A4. Ved ukendt spildprocent skal disse materialer tillægges 10 procent spild.	Samme metode som i FBK	

	BR18	DGNB 2023	FBK	Anvendt metode	
B4	Levetider skal følge BUILD rapport 2021:32 og principperne i kapitel 3.	Levetider skal følge BUILD rapport 2021:32 og principperne i kapitel 3. Levetider for vinduer, ydervægge og tag fastlægges via levetider.dk	Levetider skal følge SBi 2013:30, Appendiks G – Faktiske middellevetider for bygningsdele.	Samme metode som i BR18	Produktfase
B6	Driften beregnes som energibehov uden energifaktorer efter BR18 og SBi-anvisning 213. Energibehovet beregnes altså gennem energirammen. Klimapåvirkningen beregnes med emissionsfaktorerne i BR18, bilag 2, tabel 8.	Samme metode som i BR18.	Samme metode som i BR18, men klimapåvirkningen beregnes med emissionsfaktorerne i Bilag 1: Emissionsfaktorer, Tabel 11. Her har gassen andre emissionsfaktorer.	Samme metode som i BR18	
C3-C4	Affaldsscenerier fra EPD'er anvendes direkte. Ved flere affaldsscenerier anvendes det mest konservative, medmindre andet kan dokumenteres. Ved manglende C3 og C4 modul skal erstatningsdata anvendes (BR18 bilag 2, tabel 7)	Samme metode som i BR18. Produkt-/projektspecifikke EPD'er prioriteres fremfor branche EPD'er og generisk data.	Ved brug af EPD, som er baseret på danske affaldsscenerier, skal C3-C4 anvendes. Ved brug af EPD, som ikke har et dansk affaldsscenerie, eller hvis C3-C4 ikke er deklareret i EPD'en, skal i stedet anvendes erstatningsmoduler fra bilag 1: Emissionsfaktorer, Tabel 10 (FBK).	Samme metode som i BR18. Der afviges dog for genbrugsmaterialer, hvor klimabelastning fra endt levetid (C3-C4) kun medregnes. For biobaserede genbrugsmaterialer, regnes det biogene karbon negativt i A1-A3, for at sikre at det biogene karbon er i balance	







Publikation 2 - Sammenfatning

# LCA i processen





Publikation 2 omhandler en række opmærksomhedspunkter til bygherre og rådgivere, i forbindelse med dokumentation af bygningers klimaaftryk. Erfaringerne bygger på processen med de tre daginstitutioner, hvor en struktureret og transparent LCA-proces er afgørende for at nedbringe bygningers klimaaftryk. Denne struktur er også vigtig for at kunne sammenligne på tværs af projekter og dermed at sikre en løbende erfaringsopsamling. Nedenstående figur viser et eksempel på, hvordan en overordnet LCA-proces kunne se ud ift. LCA-aktiviteter, opmærksomhedspunkter, buffer (sikkerhedsmargin) og afleveringer gennem byggeriets faser. For mere information og yderligere analyser henvises til publikation 2.



Skema 1.

Overordnede skabelon for LCA i processen.

	Fase	Aktiviteter/opmærksomhedspunkter	Buffer*	Aflevering
Klimaforbedringspotentiale	Ideoplæg	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valg af klimamålsætning og metodetilgang ved opstartsmøde</li> <li>Sammenligning med andre tilsvarende byggerier Hvilke bygningsdele er afgørende ift. klimaaftrykket, eksempelvis: Tagkonstruktionen, terrændæk, fundamenter, indervægge, ydervægge</li> <li>Overvej forskellige byggesystemer, eksempelvis: Spærkonstruktion vs. ståldæk (trapez), Trækassette vs. beton, Træskelet vs. stålskelet, Støbt terrændæk vs. pladeopbygning, Linjefundament vs. skurefundament</li> <li>Screenings-LCA Hvor langt er projektet fra målet?</li> <li>Opmærksomhedspunkter: jordbundsforhold, lokalplanskrav, særlige brand- og konstruktionsforhold, klimamålsætning ift. tidspunkt for ansøgning om byggetilladelse mm.</li> </ul>	10%	Statusnotat <sup>1</sup> LCAbyg fil Energiramme (erfaringsstal)
	Dispositions/projektforslag	<ul style="list-style-type: none"> <li>LCA-beregning gennemgås på statusmøde<sup>2</sup> Variantanalyser på CO<sub>2</sub>-tunge bygningsdele og materialer Potentialet ift. brug af specifikke materialer Defaultværdier for installationer (for ambitiøse klimaprojekter, bør de opgøres selv) Fokus på levetider og udskiftninger Sikre sammenspil med energiramme (solceller, vinduer, isolering osv.)</li> <li>Inddragelse af entreprenør - afgørende materialevalg ift. klimamålsætningen flages for entreprenøren og evalueres ift. økonomien</li> </ul>	10%	Statusnotat <sup>1</sup> LCAbyg fil Energiramme
	Myndighedsprojekt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Låsning af klimamålsætning</li> <li>Opdatering af variantanalyser på bygningsdelsniveau og materialeniveau</li> <li>Opdatering af LCA-beregning</li> </ul>	10%	Statusnotat <sup>1</sup> LCAbyg fil Energiramme
	Udbud	<ul style="list-style-type: none"> <li>Låsning af konstruktionsopbygninger ved statusmøde<sup>2</sup></li> <li>Definer klimakrav til specifikke produkter f.eks. solceller, isoleringsmateriale, tagtype osv. Sikre at flere producenter kan overholde de definerede klimakrav, så fri konkurrence i offentlige udbud sikres.</li> <li>Opdatering af LCA-beregning</li> </ul>	5%	Statusnotat <sup>1</sup> LCAbyg fil Energiramme
	Udførelse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materialeliste fra entreprenør på de indkøbte byggevarer.</li> <li>Sikre overensstemmelse mellem de specificerede klimakrav og de anvendte materialer.</li> <li>Dokumentation af A4 og A5, hvis dette er et krav.</li> </ul>	5%	Statusnotat <sup>1</sup> LCAbyg fil Energiramme
	As built	<ul style="list-style-type: none"> <li>LCA-beregning på baggrund af "As Built" materiale</li> </ul>	0%	Endelig dokumentation LCAbyg fil Energiramme

Statusnotat<sup>1</sup>: Beregningsforudsætninger, anvendt datagrundlag (generisk miljødata eller EPD'er), oprindelse af mængder (overslag, opmåling eller BIM-udtræk), ændringslog om væsentlige ændringer

Statusmøde<sup>2</sup>: Statusopdatering og præsentation af variantanalyser

Buffer\*: En sikkerhedsmargin til håndtering af uforudsete klimabelastninger gennem byggeriets faser.





Publikation 3 - Sammenfatning

# Nøgletal





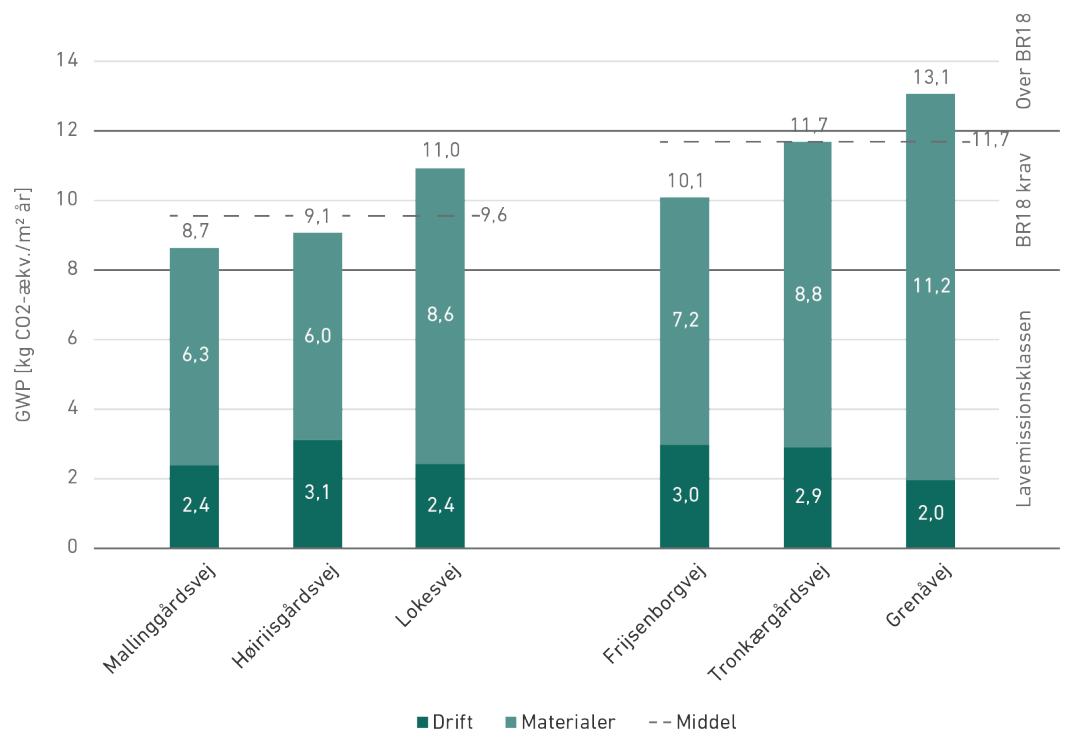
Publikation 3 behandler en række klimanøgletal for de undersøgte daginstitutioner, for at skabe en bedre forståelse af, hvad der påvirker klimaaftrykket. Selvom de fleste daginstitutioner er under 1000 m<sup>2</sup> og dermed ikke skal efterleve klimakravet i BR18 på 12 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år er daginstitutioner som bygningstypologi er særligt interessante, fordi denne typologi ofte er udfordret i forhold til: skærpede brandkrav, stort klimaskærmsareal ift. etageareal, mange indervægge, høje luftmængder og renhedskrav. Alle er elementer, som typisk giver anledning til et højere klimaaftryk, men hvordan kan klimaaftrykket minimeres igennem valg af byggesystemer og specifikke produkter?

I Figur 2 er klimaaftrykket for de tre nye daginstitutioner (Mallinggårdsvej, Høiriisgårdsvej og Lokesvej) sammenlignet med de tre lidt ældre benchmark daginstitutioner (Frijsenborgvej, Tronkærgårdsvej og Grenåvej). Generelt er benchmark daginstitutionerne opbygget af tunge materialer, hvilket sætter sit præg på klimaaftrykket fra materialer. I gennemsnit er det samlede CO<sub>2</sub>-aftryk ca. 2 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år højere for benchmark-institutionerne end de nyere

daginstitutioner, hvor særligt Mallinggårdsvej og Høiriisgårdsvej presser gennemsnittet ned. Dette illustrerer potentialet ved at bygge i lette biobaserede materialer over terræn, f.eks. trækassetter, som er anvendt på Mallinggårdsvej og Høiriisgårdsvej.

Figur 2.

Sammenligning af klimaaftrykket (A1-A3, B4, B6 og C3-C4) på bygningsniveau for de tre nye daginstitutioner og de tre benchmark-byggerier.



	Antal etager	Referenceareal	Byggeprincip	Fase	Miljødata
<b>Mallinggårdsvej</b>	1 etage	631 m <sup>2</sup>	Let	As built	Generisk + EPD
<b>Høiriisgårdsvej</b>	1 etage	709 m <sup>2</sup>	Let	Udbud	Generisk
<b>Lokesvej</b>	2 etage	924 m <sup>2</sup>	Tung	Disp./projekt	Generisk
<b>Frijsenborgvej</b>	1 etage	1.247 m <sup>2</sup>	Tung/Let	As built	Generisk
<b>Tronkærgårdsvej</b>	1 etage	625 m <sup>2</sup>	Tung	As built	Generisk
<b>Grenåvej</b>	2 etage	812 m <sup>2</sup>	Tung	As built	Generisk

Figur 3 viser spredningen og middelværdierne for bygningsdelenes CO<sub>2</sub>-aftryk for de nye og benchmark daginstitutioner. Det er særligt tagkonstruktionen, ydervægge og terrændækket, hvor man ser både stor spredning og høje CO<sub>2</sub>-aftrykket, hvilket indikerer et CO<sub>2</sub>-besparelspotentiale.

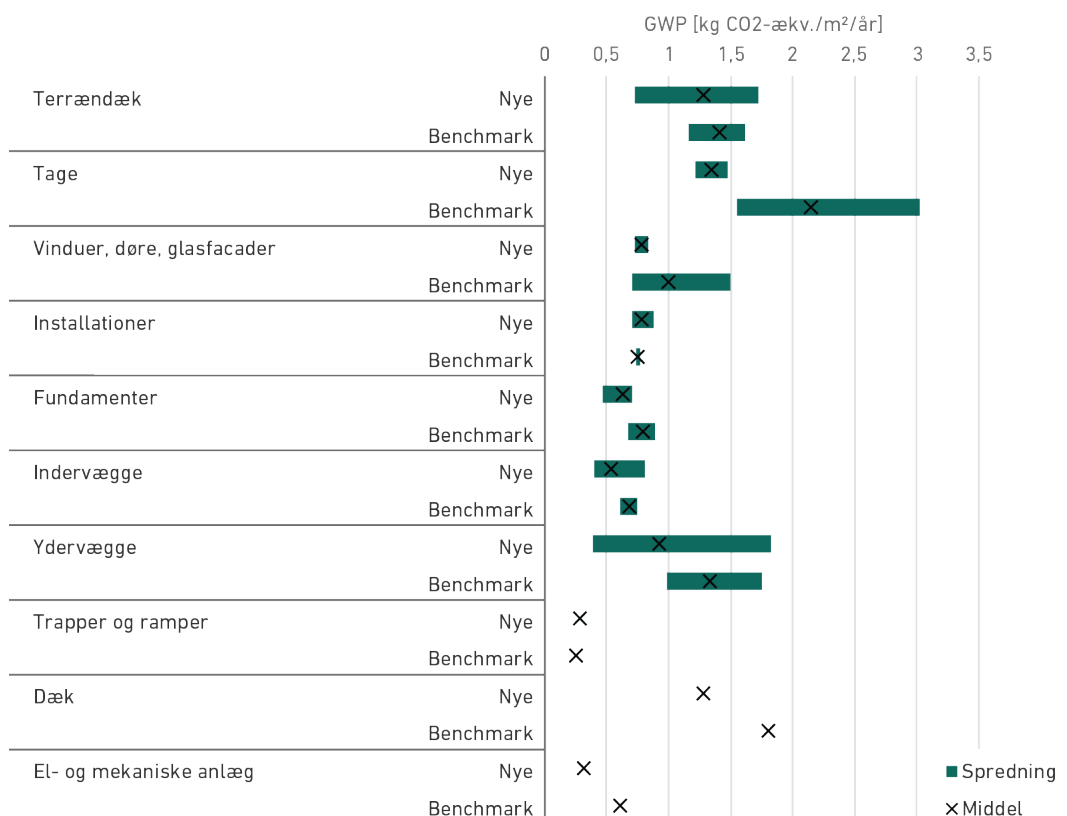
Figur 4 viser CO<sub>2</sub>-besparelspotentialet for Høiriisgårdsvej ved valg af specifikke materialer for de 10 mest CO<sub>2</sub>-tunge byggevarer, hvor der er sammenlignet med andre lignende produkter for at illustrere variationen. Høiriisgårdsvej vil potentielt

kunne reducere med 1,7 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år og dermed komme ned på 7,4 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år i samlet CO<sub>2</sub>-aftryk, hvis der vælges de 'rigtige' – mindst CO<sub>2</sub>-tunge - produkter. Vælges derimod de 'forkerte' – mest CO<sub>2</sub>-tunge - produkter vil CO<sub>2</sub>-aftrykket stige 0,1 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år.

Denne analyse har udelukkende fokus på klimaaftryk, men det bør understreges at valg af materialer er en tværfaglig beslutningsproces hvor også økonomi, tilgængelighed og andre parametre er en del af den samlede ligning.

Figur 3.

Sammenligning af bygningsdelenes CO<sub>2</sub>-aftryk for de nye institutioner (Mallinggårdsvej, Lokesvej og Høiriisgårdsvej) og de ældre benchmark institutioner (Frijsenborgvej, Tronkærgårdsvej og Grenåvej).

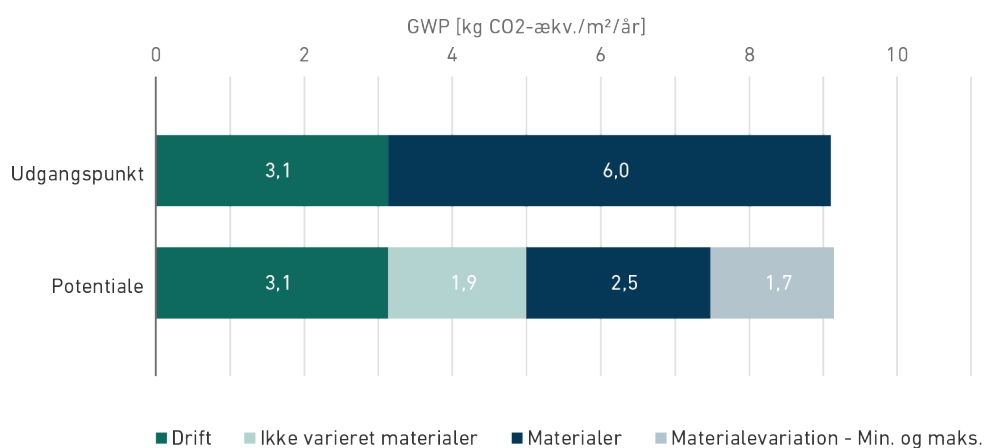






Figur 4.

Klimabesparelsespotentiale ved valg af specifikke materialer for Høiriis-gårdsvej.











Publikation 4 - Sammenfatning

# Arbejdet med EPD'er

En EPD (environmental product declaration) eller på dansk miljøvaredeklaration er en standardiseret metode til at kvantificere det miljømæssige aftryk for et produkt via en LCA. EPD'er er et vigtigt redskab i jagten på et mindre klimaaftryk, fordi EPD'er ofte har et lavere klimaaftryk end generisk data. I forbindelse med anvendelse af EPD'er er der dog en række opmærksomhedspunkter, som kræver bevågenhed ved anvendelse af EPD'er. Nogle af de primære opmærksomhedspunkter er uddybet i Tabel 3. For mere information og yderligere analyser

henvises der til publikation 4. Publikationens målgruppe er personer, som ønsker en dybere forståelse for de bagvedliggende forudsætninger og henvender sig derfor ikke i udgangspunktet til lægmænd.

Tabel 3.

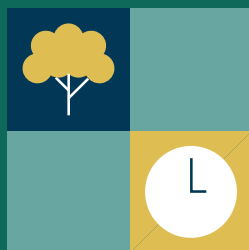
Opmærksomhedspunkter ved anvendelse af EPD'er.

Opmærksomhedspunkter	Uddybning
<b>Gyldighed</b>	For at en EPD kan anvendes i Danmark skal den opfylde en række krav f.eks. være udarbejdet efter EN 15804, være verificeret af en 3. part og godkendt af en EPD-programoperatør, før den betragtes som værende gyldig. Der flourer EPD'er, som ikke nødvendigvis kan anvendes i Danmark, hvilket kræver opmærksomhed hos brugeren af EPD'en. Herudover er EPD'er jf. EN 15804 kun gyldige i 5 år, hvorefter den skal genverificeres, typisk efter revision.
<b>Deklareret enhed</b>	I EPD'er er der en deklareret enhed eller funktionel enhed (f.eks. 1 kg eller 1 m <sup>2</sup> ) oplyst for produktet. Dette er referencepunktet for EPD'en, hvor materialeforbrug, energi og affald opgøres i henhold til denne. De opgjorte miljøpåvirkninger indikerer dermed miljøpåvirkningen af livscyklussen af en deklareret enhed. Dette referencepunkt kan anvendes til at sammenligne produkter. Et væsentligt aspekt for at kunne sammenligne er, at produkterne opfylder samme funktion (f.eks. m <sup>2</sup> isoleringsmateriale skal opfylde samme isolans for at kunne sammenlignes). Det er derfor et opmærksomhedspunkt, at EPD'er, som sammenlignes, opfylder samme deklareret enhed og samme funktion.
<b>Metode A1 / A2</b>	I den kommende årrække vil der være en række EPD'er, som både er udarbejdet efter EN 15804 +A1 og +A2. Ændringen i den metodiske tilgang mellem de to versioner medfører, at det kun er muligt at sammenligne GWP. Hvis der anvendes en EPD efter +A1 uden C3- eller C4-modul skal der anvendes et passende erstatningsmodul fra det generiske datagrundlag tabel 6.1 i BR18. Dette kan give udfordringer, særligt ift. de biogene materialer, hvor det biogene carbon således ikke nødvendigvis går i balance, hvilket kræver bevågenhed ved brug af erstatningsmoduler for at sikre at det biogene carbon regnes korrekt.
<b>Levetider</b>	LCA på bygninger regnes for en 50-årig referenceperiode. Produktets levetid er derfor vigtigt, idet dette har betydning for, hvorvidt der skal ske en udskiftning undervejs. Dette er også et vigtigt punkt ift. sammenligning af to produkter, som ikke nødvendigvis har samme levetid. Levetiden oplyst i EPD'en kan ikke nødvendigvis bruges i bygnings-LCA medmindre der findes en TGA (teknisk godkendelse af anvendelsen) på produktet. Hvis dette ikke er tilfældet, anvendes levetider fra levetidstabellen BUILD-rapport 2021:32 jf. BR18.
<b>c-PCR (complementary product category rules)</b>	c-PCR fastsætter specifikke regneregler for produktkategorier. EPD'er, som er baseret på c-PCR, sikrer større overensstemmelse i modelleringen af det respektive produkt. Det bør der fortrækkes at anvende EPD'er, der benytter c-PCR regneregler.

Opmærksomhedspunkter	Uddybning
<b>Miljøpåvirkningskategori:</b> "Use of secondary material"	Denne miljøpåvirkningskategori oplyser, hvor meget genanvendt materiale, der indgår i produktet. Dette kan også indebære genanvendt materiale i tilfælde af, at dette er anvendt i emballagen. Kategorien gør det derfor muligt at gennemskue, hvor mange kg genanvendt materiale der indgår i produktet, hvilket er et opmærksomhedspunkt i jagten på cirkulære og bæredygtige byggerier.
<b>Affaldsscenerier</b>	I EPD'er beskrives hvilke geografiske områder, som EPD'en er udarbejdet for f.eks. Europa. Dette har betydning for de modellerede affaldsscenerier, som C-modulerne baseres på. Jf. EN 15804 + A2 skal affaldsscenerier opbygges således at det afspejler den reelle affaldshåndtering for de geografiske rammer. Dette betyder f.eks., at når de geografiske rammer er sat til Europa, så skal et affaldsscenerie repræsentere et gennemsnitligt scenarie på tværs af Europa. Dette er vigtigt for at få en forståelse af det anvendte affaldsscenerie, og at to (på papiret) lignede produkter ikke nødvendigvis anvender samme affaldsscenerie. Affaldsscenerierne behandles som et selvstændigt emne i Publikation 5.
<b>Datakvalitet i en EPD</b>	Datakvalitet har en væsentlig betydning for resultaterne i en EPD. Derfor skal kvaliteten af de anvendte datasæt også vurderes jf. EN 15804 + A2. Kvaliteten vurderes på baggrund af geografisk, tidsmæssig samt teknologisk repræsentativitet. Den geografiske repræsentativitet vurderes ud fra, hvorvidt de anvendte datasæt afspejler de geografiske forhold, hvor produktet produceres. Den tidsmæssige repræsentativitet er en vurdering af om data afspejler nyere data. Den teknologiske repræsentativitet indebærer en vurdering af, hvorvidt det anvendte datasæt afspejler den teknologi, der anvendes i den reelle produktion (f.eks. valsning af stål). De mest anvendte databaser er LCA for Experts (tidligere GaBi) samt Ecoinvent. Generelt anerkendes databaserne LCA for Experts (tidligere GaBi) for at have de mest opdaterede og retvisende generiske datasæt.
<b>Miljøcertifikater (GO'er)</b> (Guarantees of Origin)	I udarbejdelsen af EPD'er er det tilladt at medregne producenternes købte miljøcertifikater f.eks. til brug af biogas i modul A3 (produktionen), og dermed forbedre klimaaftrykket af produktet på papiret. Dette kan have en stor betydning for klimabelastningen. I tilfælde, hvor der anvendes miljøcertifikater, skal det tydeligt fremgå af EPD'en. Det er derfor vigtigt, f.eks. i en sammenligning af produkter at oplyse, hvis klimaaftrykket bygger på miljøcertifikater, så bygherre kan træffe beslutninger på et oplyst grundlag.
<b>Biogent carbon</b>	For biogene materialer anvendes -1/+1 metoden, hvor det biogene carbon samlet set skal være i balance over hele livscyklusen. For visse produkter f.eks. stråtag sker der en forrådnelsesproces i B-fasen, hvor noget af det biogene carbon udledes til atmosfæren. Dette er en udfordring, idet BR18-metoden kun betragter modulerne A1-A3, B4, B6, C3, C4 og (D), hvilket betyder at forrådnelsesprocessen i B-fasen ikke medregnes. CO <sub>2</sub> -aftrykket for f.eks. stråtag kan derfor samlet set syne negativt, hvis kun modulerne iht. BR18 betragtes. Ved brug af biogene produkter er det derfor vigtigt at sikre at det biogene carbon går i balance.







Publikation 5 - Sammenfatning

# Endt levetid





## Affaldsscenerier

Publikation 5 retter fokus mod modul C3-C4 under fasen "endt levetid", men berører også modul D "uden for projekt". Publikationen behandler nogle af de faldgruber, der kan være forbundet med disse faser. I Tabel 4 er der samlet en række kritiske spørgsmål, som med fordel kan stilles ved vurdering af modul C3, C4 og D.

For mere information og yderligere analyser henvises der til publikation 5. Publikationens målgruppe er personer, som ønsker en dybere forståelse for de bagvedliggende forudsætninger og henvender sig derfor ikke i udgangspunktet til lægmænd.

I BR18 er det muligt at anvende EPD'er uagtet af, hvor EPD'en stammer fra, så længe denne følger standarden EN 15804 + A1/A2. Dette betyder, at hvis der anvendes en EPD fra et land, som affaldsbehandler på anden vis end i Danmark, så kan der blive anvendt et ikke repræsentativt affaldsscenario for produktet.

Det betyder, at klimaaftrykket fra affaldssceneriet ikke nødvendigvis afspejler CO<sub>2</sub>-udledningen til atmosfæren. Herudover er det et vigtigt opmærksomhedspunkt ved sammenligning af produkter.

## Erstatningsmoduler

Et andet opmærksomhedspunkt ved brugen af EPD'er efter EN 15804 + A1 er, at disse EPD'er ikke nødvendigvis deklarerer modul C3-C4. I dette tilfælde skal passende erstatningsmoduler fra BR18, bilag 2, tabel 7 anvendes, for at opnå en fyldestgørende klimaberegning. Benyttelse af de generiske affaldsscenarioer kan dog give et forfejlet billede, som eksemplificeret i Figur 2, hvor erstatningsmodul for affaldsscenarioet ikke

er konservativt nok. For biogene produkter (som f.eks. fibergips) skal man være påpasselig med at anvende erstatningsmoduler, da det kan give et forkert klimaaftryk. Denne sammenligning er lavet i figur 5.

Tabel 4.

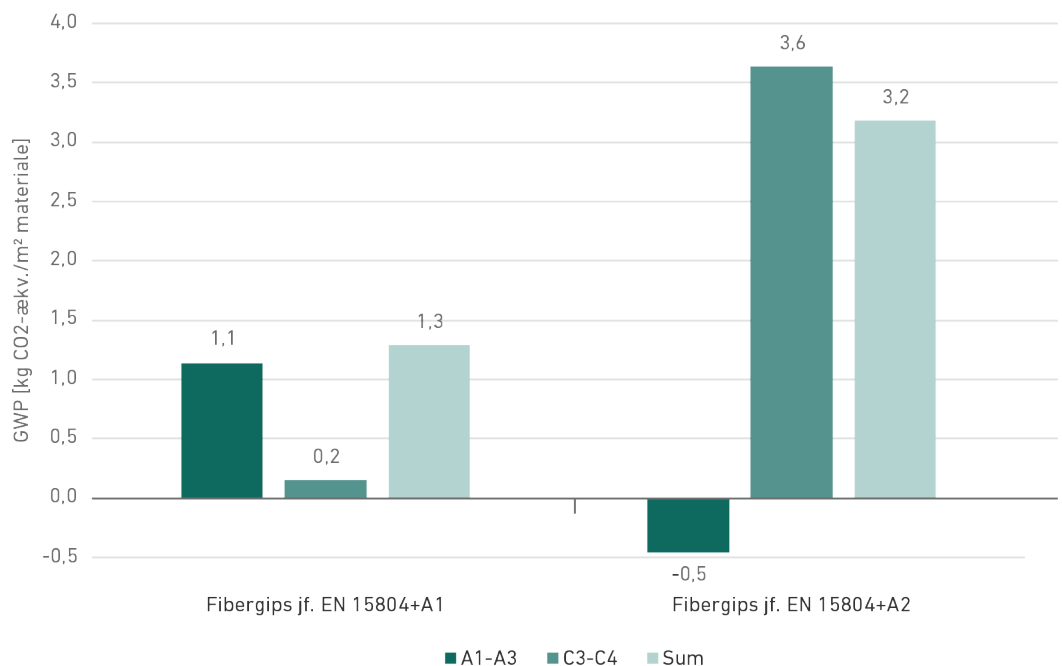
Relevante spørgsmål til modul C3, C4 og D.

### Kritiske spørgsmål

- Anvendes der EPD, generisk eller erstatningsdata til modellering af affaldsscenarioet?
- Er EPD'en efter EN15804 + A1 eller A2?
- Hvilket affaldsscenario er modelleret i EPD'en?
- Hvad er det repræsentative (danske) affaldsscenario for dette produkt, og følger EPD'en dette?
- Er der anvendt en c-PCR?
- For hvilket marked er EPD'en deklareret?
- Er produktet produceret med genanvendt materiale?

Figur 5.

Klimaaftrykket for fibergips efter EN15804 +A1 (MD21019) med erstatningsmodul for affaldsscenarioet ('manuelt' tilføjet) og efter EN15804 +A2-metoden med specifikt affaldsscenario (MD22138 - modelleret i EPD).



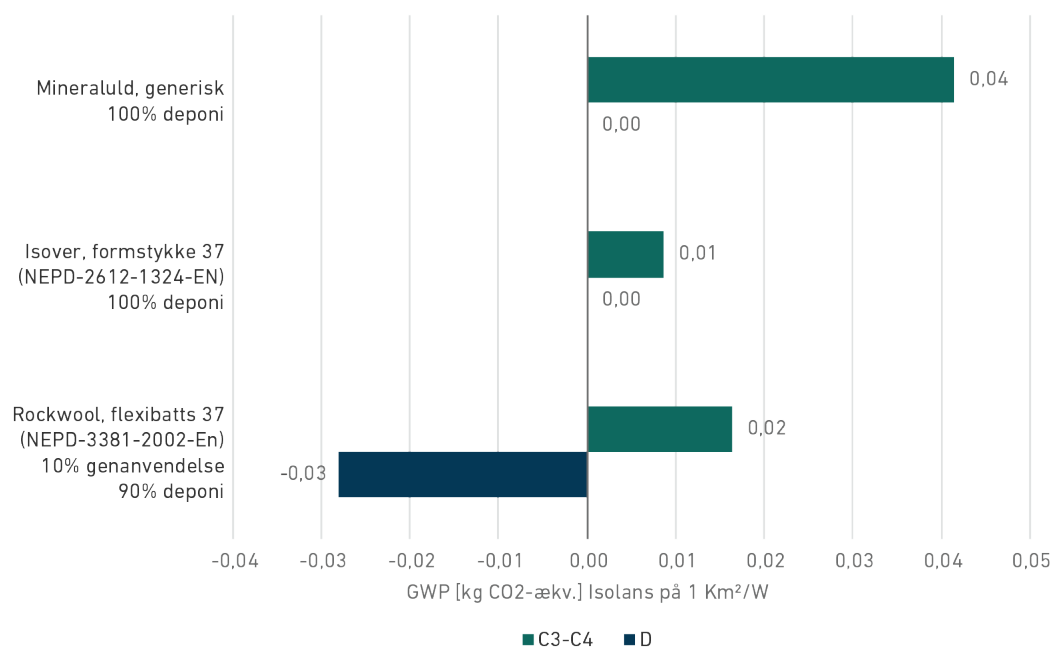
## c-PCR

EPD'er udformes med afsæt i c-PCR (complementary product category rules), såfremt der eksisterer et for produktet. c-PCRs primære opgave er at etablere ens beregningsforudsætninger for de konkrete materialetyper, således at sammenligningsgrundlaget i højere grad harmoniseres. Der er typisk større overensstemmelse i klimapåvirkninger fra modul C3-C4 ved anvendelse af c-PCR. Et andet opmærksomhedspunkt er, hvordan det anvendte affaldsscenario påvirker gevinster i modul D.

Figur 6 viser et eksempel på, hvordan deponi (på papiret) kan se bedre ud i C3-C4, da Isovers klimapåvirkning fra C3-C4 er mindre end Rockwools. Forklaringen kan være at Rockwool antager 10 % genanvendelse, hvilket kræver energi. Konsekvensen er at Isover ingen genviser har i modul D, hvilket er tilfældet for Rockwool. Det er derfor vigtigt at kigge på hele livscyklussen, selvom modul D ikke er en del af klimaaftrykket, i jagten på cirkularitet.

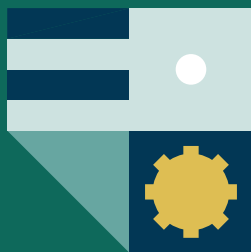
Figur 6.

Sammenligning af klimaaftrykket fra model C3-C4 og modul D for forskellige mineraluldsprodukter.









Publikation 6 - Sammenfatning

# Potentialer

Publikation 6 beskæftiger sig med erfaringer, overvejelser og potentialer i arbejdet mod et lavere CO<sub>2</sub>-aftryk for fremtidens daginstitutioner.

Erfaringerne kan også perspektiveres til andre bygningstypologier. Publikationen behandler nedenstående emner, mens sammenfatningen kun behandler de emner som er understreget.

For mere information og yderligere analyser henvises der til publikation 6:

- Byggesystemer – Tung vs. let
- Genbrugsmaterialer – BR18 vs. DGNB
- Isoleringsmaterialer – Typer og klasser
- Isoleringsniveauer – Trade off analyser
- Brandkrav - muligheder og udfordringer
- Lokalplanskrav – Facadebeklædning
- Perspektivering – Ekstrapolering

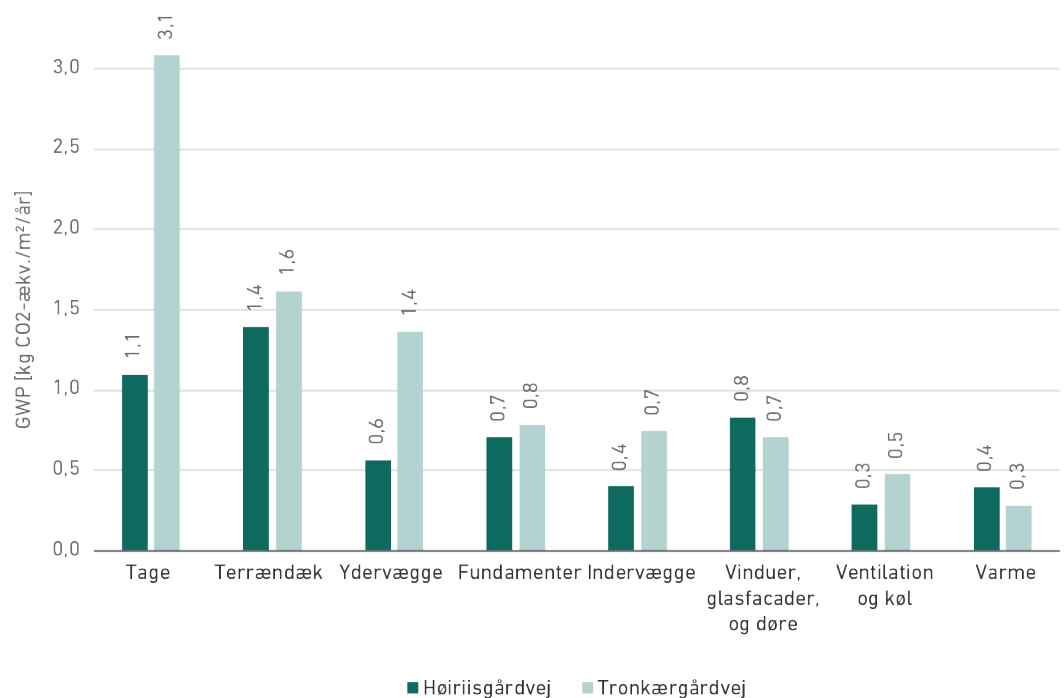
## Byggesystemer – tung vs. let

Byggesystemet er en afgørende parameter ift. klimaaftrykket, hvilket tydeligt kan observeres ved at sammenligne byggesystemerne for de to daginstitutioner Høiriisgårdsvej og Tronkærgårdsvej – se Figur 7.

Her adskiller tagkonstruktionen, ydervæg og indervægge sig særligt fra hinanden. Tronkærgårdsvej har anvendt primært tunge materialer som beton og stål, mens Høiriisgårdsvej ønsker at anvende mere lette materialer som træ. Tronkærgårdsvej kunne potentielt have sparet 3 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år, svarende til 25% ved brug af lettere tag- og vægopbygninger.

Figur 7.

Sammenligning af CO<sub>2</sub>-aftrykkene for de 8 CO<sub>2</sub>-tungeste bygningsdele for daginstitutionerne Høiriisgårdsvej og Tronkærgårdsvej

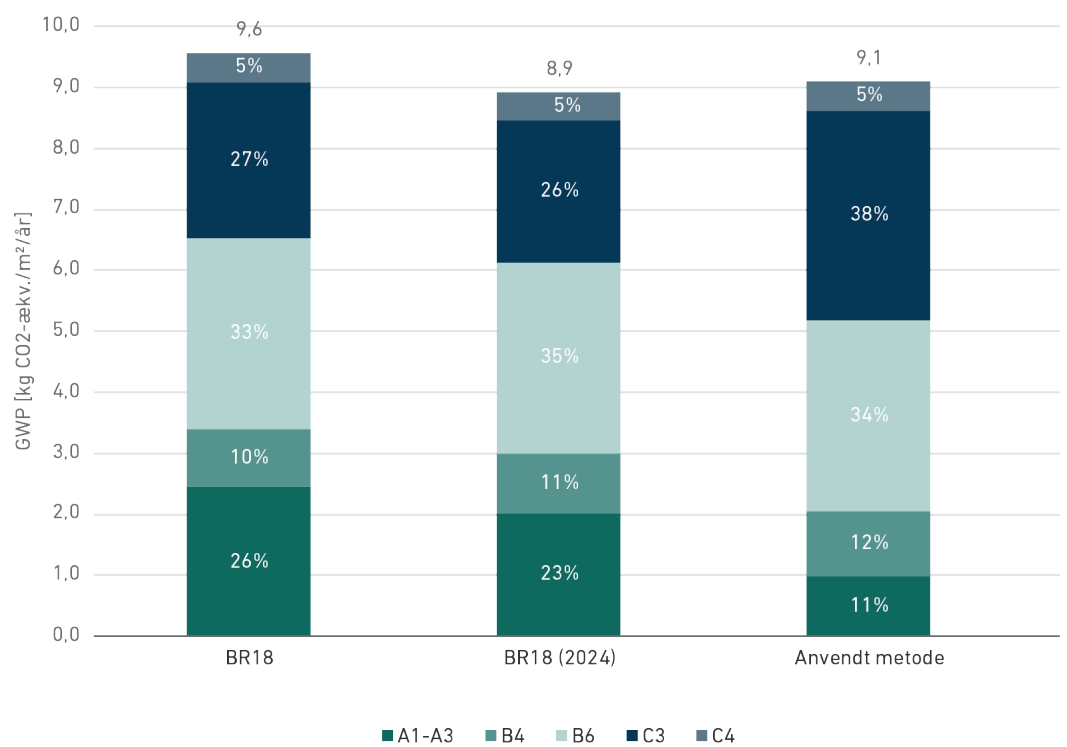






Figur 8.

Sammenligning af CO<sub>2</sub>-aftrykket med forskellige metode tilgange for genbrugsmaterialer. Der tages udgangspunkt i Høiriisgårdsvej.



## Genbrugsmaterialer

Fremadrettet får genbrugte byggematerialer en afgørende rolle i arbejdet mod at nedbringe klimaaftrykket fra byggeri, men en af udfordringerne i dag er forskellige metode-tilgange til beregning heraf.

I Figur 8 er 3 forskellige metode-tilgange undersøgt med udgangspunkt i Høiriisgårdsvej. Tallene understreger, at selvom der kun er genanvendt en mindre andel af materialer på Høiriisgårdsvej, så kan BR18 metoden alligevel hæve det dokumenterede CO<sub>2</sub>-aftryk med 0,5-0,7 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år på bygningsniveau – hvilket ikke afspejler det reelle aftryk. Mere information om metoderne kan findes i publikation 6.

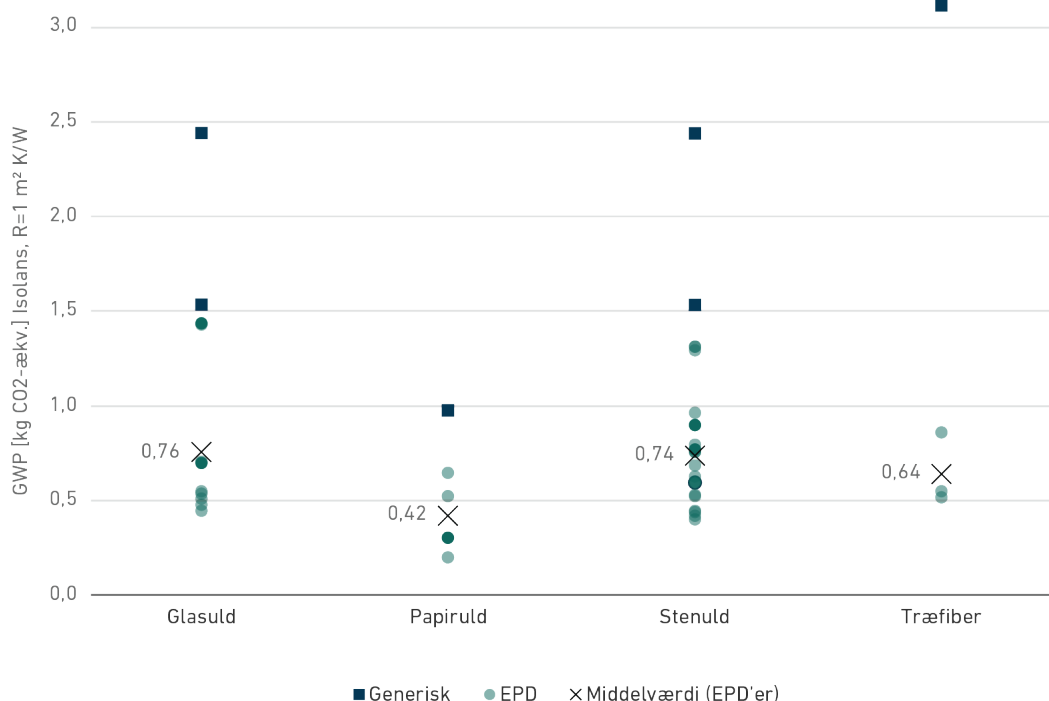
## Isoleringsmaterialer

I forbindelse med valg af isoleringsmateriale findes der en lang række isoleringsprodukter på markedet. De største kategorier er glasuld, stenuld, papiruld og træfiber indenfor bløde batts og løsfyld. I Figur 9 er forskellige isoleringsprodukter sammenlignet ift. til deres CO<sub>2</sub>-aftryk ved en isolans (R) på 1 m<sup>2</sup> K/W. Figur 9 viser en relativ stor spredning både indenfor og på tværs af produktkategorierne, hvor det laveste CO<sub>2</sub>-aftryk kan opnås ved brug af papiruld (data fra 04-2023).

Ved brug af biobaserede produkter, som papiruld og træfiber, sker der desuden en forskydning af CO<sub>2</sub>-udledningen, hvor udledningen primært sker i C-modulerne (år 50) i stedet for i produktionsfasen A1-A3 (år 0), som er gældende for mere traditionelle produkter eksempelvis glas- og stenuld. For mere information og yderligere analyser henvises der til publikation 6.

Figur 9.

Sammenligning af CO<sub>2</sub>-aftrykket for forskelle isoleringsmaterialer med en isolans på 1 m<sup>2</sup> K/W







## Brandkrav

Brandkravene til daginstitutioner betyder ofte ekstra materialer, som både koster på CO<sub>2</sub>- og anlægsbudgettet. I Tabel 5 er nogle af CO<sub>2</sub>-besparelspotentialer ved at skifte fra brandklasse 2 (BK2) til brandklasse 4 (BK4) undersøgt for forskellige indervægstyper. Størstedelen af væggene skal overholde EI60 i BK2. Dette krav vurderes at kunne minimeres til EI30 for rum med vågne personophold og direkte adgang til det fri.

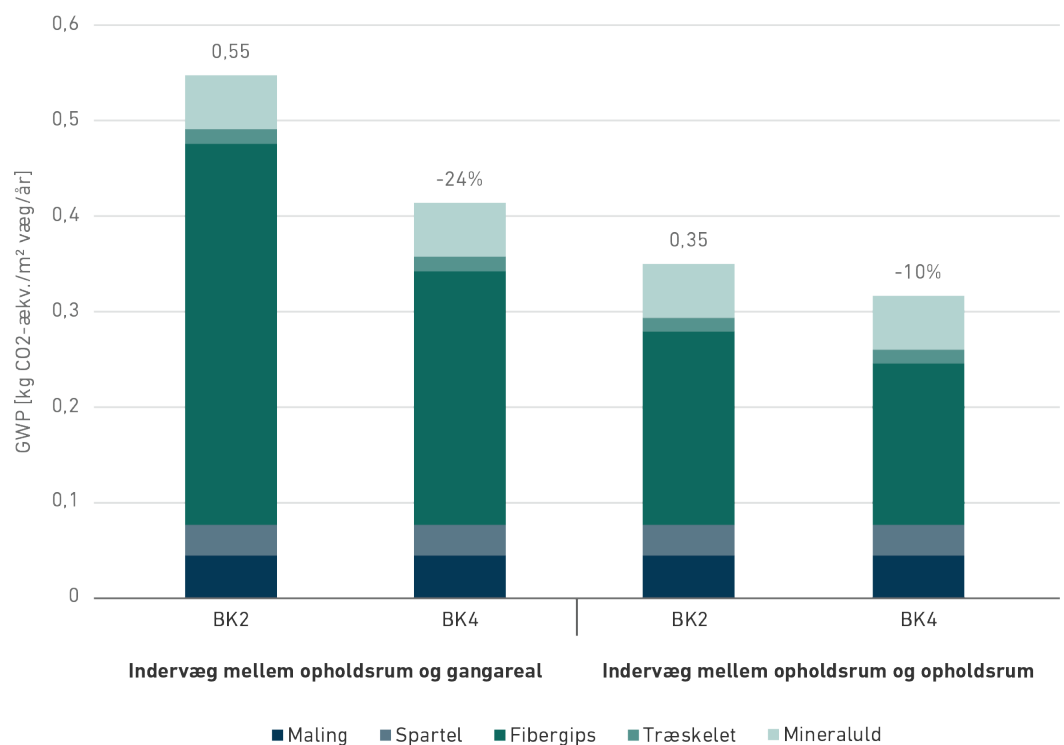
For indervægge mellem opholdsrum og gangarealerne er der et CO<sub>2</sub>-besparelspotentiale på 24 % på konstruktionsniveau, fordi fibergipsmængden kan reduceres fra 2x15 mm til 2x10 mm. For indervægge mellem to opholdsrum af samme type vil der være et CO<sub>2</sub>-besparelspotentiale på 10 %.

Disse analyser illustrerer nogle muligheder ved at skifte brandklasse, men denne kon-

vertering er naturligvis også forbundet med en øget udgift på rådgiversiden, fordi BK4 brandrådgivere er dyrere end BK2 rådgivere. Det bør vurderes fra projekt til projekt om materialebesparelserne kan modsvare den øgede rådgiverudgift. Den potentielle klimagevinst bør dog altid være en del af beslutningsgrundlaget.

Tabel 5.

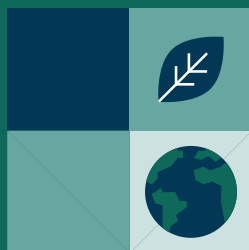
Sammenligning af CO<sub>2</sub>-besparelspotentialer på konstruktionsniveau ved at gå fra brandklasse 2 (BK2) til brandklasse 4 (BK4) for indervægstyper med forskellige lydkrav. Der er anvendt produkt-specifikke miljødata i sammenligningen, som tager udgangspunkt i Mallinggårdsvej.











Publikation 7 - Sammenfatning

# Byggeproces (A4 og A5)

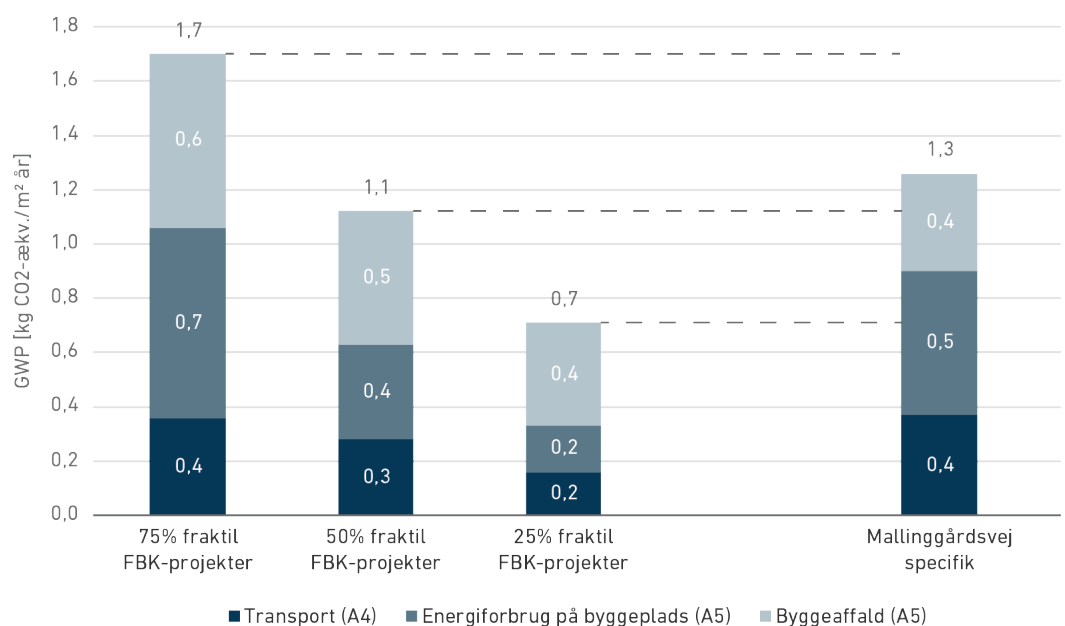
Publikation 7 sætter fokus på klimaaftrykket fra byggeprocessen (modul A4 og A5), som er en del af den frivillige bæredygtigheds-klasse. Publikationen forsøger blandt andet at stille skarp på, hvor meget disse faser udgør af det samlede klimaaftryk og hvordan de kan estimeres i de indledende faser.

BUILDs foreløbige FBK-opsamlingsresultater fra foråret 2023 af A4 og A5 er sammenlignet med opgørelsen fra Mallinggårdsvej i Figur 10. Det observeres at 50 % fraktilen for A4 og A5 på tværs af bygningstypologierne ligger på 1,1 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år, mens det for Mallinggårdsvej ligger på 1,3 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år, hvilket er 18 % højere end 50 % fraktilen. Det er primært transporten og energiforbruget på byggepladsen, som bidrager til at Mallinggårdsvej ender over 50 % fraktilen, mens mængden af byggeaffald er reduceret ift. 50 % fraktilen. Generelt viser de tre fraktiler en stor spredning mel-

lem de undersøgte FBK-projekter, hvilket indikerer både et stort forbedringspotentiale, men samtidigt en potentiel klimasyn-der, hvis man ikke er opmærksom på A4 og A5. Der bør pointeres at dokumentation af A4 og A5 stadig er meget nyt, hvorfor at data-usikkerhed også kan være en del af forklaringen på den store spredning. Har man f.eks. været dårlig til at registrere alt ressourceforbrug på byggepladsen, så vil det kunne give indtryk af et mere klimavenligt byggeri. BUILD har i deres arbejde forsøgt håndtere dette ved at opkvalificere data, men der vil forventeligt stadig være et mørketal.

Figur 10.

Sammenligning af BUILDs foreløbige resultater om A4 og A5 i forhold til opgørelsen fra Mallinggårdsvej



Resultaterne viser at inddragelse af byggeprocessen (A4 og A5) kan hæve klimaftrykket i betydelig grad, hvilket bør indtænkes i forhold til fremtidige klimakrav. Ambitionsniveauet for modul A4 og A5 bør tilpasses det enkelte projekt iht. størrelse, budget o.l. Erfaringerne fra BUILD indikere at LCA-modulerne A4 og A5 udgør 10-15% af bygningernes samlede klimapåvirkning. De fleste byggerier har en klimapåvirkning, uden A4 og A5, på 8-12 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år. Det betyder at spændet for klimapåvirkningen fra byggeprocessen (A4-A5) ofte ligger i størrelsesordenen af 0,8 til 1,6 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år.

Baseret på BUILD's erfaringer og AaK egne erfaringer med A4 og A5 kan ambitionsniveauet, som tommelfingerregel inddeles i 3 grænseværdier :

- **"business as usual"**  
Max. 1,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år
- **"nu skal du tænke dig om"**  
Max. 1,0 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år
- **"imponerende"**  
Max. 0,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år

For mere information og yderligere analyser henvises der til publikation 7.







Publikation 2

# LCA i processen



## 1. Indledning

Denne publikation behandler en række opmærksomhedspunkter til bygherrer, rådgivere og andre interesserede i byggebranchen til bedre håndtering af LCA i processen. Opmærksomhedspunkterne er opsamlet med udgangspunkt i identificerede udfordringer, som knytter sig til arbejdet med LCA i processen – helt fra ideoplæg til as built. Der tages primært udgangspunkt i erfaringer fra forløbet på daginstitutionen Mallinggårdsvej, da de to øvrige Lokesvej og Høiriisgårdsvej ikke er tilstrækkelig langt i processen endnu. Emner som kvalitets sikring, LCA i byggeriets faser, entreprisformer, detaljeringsniveau og datakvalitet belyses i nærværende publikation.

Med afsæt i disse opmærksomhedspunkter og suppleret af tidligere erfaringer er der udarbejdet en overordnet skabelon for

rapporteringsstrukturer gennem byggeriets faser (se skema 1). En struktureret og transparent LCA-afrapportering er afgørende for at nedbringe bygningers klimaaftryk, men også for at kunne sammenligne på tværs af projekter og bygningstyper og dermed sikre en løbende erfaringsopsamling, som er hel essentiel for det fremadrettede arbejde.

## Skema 1.

Overordnede skabelon for LCA i processen.

Fase	Aktiviteter/opmærksomhedspunkter	Buffer*	Aflevering
Klimaforbedringspotentiale	<b>Ideoplæg</b>	10%	Statusnotat <sup>1</sup> LCAbyg fil Energiramme (erfaringsstal)
	<b>Dispositions/projektforslag</b>		Statusnotat <sup>1</sup> LCAbyg fil Energiramme
	<b>Myndighedsprojekt</b>		Statusnotat <sup>1</sup> LCAbyg fil Energiramme
	<b>Udbud</b>		Statusnotat <sup>1</sup> LCAbyg fil Energiramme
	<b>Udførelse</b>		Statusnotat <sup>1</sup> LCAbyg fil Energiramme
<b>As built</b>	LCA-beregning på baggrund af "As Built" materiale	0%	Endelig dokumentation LCAbyg fil Energiramme

Statusnotat<sup>1</sup>: Beregningsforudsætninger, anvendt datagrundlag (generisk miljødata eller EPD'er), oprindelse af mængder (overslag, opmåling eller BIM-udtræk), ændringslog om væsentlige ændringer

Statusmøde<sup>2</sup>: Statusopdatering og præsentation af variantanalyser

Buffer\*: En sikkerhedsmargin til håndtering af uforudsete klimabelastninger gennem byggeriets faser.



## 2. LCA i byggeriets faser

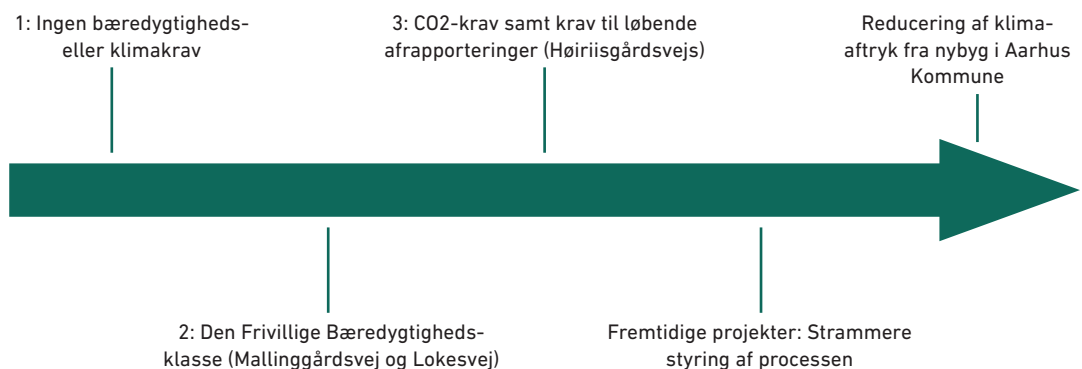
Det er særligt i de indledende faser, at klimaaftrykket fra byggeriet har potentiale for at blive optimeret. LCA-overvejelser bør derfor være en del af beslutningsgrundlaget fra byggeriets start, mens f.eks. byggesystemer og primære materialer stadig kan ændres. Gennem byggeriets faser bør LCA-beregninger løbende opdateres for at følge og sikre klimaaftrykkets udvikling. I alle faser er der mulighed for at skabe klimabesparelser, men generelt mindskes mulighederne i takt med at byggeriet konkretiseres og låses på forskellige niveauer gennem faserne. Hvis bygherre og/eller bygherrerådgiver er tydelig omkring målsætninger og konsekvenser ved ikke at opnå disse, vil det være med til at skabe den nødvendige opmærksomhed på klimaaftryk og et øget fokus på processen.

tilrettelægge deres byggerier ud fra. Gennem projekterne har Aarhus Kommune fået opbygget en større viden i relation til klimabelastning fra nybyggeri f.eks. betydningen af lokalplansmæssige materialekrav, anvendeskategorien for byggeriet, beregningsmæssige forudsætninger og udfordringer forbundet med arbejdet med genanvendte konstruktioner og materialer. Erfaringer, som alle har forbedret Aarhus Kommunes videns- og datagrundlag, så de står bedre rustet til at gennemføre reduktion af klimabelastningen fra fremtidigt byggeri. Denne udvikling er visualiseret i Figur 1. En uddybning af Aarhus Kommunes refleksioner kan findes i afsnit 7.

Tabel 1 viser hvilke LCA-aktiviteter der specifikt er arbejdet med på Mallinggårdsvej, Lokesvej og Høiriisgårdsvej. Aarhus Kommune har gennem arbejdet med de tre institutioner gjort vigtige erfaringer som bygherre ift., hvad det kræver at komme i mål med en ambitiøs klimamålsætning. Generelt har det vist sig udfordrende at opnå den klimamæssige målsætning på maksimalt 8,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år for det enkelte projekt. Dette skyldes bl.a., at Aarhus Kommune ikke havde forudgående erfaringer og data at

Figur 1.

Visualisering af Aarhus Kommunes øget erfaring gennem projektet.



Tabel 1.

LCA-aktiviteter i processen for Mallinggårdsvej, Lokesvej og Høiriisgårdsvej.

	Mallinggårdsvej	Lokesvej	Høiriisgårdsvej
<b>Rådgiverudbud</b>	Input til udbudsbeskrivelse vedr. FBK – både i Projekt- og opfordrings-skrivelse samt Ydelsesbeskrivelse.	Input til udbudsbeskrivelse vedr. FBK – både i Projekt- og opfordrings-skrivelse samt Ydelsesbeskrivelse.  (Samarbejde mellem Aarhus Kommune og Artelia).	Input til udbudsbeskrivelse vedr. bæredygtighed – både i Projekt- og opfordrings-skrivelse samt Ydelsesbeskrivelse. Herunder præcisering af FBK-krav samt yderligere projektspecifikke krav f.eks. CO2-krav, genbrug af materialeressourcer fra eksisterende bygningsmasse, indregning af usikkerhedsfaktorer i de indledende faser og krav til LCA-afrapporteringer ved hvert faseskift.  (Samarbejde mellem Aarhus Kommune og Artelia).
<b>Idéoplæg / skitseforslag</b>	-	-	-
<b>Byggeprogram / Dispositionsforslag</b>	Indledende LCA på bygningsniveau med indtastning af materialer og mængder fra Revit. Drift vurderet ud fra erfaringstal.	Projektmateriale er låst her til udarbejdelse af tværgående klimaanalyse.  (OBS: Materiale er låst efter genopstart af projekt – se tidsplan i Tabel 2)	Opstartsmøde med totalrådgiver. Videre-delning af erfaringer og opmærksomhedspunkter fra indledende arbejde på Mallinggårdsvej og Lokesvej. Fokus på byggeprincipper, overordnede materialevalg og LCA-sparring generelt.  (Møde afholdt mellem totalrådgiver, Aarhus Kommune og Artelia).  Indledende LCA-varian-tanalyser samt LCA på bygningsniveau udarbejdet til FBK. Opsamlet i notat inkl. beskrivelse af forudsætninger.  Derudover U-værdi-analyse for facader ift. skærpet krav fra Aarhus Kommune (LCA og LCC). Undersøgelse af klimamæssig gevinst ved at fravige skærpede krav.

	Mallinggårdsvej	Lokesvej	Høiriisgårdsvej
<b>Projektforslag/ Myndighedsprojekt</b>	Indledende LCA-varian- tanalyser samt LCA på bygningsniveau udarbej- det til FBK. Opsamlet i notat inkl. beskrivelse af forudsætninger.	Indledende LCA-varian- tanalyser samt LCA på bygningsniveau udarbej- det til FBK.  (OBS: Udarbejdet inden projektpause – se tids- planen i Tabel 2).	Problematik: lokalplan udfordrer CO2-reduk- tion i projektet. Derfor forhåndsdialog med myndigheder om facade- og tagbeklædning, som lever op til lokalplankrav. Hertil udarbejdet LCA-va- riantstudier af forskellige forslag. Forslag også sammenlignet med referenceopbygning for at synliggøre CO2-bespa- relse.  (Udarbejdet af totalråd- giver med sparring fra Artelia).
<b>Udbudsprojekt</b>	Udarbejdelse af skemaer til dokumentation af klimabelastning fra byg- geprocessen (modul A4 og A5) ifm. FBK.  Produktliste udarbejdet til entreprenør med de 10 CO2-tungeste byggevarer i LCA'en. Entreprenør skulle angive hvilke materialer, som var tiltænkt at blive indkøbt. Rådgiver kunne efterfølgende spille op med alternativer til at reducere klimaaftrykket.	-	Projektmateriale er låst her til udarbejdelse af tværgående klimaana- lyse.
<b>Udførelsesprojekt</b>	-	-	-
<b>Projektopfølgning og 'som udført'</b>	Endelig LCA på bygnings- niveau udarbejdet til FBK inkl. dokumentation af klimabelastning fra byg- geprocessen (A4-A5).  Projektmateriale er låst her til udarbejdelse af tværgående klimaana- lyse.	-	-



Tabel 2.

Tidsplan for Mallinggårdsvej, Høiriisgårdsvej og Lokesvej, som viser hvornår projektmaterialer til den tværgående klimaanalyse er låst.

		Mallinggårdsvej	Lokesvej	Høiriisgårdsvej		
2020	SEP					
	OKT	Byggeprogram og dispositionsforslag				
	NOV					
	DEC					
2021	JAN		Projektforslag / myndighedsprojekt	Byggeprogram og dispositionsforslag		
	FEB					
	MAR					
	APR	Udbudsprojekt	Projektforslag / myndighedsprojekt			
	MAJ					
	JUN	Udbud	Udførelse			
	JUL	Forhandling				
	AUG					
	SEP			Dispositionsforslag		
	OKT	Udførelsesprojekt				
	NOV					
	DEC					
2022	JAN	Udførelse		Projektpause / besparelsesrunde	Projektforslag / myndighedsprojekt	
	FEB					
	MAR					
	APR					
	MAJ					
	JUN				Udbudsprojekt	
	JUL					
	AUG					
	SEP					Udbud
	OKT					
	NOV					
	DEC					
2023	JAN	Låsning af materiale til tværgående klimaanalyse	Genstart	Projektpause / besparelsesrunde		
	FEB					
	MAR					
	APR			Rev. dispositionsforslag		
	MAJ					
	JUN			Udbudsprojekt	Genstart	
	JUL					
	AUG					
	SEP					
	OKT					
	NOV					
	DEC					

I nedenstående uddybes aktiviteterne/ opmærksomhedspunkterne i skema 1, hvor der tages udgangspunkt i faserne fra YBL18. Det bør understreges at dette er et oplæg til inspiration, fordi LCA-processen kan være meget forskellig og gennemgå hellere ikke altid alle de nævnte faser.







## 2.1 Ideoplæg

I forbindelse med ideoplægget bør der defineres en klimamålsætning for byggeriet for at sikre, at projektets parter arbejder efter det samme mål. I Aarhus Kommunes er klimamålsætningen fastlagt på forhånd for bygninger over 1.000 m<sup>2</sup>, som alle skal opføres iht. lavemissionsklassen. For mindre bygninger under 1.000 m<sup>2</sup> fastsættes ambitiøse målsætninger fra projekt til projekt.

I begge tilfælde fastsættes målsætningen allerede i forbindelse med indstillinger om anlægsbevilling til Byrådet. For at sikre at klimamålsætningen overholdes kræver det et tæt samarbejde mellem ingeniør, arkitekt, entreprenør og bygherre. På visse projekter kan der med fordel arbejdes med CO<sub>2</sub>-budgetter, hvor hver disciplin for en andel af CO<sub>2</sub>-budgettet, som løbende styres og opdateres af LCA-rådgiveren.

I ideoplægget er det generelt hensigtsmæssigt at trække på tidligere erfaringer fra eksempelvis lignende bygningstypologier, for at lokalisere de områder, hvor der skal rettes særlig opmærksomhed på. For daginstitutioner er det typisk tagkonstruktionen, ydervægge og terrændækket, hvor man typisk kan se høje CO<sub>2</sub>-aftryk og stor spredning i CO<sub>2</sub>-aftrykket. Tendensen kan observeres i Figur 2, som behandles nærmere i publikation 3.

Hvis projektet har en ambitiøs klimamålsætning, bør der laves en screenings-LCA ud fra indledende geometri og tanker om projektet med henblik på at undersøge, hvor langt projektet er fra målet.

Herudover er det essentielt tidligt at få identificeret forhold, som kan have



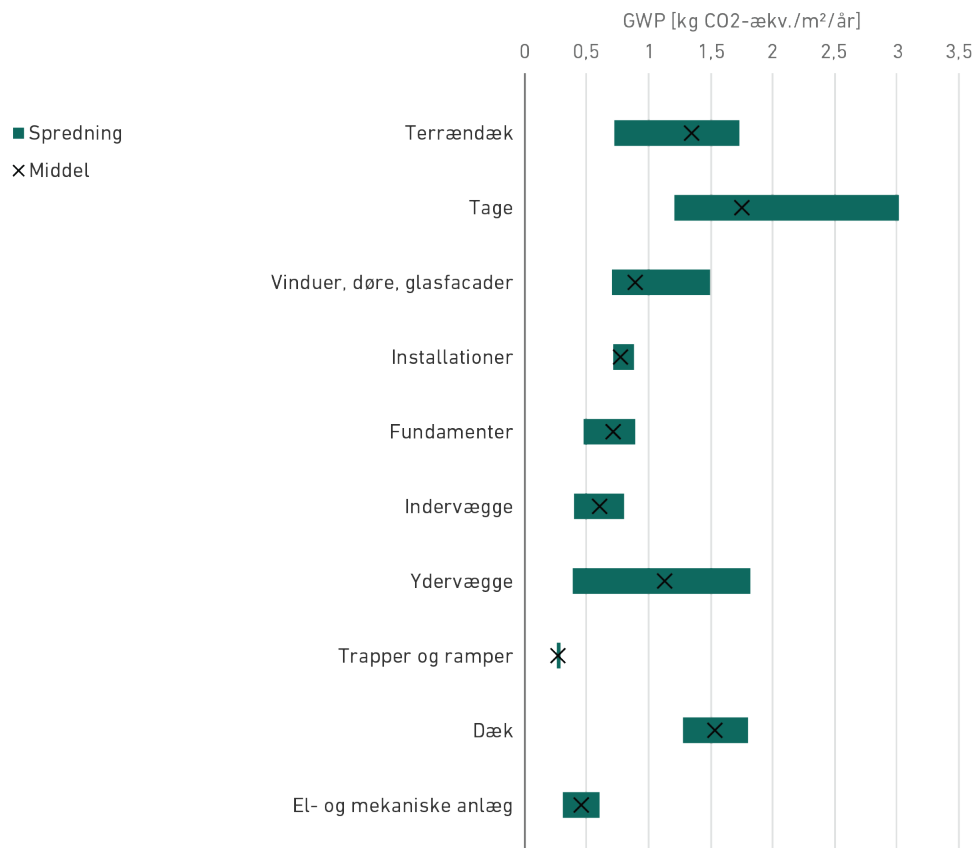
betydelig indvirkning på klimaaftrykket eksempelvis særlige jordbundsforhold, lokalplanskrav og skærpede brand- og konstruktionsforhold. For dagtilbudsbyggeriet gælder eksempelvis at det betragtes som anvendelseskategori 6. Dette medfører en række skærpede brandkrav, som f.eks. kan være begrænsende i forhold til valg af biobaserede materialer og konstruktioner med et lavt klimaaftryk.

Ligeledes er det vigtigt at have fokus på tidspunktet for ansøgning om byggetilladelse, da kravene til forventede stramninger af hhv. standard CO<sub>2</sub>-krav, lavemissionsklassen samt mindre bygninger under 1.000 m<sup>2</sup> kommer hurtigt set i lyset af byggeriers relativt lange forløb. I konteksten af kommunalt byggeri, som kan blive udsat pga. ændringer i demografiske prognoser eller anlægsbudgetter, kan det have betydning for projektets realisering af klimamålsætningen om projektet udskydes over en længere periode.

For hver fase bør der udarbejdes et statusnotat, som indeholder beregningsforudsætninger, anvendt datagrundlag (generisk miljødata eller EPD'er), oprindelse af mængder (overslag, opmåling eller BIM-udtræk) og ændringslog om væsentlige ændringer. Herudover skal filerne på LCA-beregningen og energirammen afleveres til bygherre for granskning.

Figur 2.

Spredning og middelværdi af klimaaftrykket for bygningsdele for 6 daginstitutioner.



## 2.2 Dispositions-/ projektforslag

For mindre klimaambitiøse projekter kan der ventes til dispositions-/projektforslaget med at opstarte en indledende LCA-beregning. Denne kan tage udgangspunkt i standardkonstruktioner og standardværdier for installationer, for at synliggøre de største klimamæssige besparelsespotentialer for det pågældende projekt.

På dette tidspunkt kan der med fordel indarbejdes en buffer på 10 % for at sikre noget robusthed til håndtering af projektændringer i de efterfølgende faser. En buffer på 10 % er vurderet 'fornuftig' på baggrund af erfaringer fra Mallinggårdsvej samt tidligere erfaringer. På baggrund af et øget erfaringsgrundlag fra tidligere projekter, vil det i fremtiden forventeligt også være muligt at arbejde med individuelle sikkerhedsfaktorer for bygningsdele, så prioriteten kan lægges på bygningsdele med størst usikkerhed og potentiale, og undgå unødvendige meromkostninger til de "sikre" bygningsdele.

For de mest klimabelastende konstruktioner bør der udføres 2-3 variantanalyser på konstruktions- og materialeniveau, hvor der også kan synliggøres potentialer ved anvendelse af alternative byggesystemer samt indarbejdelse af EPD'er og/eller genbrugsmaterialer. I forbindelse med variantanalyserne bør forhold om brand, akustik, energi, fugt, statik, bygbarhed, økonomi mm. inddrages for at sikre et tværfagligt sammenligningsgrundlag. Det er vigtigt, at variantanalyserne bruges aktivt, så det ikke bliver en analyse for analysens skyld. Variantanalyserne kan med fordel kombineres med totaløkonomiske betragtninger (LCC). Den samlede variantanalyse på klimabelastning og økonomi, kan tjene som et godt beslutningsredskab i prioritering af de enkelte klimaindsatser.

Hertil er en tidlig inddragelse af entreprenøren afgørende for at sikre, at f.eks. afgørende materialevalg ift. klimamålsætningen flages

for entreprenøren og evalueres ift. økonomien. En tidlig inddragelse af entreprenøren kan bidrage til:

1. Ejerskab for den bæredygtige omstilling helt ud på byggepladsen, da entreprenøren selv har været med til at udvikle projektet
2. Reduktion af fejl og mangler under udførelsen, hvilket medfører mindre materialespild
3. Mere kvalificeret arbejde med bygbarhed under udførelsen
4. Bedre affaldshåndtering
5. En grønnere byggeplads



### 2.3 Myndighedsprojekt

I myndighedsprojektet bør klimamålsætningen fastlåses. Variantanalyser og LCA-beregninger opdateres på baggrund af den nyeste viden om projektet, og det sikres, at klimamålsætningen fortsat kan efterleves.

I denne fase bør LCA'en baseres på en energirammeberegning, nyeste konstruktionsopbygninger og EPD'er på de afgørende materialer ift. at nå klimamålsætningen. I forhold til at kunne håndtere ændringer i projektet bør der fastholdes en buffer på 10 % til klimakravet.

### 2.4 Udbudsprojekt

I forbindelse med udbuddet bør LCA-beregningen opdateres og de kritiske materialevalg låses ved at definere klimakrav på konstruktions- og/eller byggevareniveau. For offentlige projekter skal det sikres at flere producenter kan overholde de definerede klimakrav, så fri konkurrence i offentlige udbud sikres. Bufferen til klimakravet kan sænkes til på 5 %.





## 2.5 Udførelse

I denne fase skal entreprenørerne registrere og indsamle dokumentation for modul A4 og A5 (energi- og ressourceforbrug til og på byggepladsen), hvis dette er krav fra bygherre. For at overholde eventuelle klimakrav til A4 og A5 er det afgørende at forbrug registreres og gøres tilgængelig for byggeledelsen løbende, så der kan foretages korrigerende handlinger undervejs efter behov. Herudover kan der efterspørges en materialeliste fra entreprenørerne på de indkøbte byggevarer for at sikre overensstemmelse med de specificerede klimakrav til byggevarerne.

I forbindelse med ændringer iht. udbudsprojektet er det afgørende, at disse beror på et oplyst grundlag - eksempelvis at der er udført dokumenterende variantsammenligninger og at ændringer ajourføres

i en ændringslog, for at reducere risikoen for overskridelse af klimamålsætningen og potentielle tvister mellem bygherre og rådgiver eller entreprenør.

## 2.6 As Built

Til As Built udarbejdes den endelige LCA-beregning eksklusive buffer, som dokumenterer at klimamålsætningen for byggeriet er overholdt. Som minimum skal byggerier, hvor der er søgt byggetilladelse i 2023/24, og med et opvarmet etageareal på over 1.000 m<sup>2</sup> overholde en grænseværdi på 12 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år. En ambitiøs målsætning giver her den fordel, at en eventuel overskridelse er et forhold mellem bygherre og rådgiver (eller entreprenør) og ikke vil

komme til at udgøre risiko med hensyn til at opnå ibrugtagningstilladelse. Den endelige dokumentation for overholdelse af klimakravene indsendes sammen med færdigmelding af byggeriet til kommunens byggesagsbehandling. Det er afgørende at bygherre har fastsat hvorledes LCA-dokumentation ønskes afleveret vha. en fælles ydelsesbeskrivelse, så data kan indsamles, struktureret og videreføres til fremtidige projekter.

### 3. Entrepriseformer

Entrepriseformen kan få stor indvirkning på klimaaftrykket. Eksempelvis stiller en totalentreprise store krav til udbudsmaterialet for at sikre klimamålsætningen, fordi bygherre fjerner sin indflydelse tidligt i processen. Denne entrepriseform kræver derfor veldefinerede målsætninger i udbudsmaterialet. En hovedentreprise giver bedre mulighed for at følge og påvirke projektet i længere tid for bygherre og rådgivere, hvilket betyder at bygherres rådgivere har større

mulighed for at indarbejde mere klimavenlige løsninger i projektet.

En fagentreprise pådrager endnu større ansvar til bygherre og rådgiverne, men samtidigt øger det også muligheden for indflydelse gennem næsten hele byggeprocessen. I denne type udbud er det ofte mindre entreprenører, som byder ind på opgaven. Disse entreprenører består både af folk, som har mindre erfaring med klimavenlige løsninger, hvilket stiller øget krav til bygherre og rådgivere. På den anden side består gruppen også af entreprenører, som har stort kendskab til brugen af alternative materialer og mere klimavenlige løsninger.

Tidlig entreprenørinddragelse optimerer mulighederne for at reducere klimaaftrykket af det kommende byggeri. Entreprenøren samarbejder med totalrådgiverteamet i en projektudviklingsfase, hvor materialevalg, bygbarhed, reduktion af fejl og mangler, byggepladsdesign, affaldshåndtering og et ejerskab for den grønne omstilling helt ud til den enkelte håndværker på pladsen får bedre muligheder









## 4. Kvalitetssikring

Det nye klimakrav i bygningsreglementet betyder, at mange forskellige typer af rådgivere kommer til at beskæftige sig med LCA-beregninger. Dette kan potentielt introducere betydelige fejlkilder, fordi vidensniveauet er forskelligt på nuværende tidspunkt.

En kvalitetssikring af LCA-beregningen for Mallinggårdsvej er blevet foretaget, hvor ændringerne er opsummeret i Tabel 3. Tilretning af beregningen viser signifikante forskelle i klimaaftrykket på bygningsdelsniveau, mens det samlede klimaaftryk kun varierer 2 %. Det virker dog 'tilfældigt', at det samlede klimaaftryk kun ændres 2 %, når de store udsving betragtes på delniveau. For Mallinggårdsvej har der været flere ændringer af bygningskonstruktionerne undervejs i processen, hvilket kræver en opmærksom LCA-ansvarlig – både ift. at få ændringerne med i den endelige LCA-beregning, men også undervejs være inde over beslutningerne med et klimamæssigt perspektiv for øje. Dette eksempel understreger vigtig-

heden af en gennemarbejdet LCA-beregning, når erfaringsopsamling sker på både bygnings- og bygningsdelsniveau. Samtidigt viser det også en udfordring i branchen, som bør være et opmærksomhedspunkt for alle bygherrer.

Nogle af de største forskelle observeres for installationerne, hvor installationsmængderne er blevet overestimeret i den afleverede beregning. Denne forskel kunne have været minimeret ved brug af standardværdierne i BR18, også selvom standardværdierne er konservative. I dag observeres generelt store forskelle i installationsaftrykket, hvilket til dels skyldes at ikke alle LCA-rådgivere har det rette tekniske kendskab. For fundamentene kan der også observeres betydelige forskelle, hvilket skyldes en fejlindtastning, som har overestimeret fundamentstørrelsen signifikant. Herudover ses markante forskelle for tage, hvilket skyldes valg af en forkert isoleringstype. Alle eksempler understreger, at det tværfaglige samarbejde er essentielt i arbejdet med LCA.

Tabel 3.

Kvalitetssikring af LCA-beregningen for Mallinggårdsvej. Moduler: A1-A3, A4, A5, B4, B6 og C3-C4.

Delpunkter i LCA-beregningen		Afleveret LCA	Gransket LCA	
kg CO <sub>2</sub> -ækv./m <sup>2</sup> /år				
BR18	Drift	2,21	2,42	9%
	Terrændæk	1,73	1,79	3%
	Tage	1,31	1,71	30%
	Fundamenter	1,00	0,70	-30%
	Vinduer, døre og glas	0,72	0,80	11%
	Ventilation og køl	0,76	0,34	-55%
	Ydervægge	0,55	0,52	-5%
	Indervægge	0,42	0,45	6%
	Varme	0,41	0,32	-22%
	Vand	0,19	0,11	-44%
	Afløb	0,00	0,00	0%
FBK	Byggeplads (energi)	0,54	0,54	-1%
	A4 (transport)	0,48	0,46	-4%
	A5 (spild)	0,42	0,36	-15%
	Udendørs areal	0,69	0,69	0%
<b>Sum (BR18)</b>	<b>9,31</b>	<b>9,15</b>	<b>-2%</b>	
<b>Sum (BR+FBK)</b>	<b>11,44</b>	<b>11,19</b>	<b>-2%</b>	





## 5. Detaljeringsniveau

I gennem byggeriets faser fra ideoplæg til as built sker der en naturlig detaljering af projektet, som i mange tilfælde betyder, at CO<sub>2</sub>-aftrykket stiger. Dette er også tilfældet for Mallinggårdsvej, hvor LCA-beregningen fra myndighedsprojektet er sammenlignet med As Built i Tabel 4. På bygningsniveau er CO<sub>2</sub>-aftrykket steget med 4 % iht. BR18 metoden, men 11 % hvis der kigges på FBK-metoden. Af Tabel 4 fremgår det at energiforbrug på byggepladsen og transport af materialer (A4) i myndighedsprojektet ikke er blevet estimeret, hvilket giver betydelige forskelle mellem myndighedsprojekt og As Built for FBK-metoden.

Generelt kan der observeres signifikante udsving indenfor de forskellige delpunkter. Eksempelvis er kategorierne "Vinduer, døre og glasfacader" steget med 0,4 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år og "Terrændæk" steget 0,3 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år. For fremadrettet at håndtere denne usikkerhed bør der arbejdes med en buffer, som løbende bør vurderes og opdateres gennem en erfaringsdatabase med lig-

nende tidligere projekter. Erfaringsmæssigt bør der arbejdes med en buffer på 10 % i de indledende faser, hvilket også havde været et fornuftigt niveau for Mallinggårdsvej. Forskellen havde dog været større, hvis ikke der var anvendt EPD'er på udvalgte materialer, hvilket belyses nærmere i næste afsnit om datakvalitet.

I forbindelse med dokumentation af klimaftrykket skal den anvendte metodetilgang tydeligt fremgå. Eksempelvis er ovenstående resultater opgjort både efter BR18-metoden og FBK-metoden. Hvis klimaftrykket for Mallinggårdsvej opgøres efter BR18-metoden er CO<sub>2</sub>-aftrykket 8,7 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år i stedet for 10,6 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år efter FBK-metoden. Forskellene mellem de to metoder er fremhævet i Publikation 1.

Tabel 4.

Sammenligning af klimapåvirkningen fra myndighedsprojekt ift. As Built for daginstitutionen Mallinggårdsvej. Moduler medregnet i LCA'en: A1-A3, A4, A5, B4, B6 og C3-C4.

LCA-delpunkter		Myndighedsprojekt	As Built	
		kg CO <sub>2</sub> -ækv./m <sup>2</sup> /år		
BR18	Drift	2,31	2,42	4%
	Terrændæk	1,39	1,73	24%
	Tage	1,42	1,48	4%
	Fundamenter	0,63	0,71	13%
	Vinduer, døre og glas	0,43	0,80	87%
	Ventilation og køl	0,54	0,34	-38%
	Ydervægge	0,79	0,38	-51%
	Indervægge	0,49	0,40	-19%
	Varme	0,27	0,32	17%
	Vand	0,07	0,11	64%
	Afløb	0,00	0,00	0%
FBK	Byggeplads (energi)	0,00	0,53	+100%
	A4 (transport)	0,06	0,37	+100%
	A5 (spild)	0,49	0,36	-26%
	Udendørs areal	0,64	0,69	8%
<b>Sum (BR18)</b>		<b>8,35</b>	<b>8,68</b>	<b>4%</b>
<b>Sum (BR+FBK)</b>		<b>9,54</b>	<b>10,63</b>	<b>11%</b>



## 6. Datakvalitet

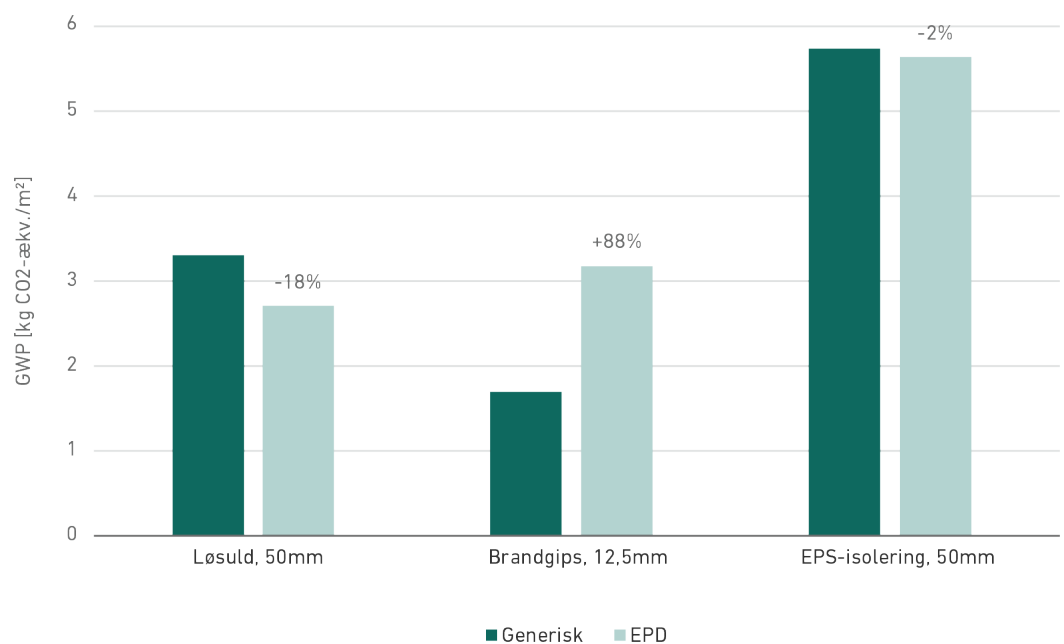
I forbindelse med bygnings-LCA'er kan generisk miljødata fra BR18, bilag 2, tabel 7, bruges. Generisk miljødata skal gerne skal afspejle et konservativt, men også repræsentativt klimaaftryk og dermed fremme indarbejdelse af EPD'er i LCA-beregninger, som afspejler et mere reelt CO<sub>2</sub>-aftryk. Dette forhold mellem generisk miljødata og EPD'er fordrer en mere reel dataopsamling. Mere information om EPD'er kan findes i Publikation 4. I visse tilfælde kan EPD'er dog bidrage til et højere dokumenteret klimaaftryk end ved brug af generisk miljødata, så der ikke nødvendigvis ligger en CO<sub>2</sub>-besparelse i at anvende EPD'er. I Figur 3 er klimaforskellen mellem generisk- og EPD-data vist for en række udvalgte materialer. For eksempelvis brandgips stiger klimaaftrykket med 88 % pr. m<sup>2</sup> overfalde ved brug af en specifik EPD sammenlignet med generisk miljødata.

For Mallinggårdsvej er der oplyst specifikke EPD'er på bl.a. isoleringsmaterialer, gips og tagpap. Ved indarbejdelse af disse

EPD'er både stiger og falder klimaaftrykket på materialeniveau, hvilket understreger at man ikke altid kan regne med et lavere dokumenteret CO<sub>2</sub>-aftryk ved indarbejdelse af EPD'er. Artelia's erfaring er dog, at dette er mere undtagelsen end reglen. Det kan dog være risikabelt at medregne et fremtidig lavere klimaaftryk før det konkrete byggeri og de konkrete produkter er betragtet. På konstruktions- og bygningsniveau falder klimaaftrykket dog for Mallinggårdsvej, da gevinsterne samlet set er større end tabene for de påvirkede bygningsdele (terrændækket, ydervægge, indervægge og tage) – se Tabel 5. Den samlede CO<sub>2</sub>-gevinst ved brug af EPD'er er 0,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år på bygningsniveau for Mallinggårdsvej.

Figur 3.

Sammenligning af klimaaftrykket med generisk data og EPD'er for en række udvalgte materialer (Paroc løsuld: NEPD-2392-11-28-EN, Fermacell: MD-22138-EN, Jackopor 80: NEPD-4127-3339-EN).





Tabel 5.

Sammenligning af CO<sub>2</sub>-aftrykket på bygningsniveau ved indarbejdelse af EPD'er ift. generisk miljødata på Mallinggårdsvej.

LCA-delpunkter	Generisk	EPD'er	
	kg CO <sub>2</sub> -ækv./m <sup>2</sup> /år		
Terrændæk	1,79	1,73	-4%
Tage	1,71	1,48	-13%
Ydervægge	0,52	0,38	-26%
Indervægge	0,45	0,40	-12%
<b>Sum</b>	<b>4,47</b>	<b>3,99</b>	<b>-11%</b>

## 7. Refleksioner fra Aarhus Kommune

Gennem arbejdet med de tre dagtilbudsbyggerier på Mallinggårdsvej, Lokesvej og Høiriisgårdsvej, har vi i Aarhus Kommune gjort os indledende erfaringer med målbar klimareduktion for vores byggeri gennem livscyklusanalyser (LCA). Vores erfaringer spænder fra et overordnet niveau vedr. vidensopbygning, samspil mellem LCA og generel projektstyring, rollefordeling mv. til et mere detaljeorienteret niveau i den enkelte LCA i forbindelse med udvælgelse af bygningstypologi, variantanalyser, materialer samt betydningen af bl.a. datakvalitet og opfølgning.

Generelt er vi blevet opmærksomme på, at arbejdet med LCA kræver en målrettet og vedholdende indsats fra alle byggeriets parter fra bygherre over rådgiver og LCA-specialist til håndværker. De udfordringer og tilpasninger, der følger med et byggeprojekt, påvirker ofte ligeledes LCA'en gennem projektets forløb. Det kan medføre behov for tilpasninger i disponeringer, konstruktioner og materialer, som kan påvirke projektøkonomi eller prioriteringer i forhold til byggeriets anvendelse og drift.

Den klimamæssige målsætning, for de tre dagtilbudsbyggerier, da den blev defineret i 2020, var at opnå et GWP på maksimalt 8,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år for det enkelte projekt. Det har vist sig vanskeligt at opnå, særligt fordi vi ikke havde forudgående erfaringer og data at tilrettelægge vores byggerier ud fra.

Vi manglede eksempelvis viden om betydningen af lokalplansmæssige materialekrav, anvendelseskategori for byggeriet, beregningsmæssige forudsætninger og udfordringer forbundet med at arbejde med genanvendte konstruktioner og materialer. Gennem projekterne har vi fået et videns- og datagrundlag at bygge videre på, der vil gøre reduktion af klimabelastningen fra fremtidigt byggeri muligt.

Arbejdet med livcyklusanalyser har vist et behov for at beskrive rådgiverydelsen detaljeret, så LCA-data kan indsamles struktureret og ensartet. Ensartet data vil gøre Aarhus Kommune i stand til at identificere potentialer eller afvigelser ved sammenligning med referencebyggerier, samt identificere best practice på bygningsdelsniveau og opbygge et klimaeffektivt konstruktionsbibliotek. Denne viden vil løbende blive opbygget gennem fremtidige projekter, samt ved at udbrede benchmark-metoden til flere bygningstyper.

En veldefineret ydelsesbeskrivelse kan indeholde krav til specifikke datapunkter, godkendelse ved faseskifte og rettidig bygherregranskning for at sikre at klimapåvirkningen får fokus i de tidligere faser og at klimapåvirkningen ikke stikker af mellem idefasen og aflevering. Struktureret afrapportering skal have fokus på at skabe rammerne for en rettidig kvalitetssikring af beregninger, mængder, forudsætninger og samspil med energirammen. BIM-modeller som grundlag for LCA-beregning indeholder en del tekniske faldgruber, hvorfor en LCA-specialist til at kvalitetssikre det digitale tegningsmateriale og mængder og sammenholde dem med bygningsdelsbeskrivelser er nødvendig. I hvert fald indtil BIM-modeller og kravene til dem der udfører dem er blevet højnet.

En af de vigtigste pointer er, at værdien i LCA-beregninger ikke ligger i den enkelte beregning, men i sammenligningen på tværs af flere beregninger, så nye bygninger står på et vidensgrundlag fra tidligere byggerier, hvilket kræver en struktureret og transparent LCA-proces.









Publikation 3

# Nøgletal



## 1. Indledning

Nærværende publikation undersøger og sammenligner klimaaftrykket for en række udvalgte daginstitutioner i Aarhus Kommune for at finde tendenser og potentialer.

Selvom de fleste daginstitutioner er under 1000 m<sup>2</sup> og dermed ikke skal efterleve klimakravet i BR18 på 12 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år er daginstitutioner som bygningstypologi særligt interessante, fordi denne typologi ofte er udfordret i forhold til: skærpede brandkrav, stort klimaskærmsareal ift. etageareal, mange indervægge, høje luftmængder og renhedskrav. Alle er elementer, som typisk giver anledning til et højere klimaaftryk, men hvordan kan klimaaftrykket minimeres igennem valg af byggesystemer og specifikke produkter? Dette er et af de spørgsmål som nærværende publikation stiller skarp på.

Analyserne tager primært udgangspunkt i tre nye daginstitutioner, som alle er tilmeldt den frivillige bæredygtigheds-klasse. I publikationen vil daginstitutionerne blive omtalt på baggrund af deres adresser; hhv. "Mallinggårdsvej", "Lokesvej" og "Høiriisgårdsvej". Et samlet overblik over de tre daginstitutioner fremgår af Tabel 1, mens konstruktionsopbygninger fremgår af Tabel 2. For tegningsmateriale henvises der til afsnit 11 Bilag 3: Case-overblik. Til sammenligningsgrundlag er de tre ældre daginstitutioner Frijsenborgvej, Tronkærgårdsvej og Grenåvej inddraget som benchmark byggerier. Den anvendte LCA-metode gennemgås i publikation 1.



Tabel 1.

Overblik over de tre daginstitutioner, som danner baggrund for den tværgående klimaanalyse.



	Mallinggårdsvej 4, Malling	Høriisgårdsvej 2, Brabrand	Lokesvej 22, Åbyhøj
<b>Daginstitution</b>	4 grupper  2 børnehavegrupper á 20 børn og 2 vuggestuegrupper á 12 børn.	4 grupper  2 børnehavegrupper á 20 børn og 2 vuggestuegrupper á 12 børn.	6 grupper  3 børnehavegrupper á 20 børn og 3 vuggestuegrupper á 12 børn.
<b>Økonomisk ramme / Entrepriseform</b>	14 mio. kr. ekskl. moms Fagentreprise	14 mio. kr. ekskl. moms Fagentreprise	21 mio. kr. ekskl. moms Fagentreprise
<b>Rådgivning</b>	Totalrådgivning Rubow Arkitekter/ Vognsen	Totalrådgivning Kjaer & Richter/ Viggo Madsen	Totalrådgivning Nordic Office of Architectur/ Vognsen
<b>Entrepriseform</b>	Fagentreprise	-	-
<b>Nybyg / renovering</b>	Nybyg	Nybyg/renovering	Nybyg
<b>Antal etager</b>	1 etage	1 etage	2 etage
<b>Referenceareal / opvarmet etageareal</b>	631 m <sup>2</sup> / 622 m <sup>2</sup>	709 m <sup>2</sup> / 630 m <sup>2</sup>	924 m <sup>2</sup> / 913 m <sup>2</sup>
<b>Varmeforsyning</b>	Fjernvarme	Fjernvarme	Fjernvarme
<b>Konstruktioner</b>	Let	Let	Tung

	Mallinggårdsvej 4, Malling	Høriisgårdsvej 2, Brabrand	Lokesvej 22, Åbyhøj
<b>Vinduer og døre</b> [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> etageareal]	0,17	0,20	0,18
<b>Ydervæg</b> [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> etageareal]	0,63	0,72	0,74
<b>Terrændæk</b> [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> etageareal]	0,87	0,87	0,45
<b>Tag</b> [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> etageareal]	1,12	1,17	0,45
<b>Projektstade</b> (projektmateriale er låst til udarbejdelse af publikationerne)	As Built	Udbud	Dispositionsforslag
<b>Øvrige kommentarer</b>	Der ligger allerede én institution på grunden. Den nye afdeling skal bygges særskilt på den nordlige del af grunden.	Er tilmeldt den frivillige bæredygtighedsklasse.  Foruden kravene i FBK er ambitionen at den færdige bygning kan overholde 8,5 kg CO <sub>2</sub> -ævk./m <sup>2</sup> /år (A1-A3, B4, B6 og C3-C4). Derudover stilles der krav til, at minimum 20 % (volumen) af materialeressourcerne fra den eksisterende bygningsmasse på grunden skal indgå i det færdige projekt.  Lokalplan forskriver tegl som facadebeklædning.	Er tilmeldt den frivillige bæredygtighedsklasse.  Projektet har været gennem en besparelsesrunde, hvilket sendt projektet tilbage til dispositionsforlaget.
<b>Tegningsmateriale</b>	Afsnit 11.1 Mallinggårdsvej	Afsnit 11.3 Høriisgårdsvej	Afsnit 11.2 Lokesvej

Tabel 2.

Konstruktionsoverblik for de tre daginstitutionsbygninger, som danner baggrund for den tværgående klimaanalyse.

	Mallinggårdsvej 4, Malling	Høriisgårdsvej 2, Brabrand	Lokesvej 22, Åbyhøj
<b>Altaner og altangange</b>	-	-	Betonelement + stål
<b>Dæk</b>	-	-	2,5 mm linoleum 2 mm korkment 25 mm gulvgips 120 mm strøeropbygning 180 mm huldæk  Loft: Nedstropet skinesystem m. Ecophon eller træbetonplade m. pålimet mineraluld
<b>El- og mekaniske anlæg</b>	-	-	Elevator
<b>Fundamenter</b>	Sokkel: Letklinkerblokke + EPS Stribefundament i beton	Sokkel: Letklinkerblokke + EPS Stribefundament i beton	Sokkel: Letklinkerblokke + EPS Stribefundament i beton
<b>Indervægge</b>	Træ- og stålskelet med mineraluld og fibergips	Træskelet med mineraluld og fibergips og porebetonvægge	150 mm betonvæg Træskelet med mineraluld og gipsplader
<b>Installationer</b>	Central ventilation Radiatorer og gulvvarme	Central ventilation Radiatorer og gulvvarme	Standardværdier fra BR18
<b>Søjler og bjælker</b>	Trækonstruktioner	Limtræ	Stålbjælker



	Mallinggårdsvej 4, Malling	Høiriisgårdsvej 2, Brabrand	Lokesvej 22, Åbyhøj
<b>Tage</b>	Tagpap, tagbrædder 145x45 mm gitterspær 450 mm løs mineraluld Dampspærre 22x95 mm forskalling 15+18mm fibergips  Loft: Nedstroppet skin- nesystem m. lydloft eller træbetonplade m. pålimet mineraluld	2 lag tagpap 22 mm krydsfiner Saksespær 400 mm mineraluld Dampspærre 45 mm forskalling med mineraluld 12,5+15 mm brandgips	Tagpap 350 mm EPS 50 mm trykfast mine- raluld 220 mm huldæk
<b>Terrændæk</b>	Gulv: linoleum/vinyl 100 mm beton 400 mm EPS S80 50 mm radonplade	Gulv: linoleum/vinyl/ klinker 100/120 mm beton 400 mm EPS	Gulv: linoleum 100 mm beton 400 mm EPS S80 50 mm radonplade
<b>Trapper og ramper</b>	-	-	Ståltrapper (udvendigt) Betonstrappe (indvendigt)
<b>Udendørs areal</b>	Skur, udeværksted og overdækning	Skurer og belægning	Belægning
<b>Vinduer, døre, glasfacader</b>	3 lags-ruder m. ramme/ kram i træ/alu	3 lags-ruder m. ramme/ kram i træ/alu	3 lags-ruder m. ramme/ kram i træ/alu
<b>Ydervægge</b>	8mm naturskifer på afstandslisters 9mm vindspærre 45x45+45x295 træskelet med mineraluld Dampærre 45x95 træskelet med mineraluld 15mm fibergips	Skærmtegl 2 x 38mm afstandslisters 8mm vindspærre 45x95 træskelet med mineraluld 145 mineraluld 45x95 træskelet med mineraluld Dampærre 45mm afstandsliste med mineraluld 15+18mm fibergips	108 mm teglsten 250 mm mineraluld 150 mm betonvæg

I Figur 1 vises klimaaftrykket for de tre nye daginstitutioner, hvor alle er under BR18-kravet, selvom det ikke er et lovkrav pga. deres størrelse. I ydelsesbeskrivelsen står der for Høiriisgårdsvej, at bygningen skal overholde 8,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år (A1-A3, B4, B6 og C3-C4). Dette krav er på nuværende projektstade ikke overholdt, men ved valg af de rette produkter vurderes det muligt at komme ned på 8,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år. Dette er undersøgt nærmere i afsnit 3.

Det bemærkes, at klimaaftrykket fra materialerne (A1-A3, B4, C3 og C4) på Lokesvej er betydeligt højere end for Mallinggårdsvej og Høiriisgårdsvej. Dette skyldes valg af tunge materialer på Lokesvej, som angivet i Tabel 2, mens Mallinggårdsvej og Høiriisgårdsvej primært har lette materialer. Hvis Lokesvej kun var 1 etage og anvendte samme tunge materialer, så ville klimaaftrykker forventeligt have været endnu højere, hvilket understreger vigtigheden af byggesystemet og materialevalget i forhold til CO<sub>2</sub>-aftrykket.

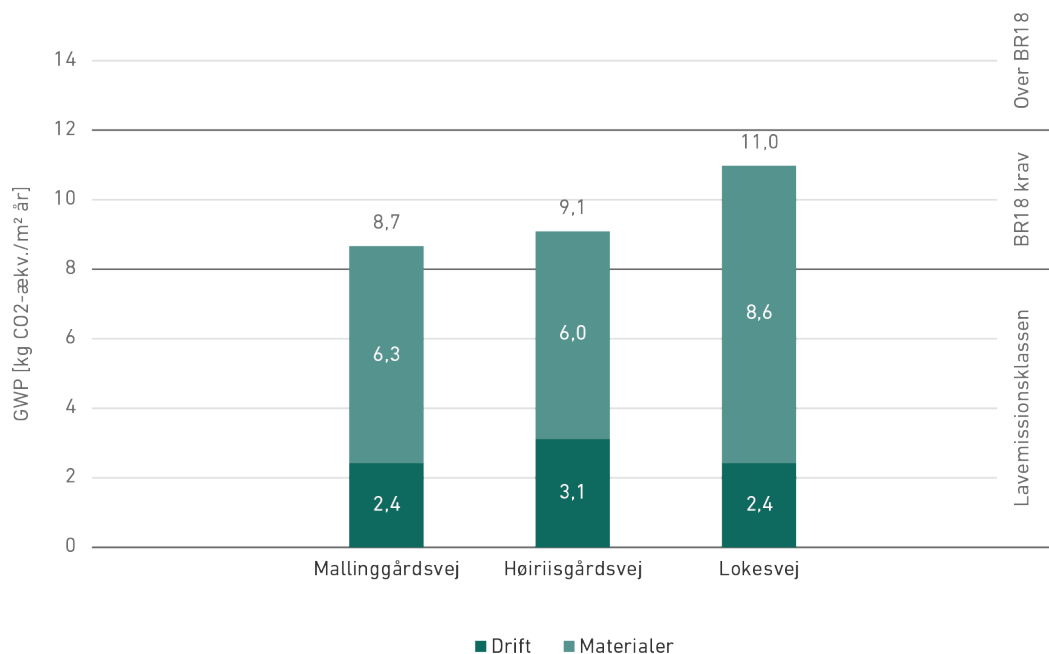
Det bemærkes også, at driftsaftrykket for Høiriisgårdsvej skiller sig ud fra de to

øvrige institutioner, hvilket skyldes et højere energiforbrug fra den eksisterende del af bebyggelsen, som også indgår i projektet. Høiriisgårdsvej er dog udfordret ift. energirammen, som ikke kan overholdes uden solceller iht. ingeniøren, men bygherre ønskede ikke oprindeligt solceller. Høiriisgårdsvej er i udbud og den endelige beslutning er ikke træffet endnu. I nedenstående tal er der ikke medtaget solceller. Hvis solceller bliver en del af projektet senere hen, vil det være meget produktspecifikt om de bidrager positivt eller negativt i det samlede klimaaftryk.

Figur 2 viser en sammenligning af klimaaftrykket på modulniveau, hvor Høiriisgårdsvej skiller sig ud ved at have en signifikant lavere CO<sub>2</sub>-udledning i A1-A3 sammenlignet med Lokesvej, hvor 56 % af CO<sub>2</sub>-udledning sker i produktfasen (år 0). Høiriisgårdsvej laver dermed en forskydning af CO<sub>2</sub>-udledningen, hvor størstedelen først sker efter endt levetid. Denne forskydning af CO<sub>2</sub>-udledningen minimerer CO<sub>2</sub> til atmosfæren her og nu, hvilket er hensigtsmæssigt i et klimaperspektiv. Herudover bemærkes det, at udskiftninger (B4) er lidt højere for Høiriisgårdsvej, fordi restlevetiden på nogle

Figur 1.

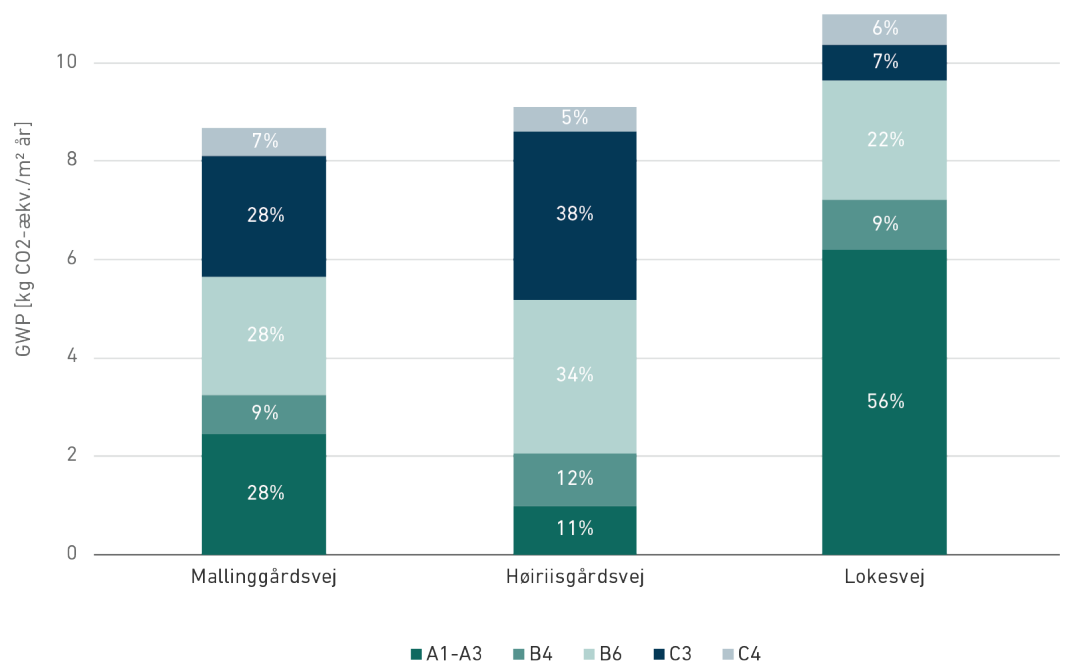
Sammenligning af klimaftrykket (Materialer (A1-A3, B4, C3-C4) og drift (B6) på bygningsniveau for de tre nye daginstitutioner.





Figur 2.

Sammenligning af klimaftrykket på faseniveau for de tre nye daginstitutioner.





af de bibeholdte materialer i det eksisterende byggeri hæver udskiftningsgraden.

Figur 3 visualiserer en sammenligning af klimaaftrykket på bygningsdelsniveau, hvor forskellen på at bygge i 1 eller 2 etager tydeligt kan observeres. Eksempelvis er klimaaftrykket for terrændæk og fundamenter på Lokesvej væsentligt reduceret, hvilket skyldes klimabelastningen fordeles udover flere kvadratmeter – se nøgletal i Tabel 1. Klimaaftrykket på kvadratmeter bygningsdel for f.eks. terrændækket er dog næsten ens, da opbygningen er næsten identisk – se Tabel 2.

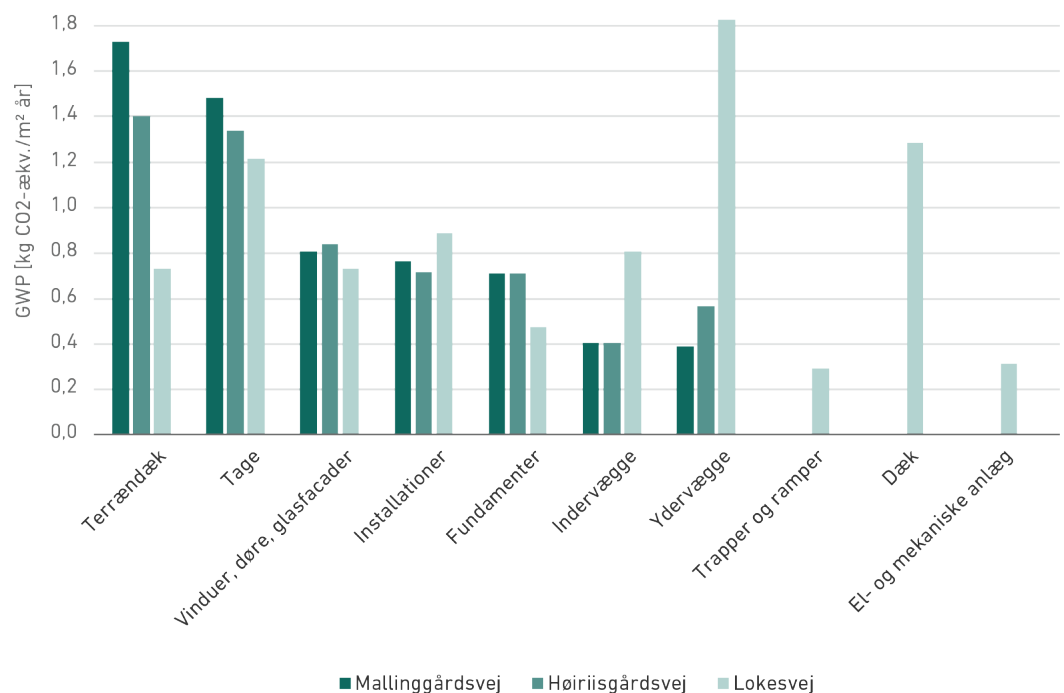
Forskellen ses dog ikke for taget, fordi den tunge konstruktionsopbygning for Lokesvej har et betydeligt højere CO<sub>2</sub>-aftryk pr. m<sup>2</sup> konstruktion i forhold til Mallinggårdsvej og Høiriisgårdsvej. På bygningsniveau kan samme tendens derfor ikke observeres. For indervægge og ydervægge har Lokesvej et signifikant højere CO<sub>2</sub>-aftryk grundet tunge materialevalg, som beskrevet i Tabel 2. Kategorien El- og mekaniske anlæg dækker f.eks. over elevatorer, mens installationer i dette tilfælde dækker over afløb, vand,

varme samt ventilation og køl. Det bemærkes, at klimaaftrykket fra installationerne ligger tæt op ad hinanden både ved specifik opgørelse på Mallinggårdsvej og Høiriisgårdsvej, og ved anvendelse af BR18 standardværdier på Lokesvej (fordi projektet ikke er længere). Lokesvej er dog lidt højere, hvilket er forventeligt da standardværdierne er udarbejdet konservativt.

Konstruktionsopbygningerne på Mallinggårdsvej og Høiriisgårdsvej ligner hinanden i høj grad, hvilket også afspejler sig i klimaaftrykket på bygningsdelsniveau i Figur 3. Den største forskel kan observeres for terrændækket, hvilket skyldes, at Mallinggårdsvej bruger lidt mere vinylgulv og mere isolering end Høiriisgårdsvej.

Figur 3.

Sammenligning af klimaaftrykket på bygningsdelsniveau for de tre nye daginstitutioner.



I næste afsnit undersøges potentialerne ved at vælge produktspecifikke materialer på 10 af de mest CO<sub>2</sub>-tunge byggevarer for hver enkelt institution. Produktvariationsanalysen er afgrænset til nogle udvalgte produkter. Der findes andre på markedet, men nogle af de mest gængse er fremhævet.

Derudover er der tale om 1:1 variationer, således der er ikke set på alternative materialer. Herudover sker der hele tiden opdatering af EPD-data, som potentielt vil kunne medvirke til yderligere reduktioner.



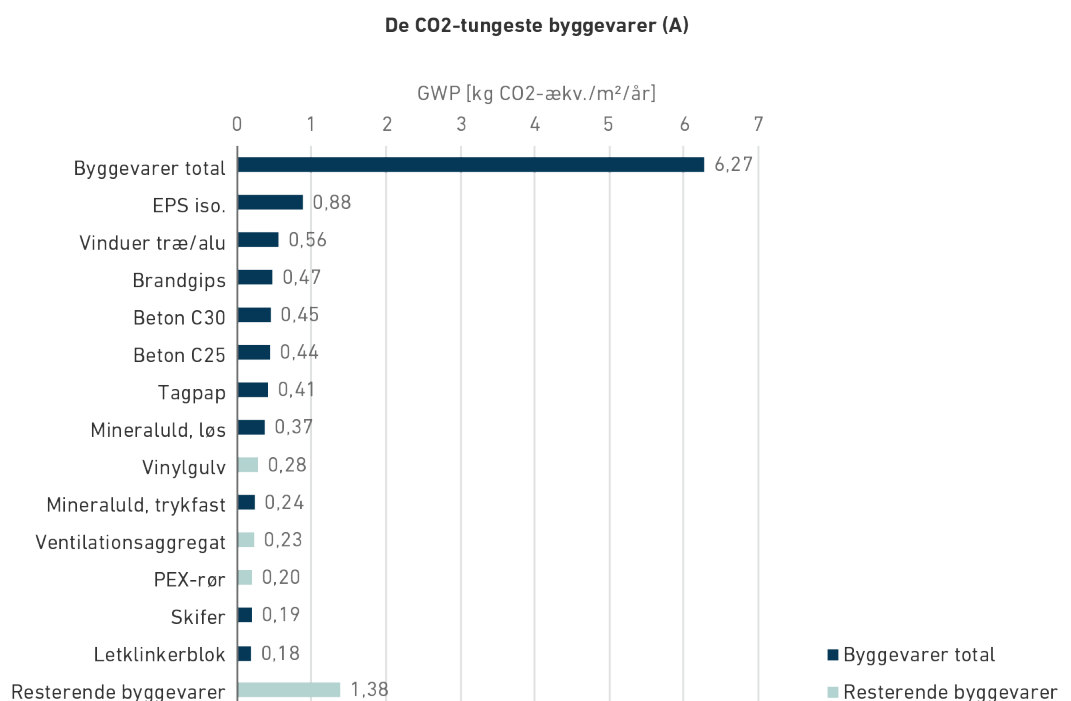
## 2. Mallinggårdsvej

For at undersøge CO<sub>2</sub>-besparelspotentialet ved valg af specifikke materialer, er 10 af de mest CO<sub>2</sub>-tunge byggevarer sammenlignet med andre lignende produkter for at illustrere variationen, og samtidigt potentialet ved valg af specifikke produkter. Mallinggårdsvej er færdigopført og i den forbindelse er der oplyst EPD'er på udvalgte materialer, hvilket også fremgår af Figur 4. Valg af de mest klimavenlige produkter fra

produktvariationsanalysen kan reducere klimaaftrykket med 1,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år for materialerne (A1-A3, B4, C3-C4). Valg af de mest CO<sub>2</sub>-udledende produkter vil derimod øge klimaaftrykket med 1 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år. Dette illustrerer vigtigheden i valg af specifikke materialer, hvor Mallinggårdsvej vil kunne komme ned på et samlet CO<sub>2</sub>-aftryk på 7,2 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år uden at ændre byggeprincippet.

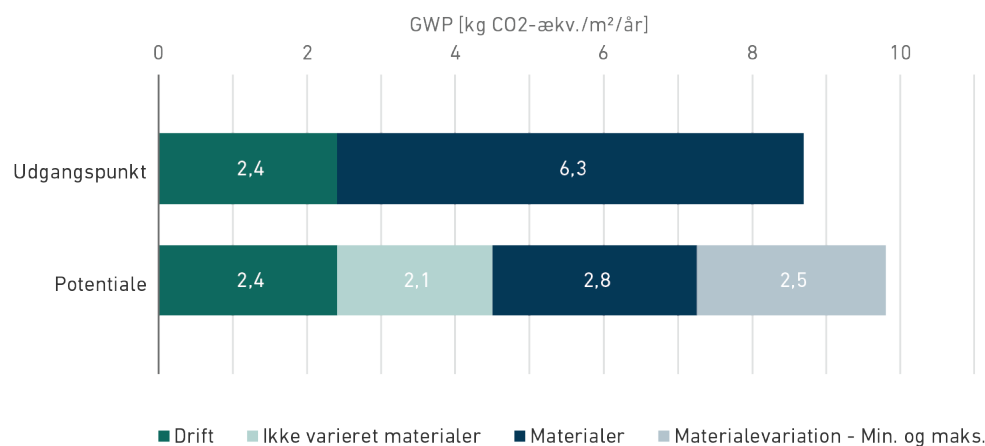
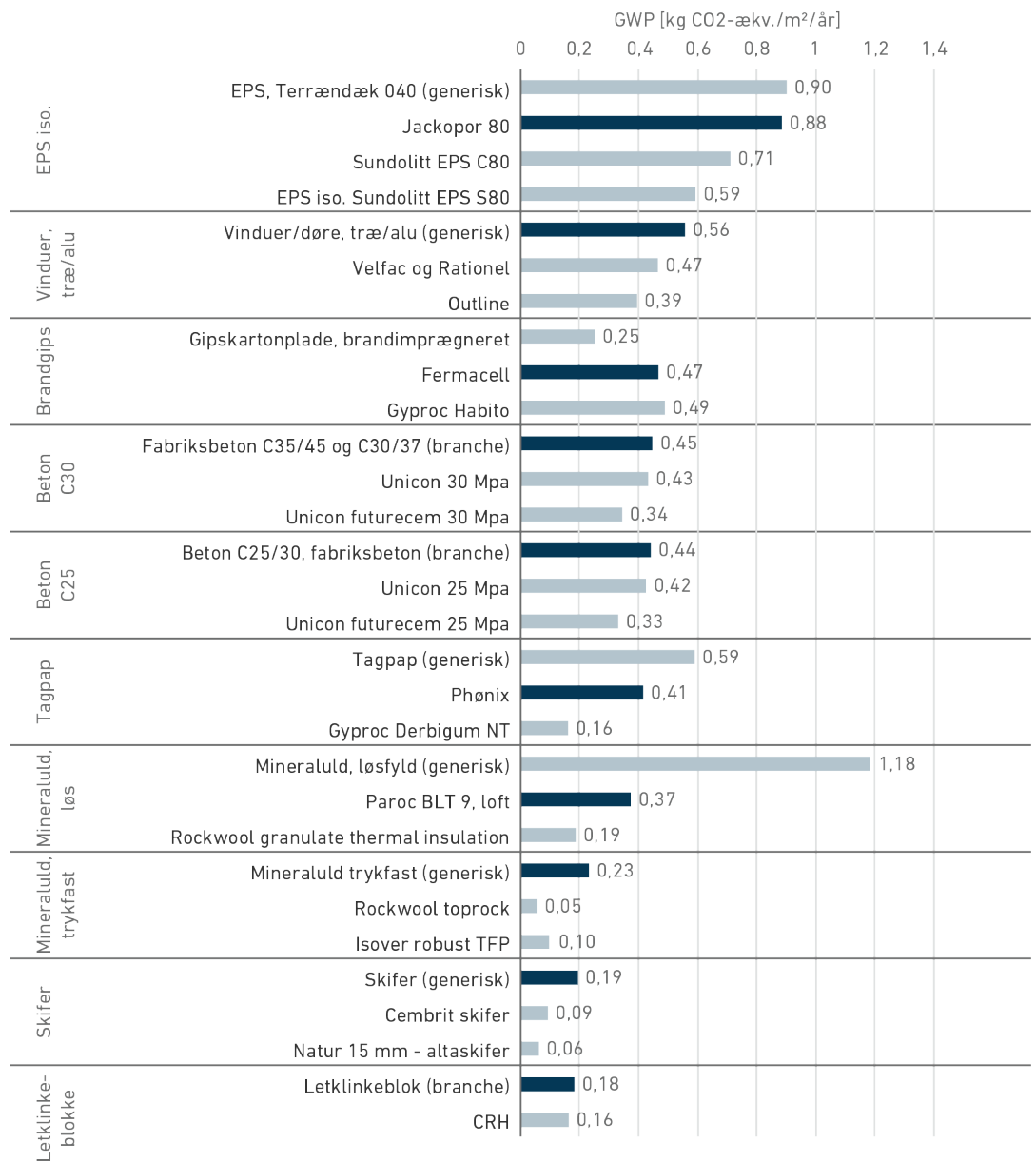
Figur 4.

CO<sub>2</sub>-besparelspotentiale ved valg af produktspecifikke materialer for Mallinggårdsvej. I delfigur A (øverste til venstre) er de byggevarer, som der laves variation på markeret med mørke blå. De øvrige byggevarer laves der ikke variation på. I delfigur B vises materialevariationen og nederst vises en opsummering af potentialeanalysen.





### Produktvariation for CO2-tunge byggevarer (B)



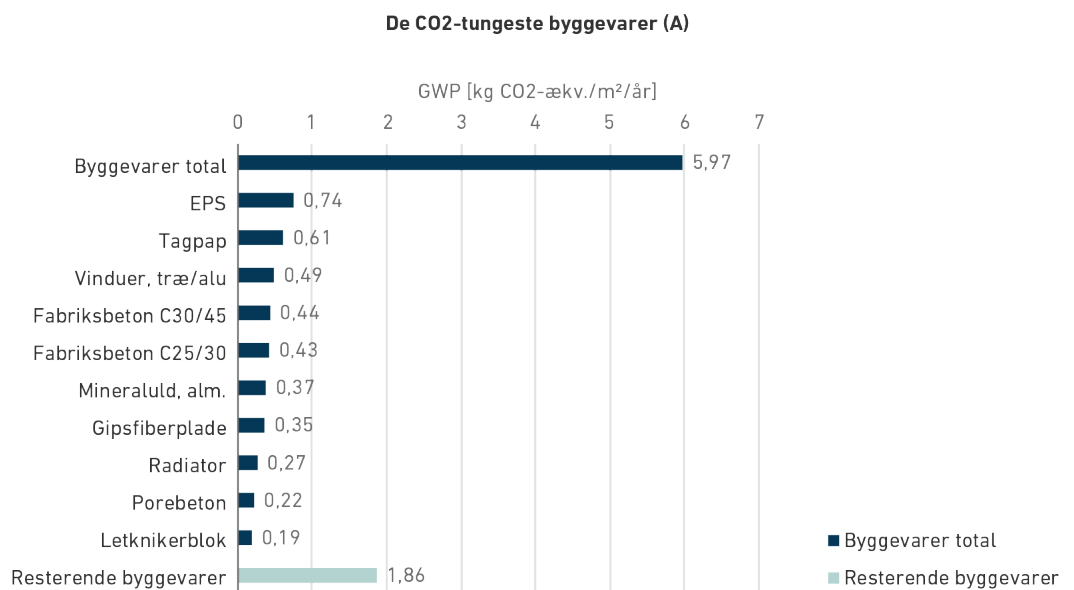
### 3. Høriisgårdsvej

Høriisgårdsvej befinder sig i udbudsfasen og har kun præciseret ét produktspecifikt materiale i projektet, hvilket er for skærmteglen. For de øvrige materialer er der anvendt generisk miljødata eller branche EPD'er i LCA'en. Produktvariationen for de 10 CO<sub>2</sub>-tungeste byggevarer viser, ligesom for Mallinggårdsvej, et betydeligt CO<sub>2</sub>-besparelsespotentiale ved valg af specifikke produkter. Høriisgårdsvej vil potentielt kunne

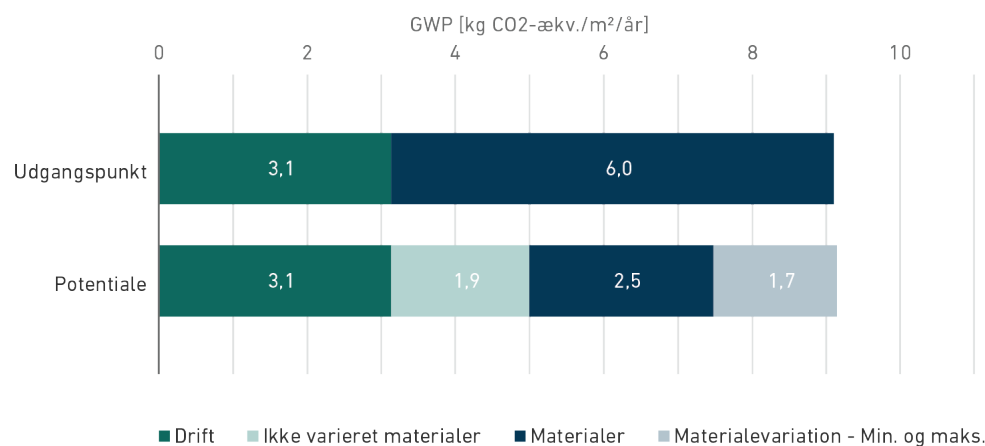
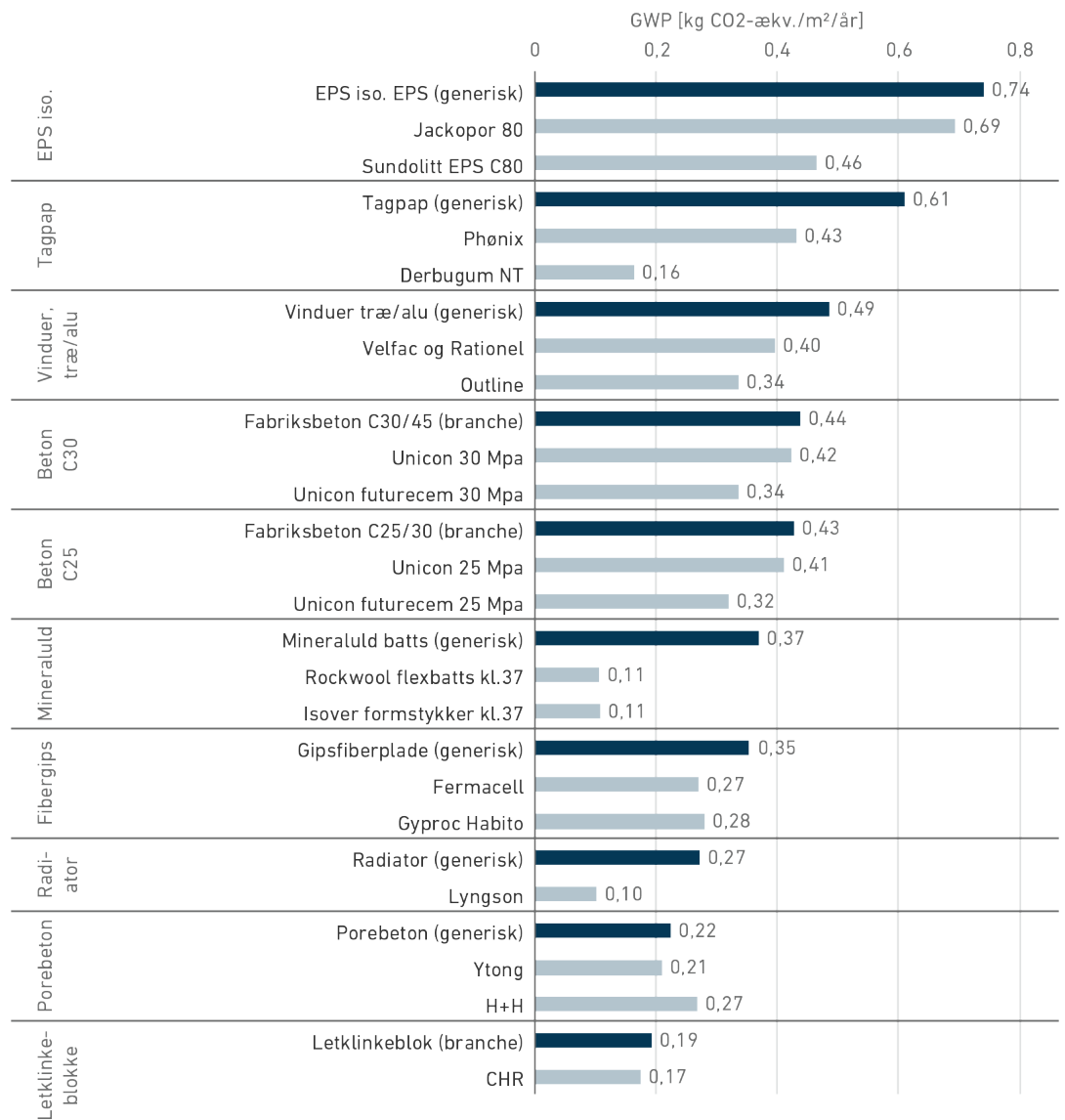
komme ned på 7,4 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år i CO<sub>2</sub>-aftryk og dermed opfylde målet på 8,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år i ydelsesbeskrivelsen.

Figur 5.

CO<sub>2</sub>-besparelsespotentiale ved valg af produktspecifikke materialer for Høriisgårdsvej. I delfigur A (øverste til venstre) er de byggevarer, som der laves variation på markeret med mørke blå. De øvrige byggevarer laves der ikke variation på. I delfigur B vises materialevariationen og nederst vises en opsummering af potentialeanalysen.



### Produktvariation for CO2-tunge byggevarer (B)





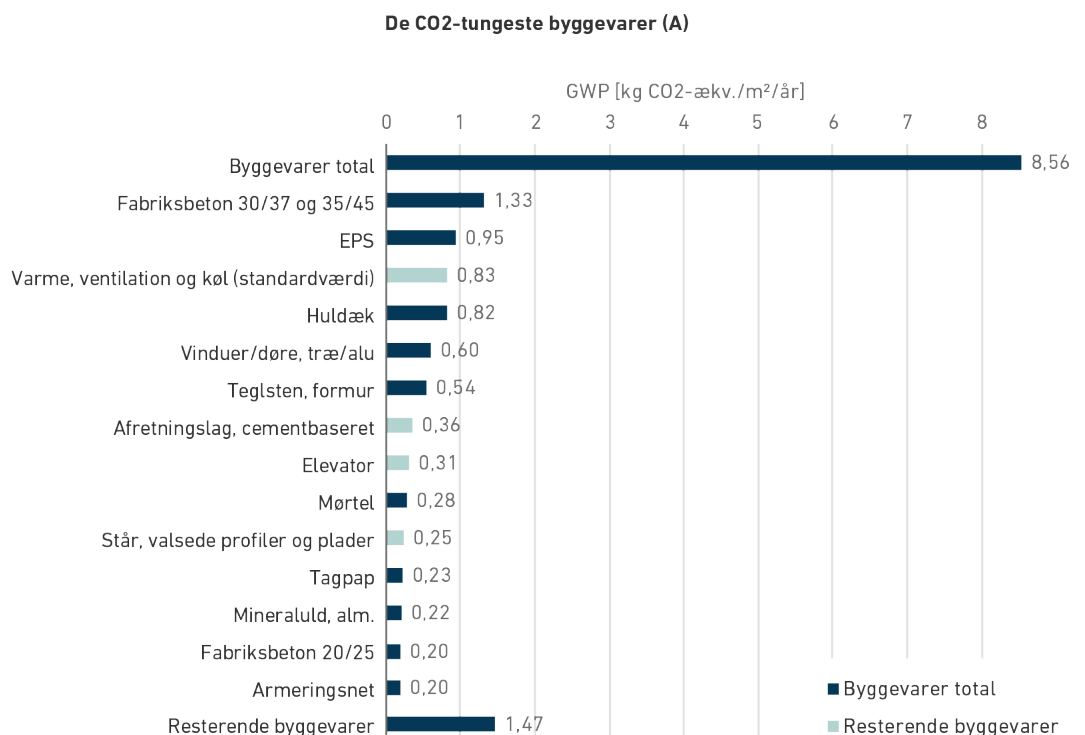
### 3. Lokesvej

Lokesvej befinder sig i projektforslagsfasen og der er ikke valgt nogle produktspecifikke materialer. CO<sub>2</sub>-aftrykket for materialerne bygger derfor på generisk miljødata eller branche EPD'er. Lokesvej har generelt det højeste CO<sub>2</sub>-aftryk for materialerne, men samtidig også det største CO<sub>2</sub>-mæssige besparelspotentiale på 1,8 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år. Det samlede CO<sub>2</sub>-aftryk vil ved valg af mere klimavenlige produkter kunne komme

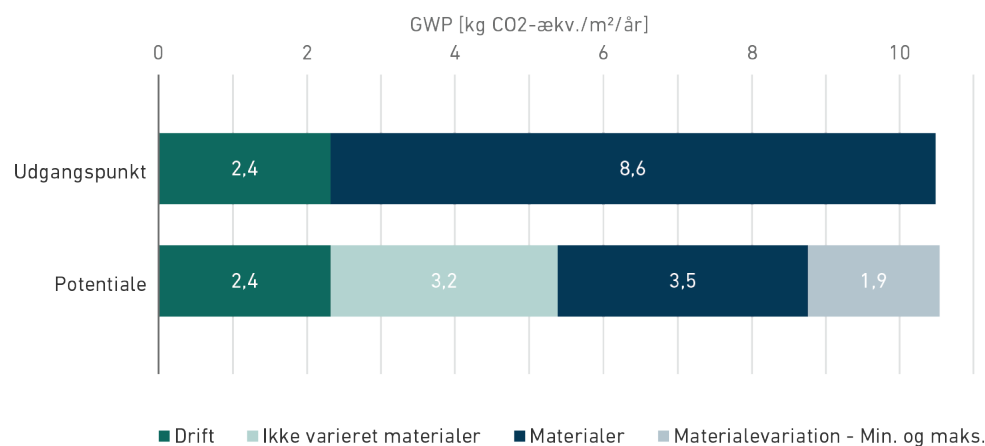
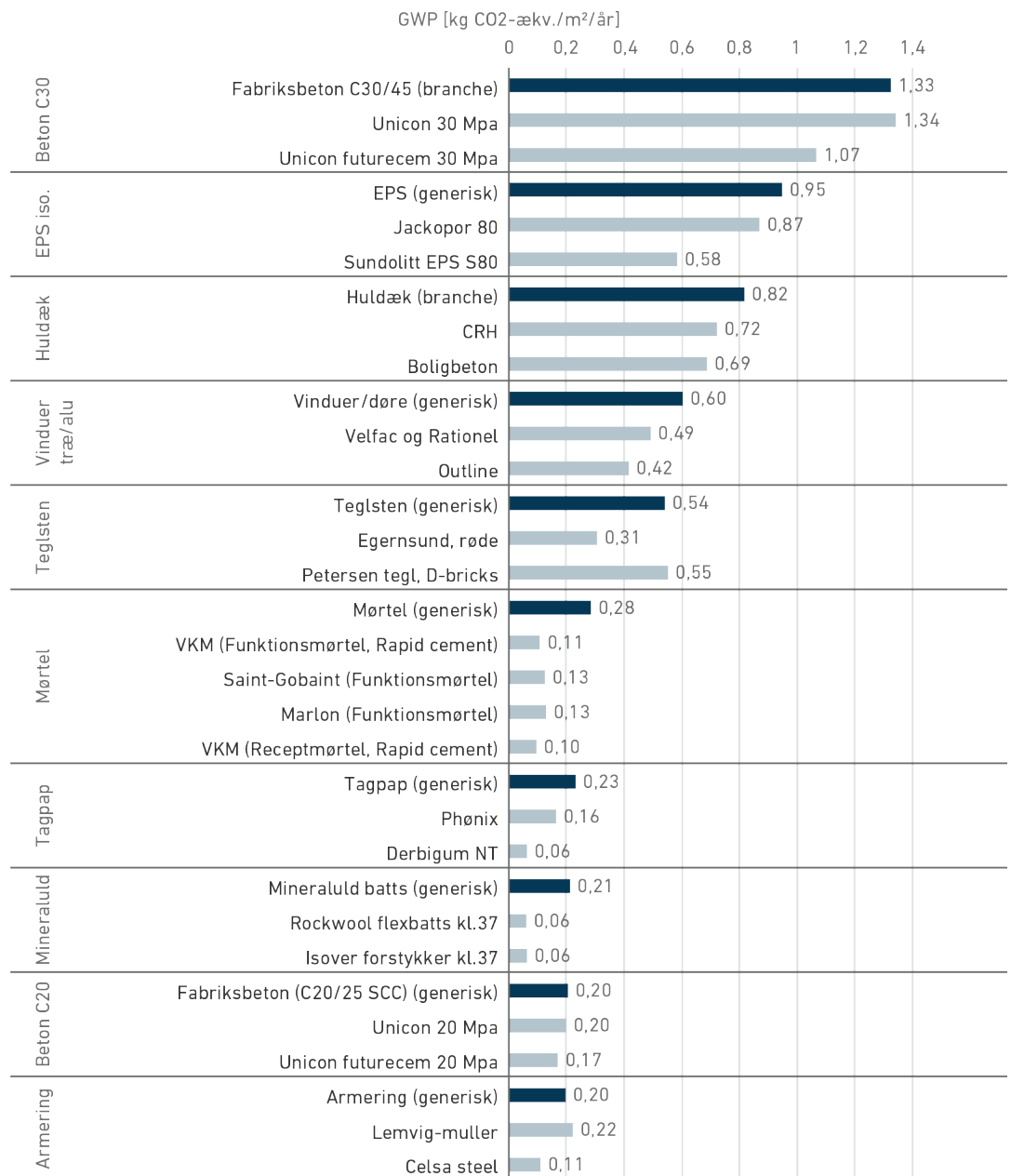
ned på 9,2 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år, hvilket stadig er ca. 2 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år højere end både Mallinggårdsvej og Høiriisgårdsvej. Dette understreger, at hvis CO<sub>2</sub>-aftrykket virkelig skal minimeres kræver det både fokus på byggesystemerne og de specifikke materialevalg.

Figur 6.

CO<sub>2</sub>-besparelspotentiale ved valg af produktspecifikke materialer for Lokesvej. I delfigur A (øverste til venstre) er de byggevarer, som der laves variation på markeret med mørke blå. De øvrige byggevarer laves der ikke variation på. I delfigur B vises materialevariationen og nederst vises en opsummering af potentialeanalysen.



### Produktvariation for CO2-tunge byggevarer (B)





## 5. Benchmark-byggerier

De tre daginstitutionsbyggerier Mallinggårdsvej, Lokesvej og Høiriisgårdsvej ligger i størrelsesordenen 8,7 til 11,0 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år og med et gennemsnit på 9,6 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år. Sammenlignet med at bygge til bygningsreglementets grænseværdi på 12,0 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år er klimabelastningen 2,4 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år under grænseværdien i gennemsnit. Men hvordan performer gængs praksis indenfor daginstitutionsbyggeri i et klimamæssigt perspektiv og hvilken klimareduktion er der reelt opnået for de tre nye daginstitutioner?

Der er fremskaffet projektmateriale fra tre eksisterende daginstitutioner, som er inddraget som benchmark-byggerier. De skal dermed afspejle, hvordan der hidtil

er bygget daginstitutionsbyggeri i Aarhus Kommune og derigennem synliggøre størrelsesordenen på den klimareduktion, som reelt er opnået i de tre nye daginstitutionsbyggerier. Tabel 3 viser et overblik over de tre benchmark-byggerier, som er inddraget i analysen. For tegningsmateriale henvises der til afsnit 7.

Energiforbruget for de tre benchmark-byggerier er baseret på energigramme data, som er hentet gennem baggrundsdata til energimærket på portalen Energy10.dk. Klimapåvirkningen fra driften regnes over en 50-årig referenceperiode med fremskrevne emissionsfaktorer fra BR18. Ibrugtagningsåret har en naturlig indvirkning på klimaaftrykket fra driften, da



energimixet hele tiden ændrer sig. For sammenlignelighed med de øvrige nye daginstitutioner projekter regnes driften fra 2022 og 50 år frem.

På baggrund af projekt materialet er der udarbejdet en LCA-beregning for hver af

de tre benchmark-byggerier under samme metodik og forudsætninger, som Mallinggårdsvej, Lokesvej og Høiriisgårdsvej.

I Tabel 4 gennemgås konstruktionsopbygninger for benchmark-byggerierne for at få en forståelse af byggesystemerne.



Tabel 3.

Overblik over  
benchmark-byggerier.



	Frijsenborgvej 9-13, Risskov	Tronkærgårdsvej 1, Skødstrup	Grenåvej 770, Skødstrup
<b>Økonomisk ramme</b>	27,5 mio. kr. ekskl. moms	20 mio. kr. ekskl. moms	-
<b>Nybyg / renovering</b>	Nybyg + eksisterende bygning	Nybyg	Nybyg
<b>Rådgivning</b>	Totalrådgivning Johansen og Rasmussen	Totalrådgivning Mangor & Nagel	Sahl/LB Consult
<b>Entrepriseform</b>	Fagentreprise	Fagentreprise	Totalentreprise Raunstrup
<b>Antal etager</b>	1 etage (+ område med eksisterende kælder)	1 etage	2 etager (inkl. udendørs rampe)
<b>Referenceareal / opvarmet etageareal</b>	1247 m <sup>2</sup> / 1224 m <sup>2</sup> eksklusiv eksisterende bygning/kælder	625 m <sup>2</sup> / 625 m <sup>2</sup>	812 m <sup>2</sup> / 812 m <sup>2</sup>
<b>Konstruktioner</b>	Tung/let	Tung	Tung
<b>Nuværende projektstade</b>	As built (2019)	As built (2017)	As built (2012)
<b>Øvrige kommentarer</b>	Eksisterende bygning/kælder er ikke med i LCA'en pga. manglende oplysninger.	-	Lavenergidaginstitution
<b>Tegningsmateriale</b>	Afsnit 11.4 Frijsenborgvej	Afsnit 11.6 Tronkærgårdsvej	Afsnit 11.5 Grenåvej

Tabel 4.

Konstruktionsopbygninger  
for benchmark-byggerier.

	Frijsenborgvej 9-13, Risskov	Tronkærgårdsvej 1, Skødstrup	Grenåvej 770, Skødstrup
<b>Altaner og altangange</b>	-	-	-
<b>Dæk</b>	-	-	Gulv: linoleum/vinyl 140 mm slidlag Lyddug 220 mm huldæk
<b>El- og mekaniske anlæg</b>	-	-	Solceller Elevator
<b>Fundamenter</b>	Sokkel: Letklinkerblokke + EPS Stribefundament i beton	Sokkel: Letklinkerblokke + EPS Stribefundament i beton	Sokkel: Letklinkerblokke + EPS Stribe- og punkt- fundament i beton
<b>Indervægge</b>	100/150 mm letbeton 145 mm træskelet m. stenuldsisolering, beklædt med fibergips	150/100 mm letklinke- beton 2x13mm gips med 150 mm stålskelet og mine- raluld	150 mm letbeton 150 mm beton 150 mm porebeton Stålskelet med 12mm OSB plade
<b>Installationer</b>	Radiator og gulvvarme Central ventilation	Radiator og gulvvarme Central ventilation	Gulvvarme Central ventilation
<b>Søjler og bjælker</b>	Limtræsbjælker	-	Stålkonstruktioner
<b>Tage</b>	Tagpap, tagbrædder 495/450 mm spær m. 445 mm stenuldsisole- ring kl. 34 Dampspærre 45 mm forskalling m. stenuldsisolering kl. 34  Loft: Nedstroppet skinne- system m. Ecophon eller træbetonplade m. pålimet mineraluld	Tagpap 410 mm trykfast isole- ring 200 mm ståltrapez plader 25 mm stålprofiler 15 mm brandgips Dampspærre 15 mm brandgips	Tagpap 500 mm trykfast isole- ring 220 mm huldæk Betonfliser Tagpap 450 mm trykfast isole- ring 220 mm huldæk



	Frijsenborgvej 9-13, Risskov	Tronkærgårdsvej 1, Skødstrup	Grenåvej 770, Skødstrup
<b>Terrændæk</b>	Gulv: linoleum/perginol 100 mm beton 350 mm EPS C80 50 mm radonplade	Gulv: linoleum/vinyl 150 mm beton 400 mm EPS kl.38 100 mm letklinkenødder	Gulv: linoleum/vinyl 120 mm beton 500 mm EPS kl.37
<b>Trapper og ramper</b>	-	-	Stål- og trætræppe
<b>Vinduer, døre, glasfacader</b>	Træ/alu vinduer	Træ/alu vinduer	Træ/alu vinduer Ovenlyskonstruktion
<b>Ydervægge</b>	Tung 543 mm: 108 mm mursten 315 mm isolering kl. 34 120 mm letbeton  Let 565/595 mm: Trælister, facadeplade, hatteprofil 9 mm vindspærreplade 95+295 mm træskelet m. stenuldsisolering kl. 34 120/150 mm letbeton	108mm facadetegl 250 mm mineraluld kl. 34 150 mm letklynkebeton	Facadetegl Alu-ophæng Vindspærre 2x45x145 mm reglar med mineraluld 120 mm beton/letbeton







I Figur 7 er klimaaftrykket for de tre nye daginstitutioner (Mallinggårdsvej, Høiriisgårdsvej og Lokesvej) sammenlignet med de tre lidt ældre benchmark daginstitutioner (Frijsenborgvej, Tronkærgårdsvej og Grenåvej).

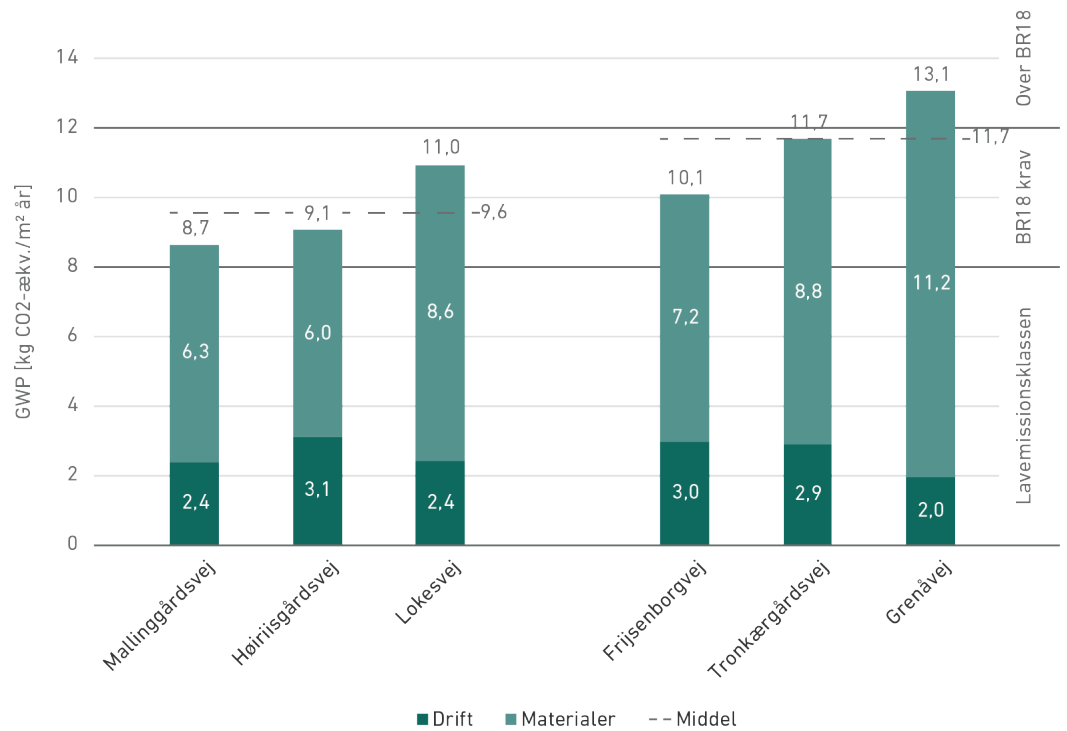
Generelt er benchmark daginstitutionerne opbygget af tunge materialer, hvilket sætter sit præg på klimaaftrykket fra materialer. I gennemsnit er det samlede CO<sub>2</sub>-aftryk ca. 2 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år højere for benchmarkinstitutionerne end de nyere daginstitutioner, hvor særligt Mallinggårdsvej og Høiriisgårdsvej presser gennemsnittet ned. Grenåvej skiller sig ud med et lavt driftsaftryk, men et meget højt materialeaftryk. Driften skyldes, at institutionen er i lavenergiklassen, hvilke til gengæld har kostet nogle ekstra materialer, eksempelvis solceller,

ekstra isolering m.m. Det høje materialeaftryk for Grenåvej undersøges nærmere i næste afsnit.



Figur 7.

Sammenligning af klimaftrykket (A1-A3, B4, B6 og C3-C4) på bygningsniveau for de tre nye daginstitutioner og de tre benchmark-byggerier.



Institution	Antal etager	Referenceareal	Byggeprincip	Fase	Miljødata
Mallinggårdsvej	1 etage	631 m <sup>2</sup>	Let	As built	Generisk+EPD
Høriisgårdsvej	1 etage	709 m <sup>2</sup>	Let	Udbud	Generisk
Lokesvej	2 etage	924 m <sup>2</sup>	Tung	Disp./projekt	Generisk
Frijsenborgvej	1 etage	1.247 m <sup>2</sup>	Tung/Let	As built	Generisk
Tronkærgårdsvej	1 etage	625 m <sup>2</sup>	Tung	As built	Generisk
Grenåvej	2 etage	812 m <sup>2</sup>	Tung	As built	Generisk

Figur 8 viser spredningen og middelværdierne for bygningsdelenes CO<sub>2</sub>-aftryk for både de nye og ældre daginstitutioner. Denne visualiseringsform er særligt interessant i forhold til at identificere besparelspotentialer, hvor kategorier med generelt høje CO<sub>2</sub>-aftryk og med stor spredning ofte kan optimeres. For nogle af kategorierne skyldes spredningen dog den geometriske udformning på byggerierne, hvor nogle af daginstitutionerne er bygget i 2 etager. Ved at bygge i flere plan får bygningsdele såsom tag, fundament og terrændæk typisk en mindre betydning i klimaregnskabet, idet det opgøres pr. m<sup>2</sup> referenceareal.

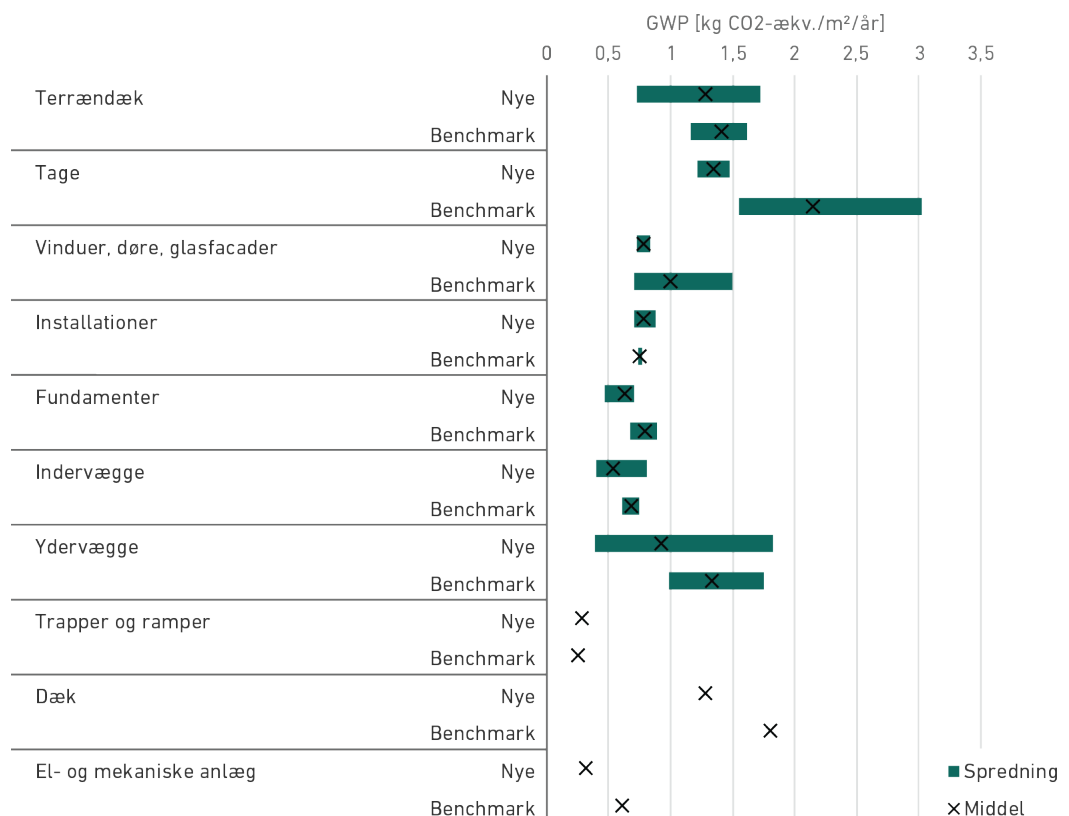
For kategorien tage skiller én case sig særligt ud, hvilket er Tronkærgårdsvej. Tagopbygningen med ståltrapzplader og trykfast isolering på en 1 etagers bygning får CO<sub>2</sub>-aftrykket til at differentiere sig væsentligt fra de øvrige. Det bemærkes også, at Grenåvej i vindueskategorien adskiller sig

betydeligt fra de øvrige, hvilket skyldes en kombination af et højt vinduesareal i klimaskærmen ift. etagearealet og benyttelse af et stort ovenlysparti i aluminium. Grenåvejs meget høje materialeaftryk skyldes særligt dæk- og tagopbygning samt elevator og ovenlyspartiet. I stedet for at sammenligne bygningsdele på bygningsniveau kan man også sammenligne på konstruktionsniveau, og dermed gøre sammenligningen uafhængig af bygningsgeometrien. I publikationerne bliver begge metoder anvendt.

Figur 8 viser at fremtidigt daginstitutionsbggeri særligt bør fokusere på konstruktionsopbygning og materialevalg i kategorierne terrændæk, tage og ydervægge, da disse rummer et betydeligt CO<sub>2</sub>-besparelspotentiale.

Figur 8.

Sammenligning af bygningsdelenes CO<sub>2</sub>-aftryk på bygningsniveau for de nye institutioner (Mallinggårdsvej, Lokesvej og Høiriisgårdsvej) og de ældre benchmark institutioner (Frijsenborgvej, Tronkærgårdsvej og Grenåvej).







Figur 9.

Performance gap mellem dokumenteret og reel klimabelastning fra byggeriet.



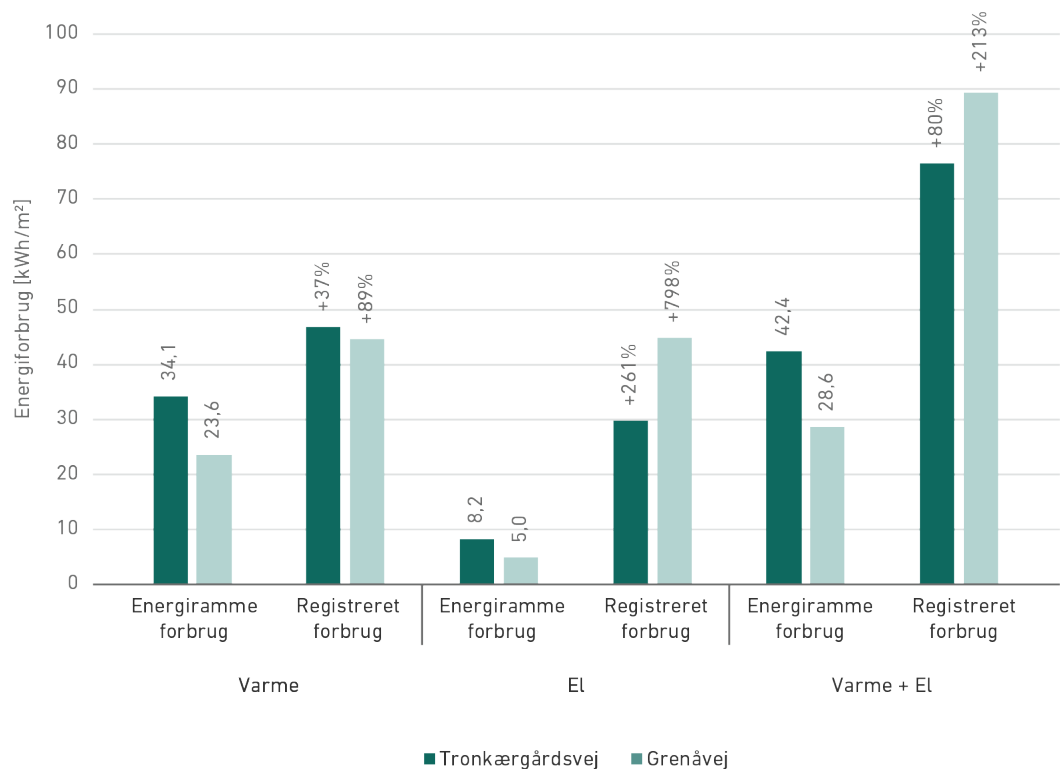
## 6. Performance gap - Målt energiforbrug

Dokumentationsniveauet for en bygnings-LCA er afgrænset (se Publikation 1 - Introduktion og sammenfatning) og afspejler derfor ikke den reelle CO<sub>2</sub>-udledning. Afgrænsningen går både på hvilke faser og byggevarer, der er inkluderet i beregningen, men også forskellen mellem det teoretiske energiforbrug til bygningsdrift sammenlignet med det reelle energiforbrug.

Der er således et "performance gap" mellem den dokumenterede og reelle klimabelastning fra byggeriet – se visualisering i Figur 9.

Figur10.

Sammenligning af beregnet og målt energiforbrug for Tronkærgårdsvej og Grenåvej.



For Tronkærgårdsvej og Grenåvej har det været muligt at indhente data for det målte energiforbrug til kvantificering af det performance gap, som driften forårsager. Der er indhentet data for el i perioden 2018 til 2021 og for varme i perioden 2021/2022. For at gøre det målte energiforbrug til varme sammenligneligt, er rumopvarmningsforbruget graddagekorrigeret i forhold til et normalår med graddage fra DMI [4]. Graddage er et udtryk for omfanget af varmebehov for et bestemt år og afhænger af vejret det pågældende år. Forholdet mellem rum- og brugs- vandsopvarmningen kunne ikke separeres på målniveau, hvorfor der er lavet en opdeling ved at betragte varmekonsumet i sommerperioden (eksklusive sommerferien), hvor rumopvarmningen forventes at være ubetydeligt.

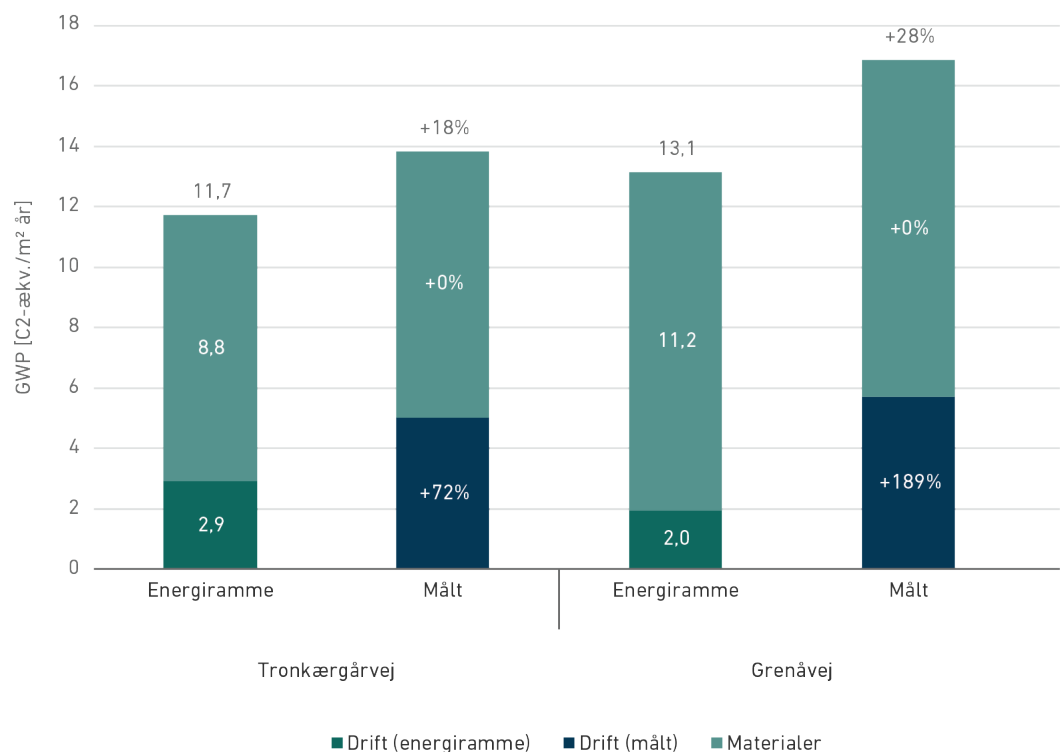
Figur 10 viser signifikante forskelle mellem beregnet og målt energiforbrug, særligt i forhold til elforbruget. Dette skyldes blandt andet, at energirammen ikke betragter

forbruget fra apparater såsom køleskabe, fryser, osv. Forskellen mellem beregnet og målt energiforbrug er et kendt fænomen og kan til dels forklares gennem rebound-effekten, hvor optimering af energirammen ikke altid giver en faktisk besparelse, hvor brugerne veksler besparelsen til øget komfort. Det bemærkes, at det samlede målte energiforbrug for Grenåvej, er højere end Tronkærgårdsvej, selvom energirammen dikterer det modsatte. Dette understreger brugerens indvirkning på energiforbruget.

I Figur 11 er konsekvensen ved at anvende målt energiforbrug undersøgt i forhold til klimaaftrykket, hvor driftsaftrykket for Tronkærgårdsvej stiger med 72 %, mens det på Grenåvej stiger med 189 %. Resultaterne understreger det betydelige performance gap mellem den nuværende klimadokumentation jf. BR18 og det faktiske klimaaftryk. Der bør således rettes fokus på optimering af klimapåvirkning fra den reelle drift fremadrettet.

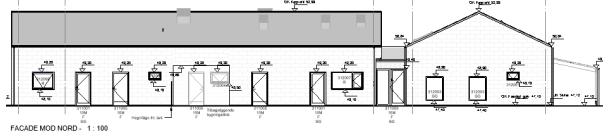
Figur 11.

Sammenligning af beregnet og målt energiforbrug i forhold til CO<sub>2</sub>-aftrykket for Tronkærgårdsvej og Grenåvej.

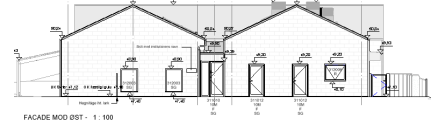


# 7. Tegningsmateriale

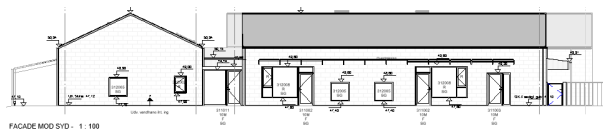
## 7.1. Mallinggårdsvej



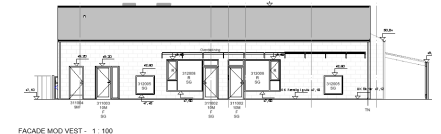
Facade nord



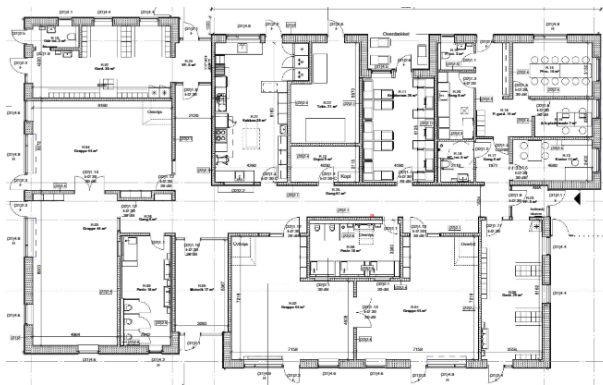
Facade øst



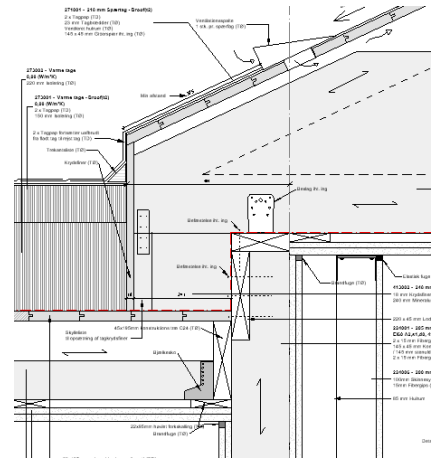
Facade syd



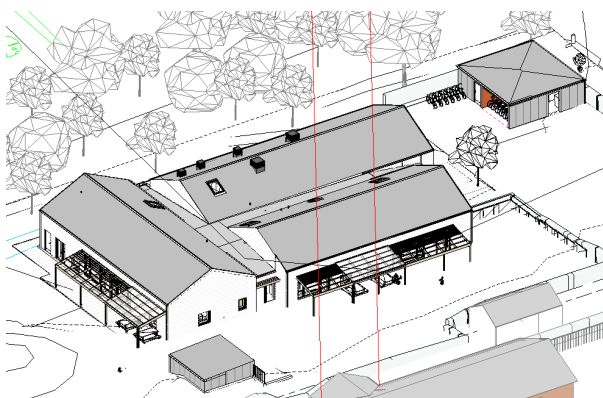
Facade vest



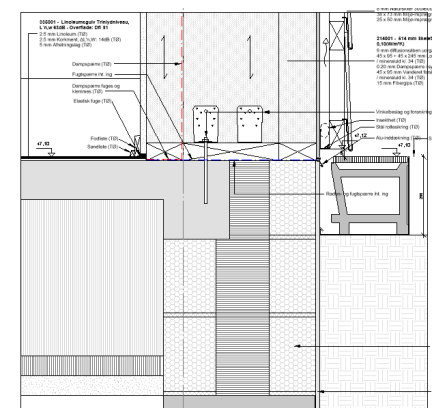
Plantegning, stueetage



Detalje, tagfod mod fladt tag

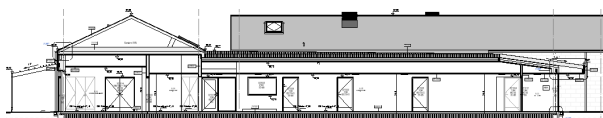


3D visualisering

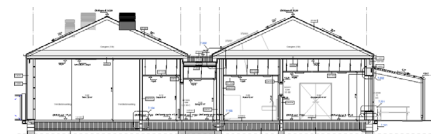


Detalje sokkel

Tegninger og visualiseringer er udført af Rubow Arkitekter.



Længdesnit



Tværsnit

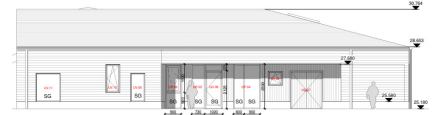


## 7.2 Høiriisgårdsvej



Facade NORD med skærm

Facade nord



Facade ØST med skærm

Facade vest



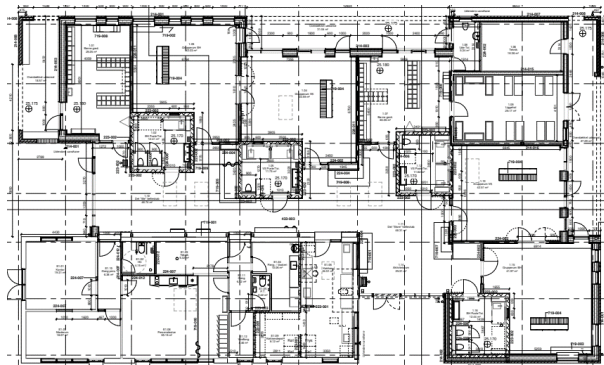
Facade SYD

Facade syd

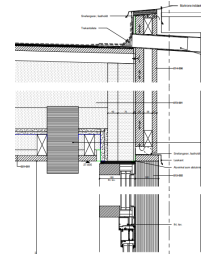


Facade VEST med skærm

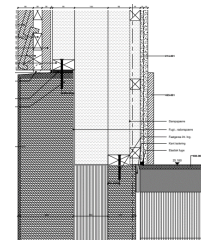
Facade vest



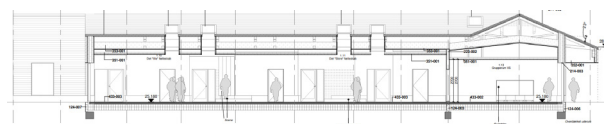
Plantegning, stueetage



Detalje, glasparti og tagkant mellem nye og eksisterende bygning

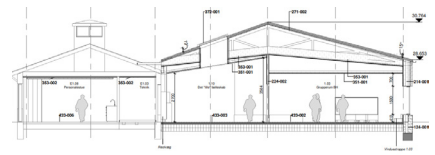


Detalje, sokkel ved ydervæg med skærmtegl



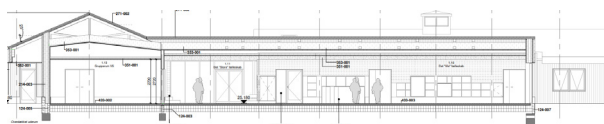
Snit C

Snit C



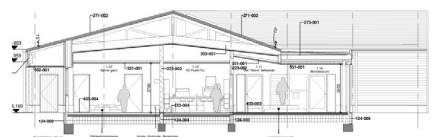
Snit A

Snit A



Snit D

Snit D



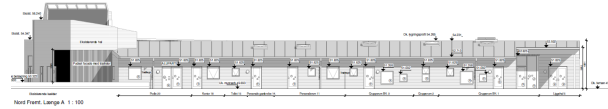
Snit B

Snit B

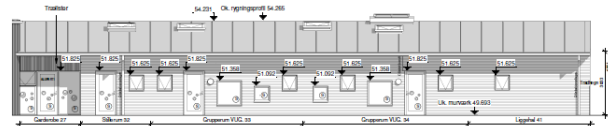
Tegninger og visualiseringer er udført af Kjaer & Richter.



7.4 Frijsenborgvej



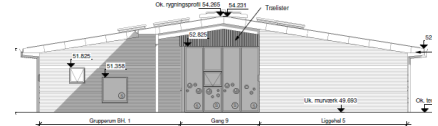
Facade nord, længe A (sammenlignelig med facade syd, længe B)



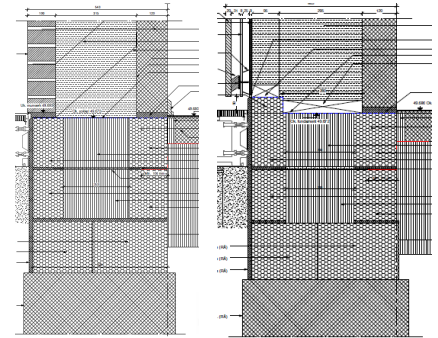
Facade nord, længe B (sammenlignelig med facade syd, længe A)



Facade øst



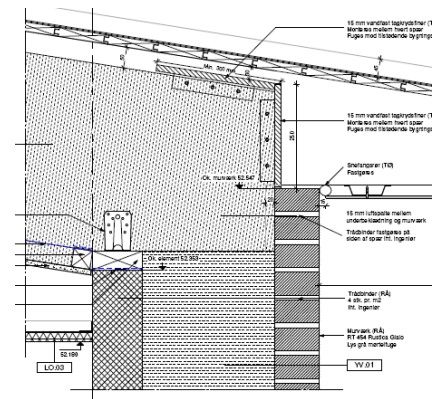
Facade vest, længe A (sammenlignelig med facade vest, længe B)



Detalje, sokkel ved hhv. tung og let ydervæg

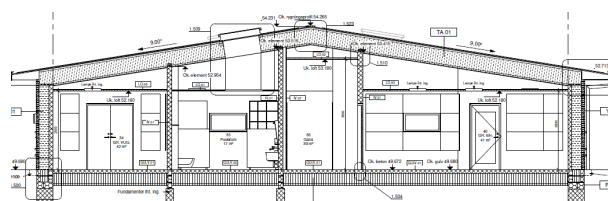


Plantegning, stueetage

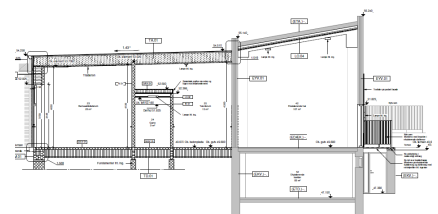


Detalje, tagfod

Tegninger og visualiseringer er udført af Johansen og Rasmussen.



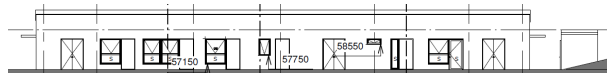
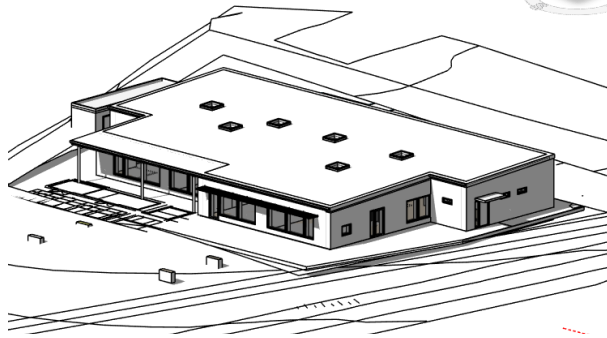
Længdesnit



Snit, midterbygning



7.5 Tronkærgårdsvej



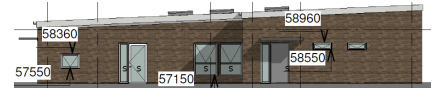
Facade nord



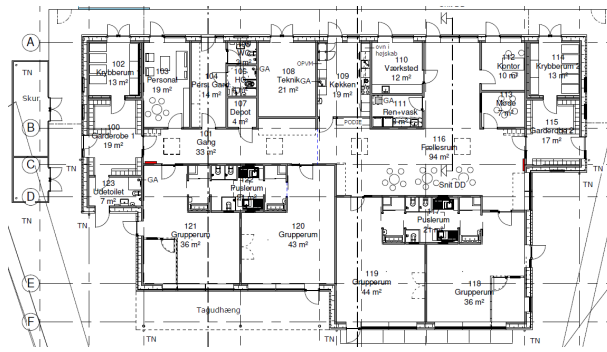
Facade vest



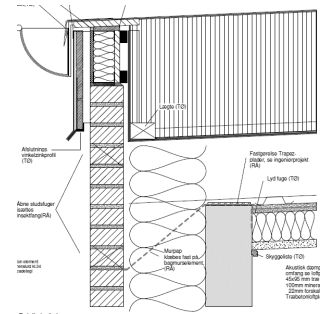
Facade syd



Facade øst

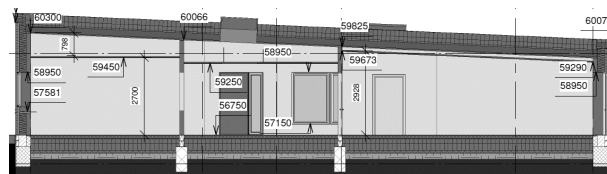


Plantegninge, stueetage

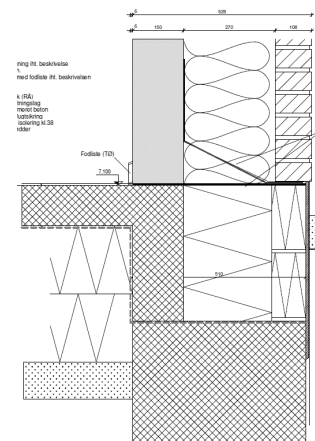


Detalje, tagfad

Tegninger og visualiseringer er udført af Mangor & Nagel.



Snit



Detalje, sokkel





Publikation 4

# Arbejdet med EPD'er



BØRN OG UNGE  
Aarhus Kommune







## 1. Indledning

Denne publikation giver en kort introduktion til EPD'er (environmental product declarations), men behandler primært en række opmærksomhedspunkter i forbindelse med brugen heraf i livscyklusberegninger. Metoder og beregningsforudsætninger ved udarbejdelse af EPD'er gennemgås, for at give en bedre forståelse for tallene i en given EPD. Publikationens målgruppe er personer, som ønsker en dybere forståelse for de bagvedliggende forudsætninger og henvender sig derfor ikke i udgangspunktet til lægmænd.

## 2. Definition

En EPD eller på dansk miljøvaredeklaration er en standardiseret metode til at kvantificere det miljømæssige aftryk for et produkt via en LCA. Udviklingen af EPD'er hviler på standarder, som skal være behjælpelige med at sikre en større ensartethed og transparens af produkters miljøpåvirkninger. Byggematerialer dokumenteres i dag efter EN 15804+A2. Jævnfør denne standard skal livscyklusmodulerne i Tabel 1 dokumenteres i EPD'en, hvor moduler markeret med

x er obligatoriske. Moduler markeret med "MND" er valgfrie, dog skal modulet deklareres, såfremt der forekommer en væsentlig miljøpåvirkning i modulet. Før EN 15804+A2 blev EPD'er udarbejdet efter EN 15804+A1, hvilket kun stillede krav til dokumentation af A1-A3-modulerne. Lige nu er der tale om en overgangsfase, hvor der er gældende EPD'er både efter +A1 og +A2. I Tabel 3 kan der findes yderligere information om forskellene mellem +A1 og +A2.

Tabel 1.

Faser og moduler der skal dokumenteres i jf. EN 15804+A1 og EN 15804+A2 for byggematerialer. Systemgrænse (X = inkluderet i LCA; MND = "module not declared"), EN 15804

Faser	Moduler	+A1	+A2
Produkt	A1 Råmaterialer	X	X
	A2 Transport	X	X
	A3 Fremstilling	X	X
Bygge proces	A4 Transport	MND	MND
	A5 Indbygning	MND	MND
Brug	B1 Brug	MND	MND
	B2 Vedligehold	MND	MND
	B3 Reparation	MND	MND
	B4 Udskiftning	MND	MND
	B5 Renovering	MND	MND
	B6 Energiforbrug	MND	MND
	B7 Vandforbrug	MND	MND
Endt levetid	C1 Nedrivning	MND	X
	C2 Transport	MND	X
	C3 Affaldsåndtering	MND	X
	C4 Bortskaffelse	MND	X
Udenfor system grænse	D Genbrug og -anvendelse	MND	X







### 3. Læsevejledning til en EPD

Dette afsnit gennemgår modulerne, som indhentes fra EPD'en i forbindelse med en bygnings-LCA. I dansk kontekst anvendes EPD'en primært til at indhente oplysninger om miljøpåvirkningerne fra modul A1-A3, C3, C4 og D.

Øvrige relevante moduler (A4, A5, B4 og B6) beregnes efter specificeret metode, som den pågældende LCA skal anvendes til - f.eks. BR18, DGNB eller FBK.

Tabel 2.

Kort forklaring af de primære moduler i en EPD.

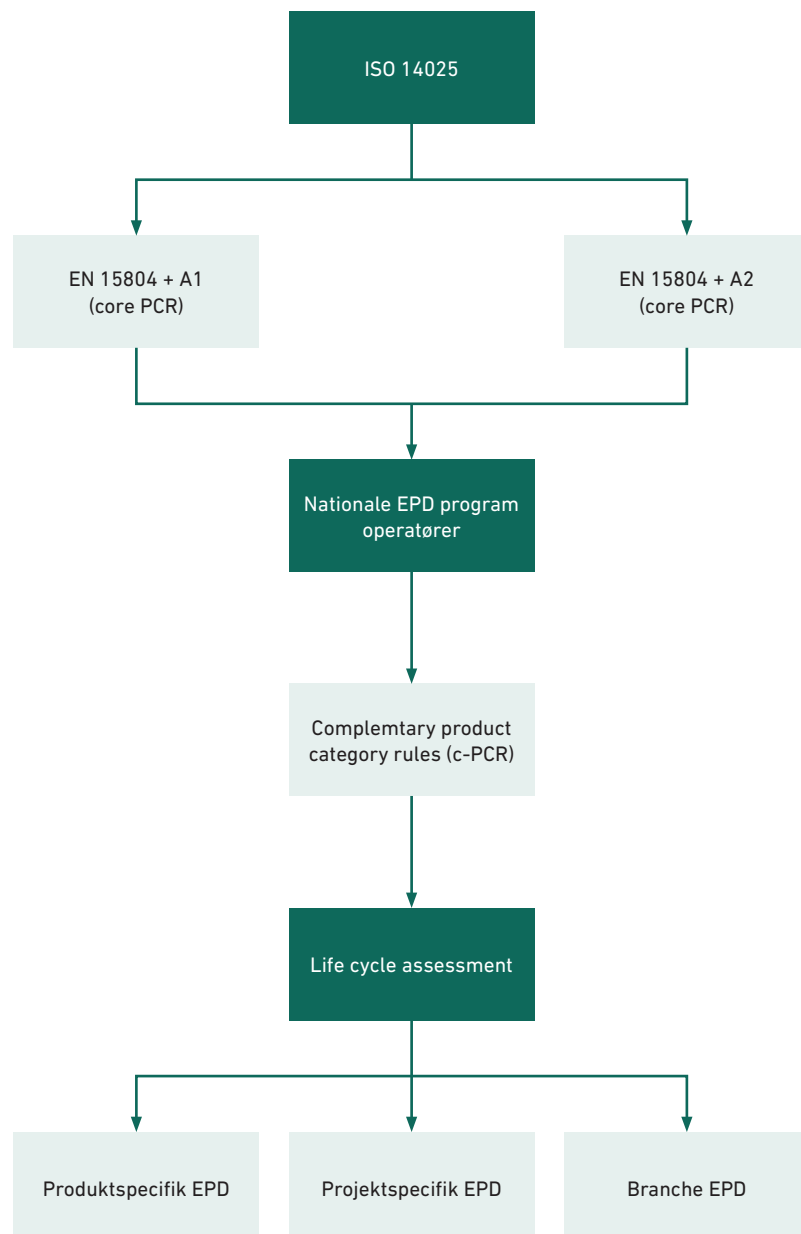
Faser	Moduler	Forklaring
Produkt	<b>A1</b> Råmaterialer	Udvinning af materialer og forarbejdning af disse, hvor der gerne må anvendes generisk data ved EPD-modellering. Det kan være svært at kortlægge den fulde leverandørkæde for produktionen af råmaterialer, hvorfor det, som tommelfingerregel, er 'et led ud i værdikæden. Dette afhænger dog af kompleksiteten af produktet.  Når der anvendes genanvendt materiale i produktet, vil dette afspejle sig i A1-modulet, da brug af genanvendt materiale mindsker brugen af nye ressourcer og dermed de miljømæssige påvirkninger sammenlignet med brugen af nye materialer.
	<b>A2</b> Transport	Transport fra udvinning og forarbejdning af råmaterialer til fremstillingslokationen (producentens produktion). Som en del af transporten oplyses transporttype, transportbrændstof samt lastningsgrader.
	<b>A3</b> Fremstilling	Producentens fremstilling af produktet. Her indgår hjælpematerialer, energi og vandforbrug, som anvendes på produktionsstedet. Dette skal være specifikke data fra producenten.
Endt levetid	<b>C3</b> Affaldsbehandling	Indebærer den konkrete affaldsbehandling af produktet såsom genbrug, genanvendelse, anden nyttiggørelse og affaldsforbrænding. Affaldshåndtering baseres på de nuværende affaldsbehandlinger, selvom der er tale om fremtidsscenerier.
	<b>C4</b> Bortskaffelse	Indebærer deponi og bortskaffelse af restaffald fra modul C3.
Udenfor produkts systemgrænse	<b>D</b> Genbrug og genanvendelse (udenfor systemgrænsen)	Modulet beskriver fremtidige miljømæssige gevinster eller belastninger, som går ud over produktets livscyklus. Et produkt kan påvirke andre produktsystemer, hvilket inkluderes i modul D. Dette modul opgøres selvstændigt i LCA på bygninger jf. BR18, og medregner derfor ikke de gevinster, der kan være ved affaldssceneriet. Ved at ekskludere denne, ses de gevinster som det fremtidige affaldsscenerie (C3-C4) kan bidrage med derfor ikke.

## 4. Metode - Udvikling af EPD'er

Ved udarbejdelse af en EPD er der en række standarder og procedurer som skal følges. Tabel 2 præsenterer den overordnede ramme for udvikling af EPD'er og understreger samtidigt nogle opmærksomhedspunkter.

Tabel 3.

Rammen for udvikling af EPD'er.



**ISO 14025**

Miljømærker og -deklarationer – Type III-miljøvaredeklarationer – Principper og procedurer. Denne standard fastlægger principper internationalt til udvikling af miljøvaredeklarationer. ISO 14025 sikrer en høj kvalitet af miljøvaredeklarationer, da det er et krav at EPD'er skal 3. parts verificeres. ISO 14025 er udgivet af European Committee for Standardization (CEN), som arbejder for at fremme harmonisering i Europa.

**EN 15804  
+ A1 / A2**  
(core PCR eller  
PCR Part A)

Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Miljøvaredeklarationer - Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer. Denne standard er udarbejdet af CEN og indeholder de grundlæggende europæiske regler for, hvorledes en EPD skal udformes. Standarden udspringer af den internationale standard ISO 14025. Jævnfør EN 15804 er EPD'er gyldige i 5 år, medmindre der sker væsentlige ændringer i produktionen, produktet eller teknologien, hvilket kan medføre at EPD'en skal opdateres før de 5 år er gået. EN 15804 + A2 er en viderebygning af den tidligere version EN 15804 + A1 og erstattede denne udgave i oktober 2022. Ændringerne har bl.a. betydet, at det er obligatorisk at deklarere modulerne C og D. Endvidere har denne ændring medført, at miljøpåvirkningskategorierne beregnes med afsæt i forskellige metoder. Dette betyder, at miljøpåvirkningskategorierne i de to udgaver af EN 15804 ikke kan sammenlignes, da der anvendes forskellige regnemetoder. I overgangsperioden, hvor EN 15804 + A1 fortsat er gældende grundet gyldigheden på 5 år, er der mange producenter, som får udarbejdet et tillægsblad med miljøpåvirkningerne opgivet efter EN 15804 + A1. Jf. BR18 accepteres det også at sammenligne "Global Warming, total" (+A2) med "Global Warming Potential" (+A1). For de andre miljøindikatorer end GWP kan man ikke sammenligne tallene mellem +A1 og +A2, hvilket eksempelvis er en udfordring ift. DGNB-projekter efter 2020 manualen, hvor man også kigger på andre miljøindikatorer.

**Nationale EPD  
programopera-  
tører -  
Generelle  
program  
instruktioner**

EPD'er bliver udgivet via EPD-programoperatører, som ofte er tilknyttet de enkelte lande. En EPD er dermed bundet op på den EPD-operatør, som EPD'en er udgivet hos. Dette skyldes, at EPD-programoperatører har generelle programinstruktioner (GPI), som er et teknisk dokument, der fastlægger rammerne for, hvordan EN 15804 +A2 skal tolkes i nationalt regi. I Danmark er EPD Danmark EPD-programoperatør, som har gensidig anerkendelse med EPD Norge, Environdec (Sverige) og Institut Bauen und Umwelt e.V. (Tyskland). Dette betyder, at det er muligt at få accepteret EPD'en hos andre EPD-programoperatører uden en ekstra 3. parts verificering. Valget af EPD-programoperatør afhænger af det respektive produkt og dets tilhørende marked. Samtidig er der et økonomisk aspekt, som kan påvirke producenters ønske om at placere EPD'en på deres produkt hos en specifik EPD-programoperatør.

**Complemen-  
tary product  
category rules  
c-PCR**  
(kan også  
findes som PCR  
part B)

c-PCR er specifikke regneregler til produktkategorier. c-PCR rammesætter dermed, hvordan EPD'en skal udformes for det specifikke produkt. CEN har udarbejdet en række c-PCR, som sigter efter at ensrette LCA-modellering af specifikke produktkategorier på tværs af EPD-operatører. For ventilationskanaler definerer c-PCR'en f.eks. at miljøpåvirkningerne skal deklarerer pr. kg. EPD-programoperatørerne har dog samtidig mulighed for at udvikle c-PCR under de enkelte programmer. Bl.a. er EPD Norge særligt aktive i at udvikle c-PCR, som kan anvendes til udviklingen af EPD'er.





## 5. Opmærksomhedspunkter

I forbindelse med anvendelse af EPD'er er der en række opmærksomhedspunkter, som er udpenslet i Tabel 4.

Tabel 4.

Opmærksomhedspunkter ved anvendelse af EPD'er.

Opmærksomhedspunkter	Uddybning
<b>Gyldighed</b>	For at en EPD kan anvendes i Danmark skal den opfylde en række krav f.eks. være udarbejdet efter EN 15804, være verificeret af en 3. part og godkendt af en EPD-programoperatør, før den betragtes som værende gyldig. Der florerer EPD'er, som ikke nødvendigvis kan anvendes i Danmark, hvilket kræver opmærksomhed hos brugeren af EPD'en. Herudover er EPD'er jf. EN 15804 kun gyldige i 5 år, hvorefter den skal genverificeres, typisk efter revision.
<b>Deklareret enhed</b>	I EPD'er er der en deklareret enhed eller funktionel enhed (f.eks. 1 kg eller 1 m <sup>2</sup> ) oplyst for produktet. Dette er referencepunktet for EPD'en, hvor materialeforbrug, energi og affald opgøres i henhold til denne. De opgjorte miljøpåvirkninger indikerer dermed miljøpåvirkningen af livscyklussen af en deklareret enhed. Dette referencepunkt kan anvendes til at sammenligne produkter. Et væsentligt aspekt for at kunne sammenligne er, at produkterne opfylder samme funktion (f.eks. m <sup>2</sup> isoleringsmateriale skal opfylde samme isolans for at kunne sammenlignes). Det er derfor et opmærksomhedspunkt, at EPD'er, som sammenlignes, opfylder samme deklareret enhed og samme funktion.
<b>Metode A1 / A2</b>	I den kommende årrække vil der være en række EPD'er, som både er udarbejdet efter EN 15804 +A1 og +A2. Ændringen i den metodiske tilgang mellem de to versioner medfører, at det kun er muligt at sammenligne GWP. Hvis der anvendes en EPD efter +A1 uden C3- eller C4-modul skal der anvendes et passende erstatningsmodul fra det generiske datagrundlag tabel 6.1 i BR18. Dette kan give udfordringer, særligt ift. de biogene materialer, hvor det biogene carbon således ikke nødvendigvis går i balance, hvilket kræver bevågenhed ved brug af erstatningsmoduler for at sikre at det biogene carbon regnes korrekt.
<b>Levetider</b>	LCA på bygninger regnes for en 50-årig referenceperiode. Produktets levetid er derfor vigtigt, idet dette har betydning for, hvorvidt der skal ske en udskiftning undervejs. Dette er også et vigtigt punkt ift. sammenligning af to produkter, som ikke nødvendigvis har samme levetid. Levetiden oplyst i EPD'en kan ikke nødvendigvis bruges i bygnings-LCA medmindre der findes en TGA (teknisk godkendelse af anvendelsen) på produktet. Hvis dette ikke er tilfældet, anvendes levetider fra levetidstabellen BUILD-rapport 2021:32 jf. BR18.
<b>c-PCR (complementary product category rules)</b>	c-PCR fastsætter specifikke regneregler for produktkategorier. EPD'er, som er baseret på c-PCR, sikrer større overensstemmelse i modelleringen af det respektive produkt. Det bør der fortrækkes at anvende EPD'er, der benytter c-PCR regneregler.



Opmærksomhedspunkter	Uddybning
<b>Miljøpåvirkningskategori:</b> "Use of secondary material"	Denne miljøpåvirkningskategori oplyser, hvor meget genanvendt materiale, der indgår i produktet. Dette kan også indebære genanvendt materiale i tilfælde af, at dette er anvendt i emballagen. Kategorien gør det derfor muligt at gennemskue, hvor mange kg genanvendt materiale der indgår i produktet, hvilket er et opmærksomhedspunkt i jagten på cirkulære og bæredygtige byggerier.
<b>Affaldsscenerier</b>	I EPD'er beskrives hvilke geografiske områder, som EPD'en er udarbejdet for f.eks. Europa. Dette har betydning for de modellerede affaldsscenerier, som C-modulerne baseres på. Jf. EN 15804 + A2 skal affaldsscenerier opbygges således at det afspejler den reelle affaldshåndtering for de geografiske rammer. Dette betyder f.eks., at når de geografiske rammer er sat til Europa, så skal et affaldsscenerie repræsentere et gennemsnitligt scenarie på tværs af Europa. Dette er vigtigt for at få en forståelse af det anvendte affaldsscenerie, og at to (på papiret) lignede produkter ikke nødvendigvis anvender samme affaldsscenerie. Affaldsscenerierne behandles som et selvstændigt emne i Publikation 5.
<b>Datakvalitet i en EPD</b>	Datakvalitet har en væsentlig betydning for resultaterne i en EPD. Derfor skal kvaliteten af de anvendte datasæt også vurderes jf. EN 15804 + A2. Kvaliteten vurderes på baggrund af geografisk, tidsmæssig samt teknologisk repræsentativitet. Den geografiske repræsentativitet vurderes ud fra, hvorvidt de anvendte datasæt afspejler de geografiske forhold, hvor produktet produceres. Den tidsmæssige repræsentativitet er en vurdering af om data afspejler nyere data. Den teknologiske repræsentativitet indebærer en vurdering af, hvorvidt det anvendte datasæt afspejler den teknologi, der anvendes i den reelle produktion (f.eks. valsning af stål). De mest anvendte databaser er LCA for Experts (tidligere GaBi) samt Ecoinvent. Generelt anerkendes databaserne LCA for Experts (tidligere GaBi) for at have de mest opdaterede og retvisende generiske datasæt.
<b>Miljøcertifikater (GO'er)</b> (Guarantees of Origin)	I udarbejdelsen af EPD'er er det tilladt at medregne producenternes købte miljøcertifikater f.eks. til brug af biogas i modul A3 (produktionen), og dermed forbedre klimaaftrykket af produktet på papiret. Dette kan have en stor betydning for klimabelastningen. I tilfælde, hvor der anvendes miljøcertifikater, skal det tydeligt fremgå af EPD'en. Det er derfor vigtigt, f.eks. i en sammenligning af produkter at oplyse, hvis klimaaftrykket bygger på miljøcertifikater, så bygherre kan træffe beslutninger på et oplyst grundlag.
<b>Biogent carbon</b>	For biogene materialer anvendes -1/+1 metoden, hvor det biogene carbon samlet set skal være i balance over hele livscyklussen. For visse produkter f.eks. stråtag sker der en forrådnelsesproces i B-fasen, hvor noget af det biogene carbon udledes til atmosfæren. Dette er en udfordring, idet BR18-metoden kun betragter modulerne A1-A3, B4, B6, C3, C4 og (D), hvilket betyder at forrådnelsesprocessen i B-fasen ikke medregnes. CO2-aftrykket for f.eks. stråtag kan derfor samlet set syne negativt, hvis kun modulerne iht. BR18 betragtes. Ved brug af biogene produkter er det derfor vigtigt at sikre at det biogene carbon går i balance.





## 6. Datakvalitet

EPD'er giver mulighed for sammenligning af produkter i et miljømæssigt perspektiv, som kan danne grundlaget for beslutninger om materialevalg.

### **Generisk produktdata fra LCA-software databaser (LCA for Experts (tidligere GaBi), Ecoinvent database):**

I forbindelse med udarbejdelse af EPD'er accepteres det, at dele af EPD'en er baseret på generisk produktdata. Dette skyldes, at det kan være meget omstænding at indsamle data i værdikæden. Her skelnes imellem forgrundsdata og baggrundsdata. Forgrundsdata er energi- og ressourceforbrug, affald mv. fra produktionen (modul A3). Forgrundsdata modelleres ved hjælp af baggrundsdata. Baggrundsdata er generisk data fra databaser (LCA for Experts (tidligere GaBi), Ecoinvent database etc.), som er baseret

på teknisk litteratur, videnskabeligt empiri samt data fra industrier. Datakvaliteten har betydning for EPD'ens resultater, hvilket er belyst i en artikel af (Pauer, et al., 2020), som identificerer forskellene mellem LCA for Experts (tidligere GaBi), Ecoinvent 3.6 database og Environmental Footprint database. Studiet konkluderer blandt andet, at Ecoinvent databasen medfører højere værdier i miljøpåvirkningskategorierne sammenlignet med lignende datasæt fra LCA for Experts (tidligere GaBi), hvilket delvist skyldes, at Ecoinvent inkluderer flere baggrundsdata. Der peges dog også på en række mangler i Ecoinvent databasen. Ecoinvent databasen kritiseres bl.a. for at bero på ældre data. I forbindelse med anvendelse af EPD'er bør den anvendte database være et opmærksomhedspunkt, hvor det anbefales at prioritere EPD'er baseret på LCA for Experts

(tidligere GaBi), da LCA for Experts har opdateret data af høj kvalitet. Den anvendte database angives ofte under referencer i bunden af EPD'en.

#### Produktspecifik EPD:

En produktspecifik EPD er baseret på ét produkt. I denne type miljødata tages der udgangspunkt i én producent. Data kan både være på én lokation eller fordelt ud på forskellige lokaliteter, hvor produktionen finder sted, så længe det er samme producent og produkt.

#### Projektspecifik EPD:

En projekt EPD kan udarbejdes af producenterne til et specifikt projekt. Det kan eksempelvis være en EPD for en specifik betonrecept, som er gældende for det specifikke projekt. EPD'en er kun gældende for det specifikke projekt og findes ikke på offentligt tilgængelige EPD-databaser.

#### Branche-EPD:

En branche-EPD er en gennemsnitlig betragtning af miljøpåvirkninger fra forskellige producenter af et tilsvarende produkt. I branche-EPD'er foretages der en vægtning

af producenterne i forhold til, hvor stor en andel de udgør af markedet. På den måde vil producenter, som udgør en større andel, automatisk fylde mere i klimaaftrykket på branche-EPD'en.

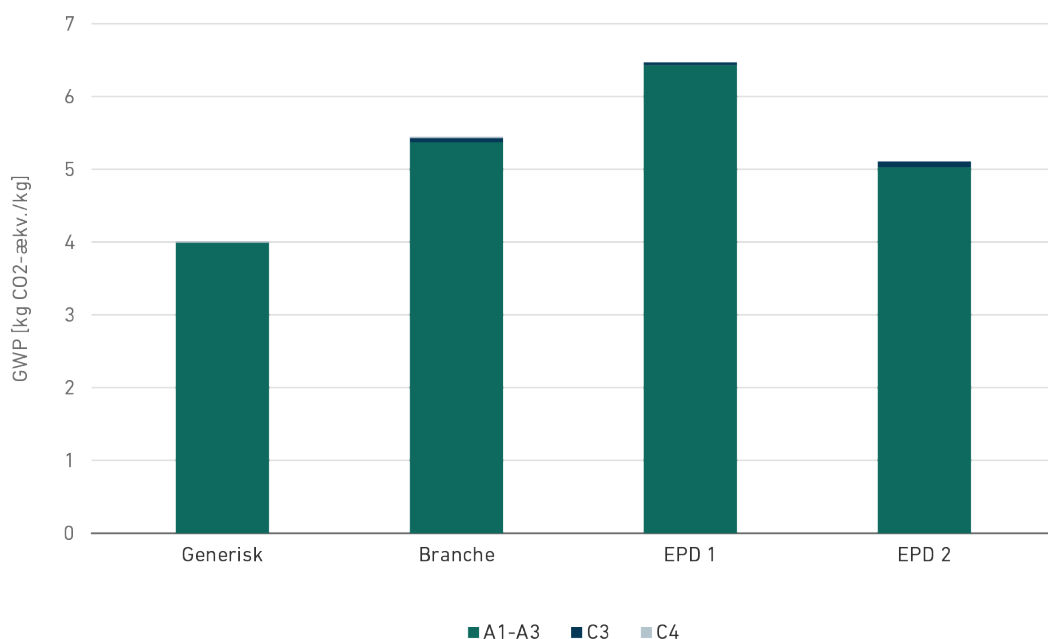
#### Generisk data fra ÖKOBAUDAT

I tilfælde hvor et materiale ikke har en EPD, skal generisk data fra datasæt i BR18, bilag 2, tabel 7 anvendes. Data stammer primært fra ÖKOBAUDAT, som er tyske gennemsnitsværdier på materialer og er beregnet med afsæt i data fra LCA for Experts (tidligere GaBi). Ved anvendelse af tysk generisk data risikeres den geografiske repræsentativitet dermed mindsket.

Et andet opmærksomhedspunkt er, at generisk data er mere "unøjagtigt", hvilket kan betyde, at det generiske data både kan være bedre eller værre på den miljømæssige påvirkning sammenlignet med EPD'er. (Jørgensen, et al., 2021) har undersøgt forskellene på generisk data fra ÖKOBAUDAT sammenlignet med EPD-specifikt data. De overordnede konklusioner er, at generisk data generelt medfører et højere miljømæssigt aftryk. I enkelte tilfælde er ÖKOBAUDAT

Figur 1.

Sammenligning af klimaaftrykket fra ventilationsaggregat med generisk miljødata, branche EPD og to produktspecifikke EPD'er. Både C3 og C4 udgør en meget lille andel af CO<sub>2</sub>-aftrykket, hvilket gør dem svære at se på grafen.







## 7. Referencer

data bedre end EPD-specifikt data, hvilket f.eks. kan observeres i Figur 1.

På trods af, at generisk data i visse tilfælde kan klare sig på niveau med EPD-data eller bedre, er det vigtigt at branchen prioriterer data fra EPD'er, da dette bidrager til et mere retvisende billede af bygningers miljømæssige performance. Der bør derfor arbejdes mod, at generisk miljødata altid er konservativt og dermed fordrer brugen af EPD'er.

Anderson, J., 2020. ConstructionLCA's 2020 Guide to Environmental Product Declarations. [Online]

Available at: <https://infogram.com/constructionlca-2020-guide-to-epd-1h7g6k-gqx9zo4oy?live>

Jørgensen, E. B., Tozan, B., Sørensen, C. G. & Birgisdóttir, H., 2021. Tilgængelighed og betydning af EPD'er, s.l.: BUILD, Aalborg Universitet København.

Pauer, E., Wohner, B. & Tacker, M., 2020. The Influence of Database Selection on Environmental Impact Results., s.l.: s.n.





Publikation 5

# Endt levetid (C3-C4)



## 1. Indledning

Denne publikation retter fokus mod klimabelastningen i modul C3-C4 under livscyklusfasen "endt levetid", men berører også modul D "uden for projekt", som anvendes i bygnings-LCA'er. Publikationen belyser nogle opmærksomhedspunkter, der knytter sig til disse faser.

Livscyklusmodulerne C3-C4 og D er jævnfør BR18 obligatorisk at dokumentere, men kan være behæftet med betydelig usikkerhed. Eksempelvis stemmer det opstillede fremtidsscenario ikke altid overens med den reelle affaldshåndtering af produktet. Det er derfor vigtigt, at branchen klædes bedre på til at kunne manøvrere i miljødata/EPD'er. Det bør understreges, at det ikke er muligt at sammenligne produkter udelukkende ud fra deres affaldsscenerier. Ved valg af produkter er en helhedsbetragtning af de samlede kli-

mapåvirkninger set over hele livscyklusen vigtig, så det sker under retvisende sammenligningsgrundlag.

Publikationens målgruppe er personer, som ønsker en dybere forståelse for de bagvedliggende forudsætninger i det miljødata, som anvendes i LCA-beregninger og henvender sig derfor ikke i udgangspunktet til lægmænd.

## 2. Moduler for endt levetid / Læsevejledning til affaldsscenerier

I EPD'er varetages endt levetid (affaldsscenerier) i C- og D-modulerne, men der kan også blive produceret affald i A- og B-modulerne (f.eks. spild ifm. produktion af et produkt i modul A3 eller ved udskiftning af komponenter i modul B4). Dette spild medregnes i de moduler, som de er tilknyttet, hvorfor dette affald ikke ender i C-modulet.

**Modul C** beskriver den konkrete affaldshåndtering og bortskaffelse af et produkt, når produktet har nået endt levetid. Heri modelleres de processer, som er nødvendige for at kunne affaldsbehandle det respektive produkt.

**Modul C3** inkluderer affaldsbehandlingsprocesser, eksempelvis affaldsforbrænding eller nødvendige processer ved genanvendelse. Der vil således være en klimapåvirkning forbundet med dette modul, eksempelvis energi til affaldsforbrænding eller energi til at omsmelte et materiale i forbindelse med genanvendelse. Endvidere vil udledningen fra forbrænding af materialer være inkluderet i modul C, eksempelvis klimapåvirkninger ved afbrænding af plastik. Modul C4 omfatter den endelige bortskaffelse eksempelvis

deponi, hvor der kan ske udledninger samt udvaskning fra det deponerede affald.

**Modul C1 (nedrivning) og C2 (transport)** er i dag ikke en del af bygnings-LCA jf. BR18, og behandles ikke yderligere i denne publikation. Begge moduler er behæftet med betydelig usikkerhed, særligt fordi fremtidens nedrivningsprocesser og hvad transportformer udleder ikke med sikkerhed kendes. På sigt forventes disse moduler også at blive inddraget i bygnings-LCA'er i eksempelvis Bygningsreglementet. Et konservativt scenarie for C1 og C2 kunne være at anvende miljødata for, hvordan vi nedriver og transportere byggeaffald i dag.

**Modul D** udgør de klimamæssige gevinster eller belastninger, som går ud over produktets livscyklus. Et eksempel herpå er den energi, som produceres ved affaldsforbrænding. Når materialer genanvendes, erstatter det således produktionen af nye materialer, hvormed der sker en klimamæssig besparelse. Den klimamæssige belønning ligger således i modul D. Da modul D er udenfor projektet jf. EN 15978 og opgøres separat, indgår det ikke i BR18 kravet.





### 3. Opmærksomhedspunkter

I jagten på cirkulær økonomi, er håndtering af produkter efter endt levetid et af de mest essentielle omdrejningspunkter for diskussionen. Her er det særligt vigtigt, at forholde sig kritisk overfor de affaldsscenarioer, der bliver modelleret i EPD'er og som indgår i bygnings-LCA'er. Mere information om EPD'er kan findes i Publikation 4 – Arbejdet med EPD'er.

**Nationale affaldsscenarioer i LCA på bygninger** Jævnfør BR18 er det muligt at anvende EPD'er uagtet af, hvor EPD'en stammer fra, så længe denne følger standarden EN 15804 + A1/A2, som indeholder regler for udarbejdelse af EPD'er på byggevarer. Dette betyder, at hvis der anvendes en EPD fra et land, som affaldsbehandler på anden vis end i Danmark, og dette er deklareret i EPD'en, så kan der i LCA'en blive anvendt et ikke repræsentativt affaldsscenario for produktet. EN 15804 + A2 forsøger at modarbejde denne tendens ved at kræve, at affaldsbehandlingen i EPD'en skal deklareres for det marked, som produktet forhandles i. Der er dog fortsat risiko for misvisende affaldsscenarioer, hvor affaldsbehandlingen

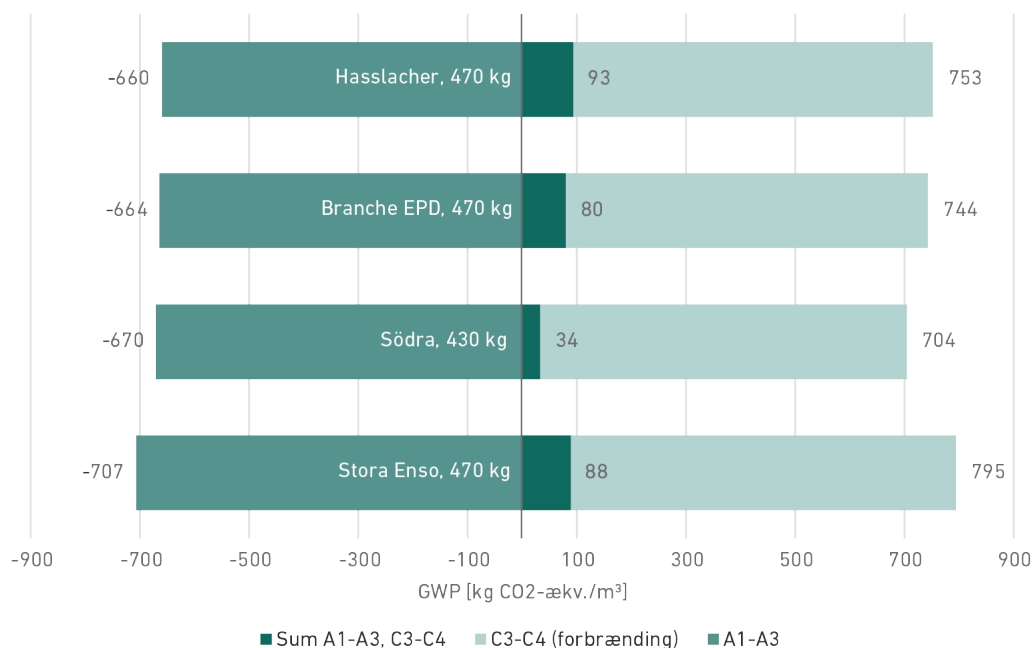
ikke repræsenterer det land, som produktet faktisk affaldsbehandles i. Producenter som producerer til hele det europæiske marked, skal eksempelvis anvende et gennemsnitligt affaldsscenario for hele Europa.

Figur 1 viser klimaafttrykket fra tre store CLT-producenter samt den danske branche EPD. Sodra's klimaafttryk er markant lavere end konkurrenterne, men har næsten samme klimaafttryk i A1-A3. Det er nærliggende at tænke, at forskellen så skyldes affaldsscenarioerne, men forklaringen skal nærmere findes i fremstillingen. Sodra har en lavere densitet end konkurrenterne, men har samtidigt et lidt større negativt aftryk i modul A1-A3, selvom det indeholder mindre biogent carbon pga. en lavere densitet.

Den lavere densitet betyder et lavere klimaafttryk i modulerne C3-C4, fordi det indeholder mindre biogent carbon. Grunden til at Sodra kan opretholde det høje negative aftryk i modul A1-A3, på trods af den lavere densitet, er umiddelbart gunstige fremstillingsforhold f.eks. brug af vedvarende energi. Dette understreger kompleksiteten,

Figur 1.

Sammenligning af CO<sub>2</sub>-aftrykket for forskellige CLT-producenter pr. m<sup>3</sup>. Hasslacher (EPD-HAS20210172IBD1EN), Branche EPD (MD-20007-EN\_rev1), Sodra (NEPD-2587-1314-EN), Stora Enso (S-P-02033).



hvor mange forhold kan påvirke de forskellige moduler.

**Rammerne for affaldsmodellering i LCA ved brug af EPD efter EN 15804 + A1 Standarden EN 15804 + A2**, som i oktober 2022 erstattede den tidligere version EN 15804 + A1, betyder at det nu eksempelvis er obligatorisk at deklarere C (Endt levetid) og D (Gevinster udenfor systemgrænsen) modulerne for produktet. I de kommende år vil der både være EPD'er efter den gamle version af standarden (EN 15804 + A1) og den nyere version (EN 15804 + A2).

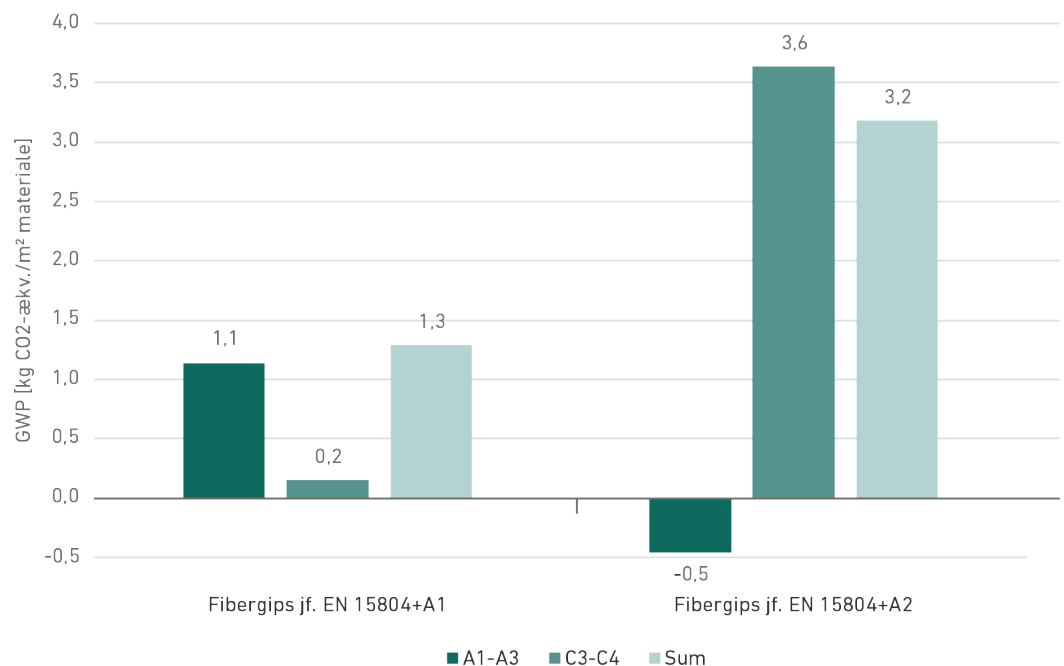
Brugen af EPD'er efter EN 15804 + A1 kræver opmærksomhed på C-modulerne (Endt levetid), da disse EPD'er ikke nødvendigvis deklarerer C3-C4. I dette tilfælde skal passende erstatningsmoduler fra BR18, bilag 2, tabel 7 anvendes, for at opnå en fyldestgørende klimaberegning. Jf. BR18 er et passende erstatningsmodul det, som bedst beskriver den nuværende affaldshåndtering. Ved tvivl om scenariet, anbefales det at anvende det mest konservative for ikke at undervurdere bygningens klimapåvirkning. Tabel 7 i BR18 anvender generelt tysk miljødata fra ÖKOBAUDAT, hvilket

ligeledes kan skabe et misvisende resultat, når produktet affaldsbehandles i Danmark. Et eksempel på, hvordan benyttelse af de generiske affaldsscenarioer kan give et forfejlet billede af klimaaftrykket, er vist i Figur 2. Før Fermacell kom med deres nye EPD efter EN 15804+A2-standard, hvor C3 og C4 var oplyst, blev der anvendt et generisk affaldsscenario for produktet, hvilket har underestimerede produktets reelle klimaaftryk ved endt levetid (C3 og C4) før i tiden. For særligt biogene produkter (som f.eks. fibergips) skal man være påpasselig med at anvende erstatningsmoduler, da det kan give et forkert klimaaftryk.

For at minimere usikkerheden kunne der på sigt udarbejdes danske affaldsscenarioer, som indgår i Bygningsreglementet og repræsenterer Danmarks tilgang til affaldsbehandling. Mere information om EPD'er kan findes i Publikation 4 – Arbejdet med EPD'er.

Figur 2.

Klimaaftrykket for fibergips efter EN15804 +A1 (MD21019) med erstatningsmodul for affaldsscenarioet ('manuelt' tilføjet) og efter EN15804 +A2-metoden med specifikt affaldsscenario (MD22138 – C3-C4 modeleret i EPD).





### Affaldsscenerier i EPD'er

I 15804 + A2 beskrives det, at affaldsscenerier skal være "realistiske og repræsentative" for den nuværende affaldshåndtering. På nuværende tidspunkt modelleres den fremtidig affaldsbehandling med afsæt i den nuværende affaldsbehandling. Dette kan kritiseres, da fremtidsperspektivet mangler.

Den nuværende affaldshåndtering er ikke nødvendigvis retvisende for, hvordan produktet bortskaffes ved endt levetid. Modsat argumenteres der for, at der er for store usikkerheder ved at lave affaldsscenerier for fremtiden, baseret på antagelser og forudsætninger omkring udbygningen af affaldsinfrastrukturen.

Til trods for at 15804 + A2 sætter en fælles standard, så eksisterer der fortsat elementer, som udfordrer harmonisering af affaldsscenerier. Dette kan ses som et resultat af, at standarderne i høj grad er løst formuleret, således de er fleksible og kan tilpasses den enkelte situation og det specifikke land. De enkelte EPD-programoperatører kan præcisere reglerne i nationalt regi igennem deres generelle program instruktioner (1).

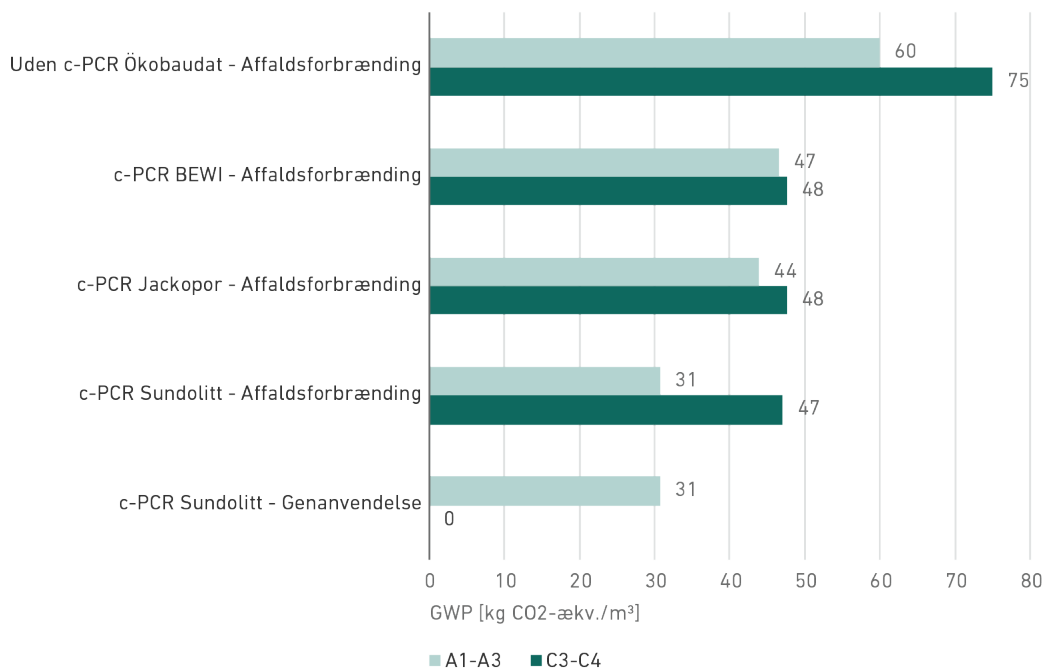
### c-PCR

EPD'er udformes med afsæt i en c-PCR (complementary product category rules), såfremt der eksisterer et for produktet. C-PCR's primære opgave er at etablere ens beregningsforudsætninger for de konkrete materialetyper, så sammenligningsgrundlaget i højere grad harmoniseres. Der er typisk større overensstemmelse i klimapåvirkninger fra modul C3-C4 ved anvendelse af c-PCR, hvilket også kan observeres af Figur 3. Klimapåvirkninger fra C3-C4 kan dog stadig variere, når der anvendes c-PCR fra forskellige organisationer. EPD Danmark anerkender c-PCR fra begge organisationer (CEN og EPD Norge), og der er således ingen ensretning i, hvilken der bliver anvendt.

Et eksempel herpå er, at BEWI, som producerer deres EPS-isolering i Danmark, har anvendt den norske c-PCR. Dette medfører, at de bør modellere det konservative scenarie, som er energiudnyttelse. Dette er således ikke nødvendigvis fordelagtigt, da EPS har en høj genanvendelsesprocent jf. dansk affaldsstatistik (2020), såfremt det er rent. Ved anvendelse af c-PCR fra CEN, som både anerkender genanvendelse og energiudnyt-

Figur 3.

Sammenligning af forskellige EPS-produkter med samme isoleringsklasse. BEWI (NEPD-3209-1848-DK), Jackopor (NEPD-2794-1494-EN), Sundolitt (MD-22132-EN). leret i EPD).





telse, vil dette åbne op for et affaldsscenario med 100% genanvendelse.

På trods af at EPS-isolering teoretisk set er 100% genanvendeligt, er dette scenario i overvejende grad ikke repræsenteret i EPD'erne. Det kan dels skyldes, at der stilles store krav til renligheden af EPS for at kunne genanvende materialet. Dette er særligt udfordrende i bygge-regi, da EPS i disse omgivelser er særligt udsatte. EPS er samtidig ikke en af de fraktioner, hvor det er lovpligtigt at affaldssortere materialet på byggepladsen jf. affaldsbekendtgørelsen, hvilket ligeledes kan udfordre både mængder og renheden af EPS-affaldet.

#### **Specifik, branche og generisk miljødata**

En sammenligning af EPD'er og generisk miljødata fra Ökobaudat viser generelt, at EPD'er har mindre klimapåvirkninger end det generiske data og erstatningsmoduler.

Denne tendens kan også observeres i Figur 3. Tendensen er fordelagtig for at sikre både udvikling og anvendelsen af EPD'er, så der ikke spekuleres i at anvende generiske miljødata ift. EPD'er. Tidligere har det eksempelvis være fordelagtigt at anvende generisk miljødata for beton sammenlignet med branche EPD'en.

#### **Modul D - Substitution**

Det anvendte affaldsscenario påvirker gevinster i modul D. Sammenholdes energidnyttelse ved affaldsforbrænding med genanvendelse, medfører genanvendelse normalvis større besparelser, da materialet holdes i kredsløb, og dermed undgås det at udvinde nye materialer. Et opmærksomhedspunkt i relation til dette er, hvilket land energien substitueres i, og hvordan det nationale energimix er sammensat. Hvis energimixet i højere grad er baseret på fossile brændsler, vil substitution af energi

ved affaldsforbrænding medføre større besparelser end, hvis det substitueres i et land med overvejende grønt energimix. I tillæg til dette skal det påpeges, at modul D 'blot' skal dokumenteres og ikke medregnes i det samlede klimaaftryk for bygninger, hvilket betyder at de gevinster, som affaldsscenerierne bidrager med i D-modulet ikke inkluderes i regnskabet.

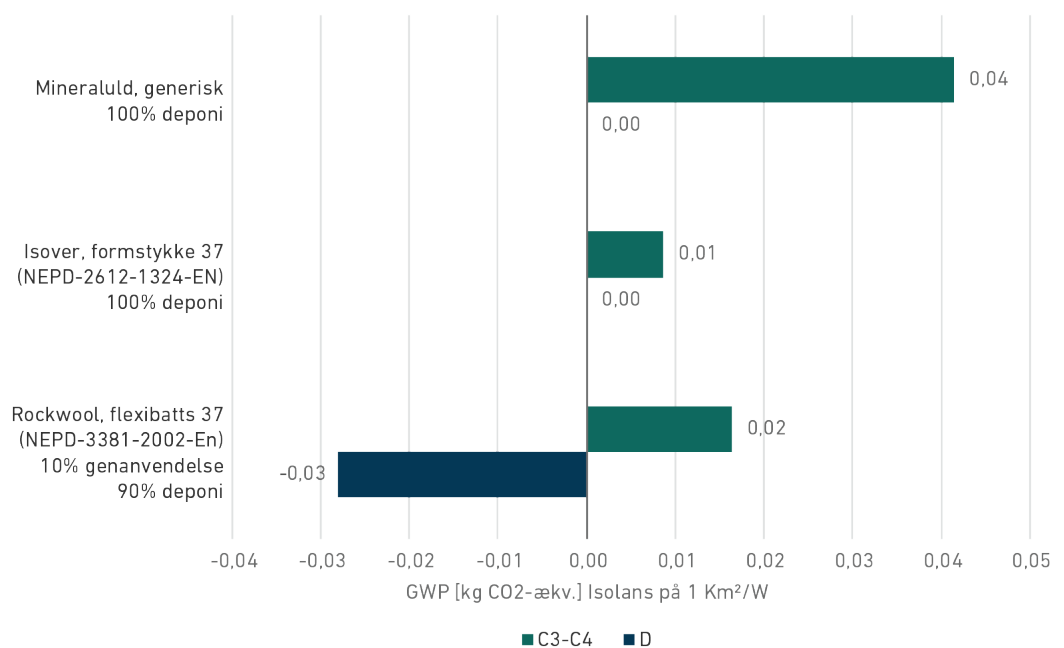
Mineraluld er et eksempel på at hele produktets livscyklus bør vurderes, da eksempelvis Isover bruger genanvendt mineraluld i fase A (produktionen). Derfor må de ikke deklarerer et affaldsscenario, som inkluderer substitution af samme materiale, da dette bidrager til double counting af de klimamæssige gevinster. Endvidere ses det, at Rockwool har en højere GWP i C3-C4 end Isover. Dette kan være et resultat af de 10 % genanvendelse, som finder sted hos Rockwool, da dette kræver energi.

Afslutningsvis er denne sammenligning også et eksempel på, hvordan deponi (på papiret) kan se bedre ud i C3-C4, da Isovers påvirkning er mindre end Rockwool. Dette skal dog ses i lyset af, at Isover

ingen gevinster har i modul D, hvilket er tilfældet for Rockwool. Det er derfor vigtigt at kigge på hele livscyklussen, selvom modul D ikke er en del af klimaaftrykket i jagten på cirkularitet.

Figur 4.

Sammenligning af klimaaftrykket fra model C3-C4 og modul D for forskellige mineraluldsprodukter.







## 4. Spørgsmål til modul C3 og C4

Ovenstående opmærksomhedspunkter understreger, at man bør forholde sig kritisk til C- og D-fasen. Der vurderes derfor hensigtsmæssigt at tænke over spørgsmålene i Tabel 1, når man betragter modul C3, C4 og D i forbindelse med udarbejdelse eller granskning af en LCA-beregning.

Tabel 1.

Relevante spørgsmål til vurdering af modul C3, C4 og D.

### Kritiske spørgsmål

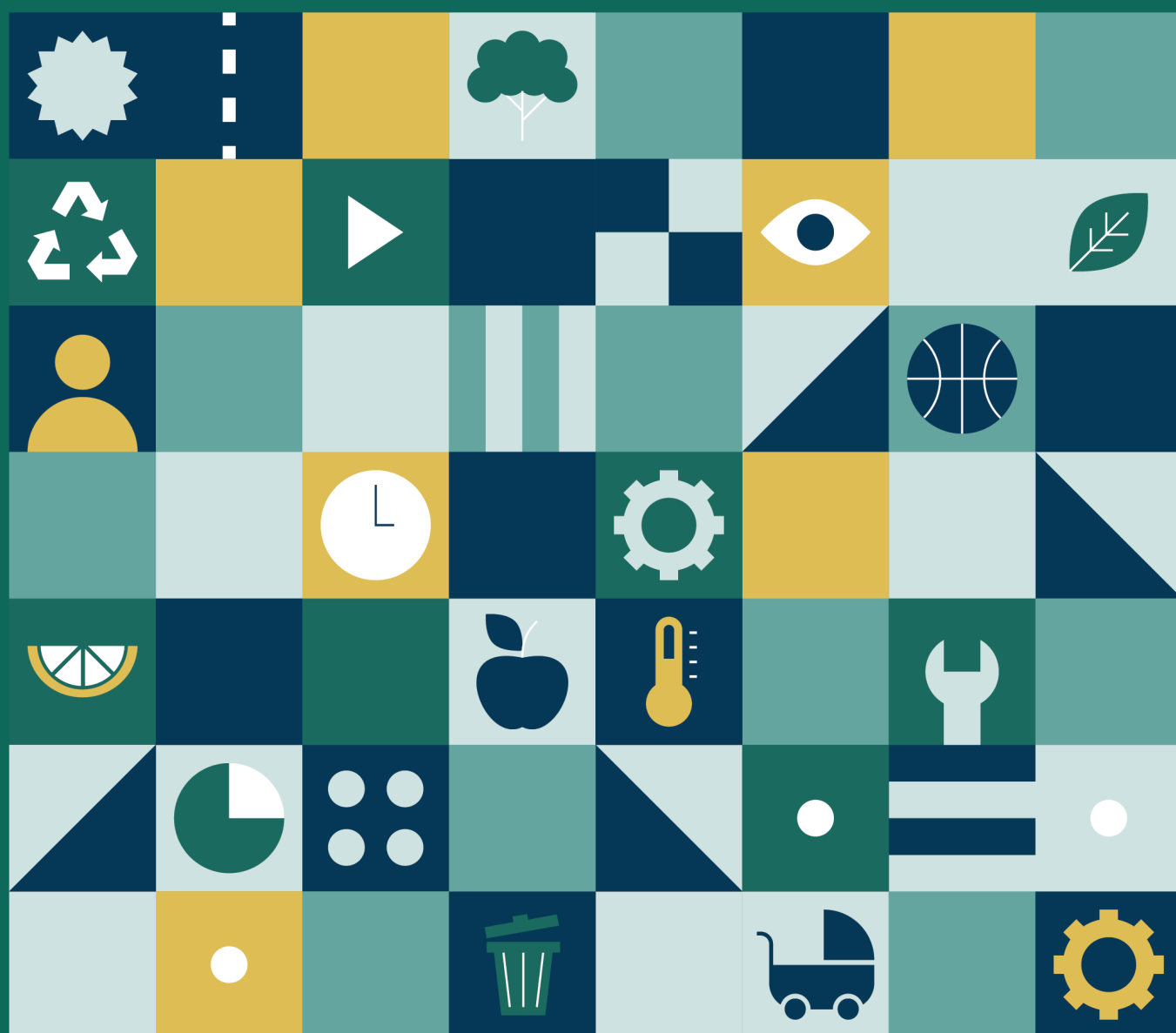
- Anvendes der EPD, generisk eller erstatningsdata til modellering af affaldsscenariet?
- Er EPD'en efter EN15804 + A1 eller A2?
- Hvilket affaldsscenario er modelleret i EPD'en?
- Hvad er det repræsentative (danske) affaldsscenario for dette produkt, og følger EPD'en dette?
- Er der anvendt en c-PCR?
- For hvilket marked er EPD'en deklareret?
- Er produktet produceret med genanvendt materiale?

## Appendiks A - Danske nationale affaldsstatistikker

\* Det vurderes, at der er store usikkerheder relateret til de registrerede affaldsmængder, da ikke alt affald indberettes (<https://gi.dk/media/inrjkwvx/fremtidensbyggematerialer.pdf>)

Affaldsfraktion	EAK-kode	Genanvendelse (%)	Anden endeligt nyttiggørelse (%)	Forbrænding (%)	Deponering (%)	I alt
<b>Gipsbase-rede byggematerialer</b>	17 08 02	83,7	14,3	0,1	1,9	100
<b>Beton</b>	17 01 01	0,0	99,5	0,3	0,2	100
<b>Træ</b>	17 02 01	0,0	96,7	2,6	0,7	100
<b>Flamingo byggeaffald (EPS)</b>	17 02 03	95,0	0,1	1,3	3,6	100
<b>Mineraluld (Ikke farligt)</b>	17 06 04	0,0	80,9	0,1	19,0	100
<b>Mineraluld (Farligt)</b>	17 06 03	0,0	89,5	0,0	10,5	100





Publikation 6

# Potentialer for fremtidens (daginstitutioners) byggeri



## 1. Indledning

Denne publikation beskæftiger sig med erfaringer, overvejelser og potentialer i arbejdet mod et lavere CO<sub>2</sub>-aftryk for fremtidens daginstitutioner, hvor følgende emner vil blive behandlet:

- Byggesystemer – Tung vs. let
- Genbrugsmaterialer – BR18 vs. DGNB
- Isoleringsmaterialer – Typer og klasser
- Isoleringsniveauer – Trade-off-analyser
- Brandkrav – Muligheder og udfordringer
- Lokalplanskrav – Facadebeklædning
- Perspektivering – Ekstrapolering

Flere af emnerne er generelle, og kan derfor perspektiveres til andre bygningstypologier, men der tages udgangspunkt i potentialer for daginstitutionsbyggeri.

Hvis klimaafttrykket skal minimeres i en stor grad, så kræver det at hele byggeriet gennemtænkes. Det er dog også vigtigt at understrege, at man med relativt simple tiltag kan nå langt. Denne publikation laver en række nedslag for at vise potentialer og opmærksomhedspunkter, men er langt fra en fuldkommen liste.

## 2. Byggesystemer

Byggesystemet er en afgørende parameter ift. klimaaftrykket, hvilket tydeligt kan observeres ved at sammenligne byggesystemerne for de to daginstitutioner Høiriisgårdsvej og Tronkærgårdsvej. Disse to institutioner er udvalgt fordi de er sammenlignelige ift. etageareal, antal etager og vinduesarealer, men anvender meget forskellige byggesystemer. Særligt tagkonstruktionen, ydervæg og indervægge adskiller sig fra hinanden, hvor opbygningerne er beskrevet i Tabel 1. Tronkærgårdsvej har anvendt primært tunge materialer som beton og stål, mens Høiriisgårdsvej ønsker at anvende mere lette materialer såsom træ.

Figur 1 viser en sammenligning af CO<sub>2</sub>-aftrykkene for de 8 CO<sub>2</sub>-tungeste bygningsdele for henholdsvis Høiriisgårdsvej og Tronkærgårdsvej. Tronkærgårdsvej kunne potentielt have sparet 3 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år ved brug af lettere tag- og vægopbygninger som anvendt på Høiriisgårdsvej, hvilket er over 25 % af det samlede CO<sub>2</sub>-aftryk for Tronkærgårdsvej.

I den forlængelse bør det nævnes, at Høiriisgårdsvej har et yderlige klimabesparelses-potentiale ved at vælge de 'rigtige' - mindre klimabelastende - produkter, som er belyst i Publikation 3.

Tabel 1.

Sammenligning af konstruktionsopbygninger for Høiriisgårdsvej og Tronkærgårdsvej

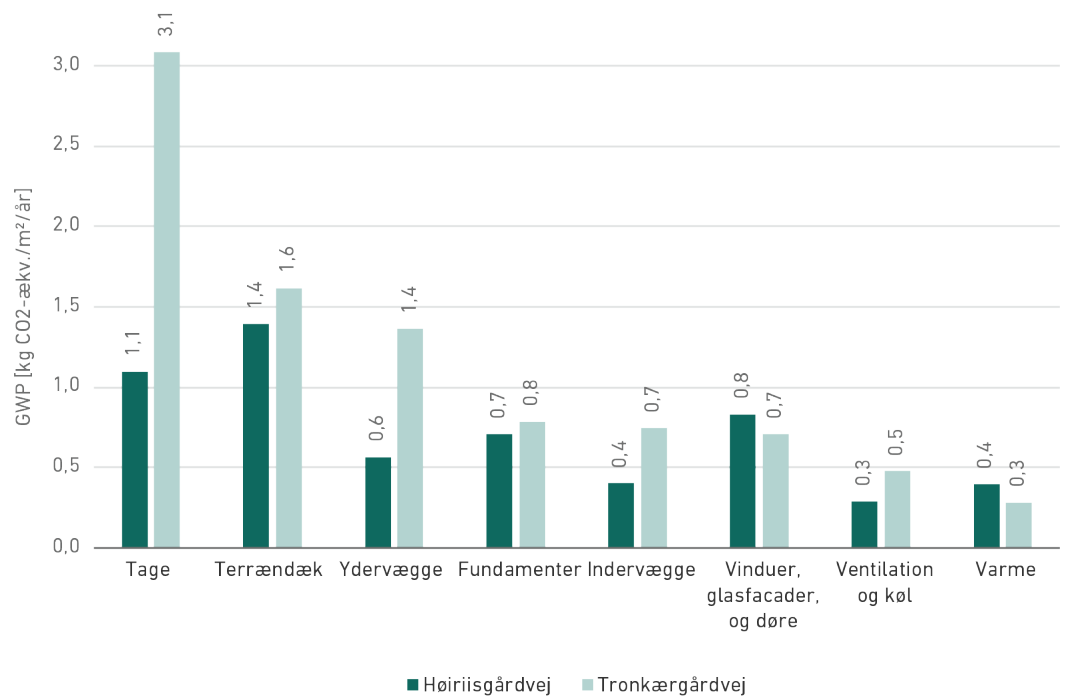
	Høiriisgårdsvej	Tronkærgårdsvej
<b>Indervægge</b>	Træskelet med mineraluld og fibergips og porebetonvægge	150/100 mm letklinkebeton 2x13mm gips med 150 mm stålskelet og mineraluld
<b>Tage</b>	2 lag tagpap 22 mm krydsfiner Saksespær 400 mm mineraluld Dampspærre 45 mm forskalling med mineraluld 12,5+15 mm brandgips	2 lag tagpap 410 mm trykfast isolering 200 mm ståltrapez plader 25 mm stålprofiler 15 mm brandgips Dampspærre 15 mm brandgips
<b>Ydervægge</b>	Skærmtegl 2 x 38mm afstandslister 8mm vindspærre 45x95 træskelet med mineraluld 145 mineraluld 45x95 træskelet med mineraluld Dampærre 45mm afstandsliste med mineraluld 15+18mm fibergips	108mm facadetegl 250 mm mineraluld kl. 34 150 mm letklinkebeton





Figur 1.

Sammenligning af CO<sub>2</sub>-aftrykkene for de 8 CO<sub>2</sub>-tungeste bygningsdele for Høiriisgårdsvej og Tronkærgårdsvej på bygningsniveau.



### 3. Genbrugsmaterialer

Den nuværende metode i BR18 er udfordret i forhold til at medregne klimagevinsten ved genbrugsmaterialer, hvor de skal indregnes som nye materialer pga. manglende datagrundlag. Branchen skubber dog på for at ændre dette således, at klimaaftrykket fra genbrugsmaterialer betragtes mere retvisende. Fra 2024 forventes reglerne at blive ændret, hvor et høringsforslag foreslår, at genbrugsmaterialers samlede klimaaftryk indregnes om 0 set over alle livscyklusfaserne (Høringssvar).

Lige nu kører Aarhus Kommune med en håndfuld pilotprojekter, hvor klimabelastningen fra genbrug indregnes efter denne betragtning som 0. Dette kræver dog en ekstra beregning, da den ene LCA-beregning skal laves efter BR18-metoden. DGNB anviser en anden metode til betragtning af genbrugsmaterialer i LCA-beregninger. Her skal indkøbte genbrugsmaterialer regnes som 10 % af udledningen for et nyt tilsvarende materiale, såfremt der ikke er

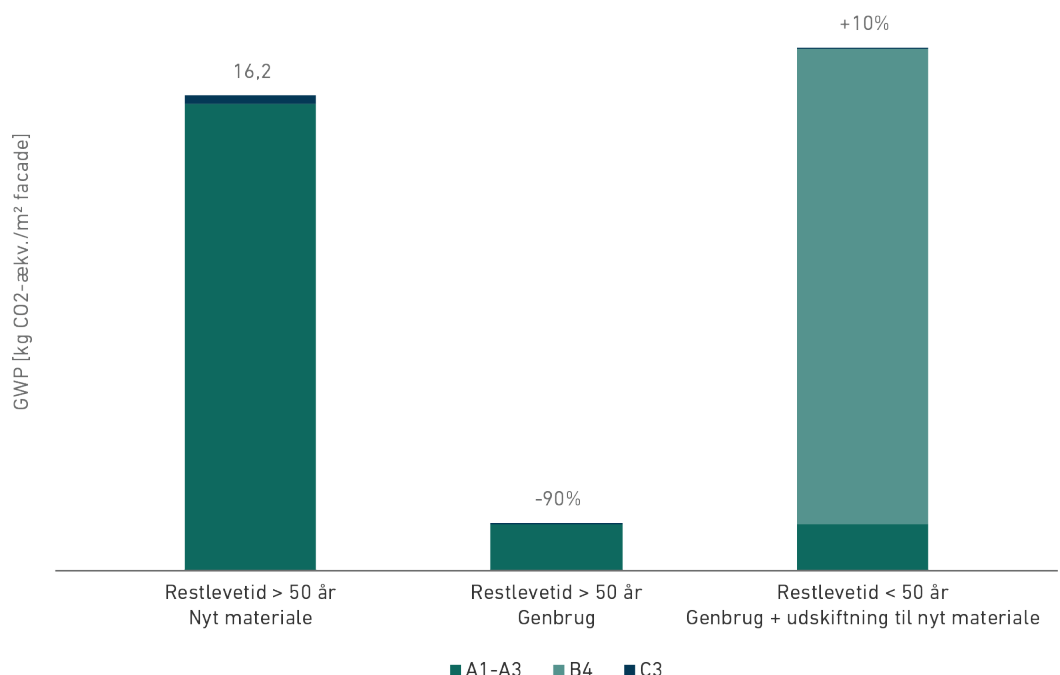
en EPD på det specifikke genbrugsmateriale. Hvis der er tale om direkte genbrug på byggegrunden (typisk ved renovering) er materialet 'gratis' og vil være gratis resten af materialets levetid.

Genbrug af CO<sub>2</sub>-tunge byggevarer med lang levetid, eksempelvis betonelementer (huldæk, vægge mm.), mursten, teglsten, fibercementplader osv. rummer et stort potentiale. Disse materialer vil potentielt kunne bidrage til betydelige CO<sub>2</sub>-besparelser i byggeriet, hvis adskillelse indtænkes i projektet, så andre projekter i fremtiden ville kunne få gavn af materialerne (se håndbog om affaldsforebyggelse i byggeriet - [Link](#)).

I forbindelse med brug af genbrugsmaterialer skal der rettes opmærksomhed på restlevetiden. Hvis eksempelvis DGNB-metoden anvendes og teglsten genbruges fra et andet byggeri, hvor restlevetiden er kortere end referenceperioden på 50 år,

Figur 2.

CO<sub>2</sub>-aftrykket pr. m<sup>2</sup> facade for genbrugsskærmtegl med forskellige restlevetider efter DGNB-metoden.





så skal teglstenene – rent beregningsteknisk – udskiftes f.eks. efter 30 år. Således forsvinder CO<sub>2</sub>-besparelsen, hvilket er visualiseret i Figur 2. Hvis restlevetiden er over 50 år, vil der til gengæld være et signifikant CO<sub>2</sub>-besparelspotentiale ved brug af genbrugsmaterialer.

I forbindelse med brug af genbrugsmaterialer bør der tages en tidlig dialog med projektets entreprenører for at sikre afklare og sikre garantier på materialerne. Herudover bør bygherre undersøge, hvordan man er stillet ift. forsikringer ved brug af genbrugsmaterialer. Genbrugsmaterialer rummer dog et betydeligt CO<sub>2</sub>-besparelspotentiale, men skal ikke bruges blindt.

For at belyse konsekvensen af forskellige metodetilgange til betragtning af genbrugsmaterialer er der taget udgangspunkt i daginstitutionen Høiriisgårdsvej, hvor

CO<sub>2</sub>-aftrykket på bygningsniveau er regnet efter 3 forskellige metodetilgange:

- BR18-metoden – genbrugsmaterialer betragtes som nye, generiske materialer.
- BR18-metoden (høringsforslag til 2024) – genbrugsmaterialer betragtes som nul-udledning set over materialets livscyklus.
- Anvendt metode i disse publikationer – klimabelastningen fra endt levetid (C3-C4) medregnes alene. For biobaserede genbrugsmaterialer regnes det biogene karbon negativt i A1-A3 for at sikre, at det biogene karbon er i balance (se publikation 1 for uddybning).



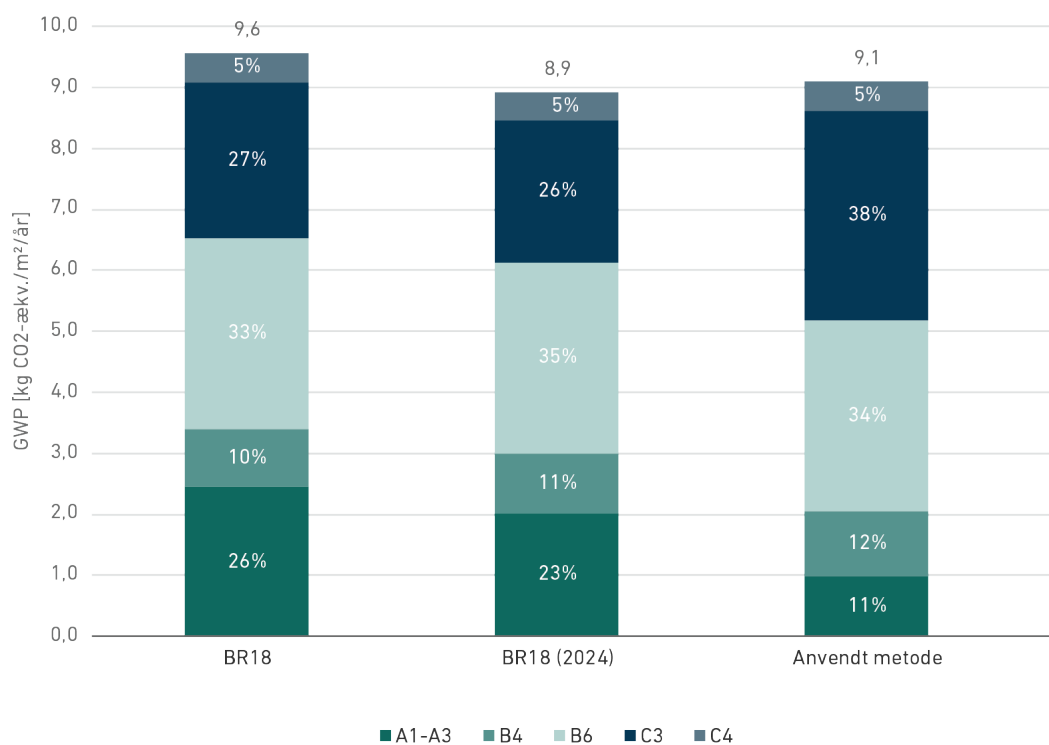
I Figur 3 vises klimaaftrykket opdelt på modulniveau for de 3 forskellige metode tilgange. Det observeres, at BR18-metoden viser det højeste CO<sub>2</sub>-aftryk, mens BR18-metoden (høringsforslag til 2024) viser det mindste klimaaftryk. Den anvendte metode i disse publikationer, som forsøger at afspejle den reelle CO<sub>2</sub>-udledning til atmosfæren, placerer sig i midten lidt højere end BR18 (2024) metoden. Tallene understreger,

at selvom der kun er genanvendt en mindre andel af materialer på Høiriisgårdsvej, så forøger BR18-metoden alligevel det dokumenterede CO<sub>2</sub>-aftryk med 0,5-0,7 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år på bygningsniveau.

I forhold til fordelingen af CO<sub>2</sub>-aftrykket på modulniveau, så adskiller den anvendte metode i disse publikationer sig væsentligt fra de andre.

Figur 3.

Sammenligning af CO<sub>2</sub>-aftrykket på bygningsniveau med forskellige metode-tilgange til indregning af genbrugsmaterialer. Der er taget udgangspunkt i daginstitutionsprojektet Høiriisgårdsvej.





## 4. Isoleringsmaterialer

Valg af isoleringsmateriale er en tværfaglig opgave, hvor perspektiver bl.a. ift. energi, akustisk, brand og klima bør inddrages i beslutningsprocessen. Dette afsnit fremhæver nogle af de tværfaglige overvejelser i det fælles arbejde mod et lavere klimaaftryk.

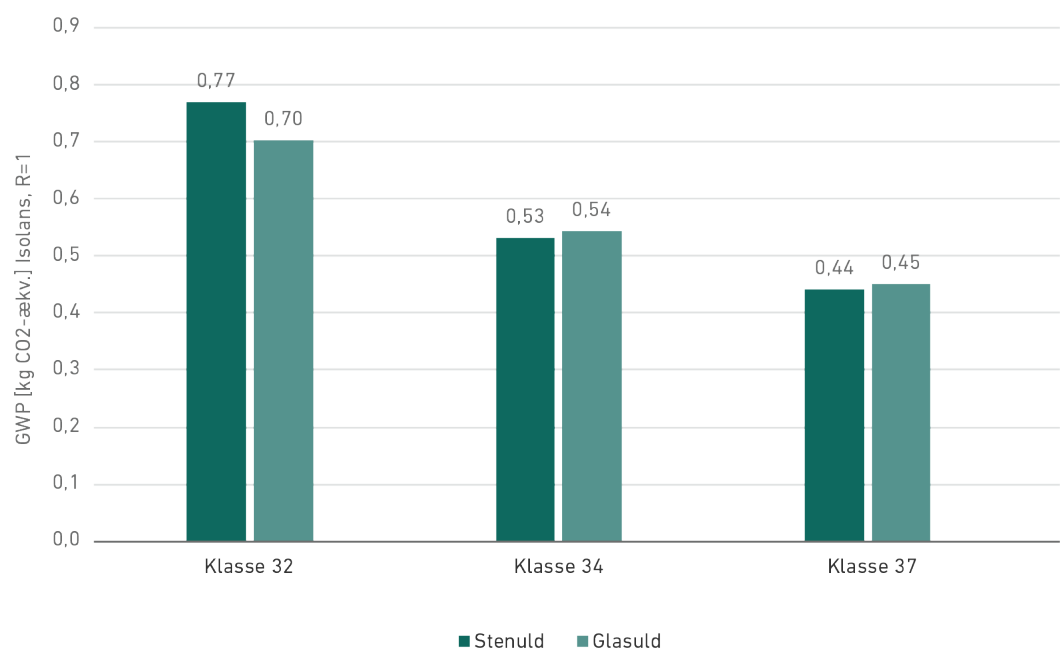
I forhold til isoleringsklassen vil en lavere varmeledningsevne betyde mindre materiale mængdemæssigt for at opnå den samme isolans (R). Et lavere materialeforbrug er typisk lig med en klimagevinst, men fremstilling af materialer med lave

lambda-værdi koster ofte på CO<sub>2</sub>-aftrykket i selve fremstillingsfasen. Det er derfor i nogle tilfælde mere hensigtsmæssigt i et klimaperspektiv at benytte materialer med en højere varmeledningsevne (isoleringsklasse), hvilket er visualiseret i Figur 4.

For både stenulds- og glasuldsprodukter viser en isoleringsklasse 37 (svarende til en varmeledningsevne på 0,037 W/mK) de laveste klimaaftryk ved samme isolans, på trods af et større volumenforbrug af isoleringsmaterialet. Det er derfor vigtigt at sammenligne f.eks. isoleringsmateriale

Figur 4.

Sammenligning CO<sub>2</sub>-aftrykket for sten- og glasuld med forskellige isoleringsklasser med en isolans på 1 m<sup>2</sup> K/W. Det kræver 37 mm til for isoleringsklasse 37 til at opnå R = 1 m<sup>2</sup> K/W.





på samme performance. Hvis der er plads til isoleringsmaterialet, bør man generelt vælge den høje isoleringsklasse for at minimere klimaaftrykket.

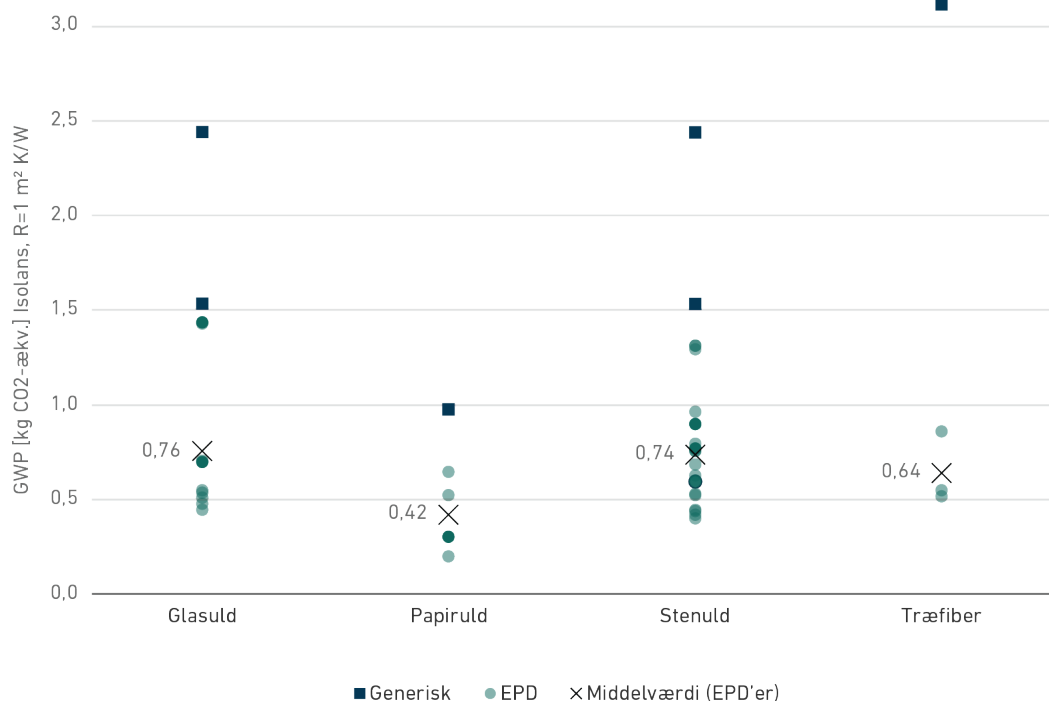
Ved valg af isoleringsmateriale findes der en lang række isoleringsprodukter på markedet. De største kategorier er glasuld, stenuld, papiruld og træfiber indenfor bløde batts og løsfyld. I Figur 5 er forskellige isoleringsprodukter sammenlignet ift. til deres CO<sub>2</sub>-aftryk ved samme isolans (R) på 1 m<sup>2</sup> K/W. Alle isoleringsprodukterne er minimum brandklasse D-s2,d2, og kan derfor

anvendes i 1 etages daginstitutioner. Figur 5 viser en relativ stor spredning både indenfor og på tværs af produktkategorierne, hvor det laveste CO<sub>2</sub>-aftryk kan opnås ved brug af papiruld (data fra 04-2023).

Ved brug af biobaserede produkter som eksempelvis papiruld og træfiber sker der desuden en forskydning af CO<sub>2</sub>-udledningen, hvor udledningen primært sker i C-modulerne (år 50) i stedet for i produktionsfasen A1-A3 (år 0), som er gældende for mere traditionelle produkter som eksempelvis glas- og stenuld.

Figur 5.

Sammenligning af CO<sub>2</sub>-aftrykket for forskellige isoleringsmaterialer med en isolans på 1 m<sup>2</sup> K/W.



## 5. Isoleringsniveau i et LCA-perspektiv

Typisk fastsættes isoleringsniveauer på baggrund af energiperspektivet, men ved også at betragte LCA-perspektivet er det muligt at se mere holistisk på det. I henhold til BR18-metoden for bygnings-LCA afhænger det optimale isoleringsniveau i et klimaperspektiv af forholdet mellem indlejret CO<sub>2</sub> (modul A1-A3, B4, C3 og C4) og drifts-CO<sub>2</sub> (modul B6). Dette forhold betragtes ved at undersøge, om det ekstra materialeforbrug ("upfront") betaler sig CO<sub>2</sub>-mæssigt hjem over en 50-årig referenceperiode med et lavere driftsforbrug. Det bør understreges, at valg af isoleringsniveau altid skal over-

holde Bygningsreglementets mindstekrav til U-værdier samt vurderes i forhold til energi- og transmissionstabsrammen. Disse krav er fastlagt nationalt for at sikre at vores energiforsyning er totaløkonomisk rentabel. Nedenstående analyser kan derfor bruges til optimering af klimaaftrykket op til energi- eller transmissionstabsrammen krav, herudover skal mindstekrav til U-værdier også altid overholdes.

I Figur 6 er isoleringsniveauet for en træ-kasseteydervæg (se skitse i Tabel 2) med papiruld undersøgt med to forskellige energimix for driften – henholdsvis ved benyttelse af emissionsfaktorer fra BR18 fjernvarme og de nye emissionsfaktorer fjernvarme (først gældende fra 2025).

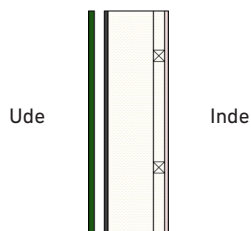
Det optimale isoleringsniveau i et klimaperspektiv går fra 745 mm med BR18 emissionsfaktorerne (U-værdi: 0,06 W/m<sup>2</sup> K) til 295 mm med de BR25 emissionsfaktorerne (U-værdi: 0,16 W/m<sup>2</sup> K), fordi omstillingen af fjernvarmeproduktionen til mere vedvarende energi er gået hurtigere end tidligere forventet.

Forholdet mellem materialeforbrug og driften for forskellige isoleringstyper og forskellige varmforsyninger er samlet i Figur 7 for en træ-kasseteydervæg (se skitse i Tabel 2). Det observeres, at det optimale isoleringsniveau varierer afhængigt af særligt energiforsyningen, men også isoleringstypen. Ved brug af de nuværende emissionsfaktorer fra fjernvarme BR18 er der en klimabesparelse ved at isolere

Tabel 2.

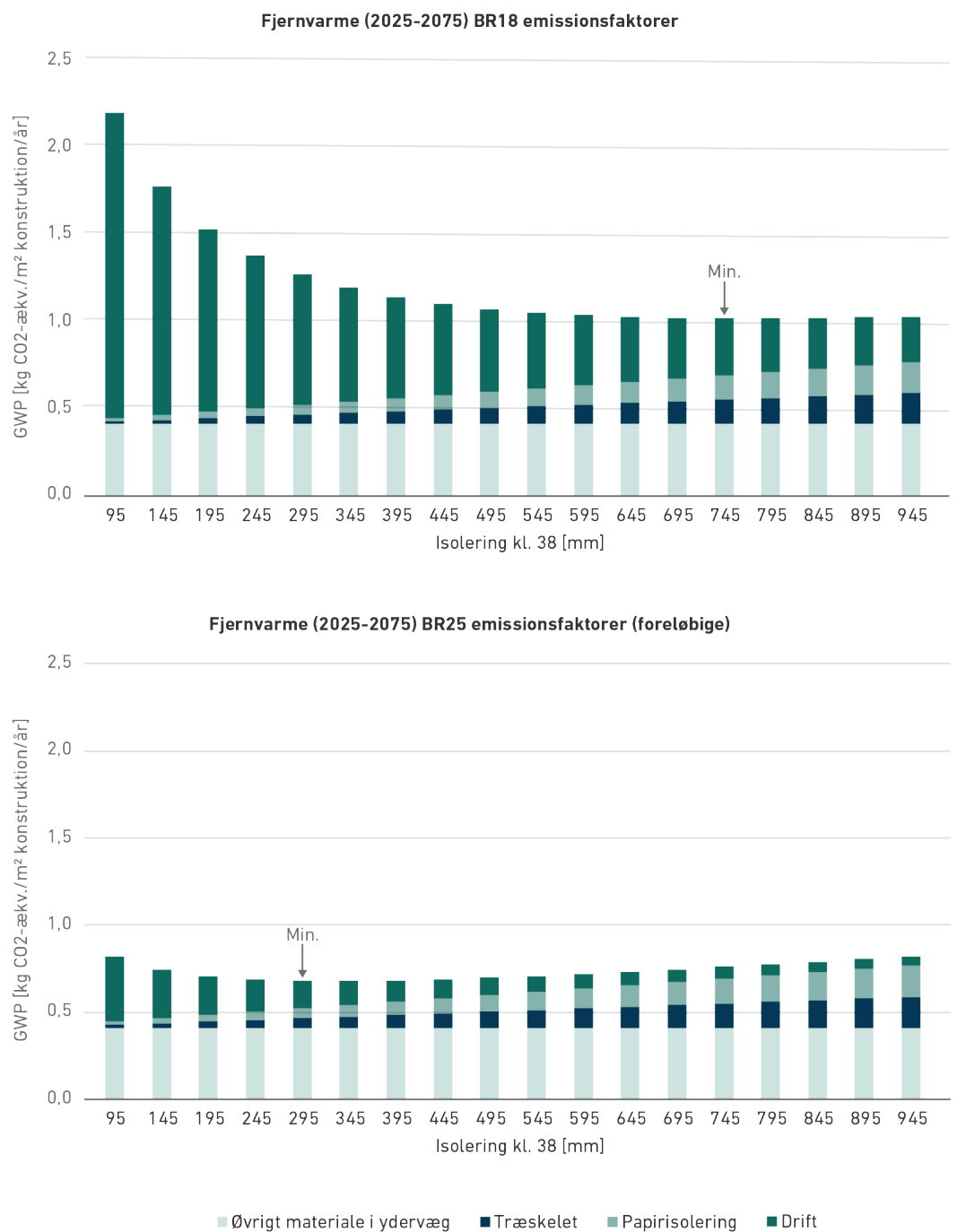
Ydervægsopbygning til trade-off analyse i figur 5.

Ydervæg - Trækassette	
	25 mm træbeklædning
	45 mm ventileret hulrum, afstandsprofiler pr. 600
	9 mm fibercementplade
	Tykkelse varieret: trækassette (20% træ) med isolering
	45 mm forskalling (8% træ) med mineraluld
	15 mm fibergips



Figur 6.

Trade-off analyse af materialeforbrug ift. drift for en trækasseteydervæg med papiruld. Figuren til venstre er med emissionsfaktorer fra BR18, mens figuren til højre er med de nye emissionsfaktorer gældende fra 2025.





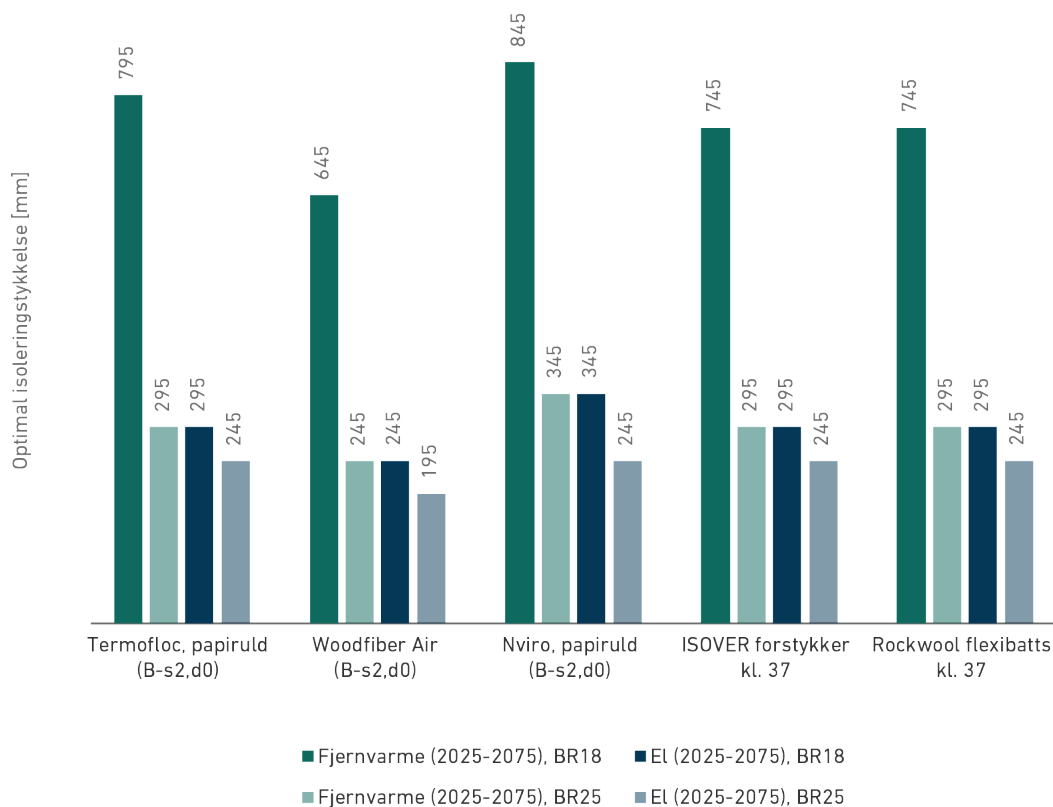
mere end de isoleringsniveauer som typisk anvendes i dag. Hvis der isoleres mere end gængs praksis, så skal der rettes opmærksomhed på et øget etageareal eller mindre nettoareal. Herudover kan øgede isoleringsniveauer have indflydelse på eksempelvis dagslystilgangen og potentielt resultere i større nødvendige vinduesarealer til overholdelse af mindstekrav. Der skal derfor altid laves en helhedsmæssig vurdering, når disse beslutninger tages.

Driftsforbruget er beregnet på baggrund af antal graddage i bilag 5 "Branchevejledning for energiberegninger vers. 2.0 - [Link](#)", hvilket betyder, at "rebound effekten" ikke er en del af vurderingen. Rebound effekten betyder, at den beregnede energibesparelse ikke altid opnås i virkeligheden, fordi brugerne af bygningen eksempelvis hæver indetemperaturen og veksler en del af besparelsen til øget komfort. Det emne som belyses i publikation 3.

Betragtes de nye emissionsfaktorer for fjernvarme (først gældende fra 2025) og de gældende emissionsfaktorer for el (varmepumpeløsning med SCOP på 3,5), så ligger det optimale isoleringsniveau på de niveauer som typisk anvendes i dag. Hvis de nye emissionsfaktorer for el (først gældende fra 2025) med en varmepumpeløsning (SCOP på 3,5) betragtes, er det CO<sub>2</sub>-mæssigt fordelagtigt at isolere mindre end normal praksis i dag. Det er igen vigtigt at understrege, at isoleringsniveauet altid skal overholde minimumskrav til U-værdier samt vurderes i forhold til energi- og transmissionstabsrammen.

Figur 7.

Det optimale isoleringsniveau i en trækassetteydervæg for forskellige isoleringsprodukter, med forskellige energiforsyninger og emissionsfaktorer. Termofloc (MD-22019-EN), Woodfiber (MD-22017-EN), Nviro (EPD-ECI-20200217-ICG1-DE), Isover (NEPD-2612-1324-EN), Rockwool (NEPD-3381-2002-EN).



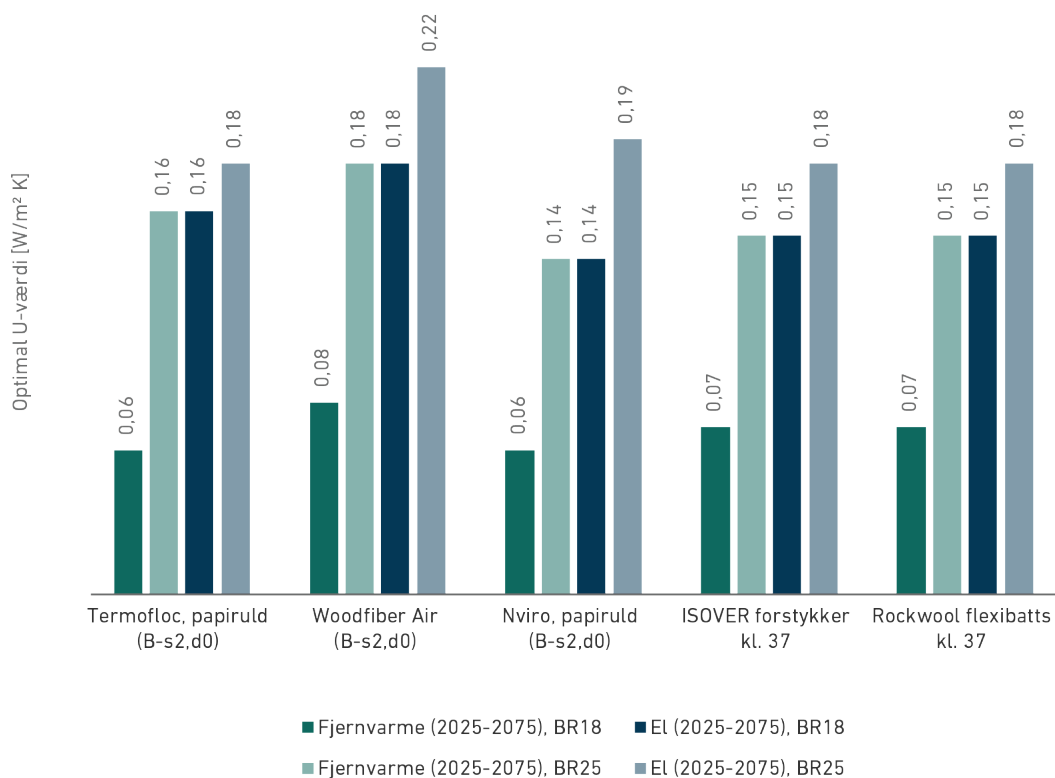
I Figur 8 er isoleringsniveauerne omregnet til U-værdier for at perspektivere til potentielle fremtidige U-værdier. Aarhus Kommune har i dag skærpede U-værdikrav i forhold til minimumskravene i BR18. Eksempelvis skal ydervægge have en U-værdi på maksimalt  $0,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , mens BR18 stiller et krav på  $0,30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Hvis de nuværende emissionsfaktorer for fjernvarme benyttes, så er de skærpede U-værdikrav i Aarhus Kommune acceptable i et klimaperspektiv, men fremadrettet giver de ikke mening, når isoleringsprodukter som findes i dag betragtes.

Ved brug af de nuværende emissionsfaktorer for fjernvarme giver det derfor klimamæssigt (jf. BR18 metoden) mening at isolere meget (dvs. opnå lave U-værdier), fordi emissionsfaktorerne er høje. Benyttes de nye emissionsfaktorer for fjernvarme, så bør vi isolere mindre (dvs. opnå højere U-værdier), fordi de nye emissionsfaktorer for fjernvarme forventer mere vedvarende energi end tidligere. Trade-offet mellem indlejret CO<sub>2</sub> (modul A1-A3, B4, C3 og C4) og drifts-CO<sub>2</sub> (modul B6) er derfor ændret.

Tilsvarende trade-off analyser er også lavet for en tung ydervæg, et terrændæk og en tagkonstruktion, hvor resultaterne er samlet i afsnit 5.1, 5.2 og 5.3. Skitser af konstruktionsopbygningerne fremgår også i afsnittende. De afledte effekter i forhold til f.eks. øget træmængde i tagkonstruktionen ved højere isoleringsniveauer er også medregnet. Generelt indikerer trade-off analyserne, at Aarhus Kommunes skærpede U-værdikrav bør revideres ud fra et klimaperspektiv.

Figur 8.

Den optimale U-værdi i en bygnings-LCA for en trækassetteydervæg for forskellige isoleringsprodukter, forskellige energiforsyninger og forskellige emissionsfaktorer. Termofloc (MD-22019-EN), Woodfiber (MD-22017-EN), Nviro (EPD-ECI-20200217-IC-G1-DE), Isover (NEPD-2612-1324-EN), Rockwool (NEPD-3381-2002-EN). BR18, mindstekrav ( $0,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ), Aarhus Kommune, skærpet krav ( $0,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ).





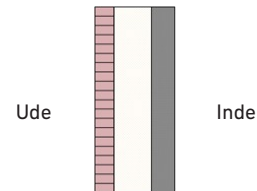


## 5.1 Ydervæg - Tung

Tabel 3.

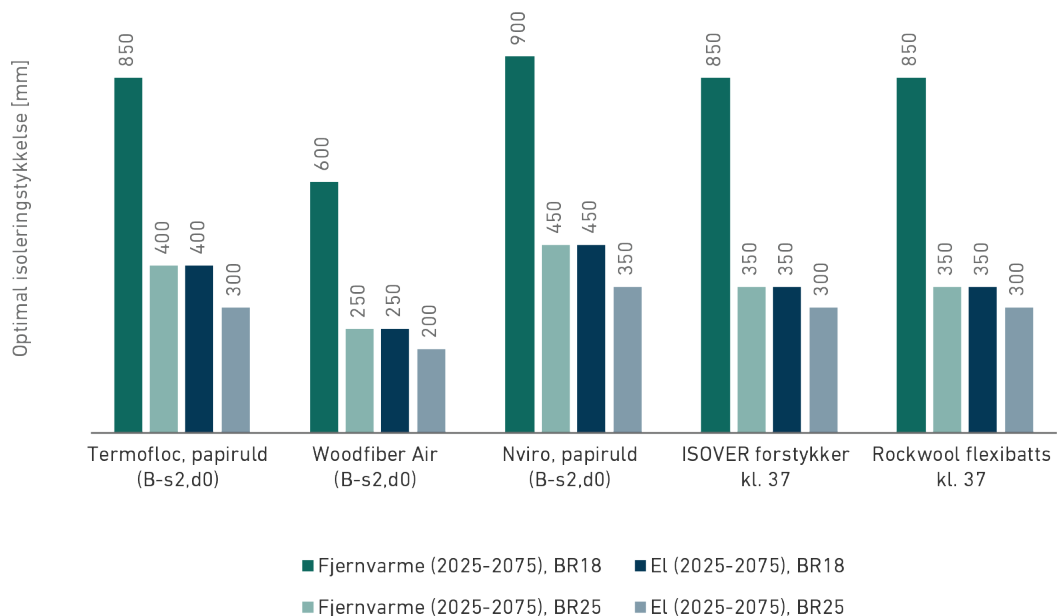
Ydervægsopbygning til trade-off analyse i figur 9 og 10.

Ydervæg - Tung
108 mm mursten
Tykkelse varieret - isolering
150 mm betolvæg med armering



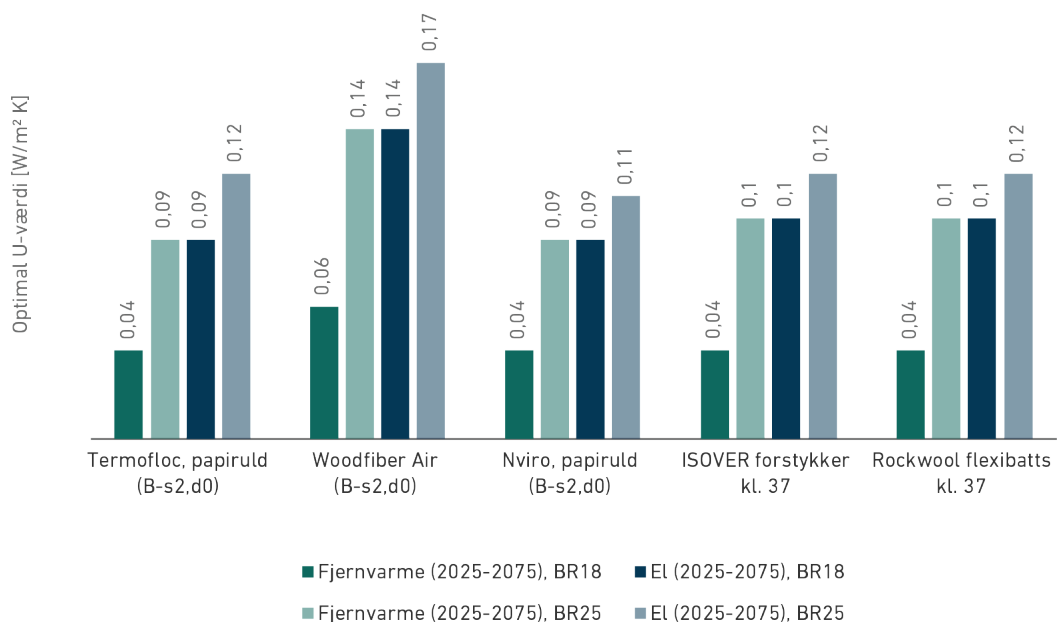
Figur 9.

Det optimale isoleringsniveau i en tungydervæg for forskellige isoleringsprodukter, med forskellige energiforsyninger og emissionsfaktorer. Termofloc (MD-22019-EN), Woodfiber (MD-22017-EN), Nviro (EPD-E-CI-20200217-ICG1-DE), Isover (NEPD-2612-1324-EN), Rockwool (NEPD-3381-2002-EN).



Figur 10.

Den optimale U-værdi i en bygnings-LCA for en tungydervæg for forskellige isoleringsprodukter, forskellige energiforsyninger og forskellige emissionsfaktorer. BR18, mindstekrav (0,3 W/m<sup>2</sup> K), Aarhus Kommune, skærpet krav (0,10 W/m<sup>2</sup> K).



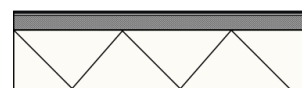
## 5.2 Terrændæk

Tabel 4.

Terrændæksopbygning til trade-off analyse i figur 11 og 12.

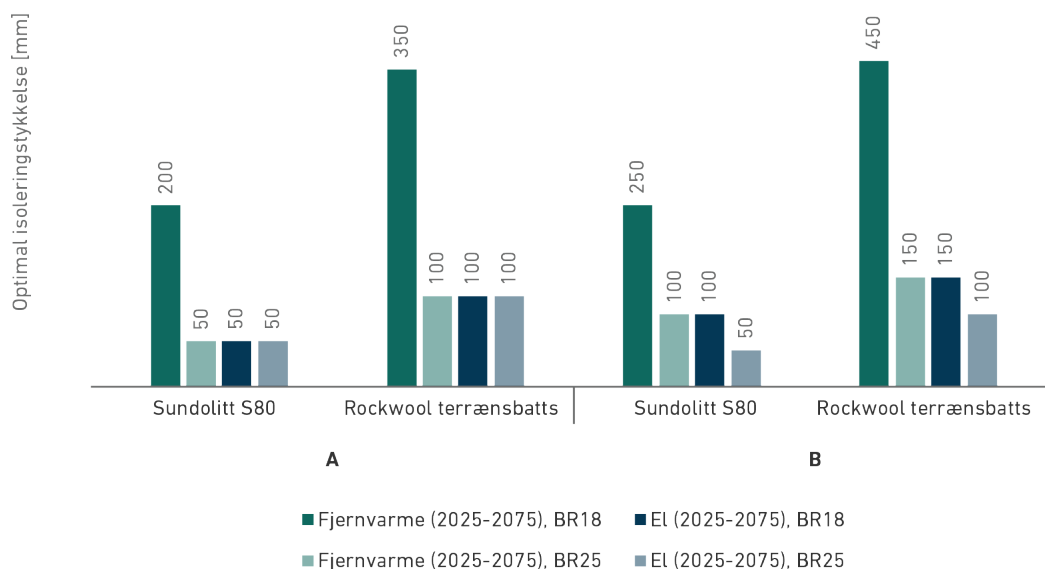
Terrændæk	
	2,5 mm linoleum
	3 mm lyddug
	0,2 fugtspærre
	100 mm beton med armering
	Tykkelse varieret – trykfast Isolering

Inde



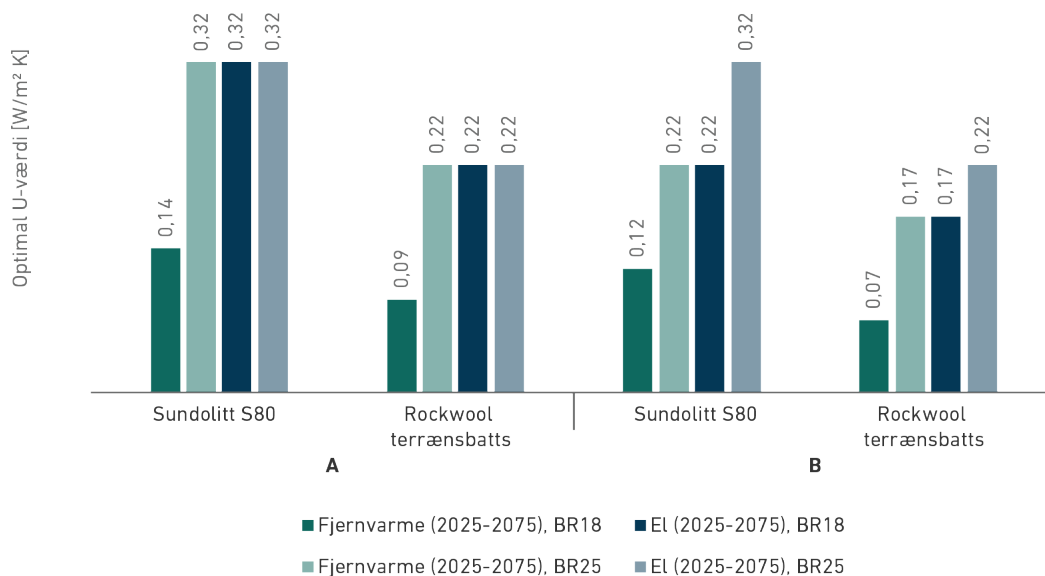
Figur 11.

Det optimale isoleringsniveau i terrændækket med (A) og uden (B) gulvvarme for forskellige isoleringsprodukter, med forskellige energiforsyninger og emissionsfaktorer. Rockwool (NEPD-3381-2002-EN), Sundolitt (MD-22132-EN).



Figur 12.

Den optimale U-værdi i en bygnings-LCA for terrændækket med (A) og uden (B) gulvvarme for forskellige isoleringsprodukter, forskellige energiforsyninger og forskellige emissionsfaktorer. BR18, mindstekrav (0,3 W/m<sup>2</sup> K), Aarhus Kommune, skærpet krav (0,10 W/m<sup>2</sup> K).

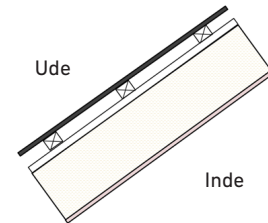


## 5.3 Tagkonstruktion

Tabel 5.

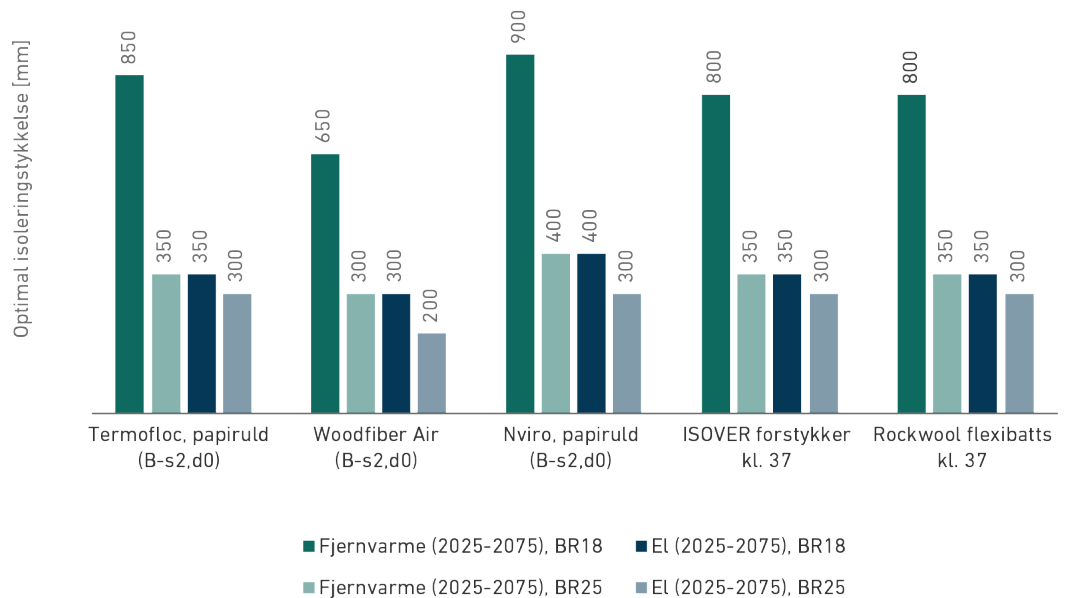
Tagkonstruktionsopbygning til trade-off analyse i figur 13 og 14.

Tagkonstruktion	
	0,6 mm ståltag
	45 mm ventileret hulrum, trælister pr. 450
	45 mm klemmeliste
	0,2 mm undertag
	Tykkelse varieret - trækassette med isolering
	0,2 mm dampspærre
	15 mm fibergips



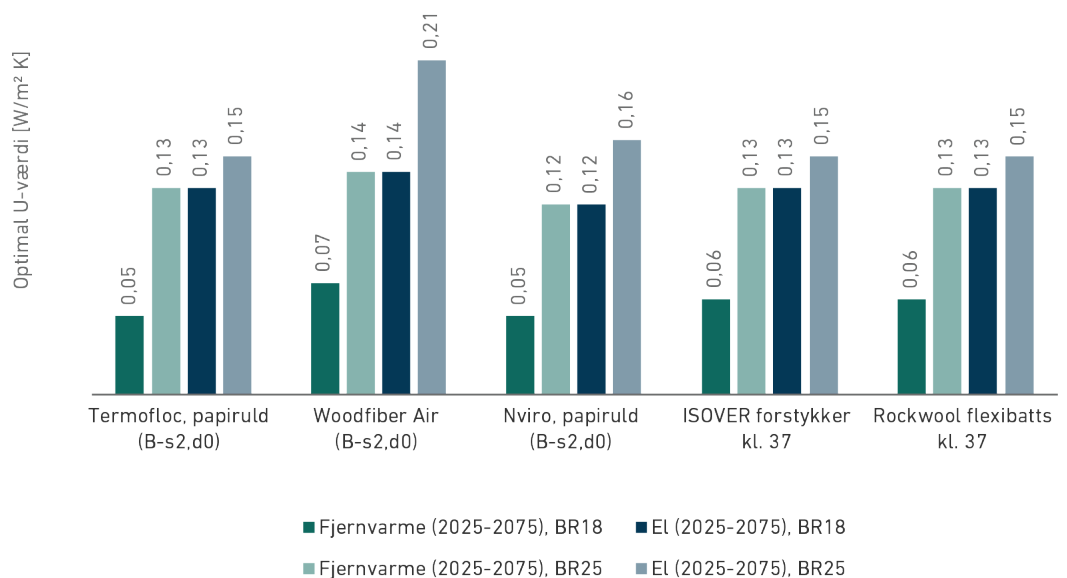
Figur 13.

Det optimale isoleringsniveau i en tagkonstruktion med forskellige isoleringsprodukter, med forskellige energiforsyninger og emissionsfaktorer. Termofloc (MD-22019-EN), Woodfiber (MD-22017-EN), Nviro (EPD-E-CI-20200217-ICG1-DE), Isover (NEPD-2612-1324-EN), Rockwool (NEPD-3381-2002-EN).



Figur 14.

Den optimale U-værdi i en bygnings-LCA for en tagkonstruktion med forskellige isoleringsprodukter, forskellige energiforsyninger og forskellige emissionsfaktorer. BR18, mindstekrav (0,3 W/m<sup>2</sup> K), Aarhus Kommune, skærpet krav (0,10 W/m<sup>2</sup> K).





## 6. Brand

Brandkrav for daginstitutioner er skærpede sammenlignet med eksempelvis enfamiliehuse, fordi daginstitutioner er placeret under anvendelseskategori 6, idet børn f.eks. skal have hjælp til at forlade bygningen i tilfælde af brand. For at overholde disse skærpede brandkrav nødvendiggør det ofte ekstra materialer, som både koster på CO<sub>2</sub>- og anlægsbudgettet.

Dette afsnit behandler nogle CO<sub>2</sub>-besparelspotentialer ved at placere bygningen i brandklasse 4 (BK4) i stedet for brandklasse 2 (BK2). De udarbejdede analyser er gennemset af en certificeret brandrådgiver i brandklasse 4 (BK4), men sikkerhedsniveauet vil altid i hvert enkelt tilfælde skulle dokumenteres gennem eksempelvis en risikoanalyse, komparativ analyse eller orienterende brandtest. Formålet med disse analyser er dog primært at gøre opmærksom på potentialer ved BK4.

Der tages udgangspunkt i projektet Maltingårdsvej, fordi den repræsenterer en

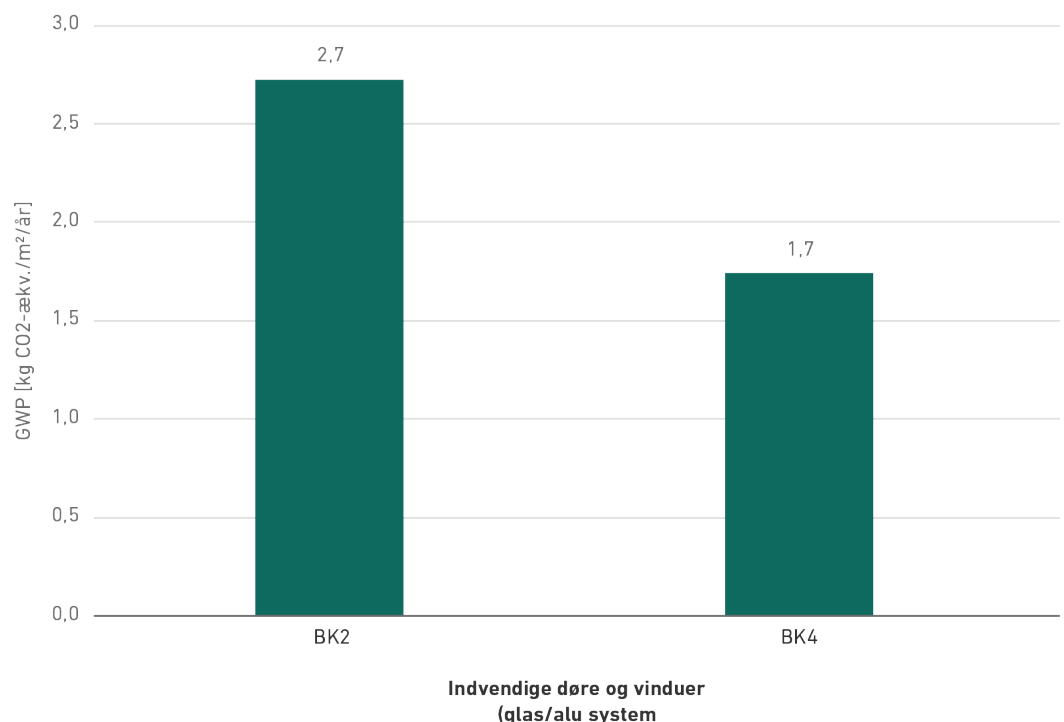
typisk et-plans daginstitution med bærende konstruktioner i træ, som er interessant idet byggesystemerne som udgangspunkt er mere udfordret ift. brandkravene.

En af de fremhævede potentialer er for indvendige vindue og døre, som for BK2 skal overholde et brandkrav på EI30, uanset om der er direkte adgang til det fri. I en BK3/BK4 vurderes dette krav at kunne sænkes til et ikke-klassificeret system, hvilket kan reducere klimaftrykket på konstruktionsniveau med 36 % (se Figur 15).

Et andet potentiale er identificeret for indervægge, hvor størstedelen af væggene skal overholde EI60 i BK2. Dette krav vurderes at kunne minimeres til EI30 for rum med vågne personophold og direkte adgang til det fri. I Tabel 6 er der taget udgangspunkt i indervægstyper med forskellige lydkrav.

Figur 15.

Sammenligning af CO<sub>2</sub>-besparelspotentialer på konstruktionsniveau ved at gå fra brandklasse 2 (BK2) til brandklasse 4 (BK4) for indvendige døre og vinduer (glas/alu system).



I den første sammenligning, for indervægge mellem opholdsrum og gangarealer, er der et CO<sub>2</sub>-besparelsepotentiale på 24 % på konstruktionsniveau, fordi fibergipsmængden kan reduceres fra 2x15 mm til 2x10 mm. Den anden analyse for indervægge mellem to opholdsrum af samme type viser et CO<sub>2</sub>-besparelsepotentiale på 10 %.

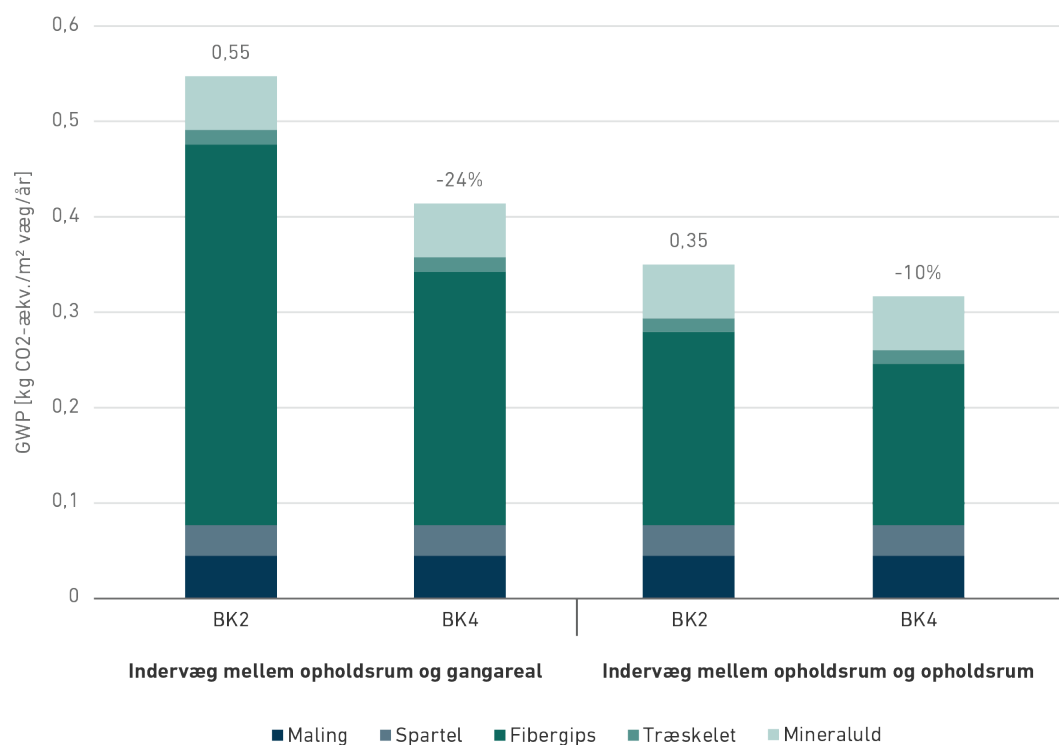
konvertering er naturligvis også forbundet med en øget udgift på rådgiversiden, fordi BK4-rådgivere er dyrere end BK2-rådgivere. Det bør vurderes fra projekt til projekt om materialebesparelserne kan modsvare den øgede rådgiverudgift. Den potentielle klimagevinst bør dog altid være en del af beslutningsgrundlaget.

Disse analyser illustrerer nogle muligheder ved at skifte brandklasse, men denne

Tabel 6.

Sammenligning af CO<sub>2</sub>-besparelsepotentiale på konstruktionsniveau ved at flytte et daginstitutionsprojekt fra brandklasse 2 (BK2) til brandklasse 4 (BK4) for indervægstyper med forskellige lydkrav.

Indervæg mellem opholdsrum og gangareal		Indervæg mellem to opholdsrum	
BK2	BK4	BK2	BK4
2 lag maling	2 lag maling	2 lag maling	2 lag maling
Spartel	Spartel	Spartel	Spartel
2x15 mm fibergips	2x10 mm fibergips	15 mm fibergips	12,5 mm fibergips
145 mm træskelet	145 mm træskelet	145 mm træskelet	145 mm træskelet
145 mm mineraluld	145 mm mineraluld	145 mm mineraluld	145 mm mineraluld
2x15 mm fibergips	2x10 mm fibergips	15 mm fibergips	12,5 mm fibergips
Spartel	Spartel	Spartel	Spartel
2 lag maling	2 lag maling	2 lag maling	2 lag maling



## 7. Lokalplanskrav

I de indledende faser af byggeriet bør lokalplanskravene altid undersøges, da disse godt kan have en styrende og ofte negativ konsekvens på klimaaftrykket. Det var eksempelvis tilfældet for Høiriisgårdsvej, hvor det først sent i processen kom på banen at Aarhus Kommune havde krav om en teglfacade i lokalplanen.

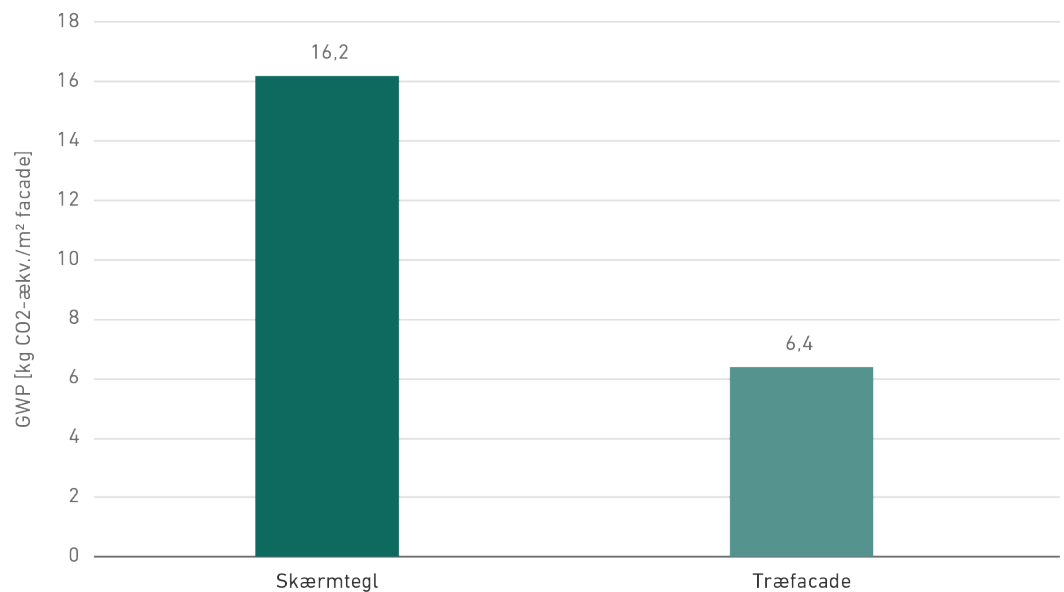
I Figur 16 er en teglfacade sammenlignet med en træfacade, hvor der potentielt er en klima-

besparelse på 10 kg CO<sub>2</sub>-ækv. pr. m<sup>2</sup> facade. På bygningsniveau svarer det til en potentiel CO<sub>2</sub>-besparelse på 0,1 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år.

Udover lokalplanskrav bør øvrige udfordrende forhold også identificeres i de indledende faser, som kan få betydelig indvirkning på klimaaftrykket herunder eksempelvis jordbundsforhold, særlige brand- og konstruktionsforhold m.m., hvilket også er fremhævet i Publikation 2.

Figur 16.

Sammenligning af CO<sub>2</sub>-aftrykket pr. m<sup>2</sup> facade for forskellige facadetyper.







## 8. Ekstrapolering af klimareduktion

Nøgletallene præsenteret i Publikation 3 viser, at hvis fremtidigt daginstitutionsbyggeri bygges efter samme principper som Mallinggårdsvej og Høiriisgårdsvej kan klimabelastningen potentielt reduceres med 2,6 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år i forhold til de undersøgte benchmark-byggerier. For at synliggøre størrelsesordenen af dette potentiale er der foretaget en ekstrapolering af klimareduktionen med udgangspunkt i, hvor meget daginstitutionsbyggeri der i gennemsnit bliver bygget i Aarhus Kommune. Potentialet er dog også relevant at betragte på landsplan, idet nærværende tværgående klimaanalyse også har stor aktualitet for alle landets kommuner mod at nedbringe klimabelastningen fra byggeriet.

Data fra Danmarks Statistik fremgår af Figur 17, som viser nybyg anvendt til daginstitutionsbyggeri opført efter 2015. Bygninger anvendt til daginstitutioner omfatter både bygninger til børnehaver, vuggestuer og fritidshjem. Figuren viser den akkumulerede mængde for perioden 2015 til 2022 og er

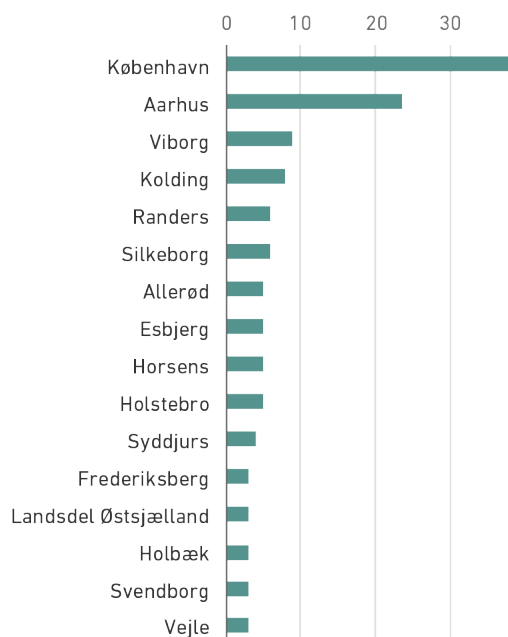
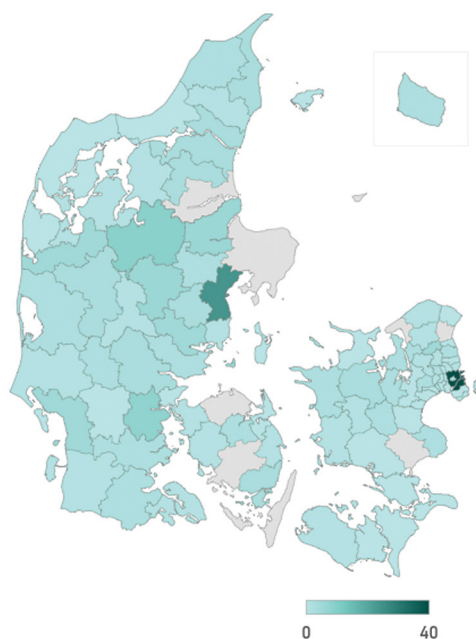
derfor en totalopgørelse pr. 1 januar 2022. For hele Danmark blev der i denne periode bygget 216.000 m<sup>2</sup> daginstitutionsbyggeri, hvoraf 25.000 m<sup>2</sup> fandt sted i Aarhus Kommune. Aarhus Kommune er således den kommune, som bygger næstmest nybyg af daginstitutioner, mens Københavns Kommune befinder sig på 1. pladsen.

Figur 18 illustrerer samme data fra Danmarks Statistik for daginstitutionsbyggeri opført efter 2015, men i stedet angivet pr. år for både Aarhus Kommune og Danmark total set [5]. Væsentligt er at betragte et fald i 2021 (som beskriver år 2020), hvilket formentlig har relationer til COVID-19's udbrud i Danmark og dertilhørende konsekvenser i byggesektoren.

Til ekstrapolering af den potentielle klimareduktion på både kommune- og landsplan er betragtningen lavet under forudsætning af, at der fremadrettet bygges med samme frekvens som gennemsnittet indikerer baseret på de seneste 5 år. I Aarhus Kommune

Figur 17.

Data fra Danmarks Statistik, som viser nybyg anvendt til daginstitutionsbyggeri opført efter 2015 (akkumuleret for perioden 2015-2022) [5]. Enhed: 1000 m<sup>2</sup> samlet etageareal. I denne periode er der således bygget i alt 25.000 m<sup>2</sup> daginstitutioner i Aarhus Kommune, hvilket placerer kommunen på en 2. plads.



bygges i gennemsnit 4.800 m<sup>2</sup> daginstitutionsbegygeri om året, mens gennemsnittet på landsplan er 35.600 m<sup>2</sup>. Nybyg anvendt til daginstitutioner i Aarhus Kommune udgør således ca. 13 % af hvad der i gennemsnit bliver bygget af daginstitutionsbegygeri i Danmark om året.

Med en klimareduktion på 2,6 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år er der et potentiale for at spare ca. 625 tons CO<sub>2</sub>-ækv. om året i Aarhus Kommune, hvis der fremadrettet fortsat bygges 4.800 m<sup>2</sup> pr. år.



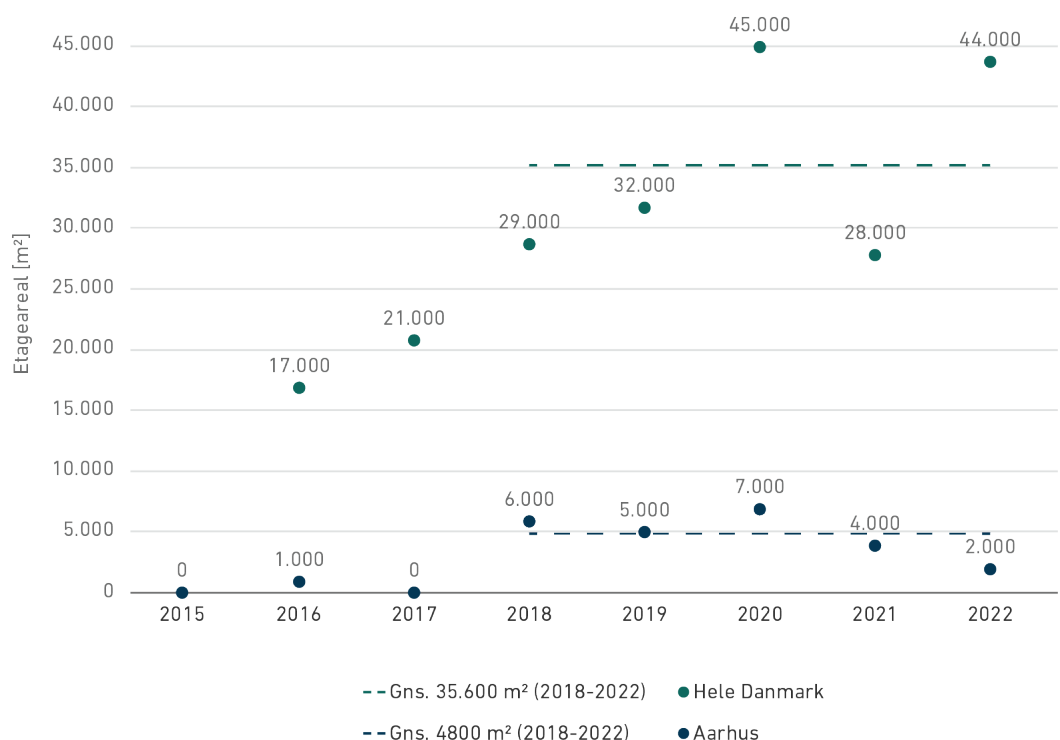
**Potentialet lyder på ca. 4.600 tons sparet CO<sub>2</sub>-ækv. om året på landsplan, hvis der fortsat bygges 35.600 m<sup>2</sup> om året.**

Data fra Danmarks Statistik viser, at der i gennemsnit blev opført 6.420.000 m<sup>2</sup> nybyg om året baseret på perioden 2018-2022. De 35.600 m<sup>2</sup> daginstitutionsbegygeri udgør således 0,6 % af alt nybyg, som i gennemsnit bliver opført om året. Selvom andelen ikke er stor, er der stadig potentiale for at spare CO<sub>2</sub> for denne bygningsanvendelse og ligeledes inspirere og genere viden som kan bruges i lignende bygningsanvendelser.

De to daginstitutioner (Mallinggårdsvej og Høiriisgårdsvej) demonstrerer derfor, at det er muligt at reducere klimabelastningen fra denne bygningsanvendelse. Analyserne præsenteret i Publikation 3 peger desuden på, at det er muligt at opnå yderligere klimabesparelser blot ved valg af specifikke materialer. Skærpede krav i udbud, øget vidensgrundlag om LCA, opmærksomhed på klimamæssig performance i processen, alternative konstruktionsopbygninger m.v. kan potentielt skabe yderligere reduktioner fremadrettet.

Figur 18.

Data fra Danmarks Statistik, som beskriver størrelsesordenen af nybyg anvendt til daginstitutioner opført efter 2015 i hhv. Aarhus Kommune og Danmark samlet set [5]. Der er tale om en årlig opgørelse pr. 1 januar.







Publikation 7

# Byggeproces (A4 og A5)



BØRN OG UNGE  
Aarhus Kommune





## 1. Indledning

Formålet med denne publikation er sætte fokus på klimaaftrykket fra byggeprocessen (modul A4 og A5), som er en del af den frivillige bæredygtighedsklasse. Publikationen forsøger blandt andet at stille skarp på, hvor meget disse faser udgør af det samlede klimaaftryk og hvordan de kan estimeres i de indledende faser.

Der tages udgangspunkt i Mallinggårdsvej, som har opgjort klimaaftrykket fra modul A4 og A5 i forbindelse med udførelsen af projektet. Lokesvej og Høiriisgårdsvej er ikke i udførsel endnu, hvorfor det ikke har været

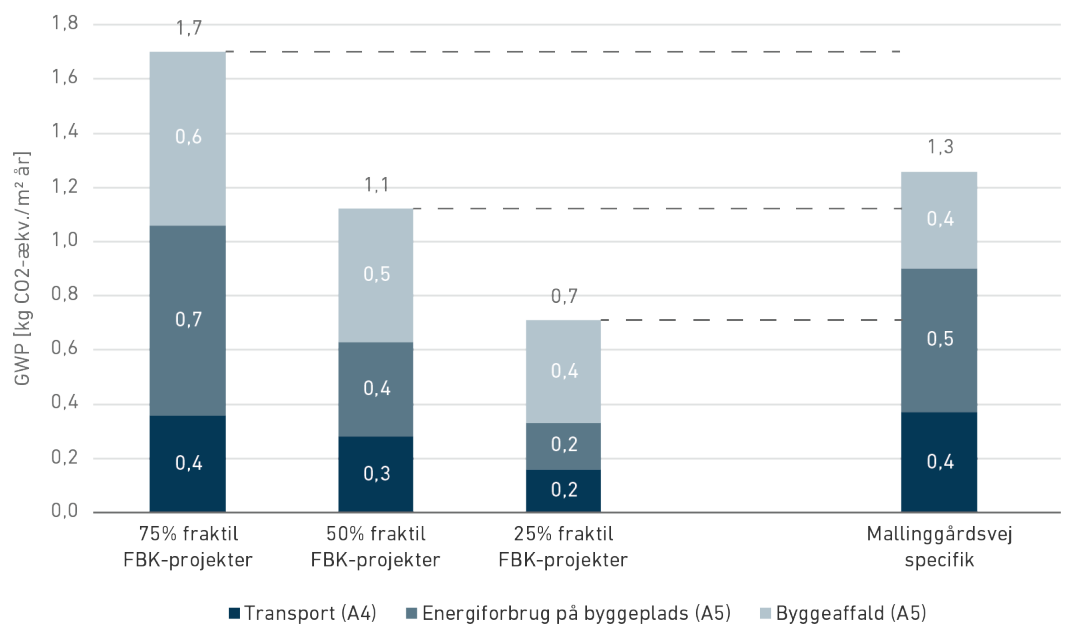
muligt at inddrage dem i analyserne. Data fra Mallinggårdsvej bliver perspektiveret til BUILDs foreløbige resultater om ressourceanvendelse på byggepladsen, som er en opsamling på tværs af forskellige bygningstypologier fra den frivillige bæredygtighedsklasse.





Figur 1.

Sammenligning af BUILDs foreløbige resultater om A4 og A5 i forhold til opgørelsen fra Mallinggårdsvej.





BUILDs foreløbige FBK-opsamlingsresultater fra foråret 2023 af modul A4 og A5 er sammenlignet med opgørelsen fra Mallinggårdsvej i Figur 1. Det observeres, at 50 % fraktilen for A4 og A5 på tværs af bygningstypologierne ligger på 1,1 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år, mens det for Mallinggårdsvej ligger på 1,3 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år, hvilket er 18 % højere end 50 % fraktilen. Det er primært transporten og energiforbruget på byggepladsen, som bidrager til at Mallinggårdsvej ender over 50 % fraktilen, mens mængden af materialespild er reduceret ift. 50 % fraktilen. Generelt viser de tre fraktiler en stor spredning mellem de undersøgte FBK-projekter, hvilket indikerer både et stort forbedringspotentiale, men samtidigt en potentiel klimasynder, hvis man ikke er opmærksom på A4 og A5.

Der bør pointeres at dokumentation af A4 og A5 stadig er meget nyt, hvorfor at data usikkerhed også kan være en del af forklaringen på den store spredning. Har man f.eks. været dårlig til at registrere alt ressourceforbrug på byggepladsen, så vil det kunne give indtryk af et mere klimavenligt byggeri. BUILD har i deres arbejde forsøgt håndtere dette ved at opkvalificere data, men der vil forventeligt stadig være et mørketal.

For Mallinggårdsvej er der lavet en opgørelse af materialespild og transport af byggevarerne i Tabel 1. De øvrige byggevarer anvender generiske værdier jf. FBK (10 % spild og 500 km transport med standard lastbil). Byggevarerne i Tabel 1 udgør 60 % af Mallinggårdsvej samlede vægt, hvor fabriksbetonen alene udgør de 50 %. Dette illustrerer, at man ved opgørelse af spild og transport for relativt få materialer, kan tegne et indledende billede af klimaaftrykket fra A4 og A5 for det pågældende byggeri.

Det bemærkes, at transportafstandene for Mallinggårdsvej altid er 500 km eller mindre. Særligt de 21 km for konstruktionstræ vurderes i den lave ende, når der sammenlignes med BUILDs rapport 2023:10 "Klimapåvirkning fra 45 træbyggerier", hvor transporten er opgjort til 600 km i lastbil + 170 km på skib for konstruktionstræ. Det bør generelt være et opmærksomhedspunkt fremadrettet at sikre transparent og overskuelig opgørelse, for at sikre en god kvalitets-sikringsproces.

Betydningen er undersøgt i Figur 2, hvor inddragelse af modul A4 og A5 hæver det samlede klimaaftryk med 15 % for Malling-

Tabel 1.

Spildprocent og transportafstand med standard lastbil for specifik opgjorte materialer på Mallinggårdsvej.

Byggevarer	Spild	Transport
Vinduer og døre	0 %	500 km*
Pumper, radiatorer, veksler og aggregat	0 %	500 km*
Konstruktionstræ	3-5 %	21 km
EPS-isolering	1 %	500 km*
Fabriksbeton	1,5 %	153 km

\* ikke opgjorte værdier, derfor er der anvendt standardværdier.

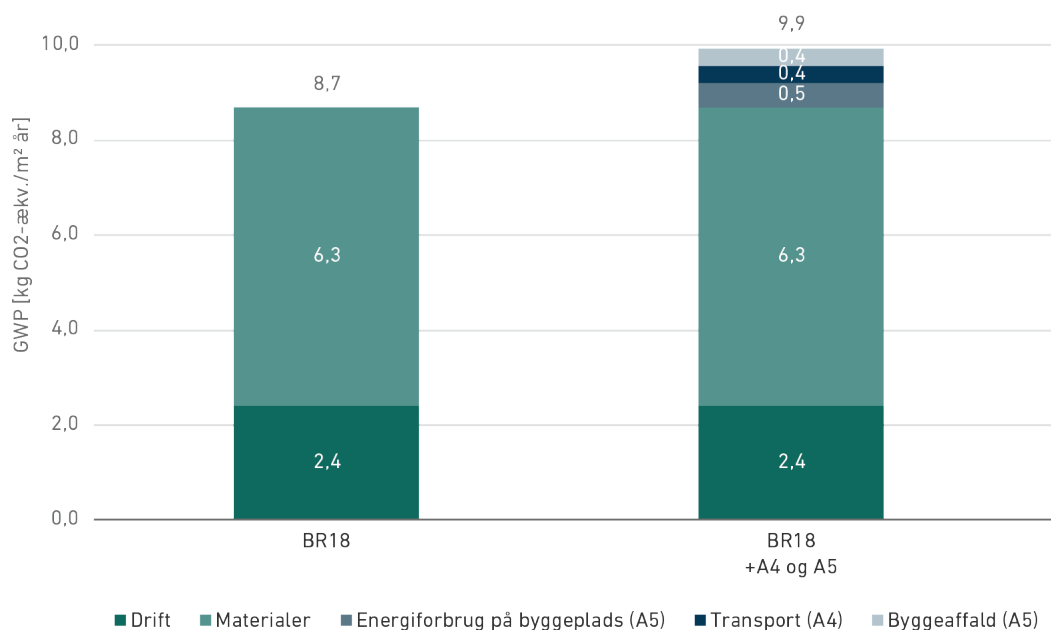
gårdsvej. Ressourceanvendelse på byggepladsen spiller altså en betydelig rolle ift. det samlede klimaaftryk, hvilket tydeliggør at fremtidig inddragelse af A4 og A5 er afgørende for at minimere performance-gap mellem beregnet og faktisk klimaaftryk (se Publikation 3 – LCA nøgletal). Tallene understreger desuden vigtigheden af at præcisere metodetilgangen til projektet, eksempelvis om A4 og A5 indgår i klimakravet/-målsætningen eller ej. For Høiriisgårdsvej er klimakravet på 8,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år defineret for A1-A3, B4, B6 og C3-C4. Kravet er altså eksklusivt bidraget fra A4 og A5, men modulerne skal dog afrapporteres til FBK. På sigt bør der dog stilles krav til A4-A5, men indtil videre kan opgørelserne bidrage til at synliggøre størrelsesordenen af klimaaftrykket fra A4 og A5. I tillæg bør det nævnes, at betydningen fra A4-A5 potentielt vil få en større betydning fremadrettet i takt med at vi nedbringer klimaaftrykket fra de øvrige moduler. Det kræver derfor også udvikling og rådgivning indenfor disse moduler ift. at nedbringe CO<sub>2</sub>-aftrykket fremadrettet.

En af udfordringerne ved modul A4 og A5 er at estimere dem i de indledende faser af byggeriet, men i takt med at der udvikles et

større vidensgrundlag i branchen forventes estimerne at blive bedre. Udfordringen kan til gengæld være, at udviklingen i branchen f.eks. nye teknologier til minimering af ressourceforbruget går så stærkt, at tallene hele tiden både er forsinkede og hurtigt bliver forældede. I de indledende faser kan det være en mulighed at læne sig op ad 75 % fraktilen og dermed indregne et konservativt bidrag. Alternativt kan der benyttes generiske værdier for materialespild og transport, hvor den frivillige bæredygtighedsklasse foreskriver, at der ved ukendt spilmængde skal antages 10 % spild og ved ukendt transportafstand skal der anvendes 500 km med en standard lastbil.

Figur 2.

Klimaaftrykket for Mallinggårdsvej efter BR18-metoden med og uden modul A4 og A5. Udearealerne er ikke en del af beregningen.









I Figur 3 er en specifik opgørelse (dog stadig med flere generiske antagelser) sammenlignet med en 100 % generisk opgørelse, hvor den generiske opgørelse viser et konservativt billede. Ved den generiske opgørelse stiger klimaaftrykket med 69 % ift. den specifikke opgørelse. Energiforbruget på byggepladsen skal dog estimeres på baggrund af erfaringstal.

Resultaterne viser generelt, at inddragelse af byggeprocessen (A4 og A5) kan hæve klimaaftrykket i betydelig grad, hvilket bør indtænkes i forhold til fremtidige klimakrav. Ambitionsniveauet for modul A4 og A5 bør tilpasses det enkelte projekt iht. størrelse, budget o.lign.

Erfaringerne fra BUILD indikerer, at LCA-modulerne A4 og A5 udgør 10-15 % af bygningernes samlede klimapåvirkning. De fleste byggerier har en klimapåvirkning, uden A4 og A5, på 8-12 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år. Det betyder, at spændet for klimapåvirkningen fra byggeprocessen (A4-A5) ofte ligger i størrelsesordenen af 0,8 til 1,6 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år.

Baseret på BUILDs erfaringer og Aarhus Kommunes egne erfaringer med A4 og A5

kan ambitionsniveauet som tommelfingerregel inddeles i 3 grænseværdier:

- **"business as usual"**  
Max. 1,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år
- **"nu skal du tænke dig om"**  
Max. 1,0 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år
- **"imponerende"**  
Max. 0,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år

For klimaambitiøse projekter, der arbejder med eldrevne maskiner og værktøjer frem for forbrændingsmotor, samt lette byggematerialer og aktiv forebyggelse af materiale-spild på byggepladsen, vil et klimaaftryk på 0,5-0,7 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år for A4 og A5 ikke være urealistisk. Det kræver dog en aktiv entreprenør i processen.

Figur 3.

Sammenligning af klimaaftrykket ved specifik og generisk opgørelse af modul A4 og A5. Den generiske opgørelse bygger på 10 % spild for byggevarerne og 500 km transport med en standard lastbil.

