

BUILD RAPPORT 2021:27

KLIMAPÅVIRKNING FRA 20 TRÆBYGGERIER

LCA PÅ EKSISTERENDE TRÆBYGGERIER





KLIMAPÅVIRKNING FRA 20 TRÆBYGGERIER

LCA PÅ EKSISTERENDE TRÆBYGGERIER

Camilla Ernst Andersen, Liv Kristensen Stranddorf, Alexandra Wittchen, Freja Nygaard Rasmussen, Harpa Birgisdóttir

BUILD rapport 2021:27
BUILD, Aalborg Universitet
2021

TITEL	KLIMAPÅVIRKNING FRA 20 TRÆBYGGERIER
UNDERTITEL	LCA PÅ EKSISTERENDE TRÆBYGGERIER
SERIETITEL	BUILD rapport 2021:27
FORMAT	Digitalt
UDGIVELSEÅR	2021
UDGIVET DIGITALT	November 2021
FORFATTER	Camilla Ernst Andersen, Liv Kristensen Stranddorf, Alexandra Wittchen, Freja Nygaard Rasmussen, Harpa Birgisdóttir
SPROG	Dansk
SIDETAL	50
LITTERATURHENVISNINGER	Side 35-36
EMNEORD	LCA, træbyggeri, bygningscases, CO2 grænseværdier, bæredygtighed, dokumentation
ISBN	978-87-563-2013-9
ISSN	2597-3118
LAYOUT	Camilla Ernst Andersen
GRAFER / ILLUSTRATIONER	Camilla Ernst Andersen / Liv Kristensen Stranddorf
OMSLAGSILLUSTRATION	Alexandra Wittchen
UDGIVER	Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post build@build.aau.dk www.anvisninger.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

FORORD

Bæredygtighed og fokus på at reducere det globale klimaaftryk er et centralt emne i dagens samfund. Der er i stigende grad fokus på at reducere klimapåvirkningen fra materialer anvendt i byggeriet som et supplement til at nedbringe driftsenergien fra bygningerne. I den sammenhæng fokuseres der i høj grad på træ og andre biobaserede byggematerialers potentiale for at reducere klimapåvirkninger fra bygninger. Det skyldes træets evne til at lagre kulstof under vækst indtil nedbrydning ved endt levetid.

Denne rapport undersøger potentialet for brug af træ i byggeriet til at reducere bygningers klimapåvirkning. Rapporten er en del af forskningsprojektet *Dokumentations- og forskningsindsats – Klima og miljø ved anvendelse af træ i byggeriet* støttet af Villumfonden, hvis overordnede formål er at redegøre for klima og miljøpåvirkninger ved forskellig brug af træ i byggeriet. Som tillæg til projektet har Realdania givet støtte til indhentning af data og erfaringer på en række bygningscases. Dette er sket i samarbejde med arkitekter, ingeniører og bygningskonstruktører fra tegnestuerne Lendager Group, Tegnestuen Vandkunsten, Arkitema Architects og C.F. Møller Architects, og vi takker for deres tid og arbejde. Nærværende rapport omhandler resultater fra livscyklusvurderinger på de første 20 bygningscases fra de pågældende tegnestuer, hvor erfaringerne fra er beskrevet i rapporten *Erfaringer fra 20 træbyggerier – Eksisterende byggerier i 2021*. Dataindsamlingen fortsætter herefter gennem 2022 for at udbygge datagrundlaget. Rapporten er udarbejdet af BUILD i 2021 af Camilla Ernst Andersen, Liv Kristensen Stranddorf, Alexandra Wittchen, Freja Nygaard Rasmussen og Harpa Birgisdóttir.

BUILD – Institut for Byggeri, By og Miljø (tidl. SBI), Aalborg Universitet København Sektionen for Bæredygtighed, Energieffektivitet og Indeklima
Oktober 2021

Tine Steen Larsen
Sektionsleder

INDHOLD

FORORD	5
1 INTRODUKTION	9
1.1 Baggrund	9
1.2 Livscyklusvurdering og træ	9
1.3 Formål	11
2 BYGNINGSCASES OG BEREGNINGSGRUNDLAG	13
2.1 Oversigt over bygningscases	13
2.2 Beregningsmetode for LCA	16
3 KLIMAPÅVIRKNING FOR TRÆCASES	21
3.1 LCA-resultater for træcases	21
3.2 LCA-resultater for indlejrede påvirkninger for træcases	23
3.3 LCA-resultater for tekniske installationer og solceller for træcases	25
4 POTENTIALE FOR TRÆBYGNINGER	29
4.1 Klimapåvirkning for bygninger og grænseværdier	29
5 OPSUMMERING	33
6 REFERENCER	35
BILAG 1 - BESKRIVELSE AF CASE-BYGNINGER	37
BILAG 2 - BYGNINGSDELE INKLUDERET I LCA	38
BILAG 3 - UNDERSØGELSE AF KONSTRUKTIONSPRINCIPPER	40
BILAG 4 - LCA RESULTATER FOR 50 ÅRS BETRAGTNINGSPERIODE	41

1 INTRODUKTION

1.1 Baggrund

De senere år er interessen for at reducere menneskers påvirkning på miljøet steget, og den grønne omstilling er for alvor kommet på dagsordenen. I december 2019 blev der indgået en politisk aftale om, at Danmark inden 2030 skal reducere drivhusgasudledningen med 70% i forhold til niveauet i 1990 og skal opnå klimaneutralitet senest i 2050 (Klimarådet, 2020).

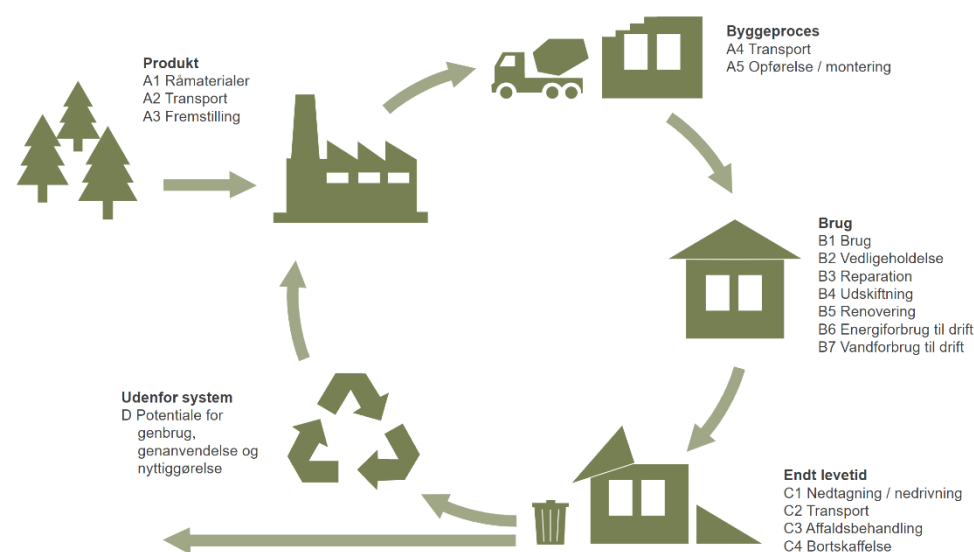
Bygge- og anlægssektoren bidrager i høj grad til miljøpåvirkninger, hvorfra de samlede direkte og indirekte emissioner af drivhusgasser i 2019 udgjorde omkring 38% af de globale drivhusgasudledninger (United Nations Environment Programme, 2020). Det er derfor vigtigt at se på bygge- og anlægssektoren i arbejdet med at reducere klimapåvirkningerne fra det globale samfund. Som led i at reducere klimapåvirkninger fra bygninger blev der i Danmark i 2020 lanceret en frivillig bæredygtighedsklasse for byggeriet. *Den Frivillige Bæredygtigheds-klasse* (FBK) har til formål at øge fokus på den grønne omstilling inden for byggebranchen og at teste nye principper inden en eventuel indfasning i bygningsreglementet (Bolig- og Planstyrelsen, 2020; Indenrigs- og boligministeriet, 2021). Efterfølgende blev der i Danmark i 2021 indgået en politisk aftale om at stille krav til udledningen af drivhusgasser i forbindelse med nybyggeri som en del af den *Nationale strategi for bæredygtigt byggeri* (Indenrigs- og boligministeriet, 2021). Ifølge den *Nationale strategi for bæredygtigt byggeri* stilles der fra 2023 krav til, at nybyggeri på over 1000 m² skal begrænse udledninger af drivhusgasser til 12 kg CO₂-ækv./m²/år. Derudover indeholder den *Nationale strategi for bæredygtigt byggeri* også en frivillig CO₂-klasse, hvor grænseværdien for nybyggeri er sat til 8 kg CO₂-ækv./m²/år.

I forbindelse med et øget fokus på reduktion af drivhusgasser fra byggeriet er interessen for brug af træ i bygninger steget. Træ anses i stigende grad som et klimavenligt materiale, der kan bidrage til at reducere klimapåvirkningerne i bygninger. Dette skyldes blandt andet, at træer er en fornybar ressource, men også træers naturlige egenskab til at optage og lagre kulstof gennem væksten. Dette kulstof omtales typisk som biogent kulstof. Brug af træ i bygninger udgør derudover også en mulighed for at øge den samlede mængde af oplagret biogent kulstof. Bygninger har typisk en meget lang levetid, og ved at anvende træ i bygninger er det muligt at forlænge den periode, hvori kulstoffet lagres og samtidig give plads til, at nye træer kan vokse og optage yderligere mængder af kulstof. Dermed vil bygninger kunne fungere som en såkaldt 'kulstof-bank' (Churkina et al., 2020). Det er dog vigtigt at være opmærksom på, at når træet engang når sin endte levetid efter en eller flere livscyklusser, vil det blive bortskaffet og nedbrudt, hvorved det oplagrede biogene kulstof frigives i form af CO₂.

1.2 Livscyklusvurdering og træ

Livscyklusvurderinger (LCA) er en standardiseret metode til vurdering og evaluering af miljøpåvirkninger og ressourceforbrug associeret med et produkt eller en service, heriblandt byggeri (CEN, 2006a, 2006b, 2012). Metoden medregner påvirkninger over hele bygningens

livscyklus fra råstofudvinding og forarbejdning, gennem produktets fremstilling, distribution og brug, til genanvendelse eller endelig bortskaffelse af de benyttede materialer (se Figur 1). Metoden kan blandt andet benyttes til at sammenligne miljøpåvirkninger fra hele bygninger, bygningsdele eller byggevarer. Traditionelt set har LCA for bygninger især haft fokus på livscyklusfaserne forbundet til produktion, udskiftning og bortskaffelse af materialer samt energi- og varmeforbruget i driftsfasen (livscyklusfase A1-A3, B4, B6 og C3-C4). I den kommende *Nationale strategi for bæredygtigt byggeri* (Indenrigs- og boligministeriet 2021) indgår LCA som den bærende metode og vil formegentlig have fokus på netop disse livscyklusfaser. Derimod, i FBK (Bolig- og Planstyrelsen, 2020), hvor LCA også indgår som et vigtigt element, udvides scopet til også at omfatte livscyklusfaserne relateret til byggeprocessen (A4 og A5). Dette er gjort i forsøget på at forbedre datagrundlaget for netop disse livscyklusfaser og generelt øge fokus på øvrige livscyklusfaser. For dybere indsigt i LCA som værktøj til vurdering af bygningers miljøpåvirkning, henvises der til tidligere publikationer såsom *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* (SBI 2020:04) (Zimmermann et al., 2020) og *Introduktion til LCA på bygninger* (Birgisdóttir & Rasmussen, 2015).

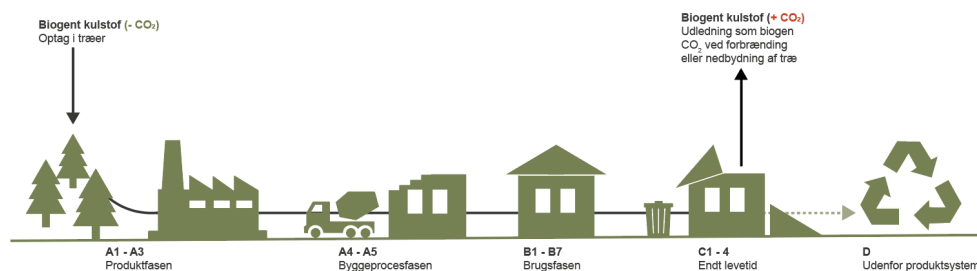


FIGUR 1. LCA af bygninger opdelt i fem livscyklusfaser og 17 moduler iht. (CEN, 2019)

I forbindelse med en øget interesse for brug af træ i bygninger samt brug af LCA som værktøj til at vurdere bygningers miljøpåvirkning, er der også et øget fokus på beregningsmetoden for LCA på træprodukter. I 2020 trådte en ny europæisk standard EN15804:2012+A2:2019 i kraft, der omfatter en række ændringer i forhold til beregning af miljøpåvirkningen for træprodukter (CEN, 2019). I standarden er der især fokus på at øge gennemsigtigheden for træets optag og frigivelse af kulstof. Den nye EN15804-standard foreskriver, at optag af kulstof i biomasse karakteriseres som $-1 \text{ kg CO}_2\text{-ækv. per kg CO}_2$ optaget fra atmosfæren, og at dette indregnes som en del af produktfasen. Dermed opnås der en negativ påvirkning i produktfasen ved at anvende træ. Dette modregnes dog igen i bortskaffelsesfasen ved at karakterisere den tilsvarende mængde af kulstof i biomassen som $+1 \text{ kg CO}_2\text{-ækv. per kg CO}_2$. Dermed, set over den samlede livscyklus, vil træet fremgå som kulstofneutralt for det oplagrede CO_2 i biomassen (CEN, 2019), mens de fossile påvirkninger fra produktionen af træet fortsat vil variere afhængigt af de forskellige livscyklusfaser. Denne metode omtales typisk som *-1/+1 metoden* (se Figur 2).

Det er vigtigt at være opmærksom på, at *-1/+1 metoden* i EN15804-standardens er uafhængig af hvilket bortskaffelsscenario, der rent faktisk kommer til at ske i fremtiden. Det

vil sige, at uanset om træet antages at blive forbrændt, deponeret, genanvendt eller genbrugt, beregnes det biogene kulstof frigivet i bortskaffelsesfasen (karakteriseret som +1 kg CO₂-ækv./kg CO₂). Det betyder dermed, at miljøpåvirkningen for de forskellige bortskaffelsscenarioer ikke vil variere på grund af beregningen for biogent kulstof, men at miljøpåvirkningen for de forskellige bortskaffelsscenarioer vil variere på grund af de fossile påvirkninger, der er forskellige for hvert bortskaffelsscenario. Selvom miljødata og miljøvaredeklarerationer (EPDer) er i tråd med EN15804-standarden, er det vigtigt at være opmærksom på, at der kan forekomme andre variationer i den beregningsmæssige tilgang. Dette skyldes forskellige regler i produktkategorireglerne (PCR) for de forskellige EPD-programmer, som for eksempel kan medføre forskellig rapportering af miljøpåvirkninger (Rasmussen et al., 2021).



FIGUR 2. -1/+1 metode til beregning af biogent kulstof i træprodukter

1.3 Formål

Formålet med denne rapport er at undersøge potentialet for træbyggeri i forhold til at reducere klimapåvirkninger for danske bygninger. Derudover undersøger rapporten bygningscases klimamæssige performance i forhold til sammenlignelige studier og de kommende nationale grænseværdier for klimapåvirkningen for nybyggeri.

Rapporten er en del af et større projekt om træbyggeri med fokus på klimapåvirkning for træbygninger samt erfaringsopsamling for barrierer og potentialer for brug af træ i byggeriet. Studiet er lavet i samarbejde med tegnestuerne Lendager Group, Tegnestuen Vandkunsten, Arkitema Architects og C.F. Møller Architects, som har bidraget med dataindsamlingen for en række bygningscases. Dataindsamlingen fortsætter i 2022, og derfor viser denne rapport LCA-resultaterne for de første 20 bygningscases, der er indsamlet data på.

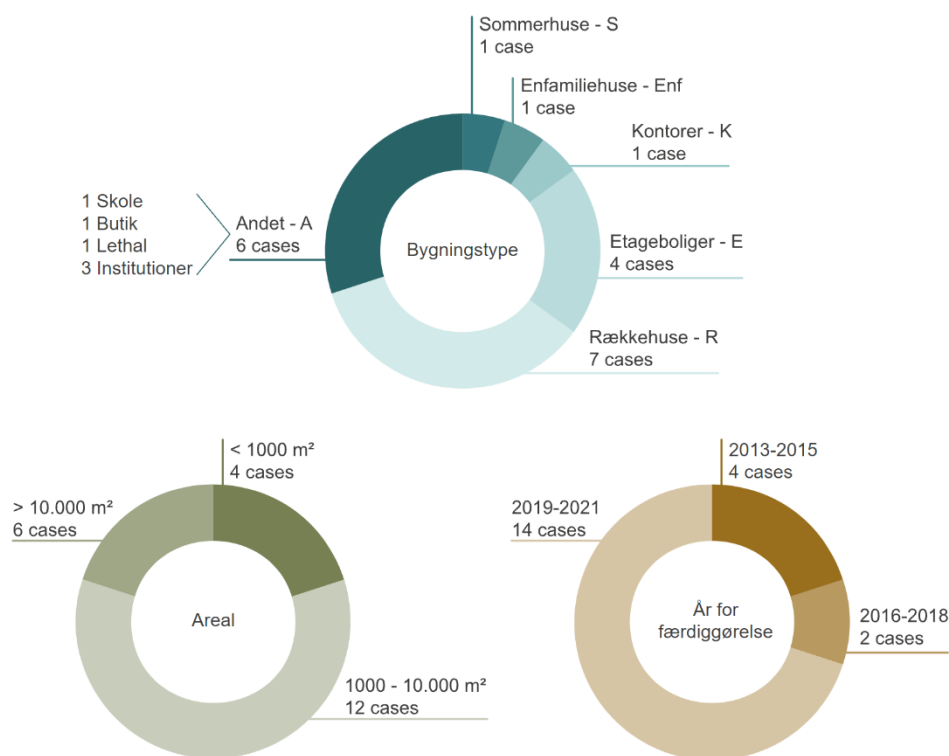
2 BYGNINGSCASES OG BEREGNINGSGRUNDLAG

2.1 Oversigt over bygningscases

Studiet fokuserer på 20 bygningscases for hvilke data er leveret fra Lendager Group, Tegnestuen Vandkunsten, Arkitema Architects og C.F. Møller Architects. Dataindsamlingen er forløbet i det første halvår af 2021 og har udelukkende fokuseret på nybyggeri opført i perioden fra 2013 og fremefter (se Figur 3). Der er sat en afgrænsning på at omkring 50% af de bærende konstruktioner i bygningscasene skal være udført i træ eller træbaserede materialer såsom krydslamineret træ (CLT), limtræ eller lamineret træ.

Alle bygningscases er opført i Danmark og følger det danske bygningsreglement henholdsvis BR08, BR15 og BR18. Ud af de 20 bygningscases er der to mindre byggerier, heriblandt et sommerhus (S) og et enfamiliehus (Enf), syv rækkehuse (R), fire etageboliger (E), et kontor (K) og seks bygninger kategoriseret som *Andet byggeri* (A) (se Figur 3). Kategorien *Andet byggeri* udgør i denne forbindelse byggerier såsom institutioner, skoler, hospitaler, kulturinstitutioner, hotellet, haller, butikker og restauranter (se Tabel 5 i Bilag 1). Derudover er det primært bygningscases med et etageareal mellem 1000 og 10.000 m² der er inkluderet i de 20 bygningscases, hvoraf seks bygningscases er over 10.000 m² og kun to bygningscases er under 1000 m² (se Figur 3). En specificeret liste over bygningscasene og de dertilhørende kategoriseringer findes i Bilag 1.

Det er vigtigt at være opmærksom på at bygningscasene udgør et øjebliksbillede af træbyggerier, som allerede er opført. Her har valg af træ været taget af økonomiske hensyn og/eller på baggrund af ønsker om reduceret klimapåvirkning, men der er ikke aktivt anvendt LCA som værktøj i designfasen til at nedbringe klimapåvirkningerne. Derfor forventes det ikke at casene adskiller sig fra øvrige træbyggerier i Danmark.

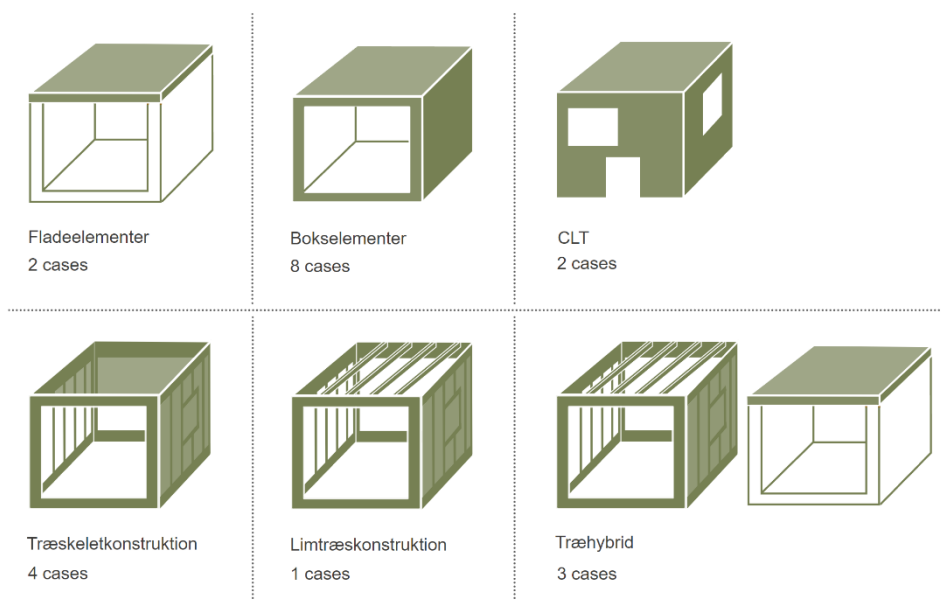


FIGUR 3. Bygningscasene fordelt på bygningstypologi, størrelse og år for færdiggørelse. En udspecificeret liste over Bygningscasene ses af Bilag 1

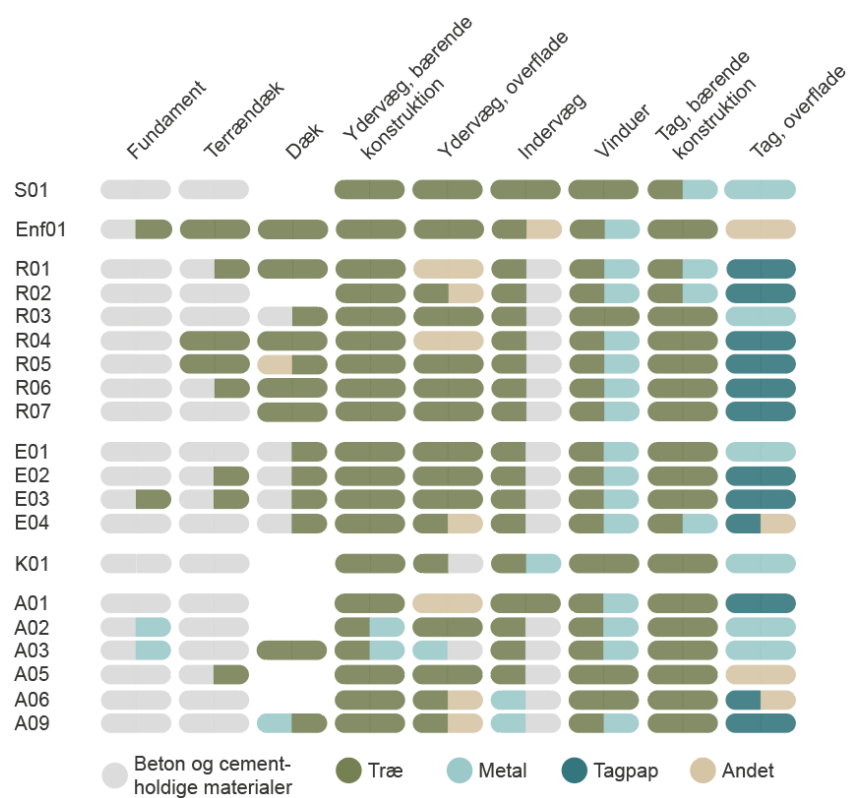
Bygningscasene er yderligere kategoriseret i konstruktionsprincipper og for materialetyperne for de forskellige bygningsdele (se Figur 4 og Figur 5).

Konstruktionstypen *Fladeelementer* er i dette studie defineret ved at være mindre præfabrikerede elementer, hvor *Bokselementer* er større præfabrikerede moduler som for eksempel en hel boligenhed i et etagebyggeri. Kategorien *CLT* er byggeri, hvor de bærende konstruktioner er udført i krydslamineret træ (CLT). Både *Træskeletkonstruktionen* og *Limtræskonstruktionen* er to former for skeletkonstruktioner med henholdsvis konstruktionstræ og limtræ. Slutteligt er kategorien *Træhybrid* bestemt ved at være en kombination af to eller flere af de førnævnte forskellige typer af trækonstruktioner. Af Figur 4 fremgår det at 8 ud af de 20 bygningscases er udført som bokselementbyggeri, hvor de resterende Bygningscases er fordelt på de øvrige kategorier.

I Figur 5 er de dominerende materialetyper for de primære bygningsdele for Bygningscasene gennemgået. De primære bygningsdele er opdelt i kategorierne *Fundament*, *Terrændæk*, *Dæk*, *Ydervæg*, *bærende konstruktion*, *Ydervæg*, *overflade*, *Indervæg*, *Vinduer*, *Tag*, *bærende konstruktion* og til sidst *Tag*, *overflade*. Derudover er materialetyperne defineret i fem overordnede kategorier *Beton og cementsholdige materialer*, *Træ*, *Metal*, *Tagpap* og *Andet*. *Andet* omfatter materialer såsom tegl og skiffer. Bygningscasene varierer i valg af materiale særligt for både facademateriale og tagbelægning (se Figur 5). Desuden ses det at fundament og terrændæk typisk udføres i beton og cementsholdige materialer.



FIGUR 4. Bygningscasene fordelt på konstruktionsprincipper. En udspecificeret liste over Bygningscasene ses af Bilag 1

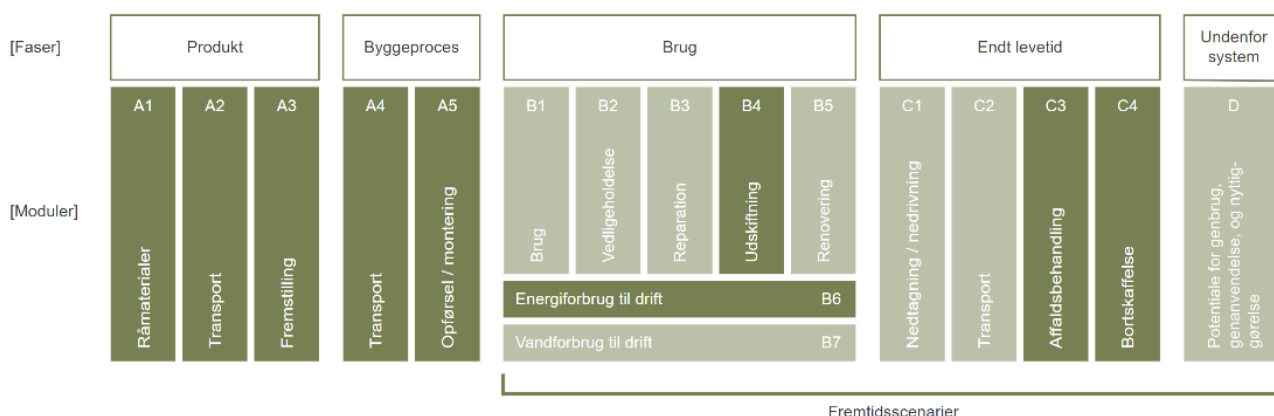


FIGUR 5. Overordnede materialetyper for Bygningscasene opdelt på bygningsdele

2.2 Beregningsmetode for LCA

Livscyklusfaser

I henhold til standarden for vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet EN15978 (CEN, 2012) omfatter en LCA fem forskellige faser og 17 forskellige moduler, som tilsammen udgør hele bygningens livscyklus. Dette studie inkluderer et udvalg af de 17 moduler, nemlig produktion og transport af byggevarer (A1-3), transport til byggeplads og opførelse af byggeri (A4-5), udskiftning af bygningsdele (B4), energiforbrug til drift (B6), affaldsbehandling ved endt levetid (C3-4) og potentialet for genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse (D). Figur 6 illustrerer samtlige moduler omfattet af EN15798, hvor de moduler, der er inkluderet i dette studie, er markeret med mørkegrøn. For mere dybdegående introduktion til LCA på bygninger henvises der til (Zimmermann et al., 2020) og (Birgisdóttir & Rasmussen, 2015).



FIGUR 6. De 5 livscyklusfaser samt 17 underliggende moduler inkluderet i EN 15978. De moduler, der er inkluderet i analysen, er markeret med mørkegrøn.

Bygningsdele

I indsamlingen af data for Bygningscasene har der været fokus på at harmonisere de bygningsdele, der inkluderes i LCA'erne på tværs af Bygningscasene. Derudover har der også været fokus på at få et så fuldstændigt billede som muligt af de byggevarer der anvendes i bygningerne. I Tabel 1 er de bygningsdele, der er inkluderet i LCA'erne (hvis de er til stede i bygningen) listet. Desuden fremgår en detaljeret liste over bygningsdele inkluderet for Bygningscasene i Bilag 2.

TABEL 1. Bygningsdele inkluderet i LCA'erne, hvis til stede i bygningen

Bygningsdelsgrupper	
Fundamenter	Altaner og altangange
Terrændæk	Vinduer, døre og glasfacader
Dæk	Afløb
Ydervægge	Vand
Bærende konstruktioner	Varme
Indervægge	Ventilation og køl
Tage	El- og mekaniske anlæg
Trapper og ramper	Andet

Tekniske installationer

De tekniske installationer omfatter traditionelt set bygningsdelsgrupperne *Afløb*, *Vand*, *Varme*, *Ventilation og køl* og *El- og mekaniske anlæg*. I dette studie skelnes der dog mellem *tekniske installationer* og *el- og mekaniske anlæg*, da datakvaliteten for de forskellige grupper varierer. Derfor omfatter *tekniske installationer* i dette studie kun bygningsdelsgrupperne *Afløb*, *Vand*, *Varme* og *Ventilation og køl*, hvor bygningsdelsgruppen *El- og mekaniske anlæg* indgår som en særskilt gruppe (se Tabel 2).

Generelt er datagrundlaget for de tekniske installationer i Bygningscasene meget varierende og mange case-bygninger inkluderer kun data for få tekniske installationer. For at undgå at den manglende data skævvrider resultaterne for case-bygningerne, er påvirkningerne fra de tekniske installationer ekskluderet i størstedelen af analyserne i afsnit 3. Da gruppen *El- og mekaniske anlæg* inkluderer fx elevatorer og solceller, hvor data typisk er tilgængelig, er denne gruppe inkluderet for de case-bygninger, hvor det har været relevant.

TABEL 2. Grupper og undergrupper for tekniske installationer. I denne rapport indgår undergrupperne *afløb*, *vand*, *varme* samt *ventilation og køl* i definitionen af *tekniske installationer*, hvor gruppen *el- og mekaniske anlæg* indgår separat og dækker over fx elevatorer og solceller.

Grupper for tekniske installationer	
<i>Afløb</i>	Faldstammer
	Nedløb fra tag
<i>Vand</i>	Varmtvandsbeholder
	Vandrør
<i>Varme</i>	Varmeforsyningsanlæg
	Varmerør
	Radiatorer
	Gulvvarme
<i>Ventilation og køl</i>	Ventilationsanlæg
	Ventilationskanaler
<i>El- og mekaniske anlæg</i>	El-anlæg
	Belysning
	Transportanlæg
	Energiproduktion

Database

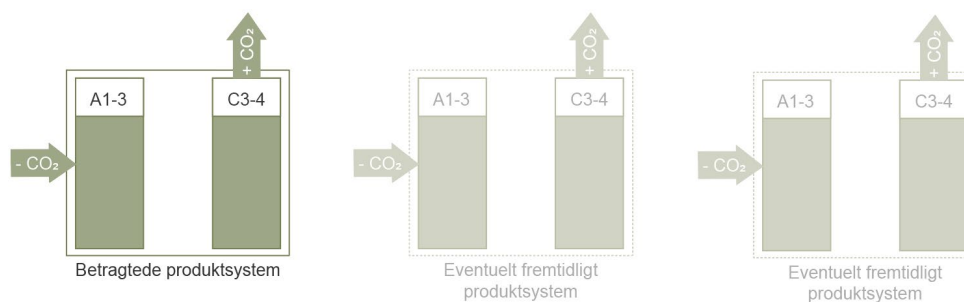
LCAerne i dette projekt er primært baseret på miljødata fra databasen indbygget i LCAbyg, gen_dk. Data i gen_dk stammer fra den tyske database Ökobaumat 2020 og repræsenterer derfor ikke nødvendigvis danske forhold i forhold til produktion og bortskaffelse. I dag findes der dog ikke nogen dansk database der dækker bredt over materialer benyttet i byggeriet og Ökobaumat er derfor valgt som grundlag for miljødata. Dog er udgivelsen af EPD'er fra den danske byggebranche i vækst, hvorfor det forventes at det i stigende grad bliver muligt at anvende dansk branche- og produktspecifikt data i fremtidige LCAer. Udviklingen af EPD'er kan være med til at nedbringe usikkerheden i sammenligning med generisk miljødata, og derfor benyttes i dette projekt danske branche-EPD'er for beton- og træprodukter samt produktspecifikke EPD'er for træfacader, som listet i Tabel 3.

TABEL 3. Anvendte miljøvaredeklarationer (EPD) for byggevarer i træ og beton. Numrene angivet for hver materialetype refererer til EPD-nummeret og kan fremfindes i EPD databasen hos EPD Danmark (EPD Danmark, n.d.)

Byggevarer i træ	Byggevarer i beton
Afstandslisters/forskallingsbrædder - MD-20004-EN	Beton C20/25 - MD-20011-DA_rev1
Konstruktionstræ/lægter/regler - MD-20002-EN	Beton C30/37 - MD-20012-DA_rev1
Krydslamineret træ (CLT) - MD-20007-EN	Betonelementer - MD-20015-DA_rev1
Limtræ - MD-20005-EN	Letbeton vægelementer - MD-20016-DA_rev1
Krydsfiner - MD-20008-EN	Huldækelementer - MD-20017-DA_rev2
Spånplade - MD-20006-EN	TT-elementer/ribbedæk - MD-20018-DA_rev1
Ubehandlet træfacade - MD-20002-EN	Sandwichelementer/facadeelementer - MD-20019-DA_rev1
Malet/behandlet træfacade - MD-20002-EN	
Træfacade i hårdttræ - MD-20032-EN	

Biogen kulstof beregning

Beregningen af biogent kulstof i LCAerne for case-bygningerne følger -1/+1 metoden beskrevet i afsnit 1.2. Dermed regnes optaget af biogent kulstof som negativt i produktfasen (A1-3) og tilsvarende positivt i bortskaffelsesfasen (C3) uanset hvilket bortskaffelsscenario, der antages for træprodukterne (se Figur 7).



FIGUR 7. Biogen kulstof beregning i LCA jf. (CEN, 2014)

Betragtningsperiode

I overensstemmelse med FBK og de kommende krav i bygningsreglementet anvendes der i LCAerne en betragtningsperiode på 50 år. Denne betragtningsperiode er sat som standard i de kommende krav og i FBK for at sikre sammenlignelighed i beregningerne for alle projekter. Betragtningsperioden angiver den årrække som bygningen analyseres over og kan have stor indvirkning på hvordan påvirkningerne fordeler sig på tværs af livscyklusfaserne. Jo længere betragtningsperioden er, jo større vægt lægges der på de påvirkninger der sker i fremtiden, for eksempel i bygningens brugsfase, mens der lægges mindre vægt på de påvirkninger der sker i dag ved bygningens opførelse. Det er vigtigt at være opmærksom på at betragtningsperioden er en beregningsmæssig antagelse, der angiver den analyseperiode som bygningens påvirkninger beregnes over og dermed ikke er en estimeret levetid af bygningen. Derfor vil den reelle levetid for bygningen sandsynligvis afvige fra den valgte betragtningsperiode og kan vise sig at være både kortere eller længere end betragtningsperioden.

Spild og transport

Livscyklusfaserne A4 og A5 omfatter spild og transport af byggematerialer samt energiforbrug i forbindelse med opførelse af bygningen. Nærmere beskrevet omhandler A4 transport

af byggevarer til byggepladsen, hvorfor det er nødvendigt at kende til de benyttede transportformer og distancer for alle byggevarer. A5 omhandler energiforbruget på byggepladsen samt spild af materialer i forbindelse med byggeprocessen, hvilket kræver data på disse processer. Idet det er relativt nyt at have fokus på disse livscyklusfaser i LCA har data for byggeprocessen ikke været tilgængelig. Derfor er miljøpåvirkninger fra livscyklusfaserne A4 og A5 beregnet ud fra generiske antagelser. Antagelserne anvendt til modellering af spild og transport for case-bygningerne er angivet i Tabel 4. Energiforbruget på byggepladsen er ekskluderet fra beregningerne i dette studie, da ingen data var tilgængelige.

TABEL 4. Antagelser for livscyklusfaserne A4 og A5 vedrørende transport af byggevarer til byggepladsen samt spild af byggevarer på byggepladsen

Byggevarer	A4 – transport til byggeplads	A5 – spild på byggeplads
Forskallingsbrædder i træ	600km i lastbil, standard samt 170km i massegodsskib	5%
Lægter/regler i træ	600km i lastbil, standard samt 170km i massegodsskib	5%
Krydslamineret træ (CLT)	1400km i lastbil, standard	5%
Limtræ	70km i lastbil, standard	5%
Krydsfiner i træ	600km i lastbil, standard samt 1228km i massegodsskib	5%
Spånplader i træ	200km i lastbil, standard	5%
Fabriksbeton	50km i lastbil >26t	5%
Betonelementer	150km i lastbil, standard	5%
Øvrige materialer	500km i lastbil, standard	10%
Jord til/fra/på byggeplads	200km i lastbil, standard	-

Udskiftninger af bygningsdele

Livscyklusfasen B4 omfatter påvirkningerne fra udskiftning af bygningsdelene i driftsfasen. Hvorvidt en bygningsdel udskiftes, afhænger af byggevarens levetid og den valgte betragtningsperiode. Levetiden for byggevarerne er baseret på SBI 2013:30 og fremgår også i LCAByg (Aagaard et al., 2013).

Driftsenergiforbrug

Påvirkningerne fra driftsenergiforbruget indgår i livscyklusfasen B6. Data for driftsenergiforbrug er baseret på energirammeberegningerne tilgængelig for størstedelen af case-bygningerne. Påvirkningerne fra driftsenergiforbruget beregnes ud fra miljødata i LCAByg, hvor der er anvendt fremskrevne data for energiproduktionen over perioden 2020 til 2040 (Danish Transport Construction and Housing Authority & COWI, 2016). Det vil sige, at der antages en fortsat øget grad af fornybar energi i både el- og fjernvarmenet og at påvirkningerne fra 1 kWh eller MJ produceret energi dermed vil blive mindre over tid.

Miljøpåvirkningskategorier

Med en LCA kan miljøpåvirkningerne for forskellige miljøpåvirkningskategorier beregnes. Nogle eksempler på miljøpåvirkningskategorier er global opvarmning, ozonlagsnedbrydning, forsuring, primærenergiforbrug, fotokemisk ozondannelse og en række andre. I dette projekt fokuseres der på klimapåvirkningen, som er en miljøpåvirkningsindikator for den potentielle globale opvarmning af jordens overfladetemperatur på baggrund af en øget koncentration af drivhusgasser i atmosfæren. Enheden for klimapåvirkningen er kg CO₂-ækvivalenter, som beskriver forskellige drivhusgassers påvirkning omregnet til kuldioxids klimapåvirkning. LCA-resultaterne for øvrige miljøpåvirkningskategorier ses af Bilag 4.

Databehandling og referenceenhed

Der er foretaget en simpel statistisk analyse af resultaterne for de 20 case-bygninger. I databehandlingen har der været fokus på at identificere forskelle i klimapåvirkningerne mellem de 20 case-bygninger, som relaterer sig til brugen af træ i bygningerne. Der er i rapporten lavet forskellige undersøgelser for at kortlægge hvordan brugen af træ påvirker de samlede klimapåvirkninger for bygninger og dermed hvilket potentiale træ har til at reducere klimapåvirkningerne.

Resultaterne for klimapåvirkningen vil blive præsenteret i kg CO₂-ækvivalenter harmoniseret til arealet (per m²). Påvirkningerne fra byggevarerne (livscyklusfaserne A1-3, A4, A5, B4, C3 og C4) bliver harmoniseret på baggrund af bruttoarealet for bygningen, hvor påvirkningerne fra driftsenergiforbruget (livscyklusfasen B6) bliver harmoniseret til per m² på baggrund af det opvarmede etageareal. Derudover vil resultaterne i de fleste tilfælde også blive harmoniseret til årene i betragtningsperioden (per år).

3 KLIMAPÅVIRKNING FOR TRÆCASES

3.1 LCA-resultater for træcases

Dette afsnit viser resultaterne for de 20 case-bygninger ved en 50-års betragtningsperiode i enheden kg CO₂-ækv/m²/år. Figur 8 viser klimapåvirkningerne for case-bygningerne fordelt på materialer og drift med henholdsvis den data der er tilgængelig på de tekniske installationer (venstre) samt hvor påvirkninger fra de tekniske installationer er ekskluderet grundet mangelfulde data (se afsnit 2.2). Der er to case-bygninger, der ikke inkluderer påvirkninger fra driftsenergiforbruget. Dette skyldes, at der i den ene case-bygning ikke er lavet energirammeberegning, da det er et sommerhus. Sommerhuse er ikke omfattet af kravene til energiramme, men i stedet kun omfattet af krav til u-værdier og linjetab (Bolig- og Planstyrelsen, 2018). Den anden case-bygning uden påvirkninger fra driftsenergiforbruget er en let hal uden opvarmning og energiforbrug i driften og adskiller sig dermed fra de øvrige case-bygninger.

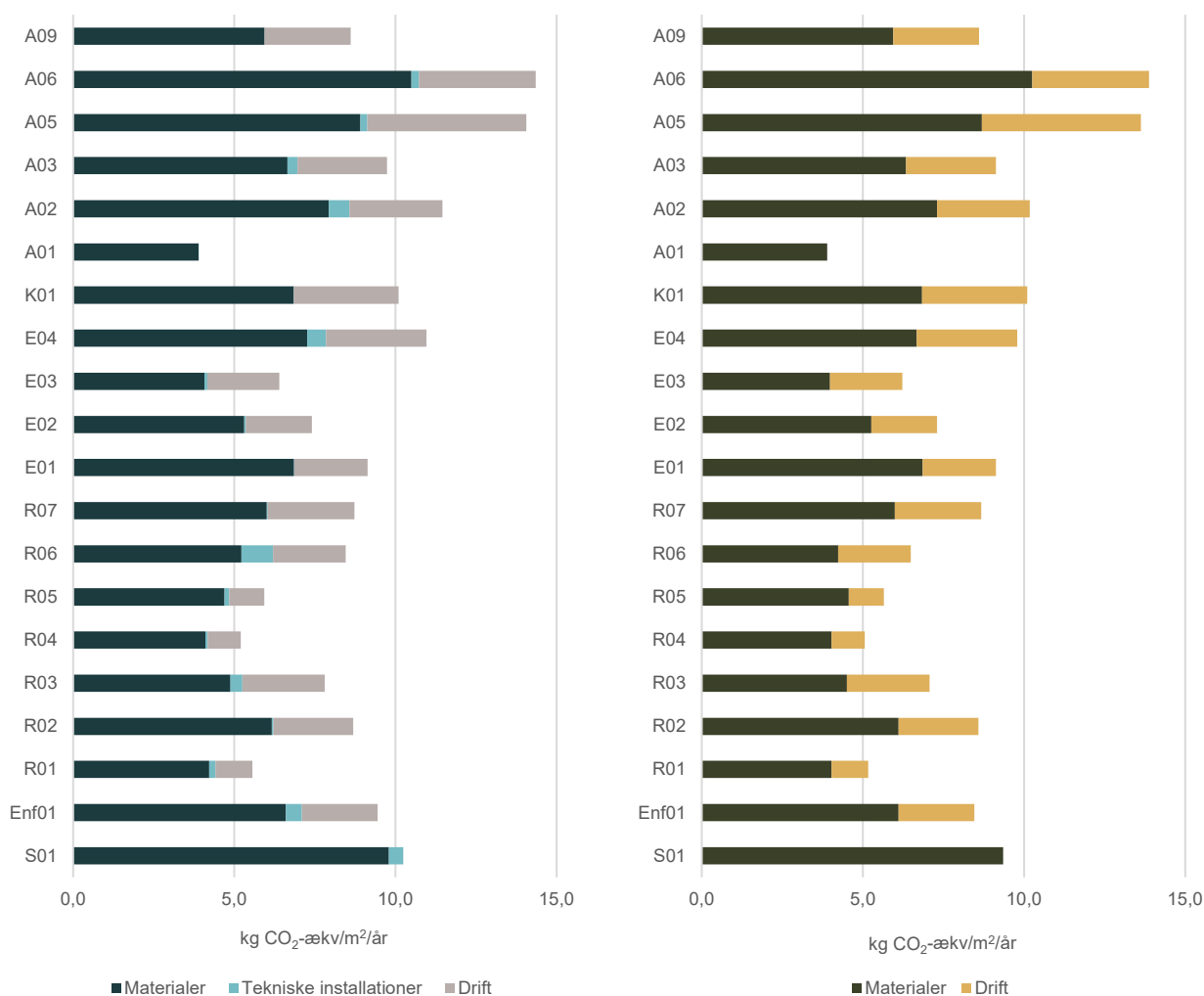
Generelt viser Figur 8, at der er stor variation i de samlede klimapåvirkninger for case-bygninger. Klimapåvirkningen varierer mellem 3,9 kg CO₂-ækv/m²/år og 14,1 kg CO₂-ækv/m²/år når påvirkningerne fra de tekniske installationer er inkluderet (se Figur 8 til venstre) (for flere detaljer vedrørende påvirkninger fra tekniske installationer, se afsnit 3.3). Når de tekniske installationer ekskluderes fra resultaterne, for at undgå en skævvridning grundet mangelfulde data, ses det at der stadig er stor variation i klimapåvirkningerne for case-bygningerne (se Figur 8 til højre). Her varierer de samlede klimapåvirkninger for case-bygningerne mellem 3,9 kg CO₂-ækv/m²/år og op til 13,9 kg CO₂-ækv/m²/år. Dette svarer til en faktor 3,6 i forskel i de samlede klimapåvirkninger, når man sammenligner den bygning med de laveste klimapåvirkninger med bygningen med de højeste klimapåvirkninger.

Opdeles de samlede påvirkninger i indlejrede påvirkninger og driftspåvirkninger, ses det at de indlejrede påvirkninger spænder fra 3,9 kg CO₂-ækv/m²/år til 10,3 kg CO₂-ækv/m²/år (se Figur 8 til højre). Dette svarer til en faktor 2,6 i forskel mellem bygningerne med henholdsvis de laveste og højeste klimapåvirkninger. For driftspåvirkningerne ses et endnu større spænd, nemlig fra 1,0 kg CO₂-ækv/m²/år til 4,9 kg CO₂-ækv/m²/år svarende til en faktor 4,8 i forskel.

Desuden viser resultaterne, at de indlejrede påvirkninger er mellem 1,8 til 4,2 gange højere end driftspåvirkningerne og dermed er væsentlige at kigge på, når man forsøger at reducere klimapåvirkningerne fra bygninger. Det er dog sandsynligt, at påvirkningerne fra både materialerne og driftsenergiforbruget reelt vil være højere, da data i begge tilfælde er baseret på beregnede og estimerede værdier og ikke de faktiske værdier.

Driftsenergiforbruget i case-bygningerne er modelleret efter energirammeberegningerne, som er teoretiske beregninger, der anvender standardbetingelser. Erfaringer viser, at det faktiske energiforbrug i driften typisk vil være højere end det estimerede fra energirammeberegningerne. Det samme gælder for påvirkningerne fra materialerne. Her vil påvirkningerne sandsynligvis også forøges, hvis alle livscyklusfaser inkluderes samt hvis der anvendes data for det reelle materialeforbrug. For eksempel er data typisk ikke tilgængelig for materialeforbruget i forbindelse med opførslen af byggerierne, hvorfor der er anvendt generisk data. Samlet set vil både driftspåvirkningerne samt de indlejrede påvirkninger altså sandsynligvis øges, hvis datagrundlaget kommer tættere på de faktiske værdier.

Alt i alt ses et stort spænd i klimapåvirkningerne for både de indlejrede påvirkninger og driftspåvirkningerne, hvilket betyder at der både for de indlejrede påvirkninger og driftspåvirkningerne er et potentiale for at reducere klimapåvirkningerne yderligere for de case-bygninger med høje påvirkninger. Det er dog vigtigt at bemærke, at der blandt case-bygningerne stadig er bygninger med høje klimapåvirkninger selvom de anvender en øget grad af træ, hvilket indikerer at det ikke kun materialevalget der har betydning for bygningernes klimamæssige performance. Ved en nærmere undersøgelse af case-bygningerne med særligt høje påvirkninger ses det, at det især er udformningen og indretningen af bygningen, der har stor betydning. For eksempel er udformningen med til at definere mængden af fundament, terrændæk, klimaskærm og tagoverflade som dermed kan give et forøget materialeforbrug. På samme måde kan forskellige behov i indretningen af bygningerne gøre, at der anvendes ekstra materiale til etablering af for eksempel tunge indervægge. Det har dog ikke været muligt at identificere en klar sammenhæng mellem sådanne aspekter og deres indflydelse på klimapåvirkningen, fordi datagrundlaget er begrænset til 20 case-bygninger.



FIGUR 8. Klimapåvirkninger for træcasene over en 50 års betragtningsperiode fordelt på materialer og drift.
Venstre: Påvirkninger inklusiv tekniske installationer og solceller. Højre: Påvirkninger inklusiv solceller og eksklusiv tekniske installationer.

3.2 LCA-resultater for indlejrede påvirkninger for træcases

Dette afsnit fokuserer udelukkende på de indlejrede klimapåvirkninger for case-bygningerne. Det vil sige at klimapåvirkningerne fra driftsenergiforbruget ikke analyseres yderligere. Derudover er de tekniske installationer også ekskluderet fra alle analyser i dette afsnit, da der er risiko for skævvridning af resultaterne grundet mangelfulde data (se nærmere i afsnit 2.2).

Figur 9 viser hvordan klimapåvirkningerne for hver case-bygning fordeler sig over en 50 års betragtningsperiode angivet i enheden kg CO₂-ækv/m². Generelt ses det at case-bygningerne har forholdsvis lave påvirkninger i år 0 svarende til her-og-nu påvirkningerne fra produktionen af materialer og fra opførsel af bygningen (hhv. livscyklusfaser A1-3 samt A4 og A5). De indlejrede påvirkninger i år 0 varierer fra -159 kg CO₂-ækv/m² til 293 kg CO₂-ækv/m². Det ses endda at nogle af case-bygningerne har negative indlejrede påvirkninger i år 0. De negative (eller meget lave) påvirkninger i år 0 skyldes typisk en høj grad af træ og andre biobaserede materialer anvendt i case-bygningerne. Som beskrevet i afsnit 1.2 og afsnit 2.2, regnes det oplagrede biogene kulstof i træ og biobaserede materialer negativt i forbindelse med produktionen af materialerne (svarende til år 0) og tilsvarende positivt ved bortskaffelse af materialet. Dette er med til at give meget lave eller sågar negative her-og-nu påvirkninger i år 0 og tilsvarende store påvirkninger ved bortskaffelse i år 50. Det er dog usikkert hvornår denne påvirkning fra bortskaffelsen af materialerne reelt sker, da den faktiske levetid for bygninger og materialerne i bygningerne varierer. I praksis kan udledningen i forbindelse med bortskaffelse af materialer sagtens ske om eksempelvis 100 år i stedet, men grundet den nuværende beregningspraksis skal påvirkningerne fra bortskaffelsen og frigivelsen af det oplagrede CO₂ i biomasse inkluderes som en del af påvirkningerne fra den samlede livscyklus.

I løbet af betragtningsperioden stiger de indlejrede påvirkninger på grund af udskiftning af materialer i betragtningsperioden (livscyklusfase B4) samt bortskaffelse af materialer ved slutningen af betragtningsperioden i år 50 (livscyklusfase C3 og C4). Ved slutningen af betragtningsperioden ender de akkumulerede indlejrede påvirkninger på mellem 189 og 527 kg CO₂-ækv/m². Derudover ses det af Figur 10, at det især er påvirkningerne i forbindelse med bortskaffelse (år 50), der har en stor betydning (se Figur 10 til venstre). Igen skyldes dette at det oplagrede biogene kulstof regnes frigivet ved bortskaffelse af materialet og dermed giver positive påvirkninger i år 50 (som beskrevet i afsnit 2.2).

I Figur 10 ses påvirkningerne fra de øvrige livscyklusfaser vedrørende spild, transport, udskiftninger og fremtidigt potentiale. Generelt viser resultaterne at livscyklusfaserne A4, A5, B4 og D udgør en mindre andel af de indlejrede klimapåvirkninger.

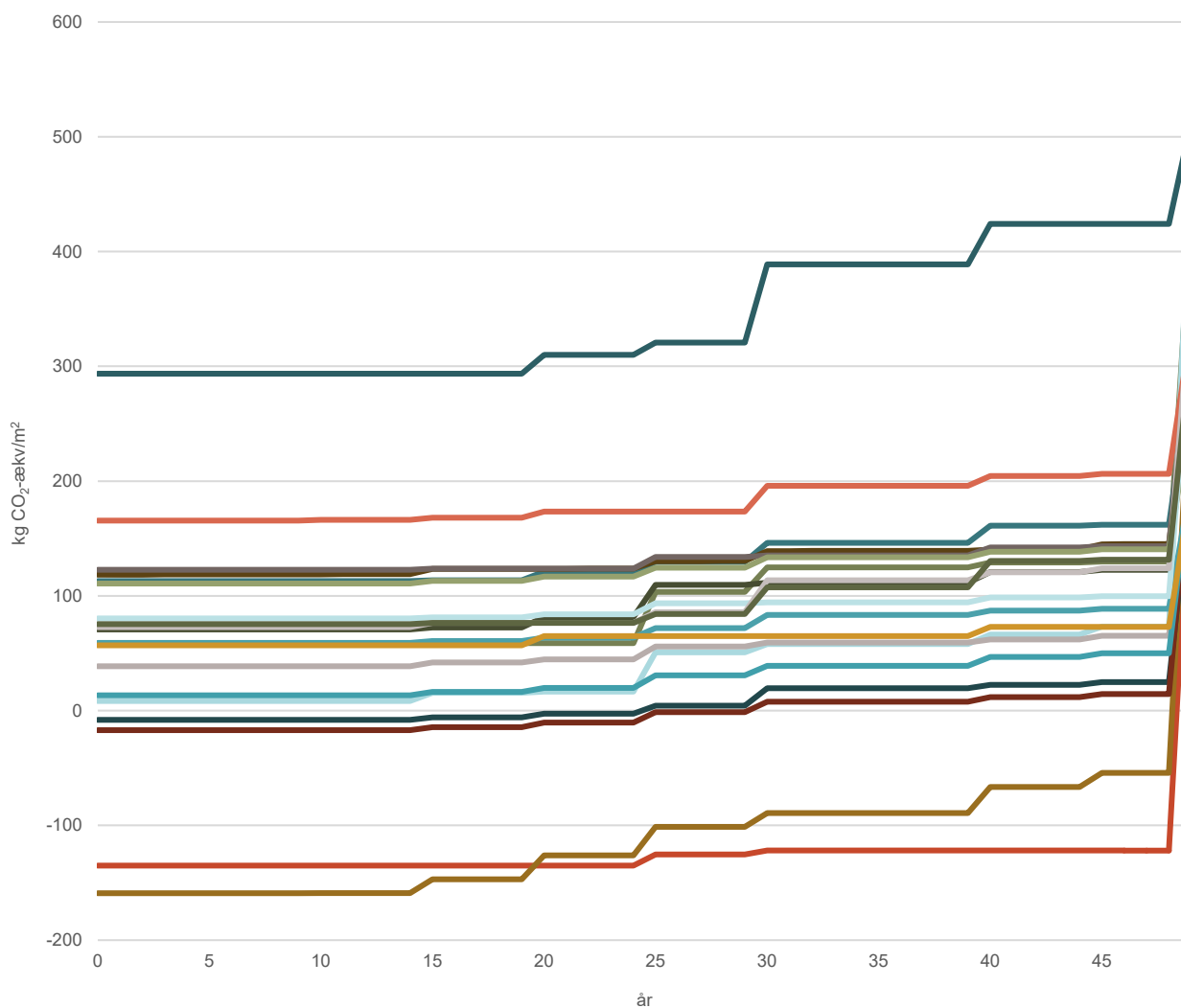
Påvirkninger fra transport af materialer til byggepladsen (A4) og påvirkninger fra spild af materialer (A5) udgør i gennemsnit 7% af de indlejrede påvirkninger. Det er vigtigt at være opmærksom på at data for livscyklusfaserne A4 og A5 er baseret på generisk data, hvor energiforbruget på byggepladsen i forbindelse med opførsel af bygningerne i A5 ikke indgår på grund af mangelfulde data (se afsnit 2.2). Dermed vil påvirkningerne fra begge livscyklusfaser sandsynligvis ændres når der anvendes reelle data, der afspejler de enkelte byggeprocesser og på denne måde få større betydning for de samlede indlejrede påvirkninger.

Påvirkningerne fra udskiftning af materialer (livscyklusfase B4) udgør i gennemsnit 14% af de indlejrede klimapåvirkninger. Af Figur 9 ses det at udskiftningerne sker i de samme år, fordi udskiftningerne er baseret på generiske antagelser omkring levetider for byggevarer

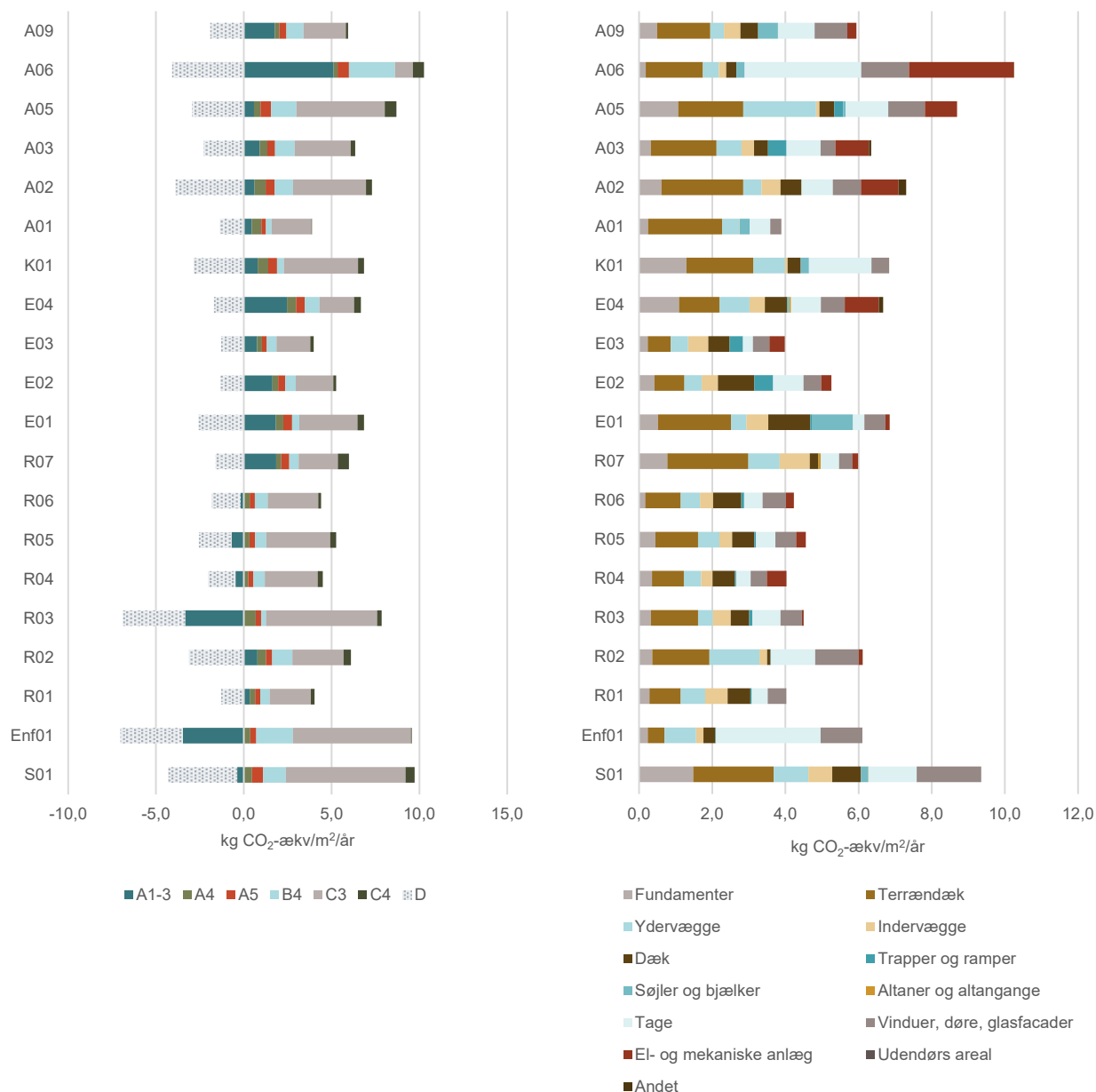
(Aagaard et al., 2013). Udskiftningerne sker typisk i år 15, 20, 25, 30 og 40 svarende til udskiftning af maling, tagpap, termoruder og solceller.

Endeligt viser Figur 10, at der for næsten alle case-bygninger er et stort potentiale i påvirkningerne fra livscyklusfase D. Dette skyldes en antagelse om energiodnyttelse ved forbrænding af materialerne ved bortskaffelse eller en antagelse om, at flere materialer kan genbruges og genanvendes efter de er brugt i bygningerne. Der er dog en del usikkerhed forbundet med disse antagelser, da påvirkninger sker langt ude i fremtiden, hvilket gør det svært at forudsige hvilke praksisser og teknologier der til den tid vil være for bortskaffelse af materialer. Derfor skal påvirkningerne beregnet for livscyklusfase D forstås som et muligt potentiale, men ikke reelle påvirkninger.

Af Figur 10 til højre fremgår påvirkningerne fra de forskellige bygningsdele. Det ses at det særligt er de store bygningsdele, såsom terrændækket, der udgør de største andele af de indlejrede påvirkninger. Terrændækket kan potentielt udgøre op til halvdelen af de indlejrede påvirkninger i det mest ekstreme tilfælde. Derudover er det tage, ydervægge, fundamenter samt vinduer, døre og glasfacader, der bidrager betydeligt til de indlejrede påvirkninger. Det er derfor i de store bygningsdele, at det største potentiale for at reducere de indlejrede påvirkninger for case-bygningerne findes.



FIGUR 9. Akkumuleret klimapåvirkning for træcasesnes materialer over en 50 års betragtningsperiode eksklusiv tekniske installationer.



FIGUR 10. Indlejrede klimapåvirkninger for træcasene over en 50 års betragtningsperiode eksklusiv tekniske installationer fordelt på livscyklusfaser (venstre) og bygningsdele (højre). Resultaterne fordelt på bygningsdele er eksklusiv påvirkninger fra livscyklusfase D, da dette er potentielle undgåede påvirkninger, som indbefatter en hvis usikkerhed.

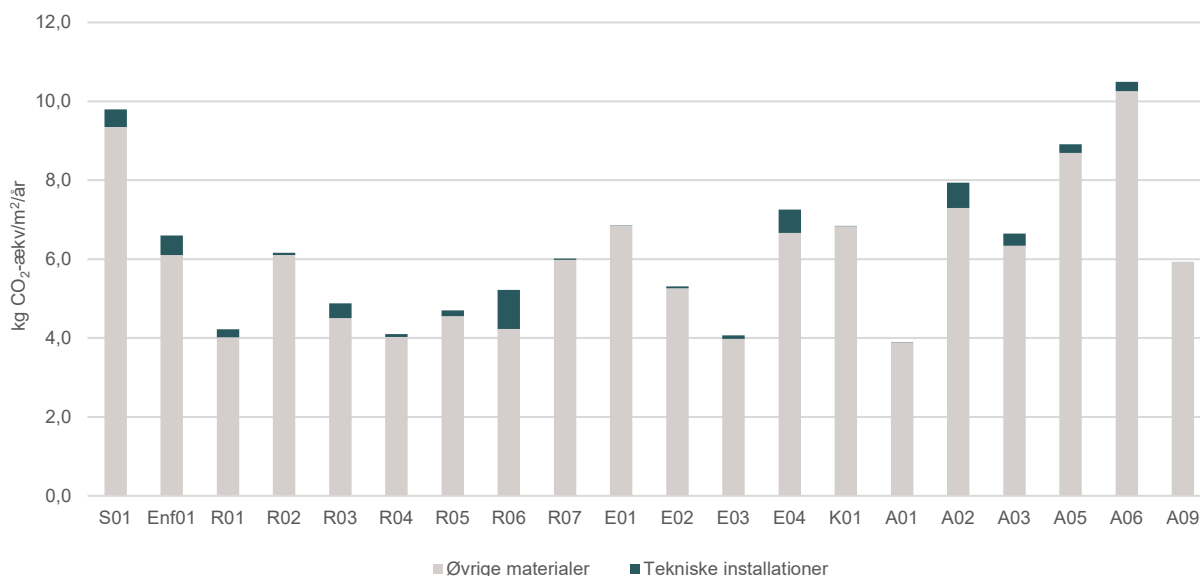
3.3 LCA-resultater for tekniske installationer og solceller for træcases

Tidligere studier har vist at både tekniske installationer og solceller kan udgøre en større andel af de indlejrede påvirkninger. Et studie af *Passer et al.* (2012) har analyseret fem beboelsesejendomme med et samlet etageareal på 1000-2000 m², hvori påvirkningerne fra installationer udgør omkring 5% af de samlede indlejrede klimapåvirkninger. Derudover anslås de tekniske installationer også ofte at have større påvirkninger for kontorbygninger end for beboelsesejendomme. Et studie af *Huang et al.* (2019) viser at påvirkningerne fra tekniske installationer i kontorbyggeri udgør omkring 10% af de samlede indlejrede klimapåvirkninger,

mens Kiamili et al. (2020) estimerer at alene HVAC-systemerne (varme (Heating), Ventilation og Air Conditioning) udgør 15-36% af kontorbygningers indlejrede klimapåvirkninger. Derfor har dette afsnit særligt fokus på påvirkninger fra tekniske installationer samt el- og mekaniske anlæg.

Som beskrevet i afsnit 2.2 skelner denne rapport mellem *tekniske installationer* og *el- og mekaniske anlæg*. Det vil sige at *tekniske installationer* omfatter bygningsdelsgrupperne *Afløb, Vand, Varme* og *Ventilation og køl*, hvor *el- og mekaniske anlæg* indgår som sin egen gruppe (se Tabel 2). *El- og mekaniske anlæg* inkluderer fx elevatorer og solceller, som indgår i analyserne for de indlejrede påvirkninger. Det varierer hvor mange af undergrupperne for tekniske installationer der er udfyldt for de forskellige case-bygninger. For den case-bygning, hvor der er mest data, er 7 ud af de 10 undergrupper for tekniske installationer udfyldt helt eller delvist. I gennemsnit er kun 3 af undergrupperne for de tekniske installationer udfyldt. Der er altså en stor mangel på data for de tekniske installationer i datagrundlaget der er tilgængeligt for case-bygningerne.

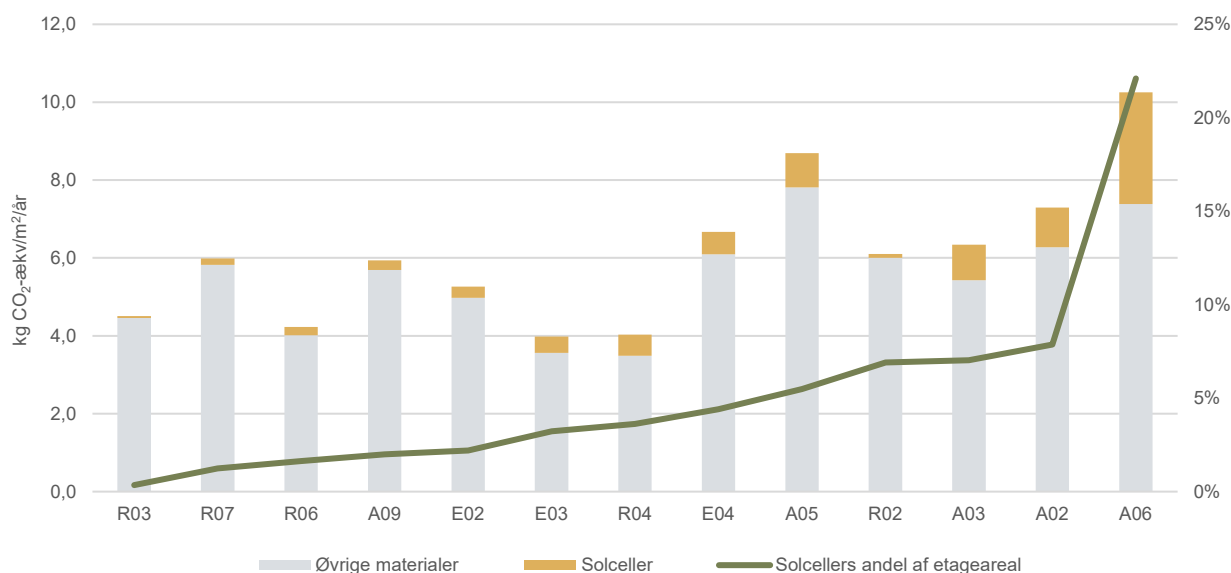
Figur 11 viser påvirkningerne fra tekniske installationer og øvrige materialer i case-bygningerne. Af figuren ses det at også påvirkningerne fra tekniske installationer i høj grad varierer. De tekniske installationer udgør helt op til 1/5 del (19%) af de indlejrede påvirkninger og har dermed potentiale til at udgøre en relativt stor del af de indlejrede påvirkninger (som tidligere studier også har vist). Dette afhænger naturligvis af hvilken data der har været tilgængelig på de tekniske installationer for case-bygningerne, men også i høj grad af hvilke grupper, der er udfyldt, da der sandsynligvis er nogle grupper og undergrupper der bidrager med højere påvirkninger end andre. Det viser altså, at det fremadrettet er vigtigt at have fokus på at forbedre data for de tekniske installationer, således påvirkningerne fra de tekniske installationer kan blive belyst i højere grad og ikke udgør en potentielt stor usikkerhed.



FIGUR 11. Indlejrede klimapåvirkninger for træcasene over en 50 års betragtningsperiode inklusiv påvirkninger fra tekniske installationer.

Fokuseres derimod på gruppen *el- og mekaniske anlæg*, viser Figur 12 solcellernes andel af de indlejrede påvirkninger (søjlerne) samt andelen af solcellearealet i forhold til etagearealet for case-bygningerne (kurven). 13 ud af de 20 undersøgte case-bygninger inkluderer solceller, hvor solcellearealet i forhold til etagearealet udgør mellem 1% og 22%. Der er altså stor forskel på hvor mange solceller case-bygningerne indeholder. Mængden af solceller i case-

bygningerne afspejles også i solcellernes andel af de indlejrede påvirkninger, hvor påvirkningerne fra solceller varierer fra 1% til 28% af de indlejrede påvirkninger. Der er altså en næsten lineær sammenhæng mellem mængden af solceller anvendt i case-bygningerne og hvor stor en andel solcellerne udgør af de indlejrede påvirkninger. Denne sammenhæng ses også af studiet af (Zimmermann et al., 2020). Dermed kan solcellerne potentielt udgøre en betydelig del af de indlejrede påvirkninger, hvilket er vigtigt at have i betragtning når de indlejrede påvirkninger for case-bygningerne sammenlignes.



FIGUR 12. Indlejrede klimapåvirkninger for træcasene over en 50 års betragtningsperiode eksklusiv tekniske installationer. Søjlerne refererer til akserne til venstre og angiver solcellers andel af de indlejrede klimapåvirkninger. Kurven refererer til akserne til højre og viser solcellers andel af etagearealet for hver af træcasene.

4 POTENTIALE FOR TRÆBYGNINGER

4.1 Klimapåvirkning for bygninger og grænseværdier

For at kunne vurdere potentialet for træ til at reducere klimapåvirkningerne for danske bygninger, sammenlignes resultaterne i dette afsnit med andre studier, der har undersøgt klimapåvirkningen for andre bygninger. I Figur 13 er klimapåvirkningen for case-bygningerne af træ fra dette studie sammenlignet med klimapåvirkningen for case-bygninger fra to andre studier på baggrund af bygningstyperne *Mindre byggerier* (heriblandt sommerhuse og enfamiliehuse), *Rækkehuse*, *Etageboliger* og *Andet byggeri*. De to studier, der er valgt til sammenligningen, er SBI-rapporten *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* (Zimmermann et al., 2020) og Rambøll-rapporten *CO₂-besparelse ved træbyggeri* (Sørensen et al., 2020). Overordnet set undersøger *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* klimapåvirkningen for en række case-bygninger, der er forskellige i bygningstype, funktion, størrelse og materialevalg. Det betyder også at case-bygningerne i *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* ikke kun anvender træ, som materiale i de bærende konstruktioner (for nærmere information, se (Zimmermann et al., 2020)). Rapporten *CO₂-besparelse ved træbyggeri* undersøger fire forskellige case-bygninger af forskellig bygningstype, hvor materialevalget varieres med hver fire variationer. Forskellen mellem variationerne er at der i øget grad anvendes træ i bygningerne (for nærmere information, se (Sørensen et al., 2020)).

For at gøre dette studie sammenligneligt med *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* og *CO₂-besparelse ved træbyggeri* er der udelukkende fokuseret på påvirkningerne fra produktion, udskiftning og bortskaffelse af materialer svarende til livscyklusfaserne A1-3, B4, C3 og C4. På denne måde anvender alle tre studier en tilsvarende metode for beregning af klimapåvirkningerne og antages derfor at være sammenlignelige.

I Figur 13 øverst til venstre sammenlignes klimapåvirkningen for de mindre byggerier i de tre studier inklusiv både sommerhuse og enfamiliehuse. For de mindre byggerier ses det at træcasene fra dette studie og casene fra *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* ligger på omtrent samme niveau i forhold til de indlejrede klimapåvirkninger. Medianen for træcasene i dette studie ligger på 6,8 kg CO₂-ækv/m²/år, hvor medianen for *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* ligger på 7,0 kg CO₂-ækv/m²/år. Til gengæld ses det at casene fra *CO₂-besparelse ved træbyggeri* har en tydeligt lavere klimapåvirkning. Her er medianværdien helt nede på 4,9 kg CO₂-ækv/m²/år. Det er dog vigtigt at være opmærksom på at kun to ud af de 20 case-bygninger i dette studie er mindre byggerier, og at der kun er fire case-bygninger inkluderet for hver bygningstype i studiet *CO₂-besparelse ved træbyggeri*. Dermed er datagrundlaget for de mindre byggerier meget begrænset i forhold til at kunne lave nogle generelle konklusioner.

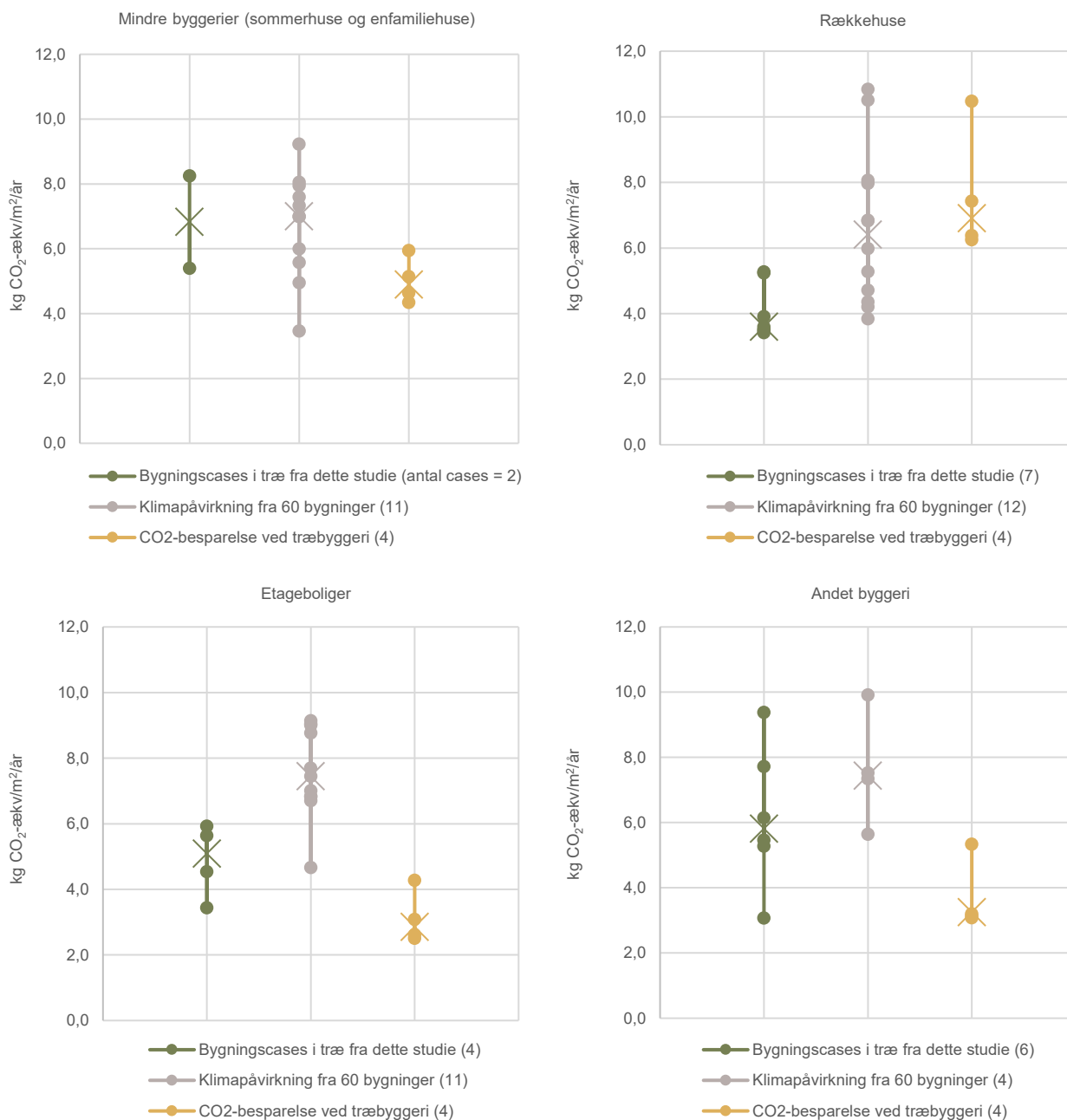
Når der ses på rækkehusene (Figur 13 øverst til højre) er det et andet billede. I dette studie er syv ud af 20 case-bygninger rækkehuse, hvor studiet *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* inkluderer 12 rækkehuse og *CO₂-besparelse ved træbyggeri* fire rækkehuse. For rækkehusene i træ fra dette studie ses en markant lavere klimapåvirkning i forhold til de to sammenligningsstudier. Medianværdien for træcasene er 3,6 kg CO₂-ækv/m²/år, hvor den for *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* og *CO₂-besparelse ved træbyggeri* er henholdsvis 6,4 kg CO₂-ækv/m²/år og 6,9 kg CO₂-ækv/m²/år. Der er altså en markant forskel i klimapåvirkningen mellem studierne for denne bygningstype. Den markante forskel mellem træcasene i

dette studie og case-bygningerne i *Klimapåvirkning for 60 bygninger* kan skyldes at rækkehusene i dette studie primært er præfabrikerede boksbyggerier, hvor der har været mulighed for i højere grad at optimere konstruktionen og dermed ikke kun at der er brugt træ i bygningerne (se Bilag 3 for analyse af konstruktionsprincipper).

For etageboligerne ses også markant lavere påvirkninger for træcasene når der sammenlignes med case-bygningerne i *Klimapåvirkning for 60 bygninger* (se Figur 13 nederst til venstre). Her ligger medianværdien for træcasene på 5,1 kg CO₂-ækv/m²/år og for case-bygningerne i *CO₂-besparelse ved træbyggeri* på 2,9 kg CO₂-ækv/m²/år, hvorimod medianen for case-bygningerne i *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* ligger på 7,4 kg CO₂-ækv/m²/år. Der er altså igen en væsentlig forskel på de indlejrede klimapåvirkninger fra træbyggerierne i sammenligning med case-bygningerne i *Klimapåvirkning fra 60 bygninger*.

Endeligt for bygningstypen *Andet byggeri* ses væsentligt lavere indlejrede klimapåvirkninger for træcasene sammenlignet case-bygningerne i *Klimapåvirkning fra 60 bygninger*. I kategorien *Andet byggeri* er der inkluderet seks case-bygninger fra dette studie og fire case-bygninger fra henholdsvis *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* og *CO₂-besparelse ved træbyggeri*. Igen er de indlejrede klimapåvirkninger fra case-bygningerne i træ (både fra dette studie og studiet *CO₂-besparelse ved træbyggeri*) blandt de laveste. De indlejrede klimapåvirkninger for træcasene i dette studie ligger med en medianværdi på 5,8 kg CO₂-ækv/m²/år og i *CO₂-besparelse ved træbyggeri* på 3,2 kg CO₂-ækv/m²/år. Derimod ligger de indlejrede klimapåvirkninger for case-bygningerne i *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* på 7,4 kg CO₂-ækv/m²/år.

På tværs af de forskellige bygningstyper ses altså en tendens til at case-bygningerne med træ i de bærende konstruktioner har lavere indlejrede klimapåvirkninger end case-bygningerne med både lette og tunge materialer i de bærende konstruktioner. På tværs af bygningstyperne er medianen for træcasene i dette studie 5,3 kg CO₂-ækv/m²/år og for casene i *CO₂-besparelse ved træbyggeri* på 4,5 kg CO₂-ækv/m²/år, hvor medianværdien for case-bygningerne i *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* er 7,1 kg CO₂-ækv/m²/år. Dette tyder altså på at der generelt er et potentiale for at reducere de indlejrede klimapåvirkninger ved at anvende en øget grad af træ i byggeriet, hvilket andre nationale og internationale studier også bekræfter (Andersen et al., 2021; Hafner & Schäfer, 2017; Hart et al., 2021; Spear et al., 2019). Det er dog vigtigt i den forbindelse at være opmærksom på, at nogle af træcasene også har relativt høje klimapåvirkninger og at træ dermed ikke alene udgør løsningen til at reducere de indlejrede klimapåvirkninger på bygningsniveau, men at der også bør være fokus på andre parametre såsom for eksempel udformningen af bygningerne og øvrige materialevalg.

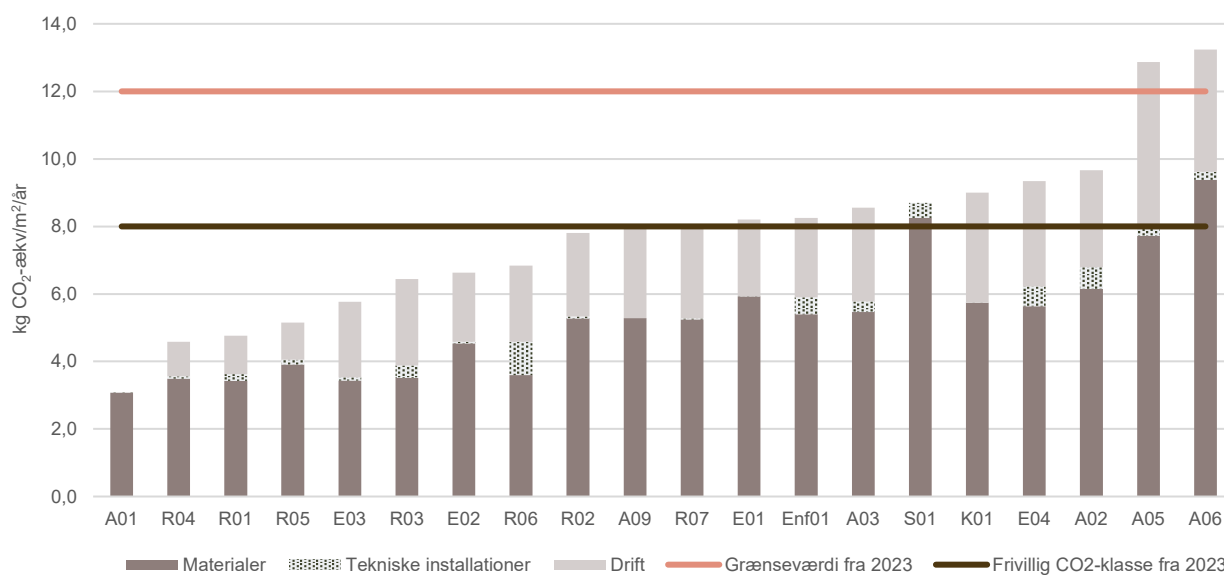


FIGUR 13. Indlejrede klimapåvirkninger for træcasene samt cases undersøgt i rapporterne *Klimapåvirkning fra 60 bygninger* (Zimmermann et al., 2020) og *CO₂-besparelse ved træbyggeri* (Sørensen et al., 2020) set over en 50 års betragtningsperiode. De indlejrede påvirkninger dækker over livscyklusfaserne A1-A3, B4, C3-C4 og er eksklusiv tekniske installationer. Bygningstypen Kontor er udeladt, da der her kun er en case i dette studie. Øverst venstre: Mindre byggerier (inklusive sommerhuse og enfamiliehuse). Øverst højre: Rækkehuse. Nederst venstre: Etageboliger. Nederst højre: Andet byggeri

Af Figur 14 ses klimapåvirkningen for case-bygningerne i dette studie fra mindst til størst i relation til de kommende nationale grænseværdier for byggeriet (Indenrigs- og boligministeriet, 2021). Grænseværdierne forventes at inkludere påvirkninger fra produktion, udskiftning, driftsenergiforbrug og bortskaffelse svarende til livscyklusfaserne A1-3, B4, B6, C3 og C4. Derfor er det påvirkningerne fra disse livscyklusfaser, der er inkluderet i figuren. Desuden er påvirkningerne fra tekniske installationer inkluderet i figuren med stiplede linjer, da disse også vil være inkluderet i de kommende grænseværdier, men stadig udgør en væsentlig usikkerhed for case-bygningerne i dette studie.

Det ses af Figur 14 at 18 ud af 20 case-bygninger overholder grænseværdien på 12 kg CO₂-ækv/m²/år. Samtidig med at den obligatoriske grænseværdi for nybyggeri indføres fra

2023 implementeres også en frivillig CO₂-klasse, hvor grænseværdien er mere ambitiøs og fastsat til 8 kg CO₂-ækv/m²/år. Figur 14 viser at 11 ud af de 20 case-bygninger overholder den frivillige grænseværdi på 8 kg CO₂-ækv/m²/år for drift og materialer. Det vil sige, at det allerede med de nuværende byggeprocesser og -metoder i høj grad muligt at opføre bygninger, der har tilstrækkeligt lave klimapåvirkninger til at overholde den obligatoriske såvel som den frivillige grænseværdi. Det betyder også at hvis fremtidige byggerier i højere grad bliver udformet med fokus på reduktion af klimapåvirkninger og ved aktivt at bruge LCA som værktøj i designprocessen, er der et potentiale til at byggerierne kan opnå endnu lavere klimapåvirkninger. Der skal dog tages højde for at en øget detaljering af datagrundlaget for LCA'erne for eksempel i forhold til data for tekniske installationer sandsynligvis vil resultere i øgede klimapåvirkninger.



FIGUR 14. Klimapåvirkning for træcasene over en 50 års betragtningsperiode. De totale påvirkninger udgør indlejrede såvel som driftspåvirkninger eksklusiv påvirkninger fra tekniske installationer og fra livscyklusfaserne A4 og A5. Livscyklusfaserne A4 og A5 er udeladt, da påvirkningerne fra disse livscyklusfaser formentlig ikke indgår i de kommende grænseværdier som er baseret på A1-A3, B4, B6 og C3-C4.

5 OPSUMMERING

Formålet med denne rapport er at vurdere potentialet til at reducere klimapåvirkningerne ved bygninger med træ i de bærende konstruktioner med LCA-tilgangen, som afprøves i FBK. Derudover er formålet at sammenholde bygningscasenes klimapåvirkning med de krav, som implementeres i Bygningsreglementet fra 2023.

Det ses af resultaterne for de 20 bygningscases, at bygningerne generelt har lave klimapåvirkninger. Det er dog tydeligt, at variationen blandt bygningscasenes klimapåvirkninger er stor, og at det dermed ikke udelukkende er brugen af træ i bygningerne, der er med til at reducere klimapåvirkningerne. Dette stemmer overens med studiet *Klimapåvirkning for 60 bygninger* (Zimmermann et al., 2020). Det skal dog bemærkes, at vi i sammenligningen med *Klimapåvirkning for 60 bygninger* (Zimmermann et al., 2020) og *CO2-besparelse ved træbyggeri* (Sørensen et al., 2020) fandt, at der blandt bygningscases undersøgt i dette studie generelt er flere bygninger med lave klimapåvirkninger, end hvad der var tilfældet i studiet *Klimapåvirkning fra 60 bygninger*. Når klimapåvirkningen for bygningscasene sammenholdes med de nationale grænseværdier for byggeri, ses det, at det i høj grad er muligt at nå under grænseværdierne allerede med det byggeri, der bliver bygget i dag.

Alt i alt tyder resultaterne på, at der er et potentiale for at reducere klimapåvirkningerne for bygninger ved at anvende en øget grad af træ i bygninger. Det er dog vigtigt at være opmærksom på, at træ sandsynligvis ikke er nok i sig selv til at reducere klimapåvirkningerne, da der også er bygningscases med høje klimapåvirkninger på trods af store mængder af træ i bygningen. I disse tilfælde er det typisk andre aspekter som for eksempel udformningen af bygningen eller det øvrige materialevalg, der er med til at øge klimapåvirkningerne. Dette understreger vigtigheden af at fokusere på bygningen som helhed og at anvende LCA som værktøj i designprocessen til at kvantificere hvilke tiltag, der bidrager til reduktion af klimapåvirkning. Derfor er det i fremtidigt arbejde yderst relevant at undersøge hvilke faktorer, der har betydning for bygningens samlede klimapåvirkning, og hvordan træ bedst kan anvendes i bygninger til at reducere klimapåvirkningen.

6 REFERENCER

- Aagaard, N.-J., Brandt, E., Aggerholm, S., & Haugbølle, K. (2013). *SBI 2013:30 Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi*. www.sbi.dk
- Andersen, C. E., Rasmussen, F. N., Habert, G., & Birgisdóttir, H. (2021). Embodied GHG Emissions of Wooden Buildings—Challenges of Biogenic Carbon Accounting in Current LCA Methods. *Frontiers in Built Environment*, 0, 120. <https://doi.org/10.3389/FBUIL.2021.729096>
- Birgisdóttir, H., & Rasmussen, F. N. (2015). *Introduktion til LCA på bygninger*.
- Bolig- og Planstyrelsen. (2018). *BR18*. <https://byggningsreglementet.dk/>
- Bolig- og Planstyrelsen. (2020). *Den frivillige bæredygtighedsklasse*.
- CEN. (2006a). *DS/EN ISO 14040 - Miljøledelse - Livscyklusvurdering - Principper og struktur*.
- CEN. (2006b). *DS/EN ISO 14044 - Miljøledelse - Livscyklusvurdering - Krav og vejledning Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*.
- CEN. (2012). *DS/EN 15978 - Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet - Beregningsmetode*.
- CEN. (2014). *DS/EN 16485 - Rundtræ og savet træ - Miljøvare- deklaration - Produktkategoriregler for træ og træbaserede produkter til konstruktionsbrug*.
- CEN. (2019). *DS/EN 15804:2012+A2:2019 - Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Miljøvaredeklarationer - Grundlæggende regler for produkt- kategorien byggevarer*.
- Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C. P. O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B. K., Graedel, T. E., & Schellnhuber, H. J. (2020). Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 3, 269–276. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>
- Danish Transport Construction and Housing Authority, & COWI. (2016). *New emission factors for electricity and district heating (in Danish: Nye emissionsfaktorer for el og fjernvarme)*.
- EPD Danmark. (n.d.). *EPD Databasen*. Retrieved September 30, 2021, from <https://www.epddanmark.dk/epd-databasen/>
- Hafner, A., & Schäfer, S. (2017). Comparative LCA study of different timber and mineral buildings and calculation method for substitution factors on building level. *Journal of Cleaner Production*, 167, 630–642. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.08.203>
- Hart, J., D'Amico, B., & Pomponi, F. (2021). Whole-life embodied carbon in multistory buildings: Steel, concrete and timber structures. *Journal of Industrial Ecology*, 25(2), 403–418. <https://doi.org/10.1111/JIEC.13139>
- Huang, M., Simonen, K. L., & Ditto, J. (2019). *Life Cycle Assessment of Mechanical, Electrical and Plumbing in Commercial Office Buildings*. April, 47.

- Indenrigs- og boligministeriet. (2021). *National strategi for bæredygtigt byggeri*.
- Kiamili, C., Hollberg, A., & Habert, G. (2020). Detailed assessment of embodied carbon of HVAC systems for a new office building based on BIM. *Sustainability (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/SU12083372>
- Klimarådet. (2020). *Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion. Retning og tiltag for de næste ti års klimaindsats i Danmark*.
- Passer, A., Kreiner, H., & Maydl, P. (2012). Assessment of the environmental performance of buildings: A critical evaluation of the influence of technical building equipment on residential buildings. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(9), 1116–1130. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0435-6>
- Rasmussen, F. N., Andersen, C. E., Wittchen, A., Hansen, R. N., & Birgisdóttir, H. (2021). Environmental Product Declarations of Structural Wood: A Review of Impacts and Potential Pitfalls for Practice. *Buildings 2021, Vol. 11, Page 362*, 11(8), 362. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS11080362>
- Sørensen, L. H. H., Schack, R., & Collin, C. (2020). *CO2-besparelse ved træbyggeri: Sammenligningsstudie af træbyggeri og konventionelt byggeri*.
- Spear, M., Hill, C., Norton, A., & Price, C. (2019). *Wood in Construction in the UK: An Analysis of Carbon Abatement Potential*. <https://www.theccc.org.uk/publication/wood-in-construction-in-the-uk-an-analysis-of-carbon-abatement-potential-biocomposites-centre/>
- United Nations Environment Programme. (2020). *2020 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION. Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector*.
- Zimmermann, R. K., Andersen, C. E., Kanafani, K., & Birgisdóttir, H. (2020). *Klimapåvirkning fra 60 bygninger: Muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger*.

BILAG 1 - BESKRIVELSE AF CASE-BYGNINGER

TABEL 5. Oversigt over datagrundlaget for case-bygningerne

Case-bygning	Bygningstypologi	År	Areal [m²]	Solcelleareal [m²]	Etager	Konstruktionstype	Vægt [kg/ m²]
S01	Sommerhus	2019	237	-	Lav (1 etage)	Træskeletkonstruktion	1.215
Enf01	Enfamiliehus	2013	87	-	Lav (1 etage)	Træhybrid	464
R01	Rækkehus	2014	8378	-	Mellem (2-4 etager)	Bokselementer	430
R02	Rækkehus	2021	2942	203	Lav (1 etage)	Fladeelementer	875
R03	Rækkehus	2017	3720	13	Mellem (2-4 etager)	CLT	770
R04	Rækkehus	2019	4788	173	Mellem (2-4 etager)	Bokselementer	367
R05	Rækkehus	2021	5071	-	Mellem (2-4 etager)	Bokselementer	454
R06	Rækkehus	2019	5367	88	Mellem (2-4 etager)	Bokselementer	424
R07	Rækkehus	2019	3800	47	Mellem (2-4 etager)	Bokselementer	589
E01	Etagebolig	2019	4150	-	Mellem (2-4 etager)	Træhybrid	1.042
E02	Etagebolig	2021	10.813	237	Mellem (2-4 etager)	Bokselementer	445
E03	Etagebolig	2021	17.530	566	Mellem (2-4 etager)	Bokselementer	395
E04	Etagebolig	2021	19.396	856	Mellem (1-3 etager)	Fladeelementer	730
K01	Kontor	2016	1036	-	Lav (1 etage)	Træskeletkonstruktion	1.345
A01	Lethal	2015	1026	-	Lav (1 etage)	CLT	985
A02	Institution	2020	470	37	Lav (1 etage)	Træskeletkonstruktion	1.005
A03	Institution	2021	1038	73	Mellem (2-4 etager)	Træskeletkonstruktion	683
A05	Institution	2013	148	8	Lav (1 etage)	Bokselementer	707
A06	Butik	2020	1203	266	Lav (1 etage)	Træhybrid	512
A09	Skole	2020	6014	120	Mellem (2-4 etager)	Limtræskonstruktion	600

BILAG 2 - BYGNINGSDELE INKLUDERET I LCA

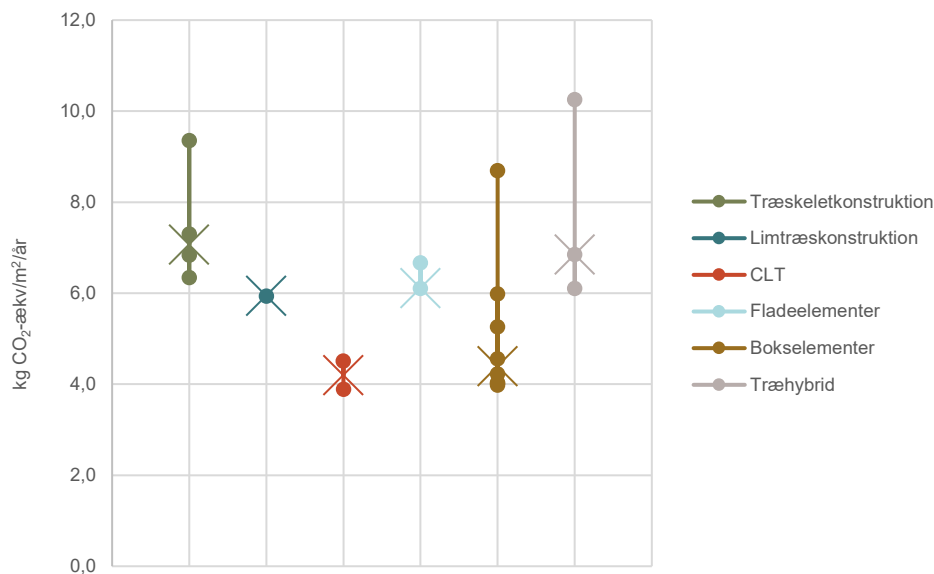
TABEL 6. Bygningsdelsgrupper og heriblandt elementer inkluderet i LCAerne for case-bygningerne

Bygningsdelsgrupper	
<i>Fundamenter</i>	Linjefundamenter Punktfundamenter Pælefundamenter og brøndfundamenter
<i>Terrændæk</i>	Underlag - grus og isolering Midterlag – bærende elementer (inkl. armering hvis betondæk) Overside - gulvopbygning, overflader
<i>Dæk</i>	Underside - loftopbygning, overfladebehandling Midterlag - bærende elementer (inkl. armering hvis betondæk), isolering Overside - gulvopbygning, overfladebehandling
<i>Ydervægge</i>	Inderside - opbygning, overfladebehandling Midterlag - bærende elementer, isolering Yderside - opbygning, facadebeklædning, overfladebehandling
<i>Kælderydervægge</i>	Inderside - opbygning, overfladebehandling Midterlag - bærende elementer, isolering Yderside - opbygning, facadebeklædning, overfladebehandling
<i>Bærende konstruktioner</i>	Primære bygningsdele bjælker og søjler Overflader og anden komplettering
<i>Indervægge</i>	Vægside - opbygning, overfladebehandling Midterlag - bærende elementer, isolering Vægside - opbygning, overfladebehandling
<i>Kælderindervægge</i>	Vægside - opbygning, overfladebehandling Midterlag - bærende elementer, isolering Vægside - opbygning, overfladebehandling
<i>Tage</i>	Underside - loftopbygning, overfladebehandling Midterlag - tagopbygning, isolering Overside - tagbelægning
<i>Trapper og ramper</i>	Bærende elementer Overflader, værn og anden komplettering
<i>Altaner og altangange</i>	Bærende elementer Overflader, værn og anden komplettering
<i>Vinduer, døre og glasfacader</i>	Rude Karm
<i>Afløb</i>	Faldstammer Nedløb fra tag
<i>Vand</i>	Varmtvandsbeholder Vandrør
<i>Varme</i>	Varmeforsyningsanlæg Varmerør Radiatorer

	Gulvvarme
<i>Ventilation og køl</i>	Ventilationsanlæg
	Ventilationskanaler
<i>El- og mekaniske anlæg</i>	El-anlæg
	Belysning
	Transportanlæg
	Energiproduktion
<i>Andet</i>	

BILAG 3 - UNDERSØGELSE AF KONSTRUKTIONSPRINCIPPER

Case-bygningernes klimapåvirkning er analyseret i forhold til konstruktionstype. Figur 15 indikerer at case-bygningerne opbygget af bokselementer og CLT har lavere klimapåvirkninger end case-bygningerne med andre konstruktionstyper. For boksbyggerierne kan de lave klimapåvirkninger både skyldes indholdet af træ i bygningen, men også at der har været mulighed for at optimere bokselementer, hvilket typisk bidrager til færre materialer anvendt. De øvrige fire kategorier af konstruktionstyper ligger alle højere for klimapåvirkning. Det er meget vigtigt at påpege, at denne analyse blot præsenterer et overordnet indblik i forskellen mellem konstruktionstyperne og de dertilhørende klimapåvirkninger og dermed ikke udgør en dybdegående analyse. Dette skyldes at datagrundlaget er begrænset til 20 case-bygninger, hvoraf otte case-bygninger er af samme konstruktionstype (bokselementer), hvor resten af case-bygningerne er fordelt på fem øvrige konstruktionstyper. Dermed er datagrundlaget ikke tilstrækkeligt til at kunne etablere en klar sammenhæng mellem konstruktionstype og indlejrede klimapåvirkninger.



FIGUR 15. Indlejret klimapåvirkning for træcasene over en 50 års betragtningsperiode eksklusiv tekniske installationer fordelt på konstruktionstype. Krydset angiver medianværdien for case-bygningerne indenfor hver konstruktionstype.

BILAG 4 - LCA RESULTATER FOR 50 ÅRS BETRAGTNINGSPERIODE

TABEL 7. LCA resultater for case-bygninger for GWP inklusiv tekniske installationer og el- og mekaniske anlæg

Case- bygning	kg CO ₂ -ækv/m ² /år						
	Materialer					Drift	Alle faser
	A1-A3	A4	A5	B4	C3-C4	B6	A1-A3, A4, A5, B4, B6, C3-C4
S01	-2,1E-01	4,7E-01	6,5E-01	1,5E+00	7,4E+00	0,0E+00	9,8E+00
Enf01	-3,2E+00	3,7E-01	3,6E-01	2,2E+00	6,9E+00	2,4E+00	9,0E+00
R01	4,3E-01	3,1E-01	3,1E-01	6,2E-01	2,6E+00	1,1E+00	5,4E+00
R02	8,3E-01	4,9E-01	3,5E-01	1,2E+00	3,3E+00	2,5E+00	8,6E+00
R03	-3,2E+00	6,8E-01	3,3E-01	4,2E-01	6,6E+00	2,6E+00	7,4E+00
R04	-4,1E-01	2,5E-01	2,9E-01	6,6E-01	3,3E+00	1,0E+00	5,1E+00
R05	-6,4E-01	3,1E-01	3,4E-01	6,9E-01	4,0E+00	1,1E+00	5,8E+00
R06	2,7E-01	3,4E-01	3,5E-01	1,2E+00	3,1E+00	2,3E+00	7,5E+00
R07	1,9E+00	3,0E-01	4,5E-01	5,4E-01	2,9E+00	2,7E+00	8,7E+00
E01	1,8E+00	4,2E-01	5,0E-01	4,1E-01	3,7E+00	2,3E+00	9,1E+00
E02	1,7E+00	3,2E-01	4,1E-01	6,0E-01	2,3E+00	2,0E+00	7,4E+00
E03	8,5E-01	2,6E-01	2,9E-01	5,4E-01	2,1E+00	2,2E+00	6,3E+00
E04	2,8E+00	5,3E-01	5,4E-01	1,1E+00	2,4E+00	3,1E+00	1,0E+01
K01	7,9E-01	6,1E-01	4,9E-01	3,8E-01	4,6E+00	3,3E+00	1,0E+01
A01	4,6E-01	5,5E-01	2,7E-01	3,2E-01	2,3E+00	0,0E+00	3,9E+00
A02	9,3E-01	6,3E-01	5,6E-01	1,2E+00	4,6E+00	2,9E+00	1,1E+01
A03	9,8E-01	4,4E-01	4,5E-01	1,3E+00	3,5E+00	2,8E+00	9,4E+00
A05	6,7E-01	3,8E-01	6,1E-01	1,5E+00	5,7E+00	4,9E+00	1,4E+01
A06	5,2E+00	2,2E-01	6,7E-01	2,7E+00	1,7E+00	3,6E+00	1,4E+01
A09	1,8E+00	2,6E-01	3,9E-01	9,8E-01	2,5E+00	2,7E+00	8,6E+00

TABEL 8. LCA resultater for case-bygninger for ODP inklusiv tekniske installationer og el- og mekaniske anlæg

Case- bygning	kg CFC11-ækv/m ² /år						
	Materialer					Drift	Alle faser
	A1-A3	A4	A5	B4	C3-C4	B6	A1-A3, A4, A5, B4, B6, C3-C4
S01	8,4E-08	2,2E-16	5,7E-09	8,8E-09	9,3E-11	0,0E+00	9,9E-08
Enf01	1,4E-07	1,7E-16	1,0E-08	7,3E-08	5,9E-12	9,9E-13	2,2E-07
R01	2,2E-08	1,4E-16	1,1E-09	7,1E-10	4,4E-13	5,0E-13	2,4E-08
R02	5,8E-08	2,2E-16	4,1E-09	6,2E-13	9,6E-13	1,5E-12	6,2E-08
R03	5,5E-08	3,1E-16	3,0E-09	1,3E-12	5,4E-13	3,2E-12	5,8E-08
R04	2,9E-07	1,2E-16	2,8E-08	1,8E-12	1,5E-12	5,8E-13	3,1E-07
R05	3,3E-07	1,4E-16	3,2E-08	6,0E-11	1,8E-12	7,0E-13	3,6E-07
R06	2,8E-08	1,5E-16	1,5E-09	1,5E-09	3,4E-13	1,3E-12	3,1E-08
R07	4,6E-08	1,4E-16	3,2E-09	1,5E-09	1,5E-12	3,6E-12	5,0E-08
E01	4,9E-08	1,9E-16	3,1E-09	3,1E-09	8,7E-13	3,0E-12	5,5E-08
E02	8,3E-08	1,5E-16	7,5E-09	1,0E-12	2,8E-13	3,0E-12	9,0E-08
E03	6,2E-08	1,2E-16	5,3E-09	4,7E-10	5,4E-13	3,3E-12	6,8E-08
E04	4,0E-08	2,4E-16	3,0E-09	3,1E-12	8,0E-13	1,6E-12	4,3E-08
K01	7,0E-08	2,8E-16	3,7E-09	3,8E-09	6,9E-13	3,9E-12	7,8E-08
A01	4,1E-08	2,5E-16	2,0E-09	2,6E-15	1,9E-14	0,0E+00	4,3E-08
A02	3,2E-08	2,9E-16	1,7E-09	9,8E-10	7,3E-13	4,2E-12	3,5E-08
A03	2,2E-08	2,0E-16	1,2E-09	5,6E-10	5,3E-13	4,0E-12	2,4E-08
A05	5,8E-08	1,7E-16	3,1E-09	3,1E-09	1,5E-11	5,5E-12	6,4E-08
A06	2,4E-08	1,0E-16	1,4E-09	6,5E-10	1,3E-12	2,2E-12	2,6E-08
A09	5,6E-08	1,2E-16	3,6E-09	8,9E-10	4,5E-11	1,4E-12	6,0E-08

TABEL 9. LCA resultater for case-bygninger for AP inklusiv tekniske installationer og el- og mekaniske anlæg

Case- bygning	kg SO ₂ -ækv/m ² /år						
	Materialer					Drift	Alle faser
	A1-A3	A4	A5	B4	C3-C4	B6	A1-A3, A4, A5, B4, B6, C3-C4
S01	1,8E-02	1,2E-03	1,8E-03	5,2E-03	1,4E-03	0,0E+00	2,7E-02
Enf01	9,8E-03	9,8E-04	1,1E-03	7,8E-03	1,4E-03	9,2E-03	3,0E-02
R01	7,2E-03	8,1E-04	7,7E-04	2,2E-03	6,3E-04	4,6E-03	1,6E-02
R02	1,0E-02	1,2E-03	1,0E-03	3,3E-03	9,9E-04	1,2E-02	2,9E-02
R03	9,3E-03	1,7E-03	9,2E-04	1,5E-03	1,3E-03	1,5E-02	3,0E-02
R04	6,4E-03	6,5E-04	7,0E-04	2,2E-03	6,8E-04	4,9E-03	1,6E-02
R05	7,1E-03	8,0E-04	7,8E-04	2,3E-03	8,1E-04	5,7E-03	1,8E-02
R06	9,4E-03	8,9E-04	1,0E-03	4,6E-03	7,7E-04	1,1E-02	2,7E-02
R07	1,5E-02	7,7E-04	1,5E-03	2,2E-03	6,4E-04	1,7E-02	3,7E-02
E01	1,2E-02	1,1E-03	1,2E-03	1,3E-03	1,3E-03	1,4E-02	3,0E-02
E02	1,1E-02	8,2E-04	1,2E-03	2,4E-03	6,8E-04	1,3E-02	2,9E-02
E03	8,3E-03	6,7E-04	8,8E-04	2,6E-03	6,2E-04	1,4E-02	2,7E-02
E04	1,3E-02	1,3E-03	1,5E-03	3,1E-03	7,4E-04	1,4E-02	3,4E-02
K01	1,2E-02	1,5E-03	1,2E-03	1,3E-03	1,3E-03	1,8E-02	3,6E-02
A01	5,3E-03	1,3E-03	6,0E-04	6,6E-04	9,1E-04	0,0E+00	8,8E-03
A02	1,1E-02	1,6E-03	1,3E-03	4,7E-03	1,2E-03	1,8E-02	3,8E-02
A03	7,9E-03	1,1E-03	9,1E-04	4,0E-03	9,7E-04	1,8E-02	3,2E-02
A05	1,7E-02	1,0E-03	1,8E-03	5,7E-03	1,4E-03	2,6E-02	5,3E-02
A06	2,0E-02	5,4E-04	2,1E-03	8,6E-03	7,6E-04	1,8E-02	5,0E-02
A09	1,2E-02	6,4E-04	1,1E-03	3,5E-03	7,9E-04	1,2E-02	3,0E-02

TABEL 10. LCA resultater for case-bygninger for EP inklusiv tekniske installationer og el- og mekaniske anlæg

kg PO ₄ ³⁻ -ækv/m ² /år							
Case-bygning	Materialer					Drift	Alle faser
	A1-A3	A4	A5	B4	C3-C4	B6	A1-A3, A4, A5, B4, B6, C3-C4
S01	3,6E-03	2,8E-04	3,8E-04	9,3E-04	8,1E-04	0,0E+00	6,0E-03
Enf01	4,0E-03	2,2E-04	4,6E-04	3,9E-03	1,0E-03	2,0E-03	1,2E-02
R01	1,3E-03	1,8E-04	1,5E-04	3,3E-04	3,3E-04	1,0E-03	3,3E-03
R02	1,6E-03	2,9E-04	1,9E-04	5,3E-04	5,6E-04	2,7E-03	5,9E-03
R03	2,8E-03	4,0E-04	2,1E-04	2,2E-04	4,3E-04	3,2E-03	7,2E-03
R04	1,1E-03	1,5E-04	1,4E-04	2,8E-04	4,8E-04	1,1E-03	3,2E-03
R05	1,3E-03	1,9E-04	1,6E-04	3,1E-04	5,8E-04	1,3E-03	3,8E-03
R06	1,3E-03	2,0E-04	1,7E-04	4,8E-04	5,5E-04	2,4E-03	5,1E-03
R07	1,9E-03	1,8E-04	2,0E-04	2,8E-04	2,6E-04	3,5E-03	6,4E-03
E01	2,2E-03	2,5E-04	2,2E-04	2,7E-04	4,3E-04	2,9E-03	6,3E-03
E02	2,1E-03	1,9E-04	2,3E-04	6,6E-04	3,5E-04	2,7E-03	6,2E-03
E03	1,7E-03	1,6E-04	1,9E-04	6,7E-04	3,3E-04	3,0E-03	6,0E-03
E04	2,1E-03	3,1E-04	2,5E-04	3,2E-04	3,7E-04	3,1E-03	6,4E-03
K01	2,3E-03	3,6E-04	2,4E-04	2,5E-04	6,8E-04	3,9E-03	7,7E-03
A01	1,2E-03	3,2E-04	1,4E-04	1,6E-04	4,0E-04	0,0E+00	2,2E-03
A02	2,2E-03	3,7E-04	2,6E-04	9,9E-04	5,4E-04	3,8E-03	8,2E-03
A03	1,7E-03	2,6E-04	2,0E-04	8,4E-04	3,4E-04	3,7E-03	7,1E-03
A05	2,7E-03	2,3E-04	3,1E-04	9,1E-04	1,0E-03	5,6E-03	1,1E-02
A06	2,5E-03	1,3E-04	2,6E-04	9,9E-04	2,8E-04	4,0E-03	8,2E-03
A09	2,1E-03	1,5E-04	2,0E-04	7,2E-04	2,4E-04	2,7E-03	6,1E-03

TABEL 11. LCA resultater for case-bygninger for POCP inklusiv tekniske installationer og el- og mekaniske anlæg

kg ethen-ækv/m ² /år							
Case-bygning	Materialer					Drift	Alle faser
	A1-A3	A4	A5	B4	C3-C4	B6	A1-A3, A4, A5, B4, B6, C3-C4
S01	4,9E-03	-3,8E-04	4,5E-04	4,4E-04	7,6E-05	0,0E+00	5,5E-03
Enf01	3,6E-03	-3,0E-04	3,5E-04	3,1E-03	2,6E-04	9,6E-04	7,9E-03
R01	1,9E-03	-2,4E-04	1,7E-04	1,9E-04	4,6E-05	4,8E-04	2,6E-03
R02	3,2E-03	-3,9E-04	8,4E-05	3,9E-04	6,8E-05	1,3E-03	4,6E-03
R03	2,6E-03	-5,5E-04	2,1E-04	1,3E-04	8,5E-05	1,5E-03	4,0E-03
R04	2,0E-03	-2,1E-04	1,9E-04	2,1E-04	4,7E-05	5,1E-04	2,8E-03
R05	2,5E-03	-2,5E-04	2,3E-04	2,2E-04	5,6E-05	5,9E-04	3,3E-03
R06	1,7E-03	-2,7E-04	1,5E-04	3,8E-04	5,7E-05	1,1E-03	3,1E-03
R07	5,0E-03	-2,4E-04	4,8E-04	2,3E-04	4,3E-05	1,7E-03	7,2E-03
E01	3,3E-03	-3,4E-04	3,0E-04	1,0E-04	7,1E-05	1,4E-03	4,9E-03
E02	1,7E-03	-2,6E-04	1,5E-04	2,1E-04	5,2E-05	1,3E-03	3,2E-03
E03	1,5E-03	-2,1E-04	1,3E-04	2,3E-04	4,5E-05	1,4E-03	3,2E-03
E04	3,2E-03	-4,3E-04	2,8E-04	3,3E-04	4,7E-05	1,4E-03	4,9E-03
K01	2,6E-03	-4,9E-04	2,2E-04	1,1E-04	7,9E-05	1,9E-03	4,4E-03
A01	4,7E-04	-4,5E-04	5,0E-06	9,9E-05	6,3E-05	0,0E+00	1,9E-04
A02	3,1E-03	-5,2E-04	2,7E-04	4,0E-04	8,1E-05	1,8E-03	5,2E-03
A03	2,9E-03	-3,6E-04	2,6E-04	6,3E-04	6,9E-05	1,8E-03	5,3E-03
A05	5,3E-03	-3,0E-04	5,0E-04	4,0E-04	9,0E-05	2,7E-03	8,7E-03
A06	4,7E-03	-1,8E-04	4,6E-04	8,3E-04	5,8E-05	1,9E-03	7,7E-03
A09	1,0E-03	-2,1E-04	7,8E-05	2,4E-04	5,2E-05	1,3E-03	2,4E-03

TABEL 12. LCA resultater for case-bygninger for ADPe inklusiv tekniske installationer og el- og mekaniske anlæg

Case- bygning	kg Sb-ækv/m ² /år						
	Materialer					Drift	Alle faser
	A1-A3	A4	A5	B4	C3-C4	B6	A1-A3, A4, A5, B4, B6, C3-C4
S01	1,7E-04	4,1E-08	1,7E-05	2,9E-04	3,8E-08	0,0E+00	4,7E-04
Enf01	7,4E-04	3,3E-08	7,4E-05	1,6E-05	2,5E-08	3,0E-06	8,3E-04
R01	1,8E-04	2,7E-08	1,8E-05	2,0E-05	2,2E-08	1,6E-06	2,2E-04
R02	3,0E-04	4,3E-08	3,0E-05	8,3E-05	4,2E-08	5,0E-06	4,2E-04
R03	6,4E-05	6,0E-08	6,3E-06	5,9E-06	4,2E-08	1,2E-06	7,7E-05
R04	1,2E-04	2,2E-08	1,2E-05	1,1E-05	2,0E-08	1,9E-06	1,4E-04
R05	1,3E-04	2,7E-08	1,3E-05	1,4E-05	2,4E-08	2,4E-06	1,6E-04
R06	2,9E-04	3,0E-08	2,9E-05	4,3E-05	2,6E-08	4,2E-06	3,7E-04
R07	3,5E-04	2,6E-08	3,5E-05	1,7E-04	2,8E-08	1,3E-06	5,5E-04
E01	1,6E-04	3,7E-08	1,6E-05	4,3E-05	3,4E-08	1,1E-06	2,2E-04
E02	1,4E-04	2,8E-08	1,4E-05	6,4E-06	2,4E-08	7,1E-07	1,7E-04
E03	6,3E-05	2,3E-08	6,3E-06	9,3E-05	2,0E-08	6,3E-07	1,6E-04
E04	3,8E-04	4,6E-08	3,8E-05	6,1E-05	2,6E-08	5,1E-06	4,8E-04
K01	3,6E-04	5,3E-08	3,6E-05	1,1E-06	5,1E-08	1,6E-06	4,0E-04
A01	1,0E-04	4,8E-08	1,0E-05	6,8E-08	4,5E-08	0,0E+00	1,1E-04
A02	8,3E-04	5,6E-08	8,3E-05	2,2E-05	5,0E-08	7,5E-07	9,3E-04
A03	7,8E-05	3,8E-08	7,8E-06	2,7E-05	3,9E-08	1,0E-06	1,1E-04
A05	3,4E-04	3,3E-08	3,4E-05	2,5E-04	3,6E-08	2,4E-06	6,3E-04
A06	1,9E-04	1,9E-08	1,9E-05	6,0E-05	3,1E-08	7,3E-06	2,7E-04
A09	2,0E-04	2,3E-08	1,9E-05	1,5E-04	2,7E-08	4,7E-06	3,7E-04

TABEL 13. LCA resultater for case-bygninger for ADPf inklusiv tekniske installationer og el- og mekaniske anlæg

Case- bygning	MJ/m ² /år						
	Materialer					Drift	Alle faser
	A1-A3	A4	A5	B4	C3-C4	B6	A1-A3, A4, A5, B4, B6, C3-C4
S01	7,3E+01	6,4E+00	7,4E+00	2,3E+01	2,6E+00	0,0E+00	1,1E+02
Enf01	7,2E+01	5,0E+00	7,5E+00	7,2E+01	2,6E+00	2,4E+01	1,8E+02
R01	3,8E+01	4,1E+00	4,1E+00	1,4E+01	1,6E+00	1,2E+01	7,3E+01
R02	5,2E+01	6,5E+00	4,8E+00	2,9E+01	2,3E+00	2,5E+01	1,2E+02
R03	4,1E+01	9,2E+00	4,2E+00	7,3E+00	2,7E+00	2,5E+01	8,9E+01
R04	3,5E+01	3,4E+00	3,8E+00	1,4E+01	1,4E+00	1,0E+01	6,8E+01
R05	4,1E+01	4,2E+00	4,4E+00	1,6E+01	1,7E+00	1,1E+01	7,8E+01
R06	4,2E+01	4,5E+00	4,6E+00	2,1E+01	1,8E+00	2,3E+01	9,7E+01
R07	5,5E+01	4,0E+00	5,7E+00	8,8E+00	1,7E+00	2,5E+01	1,0E+02
E01	5,0E+01	5,7E+00	5,3E+00	6,6E+00	2,3E+00	2,2E+01	9,2E+01
E02	4,9E+01	4,3E+00	5,3E+00	1,7E+01	2,1E+00	1,9E+01	9,7E+01
E03	3,8E+01	3,5E+00	4,0E+00	1,5E+01	1,6E+00	2,1E+01	8,3E+01
E04	6,1E+01	7,1E+00	6,8E+00	2,0E+01	2,2E+00	3,2E+01	1,3E+02
K01	5,4E+01	8,1E+00	5,7E+00	1,1E+01	3,1E+00	3,2E+01	1,1E+02
A01	3,2E+01	7,3E+00	3,7E+00	1,6E+01	2,2E+00	0,0E+00	6,2E+01
A02	6,2E+01	8,5E+00	6,9E+00	1,8E+01	2,5E+00	2,7E+01	1,2E+02
A03	5,0E+01	5,9E+00	5,5E+00	1,7E+01	2,1E+00	2,6E+01	1,1E+02
A05	8,0E+01	5,1E+00	8,3E+00	1,8E+01	3,0E+00	4,9E+01	1,6E+02
A06	8,9E+01	2,9E+00	9,2E+00	5,7E+01	3,0E+00	3,7E+01	2,0E+02
A09	4,9E+01	3,5E+00	4,9E+00	2,6E+01	2,2E+00	2,7E+01	1,1E+02

TABEL 14. LCA resultater for case-bygninger for PEtot inklusiv tekniske installationer og el- og mekaniske anlæg

Case- bygning	MJ/m ² /år						
	Materialer					Drift	Alle faser
	A1-A3	A4	A5	B4	C3-C4	B6	A1-A3, A4, A5, B4, B6, C3-C4
S01	2,24E+02	6,77E+00	1,65E+01	3,81E+01	-3,27E+01	0,00E+00	2,52E+02
Enf01	1,56E+02	5,34E+00	4,99E+00	1,34E+01	-9,02E+01	1,76E+02	2,65E+02
R01	9,56E+01	4,35E+00	8,11E+00	1,63E+01	5,92E+00	8,87E+01	2,19E+02
R02	1,21E+02	6,94E+00	9,10E+00	3,60E+01	-1,70E+00	2,56E+02	4,27E+02
R03	1,48E+02	9,75E+00	1,22E+01	8,27E+00	4,24E+01	1,61E+02	3,81E+02
R04	8,83E+01	3,63E+00	6,84E+00	1,61E+01	-1,34E+01	9,99E+01	2,01E+02
R05	1,04E+02	4,48E+00	8,02E+00	1,78E+01	-1,57E+01	1,20E+02	2,39E+02
R06	1,04E+02	4,82E+00	8,20E+00	3,10E+01	-5,12E+00	2,20E+02	3,62E+02
R07	1,16E+02	4,24E+00	9,74E+00	1,16E+01	-4,41E+00	1,77E+02	3,14E+02
E01	1,13E+02	6,02E+00	1,01E+01	1,05E+01	1,64E+00	1,47E+02	2,89E+02
E02	9,02E+01	4,60E+00	7,61E+00	2,02E+01	-8,37E+00	1,29E+02	2,44E+02
E03	8,11E+01	3,75E+00	6,73E+00	2,14E+01	1,70E+00	1,36E+02	2,51E+02
E04	1,15E+02	7,53E+00	1,08E+01	2,31E+01	1,19E+00	2,75E+02	4,33E+02
K01	1,36E+02	8,66E+00	1,09E+01	1,28E+01	6,94E+00	2,05E+02	3,80E+02
A01	7,17E+01	7,79E+00	6,22E+00	1,72E+01	5,59E+00	0,00E+00	1,08E+02
A02	1,29E+02	9,05E+00	1,05E+01	2,56E+01	-1,93E+01	1,74E+02	3,29E+02
A03	9,91E+01	6,26E+00	8,65E+00	2,76E+01	-8,20E+00	1,77E+02	3,11E+02
A05	1,75E+02	5,37E+00	1,34E+01	2,39E+01	-1,54E+01	2,99E+02	5,01E+02
A06	1,24E+02	3,13E+00	1,21E+01	6,90E+01	5,17E+00	3,74E+02	5,87E+02
A09	1,01E+02	3,72E+00	8,82E+00	3,27E+01	1,17E+01	2,47E+02	4,05E+02

TABEL 15. LCA resultater for case-bygninger for Sek inklusiv tekniske installationer og el- og mekaniske anlæg

Case- bygning	MJ/m ² /år						
	Materialer					Drift	Alle faser
	A1-A3	A4	A5	B4	C3-C4	B6	A1-A3, A4, A5, B4, B6, C3-C4
S01	3,6E+00	0,0E+00	2,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,9E+00
Enf01	7,9E-01	0,0E+00	6,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	1,1E-02	8,7E-01
R01	3,1E-01	0,0E+00	1,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	5,4E-03	3,3E-01
R02	8,9E-01	0,0E+00	4,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	1,5E-02	9,5E-01
R03	9,0E-01	0,0E+00	4,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	4,2E-02	9,9E-01
R04	2,8E-01	0,0E+00	1,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	6,0E-03	3,0E-01
R05	3,5E-01	0,0E+00	1,9E-02	0,0E+00	0,0E+00	7,1E-03	3,7E-01
R06	2,0E-01	0,0E+00	1,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	1,3E-02	2,3E-01
R07	8,6E-01	0,0E+00	2,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	4,7E-02	9,3E-01
E01	2,5E+00	0,0E+00	1,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	3,9E-02	2,7E+00
E02	2,6E-01	0,0E+00	1,3E-02	0,0E+00	0,0E+00	3,8E-02	3,1E-01
E03	4,0E-01	0,0E+00	2,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	4,2E-02	4,6E-01
E04	1,3E+00	0,0E+00	1,0E-01	4,2E-07	0,0E+00	1,7E-02	1,4E+00
K01	2,0E+00	0,0E+00	1,0E-01	1,3E-23	0,0E+00	5,1E-02	2,1E+00
A01	1,4E+00	0,0E+00	6,9E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,4E+00
A02	1,1E+00	0,0E+00	5,6E-02	0,0E+00	0,0E+00	5,5E-02	1,2E+00
A03	1,4E+00	0,0E+00	1,0E-01	6,4E-01	0,0E+00	5,2E-02	2,2E+00
A05	1,3E+00	0,0E+00	6,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	7,1E-02	1,4E+00
A06	7,9E-01	0,0E+00	4,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	2,2E-02	8,5E-01
A09	9,3E-01	0,0E+00	4,7E-02	5,7E-05	9,9E-06	1,5E-02	9,9E-01

I rapporten *Klimapåvirkning fra træbygninger – LCA på 20 eksisterende træbygninger* vurderes danske træbygninger og deres performance i forhold til klimapåvirkning. Med et øget fokus på bæredygtigt byggeri og en national målsætning om at reducere klimapåvirkningerne fra danske bygninger, er interessen for brug af træ i byggeriet steget. I denne rapport er der indsamlet data for 20 bygningscases, der primært anvender træ i de bærende konstruktioner. Metoden livscyklusvurdering (LCA) er brugt til at vurdere bygningscasenes klimaaftryk, når der tages højde for fremstilling af materialer, energiforbrug og materialespild på byggeplads, energiforbrug i driftsfasen og slutteligt bortskaffelsen af materialer. På baggrund af LCA'erne for de 20 bygningscases etableres først og fremmest viden omkring danske træbyggeriers klimapåvirkning. Derudover vurderes, hvorvidt en øget grad af træ i byggeriet kan bidrage til at reducere klimapåvirkningen for bygninger ved sammenligning med øvrige studier, der betragter bygninger med forskellige typer af materialer. Rapporten viser et potentiale for træbyggerier til at reducere klimapåvirkningen for danske bygninger, men at der også bør være fokus på øvrige parametre, der bidrager til et øget klimaaftryk, og derfor bør undersøges nærmere.

