

Klimadata for renovering



Et udviklingsprojekt om livscyklusanalyser, klimabelastning, økonomi og arkitektoniske perspektiver ved renovering.

Klimadata for renovering

Et udviklingsprojekt om livscyklusanalyser, klimabelastning, økonomi og arkitektoniske perspektiver ved renovering.

Udgivet af Realdania
2024

Omslag

Ida Nissen

Tryk

Dystan & Rosenberg

ISBN

978-87-93360-52-5



Realdania
Jarmers Plads 2
1551 København V
realdania.dk

Klimadata for renovering

Et udviklingsprojekt om livscyklusanalyser, klimabelastning, økonomi og arkitektoniske perspektiver ved renovering.

Kolofon

Projektgruppen

Projektet er udarbejdet af følgende projektgruppe:

- › Amdi Schjødt Worm, Arkitema
- › Jakob Suenson Schou, Arkitema
- › Johannes Due Jensen, Arkitema
- › Lærke Hedely Jansen, Arkitema
- › Robin Skytte, Arkitema
- › Thomas Fænø Mondrup, Arkitema
- › Zoey Siff Hansen, Arkitema
- › Abalone Køster, COWI
- › Carina Hedevang, COWI
- › Leonora Charlotte Malabi Eberhardt, COWI
- › Kai Kanafani, BUILD, Aalborg Universitet
- › Kathrine Godsvig Laursen, BUILD, Aalborg Universitet
- › Kim Haugbølle, BUILD, Aalborg Universitet
- › Kim B. Wittchen, BUILD, Aalborg Universitet
- › Line Tellefsen, Rådet for Bæredygtigt Byggeri
- › Søren Skou Petersen, Rådet for Bæredygtigt Byggeri

Realdania

- › Thomas Brogren
- › Stig Hessellund

Ekstern kvalitetssikring af kapitel 4 Økonomi

- › Rambøll

Øvrige bidragsydere

Følgegruppe

Projektets følgegruppe har undervejs i projektet været inviteret til 3 workshops, hvor projektet har været fremlagt og drøftet, ligesom følgegruppen har været inviteret til at kommentere på udvalgte dokumenter undervejs, ligesom gruppen har været inviteret til at svare på et spørgeskema om økonomiske forhold. Nedenfor er nævnt de organisationer, som har bidraget med 1 eller flere personer til følgegruppen.

- | | |
|----------------------------------|-------------------------|
| › 4B Consulting | › Lokale & Anlægsfonden |
| › Akademisk Arkitektforening | › Molio |
| › Almennet | › Nordea Fonden |
| › AP Møller fonden | › Over Byen Arkitekter |
| › Arkitektskolen Aarhus | › Panum og Kappel |
| › Artelia | › Rambøll |
| › Bang & Beenfeldt/skifter firma | › Realdania |
| › BAT Kartellet | › Rønnow Leth & Gori |

- › Briiso
- › Bygherreforeningen
- › CLT Danmark
- › Concito
- › Dansk Håndværk
- › Dansk Industri Byggeri
- › Danske-ARK
- › Det Kongelige Akademi
- › Dorte Mandrup Arkitekter
- › Energistyrelsen
- › ERIK Arkitekter
- › Foreningen af rådgivende ingeniører, FRI
- › Grundejernes Investeringsfond (GI)
- › Henning Larsen Architects
- › Ingeniørforeningen, IDA
- › JJW ARKITEKTER
- › Københavns Kommune
- › Landsbyggefonden
- › Landsforeningen Økologisk Byggeri
- › Slots- og kulturstyrelsen
- › Social- og Boligstyrelsen Kontor for Bæredygtighed
- › Strateginetværk for bæredygtighed, Temagruppe Renovering, transformation, drift og porteføljestyling
- › Søren Jensen Rådgivende Ingeniører
- › Tegnestuen reTAENK arkitektur
- › TekniQ
- › Teknologisk Institut
- › Vinduesindustrien, Temagruppe LCA,
- › Upcycling Forum
- › Vandkunsten
- › VIA University College
- › We Build Denmark
- › Aage og Johanne Louis-Hansen Fond
- › Aarhus University Department of Civil and Architectural Engineering"

Interviews i afsnit om økonomi

I projektets behandling af økonomiske forhold indgår et antal kvalitative interviews. Følgende organisationer har bidraget i interviews.

- › Arkitema
- › COWI
- › DAI
- › Dall Lindhardtzen
- › Danica Ejendomme
- › FSB Boligselskab
- › HHM
- › Høgh Entreprise
- › MT Højgaard
- › Olav de Linde
- › Pihl Koncernen
- › Randers Arkitekten
- › Varmings Tegnestue
- › Vilhelm Lauritsen
- › Wissenberg
- › Aarhus Kommune

Datagrundlag for variantstudier

De generiske modeller, som er anvendt i projektets LCA- og LCC variantstudier, bygger bl.a. på data fra udvalgte konkrete byggeprojekter. Følgende DGNB-certificerede projekter har bidraget med disse data:

Projekt navn:	DGNB-Auditor:	Bygherre:
Sødisbakke Bygning C, Mariager	COWI	Region Nordjylland
PFA kollegiet, Aalborg	Arkitema	PFA Ejendomme
Renovering af botilbud CDH, Aalborg	Artelia	Region Nordjylland
Fuglekærvej, Hasselager	Ekolab	Birch GM Silkeborg ApS
Rantzausbakke, Bakken, Horsens	Ekolab	Birch GM Silkeborg ApS
Basecamp, København S	Wissenberg	ESHF 2 Birketinget ApS
Hellebæk Klædefabrik*, Hellebæk	Aaen Engineering	DNP Ejendomme P/S
Balshavevej 43b, Odder	Bygherre	Privat bygherre

Forord

Når man skal vælge, om man skal rive ned og bygge nyt eller bevare og renovere, er det vigtigt at kunne inddrage konkrete, transparente og pålidelige data og vurderinger af den klimamæssige betydning.

Der findes data og metoder for nybyggeri, hvor der de seneste år er udviklet beregningsforudsætninger og klimadata til livscyklusvurderinger (LCA, Life Cycle Assessment). Der findes ligeledes metoder til at beregne livscyklusomkostninger eller levetidsomkostninger (LCC, Life Cycle Costing) - det vil sige økonomien set over tid.

Men vi har ikke haft samme viden og metoder for bygningsrenovering, og det er et problem. Vi risikerer nemlig, at renovering ikke bliver inddraget i de politiske beslutninger og i diskussionerne om at bygge på den måde, der er bedst for klimaet. Det er derudover svært at vurdere det klimamæssige potentiale for bevaring på tværs af forskellige bygningstyper og grader af renovering. Det vil sige, at der både er behov for klimadata til vurdering af, om man vil bevare eller rive ned, og data til at beslutte omfanget af en renovering.

Og det er netop dét, vi i Realdania, har ønsket at gøre noget ved med udviklingsprojektet 'Klimadata for renovering'.

Projektet er igangsat i håb om at skabe øget viden, fælles metoder og flere fælles tal, der kan styrke hele byggebranchens mulighed for at udføre bedre sammenlignelige vurderinger af klimabelastningen af renoveringer i et livscyklusperspektiv.

I mere end et år har et tværfagligt hold af forskere og erfarne specialister fra Arkitema, Cowi, BUILD og Rådet for Bæredygtigt byggeri arbejdet på projektet, og resultaterne er løbende blevet kvalificeret af en ekstern følgegruppe bestående af mere end 60 eksterne praktikere fra branchen.

Og konklusionerne står klart: Renovering er bedst for klimaet. Selv lette renoveringer er bedre end at rive ned og bygge nyt.

Der er dog heller ikke tvivl om, at der er mange parametre at tage højde for, når man ønsker at optimere sin renovering ift. klimaet. Vi har længe vidst, at klimabelastningen fra eksisterende bygninger afhænger af hustype, forbrug, og hvornår huset er fra – de nye tal viser, at den måde, man renoverer, har endnu større betydning – og denne nye viden vil ændre den måde, vi bevarer og renoverer i fremtiden

Vi har suppleret klimaberegningerne i projektet med billeder og tal på de arkitektoniske og økonomiske konsekvenser af forskellige tilgange. For ved også at inddrage de to aspekter skaber vi et bedre og mere anvendeligt grundlag for at træffe en beslutning.

I forhold til økonomien ser vi nogle ret tydelige konklusioner - også her er det nemlig blevet klart, at renovering er den bedste løsning. Dog er det bestemt ikke ligegyldigt, hvilken grad af renovering der vælges. Sammenligninger af LCC- og LCA-resultater viser, at det i et totaløkonomisk perspektiv generelt er bedst at prioritere lette renoveringsgrader, fordi der kan opnås en lavere klimapåvirkning med få totaløkonomiske midler. En dyb renovering har derimod en høj totaløkonomi, men også en væsentlig lavere klimapåvirkning end nedrivning og nybyggeri.

Når vi ser på fremtidens arkitektur, er der ingen tvivl om, at den vil komme til at se anderledes ud, hvis – og når – vi renoverer med et større blik for klimaet, særligt hvis der for fremtiden bruges flere biogene materialer. Det har ikke været intentionen med projektet her at konkludere noget, men at åbne for diskussioner og nye spørgsmål: Skal en renovering fremhæve snarere end skjule en eksisterende bygnings

alder? Er det vigtigt, at en bygnings arkitektoniske idé føres videre i renoveringsprojektet? Hvordan vil det påvirke (forståelsen af) arkitekturen, hvis vi ikke renoverer med henblik på en bygnings ensartede udseende, men udelukkende for at udbedre slitage og bygningsmæssige skader – evt. ved partiel udskiftning? Diskussioner som disse håber vi at lægge op til med rapportens kapitel om arkitektoniske perspektiver.

Rapporten bygger på både egne undersøgelser og erfaringer og data fra både ind- og udland. Grundlaget for projektet har været såvel konkrete data og beregninger som forskellige erfaringer og holdninger fra en række interviewpersoner, lige som projektet har affødt både klare konklusioner og fremkaldt nye, vigtige spørgsmål, som man nu kan arbejde videre.

Klimadata for renovering er blevet til med hjælp fra mange forskellige specialister, der har samarbejdet om at skrive så præcist som muligt med den nyeste viden, data og redskaber. Realdania vil gerne sige tak til alle, som har bidraget til arbejdet – til penneførere, såvel som følgegruppe.

Vi håber, at du, som skal til at tage fat på fremtidens klimavenlige bevaring og renovering vil læse med, blive klogere, mere nysgerrig og i fremtiden vil kunne arbejde mere kvalificeret med, hvordan vi kan bevare mere og renovere på den mest klimavenlige måde.

God læselyst!

Thomas Brogren, projektchef i Realdania

Indholdsfortegnelse

1	LCA Metodeudvikling.....	9
1.1	Udvikling af metode og forudsætninger for LCA ved renovering.....	10
1.1.1	Introduktion til metode. Centrale problemstillinger.....	10
1.1.2	Nedrivning og nybyg vs. renovering.....	11
1.2	LCA for renovering. Afgrænsning af livscyklusfaser.....	11
1.2.1	Introduktion.....	11
1.2.2	LCA og renovering i de Europæisk standarder.....	12
1.2.3	Betydningen af modulerne A4 og A5.....	13
1.2.4	Gennemgang og diskussion af metode.....	14
1.2.5	Opsummering.....	20
1.3	Definition af renoveringsklasser.....	21
1.3.1	Introduktion.....	21
1.3.2	Gennemgang.....	21
1.3.3	Opsummering.....	22
1.4	Håndtering af performance gap i energiberegninger.....	23
1.4.1	Hvad er performance gap?.....	23
1.4.2	Performance gap ved nybygning?.....	25
1.4.3	Beregningsmetode til udligning af Performance Gab i Nybyggeri.....	26
1.4.4	Målingsmetode til udligning af Performance Gab i Nybyggeri.....	27
1.4.5	Performance gap ved renovering.....	27
1.4.6	Beregningsmetoder til udligning af performance gap i renovering.....	28
1.4.7	Opsummering.....	30
1.5	Klimaeffekten af ændringer i energimixet.....	31
1.5.1	Introduktion.....	31
1.5.2	Gennemgang af energityper og emissionsfaktorer.....	31
1.5.3	Opsummering.....	40
2	Eksisterende viden om LCA ved renoveringer.....	42
2.1	Introduktion til delrapport.....	43
2.2	LCA af bygninger – regler og metoder.....	43
2.2.1	Introduktion.....	43
2.2.2	Nybyggeri.....	43
2.2.3	Reference til begrænsning af klimapåvirkning.....	44
2.2.4	Eksisterende byggeri.....	46
2.2.5	International udvikling.....	51
2.2.6	Miljødata og scenarier.....	55
2.3	Analysen af bygningers klimapåvirkning.....	57
2.3.1	Nybyggeri.....	57
2.3.2	Den eksisterende bygningsmasse.....	59
2.3.3	Udvalgte renoveringscases.....	59
2.4	Opsummering.....	65
2.5	Litteraturgennemgang.....	67
3	Variantstudier.....	78
3.1	Variantstudier af renoveringsgrader og typologier.....	79
3.1.1	Introduktion.....	79
3.1.2	Formål.....	79

3.1.3	Varianter: Tre bygningstypologier fra to tidsperioder	80
3.1.4	Renoveringsscenarier	84
3.1.5	LCA-studier	86
3.1.6	LCC-studier	93
3.1.7	Sammenligning af LCA og LCC-resultater	100
3.2	Variantanalyse af udvalgte parametres betydning for LCA-resultaterne	102
3.2.1	Performance gap	103
3.2.2	Emissionsdata	105
3.2.3	Energikilde	109
3.2.4	Biogene materialer	109
3.2.5	Tidsperspektiv for emissioner	111
3.2.6	Tidsperspektiv – dynamiske effekter	114
3.2.7	Opsummering	117
3.3	Arkitektoniske perspektiver på renoveringsgrader og biogene materialer	118
3.3.1	Formål	118
3.3.2	Illustrationer af renovering med biogene materialer	118
3.3.3	Opsummering	130
3.4	Konklusion	130
4	Økonomisk effekt af klimakrav og -afgifter	132
4.1	Indledning	133
4.2	Klimakravs påvirkning af byggeriers generelle økonomiske forhold	134
4.2.1	Rådgivning	135
4.2.2	Entreprise og materialer	136
4.2.3	Markedsværdi	140
4.2.4	Drift og vedligehold	142
4.2.5	Risiko	142
4.2.6	Økonomisk adfærdsregulering i Danmark	144
4.2.7	Sammenfatning og delkonklusion	147
4.3	Klimakravs påvirkning af byggeprojekter	148
4.3.1	Datagrundlag og metode	149
4.3.2	Indsamlede data: Interviews	150
4.3.3	Indsamlede data: Survey – besvarelser	162
4.3.4	Indsamlede data: Midlertidige og permanente omkostninger	165
4.3.5	Analyse	167
4.3.6	Sammenfatning og delkonklusion	170
4.4	Vurdering af CO ₂ -afgifters effekt	171
4.4.1	Forventninger til eventuelle CO ₂ -afgifters effekt	172
4.4.2	Kvantitativ beregning af CO ₂ -skyggepriser	174
4.4.3	Diskussion	182
4.4.4	Opsummering	187
4.5	Konklusion	188
4.5.1	Økonomiske faktorerers påvirkning	188
4.5.2	Økonomisk effekt af CO ₂ -afgift – CO ₂ -skyggepris	190
5	Bilag	193
6	Referencer	267

Introduktion

Nærværende rapport indeholder metoder, forudsætninger og resultater fra projektet ”Klimadata for Renovering”, opdelt i fire kapitler:

- › Kapitel 1: LCA Metodeudvikling
- › Kapitel 2: Eksisterende viden om LCA ved renoveringer
- › Kapitel 3: Variantstudier LCA og LCC
- › Kapitel 4: Økonomisk effekt af klimakrav og -afgifter.

Kapitlerne kan læses uafhængigt af hinanden, selvom der inddrages resultater fra nogle kapitler i andre.

Kapitel 1, LCA Metodeudvikling, opstiller tre metoder for LCA ved renovering, alt efter formålet med LCA. Kapitlet behandler desuden en række centrale problemstillinger for LCA ved renovering, herunder afgrænsning af livscyklusfaser, betydningen af modulerne A4-A5, biogene materialer, performance gap og energimixet, herunder emissionsfaktorer.

Kapitel 2, Eksisterende viden om LCA ved renoveringer, gennemgår dels diverse krav og lovgrundlag, herunder internationalt, dels tidligere LCA-beregninger af nybyg og renoveringer. Desuden er der foretaget en litteraturgennemgang.

Kapitel 3 indeholder projektets variantstudier af LCA og LCC, som er udført på en række generiske typologier og renoveringsgrader. Herunder er effekten af betydende parametre identificeret i kapitel 1, undersøgt. Desuden er der foretaget arkitektoniske studier af den æstetiske effekt af brugen af biogene materialer i facaden ved renovering.

Kapitel 4 omfatter undersøgelser af økonomiske effekter i byggeprojekter som konsekvens af klimakrav. Der er dels foretaget et litteraturstudie af økonomiske forhold og deres effekter og dels gennemført kvalitative interviews samt en survey, for at undersøge effekten af de identificerede forhold. Endelig er der foretaget kvalitative undersøgelser af effekten af en mulig CO₂ afgift, med baggrund i projektets LCC-analyser.

Rapportens kapitel 5 består af bilag til kapitel 1 til 4.

Til slut i rapporten findes referencer til samtlige kapitler og bilag,

1 LCA Metodeudvikling

1.1 Udvikling af metode og forudsætninger for LCA ved renovering

1.1.1 Introduktion til metode. Centrale problemstillinger

Byggebranchen har med klimakravene til nybyggeri fået et fælles redskab til at sikre en helt nødvendig reduktion af klimapåvirkningen fra den nybyggede del af byggeriet – det har sat gang i en fælles indsats på tværs, der afprøver nye byggemåder og nye æstetiske udtryk. Samtidig er der på europæisk niveau en række lovgivningsmæssige strømninger (se 2.2.LCA af bygninger – regler og metoder) der alle peger i retning af en øget renoveringsaktivitet de kommende år. Disse lovgivningsmæssige strømninger har dog for renoveringer alene fokus på at reducere klimapåvirkning gennem energieffektivisering og ikke gennem at fremme klimavenlige materialevalg.

Byggebranchen som helhed skal reducere sine udledninger. Derfor kan klimakrav til nybyggeri ikke stå alene. Det er nødvendigt at stille klimakrav til renovering og ikke mindst igangsætte arbejdet med at finde nye klimavenlige løsninger og afprøve nye æstetiske udtryk og det er nødvendigt at disse klimakrav tilgodeser behovet for energieffektivisering og samtidig fokuserer på klimaeffektive materialevalg og ressourceforbrug. Stilles der modsat ikke klimakrav til renovering vil stigende aktivitet på renoveringssiden kunne "flytte" påvirkninger fra nybyggeri til renovering og stik imod intentionerne forøge byggeriets samlede klimapåvirkning.

Baggrundsanalysen har tydeliggjort, at klimaanalyser for renovering i dag udarbejdes på mange forskellige måder og grundet det manglende nationale regelsæt og vejledninger, er det umuligt at sammenholde forskellige analyser og konklusioner med hinanden. Det skaber forvirring om valg af de klimamæssigt gode løsninger – både i et meget overordnet perspektiv i forhold til renovering, bevaring og nybyg men også som beslutningsstøtte i valg af konstruktionsløsninger og på byggevareniveau. Samtidig umuliggør det den strukturerede opsamling og sammenligning af data der er nødvendig for at kunne stille krav, og måle at branchen flytter sig i en mere klimavenlig retning.

Baggrundsanalysen (Kapitel 2) peger på flere konkrete problemstillinger der skal løses, før klimapåvirkning kan blive en beslutningsparameter når der igangsættes renoveringsprojekter. Helt afgørende er det at forstå, at renoveringsprojekter kan omfatte både den helt lille skala med simple vinduesudskiftninger, ændrede indretninger eller efterisoleringer af tagrum til den store skala med helhedsrenoveringer hvor bygningsdele, indretning og tekniske installationer ændres så kun bygningens bærende dele står uberørte. De konkrete problemstillinger er kort introduceret herunder og skal altså ses i sammenhæng med den kompleksitet som renoveringernes forskellighed medfører.

Formålet med LCAen skal defineres klart og tilpasses den enkelte renoverings omfang

Det er langt mere komplekst at sammenligne LCA af renovering end af nybyg. Der mangler entydige metodebeskrivelser for LCA af renoveringer der muliggør sammenligning på tværs af beregninger

Det er ikke muligt at overføre erfaringer fra andre landes resultater og meget vanskeligt at sammenligne beregninger på tværs selv i dansk kontekst

Der mangler et erfaringsgrundlag med klimadata som branchen kan anvende som "teknisk fælleseje" og spejle egne beregninger og projekter i

Ud over ovenstående strukturelle / generelle problemstillinger er der også behov for helt konkrete resultater der synliggør betydningen af forskellige renoveringsmæssige løsninger – både klimamæssigt, æstetisk og økonomisk og går foran som eksempler på, hvordan disse resultater kan bruges som en del af en beslutningsproces i det enkelte renoveringsprojekt. De helt konkrete resultater bør også indeholde

betydningen af emissionsfaktorer for drift - dvs. energiforsyning, energifremskrivning og håndtering af biomasses klimapåvirkning.

Forholdet mellem materialernes og driftens påvirkning forventes at ændre sig markant afhængig af, hvilke set af emissionsfaktorer der anvendes og de kan være afgørende for valg og anbefalinger når der sammenlignes mellem nedriv + nybyggeri og renovering. I forhold mellem materialernes og driftens påvirkning har det også stor betydning, om hhv. nybyggeri og renovering energimæssigt set performer som beregnet. Erfaring viser, at der sjældent er overensstemmelse mellem beregnede energibehov og målte energiforbrug. Derfor bør resultaterne af livscyklusvurderingerne også forholde sig til betydningen af dette performance gap, samt hvorledes man vil imødegå / reducere betydningen af dette.

1.1.2 Nedrivning og nybyg vs. renovering

I beslutningsprocessen omkring renovering, indgår i nogle tilfælde helt indledende overvejelser om nedrivning + nybyg i forhold til renovering. At vælge den klimamæssigt mest fordelagtige løsning her, kalder også på et behov for udvikling af metode og retningslinjer der tydeliggør, hvordan klimaparametre kan sammenlignes for de to scenarier.

I dag findes der ingen retningslinjer for sammenlignende analyser mellem nedrivning+nybyg og renovering. Denne type analyser udføres derfor på mange forskellige måder og grundet manglende nationale regelsæt og vejledninger er det umuligt at sammenholde forskellige analyser og konklusioner med hinanden. Det skaber forvirring om valg af de klimamæssigt med fordelagtige løsninger – både i et meget overordnet perspektiv i forhold til renovering, bevaring og nybyg men også som beslutningsstøtte i valg af konstruktionsløsninger ved en efterfølgende renovering.

Branchen mangler altså metode og vejledninger man kan henvise til og læne sig opad. I den sammenhæng kan branchen også have stor gavn af konkrete klimadata fra gennemregnede projekter, hvor forudsætninger og metode her gennemskuelige så de kan gendannes og genbruges i andre projekter. En ny metode samt eksempler med tilhørende datagrundlag vil hjælpe den enkelte husbygger, den større bygherre og politikere til at træffe en mere velunderbyggede beslutninger om nedrivning og nybygning eller bevaring og renovering.

1.2 LCA for renovering. Afgrænsning af livscyklusfaser

1.2.1 Introduktion

En stor del af afklaringen af, hvordan klimadata skal beregnes og sammenlignes for henholdsvis at bevare og renovere, i forhold til at rive ned og bygge nyt, handler om at afgrænse hvilke faser, der skal indgå i beregningerne. Det er fundamentalt i LCA-forståelsen, at når to eller flere produkter eller ydelser sammenlignes, skal de være funktionelt ens og beregnes ud fra samme forudsætninger. Hovedfunktionen for en bygning er, at den samlede bygning i forbindelse med renovering skal opretholdes som en brugbar bygning i 50 år. Det kan være svært at opnå 100% den samme brugbarhed, byggeteknik og materialemæssig kvalitet i en renoveret bygning sammenlignet med en nybygget bygning, men hvis man alligevel ønsker at sammenligne klimaaftrykket af de to scenarier, er det derfor vigtigt at beregningerne er foretaget med samme metode og faser, som viser, hvilke materialer, udskiftninger, og energiforbrug der skal til for at bygningerne kan bruges og vurderes på tilnærmelsesvis lige vilkår. Heraf kan det vurderes hvilket scenarie; renovering eller nedrivning og nybyg, der er den klimamæssige mest fordelagtige. Dette gælder ligeledes hvis to eller flere renoveringscases sammenlignes. Forud for bestemmelse af hvilke faser, der skal indgå i LCA-beregningerne, undersøges det hvilke problematikker og løsninger, der kan opstå ved at inkludere eller ekskludere bestemte faser i en LCA for renoveringsprojekter. Undersøgelserne munder derfor ud i en anbefaling for Klimadata-projektets videre LCA-beregninger på renoveringsprojekter. Når der i

de følgende afsnit opsættes anbefalinger, er der således alene tale om anbefalinger til metode og afgrænsning for dette projekts analyser, og ikke anbefalinger til, hvordan man bredt i branchen bør håndtere LCA af renoveringer.

1.2.2 LCA og renovering i de Europæisk standarder

Som forudsætning til vurderingen af faseafgrænsningen for LCA af renoveringsprojekter, sammenlignet med LCA af nedrivning og nybyg, er der foretaget et mindre litteraturstudie af standarderne vedrørende LCA af bygninger, samt LCA af biogene materialer. Litteraturstudiet har til formål at redegøre for, hvad de udvalgte europæiske standarder beskriver om emnet. De undersøgte standarder er følgende:

- prEN 15978-1 sustainability of construction work – methodology for the assessment of performance buildings – part 1: Environmental Performance. [108] (Denne standard er en foreløbig version af en revision af den gældende standard, og kan derfor have afvigelser fra den endelige version)

- DS/EN 16485 Rundtræ og savet træ – Miljøvaredeklaration – produktkategoriregler for træ og træbaserede produkter til konstruktionsbrug [43]

Resultat af litteraturstudie

Den første forudsætning for faseafgrænsning for LCA af renoveringsprojekter er, at faserne A1-A5 for de eksisterende materialer i bygningen normalt ikke skal medtages i beregningerne. Dette gælder både for de materialer der forbliver i bygningen og for de materialer, der evt. skal nedrives. Disse materialers miljøpåvirkning fra deres produktion tilhører ikke det undersøgte system, men derimod systemafgrænsningen fra det forrige byggeri. For de nyinstallerede produkter i enten et renoveringsprojekt eller i et nybyg-projekt, skal produktfasen A1-A3 som minimum indgå [108] (sec. 7.5 System boundaries).

I renoveringsprojekter skal brugsfasen B1-B7 indgå med samme afgrænsning og tilgang som i et nybyg projekt. Dvs. der skal inkluderes vedligehold, udskiftninger og energiforbrug for de materialer der forbliver i et renoveringsprojekt, hvis det inkluderes for de nyinstallerede materialer. Der bør ligeledes inkluderes faserne for endt-levetid, C1-C4, for de eksisterende materialer, der forbliver i et renoveringsprojekt på samme måde som for de nyinstallerede materialer [108] (sec. 7.5 System boundaries).

Restlevetid

Når det vurderes om en bygning skal renoveres eller nedtages, bør restlevetiden af de blivende bygningsdele og materialer medtages i vurderingen. Det betyder, at når der udføres en LCA for et renoveringsprojekt bør de eksisterende materialers restlevetid indgå i beregningen som en del af modul B4. Levetiden af materialet skal dermed ikke indgå som om det var et nyt materiale, men derimod vurderes ved forundersøgelser / tilstandsvurderinger af kvalitet og stand herudfra resultere i en estimeret levetid for de enkelte materialer. Dette giver anledning til usikkerhed i beregningerne, da der findes meget lidt systematisk viden om (rest)levetider, som faktor i renoverings-LCAer. Når restlevetiden af det eksisterende materiale ophører, skal materialer/produktet udskiftes med et nyt materiale med den fulde estimerede levetid for det nye materiale [108] (Annex D sec. D.7.2)

De materialer, hvor restlevetider er relevante, er de materialer der ikke udskiftes ved renovering, men som har en kortere restlevetid end de 50 år (betragtningssperioden). For lette renoveringer, hvor der kun renoveres på enkelte bygningsdele, må klimapåvirkningen fra restlevetids-materialer forventes at være større end for dybe renoveringer, hvor der som del af renoveringen tilføres betydeligt flere nye materialer og hvor der derfor tilsvarende må forventes langt færre "restlevetids-materialer". Klimapåvirkning for "restlevetids-materialer" er i øvrigt vurderet og kommenteret i afsnit 1.2.4 (side 25).

I håndtering af restlevetider, angiver de Europæiske standarder ikke, hvorledes det håndteres, når et nyt produkt der installeres i løbet af betragtningsperiode, har bedre energimæssig performance end det produkt der fjernes. Det kan f.eks. være et vindue med en restlevetid på 10år der udskiftes inden for den 50-årige betragtningsperiode. Dog nævner [108] at der ikke skal tages hensyn til evt. ændret energipformance ved generel udskiftning af nye bygningsdele – som eksempelvis glas i nye vinduer der tilføres som del af renoveringen. Derfor medregnes forbedret energimæssig performance heller ikke for de materialer der udskiftes efter endt restlevetid.

Betydning af biogent karbon

En vigtig del af en LCA, hvor der indgår træ eller andre biomaterialer, er at afklare håndteringen af det biogene karbon. Dette gælder ligeledes for LCA af et renoveringsprojekt, samt for et nedrivnings- og nybyg projekt. Ifølge standarderne EN15804:2019 og EN16485:2014 skal det biogene karbon følge produktets fysiske flow. Det betyder, at hvis et materiale/produkt, der indeholder biogent karbon, genbruges i et nyt system skal den negative karbon udledning medregnes i det nye system, selvom der ikke fysisk foregår et karbon optag i år 0 af det nye system. Der skal ligeledes foregå en karbon udledning ved endt levetid af det biogene materiale i det nye system. Dermed opnås karbon neutralitet for det biogene karbon i systemet for det genbrugte biogene materiale.[43] (sec. 6.3.4 System boundaries)

1.2.3 Betydningen af modulerne A4 og A5

I Tabel 1 estimeres klimapåvirkning for renovering af moderat dybde på basis af resultater for kortlægning af nybyggeri. Der findes ikke robuste data for faktiske påvirkninger for renovering. Der er heller ikke fastlagt en metode for opgørelse af ressourceforbrug under byggeprocessen for eksisterende bygninger. En sådan metode bør bl.a. definere, hvordan byggearbejdets energiforbrug isoleres fra bygningens øvrige driftsenergi, som i nogle renoveringer fortsætter under renoveringen. Baseret på en vurdering af de enkelte processer, der indgår i modul A4-5 vil påvirkninger for renoveringer altid være lavere end nybyggeri. Resultatet af overslaget er 0,4 i forhold til 1,4 for nybyggeri, svarende til 30 %. Det betyder at nedrivning/nybyggeri vil i gennemsnit forøges med 1 kgCO₂e/m²år i forhold til renoveringer i Tabel 1.

Tabel 1 Bestemmelse af klimapåvirkning for byggeproces (modul A4-5) fra nybygger. Kilde: Build rapport 2023:14[61]

	Median (nybyggeri)	Konverteringsfaktor	Median (renovering)	Forklaring
	0,348	0,3	0,104	Afhængig af mængden af nye materialer
	0,020	0,3	0,006	Afhængig af mængden af nye materialer
	0,020	0,1	0,002	Afhængig af byggeproces
	0,020	0,3	0,006	Afhængig af mængden af nye materialer
SUM A4	0,408		0,118	
	0,143	0,3	0,043	Afhængig af byggeproces
	0,081	0,3	0,024	Afhængig af byggeproces
	0,157	0,3	0,047	Afhængig af byggeproces
	0,536	0,3	0,161	Klimapåvirkning af affaldet er lavere ved nedrivning, da produktfasen bortfalder
	0,060	0	0,000	Udelades
	0,060	0,5	0,030	Afhængig af mængden ad byggeaffald
SUM A5	1,016		0,305	
SUM A4+5	1,424		0,424	

Nøgletal i rapport om klimapåvirkning fra byggeprocessen i modul A5 [61] er allerede baseret på de nye emissionsfaktorer for energi og tilsvarende nyt generisk datagrundlag til anvendelse i bygningsreglementet fra 2025. Det betyder, at andelen af el og varme allerede er blevet nedjusteret sammenlignet med de gældende, højere emissionsfaktorer for energi.

1.2.4 Gennemgang og diskussion af metode

Når der vælges LCA-metode og omfang beskriver LCA standarder, DS/EN 14040 [92], at der først defineres et formål med LCAen og dernæst en afgrænsning for LCAen i overensstemmelse med formålet. Principperne med først at bestemme formål og dernæst afgrænsning, er grundlæggende LCA-principper, der også bør følges ved LCA af renoveringer. Formålet kan dels være en afklaring af, om der skal renoveres eller nedrives og bygges nyt. Formålet kan også være at klimaoptimere den enkelte renoverings løsninger og / eller blot at dokumentere renoveringens klimapåvirkning. Formålet med en LCA, som inkluderer en eksisterende bygning, vil i mange tilfælde også afhænge af bygningens stand og dermed dybden af en eventuel renovering. Dette er med til at definere den efterfølgende afgrænsning af LCAen. Disse formål og overordnede afgrænsninger er opsat i 3 scenarier. Scenarierne er:

- (1) Nedrivning og nybyg vs. renovering,
- (2) Renovering af enkelte bygningsdele
- (3) Større renoveringer

Scenarierne præsenteres svarende til det beslutningsflow der ofte vil være renoveringsprojekter, hvor det første besluttes om der skal rives ned og bygges nyt eller renoveres og dernæst hvilken grad af renovering der gennemføres.

Scenarie 1 Nedrivning og nybyg vs. renovering

Hvis det ønskes undersøgt hvad de klimamæssige forskelle vil være ved enten af renovere en eksisterende bygning eller ved en fuld nedrivning af den eksisterende bygning og efterfølgende opførelse af et nybyg projekt, vil formålet for denne LCA være et beslutningsværktøj som kan anvendes i de helt tidlige faser af et projekt. LCAen udføres for hele den eksisterende bygning og hele den nye bygning. LCAen kan udføres i de tidlige faser og anvendes som et beslutningsværktøj for at tage stilling til om det er overordnet mest klimavenligt at bevare eller nedrive og bygge nyt.

Scenarie 2 Renovering af enkelte bygningsdele

Ved mindre renoveringer, hvor det er besluttet at der kun udskiftes enkelte bygningsdele, er formålet med LCAen at kunne vurdere forskellige mulige løsningers klimapåvirkning på bygningsdelsniveau ved alene at se på påvirkningen fra de nye tilførte materialers påvirkning i produktion og bortskaffelse. LCAen afgrænses til udelukkende at udføres her pr. bygningsdel og ikke for den samlede bygning.

Scenarie 3 Større renoveringsprojekter

Ved større renoveringsprojekter, hvor flere bygningsdele udskiftes, er formålet med LCAen dels at kunne vurdere forskellige renoveringsløsningers klimapåvirkning på bygningsdelsniveau, men samtidig også at kunne dokumentere de enkelte løsningers betydning for den samlede renoverings påvirkning. Da større renoveringer ofte medfører betydelige ændringer i bygningens energibehov, medtages påvirkninger herfor også. LCAen afgrænses til at udføres for hele bygningen for også at kunne sammenligne klimabelastningen fra et renoveringsprojekt med andre renoveringsprojekter.

De tre scenarier knytter sig til forskellige formål med LCAen. I det følgende afsnit gennemgås og diskuteres det for hvert scenarie, hvilke faser og moduler, der bør inkluderes i en LCA-beregning. Valg af faser og moduler er således en del af LCAens afgrænsning.

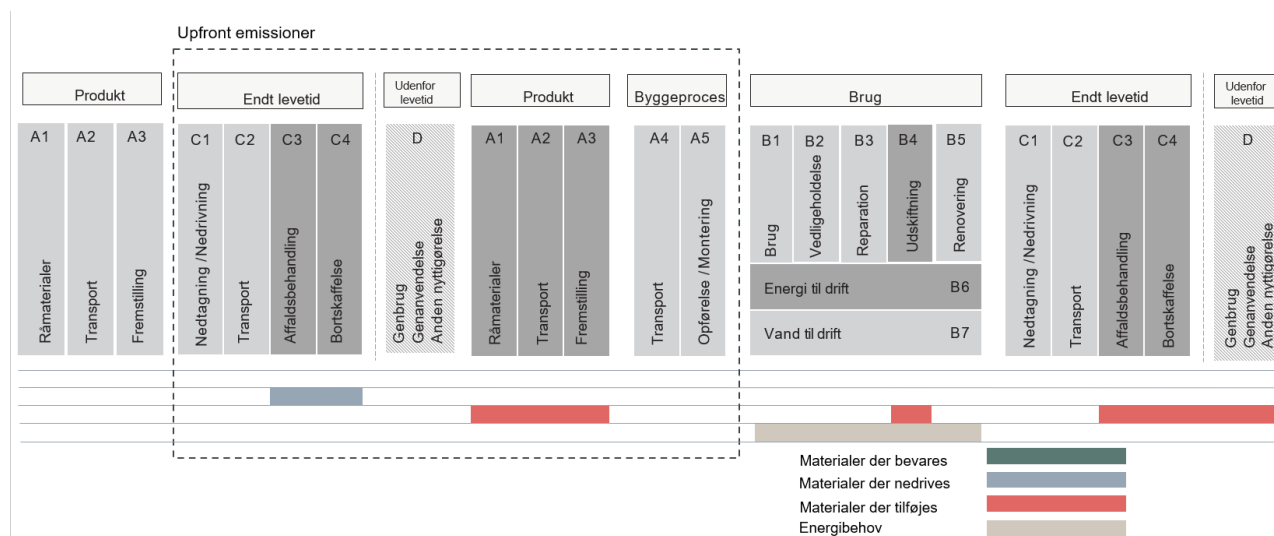
Afgrænsninger på tværs af scenarier Visse metodiske overvejelser går på tværs af de enkelte scenarier. Det gælder modulerne A4, A5 samt C1 og C2. I projektet arbejdes med generiske cases og således ikke specifikke cases med en bestemt geografisk placering. Resultaterne for A5 (transport til byggeplads ved opførelse) og C2 (transport ved bortskaffelse) vil derfor alene bero på standardværdier for transportafstande og transportformer og der vil derfor ikke kunne uddrages generelle tendenser om størrelsen af disse moduler. Derudover er hverken A4, A5, C1 eller C2 omfattet af det nuværende bygningsreglements krav til nybyggeri og tænkes derfor heller ikke som del af renoveringer eller som sammenligning mellem renovering og nedrivning + nybyg.

For A4 og A5 for nybyggeri er det i BUILD rapport 2023:14 [61] vedr. klimapåvirkning fra udførelsesfasen opgjort at transport til pladsen som medianværdi udgør 0,41 kgCO₂e/m²år (A4) og øvrige processer 1,02 kgCO₂e/m²år (A5), til sammen 1,42 kgCO₂e/m²år. For nybyggeri er det mere end 10% af bygningernes samlede klimapåvirkning. Der er ikke opgjort tilsvarende for renovering, men da renovering ofte involvere transport og montering af færre materialer, må det forventes at størrelserne her vil være tilsvarende mindre. Der er i denne rapport, afsnit 1.2.3, udarbejdet et estimat for renoveringers klimapåvirkning for modulerne A4 og A5 på 0,4 kg CO₂e/m² / år, men som det også er anført i 1.2.3, er der ikke fastlagt metoder for opgørelse af disse moduler i renoveringsprojekter.

For C1 og C2 er det i BUILD-rapport 2023:23 [50] vurderet at C1 og C2 for nybyggeri gennemsnitligt vil antage hhv. 0,08 kg CO₂e/m² / år og 0,07 kg CO₂e/m² / år. I en livscyklusvurdering for renovering, hvor der efter udløb af betragtningsperioden regnes med bortskaffelse af den samlede bygning, må størrelsen af C1 og C2 for renovering forventes at være på niveau med resultaterne for nybyggeri. For disse er der således tale om marginale klimapåvirkninger, hvor tidsforbrug til opgørelse ikke vil være proportionalt med klimapåvirkningens betydning.

Fase B1, brug og B2, vedligehold, medtages ikke, idet de for nuværende ikke indgår i LCA på nybyggeri og derfor heller ikke vil bidrage i renoveringssammenhæng når der sammenlignes mellem nybyg og renovering. I BUILD rapport 2023:23 [50] er B1 opgjort til en medianværdi på 0,53 kg CO₂e/m² / år og B2 til 0,47 kg CO₂e/m² / år. For B1 er der imidlertid tale om påvirkning fra lækage fra køleanlæg, der ikke er relevant for boliger. B2 består dels af vedligehold men også af udskiftning af materialer der tidligere har været allokeret under B4 (renovering). For B2 fremgår en medianværdi for forøget klimapåvirkning på ca. 0,15 kg CO₂e/m² / år der for renovering må forventes at være tilsvarende marginal. Udskiftning af glas i vinduer og andre udskiftninger der tidligere har været indeholdt under B4 anbefales stadig at være indeholdt i B4 i denne rapport's analyser.

Scenarie 1 – Nedrivning og nybyg vs. renovering



Figur 1 LCA faseafgrænsning for fuld nedrivning og efterfølgende nybyggeri. Faserne markeret med mørkegrå indikerer de inkluderet faser i dette scenarie. Farvekoderne indikerer hvilke faser der bør indgå i LCA-beregningen for henholdsvis de materialer der bevares, nedrives og tilføjes, samt energibehovet.

I scenarie 1, hvor formålet er at undersøge de klimamæssige forskelle, ved enten at nedrive en eksisterende bygning og efterfølgende opføre en ny bygning samme sted, eller bevare og renovere den eksisterende bygning, skal der udføres to LCAer som efterfølgende sammenlignes. Den ene LCA udføres for nedrivning og nybyg, og vil have faseafgrænsningen som vist på Figur 1. Dog skal LCAen for den nye bygning udarbejdes, som beskrevet i det til enhver tid gældende bygningsreglement. Derfor kan faseafgrænsningen for nybyggeriet afvige fra ovenstående gældende for bygningsreglementets klimakrav fra 1.1. 2023. Den anden LCA, som er et renoveringsscenarie, vil udføres som faseafgrænsningen i scenarie 3.

I LCAen for den fulde nedrivning skal der opgøres mængder for alle materialerne, der indgår i den eksisterende bygning og tildeles affaldsscenarioer fra miljøkortlægningen til hver produkttype. Som ved overvejelserne omkring processen ved at skulle opgøre alle de eksisterende materialer, vil det ligeledes være tidskrævende for den fulde nedrivning, men da der i forvejen skal udarbejdes en miljøkortlægning og bestemme affaldsscenarioerne for de nedrevne materialer, vil der her være tale om et arbejde der kan bruges i flere henseender.

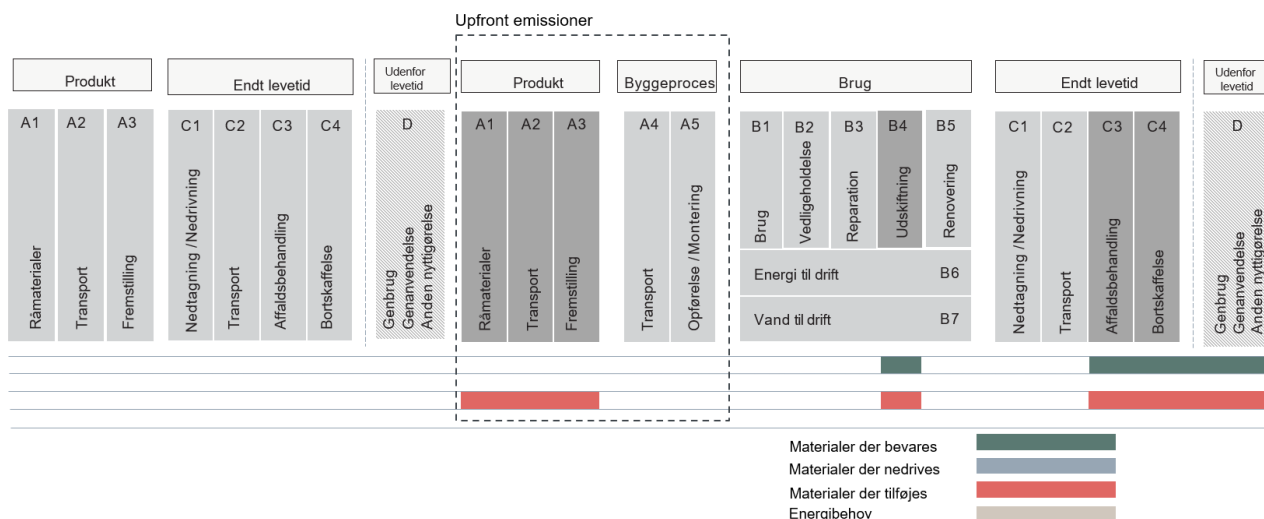
Forskellene på de to faseafgrænsninger vil være, at i scenariet med nedrivning og nybyg, vil affaldsscenarioet for alle de eksisterende byggematerialer skulle medregnes som upfront emissioner. Derudover vil der med stor sandsynlighed blive tilføjet en del flere nye materialer til ny-bygningen. I renoveringsscenariet udskydes affaldsbehandlingen af materialerne der bevares og i mange tilfælde tilføjes færre materialer end ved nybyggeri. Hvis ikke resultaterne opgøres i upfront og fremtidige emissioner, vil det altså kun være klimapåvirkningen fra de tilføjede materialer, forskellen i driftsenergien, samt eventuelle udskiftninger af de bevarede materialer i renoveringen, der vil få betydningen de klimamæssige forskelle af de to LCAer.

Fase D for den eksisterende bygning som nedrives medregnes ikke i det samlede LCA-resultat af nedrivnings- og nybyg-scenariet. Jf. [108] må fase D ikke summeres med øvrige faser og moduler i LCAen. De nedrevne materialer kan dog med fordel indgå i den nye bygning som genanvendte eller genbrugte materialer. Disse materialer vil da have en lav klimabelastning i faserne A1-A3 for nybyggeriet og affaldsbehandlingen, C3-C4, kan ligeledes undgås eller reduceres i den nedrevne bygning. Bemærk at EPDer

for nye materialer der indeholder genanvendte råmaterialer i nogle tilfælde, har affaldsbehandling af de genanvendte materialer indeholdt i A1-A3 for det nye materiale. Det gør sig eksempelvis gældende for armeringsstål.

Det er i øvrigt de samme overvejelser og regler for håndtering af det biogene karbon, der vil gælde for dette scenarie, som for de foregående scenarier.

Scenarie 2 – Renovering af enkelte bygningsdele



Figur 2 LCA faseafgrænsning for scenarie 2. Faserne markeret med mørkegrå indikerer de inkluderede faser i dette scenarie. Farvekoderne indikerer hvilke faser der bør indgå i LCA-beregningen for henholdsvis de materialer der bevares, nedrives, og tilføjes, samt energibehovet.

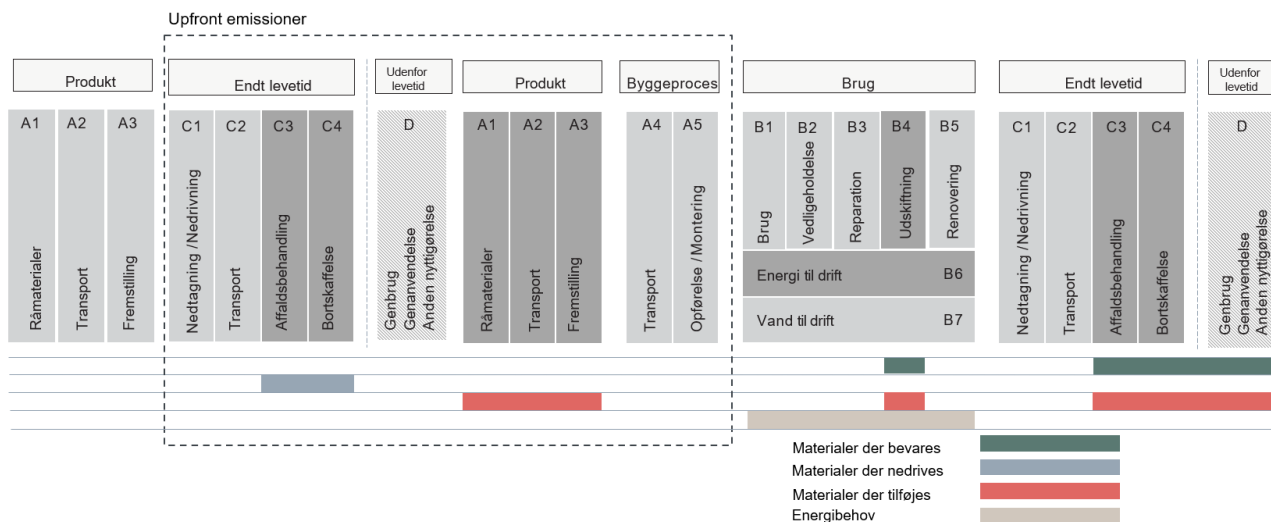
Ved scenarie 2 udarbejdes LCAen udelukkende for de nye materialer, der bliver tilføjet ved udskiftning af de enkelte bygningsdele. Dvs. hvis f.eks. vinduerne skal udskiftes i en ejendom vil LCAen ikke inkludere miljøpåvirkningerne fra nedtagning, transport, affaldsbehandling og bortskaffelse af de eksisterende vinduer, men kun miljøpåvirkningen fra de nye vinduer over en 50-årige periode. De inkluderede faser for de nye vinduer ved denne metode vil være; A1-A3, B4, C3+C4 som vist på Figur 2.

Årsagen til at LCAen ved dette scenarie udelukkende medtager de nye bygningsdele er, at formålet med denne LCA er, at udføre variantundersøgelser, der sammenligner forskellige forslag til udskiftninger og skabe viden om, hvilken løsning der er den klimamæssigt mest fordelagtige. Det er derfor irrelevant hvad klimapåvirkningen for affaldsbehandlingen og bortskaffelsen af de nedtagne materialer er, når der skal vælges mellem forskellige designløsninger.

Genanvendelse / genbrug af de nedrevne materialer i den valgte renoveringsløsning, kan dog udløse et behov for at medtage bortskaffelsesscenarioer- og moduler. Derved kan den klimamæssige gevinst ved genbrug / genanvendelse medregnes i det klimamæssige beslutningsgrundlag.

Når der kun udskiftes en type bygningsdel, udløser det normalvis ikke stilles krav til, at der skal udarbejdes en energiramme. Det vil derfor være forbundet med ekstra omkostninger, at stille krav til at en energiramme skal udarbejdes. Det anbefales derfor at klimapåvirkningen for energi til drift (B6) ikke indgår i en LCAen for scenarie 2.

Scenarie 3 – Større renoveringsprojekt



Figur 3 LCA faseafgrænsning for scenarie 3. Faserne markeret med mørkegrå indikerer de inkluderede faser i dette scenarie. Farvekoderne indikerer hvilke faser der bør indgå i LCA-beregningen for henholdsvis de materialer der bevares, nedrives, og tilføjes, samt energibehovet.

Da formålet med LCAen i scenarie 2 dels er at kunne undersøge klimapåvirkningen for forskellige renoveringsløsninger, og dels for at kunne sammenligne klimapåvirkningen af flere større renoveringsprojekter, indgår ikke kun miljøpåvirkningerne for materialerne der tilføjes ved renoveringen, men også miljøpåvirkningerne fra endt levetid af de eksisterende materialer der bevares og de materialer der nedrives ved år 0. Den forventet restlevetid af de nedrevne materialer indgår dog ikke i beregningerne.

Bortskaffelse og genbrug

Når miljøpåvirkningen for bortskaffelse (modul C3+C4) inkluderes for de eksisterende materialer, kan der sættes spørgsmålstegn ved, hvilke miljødata der skal anvendes for affaldsbehandling og bortskaffelse af disse. Der kan være nogle materialetyper, som skal bortskaffes på forskellig vis, alt efter hvornår de er blevet produceret. F.eks. skal mineraluld, som er produceret før 1997 kategoriseres som farligt affald og dermed gå til deponi. Hvorimod mineraluld efter 1997 kan genanvendes til nyt isoleringsmateriale. Der bør derfor stilles krav til anvendelse af bortskaffelsesscenarier der er i overensstemmelse med det enkelte projekts miljøkortlægning for de eksisterende materialer der bortskaffes, og ikke bortskaffelsesscenariet fra EPDer af nye materialer.

En anden problematik der kan diskuteres er, om man skal tildele en gevinst for de materialer, der bevares i deres fulde levetid og dermed opfordre til at kun nødvendige / udtjente materialer/bygningsdele udskiftes. I DGNB-certificeringer, manual 2023 for nybyg og omfattende renovering [97], tilskrives en gevinst for et materiale, der har udlevet 80% eller mere af sin estimerede levetid. Der må her regnes med 0 kg CO₂e i C3+C4 for det nedrevne materiale. Ulempen ved denne metode vil være, at det ikke giver et retvisende billede af, hvilke miljøpåvirkninger der vil være ved bortskaffelse af de eksisterende materialer der nedrives. I nærværende projekt ønskes det at anvende de mest retvisende metoder, som bedst muligt afspejler de klimapåvirkninger som faktisk forekommer. Derfor anbefales det at inkludere den fulde klimapåvirkning for affaldsbehandlingen/bortskaffelse for de materialer der udskiftes, uanset om materialet/bygningsdelen har gennemlevet sin fulde levetid.

Hvis de eksisterende materialer der bliver nedtaget, bliver genbrugt i stedet for afbrændt eller deponeret, kan det diskuteres om klimagevinsten skal tilkomme LCAen for det eksisterende byggeri, der skal nedtages fuldt eller delvist, eller om gevinsten skal tilkomme LCAen, hvor de genbrugte materialer bliver anvendt i stedet for nye materialer. Hvis man ønsker, at flere byggematerialer skal genbruges, kan det være en fordel at både bygningsejerne af det eksisterende byggeri tildeles en klimamæssig gevinst for at forberede materialerne til genbrug, samt at dem der anvender genbrugsmaterialerne efterfølgende, ligeledes tildeles en klimagevinst. Fordelene for begge parter kan opnås ved, at LCAen for de nedrevne materialer har en udledning på 0 kg CO₂ækv. for C3+C4, og at udledningen for A1-A3 ligeledes er 0 kg CO₂ækv. for et genbrugsmateriale i enten et renoveringsprojekt eller nybyg projekt. Gevinsten vil dog i de fleste tilfælde (med udtagelse af biogene materialer) være størst for LCAen, hvor et genbrugsprodukt erstatter et nyt produkt, da klimapåvirkningen i de fleste tilfælde vil være væsentlig højere for faserne A1-A3 sammenlignet med faserne C3+C4. I BR18 fra januar 2024, er det implementeret, at hvor det kan dokumenteres, at der anvendes direkte genbrugte materialer, vil miljøpåvirkningen være 0 kgCO₂ækv. i hele betragtningsperioden [135]. Denne metode anbefales ligeledes anvendt i dette projekt og i renoveringsøjemed udvidet til også at omfatte "0" kg CO₂ ækv. for bortskaffelse for den bygning det bortskaffes fra, såfremt det kan eftervises, at materialet/bygningsdelen indgår som genbrug i et nyt projekt.

Det er i den forbindelse afgørende at "genbrug" defineres tydeligt, og at der eftervises faktisk genbrug, da dette ikke vil være tilfældet i de fleste renoveringer. Definitioner af genbrug kan f.eks. findes i ISO 14021 [122] og EU's affaldsramme-direktiv [100].

Restlevetid

Som beskrevet i litteraturstudiet, bør restlevetiderne for de blivende materialer opgøres og indgå i beregningerne. Hvis restlevetiden er kortere end beregningsperioden på 50 år, indgår en udskiftning under fasen B4. For at restlevetiden kan indgå i beregningerne skal de eksisterende blivende materialer opgøres. Disse materialer er vigtige for at bygningen kan opretholde sin funktion som en bygning og bør derfor indgå i LCAen for et renoveringsprojekt, for at kunne sammenlignes med et nybyg projekt. Materialerne indgår som nævnt allerede i bygningen og faserne A1-A3 skal derfor ikke medtages ifølge standarden prEN15978 [108]. Det er derfor kun udskiftning (B4) og affaldsbehandling (C3-C4) i år 50, der skal indgå for de eksisterende blivende materialer for at kunne opretholde sammenligningsgrundlaget mellem nedrivning og nybyg, og bevare og renovere.

Håndtering af biogent karbon ved bortskaffelse

Når de eksisterende blivende materialer indeholder biogent karbon opstår problematikken for hvordan dette skal håndteres. -1/+1 beregningsreglen gør ikke forskel mellem at fjerne eksisterende materialer under renoveringen eller ved endt levetid og resultatet viser således ikke den tidmæssige og klimamæssige gevinst i at forsinke udledning af den biogene karbon. Når klimapåvirkningen vises som et resultatet i kg CO₂ ækv. / m² / år skaber beregningsmetoden således ikke noget incitament til at bevare biogene materialer under renoveringen. Hvis resultaterne derimod evalueres på "upfront" vs. fremtidig udledning, vil det kunne ses, hvor stor en andel af renoverings klimapåvirkning der kan udskydes ved at de biogene materialer bevares i bygningen. Denne "resultatvisning", vil være en forudsætning for evt. senere at kunne indregne den forsinkede udlednings effekter for klimaet.

Som beskrevet i litteraturstudiet bør det biogene karbon ifølge standarden EN16485:2014 [43] følge det fysiske flow af materialet. Det betyder, at det biogene karbon optag skal inkluderes i A1-A3 og det biogene karbon udled skal inkluderes i C3-C4 for de eksisterende blivende materialer. Det anbefales at man følger

denne regel for dermed at undgå skævvridningen af klimapåvirkningen for de biogene materialer der bevares i det eksisterende byggeri.

Processen med at opgøre mængder for de eksisterende blivende materialer kan være lang og tidskrævende, da der i mange tilfælde ikke eksisterer en 3D model af den eksisterende bygning. Mængderne skal derfor opgøres manuelt ved opmåling på tegninger. I de efterfølgende delprojekter undersøges det, hvilken betydning det kan få for LCA resultaterne at inkludere miljøpåvirkningerne for de eksisterende materialer, samt til hvilket detaljeringniveau de eksisterende materialer bør opgøres.

Drift

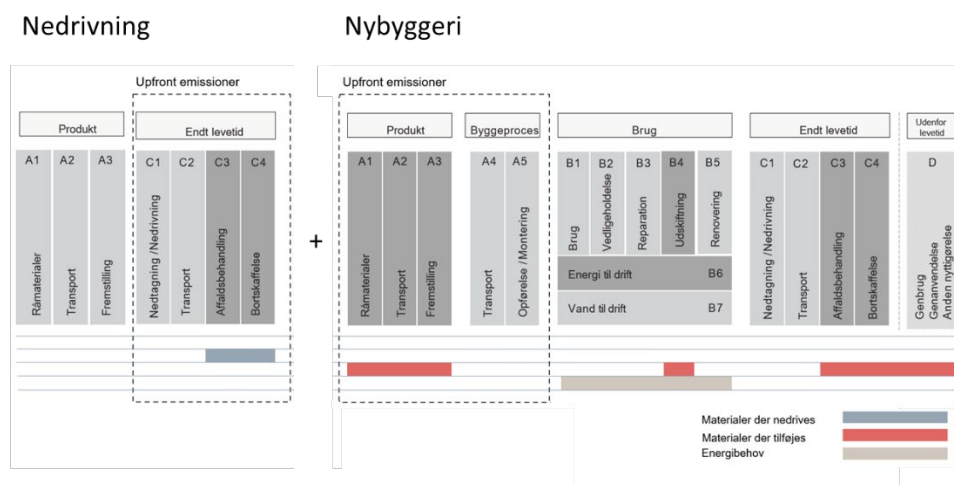
Foruden håndteringen af de nedrevne og blivende materialer, er det ligeledes vigtigt for en LCA af et større renoveringsprojekt at driftsenergien (B6) indgår i LCAen. I en større renovering vil der i mange tilfælde være flere udskiftninger af bygningsdele eller tilføjet materiale, som vil påvirke bygningens energibehov. Hvert tiltag kan ikke ansues særskilt da deres samtidige betydning for energibehovet ikke vil svare til deres enkeltvis betydning. De bør derfor medtages i LCAen som en samlet beregning af energibehovet for bygningen. Der bør altså udarbejdes en ny energiramme efter renoveringen, hvoraf energibehovet fra denne indgår som B6 i LCAen – enten direkte eller korrigeret for f.eks. rebound / prebound-effekter (se afsnit 1.4.5). Derved kan den samlede LCAs resultat i scenarie 2 anvendes til f.eks. at udlede balancen mellem at udskifte materialer (fx. Efterisolering, udskiftning af vinduer, tilføje ventilationsanlæg), i forhold til besparelse i driftsenergien, og LCAer kan derved også bedre sammenlignes på tværs af større renoverings projekter.

1.2.5 Opsummering

Formålet med nærværende afsnit er, at udarbejde anbefalinger til de metoder og forudsætninger der skal ligge til grund for projektets LCAer for hhv. renovering og nedrivning + nybyggeri.

Anbefalingerne tager afsæt i den viden, der er sammenfattet fra tidligere rapporter og projekter i kapitel 2, de europæiske standarders anvisninger samt den viden der er genereret gennem nærværende projekt. Idet der både gennemføres LCA for nedrivning, nybyggeri og renovering, forholder anbefalingerne sig til hvert af disse formål med LCAen.

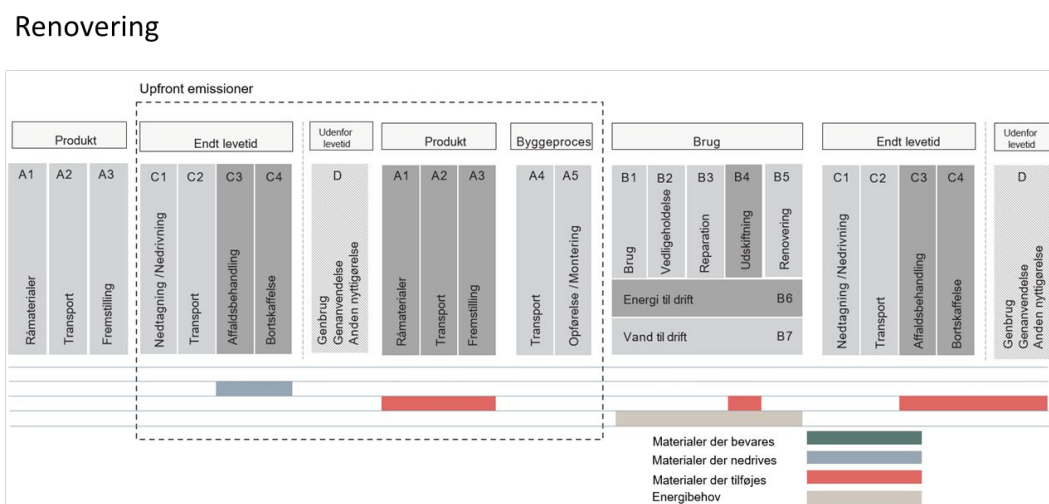
Figur 4 herunder viser anbefalingerne til indeholdte faser og moduler for nedrivning og nybyggeri.



Figur 4 Faser og moduler indeholdt for livscyklusvurdering af nedrivning og nybyggeri

Det bemærkes at såfremt bygningsreglementet fra 2025 udvider antallet af faser / moduler der indgår i eftervisning af det nationale klimakrav til nye bygninger, bør ovenstående anbefalinger også justeres tilsvarende. Det gør sig også gældende for faserne C1 og C2, der bør medtages for nedrivning såfremt de medtages for nybyggeri.

Figur 5 viser herunder tilsvarende de faser der anbefales medtaget i analyserne af renoveringernes klimapåvirkning.



Figur 5 Faser og moduler indeholdt for livscyklusvurdering af renovering

Såfremt bygningsreglementets krav til medtagne faser og moduler ændrer sig – eksempelvis med tilføjelse af C1, C2, B1 og B2 bør man medtage samme faser og moduler ved LCA af renoveringsprojekter.

I afsnit 1.1 er der anvendt en scenarieopdeling for hhv. LCA på renovering der kun omfatter enkelte bygningsdele (scenarie 2) og LCA på større renoveringer på bygningsniveau (scenarie 3). Af hensyn til sammenlignelighed i LCA-resultater på tværs af renoveringsgrader, anbefales der for alle analyser i kapitel 3.1.5 uanset renoveringsgrad udelukkende faser og moduler svarende til afgrænsningen i scenarie 3.

1.3 Definition af renoveringsklasser

1.3.1 Introduktion

Mens det er forholdsvis enkelt at definere, hvad en ny bygning er, så er der stor forskel på forskellige renoveringer og deres klimabelastning. Det er derfor vanskeligt at generalisere om klimabelastningen fra renoveringer. Der er brug for at definere forskellige grader af renovering.

Der findes en række forskellige definitioner til beskrivelse af grader af renovering eller renoveringsklasser. De fleste bygger på målet om at opnå en grad af energiforbedring eller et forventet energibehov eller energiforbrug. Men der er også renoveringsklasser som er baseret på den omkostning der er forbundet med gennemførelsen af renoveringen eller hvor stor en del af bygningens klimaskærm der er omfattet af renoveringen.

1.3.2 Gennemgang

I dansk sammenhæng er der defineret 2 renoveringsklasser for boliger i Bygningsreglementet, som begge bygger på overholdelse af et energibehov beregnet med Be18 programmet og en mindste reduktion af

energibehovet på 30 kWh/m² pr. år. Renoveringsklasse 1 skal opnå et energibehov der er mindre end 1650 kWh/(m².år) og samtidig overholde kravene til indeklima jf. BR18 §§§ 382-384, § 386 og §§ 443-449. Boliger som skal overholde renoveringsklasse 2 skal opnå et energibehov der er indre end 2200 kWh/(m².år).

Renovering defineres iht. DS/EN 17680:2023 Bygge- og anlægskonstruktioners bæredygtighed – Evaluering af potentiale for bæredygtig renovering af bygninger [93] som en opgradering af materialer eller konstruktioner, som ligger ud over vedligehold, men som ikke omfatter en egentlig istandsættelse (refurbishment), ombygning eller ændret anvendelse. Renovering defineres som en indsats, der på et givet tidspunkt øger bygningens ydeevne fra et niveau under den krævede ydeevne til et nyt niveau, der ligger over. Vedligehold ses derimod som mindre forbedringer af ydeevnen, der ikke formår at løfte ydeevnen til det oprindelige eller krævede niveau. Definitionen på istandsættelse, ombygning eller ændret anvendelse er omtrent som renovering, men her ændres samtidig kravet til bygningens ydeevne. Definitionerne i [93] er ikke egnet til at skelne mellem forskellige grader af renovering, idet standardens formål primært er at fastlægge processen i forbindelse med renovering, istandsættelse og vedligehold i forhold til definerede procestrin og klassificering af ydeevne.

På europæisk plan definerer bygningsdirektivet en større renovering som værende en renovering der omfatter mere end 50% af bygningens klimaskærm, eller 50% af bygningens værdi, fraregnet værdien af grunden.

I REBUS-projektet (www.rebus.nu) arbejdes der med 3 primære målsætninger for en god renovering som er 50% lavere energiforbrug, 30% lavere ressourceforbrug og 20 øget produktivitet. Alle mås tænkes opnået ved udnyttelse af en særligt udviklet facadeløsning som også indeholder en del af den renoverede bygnings tekniske installationer.

”Fit for 55” (consilium.europa.eu/da/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/) er EU klimalov, som sigter mod at reducere EU’s emissioner med 55% senest i 2030. I den er en af målsætningerne, at eksisterende bygninger skal senest i 2050 omdannes til nulemissionsbygninger.

I rapporten ”Klimaeffektiv renovering” [25] er der regnet på renovering af forskellige bygningsdele, men der er som sådan ikke arbejdet med forskellige renoveringsklasser for bygningen som helhed.

I EU projekterne EPISCOPE og TABULA (<https://episcopes.eu/>) er der arbejdet med 2 niveauer af energirenovering, standard og ambitiøs. Standard renoveringen arbejder med de nationale minimumskrav for renovering af eksisterende bygninger, og det ambitiøse niveau sigter mod at opfylde de nationale krav til næsten nulenergi byggeri, som i Danmark svarer til overholdelse af energibehovet for nybyggeri jf. BR18.

1.3.3 Opsummering

Da der i det danske Bygningsreglement, BR18, findes definitioner for energirenovering af eksisterende bygninger, som kun skriver om ændring i energiforbrug til drift giver det ikke meget ny viden at definere andre definitioner for bygningsrenovering, der har dette fokus

Nyere definitioner og definitioner fra udlandet har et bredere fokus. Her beskriver renoveringsklasserne også omfanget af renoveringerne.

Om der skal etableres en dansk definition for renoveringsklasse, der også beskriver omfanget af hvor meget der bygges om, kan blive mere aktuelt i forbindelse med et øget fokus på en forståelse for hele bygningens livscyklus. er et andet spørgsmål, som denne rapport skal søge svar på. Der er derfor i casene udarbejdet nogle definitioner af 3 niveauer af renovering: let mellem og dyb.

De anvendte niveauer i variantanalyserne er nærmere beskrevet i afsnit 3.1.4. De tager udgangspunkt i grader af ændringer af klimaskærmen samt visse installationer.

1.4 Håndtering af performance gap i energiberegninger

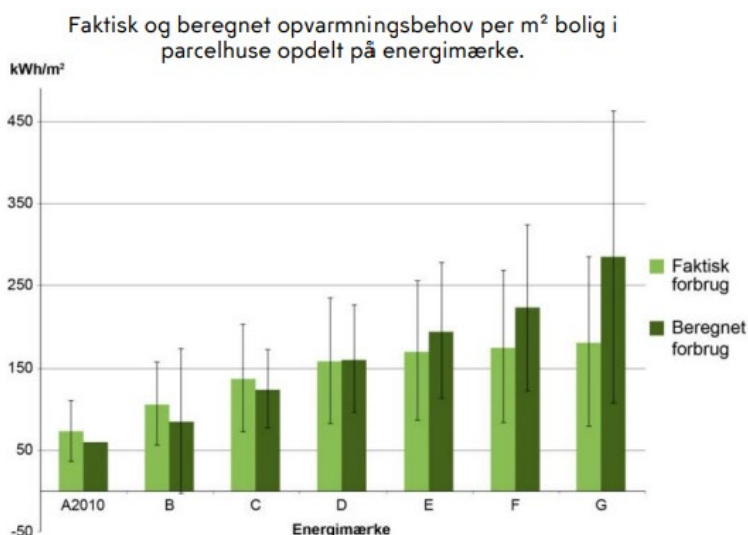
1.4.1 Hvad er performance gap?

I dag beregnes bygningers energibehov ud fra standardiserede forudsætninger, SBI Anvisning 213 [80], og underliggende standarder. Det beregnede energibehov beror på en række forudsætninger vedr. bygningens fysiske performance som isoleringsevne (U-værdier) og linjetab, samt brugsmæssige forudsætninger som indetemperatur (20 grader C) og anvendelse (interne varmelaster, drift af ventilation, varmtvandsforbrug etc). En række studier, ELFORSK Projekt 348-024 [101], Beboernes betydning for realiserede varmebesparelser ved renovering af boliger 2020 [112], har vist, at der for såvel nybyg som renovering kan være store afvigelser mellem det beregnede energibehov og det målte energiforbrug.

Når der arbejdes med livscyklusvurdering af renovering og nybyggeri, er det relevant at undersøge dels hvor stort dette performance gap kan forventes at være, men måske mest interessant, hvordan størrelsen af gappet kan forudsiges inden renoveringen eller nybyggeriet påbegyndes. Dermed kan størrelsen og betydningen af gappet inddrages som en del af et designmæssigt beslutningsgrundlag. Vurderingen af performance gap kan helt konkret bidrage til at besvare spørgsmål som:

- Kan der forventes en klimamæssig gevinst ved en given renovering?
- Afhænger den klimamæssige gevinst af dybden af en renovering?
- Påvirker performance gap for hhv. renovering og nybyg en beslutning om at renovere eller nedrive og bygge nyt eller graden af renovering der vælges?

Performance gap opstår som nævnt mellem energiberegningens beregningsmetode og standardiserede forudsætninger på den ene side og det aktuelle målte forbrug med stor variation i forhold til brugere og den byggede kvalitet på den anden side. [112] præsenterer denne forskel via Figur 6, hvor forskellen mellem målt energiforbrug og beregnet energibehov er opgjort pr. energimærke.



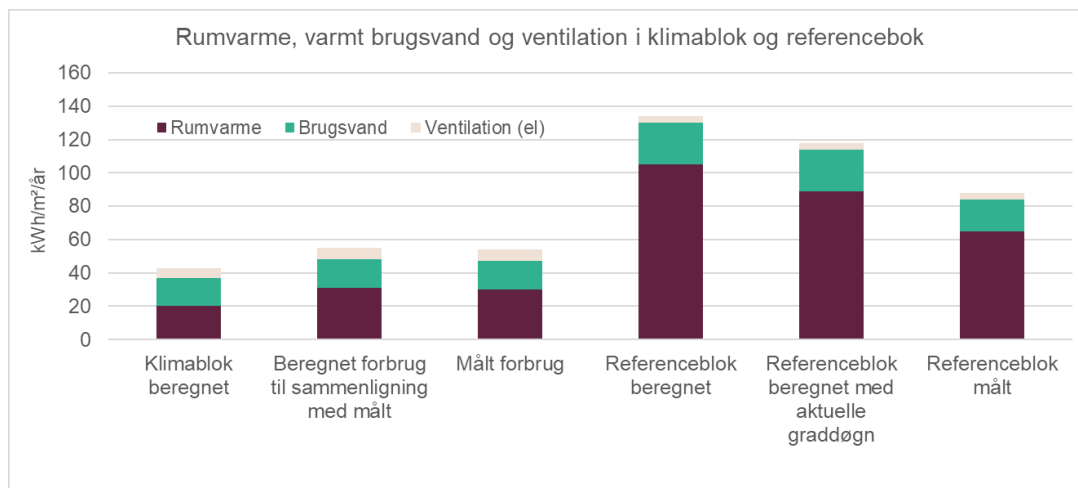
Figur 6 Forskellen mellem målt energiforbrug og beregnet energibehov til opvarmning af parcelhuse

Figur 6 indikerer at der for nyere byggeri må forventes et højere energiforbrug end det beregnede energibehov. Modsat må der for ældre bygninger med ringere energimærke, forventes et lavere energiforbrug end det beregnede energibehov.



Figur 7 Billeder fra klimablok-renovering før og efter renovering. Projektfotos fra [146] venligst stillet til rådighed af AI2bolig.

Som konkret eksempel på analyse af performance gap der bekræfter ovenstående er der i 2013 foretaget analyse af beregnet og målt energiforbrug i forbindelse med AI2 Boligs renovering af klimablokken i Langkærparken [146]. Analysen bestod i beregning og måling på en boligblok før renovering og tilsvarende beregning og måling efter renovering. Resultatet viser at referenceblokken før renovering havde et højere beregnet behov end målt forbrug. Der blev foretaget et meget gennemgribende renovering svarende til nuværende BR18 lavenergiklasse. Efter renoveringen blev forbruget målt og der blev foretaget korrigerende af f.eks. graddage, så resultaterne blev sammenlignelige. Figur 8 viser at der efter renovering var et højere målt forbrug end beregnet – særligt for opvarmningsbehovet.



Figur 8 Beregnet og målt forbrug før og efter renovering for AL2Boligs renovering "klimablokket" i Langkærparken [146]

Driftsenergien ved renovering kan have en væsentlig betydning for bygningens samlede klimapåvirkning (se afsnit 2.3.3 og figur 30). Derfor er det både ved sammenligning af nybyggeri og renovering, men også ved vurdering af den enkelte renoverings klimamæssige performance interessant at kunne medtage betydningen af performance gap i valg af renoveringsløsninger.

I de næste afsnit følger derfor en gennemgang af metoder, der for nybyggeri og renovering kan bidrage til at forudsige størrelsen af dette performance gap og dermed tage højde for dette i valg af løsninger og i de efterfølgende livscyklusvurderinger.

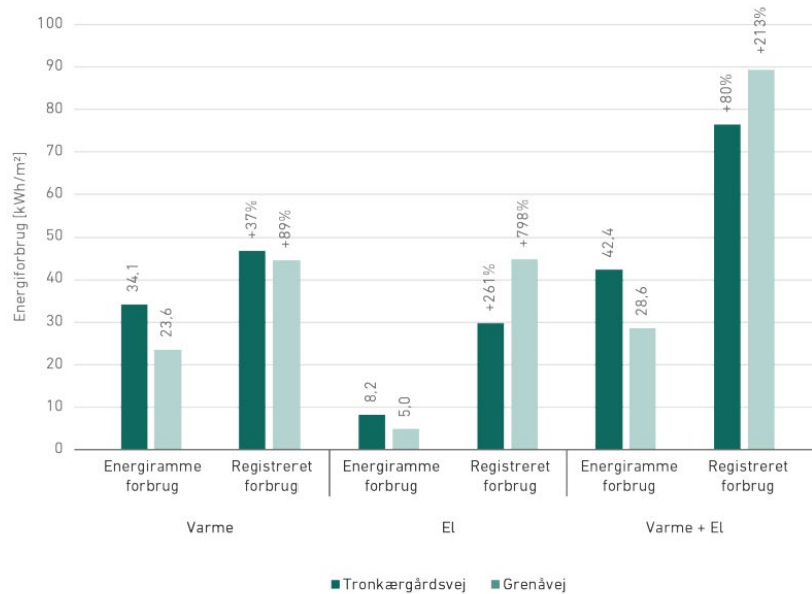
1.4.2 Performance gap ved nybygning?

Bygningsreglementet foreskriver at ved nybygning skal boliger projekteres og udføres, så energibehovet ved beregning ikke overstiger energirammen. En bygnings energibehov beregnes i programmet Be18 og er en teoretisk værdi, som har til hensigt at dokumentere en bygnings energimæssige egenskaber ud fra en blanding af bygningspecifikke forudsætninger og standardiserede forudsætninger, som derved kan sammenholdes med Bygningsreglements krav og benyttes i sammenligning med andre bygninger. I denne beregning indregnes der kun den del af bygningens elbehov, som går til selve bygningsdriften. Som eksempel indgår elforbrug til elevatorer, pumper for afløb, brugsvand og sprinkling samt procesudstyr ikke (boligstyrelsen).

Den del af performance gap som opstår mellem en bygnings beregnede energibehov i forhold til målt forbrug, som skyldes afvigelsen mellem bygningspecifikke og standardiserede forudsætninger vil derfor være forventelig, men u hensigtsmæssigt, når der skal sættes mere fokus på at mindske klimabelastningen i et livscyklusperspektiv.

Figur10.

Sammenligning af beregnet og målt energiforbrug for Tronkærgårdsvej og Grenåvej.



Figur 9 Sammenligning af beregnet energibehov og målt energiforbrug for Tronkærgårdsvej og Grenåvej, Århus

Et nyt casestudie fra Aarhus kommune (Figur 9) dokumenterer problemet med den store afvigelse mellem det beregnede og det reelle forbrug i bygninger, Tværgående klimaanalyse 2023 [84]

I dette studie er der tale om analyse på daginstitutionsbyggerier, hvor det målte energiforbrug medfører mellem 20% og 30% højere klimapåvirkning sammenlignet med samme bygningers beregnede energibehov. Der er umiddelbart ikke fundet danske studier der vurderer på det højere målte energiforbrugs betydning i en livscyklusvurdering. Dog omtaler Reduction roadmap dette klimamæssige performance gap i meget *overordnede vendinger*.

1.4.3 Beregningsmetode til udligning af Performance Gab i Nybyggeri

For at imødekomme denne problemstilling og skabe bedre forudsætninger for at forudsige en bygningens fremtidige energiforbrug, har Aarhus Universitet i samarbejde med Living Strategy Consulting gennem BeReal-projektet [101] udarbejdet en online applikation, som kan korrigere den teoretiske Be18 beregning for de energimæssige effekter af bygningens reelle anvendelse, brugernes adfærd og vejrets indflydelse og dermed forbedre sammenhængen mellem den projekterede bygning og bygningens efterfølgende driftsfase. For at benytte mere bygningsspecifikke inputparametre for bygningens brug indsamles måledata efter at de tekniske installationer er indreguleret og der anvendes lokationsbestemte vejrdata. Herved kan det belyses om afvigelser mellem beregnet og målt energiforbrug skyldes f.eks. variation i vejret, længere brugstider, et højere internt elforbrug, højere indetemperatur eller uhensigtsmæssig drift.

Når der på denne måde skabes en sammenhæng mellem den beregnede energiramme og den efterfølgende faktiske drift og energimæssige performance af bygningen, skabes der langt bedre forudsætning for at estimere den nye bygningens fremtidige energiforbrug. I en livscyklusvurdering for nybyggeri ansues nye bygningers klimapåvirkning traditionelt over en periode på 50 år (betragtningperiode). Der er således også tale om klimapåvirkningen fra bygningens akkumulerede energiforbrug over en 50-årig periode. Derfor kan en afvigelse mellem energiberegningens forudsætninger og det faktisk bygningens performance have stor betydning for den beregnede klimapåvirkning og med et

mere retvisende estimat af bygningens energiforbrug, opnås også en tilsvarende mere retvisende vurdering af bygningens klimapåvirkning.

1.4.4 Målingsmetode til udligning af Performance Gab i Nybyggeri

Et andet casestudie, SWECO HQ - Forecast-analyse af forventet energiforbrug [138], viser at især indetemperatur, brugstid, forbrug af varmt brugsvand og varmegenvindingsgraden for den mekaniske ventilation har stor indflydelse på en bygnings varmeforbrug. Når beregnet energibehov sammenlignes med målt forbrug, er det væsentligt, at betragtningsperioden er tilstrækkelig lang for at udligne de udsving, som der naturligt vil forekomme, da bygningens brug og vejrforholdene ofte varierer. Varierende vejrforhold kan til dels håndteres ved en graddøgncorrektion af varmeforbruget samt en eventuel fremskrivning af forventede ændringer i udeklima, hvorimod varierende brugeradfærd er mere vanskeligt at tage højde for.

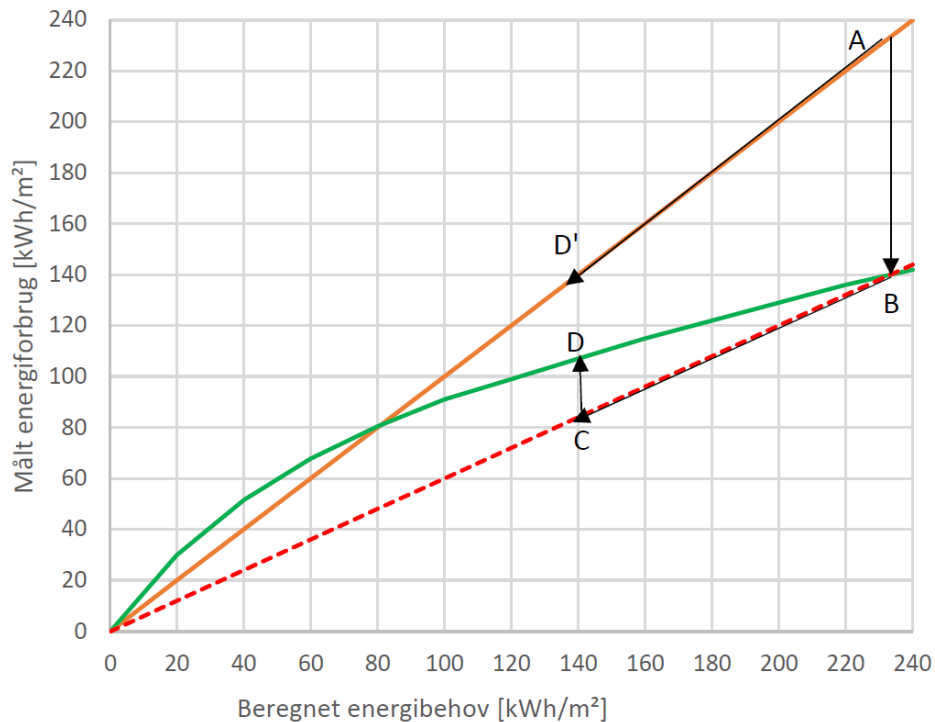
1.4.5 Performance gap ved renovering

1.4.5.1 Problemstilling

I renoveringer betegner performance gap den mulige forskel, der kan opstå mellem en beregnet energibesparelse efter renovering og den faktisk opnåede energibesparelse. Årsag til forskel er ofte en overestimering af energiforbruget af dårligt isolerede boliger (prebound effekten), kombineret med en underestimering af energiforbrug i bedre isolerede boliger (rebound effekten) [149].

I forhold til det beregnede energibehov for eksisterende bygninger under standardforudsætninger ses der ofte i ældre, dårligt isolerede bygninger et lavere målt energiforbrug end det beregnede behov. Der er mange mulige forklaringer på dette, men blandt hovedårsagerne er nok at brugen af bygningen adskiller sig markant fra den standardiserede brug, alene fordi det er dyrt at varme bygningen op, og der dermed gøres meget for at spare på energien. Det modsatte fænomen gør sig gældende for godt isolerede bygninger, hvor det er billigt at varme bygningen op, og incitamentet til at spare på en i forvejen lille energiregning ikke er stort.

I boliger kan princippet illustreres ved nedenstående Figur 10. Den orange linje repræsenterer en ideel situation, hvor målt og beregnet energiforbrug stemmer overens 1:1. Hvis vi antager et beregnet energibehov på niveau med punkt A, så burde en tænkt renovering medføre en energibesparelse fra punkt A ned ad den orange linje, i dette eksempel til punkt D'. I praksis er forholdet mellem målt og beregnet energibehov, eksempelvis i energimærkningsordningen, dog ikke lineært. Forskning har nemlig vist at det målte energiforbrug i gennemsnit følger den grønne linje, hvor bygningens målte energiforbrug aftager, jo højere det beregnede energibehov er. Det er derfor nødvendigt først at korrigere det nuværende beregnede energibehov, så det bedre svarer til det målte energiforbrug. Men den korrektion ville udgangspunktet ligge i punkt B og energibesparelsen være en bevægelse fra punkt B til punkt C på den stiplede røde linje. Dette er dog heller ikke helt korrekt, da et faldende energibehov påvirker hældningen på forbruget, det vil sige den grønne linje. Derfor foretages en anden korrektion, så det resulterende energiforbrug flyttes fra punkt C op til til punkt D. I dette eksempel er en teoretisk beregnet besparelse (punkt A til D') på ca. 90 kWh/m²år dermed mindre sandsynlig, da den forventede besparelse (punkt B til D) forventligt ligge på ca. 35 kWh/m²år. Disse 55 kWh/m²år udgør performance gap i eksemplet.



Figur 10 Performance gap i forbindelse med reovering. Skematisk illustration

1.4.6 Beregningsmetoder til udligning af performance gap i reovering

1.4.6.1 Retvisende energiberegninger i reoveringer

Retvisende beregninger af de faktiske energiforhold i eksisterende bygninger er et komplekst emne, som ikke kan behandles på fyldestgørende vis i denne rapport. Derimod er formålet med denne kortfattede betragtning at henvise til de eksisterende, afprøvede metoder, der med fordel kan anvendes til at forbedre kvaliteten af energiberegninger. Betragtningerne er baseret på publikationen Branchevejledning for energiberegninger 2.0 [65], som både belyser problemstillingen, herunder sammenhængen med indeklimaberegninger, anbefaler konkrete beregningsmetoder på forskellige kompleksitetsniveauer og beskriver håndtering af usikkerheder.

Groft sagt bliver beregninger mere retvisende og mindre usikker, jo flere detaljer og forundersøgelser der tages hensyn til i vurderingen. Metoden afhænger i første omgang, om der er tale om enkelttiltag, som virker uafhængige af hinanden og hvis energibesparelse blot kan lægges sammen, til forskel for kombinerede tiltag, hvis besparelseeffekt påvirkes af andre tiltag. Uafhængige enkelttiltag kan eksempelvis være efterisolering af tage og rør eller udskiftning af pumper. Mere omfattende indgreb som eksempelvis ændringer af geometri, åbningsarealer, ventilationsforhold, tæthed, det termiske indeklima osv. kræver altid en beregning af hele bygningens energiforhold. Dette kan eksempelvis tilvejebringes med Be18-metoden (Aggerholm, 2018), kombineret med andre analyser og registreringer, som leverer den nødvendige kvalificering af beregningsforudsætningerne.

Begge scenarier, enkelttiltag såvel som kombinerede tiltag, kan korrigeres til at nedbringe det potentielle performance gap. Enkelttiltagenes energibesparelse kan forenklingsvis beregnes med henholdsvis graddøgnsmetoden og vinduers energibalance. Ved hjælp af branchevejledningen kan disse simple beregninger korrigeres for den faktiske indetemperatur, virkningsgrad af varmeanlægget og i givet fald specifikt elforbrug af ventilationsanlæg.

En endnu mere retvisende beregning, som er nødvendig for mange kombinerede tiltag, er energiberegning af hele bygningen. Som første trin kvalificeres beregningsmodellen, indtil de relevante forhold for energi afspejler de faktiske forhold før renoveringen så godt som muligt og det samlede energibehov svarer til det målte energiforbrug. Kvalificeringer indebærer eksempelvis en nærmere bestemmelse af U-værdier, som har en stor indflydelse på energiforbrug. Luftmængder og driftsforhold kan bestemmes med stor sikkerhed ved måling over et længere tidsrum, men kan alternativt også via dynamiske indeklimasimuleringer. Som udgangspunkt bør antagelserne i både energiforhold før og efter renovering gå i retning af en undervurdering af energibesparelser, så der sikres en konservativ tilgang til renoveringens forventede effekt. Hvis de nye forventede brugsforudsætninger er kendt og kan beskrives, bør disse indgå i beregningsmodellen efter renoveringen. Hvis forholdene efter renoveringen ikke kan kvalificeres, kan der i boliger anvendes en korrektion for reboundeffekten efter nedenstående metode.

1.4.6.2 *Korrekturfaktor til reducere af performance gap i boliger*

I ovenstående afsnit beskrives, hvordan energiberegninger generelt kan blive mere retvisende ved primært forbedre beregningsmodellen i forhold til de faktiske forhold før renoveringen. Herved reduceres misforhold mellem faktiske forhold og model, som er med til at bidrage til den potentielle preboundeffekt i boliger. Den her præsenterede faktormetode [150]¹ og [152] kan bruges til korrektion, som både prebound- og reboundeffekter har på den forventede energibesparelse. Ved anvendelse af oven beskrevet korrektion af preboundeffekt før renovering, kan faktormetoden anvendes til kun at korrigere for reboundeffekten.

Det er vigtigt at understrege at faktormetoden er udviklet på basis af en gennemsnitsbetragtning af bygningsmassen, som ikke tager hensyn til de faktiske forhold i konkrete projekter. Korrektion for preboundeffekten er derfor kun egnet til indledende estimater af energibesparelser eller generelle betragtninger af besparelspotentiale i en bygningsportefølje, men ikke som projekteringsværktøj. Korrektion af preboundeffekt i konkrete projekter bør anvende de mere omfattende, ovenfor beskrevne metoder fra Branchevejledning for energiberegninger 2.0 [65].

For at finde det reelle forhold mellem målt og beregnet energi i henhold til den grønne kurve i Figur 10 for hvert energimærke, er data fra 174.130 boliger blevet analyseret. For hver bolig foreligger data fra et energimærke, som gør det muligt at beregne den enkelte boligs energibehov. Da der foreligger målinger af det faktiske energiforbrug for de samme boliger, var det muligt at opstille formler for den grønne kurve, se Tabel 2. Formlen for hver af de rette linjer kan udtrykkes som

$$Y = b \pm \Delta b + (a \pm \Delta a) * E$$

E er det beregnede energiforbrug på den grønne linje

Y er det målte/forventede energiforbrug inden for det relevante energimærke før og efter renoveringen
a og b er konstanter

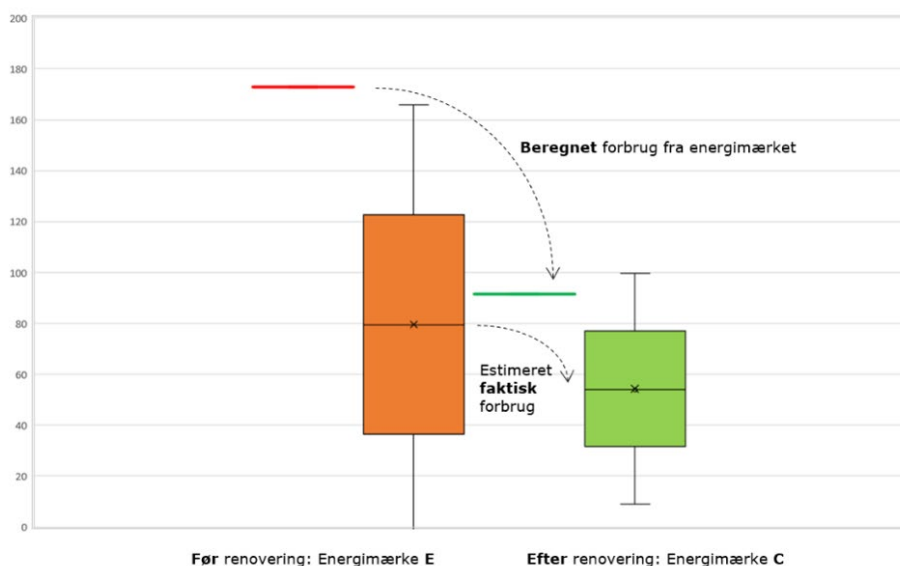
Δa og Δb er usikkerheden på konstanterne a og b. Usikkerhederne på parameterestimaterne er givet som 1.96 x standardafvigelsen, svarende til et 95 % konfidensinterval.

¹ Metoden er et resultat af EUDP projektet "Danish participation in IEA EBC Annex 70, Building Energy Epidemiology (j.no. 64016-0013)"

Tabel 2 Konstanter til brug af faktormetode, afhængigt af det aktuelle energimærke før og efter renovering

Energimærke	b	Δb	a	Δa
A	$-3,22 \times 10^4$	$\pm 1,7 \times 10^4$	3,74	$\pm 0,5$
B	$-0,04 \times 10^4$	$\pm 2,1 \times 10^4$	2,11	$\pm 0,6$
C	$1,65 \times 10^4$	$\pm 1,9 \times 10^4$	0,59	$\pm 0,5$
D	$1,67 \times 10^4$	$\pm 1,8 \times 10^4$	0,60	$\pm 0,5$
E	$2,40 \times 10^4$	$\pm 1,9 \times 10^4$	0,46	$\pm 0,5$
F	$2,10 \times 10^4$	$\pm 2,1 \times 10^4$	0,20	$\pm 0,5$
G	$0,82 \times 10^4$	$\pm 2,7 \times 10^4$	0,43	$\pm 0,6$

Tabel 31 viser et beregningseksempel til faktormetoden. Et etageboligbyggeri på 1500 m² har energimærke E før renoveringen med et beregnet energibehov på 172,8 kWh/m² pr. år. Efter renoveringen blev projektet mærket på niveau C med et beregnet energibehov på 91,5 kWh/m² pr. år. De beregnede energibehov er angivet som vandrette streger. Boksdiagrammerne viser det estimerede målte energiforbrug inkl. usikkerheden, som stammer fra forskningsprojektet bag metoden. Eksemplet illustrerer for det første, at det faktiske forbrug for bygninger med dårligt energimærke vil ofte ligge lavere end beregnet. Som konsekvens vil den faktiske energibesparelse være lavere, da afstanden mellem energiforbrug før og efter renoveringer er smallere. Det nye energiniveau vil derimod være lavere end antaget.



Figur 11 Beregningseksempel for brug af faktormetode. Resultater vises som energibehov i kWh/m² pr. år. De vandrette streger viser det teoretiske forbrug med standardforudsætninger, som forekommer bl.a. i energimærket. Boxplot viser det estimerede faktiske forbrug fra forskningsprojektet, som er baseret på en granskning af målt forbrug.

1.4.7 Opsummering

I det ovenstående er der vist forslag til metoder, der mindsker problemet med Performance gab.

I denne rapport af vi i variantstudierne af casebygningerne anvendt metoden i afsnit 1.4.6.

1.5 Klimaeffekten af ændringer i energimixet

1.5.1 Introduktion

I en bygnings-LCA er forholdet mellem energiforbrug og energibesparende tiltage vigtigt at forholde sig til. Energiforbruget er en løbende omkostning, ikke kun økonomisk men også klimamæssigt. Da klimabelastningen fra energiforbrug til drift er afhængig af, hvilke energikilder vi har i Danmark, er det vigtigt at se på, hvordan den fremtidige danske energisammensætning vil påvirke klimaet. Dette er især vigtigt når der arbejdes med renoveringsprojekter, som ikke skal overholde de nuværende energikrav i bygningsreglementet for nybyggeri og derfor kan have et højere energiforbrug.

I juni 2023 udkom en rapport over de forventet emissionsfaktorer for el, fjernvarme og ledningsgas fra 2025-2075. Rapportens resultater vil udgøre de fremtidige emissionsfaktorer for el, fjernvarme, og ledningsgas der anvendes til at beregne klimapåvirkningen fra driftsenergi, når der udarbejdes en LCA til bygningsreglementet fra 2025.

I det følgende afsnit vil resultaterne fra de tidligere anvendte fremskrivnings-emissionsfaktorer fra rapporten "opdaterede emissionsfaktorer for el og fjernvarme, 2020-2024" [39], blive sammenlignet med de nye fremskrivnings-emissionsfaktorer fra rapporten "Emissionsfaktorer – el, fjernvarme, og ledningsgas – 2025-2075" [81].

1.5.2 Gennemgang af energityper og emissionsfaktorer

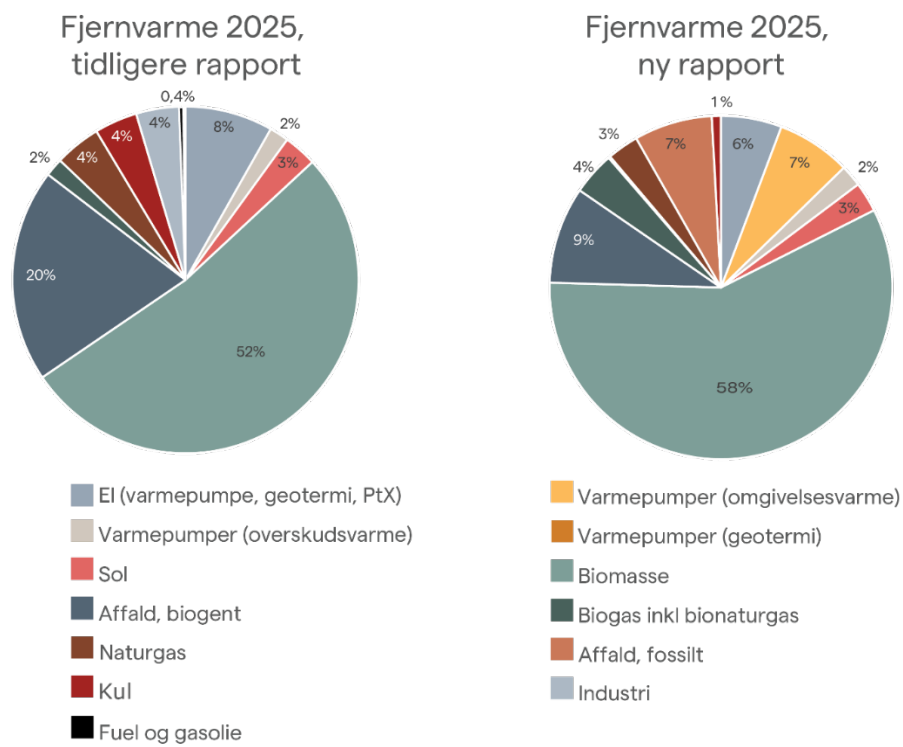
Sammensætning af energimix

De to rapporter angiver en vurdering af, hvad de fremtidige emissionsfaktorer vil være for henholdsvis el, fjernvarme og (for 2025 rapporten) også ledningsgas. Beregningerne beror på antagelserne om det fremtidige energimix' udvikling. Grundlaget for beregningerne af emissionsfaktorerne i rapporten "opdaterede emissionsfaktorer for el og fjernvarme, 2020-2024" [39], er baseret på rapporten "Danmarks Energifremskrivning 2018" udgivet af Energistyrelsen [103]. Den nye rapport for de forventet emissionsfaktorer fra 2025-2075 er baseret på forudsætningerne i rapporten "Analyseforudsætning til Energinet 2022", ligeledes udgivet af Energistyrelsen [104].

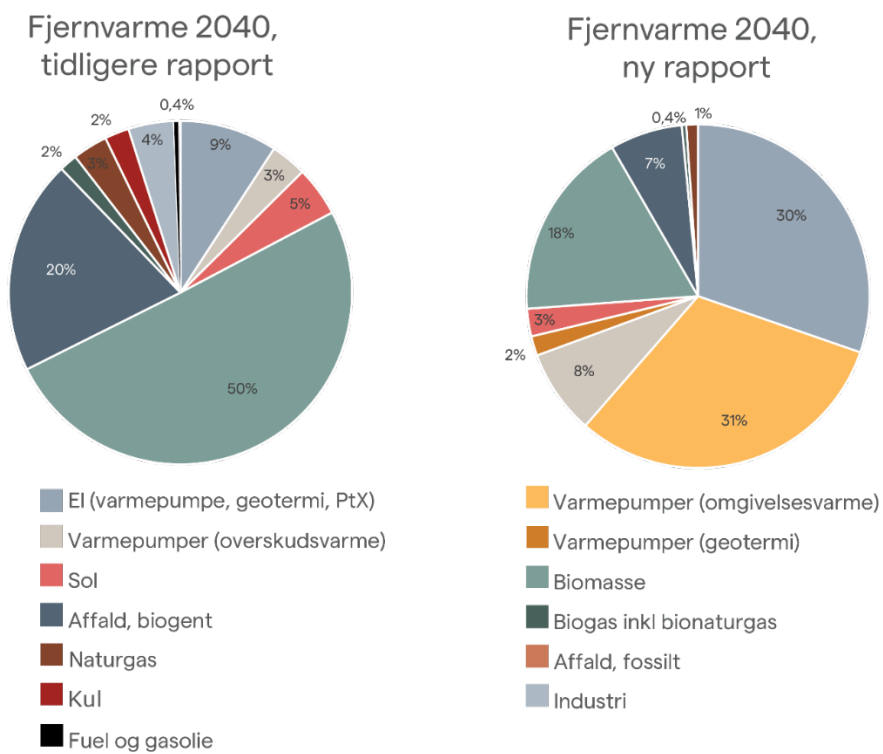
En af forskellene på disse to grundlag er at "Analyseforudsætning til Energinet (2022)" [104] tager højde for fremtidig teknologi, som udbygning af Power to X (PtX) og vedvarende energi, der begge skal udgøre en eksportmulighed for Danmark. I det nye datagrundlag inkluderes desuden både import og eksport af el til omkringliggende lande.

I begge rapporter antages det er det træ, der indgår i biomasse, f.eks. træflis, træpiller, og træ affald, enten kommer fra bæredygtigt skovbrug eller er et affaldsprodukt. Derfor regnes udledning af det biogene karbon her som 0 kg CO₂ækv. For disse produkter er det dermed produktion, forarbejdning og transporten der udgør klimaaftrykket.

Forskellene mellem energisammensætningen i de to forskellige datagrundlag kan ses ud fra cirkeldiagrammerne Figur 12-Figur 15. Det ses her at fjernvarme sammensætningen i 2025 jf. rapporten fra 2020 og rapporten fra 2023 begge viser, at den største andel kommer fra biomasse og dernæst fra biogent affald. Men når fjernvarmesammensætningen i 2040 sammenlignes i de to rapporter, ses en betydelig reduktion i andelen af biomasse og en betydelig forøgelse af el (varmepumper, PtX, geotermi) og varmepumper (omgivelsesvarme) i den nye rapport. Fjernvarmesammensætningen i den tidligere rapport ændres kun i mindre grad fra 2025 til 2040. Der er altså tale om en markant udfasning af biomasse som energikilde og modsat en markant forøgelse af PtX, varmepumper og geotermisk energi i fjernvarmenettet.

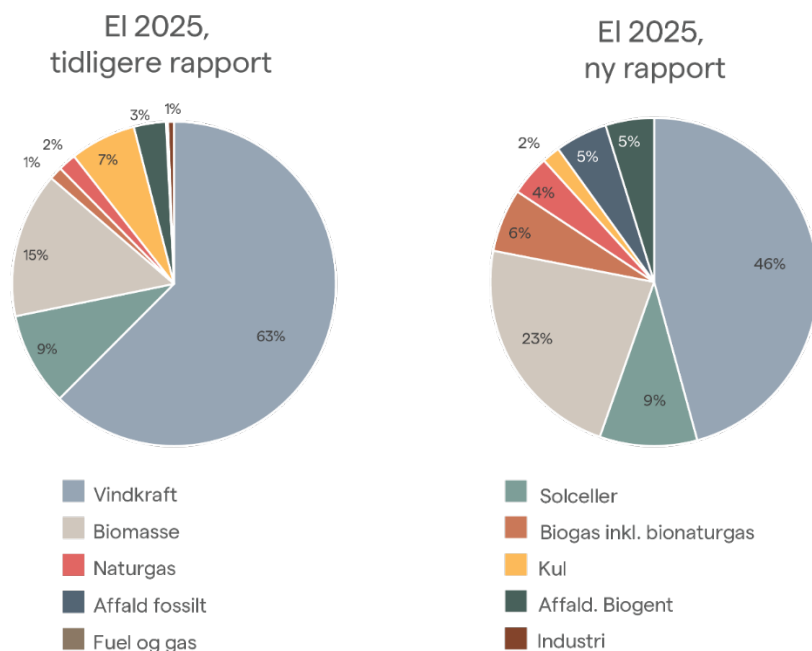


Figur 12 Fjernvarmesammensætning i 2025, jf. tidligere og ny rapport

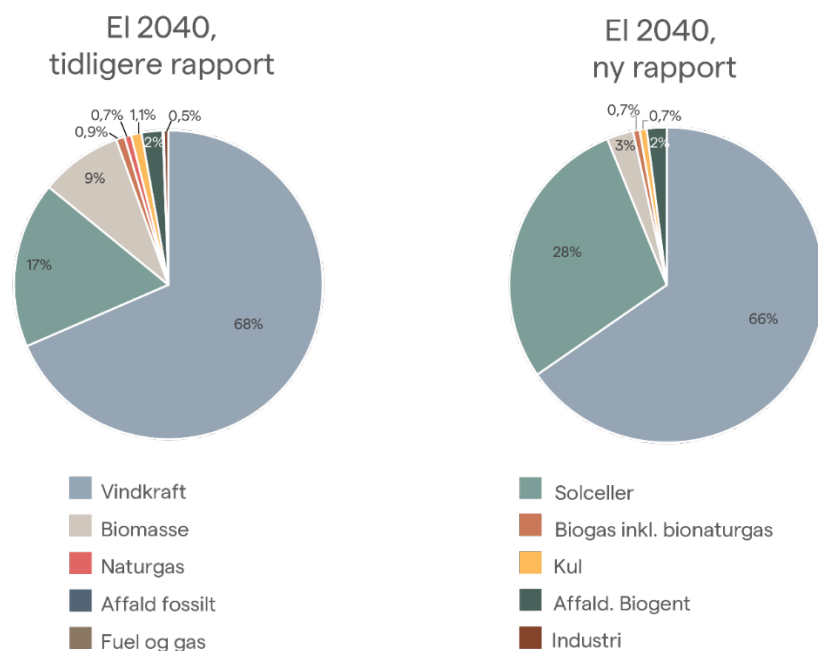


Figur 13 Fjernvarmesammensætning i 2040, jf. tidligere og ny rapport

I forskellene i energisammensætningen for el i 2025 ses det, at beregningerne i den tidligere rapport har en større andel af vindkraft inkluderet sammenlignet med energimixet i den nyere rapport (se Figur 14 og Figur 15 nedenfor). I 2040 forøges andelen af vindkraft jf. begge rapporter, hvor det særligt i den nye rapport er andelen af biomasse der reduceres væsentligt. Også energi fra solcelleanlæg vil få en større andel i energimixet i 2040 for el ifølge begge rapporter. I energimixet i 2025 jf. den tidligere rapport udgør kul 7% af det samlede energimix. I den nye rapport udgør kul kun 1,8% af energimixet i 2025. Dette er væsentligt at bemærke, da kul har en relativ stor klimapåvirkning.

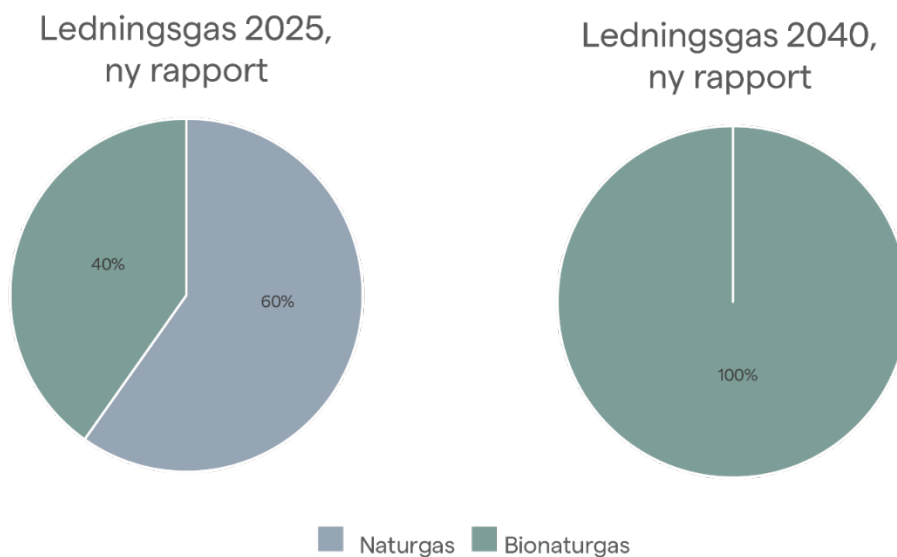


Figur 14 El sammensætning i 2025, jf. tidligere og ny rapport



Figur 15 EI sammensætning i 2040, jf. tidligere og ny rapport

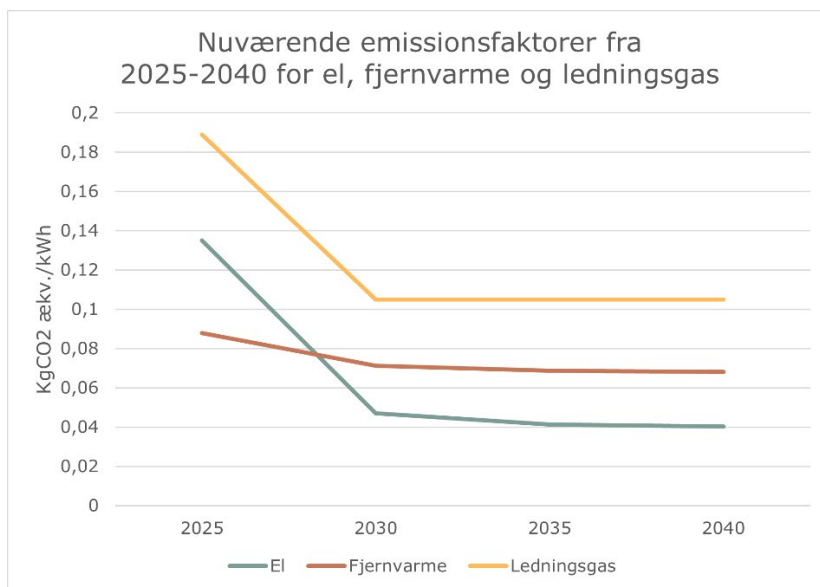
Energisammensætningen for ledningsgas er kun opgjort i den nye rapport og kan ses på Figur 16 fra henholdsvis 2025 og 2040. Figurerne viser at det forventes at andelen af naturgas udfases helt og ledningsgas derfor kun vil bestå af bionaturgas fremadrettet.



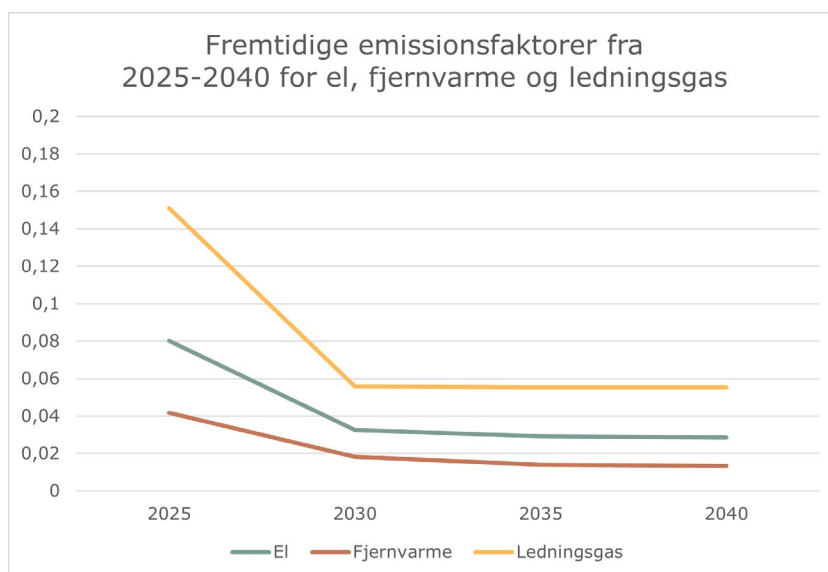
Figur 16 Ledningsgas-sammensætning i 2025 og 2040 jf. ny rapport

Emissionsfaktorer

Emissionsfaktorerne beregnet i de to rapporter angiver den fremtidige klimapåvirkning for 1 kWh af henholdsvis fjernvarme, el og ledningsgas i 2025, 2030, 2035 og 2040. Disse værdier kan ses på nedenstående Figur 17 og Figur 18. Begge grafer viser et fald i klimapåvirkning for de tre energiformer hen over årene, hvor der især er angivet en markant reduktion fra 2025 til 2030. Denne reduktion skyldes bl.a. regeringens målsætning om en 70% klimareduktion i 2030 i forhold til niveauet i 1990, som derfor medvirker til tiltag for at reducerer klimapåvirkningen. Efter 2030 stagner reduktionen for ledningsgas, og reduktionen af klimaaftrykket for el og fjernvarme reduceres væsentligt mindre jf. begge rapporter.



Figur 17 Emissionsfaktorer for el, fjernvarme, og ledningsgas fra 2025-2040 jf. tidligere rapport



Figur 18 Emissionsfaktorer for el, fjernvarme, og ledningsgas fra 2025-2040 jf. ny rapport

Tabel 3 Procentvis CO₂ reduktion ved at anvende de nye emissionsfaktorer jf. ny rapport, i forhold til emissionsfaktorer jf. tidligere rapport. Den procentvise reduktion er opgjort for hver energikilde i årene 2025, 2030, 2035, 2040, 2045 og 2050-2075

Procentvis CO ₂ reduktion ved nye emissionsfaktorer i forhold til tidligere emissionsfaktorer						
	2025	2030	2035	2040	2045	2050-2075
El	41%	31%	30%	29%	35%	38%
Fjernvarme	52%	75%	80%	80%	81%	81%
Ledningsgas	20%	47%	47%	47%	47%	47%

Figur 17 viser, at de nuværende emissionsfaktorer, der anvendes for fjernvarme i 2025, har et lavere klimaaftryk i forhold til el, men i årene mellem 2025 til 2030 vil klimaaftrykket for el være lavere end fjernvarme. De kommende faktorer i Figur 18 viser derimod, at fjernvarme fortsat vil have et lavere klimaaftryk hen over årene sammenlignet med el, når der anvendes de nye emissionsfaktorer.

Generelt ses det, at emissionsfaktorerne beregnet i den nye rapport viser et lavere klimaaftryk, sammenlignet med emissionsfaktorerne fra den tidligere rapport, og med særligt markante reduktioner for fjernvarme. Det betyder at for en LCA, hvor både driftsenergien og materialerne til bygningen indgår, vil det samlede klimaaftryk blive lavere, hvis de nye emissionsfaktorer anvendes, sammenlignet med en LCA med de tidligere emissionsfaktorer. For et gennemsnitlig nybyg projekt i 2020, hvor der anvendes emissionsfaktorer fra den tidligere rapport, udgjorde henholdsvis driften 26% og materialerne 74% af det samlede klimaaftryk af en bygning (Tozan, Jørgensen, & Birgisdottir, 2021 [40]). Ved at anvende de nye emissionsfaktorer vil denne fordeling ændre sig, så materialerne vil få en endnu større andel af det samlede klimaaftryk. I henhold til den aktuelle rapport om grænseværdier for nybyggeri udgør driften nu gennemsnitligt over en række byggerier 9% og materialerne 91% [9]. Denne fordeling mellem drift og materialer er baseret på de nye emissionsfaktorer. Imidlertid er materialeproduktionen også underlagt en teknologisk udvikling og det forventes at klimaaftrykket vil falde over tid. Omvendt har overgangen fra den gamle (EN15804:2012+A1:2013) til den nye produktstandard (EN15804:2012+A2:2019) ført til en mindre opjustering af klimapåvirkninger, afhængigt af produkt. Generelt står det dog klart, at klimapåvirkningen for energiforsyning i Danmark undergår en væsentlig større reduktion end materialeproduktionen.

I rapporten Klimapåvirkning fra renovering [18] udgør klimapåvirkningen ud fra en medianbetragtning af 18 renoveringscases henholdsvis 65% for driften og 35% for materialer. Da opgørelsen er baseret på relativ få cases med potentielt store variationer i renoveringsomfang, er det usikkert om denne fordeling vil være tilsvarende for de fleste renoveringer, men opgørelsen viser en tendens til at driften udgør en større andel end materialerne i en LCA for renoveringsprojekter, særligt hvor der anvendes de nuværende emissionsfaktorer fra 2020.

Hvis de samme 18 cases regnes med nye emissionsfaktorer ændres fordeling mellem drift og materialer betydeligt til 30% for drift og 70% for materialer. Her ændres udledning for drift fra 4,8 kg CO₂/m²/år til 1,2 kg CO₂/m²/år, såfremt der regnes med ibrugtagning i 2025 og en betragtningsperiode på 50 år.

Biogen biomasse regnet CO₂ neutralt eller ej

Som nævnt tidligere regnes biomassen i [39] og [11] som klimaneutral – det vil sige 0 kg CO₂ i udledning ved forbrænding, idet det forudsættes at biomassen enten har oprindelse i bæredygtig skovdrift, er et restprodukt af anden primært produktion eller i øvrigt overholder kriterierne fastlagt i [43] punkt 6.3.4.2 vedr. Art 3.4 i Kyoto protokollen. Samme forudsætninger gælder for den del af det biogene kulstof der er lagret i affald.

Denne metode til indregning af biogent kulstof i energiforsyningen er imidlertid genstand for stor debat. Det skyldes at regnemethoden ikke tager højde for de faktiske udledninger der sker til atmosfæren når biomassen afbrændes. Dermed kan den faktiske klimapåvirkning fra f.eks. forbrug af fjernvarme og el i et byggeri være højere end det der regnes med de gængse regnemetoder.

Hvis ikke der opretholdes et skovbrug, hvor nye træer bliver plantet efter hugst, vil der ikke opretholdes en karbon balance i optag og udled fra træerne. Det betyder, at ved afbrænding af træproduktet, vil den store mængde indlejrede CO₂, der er optaget i træet, blive udledt igen, uden at et nyt træ kan optage denne mængde CO₂. I dette tilfælde vil biomassen ikke kunne regnes med en CO₂ neutral udledning.

Indregning af emissioner fra biogene energikilder

Med udgangspunkt i [43] er der foretaget justering i forudsætningerne således at de biogene energikilders emissioner ved afbrænding nu indregnes med deres udledning – uanset om biomassen kommer fra bæredygtig skovdrift eller fra affaldsprodukter. Forudsætningerne for afbrænding svarer til den afbrænding den enkelte energikilde undergår – det vil sige afbrænding af halm i halmkedel, afbrænding af træflis i biomasse kedel og afbrænding af affald på affaldsforbrændingsanlæg osv.

Ud over at indregne emissioner fra halm og træ indregnes også emissioner fra afbrænding af biogent affald.

Herunder ses tabel med emissioner pr. produceret kWh fordelt på de forskellige brændselstyper. Værdierne for udledning fra energiproduktion ≠ 0 er et udtryk for "worst case", det vil sige hvor al biomasse regnes med sin fulde emission uanset oprindelse. Værdierne er beregnet af Artelia A/S som led i det Realdania-støttede projekt "Veje til biobaseret byggeri".

Nettoudledninger fra biogene ressourcer omfatter; procesudledninger, biogene udledninger fra energiproduktionen, udledninger fra indirekte effekter (LULUCF). De samme antagelser er anvendt, som beskrevet i [43], hvor procesudledninger er inkluderet.

Brændsel	Procesudledninger Fjernvarme kg CO ₂ /kWh	Procesudledninger El kg CO ₂ /kWh	Biogene udledninger fra energiproduktion kg CO ₂ /kWh	
			<i>Biogent carbon = 0</i>	<i>Biogent carbon ≠ 0</i>
Halm	0,004	0,005	0	0,306
Træpiller	0,099	0,100	0	0,403
Træflis	0,012	0,013	0	0,403

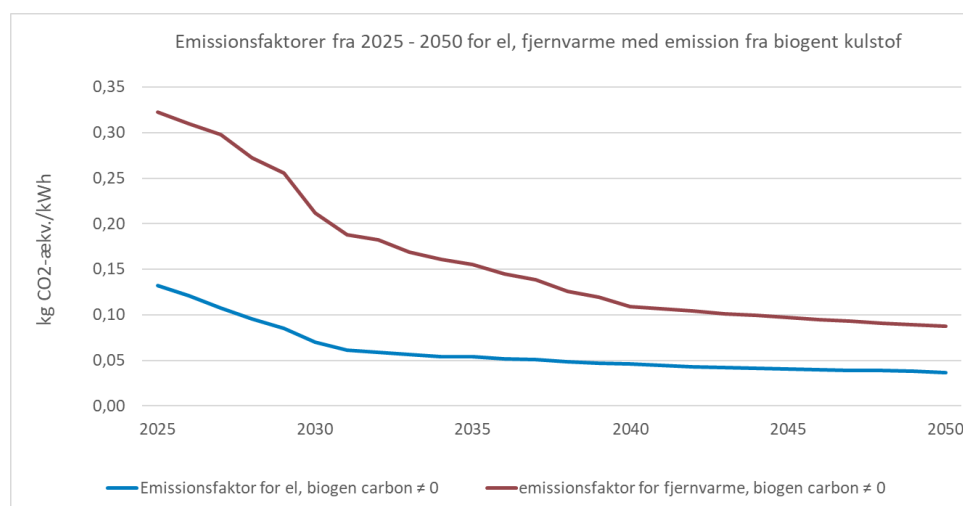
Brændsel	Procesudledninger Fjernvarme kg CO ₂ /kWh	Procesudledninger El kg CO ₂ /kWh	Biogene udledninger fra energiproduktion kg CO ₂ /kWh
Træ- og biomasseaffald	0,012	0,013	0
Biolie	0,03	-	0
Biogas	0,118	0,106	0
Bionaturgas	0,066	0,062	0
Affald, bionedbrydeligt og ikke-bionedbrydeligt	0,037	0,019	0

Ud over ovenstående er følgende antagelser vedr. biogene udledninger fra energiproduktionen blevet tilføjet:

- Standardfaktorer for CO₂-emissionsfaktorer fra Energistyrelsen er anvendt til at inkludere direkte emissioner ved afbrænding.
- Import-emissionsfaktoren er tilrettet, således disse antagelser også er implementeret for importeret el.

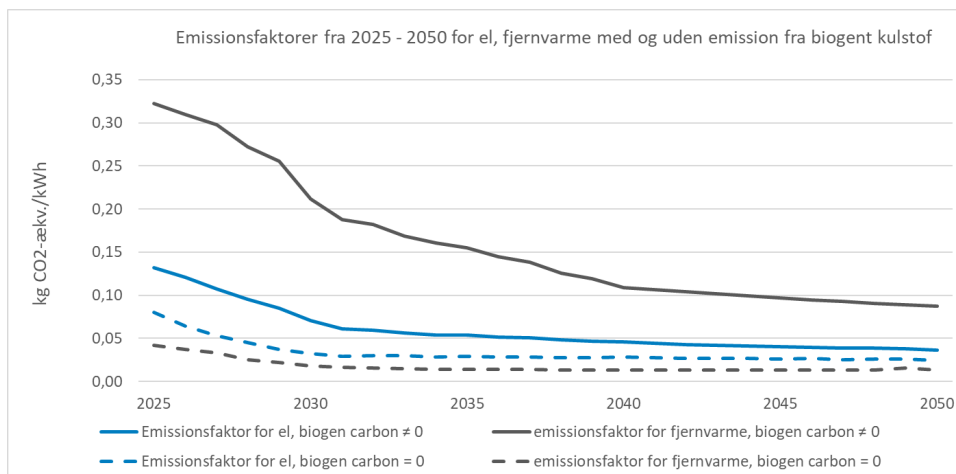
*Direkte emissioner fra affald, ikke-bionedbrydeligt omfatter fossil carbon.

Med ovenstående forudsætninger opnås følgende emissionsfaktorer for hhv. el og fjernvarme



Figur 19 Emissionsfaktorer 2025 - 2050 inkl. emissioner fra biogent kulstof

Sammenholdes ovenstående med emissionsfaktorer hvor biogent kulstof regnes neutralt (0), fås nedenstående figur.



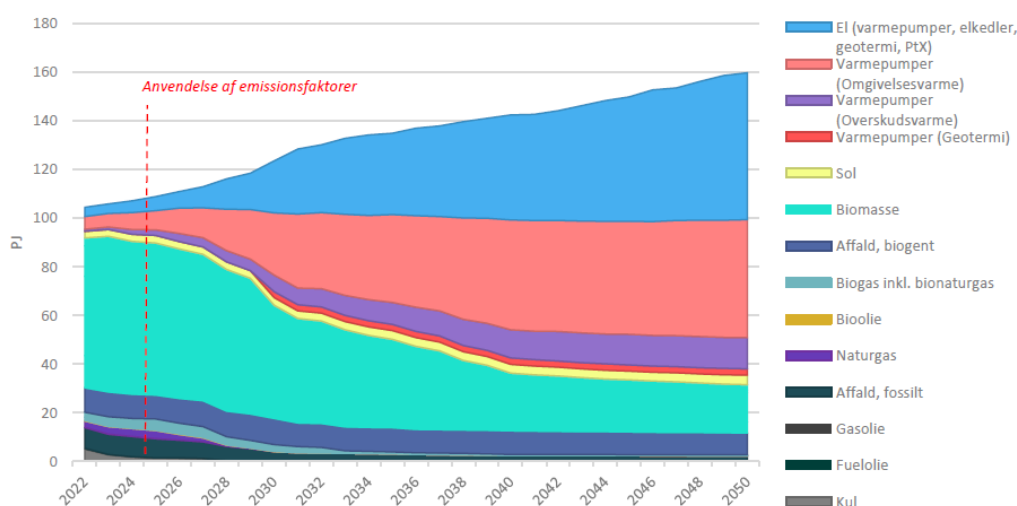
Figur 20 Emissionsfaktorer 2025 - 2050 med og uden emission fra biogent kulstof

Betydning af emissionsfaktorer i renoveringsprojekter

Når ovenstående fremskrivning benyttes til at vurdere klimapåvirkningen fra drift på et renoveringsprojekt, skal påvirkningen vurderes over en 50-årig betragtningsperiode. Da fremskrivningsmodellerne ikke indeholder data ud over 2050, regnes der med samme påvirkning pr kWh fra 2050 til 2075.

Over hele betragtningsperioden (2025 – 2075) opnås der en gennemsnitlig påvirkning pr kWh som følger:

Som det fremgår af Figur 21 sker der en væsentlig forøgelse i fjernvarmens emissionsfaktor, når der indregnes udledning fra biogent karbon. Det skyldes, at træ og biomasse særligt i første del af perioden antager en stor andel af fjernvarmeproduktionen. Andelen af træ og biomasse i energiproduktion fremgår af Figur 22.



Figur 21 Forventet territoriale fjernvarmeproduktion fordelt på energikilder ekskl. tagsolceller samt overskuds-el fra industri (Kilde: Energistyrelsen)

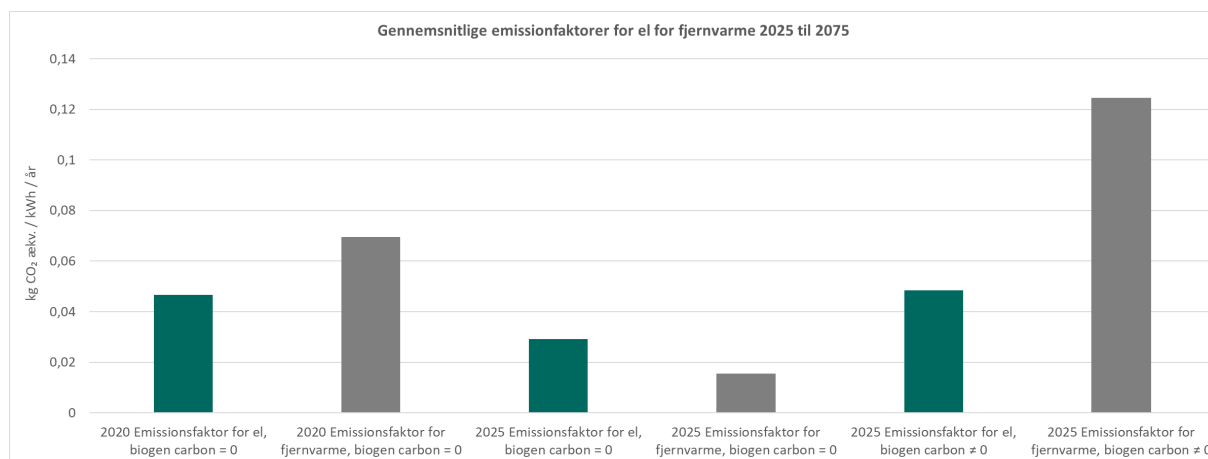
Når der indregnes emissioner fra biogent kulstof, må der således, for renoveringer beliggende i fjernvarme-forsynede områder, forventes en markant stigning i driftens (Modul B6) påvirkning. Denne stigning kan illustreres ud fra samme eksempel som tidligere ud fra medianværdier for drift og materialer for 18 renoveringscases. (Lund, 2022). Med indregning af emissioner fra biogent kulstof opnås en fordeling med 76% af påvirkningerne til drift og 24% til materialer og en faktisk påvirkning for drift på 8,4 kg CO₂/m²/år.

1.5.3 Opsummering

For renoveringsprojekter, antager energiforbrug til bygningsdrift (modul B6) generelt en større andel af den samlede klimapåvirkning end det der typisk ses for nybyggeri. Det fremgår tydeligt ved sammenholdning af data fra [18] for renovering med data fra [40] på nybyggeri. Fordelingen for renovering som median over 18 projekter er 65% til drift og 35% til materialer (2,59 kg CO₂e / m² /år for materialer og 4,81 kg CO₂eq/m²/år h for drift), hvor den for nybyggeri over 60 cases er 26% for drift og 74% for materialer (7,0 kg CO₂e / m² /år for materialer og 2,6 kg CO₂e / m² /år for drift). Disse fordelinger har begge de nuværende emissionsfaktorer fra [39] som forudsætning. I ovenstående afsnit er det udfoldet, hvilken betydning det har for klimapåvirkningen fra drift for hhv. nybyg og renovering, om man ændrer forudsætninger fra emissionsfaktorer fra 2020 til:

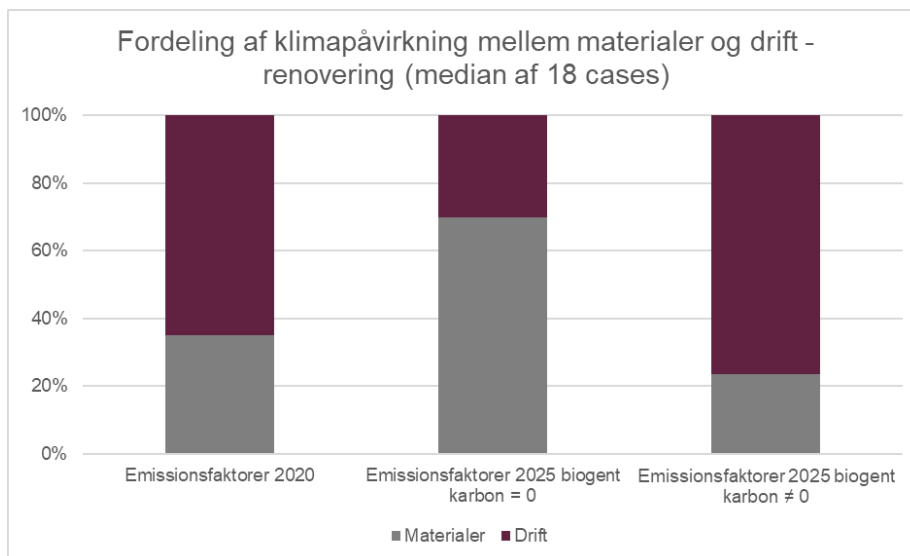
- de kommende faktorer der skal anvendes for nybyggeri fra 1. jan 2025
- samme som ovenstående (2025) men med indregning af udledning af biogent karbon ved afbrænding af træ/biomasse.

De tre varianter for emissionsfaktorer der dannes, kan sammenholdes ved at se på den gennemsnitlige emissionsfaktor for hver variant pr. kWh pr. år over en 50-årig periode fra 2025 til 2075



Figur 22 Gennemsnitlige emissionsfaktorer over 50 år (2025 – 2075) for 3 varianter hhv. emissionsfaktorer 2020, 2025 og 2025 med udledning af biogent karbon

Knyttet de tre varianter af emissionsfaktorer til medianværdier for klimapåvirkning for drift for de 18 renoveringscases medfører det følgende ændringer i forholdet mellem påvirkning fra drift og materialer.



Figur 23 Medianværdi for fordeling mellem materialer og drift sammen holdt med 3 varianter for emissionsfaktorer

Emissionsfaktorer for 2020 svarer til de der for nuværende anvendes i bygningsreglement, DGNB og svanemærkesammenhæng. Med disse fremstår driften efter renovering som værende den tungest vejende for renoveringens klimapåvirkning. Det billede ændrer sig markant med emissionsfaktorerne der anvendes fra 2025. Med disse antager byggematerialerne mere end 2/3-dele af den samlede påvirkning. Det bemærkes at driften her alene baserer sig på energirammeberegning uden evt. performance-gap tillagt / fratrukket. Medregnes emissioner for den biogene karbon i forbindelse med produktion af strøm og varme, er billedet omvendt, med en drift-påvirkning der nu ca. 75% af renoveringens samlede påvirkninger. Det er altså markante forskelle på, hvor det største optimeringspotentiale findes, afhængig af hvilke emissionsfaktorer der anvendes.

Det bemærkes i øvrigt at scenarie med udledning af biogent karbon er udtryk for et "ekstrem-tilfælde", hvor al biomassens lagrede kulstof regnes udledt uanset oprindelse og hvor emissioner fra drift der udledes om 50 år har samme vægtning som de emissioner der udledes 1. år af bygningens drift.

2 Eksisterende viden om LCA ved renoveringer

2.1 *Introduktion til delrapport*

Rapporten har til formål at gøre den relevante eksisterende viden om LCA for renoveringer tilgængelig på en systematisk måde. Den eksisterende viden forstås her som en kortlægning af status quo, men også udviklingstendenser, da området undergår en meget dynamisk udvikling i øjeblikket. Kortlægningen er inddelt i to overordnede emneområder:

Afsnit 2.2 præsenterer den eksisterende og planlagte regulering samt den bagvedliggende metodeudvikling, som er baseret på relevant litteratur indenfor bygningers klimapåvirkning. Gennemgangen belyser regelværk og studier, der har mest betydning for Danmark. Det indebærer den gældende regulering, forslag og diskussionen i Danmark, men også status og udviklingen af de europæiske rammer. Denne sidstnævnte vinkel bliver udvidet ved at samle erfaringer fra de mest relevante europæiske lande for at lære fra andres erfaringer og indplacere Danmarks position i denne udviklingsproces. Her ser vi først og fremmest på vores nordiske naboer, da der i øjeblikket foregår en lignende proces og et samarbejde på myndighedsniveau for at harmonisere den videre udvikling af bygningers klimaregulering under det Nordiske Ministerråd (projekt). Derudover er Frankrig og Nederlandene relevante som pionerer indenfor grænseværdier for bygningers miljøpåvirkning. Gennemgangen starter med nybyggeri, hvor den primære metodeudvikling og erfaringsopsamling finder sted først.

Afsnit 2.3 præsenterer eksempler på udvalgte studier om bygningers klimapåvirkning i nybyggeri og renovering og hvad vi kan lære af dem. Især i Danmark er der i den seneste tid blevet gennemført en række analyser af renoveringers klimapåvirkning.

Afsnit 2.4 opsummerer resultatet og konklusioner fra analysen i afsnit 2 og 3.

Afsnit 2.5 gengiver indholdet og relevansen af den anvendte litteratur i analyserne.

2.2 *LCA af bygninger – regler og metoder*

2.2.1 *Introduktion*

Afsnittet om LCA ved nybyggeri giver et overblik over, hvor vi står med bygningers klimapåvirkning, hvilke problemstillinger der er, og hvilken udviklingen der kan forventes. Da udviklingen af LCA på byggeområdet primært er drevet af nybyggeri først, giver det et vigtigt pejlemærke for eksisterende bygninger og renoveringer.

2.2.2 *Nybyggeri*

2.2.2.1 *EU*

Efter flere års innovation i pilotprojekter, forskning og certificeringsordninger, er udviklingen af metode og dermed også praksis i dag primært drevet af lovregulering. Efter et årti med tilgængelige harmoniserede tekniske standarder for LCA på bygningsniveau EN 15978 [1] og byggevareniveau 15804 [2] er byggeriets klimapåvirkning nu kommet på den politiske dagsorden for at være en del af løsningen for at nå målene i Parisaftalen [3]. Det betyder ikke, at fremdriften i standardiseringsarbejdet nu er blevet overflødigt og den endegyldige status er nået. Eksempelvis har bygningsstandardEN 15978 været under revision i et stykke tid. Samtidig bevæger byggevarereforordningen og Ecodesign direktivet sig hen imod indfasningen af obligatoriske krav om miljødeklaration af alle produkter til at erstatte de frivillige miljøvaredeklarationer (EPD). Tidsperspektivet er dog på flere år, måske årtier. Men selvom det tekniske standardiseringsarbejde pågår, er der blevet opnået et niveau af harmonisering og dækning af løsninger til beregningsregler og metode, hvor området er modent nok til at begynde med lovregulering.

Her har det europæiske perspektiv den største autoritet, da Bygningsdirektivet vil blive indarbejdet som national lovgivning. Revision af Bygningsdirektivet [4] er blevet vedtaget i EU og skal nu implementeres i medlemslandene. Generelt udvider direktivet fokus fra energieffektivitet til en livscyklustilgang. Nye bygninger skal være nulemissionsbygninger fra 2028 (offentlige ejere) henholdsvis 2030 (private). Derudover skal der udføres klimaberegninger for bygninger med større brugsareal end 1.000 m² fra januar 2028 og for alle bygninger fra januar 2030 uanset størrelse. Alle livscyklusmoduler fra EN 15978 skal medtages og resultatet bliver en del af energimærket. Landene skal introducere nationale grænseværdier gældende fra 2030 og fremlægge en plan senest i 2027 for en trinvis stramning af grænserne frem mod klimaneutralitet. Her er det også slået fast, at grænseværdierne skal være differentieret efter klimazoner og bygnings-typer.

Taxonomiforordningen [5] opstiller krav om klassifikation af finansielt bæredygtige aktiver, herunder bygninger. Byggerier, der ønskes klassificeret som et finansielt bæredygtigt aktiv, skal deklarere ydeevne indenfor seks miljømål. Forholdet mellem miljømålene er, at projektet skal yde et "væsentligt bidrag" indenfor et miljømål, men uden at gøre "væsentlig skade" på de fem øvrige miljømål. LCA indgår både i miljømål 1 (Modvirkning mod klimændringer) og miljømål 4 (omstilling til cirkulær økonomi). Det betyder, at når der vælges et af disse mål som væsentligt, skal der udføres en LCA. Krav om LCA gælder kun for nybyggeri fra 5.000 m² og kan i dansk kontekst overholdes ved at efterleve klimakravene i bygningsreglementet. For renoveringer er det tilsvarende muligt at dokumentere væsentligt bidrag til enten miljømål 1 eller 4, men krav til livscyklusvurdering udløses alene ved miljømål 4. Som vejledning henviser taksonomien enten til Level(s) eller i givet fald nationale retningslinjer og metoder. Level(s) vejledning til livscyklusvurdering er kun sparsomt tilpasset renovering, og derfor savnes også her retningslinjer, der kan følges og som vil kunne bidrage til ensretning og fælles tiltag til vurderingerne.

Selvom CO₂e-grænseværdier og dokumentationskrav har gjort LCA for nye bygninger obligatoriske forventes certificeringsordninger som DGNB, Svanemærket, LEED og BREEAM fortsat at stille mere ambitiøse krav om kvalitet og miljøforhold, som markedets frontløbere kan udmærkes med.

2.2.2.2 Danmark

I Danmark blev der indført klimakrav til nybyggeri i bygningsreglementet med virkning fra 1. januar 2023 [6]. De nye krav og tidsplanen for stramning af grænseværdier blev besluttet i den politiske strategi for bæredygtigt byggeri [7]. Klimapartnerskabets anbefalinger til regeringen [8] er også indgået i overvejelserne, herunder niveauet af grænseværdien. Kravene og grænseværdien er besluttet ud fra niveauet af modenhed og erfaringsgrundlag, som var til stede i Danmark i starten af 2022. Det gælder primært de inkluderede livscyklusfaser (A1-3, B4, B6, C3-4, D), som man allerede har afprøvet og samlet data ind i regi af DGNB og LCAByg-værktøjet over de seneste år. I kravene i BR18 indgår den første generation af en systematiseret beskrivelse af inkluderede bygningsdele (BR18, bilag 2, tabel 6), et kvalitetssikret generisk datagrundlag for byggevarer (BR18, bilag 2, tabel 7) samt opdaterede emissionsfaktorer for energiforsyning (BR18, bilag 2, tabel 8).

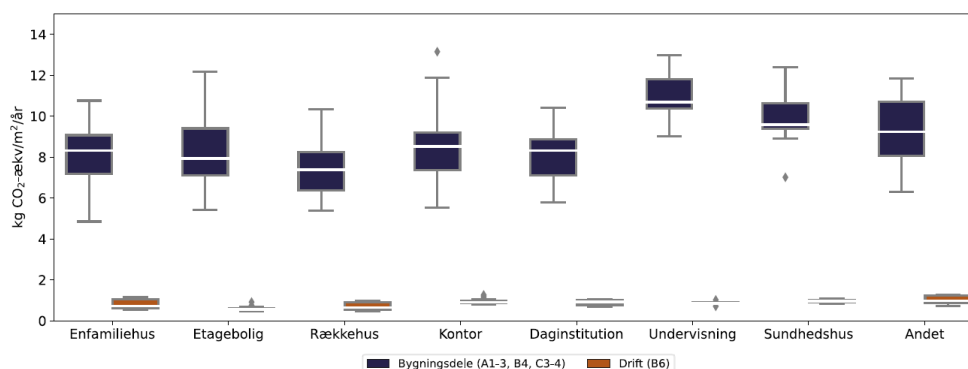
Klimakravene gælder kun for opvarmede eller delvist opvarmede bygninger omfattet af energikravene. En række bygninger som Jordbrugserhvervets avls- og driftsbygninger og ikke opvarmede bygninger til produktion og lagring er undtaget i dag jf. BR18, §4-6.

2.2.3 Reference til begrænsning af klimapåvirkning

Når LCA-metoden skal understøtte konkrete beslutninger eller i lovregulering, er det nødvendigt at fastlægge et absolut mål for klimapåvirkningen eksempelvis grænseværdi, der skal opfyldes eller et relativt mål, hvor der skal sammenlignes med en reference. Siden 1. januar 2023 er målestokken for nybyggeri

ifølge bygningsreglementet en grænseværdi på 12,0 kgCO₂e/m²år, som gælder for større bygninger over 1.000 m² opvarmet areal. Niveaulet er fastlagt ud fra målsætningen om, at 90 % af nybyggeriet skal kunne overholde den uden ændring i projektet. Værdien er bevidst valgt højt for at give byggebranchen tid til tilpasning og omstilling, før grænsen bliver strammet tre gange hvert andet år frem mod 2029. Grænseværdien gælder i øjeblikket for alle bygningsanvendelser. En differentiering af forskellige typer bygninger finder dog sted i form af særlige bygningsforhold. Når en bygningsdel har en uforholdsmæssigt høj klimapåvirkning, som ikke kan undgås grundet bygningens funktion eller placering jf. reglementets vurderingskriterier, kan der i stedet anvendes et typisk niveau for påvirkning (BR18, bilag 2, tabel 9). Tilgangen med én grænseværdi med mulighed for undtagelser kan forklares ved det tidlige tidspunkt af kravenes implementering som første land i Norden og det svage datagrundlag, der var tilgængelig på daværende tidspunkt.

Nogle væsentlige ændringer i klimakrav i 2025, herunder grænseværdi, hvilke bygninger der skal omfattes eller udvidelse af livscyklusmoduler er i øjeblikket under politisk forhandling. Under alle omstændigheder vil den kommende grænseværdi være baseret på et væsentligt større grundlag af analyserede bygninger [9] og med mere aktuelle og specifikke miljødata for materialer [10] og opdaterede emissionsfaktorer for energiforsyning [11]. Det betyder samtidig, at grænseværdier for 2025 ikke kan sammenlignes direkte med tallene fra 2023 på grund af nyere byggeprojekter, miljødata og modelafgrænsning, som påvirker beregningen. Derudover er der nu bedre grundlag for en differentiering efter bygningens anvendelse, se Figur 24.



Figur 24 Klimapåvirkning fra bygningsdele (A1-3, B4, C3-4) og drift (B6) i kgCO₂e/m²år over en betragtningsperiode på 50 år opgjort efter bygningsanvendelse. Kilde: [9]

En generel problemstilling ligger i koblingen af de markant forskellige processer i løbet af bygningers livscyklus til ét mål for klima- eller miljøpåvirkning. Energi-forhold i både nybyggeri og eksisterende bygninger er og skal fortsat være reguleret i EU Bygningsdirektivet. Ved introduktionen af LCA er spørgsmålet derfor, hvordan den nuværende høje standard for energieffektivitet kan udvides, så der opnås yderligere reduktioner i klimapåvirkning over bygningens livscyklus. Svenske Boverket anbefaler at udelade driftsenergi fra klimaberegninger med den begrundelse, at der allerede er gældende regler for renoveringer, ligesom det også er tilfældet i Danmark. Denne betragtning udspringer dog af en tilgang til LCA, hvor upfront kulstof i produktion af materialer er dominerende, som også er tilfældet i de gældende regler for klimadeklaration. Svagheden i denne tilgang er, at den ikke udnytter potentialet, der ligger i en afvejning af materialeindsats med energibehovet. Dette er tilfælde for materialer med energimæssig funktion som isolering, installationer til varme og ventilation samt energiproducerende anlæg som varmepumper, solceller og jordvarme. FutureBuilt i Norge prøver at forene det traditionelle energifokus med livscyklusvurderingens fleksibilitet ved at have en grænseværdi for hele livscyklus og én kun for energieffektivitet.

2.2.4 Eksisterende byggeri

2.2.4.1 EU

Det opdaterede bygningsdirektiv [4] indeholder også nye krav til den eksisterende bygningsmasse, som dog udelukkende er relateret til energieffektiviteten. Direktivet refererer til energieffektiviteten-først-princippet, som bevarer fokus på reduktion af energibehov og mere effektivt brug af energi, mens perspektivet udvides parallelt til at omfatte en livscyklustilgang som beskrevet under nybyggeri.

Alle medlemslande skal udvikle en ny national renoveringsplan over årlige renoveringstakter for 2030, 2040 og 2050. Disse skal sikre indfasning af nye minimums energirammer for eksisterende offentligt- og erhvervsbyggeri samt minimums energistandarder for gennemsnittet af boligmassen. Minimumskrav til offentligt- og erhvervsbyggeri indebærer, at de 16 % energimæssigt dårligste bygninger skal være renoveret i 2030 og de 26 % dårligste i 2033. Boligmassens gennemsnitlige primærenergiforbrug skal reduceres med 16 % i 2030 og 20-22 % i 2035. For at sikre fysiske forbedringer i bygninger skal 55 % af reduktionen komme fra renovering af de dårligst performende bygninger. Med disse og andre nye krav pålægger direktivet landene til at renovere mere og dybere, så det bliver endnu mere relevant at optimere renoveringsindsatsen med hensyn til lav klimapåvirkning ud fra et helhedssyn.

Derudover indfaser direktivet en øget installation af bygningsintegrerede solenergianlæg med en række krav til nye og eksisterende bygninger, herunder i forbindelse med renoveringer. Direktivet stiller også krav om indførelse af renoveringspasset, som man eventuelt kunne integrere med energimærket.

Standarden for LCA af bygninger EN 15978 har altid været tænkt til at blive anvendt for både nybyggeri og renoveringer. Standarden nævner specifikt optimeringer af renoveringsvarianter og scenariet nybyggeri versus renovering. Standarden gør forskel mellem forventede eller planlagte renoveringer i modul B5 og renoveringer, hvis behov opstod med tiden. Førstnævnte er nok svært at estimere på forhånd, da behovet for større ændringer først opstår i fremtiden. I omfattende ombygninger og anvendelsesændringer, som man ofte vil kalde for transformationer, anviser standarden, at LCA'en starter med en ny livscyklus.

2.2.4.2 Danmark

For at nedbringe bygningsmassens energibehov forventes der en stigende renoveringsaktivitet i Danmark som følge af den kommende stramning af EU-reguleringen. For at udnytte det fulde klimapotentiale i disse renoveringer bør der indtænkes mekanismer for at nedbringe ikke kun klimapåvirkninger fra driftsenergi, men også fra materialer og øvrige livscyklusmoduler. Der nedrives 0,5 mio. m² bolig- og erhvervsareal med efterfølgende nybyggeri hvert år [12]. Derfor bør udformning af de nye krav til renoveringer, udover de nuværende energikrav, tage hensyn til ikke samtidig at skabe incitamenter til flere nedrivninger, som eksempelvis Boverket påpeger [13]. Det gælder især for den nuværende situation, hvor der ikke findes en regulering til begrænsning af nedrivninger.

I regeringens strategi for bæredygtigt byggeri [7] udtrykkes ønsket om en afklaring af, om og i givet fald hvordan klimaberegninger og klimakrav også kunne anvendes for renoveringer. Forud for dette ønske har der i de seneste år været en række forslag til at definere regler for klimaberegning af renoveringer.

Allerede den første danske branchevejledning om bygnings-LCA for renovering fra 2016 [14], som er baseret på erfaringer fra et tidligere studie [15], forslår en differentiering af tilgangen med hensyn til omfang af beregningen for tre forskellige niveauer. Det mindste niveau medtager kun nye materialer og givetvis energibehov, det mellemste niveau medtager også nedrevne materialer og de højeste niveauer medtager alle for renoveringen relevante moduler. Det højeste niveau indeholder ikke kun de bibeholdte materialers

affaldsbehandling, men også produktionsfasen. Koncepter for afskrivning af miljøpåvirkninger fra etablering af bygningen samt hensyn til restlevetider af eksisterende dele var dog ikke udviklet på dette tidspunkt.

LCA for renoveringer fik et nyt skub med lanceringen af den frivillige bæredygtighedsklasse (FBK) [16] under den nuværende Social- og Boligstyrelse, som var tænkt som en frivillig prøveordning til udvikling og evaluering af kommende krav i bygningsreglementet. Vejledningen gav også mulighed for at teste renoveringsprojekter. Metoden medtog alle nye materialer, bibeholdt materialers udskiftninger afhængig af restlevetiden samt affaldsbehandling ved nedrivning. Derudover medtages nye materialers fulde livscyklus og bygningens energibehov efter renovering. FBK-metoden bliver også anvendt i DGNB-ordningen og udgør den nuværende praksis i Danmark for klimaberegninger af større renoveringer.

I et næste step har Social- og Boligstyrelse bedt BUILD om at udvikle muligheder til klimaregulering af renoveringer [17]. Rapporten viser grundlæggende to muligheder: 1) Krav på komponentniveau og 2) krav på bygningsniveau, som indeholder både komponenter og energi.

På basis af disse overvejelser har strateginetværket for bæredygtigt byggeri i 2023 udviklet konkrete anbefalinger til regulering af renoveringer baseret på LCA og forslået en trinvis køreplan til implementering [17]. Der forslås en opdeling mellem små projekter under 1.000 m² og større projekter over, samt en sondring af omfanget af indgreb i simple og dybe renoveringer. Køreplanen (Tabel 4) foreslår at indfase klimadeklarationer først for materialer og i første omgang i omfattende renoveringer på større arealer. Efter en årrække følger mindre bygninger, og der introduceres grænseværdier for omfangsrige indgreb i større bygninger samt, at der tages hensyn til energiforhold.

Tabel 4 Forslag til køreplan for klimakrav af renoveringer. Kilde: Strateginetværks anbefalinger i 2023 [17]

	2025	2027	2029
Renovering under 1.000 m ²	-	CO ₂ e-deklaration af nye materialer og bortskaffelse af nedrevne materialer	Revision
Simpel renovering over 1.000 m ²	CO ₂ e-deklaration af nye materialer og bortskaffelse af nedrevne materialer	CO ₂ e-grænseværdi af nye materialer og bortskaffelse af nedrevne materialer	Revision
Dyb renovering over 1.000 m ²		CO ₂ e-grænseværdi for nye materialer og bortskaffelse af nedrevne materialer + CO ₂ e-grænseværdi af energiforbrug	Revision

Eksisterende materialer, som bibeholdes i bygninger, medtages hverken med deres udskiftninger i restlevetiden eller med hensyn til nedrivninger. Dette er udtryk for, at metoden er rettet mod regulering af planlagte byggearbejder, og ikke påtænkt som fuldstændigt grundlag for en beslutningsanalyse om bevaring eller nedrivning af eksisterende bygninger. Som konsekvens er arbejdsbyrden til klimaberegningen reduceret og fokus ligger på indgrebet. Metoden tager ikke hensyn til bygningsdelenes resterende levetid eller eventuelle indgreb før eller efter det pågældende renoveringstidspunkt.

Den regulative ramme for LCA ved renoveringer er metoden for nybyggeri i EN 15978 med den præcisering, at faktisk gennemførte renoveringer skal betragtes som starten af en ny livscyklus. Udover de åbne spørgsmål med hensyn til afgrænsning, sammenlignelighed, data, scenarier mv., der også er ved nybyggeri, efterlader standarden også spørgsmål specifikt for renoveringer. Dette især hvis metoden skal bruges til at opnå faktiske reduktioner af bygningers klimapåvirkninger udover formelle deklarerationer.

Flere lande har enten allerede indført obligatorisk klimadeklaration af renoveringer eller undersøger muligheden som i Danmark. BUILD 2022:33 [18] og anbefalingerne fra Strateginetværket [17] kommer med bud på en differentieret tilgang til renovering af komponenter og hele bygninger. I udlandet er det særligt Boverkets baggrundsrapport, der påpeger en række diskussionspunkter, som er relevant med hensyn til en balance mellem regulerbarhed og relevans i klimapåvirkninger ved renoveringer og ombygninger.

Operationalitet af regulering vil tage hensyn til, om det er en forudsætning, at ombygningen er underlagt byggetilladelse og myndighedsbehandling. I dag er kun bestemte indgreb som ændring af etageareal eller anvendelse underlagt krav om byggetilladelse. De fleste indgreb er mindre ombygninger, hvor bygherren selv skal sørge for overholdelse af krav om energiforbedringer samt mange andre forhold. Klimakrav til renovering vil, afhængig af udformningen af disse, kunne øge kompleksiteten. Mange energiforbedrende indgreb kræver ikke byggetilladelse, og her er det afgørende, at mulige klimakrav vil kunne bidrage til en yderligere optimering af indgreb udover energieffektiviteten. Alternativt kan en regulering også fokusere på ombygninger med unødvendige høje klimapåvirkning som hyppige ændringer i kontorlejemål, hoteller eller butikcentre, der alle sammen har en stor materialeomsætning. Uanset udfaldet i regulerings-spørgsmålet kan LCA understøtte valg af den klimarigtige løsningsvariant i renoveringer, uanset om skalaen er flytning af skillevægge, dybe renoveringer eller strategiske beslutninger på porteføljeniveau.

Tilbygninger såsom inddragelse af uudnyttet loftsrum er ikke behandlet i nærværende rapport, men kan også understøttes af LCA, vel og mærke under hensyntagen til ændringen i referenceareal. Endeligt kan LCA belyse konsekvenser ved beslutning om nedrivning og nybyggeri kontra renovering. Denne procedure bør udføres særlig omhyggeligt og kræver som skitseprojektering af begge scenarier eller nøgletal for nybyggeriet.

2.2.4.3 Reference til begrænsning af klimapåvirkning

Fastlæggelse af mål eller grænseværdier for klimapåvirkning i renoveringer er mere komplekse end for nybyggeri, da der også skal tages stilling til den eksisterende bygning. Derudover kan LCA'en have til formål enten at reducere klimapåvirkning i planlagte renoveringer eller til at sammenligne konsekvenser af en renovering kontra nedrivning og nybyggeri.

Bygningsreglementet indeholder energimæssige referencer i form af komponentkrav, varmetabsramme og renoveringsklasser. Når man inddrager hele livscyklussen med materialer, mangedobles referencegrundlaget grundet den store variation i bygningsmassens tidsaldre samt historiske byggeskik og regelgrundlag. Dertil kommer mulige tidligere renoveringer og ombygninger, som forøger variationen i bygningsmassen og dermed vanskeliggør bestemmelsen af et referencegrundlag for klimapåvirkning.

Udover variationen i tilstanden har eksisterende bygninger også en historisk livscyklus, som adskiller sig fra den fremtidige, der igangsættes med renoveringen. Dette faktum medfølger en række implikationer. En simpel tilgang til problemstillingen er at behandle renoveringer metodisk som nybyggeri, hvor de historiske påvirkninger fra etablering og drift bliver nulstillet. Her fokuserer man på den nye livscyklus og de aktiviteter, som kan påvirkes med renoveringen. Denne tilgang bruges i ordninger, som oprindeligt er udviklet til nybyggeri, men som også kan bruges ved dybe renoveringer som FutureBuilt [19].

Til sidst afviger også fremtidsscenerier i en livscyklusbetragtning fra nybyggeri. Dette er på grund af, at restlevetider af bygningsdele i ældre bygninger ofte er kortere end ved nybyggeri, så der med en vis sandsynlighed vil opstå behov for hyppigere fremtidige renoveringer end ved nye bygninger. Denne generaliserende betragtning ser bort fra historiske bygningsdele af høj robusthed.

Et kendt supplement til denne tilgang er derfor at medtage de bevarede materials fremtidige påvirkninger fra udskiftninger og Endt levetid. Metoden er mere tidskrævende, da den forudsætter en kortlægning af de eksisterende materialemængder inklusive vurdering af restlevetid, som tilstandsrapporten kan levere.

Påvirkningerne i denne kategori er ved gennemgribende renoveringer ofte mindre betydende i forhold til nye tilførte materialer og energiforbrug, men tager højde for byggematerialers tilstand i den nye livscyklus. Metoden er eksempelvis anvendt i den frivillige bæredygtighedsklasse [16]. For at reducere tidsforbruget til kortlægningen af eksisterende materialer, som er uforholdsmæssigt i forhold til deres betydning i klimapåvirkning, har LCAByg værktøjet en funktion til, at automatisk at generere modeller af historiske bygninger [20].

Et kendetegn ved metoden, hvor eksisterende materialer medtages, er at de eksisterende biogene materials udledning i C3-4 er medtaget, men uden at bliver balanceret med et tilsvarende kulstofoptag i modul A1-3, da produktionen af materialer er sket for mange år siden. Denne udledning kan eksempelvis være fra etagedæk eller tagbjælker i den eksisterende bygning. Klimapåvirkning af renoveringer bliver derved højere, jo mere træ den eksisterende bygning indeholder i forvejen. Resultat illustrerer i princippet korrekt den CO₂-udledning, der sker når træets afbrændes ved Endt levetid. Dog gør det samlede resultat ikke forskel på, om træet fjernes under renoveringen eller først i fremtiden, når huset rives ned. Dermed ignoreres de reelle temporale klimafordele ved en forlængelse af levetiden og kulstoflagring. Metoden kan dog justeres ved at fjerne det biogene kulstof i de bibeholdte eksisterende materialer i beregningen. Det biogene kulstof kan i stedet opgøres som separat indikator for kulstoflagring og skaber derved et incitament til at bevare træ i bygninger. Se også afsnit om Træ og biogene materialer.

Med alle disse metoder til at opgøre bygningens tidligere og fremtidige livscyklus mangler der de historiske påvirkninger, som bygningen har bag sig. I takt med, at bygninger eller bygningsdele yder deres funktion i mange år, kan den indledende klimapåvirkning, det vil sige klimamæssige omkostning, være afskrevet. Det gør en forskel, om bygninger nedrives efter ti eller hundrede års brug. Afskrivningsgraden kan bruges som et mål for, hvilken levetid og dermed andel af indlejret klimapåvirkning, der er tilbage ved renoveringstidspunktet. Denne tilgang medfører en andelsmæssig klimapåvirkning for fjernede materialer, som stammer fra den historiske produktion af materialet. Metoden er beskrevet i forskningen og bliver i øjeblikket testet i de nederlandske klimadeklarationer for renoveringer [21,22]. Udover en vurdering af restlevetid baseret på tilstanden, kræver denne tilgang en vurdering af de oprindelige påvirkninger samt den forventede levetid for at kunne beregne andelen af den afskrevne klimapåvirkning. Metodens styrke ligger i at belyse konsekvenser af for tidlige udskiftninger og nedrivninger. Dette kan især være af betydning i bygninger med hyppige ombygninger på grund af lejerskifte som eksempelvis butikker og kontorlejemål [23].

De her drøftede grader af allokering af påvirkninger over de to livscyklusser udgør mere eller mindre retvisende metoder til at belyse renoveringers påvirkninger, som kan anvendes til at optimere indgrebet. Forskellige scenarier af bevaring og indgreb kan sammenlignes som reference til at understøtte bygherrens beslutninger af det endelige renoveringsprojekt.

Hvis der derimod ønskes at definere en absolut reference på tværs af projekter, såsom en national regulering ved hjælp af grænseværdier, skal der først bestemmes referenceniveauer. Her ser vi bort fra referencer til energiforbrug, som allerede findes i form af renoveringsklasser i bygningsreglementet og energimærkninger. Det er generelt nemmere at benchmarke energi til bygningsdrift, da dette foregår kontinuerlig. Udfordringen ligger i at definere en reference for de indlejrede påvirkninger af komponenter. Grovkornede referenceværdier kan udvikles for typiske kategorier af bygningsdele, og kan anvendes for

renoveringsprojekter, når hele komponentet udskiftes. Et eksempel er referenceværdier til brug for vurdering af særlige bygningstyper i BR, bilag 2, tabel 9 [24]. Ændringer af eksisterende komponenter er dog langt mere varierende i form og tilstand og renoveres på forskellig vis og med varierende formål, såsom istandsættelse, levetidsforlængelse, opgradering eller energiforbedring. En referenceramme, der tager hensyn til alle disse parametre, for ikke at tale om de temporale dimensioner beskrevet ovenfor, er mere komplekst og tidskrævende.

Det betyder imidlertid ikke, at incitamentet til at dekarbonisere byggematerialer er helt fraværende. Den stigende efterspørgsel for lavemissionsprodukter til nye bygninger og eventuelt dybe renoveringer lægger i stigende grad pres på forsyningskæden, med reducerede påvirkninger af renoveringer som konsekvens.

Anvendes LCA til at optimere de indlejrede påvirkninger ved en given energibesparelse, ville der være et naturligt skærepunkt for, hvilken materialeindsats der er optimalt. Et eksempel er isoleringsgraden eller valg af varme- og ventilations-løsning. Studier som BUILD-rapport 2021:24 [25] sammenholder disse energiforbedringer med deres indlejrede påvirkninger. Med de nye emissionsfaktorer [11] tipper balancen betydeligt til fordel for en mindre materialeindsats til energibesparelse, da energiproduktionen vurderes at være grønnere. Dette gør sig i gældende på samme vis som ved nybyggeri, men har en større effekt, da energiforbruget i eksisterende, ikke renoverede bygninger er væsentligt højere.

En sådan betragtning overseer den strategiske prioritering i Danmark og Europa til at reducere energibehovet som forudsætning til dekarbonisering af energiforsyning. Forholdet mellem energi og materialer i bygnings-LCA afspejler imidlertid ikke nødvendigvis det optimale niveau af energieffektivitet set ud fra et strategisk syn på den danske energiforsyning [26,27]. Den valgte LCA-metode til bygnings-LCA på projektniveau er nemlig ikke i stand til at tage hensyn til systemer og strategier. Hvis omstillingen af energiforsyning til 100 % vedvarende energi skal lykkes omkostningseffektivt, har energieffektivisering af bygnings-massen den første prioritet. Det betyder, at bygningsmassen skal have et rimeligt niveau af energibehov, som selvfølgelig kan svinge afhængigt af bygnings-typernes besparelsemuligheder. Disse hensyn indgår ikke automatisk i LCA-metoden og skal tilføjes i rammesætningen.

Derudover indeholder de anvendte emissionsfaktorer til energiforsyning en fremskrivning, som er baseret på en yderligere reduktion af energibehovet i bygninger. Det er derfor en forudsætning for anvendelsen af disse faktorer, at energien også spares i fremtiden i nye og eksisterende bygninger. Skulle bygningsmassen ikke energieffektiviseres som forventet, ville emissionsfaktorer skulle justeres op.

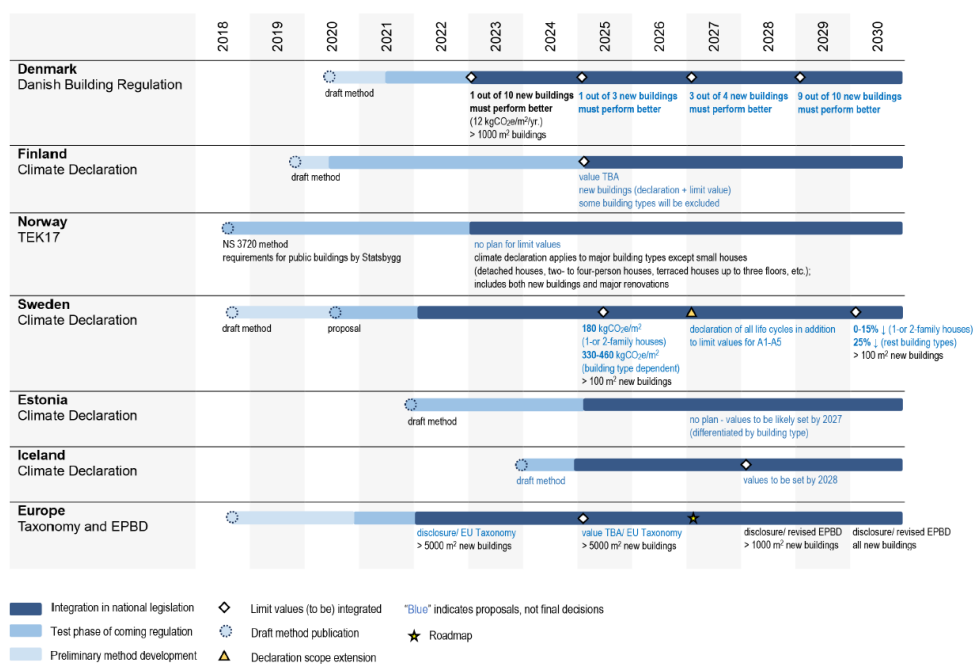
Det strategiske niveau reguleres i øjeblikket i bygningsreglementets energikrav, men ikke i den gældende LCA-metode efter BR klimakravene. Derfor drøftes det blandt LCA-eksperter at opdele klimaberegningen i ét resultat for hele livscyklussen. Dette for at bibeholde en fleksibilitet i materialer versus energibetragtningen, men tilføje en separat indikator for driftsenergi, det vil sige modul 6. I nybyggeri vil der derfor kunne kræves, at der overholdes to separate grænseværdier for hver af de to indikatorer til at sikre en god balance for livscyklussen under bibeholdelse af energieffektivitet.

Ikke mindst via det opdaterede Bygningsdirektiv bliver dybe energirenoveringer et afgørende instrument for at nedbringe samfundets energibehov og dermed muligheden for en hurtigere omstilling af varme- og elforsyning til energikilder med lave emissioner. En hurtig reduktion af bygningsmassens energibehov ville frigive værdifulde ressourcer som træ og anden biomasse samt vedvarende elektricitet til mere presserende formål. Anvendelse af biomasse til energiproduktion er ikke en optimal løsning for klima og miljø, da det forringer skovenes naturfunktioner som indlagring af kulstof og biodiversitet samt udnytter træ direkte på det lavest mulige niveau. I stedet bør træ anvendes i kaskader, hvor indlagring i bygninger og andre værdifulde og langtidsholdbare løsninger skal være den første brugscyklus, efterfulgt af genbrug og

genanvendelse, herunder som træprodukter til byggeri, før træet nedbrydes i fibre. Afbrænding bør være det sidste led i udnyttelse, hvis ikke det kan undgås helt fx ved ikke at behandle træ på en vis, der efterlader afbrænding eller deponering som eneste alternativer. Jo hurtigere behov for fjernvarme kan reduceres, jo tidligere forsyningen kan fjerne det midlertidige afbrænding af biomasse.

2.2.5 International udvikling

En række europæiske lande har enten indført CO₂e-grænseværdier for nybyggeri eller lagt planer for at udvikle dem. Frankrig og Nederlandene har været pionerer med obligatoriske klimakrav og grænseværdier, men med forskellige tilgange. I Norden har især Sverige, Norge, Finland og Danmark udviklet konkrete krav, hvor Danmark først har introduceret bindende grænseværdier allerede fra 2023. I et delprojekt under blev status og planer om LCA-regulering af byggeri kortlagt og forskelle og ligheder mellem tilgangene undersøgt. I oversigten (Figur 25) bliver det tydeligt, hvor forskellige tidsplan og status for de seks lande og EU er i øjeblikket. Rapporten [28] påpeger et potentiale for harmonisering ikke kun køreplanen for indfasning af deklARATIONER og grænseværdier, men også en lang række metodiske problemstillinger. Den nu igangsatte EU-proces om indføring af deklARATIONER og grænseværdier forventes at skabe større sammenhæng over en længere årrække.



Figur 25 Tidslinje med status af og forslag for klimadeklARATIONER og grænseværdier i Nordiske lande, Estonsien og EU. Kilde: Harmonised Carbon Limit values for buildings in the Nordic Countries - Analysis of the Different Regulatory Needs [28].

2.2.5.1 Finland

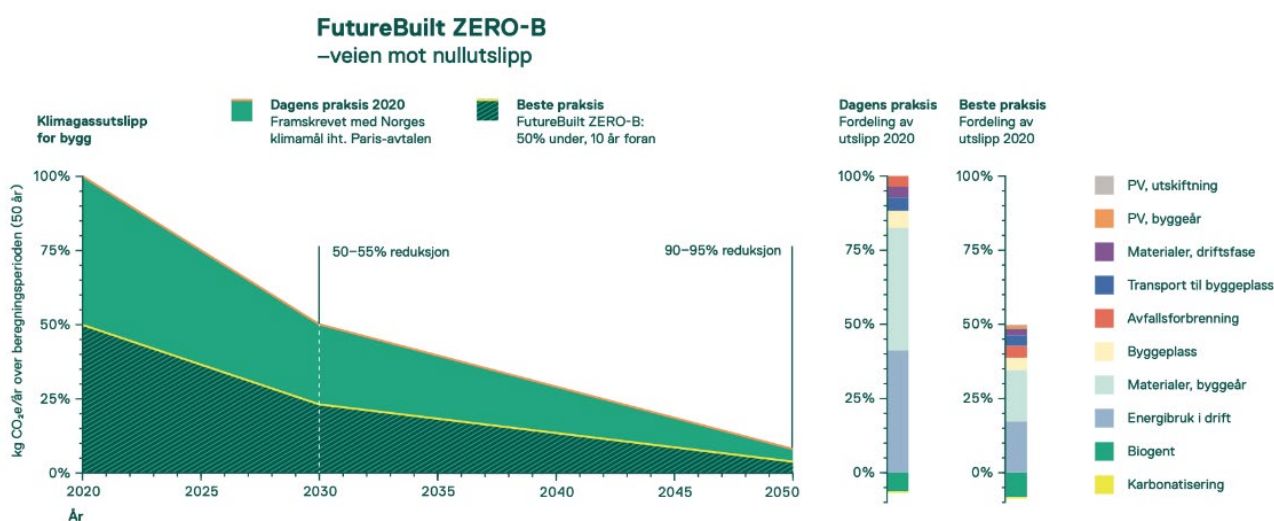
Finland vil indføre grænseværdier for nye bygningers klimabelastning inden 2025 og overholdelsen af kravene skal ske i henhold til EU's Level(s) forordning. Alle byggerier som er omfattet krav om byggetilladelse vil skulle beregne bygningens klimaaftryk, men der vil alene blive stillet krav om overholdelse af grænseværdier for nybyggeri. Udelukket er små bygninger eller bygninger med særlige funktioner. Ud over den obligatoriske klimadeklARATION planlægger Finland at indføre grænseværdier i 2025. Grænseværdier omfatter ikke fundering og jordarbejde. Livscyklussen indeholder modulerne A1-A3, A4, A5, B4, B6 og C1-C4). Det finske miljøministerium prioriterer produktspecifikke data, men for at lette processen har det oprettet en national emissionsdatabase [29]. Databasen indeholder generiske data for de mest

gængse byggevarer og processer. Som i Danmark anvender Finland dynamiske emissionsfaktorer til energiforsyning, som følger den forventede omstilling til vedvarende energi med årene. Et særligt træk ved den finske metode er kravet om at deklarere både carbon footprint (klimapåvirkning), men også carbon handprint, som synliggør gavnlige effekter for klimaet, herunder karbonisering af beton. Lovreguleringen er stadig under diskussion og renovering er ikke inkluderet aktuelt.

2.2.5.2 Norge

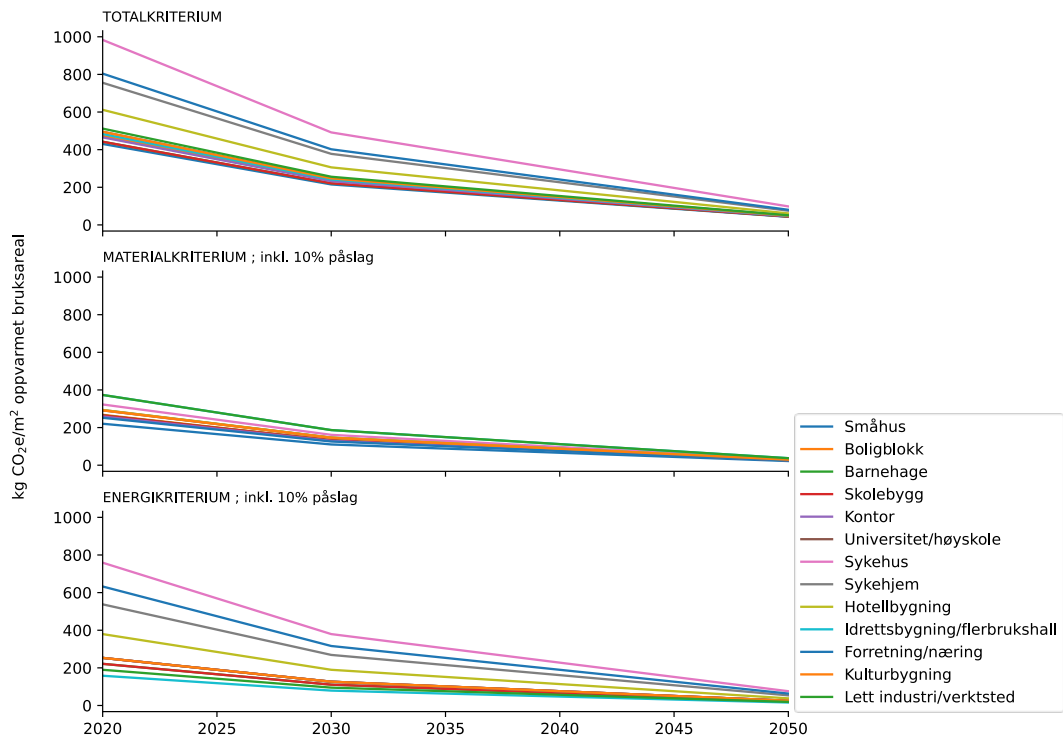
Ifølge det norske bygningsreglement TEK 17 [30] skal der udføres en klimadeklaration i henhold til den norske LCA standard for bygninger NS 3720:2018 [31] fra juli 2022. Efter en etårig overgangsperiode er kravene blevet obligatoriske for nybyggeri og omfattende renoveringer. Planen for, hvornår der skal indføres grænseværdier, er stadig åben. Standarden følger den europæiske EN 15978 standard. Mens metoden omfatter hele bygningens livscyklus, kræver forordningen udelukkende beregning af A1-A3, A4, A5 og B4. Hos programoperatøren EPD Norge findes et stort antal EPD'er, og der er ikke planer om en generisk database.

FutureBuilt er et frivilligt initiativ til at fremhæve de mest bæredygtige projekter med et minimumsmål på at halvere klimapåvirkningerne i forhold til normal praksis. Kriterierne er inspireret af BREEAM Norge. Kernen er det obligatoriske kriterie FutureBuilt ZERO-B - kriterier for lavutslippsbygg til at begrænse bygningers drivhusgasudledninger fra materialer, byggeproces, energi og transport. Grænseværdien for nye bygningers klimapåvirkning skal altid ligge 50 % under og 10 år foran den udvikling, som branchestandarden skal tage efter Norges køreplan af CO₂e-reduktion fra 2020 til 2050 for at opnå Parisaftalen, se Figur 26.



Figur 26 Princip i Norsk FutureBuilt Zero-B for definition af grænseværdi for klimapåvirkning på en tidsakse mod 2050 [19].

For at undgå, at energieffektiviteten svækkes ved at lade den indgå i én stor pulje af klimapåvirkning for hele livscyklussen, skal der både overholdes en grænseværdi for hele livscyklussen og en separat grænseværdi for driftsenergi. Derudover er grænseværdier opdelt i en række bygningstyper. Køreplanen for de to grænseværdier med opdeling i bygningstype er vist i Figur 27.



Figur 27 FutureBuilt Zero B ordningens udviklingslinjer for grænseværdier, opdelt i energiforbrug (energikriterium), øvrige moduler (materialekriterium inkl. 10 % tilslag) og hel livscyklus (totalkriterium), som indeholder de to andre. Derudover er linjerne underopdelt i bygningers anvendelse. For at omregne til nærmest til dansk enhed for klimapåvirkning deles værdierne med 50 år. Kilde: <https://futurebuilt-zero.web.app/kriterier/zero-bygg>.

FutureBuilt benytter de samme kriterier for nybyggeri og omfattende renoveringer. I sagens natur kan eksisterende bygninger nemmere opnå den krævede reduktion i klimapåvirkning for materialedelen end for energiforbrug, da bygningens kerne allerede er opført.

2.2.5.3 Sverige

Krav om klimadeklaration for bygninger trådte i kraft den 1. januar 2022 og gælder for alle nyopførte bygninger over 100 m². Undtaget er fx industribygninger eller bygninger til forsvar eller landbrug. Boverket anbefaler, at grænseværdier for modulerne A1-5 indføres juli 2025 [13]. Modulerne B2, B4 og B6 anbefales at indgå i en udvidet klimadeklaration fra 2027. Beregningen skal give et bedre beslutningsgrundlag til at reducere emissioner, herunder ved at støtte afvejning mellem materialers produktion (A1-3), vedligeholdelsesbehov og bygningsdesign (B2), levetid (B4) og endelig energieffektivitet (B6). Der foreslås også medtagelse af fase C i den udvidede klimaerklæring, primært for at give et mere fuldstændigt billede af en bygningens klimapåvirkning i løbet af dens livscyklus og for at understrege genanvendelige produkter. Produktspecifikke data prioriteres, men der kan også anvendes generiske data fra den nationale database.

Boværkets grænseværdirapport indeholder også en gennemgang af muligheder for en klimadeklaration af renoveringer med anbefalinger til udformning og implementering. En grænseværdi anbefales ikke, da ombygninger har en for stor variation, og fordi der ikke bør skabes nye barrierer for nødvendige ændringer som levetidsforlængelse og energieffektivisering. Krav bør kun gælde for væsentlige indgreb, der udløser krav om byggetilladelse, for at undgå en for stor ændring af reglementet. Der foreslås en klimadeklaration af ombygninger med modulerne A1-3, A4 og A5. A5 skal kun omhandle byggeaffald, da energiforbruget er

ubetydeligt. Eksisterende materialer anbefales ikke at medregne med henvisning til EN 15978, hvor væsentlige ombygninger retfærdiggør en ny livscyklus. På linje med de gældende klimakrav til nybyggeri er hverken B6 eller C3-4 medtaget. Begrundelsen for ikke at inkludere B6 er, at driftsenergien er reguleret i forvejen. Endt levetid udelades på grund af dens begrænsede bidrag til klimapåvirkning. Biogent kulstof indgår ikke i den svenske metode. Boverket forventer ikke en bedre styringseffekt til gavn for klimaet, hvis man skulle udvide metoden med flere moduler.

2.2.5.4 Frankrig

Den frivillige bæredygtighedsordning E+C- (Energy + Carbon -) blev indført i november 2016 af Boligministeriet til at forberede indførelsen af en obligatorisk klimadeklaration. Mærket var en måde at afprøve en LCA-metode på, opbygge viden inden for industrien og offentlige myndigheder og støtte en høring af interessenter. Efter denne høring blev metoden og indikatorerne revideret og mundede ud i den obligatoriske energi- og klimadeklaration med grænseværdier, Réglementation environnementale RE2020 [32]. RE2020 blev vedtaget i 2021, trådte i kraft i 2022 og skal efter planen ajourføres hvert tredje år. RE2020 kræver en klimaberegning for hele livscyklussen og gælder for alle nye bolig-, kontor- og skolebyggerier, men ikke eksisterende byggeri. Der anvendes dynamiske emissionsfaktorer også for materialer, hvilket indebærer, at kulstof-emissioner, der sker i fremtiden, har en lavere betydning, og at midlertidig lagring af kulstof i biogene produkter giver klimafordele. Grænseværdierne afhænger af bygningens typologi, areal og beliggenhed og skal strammes regelmæssigt. Der er opdelt grænseværdier for materialer og energi. Den franske nationale database INIES er den mest omfattende af sin slags og indeholder både generiske data og EPD'er, der er i overensstemmelse med EN 15804.

2.2.5.5 Nederlandene

I 2019 blev der lanceret et tillæg til frivillig vurdering af omfattende ombygninger og transformationer [21]. Reglerne er ret omfattende og prøver at afspejle de faktiske forhold så godt som muligt. Mindre renoveringer er udtrykkeligt ikke omfattet. Beregningen inkluderer alle livscyklusmoduler. Bygningens betragtningsmetode anbefales, at fastsættes efter formålet med beregningen. Hvis ønsket er en objektiv og sammenlignelig miljødeklaration, kan der anvendes en standard levetid som for nybyggeri, som er 75 år for boligbyggeri og 50 år for andre anvendelser. Når beregningen derimod skal understøtte en strategisk beslutning om, hvad der skal ske med bygningen, anbefales det at bruge en konkret forventet restlevetid af bygningen hvis muligt. Der inkluderes både alle fjernede og tilføjede materialer fra renoveringen, men også restlevetiden af de eksisterende materialer. Der medtages ikke kun de eksisterende materials fremtidige påvirkninger som udskiftning og nedrivning, men også deres andelsmæssige, historiske påvirkninger fra produktionen, såfremt deres levetid ikke er overstået endnu ved renoveringstidspunktet. Dermed tages hensyn til, om påvirkninger fra produktionen kan regnes for afskrevet eller ej. Ved at tage hensyn til bygningens og materials alder og tilstand, undgår denne metode at nulstille den iboende værdi i eksisterende bygninger, især dem, som ikke er særlig gamle. Metoden er uden tvivl tidskrævende og vil medføre ny usikkerhed i vurdering af historiske påvirkninger, men vil give et mere retvisende billede især i sammenligninger med et scenarie for nedrivning og nybyggeri.

2.2.5.6 Storbritannien

Selvom der endnu ikke findes nationale klimakrav til byggeri i Storbritannien, er Regionen London med sine 9 millioner indbyggere gået foran og stiller bindende krav om klimaberegning i større byudviklingsområder. Kravene i London Plan, Policy SI 2 F [35] er udspecificeret i en teknisk vejledning [36]. Vejledningen peger på metoden i RICS standarden (version 2017), som i sidste ende er baseret på EN 15978. Den kommende revision af RICS standarden udvider anvendelsen til alle bygninger og infrastruktur og træder i kraft i 2024 [37]. Målet med Londons regler er, at udvikleren gør en indsats for at reducere klimapåvirkning i byudvikling

og byggeri. Udover at påvise en klimaberegning for hele livscyklussen skal der også dokumenteres en eventuel forudgående nedrivning og klimagevinster ved at bibeholde, genbruge eller genanvende eksisterende strukturer og materialer. Dermed er indgreb i eksisterende bygninger også omfattet af reglen. Vejledningen stiller frivillige CO₂e-referenceværdier for forskellige bygningstyper til rådighed, som kan anvendes til at synliggøre en CO₂e-besparende indsats.

Byggebranchen har imidlertid publiceret et forslag af klimakrav i bygningsreglementet [38]. Forslaget omfatter kun nye bygninger større en 1.000 m² eller mere end 10 boligenheder. Deklaration af hele bygningens livscyklus skal indføres i 2023, mens grænseværdier skal gælde fra 2027 og kun omfatte faserne A1-5 (upfront carbon). Resten af livscyklussen skal stadig deklareres.

2.2.6 Miljødata og scenarier

2.2.6.1 Scenarier for energi og materialer

Klimapåvirkning for energiforsyningen i bygningsreglementets bilag 2, tabel 8 er baseret på nationale gennemsnit. Selvom fjernvarmeværker har muligheden for at udvikle lokale emissionsdata, afspejles produktionsforskelle i fjernvarmeområder ikke i dag. Når man sammenligner de gældende emissionsfaktorer [39] med de kommende [11], viser det sig, at påvirkningerne for særligt fjernvarme er blevet reduceret betragteligt. Mens andelen af klimapåvirkning i nybyggeri for henholdsvis energi og materialer udgør 27 % og 74 % [40] i dag, vil forholdet ændres til 9 % og 91 % fra 2025, hvor de nye emissionsfaktorer bliver gældende i bygningsreglementet. En del af reduktion for fjernvarmeområdet skyldes anvendelse af biomasse i energiproduktion og den anvendte beregningsmetode, hvor denne andel antages for at være klimaneutral. Et alternativt scenarie, hvor de faktiske udledninger fra afbrænding af træ er medtaget, er blevet drøftet i afsnit 1.5.2.

I bygningsreglementet anvendes der allerede dynamiske scenarier for energiforsyningen, som nedjusterer klimapåvirkningen i henhold til politiske aftaler. Den dynamiske udvikling har en væsentlig indflydelse på resultatet af bygningens klimapåvirkning og forholdet mellem bidrag fra materialer og drift. Hvis energiforsyningen beregnes med et statisk scenarie for år 2023, ville klimapåvirkningen være omtrent 100 % højere for ledningsgas og 50 % højere for fjernvarme, sammenlignet med de anvendte dynamiske scenarier. I overgangen til de nuværende emissionsfaktorer i 2020 har det vist sig, at de nuværende emissioner er lavere end antaget. Det betyder, at de dynamiske scenarier har hidtil ført til en mere retvisende vurdering af driftsenergiens fremtidige klima-påvirkning sammenlignet med en statisk vurdering. Samtidig er usikkerheden allerede stor ved en prognose, der kun rækker få år i frem i tiden, og stiger med LCA'ens 50-års betragtningsperiode.

Selvom påvirkninger fra materialeproduktionen også forventes at falde over tid, så er denne udvikling ikke så hurtig som ved energiforsyning og langt mindre forudsigelig (se også afsnit 1.5.3.). Potentielle forbedringer vil primært kunne realiseres i energitunge produkter, der indebærer en opvarmningsproces samt for produkter, hvis produktionsprocesser forsynes via energi fra den kollektive varme- eller elforsyning. Her er omstillingen til vedvarende energikilder, energieffektivitet og CO₂e-fangst og lagring de væsentlige løsninger. Eksempelvis kan udledninger fra stål ikke alene reduceres ved omstilling af energikilden, da selve den kemiske reduktionsproces frigiver CO₂, hvorfor en yderligere optimering kræver en storskala omstilling af både reduktionsmidlet til brint og opvarmningskilde til grøn strøm.

Der findes ikke mange studier, der estimerer fremtidige materialepåvirkninger. Et EUprojekt med Potsdam Institutet for klimaforskning i spidsen har udviklet onlineberegneren European Calculator (EUCalc), der blandt andet iser scenarier for udvikling af materialeproduktion samt deres forventelige dekarbonisering. Denne fremskrivning vil give mulighed for at udvikle en materialespecifik fremskrivning for materialer i LCA,

som dog ikke blev brugt endnu. En schweizisk rapport [41] anvender den samme tilgang, dog med andre data, og estimerer besparelspotentialer for bygninger på 50-60% for materialerelaterede påvirkninger.

Udover Frankrigs klimakrav RE2020 anvender også den frivillige FutureBuilt Zero ordning i Norge [42] en LCA metode med dynamiske faktorer til korrektur for den teknologiske udvikling. Solceller vil kun have 33 % af deres nuværende påvirkninger ved en udskiftning efter 30 år. Alle øvrige materialer bruger en 1 % reduktion for hvert år i fremtiden.

Håndteringen af de tidsmæssige forskydninger i LCA for bygninger er under konstant debat i forskningen og i den politiske udvikling. Det gælder både bygningens livscyklus og de faktiske atmosfæriske processer bag den globale opvarmning. Dynamiske energiscenarier kan løse én af udfordringerne, men det overser stadig det faktum, at produktionen af materialer og byggeprocessen forårsager udledninger i dag (upfront carbon). Dermed er der en akut relevans for det begrænsede atmosfæriske kulstofbudget, der skal holdes for at nå Paris-aftalen, mens udledninger fra brugsfasen og især nedrivningen sker langt ude i fremtiden.

2.2.6.2 **Træ og biogene materialer**

Biogene materialer som træ og afgrøder fra landbruget er et særtilfælde med hensyn til tidsforløbet for udledning og klimaeffekt. For det første er det afgørende for at indfri en positiv klimaeffekt, at skovdriften ikke underminerer skovens kvalitet, omfang og mangfoldige funktioner. Det vigtigste princip for bæredygtig skovdrift er, at man ikke skal høste mere end tilvæksten. Kun når man følger dette, er der grundlag for, at den anvendte beregningsregel for kulstof-kredsløbet er retvisende. Kulstofkredsløbet begynder i skoven, hvor kulstof bindes i træet og bliver til biogent kulstof. Høst af træ skal ske på et så lavt niveau, at skovens samlede kulstofmængde forbliver uændret over tid. Derfor betragter den relevante standard for konstrukstræ [43], som LCA-standard for bygninger henviser til, træets biogene udledninger CO₂-neutralt over bygningens livscyklus. Denne -1/+1 regel betyder, at der regnes med CO₂-optag i produktfasen og CO₂-udledning ved Endt Levetid, uafhængig behandlingsform af træet. Betingelsen er, at træet stammer fra skove med bæredygtig skovdrift.

Den nuværende metode mangler at afspejle nogle risici. En øget efterspørgsel af træ kan potentielt medføre uønskede effekter, der stammer fra ændringer i forsyningskæden [44]. Hvis ikke forbruget af træet reduceres i alle sektorer, herunder i produktionen af energi, papir og emballage, kan en øget efterspørgsel ikke opfyldes med de eksisterende produktionsskove. Konsekvensen vil være en udvidelse af produktionsskov. Det kan have positive effekter, hvis arealet før havde en lavere naturværdi og kulstofoptag. Omvendt kan det have negative effekter, hvis det oprindelige areal har været naturskov eller landbrug, hvis produktion flyttes til andre naturarealer.

På den positive side mangler metoden at tilgodese træbygningers potentiale som et midlertidigt kulstoflager, der forhindrer CO₂-en fra at blive udledt til atmosfæren. I dagens metode regnes træets samtlige mængde af biogent kulstof at blive udledt ved Endt Levetid. I Finland foreslår man at synliggøre træets potentiale ved at deklarerer en carbon handprint, som indeholder alle gavnlige effekter af bygningens livscyklus. I Frankrig anvendes der en diskontering af klimapåvirkning for alle fremtidige påvirkninger, som i tilfældet af træ reducerer klimapåvirkningen fra udledning ved Endt Levetid, hvorved -1/+1 reglen omgås. Det er også denne metode, strateginetværket anbefaler [45].

Fordelen ved den nuværende håndtering af træ i LCA er den simple håndtering, men det skal nævnes, at metoden medfører at en række nuancer udelades i form af faktiske belastninger og gevinster. Derfor pågår der i øjeblikket en debat omkring, hvordan LCA-metoden kunne blive bedre til at afspejle de faktiske konsekvenser og / eller gevinster ved at vælge træ.

2.3 Analyser af bygningers klimapåvirkning

2.3.1 Nybyggeri

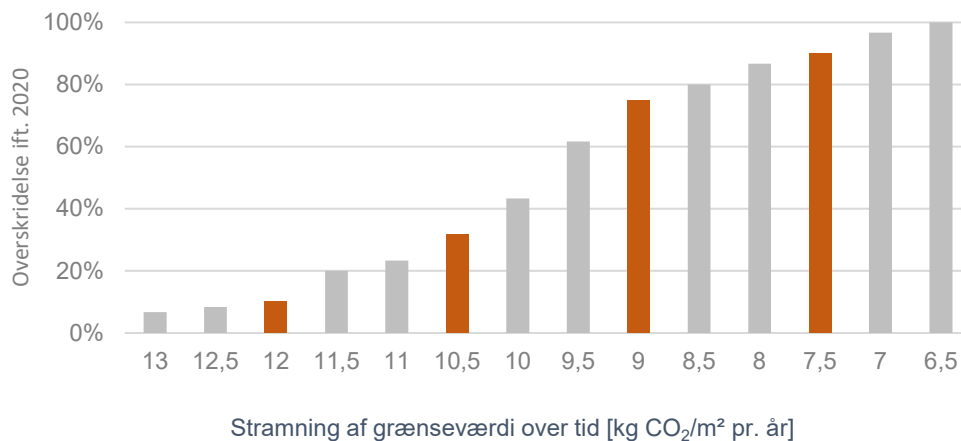
Den nyeste rapport om grænseværdier for bygningsreglementets klimakrav i 2025 har fremlagt en detaljeret kortlægning af nybyggeriets klimapåvirkning for forskellige anvendelser (Tabel 5). Disse resultater giver det mest aktuelle og robuste indblik i klimapåvirkninger af dansk nybyggeri, da modellerne er blevet korrigeret for fejl og mindre typiske konstruktionsløsninger. Desuden bruges den nyeste generation af de generiske miljødata for 2025. Medianen ligger mellem 8,19-11,55 kgCO₂e/m²år afhængig af anvendelse og spændet fra den laveste til den højeste påvirkning er 5,89-14,41 kgCO₂e/m²år. To bygninger med særlige forhold, der forårsager ekstra høj klimapåvirkning på en eller flere bygningsdele jf. BR klimakravene ligger på 17-18 kgCO₂e/m²år.

Tabel 5 Klimapåvirkning af 163 nye bygninger efter BUILD-rapport 2023:21 [9]

[kgCO ₂ e/m ² år]	Total (A1-3, B4, B6, C3-4)			Bygningsdele (A1-3, B4, C3-4)			Drift (B6)		
	Nedre	Median	Øvre	Nedre	Median	Øvre	Nedre	Median	Øvre
Enfamiliehus	7,99	8,89	10,01	7,18	8,31	9,07	0,61	0,70	1,06
Etagebolig	7,68	8,47	9,94	7,12	7,94	9,40	0,52	0,56	0,59
Rækkehus	7,32	8,19	8,79	6,39	7,39	8,24	0,54	0,64	0,90
Kontor	8,33	9,46	10,19	7,35	8,52	9,21	0,88	0,91	0,97
Daginstitution	8,06	9,31	9,70	7,11	8,31	8,87	0,77	0,92	0,99
Undervisning	11,31	11,55	12,59	10,37	10,69	11,80	0,83	0,84	0,90
Sundhedshuse	10,30	10,55	11,66	9,39	9,59	10,63	0,91	0,96	1,01
Andet	9,02	10,28	11,70	8,06	9,23	10,70	0,86	0,97	1,23

Der findes også eksempler på byggeri i den lave ende af klimapåvirkning i to andre udgivelser. I rapporten om træbyggeri [46] ligger den laveste påvirkning på 5,6 kgCO₂e/m²år. 14 ud af 45 cases ligger under niveauet af bygningsreglementets lavemissionsklasse på 8 kgCO₂e/m²år. Sammenlignet med den før nævnte grænseværdirapport er disse værdier ikke væsentligt lavere end det typiske øvrige byggeri. Den anden rapport viser 25 best practice cases [47], hvoraf 23 overholder lavemissionsklassen og halvdelen ligger endda under 6 kgCO₂e/m²år, som svarer til 50 % af den aktuelle grænseværdi på 12. De fleste cases er baseret på biogene materialer som træ og halm, og der ses eksempler på alternative metoder til fundering og terrændæk med lavere klimapåvirkning. Sammenlignet med grænseværdirapportens resultater ville påvirkningerne være endnu lavere, hvis emissionsfaktorerne for 2025 var blevet anvendt.

Det bemærkes, at grænseværdirapporten [45] bevidst har fjernet alle cases fra best practice rapporten [47] og trærapporten [46] for ikke at skævvride resultatet. Det har til følge, at grænseværdirapportens resultater er væsentligt højere, end hvad der kan opnås med træ og andre alternative løsninger.



Figur 28 Forventet andel nybyggeri, der ville overskride grænseværdi, vurderet i forhold til bygninger fra før 2020. Bemærk, at kommende grænseværdier ikke kan sammenlignes på tværs af år pga. forskelle i metode og data. Kilde: Bolig- og Socialstyrelsen (2023)

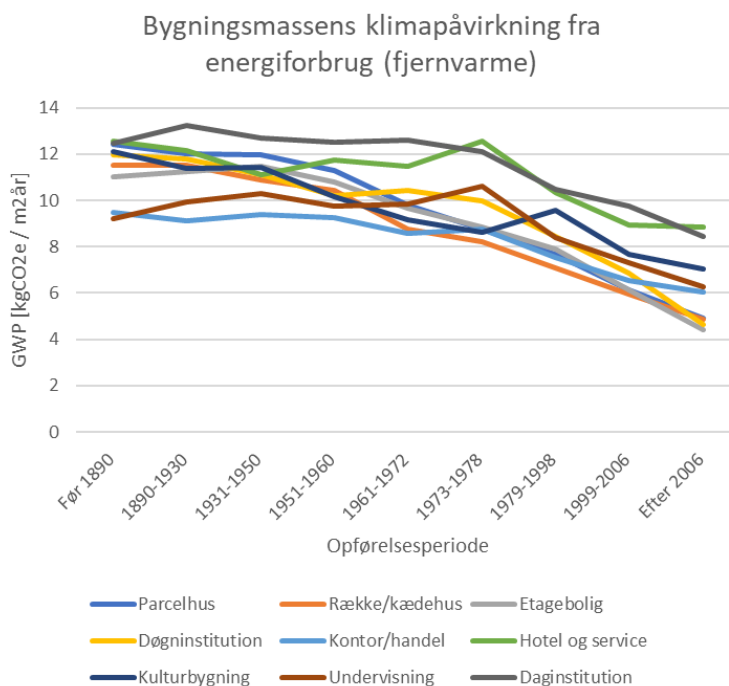
Den hidtil anvendte bottom-up tilgang til grænseværdier begynder på et niveau i 2023, som sikrer, at stort set alle bygninger vil kunne efterleve kravene uden videre. Stramningerne i de kommende år skal sikre, at dette niveau reduceres svarende til de bedste bygningers klimapåvirkning, set med dagens øjne. Denne tilgang tager imidlertid ikke hensyn til absolutte mål om CO₂e-reduktioner i byggesektoren.

En top-down tilgang baseret på klimamæssige målsætninger kan derimod sikre, at vi bruger de sektorale grænseværdier for at holde drivhusgasudledningerne på det aftalte niveau samlet set. Parisaftalens mål er at begrænse den maksimale globale opvarmning til 2,0 grader, men allerhelst til 1,5 grader. Denne opvarmning kan omregnes til en forblivende mængde drivhusgasser, som verden må udlede. Budgettet kan så fordeles på lande og derefter de nationale bygningsmasser. Tilgangen er demonstreret i initiativet Reduction Roadmap [48] og den europæiske variant [49]. Det danske reduktionsmål for boligbyggeri i år 2030 er her fundet på 0,4 kgCO₂e/m²år i 2030, hvis man antager en tilvækst i boligmassen, som fortsætter den nuværende årlige tilvækst af 3 mio. nye etagemeter. At opnå en så lav klimapåvirkning i løbet af fem år fra den første stramning i 2025 ville kræve en drastisk omstilling af byggepraksis. Dertil skal bemærkes, at beregningen endnu mangler livscyklusmoduler for byggeproces, drift udover B4 (udskiftning) og B6 (energi) og vedligehold, som tilsammen vurderes at udgøre 2,77 kgCO₂e/m²år [50]. Desuden er den faktiske klimapåvirkning for driftsenergi større, hvis man tager hensyn til det performance gap, som er forskellen mellem det beregnede og faktiske energiforbrug.

Det er desværre ikke muligt direkte at sammenligne bygningers klimapåvirkninger på tværs af lande, hvorfor der ses bort fra at vise andre landes resultater og grænseværdier. Samtlige studier inklusive det nyeste metastudie [51] slår fast, at metodiske forskelle som inkluderede livscyklusmoduler, scenarier, omfang af bygningsmodellen samt emissionsdata for materialer og energisystemer er for store og umuliggør en vurdering af de faktiske forskelle i bygningsdesign og materialevalg. Et nyt studie bør udføre dataindsamling og beregninger på et ensartet grundlag i stedet for at indsamle eksisterende LCA-cases. De igangværende projekter under Nordic Sustainable Construction kan være et skridt i retning af en større harmonisering og ikke mindst indspark i den mere specifikke EU regulering, som vil fortsætte i de kommende år. Det gælder især harmonisering af tilgang til grænseværdier og dermed LCA af bygninger (Task 4) og udvikling af generiske miljødata (Task 2). Begge hovedrapporter udgives i første halvår 2024.

2.3.2 Den eksisterende bygningsmasse

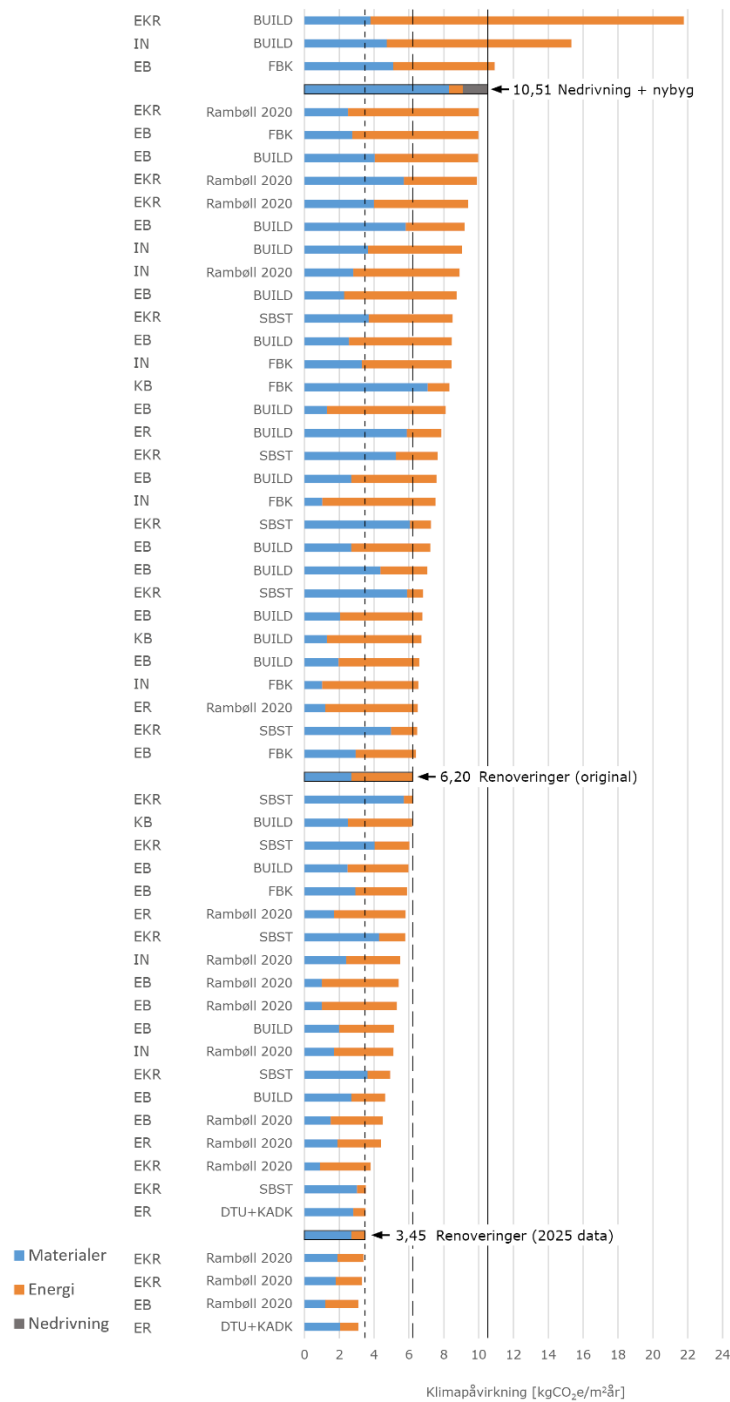
Klimapåvirkningen af den fjernvarmeforsynede bygningsmasses faktiske varmeforbrug ligger på omkring 9,75 kgCO₂e/m²år for boligbyggeri (Figur 26), beregnet med de gældende emissionsfaktorer i BR18, bilag 2, tabel 7. Bemærk, at dette også medtager et meget stort spænd, herunder nye bygninger, som ikke er renoveringsmodne endnu. Beregningen antager derudover forenklingsvis, at alle bygninger var forsynet med fjernvarme. Da 22 % af alle boliger var forsynet med enten olie eller ledningsgas (Danmarks Statistik, tabel BOL102), undervurderes klimapåvirkningen dermed i forhold til virkeligheden. For ledningsgas ville klimapåvirkningen ligge 65 % højere end vist i figuren, det vil sige 16,05 kgCO₂e/m²år. Til sammenligning ligger modul B6 på omkring 0,79 kgCO₂e/m²år for nybyggeri, baseret på BUILD-rapport 2023:21 [9].



Figur 29 Bygningsmassens klimapåvirkning fra energiforbrug for 50 års - perioden 2021-70. Det teoretiske scenario antager, at alle bygninger var forsynet med fjernvarme. Tal er opgjort for antal bygninger og ikke arealvægtet. Kilder: Energiforbrug fra SBI 2014:01 [52], emissionsfaktor for fjernvarme fra BR18, bilag 2, tabel 7.

2.3.3 Udvalgte renoveringscases

Figur 30 viser en oversigt over klimapåvirkning for cases fra forskellige, nyere kilder. Selvom kvaliteten i kilderne varierer meget afhængigt af kilden og i de enkelte cases (se Tabel 6), vurderes det, at resultaterne kan give nogle grovkornede pejlemærker. Den viste reference for nybyggeri og nedrivning er baseret på den nyeste BUILD-rapport, som er en grundig analyse af over 160 udvalgte cases. I figuren anvendes der medianværdien for alle bygningstyper på 9,10 kgCO₂e/m²år for modulerne A1-3, B4, B6. Nedrivning er beregnet som Endt Levetid (modulerne C3-4) for nybyggeri fra samme studie, som et estimat for klimapåvirkningen af nedrivning i dag og udgør 1,41 kgCO₂e/m²år. I praksis vil påvirkninger afvige lidt i ældre byggeri på grund af en anden materialesammensætning med mindre varmeisolering, men større mængde af træ i skråtage og etagedæk. Klimapåvirkning for nedrivning afspejler ikke den konkrete praksis i Danmark i dag, men anvender de scenarier, som anvendes for nybyggeriets fremtidige nedrivning i miljødata for nybyggeri.



Figur 30

Anvendelseskategorier		Kilder til cases	
BE	Bolig & Erhverv	BUILD	BUILD-rapport 2022:33 [18]
EB	Etageboliger	FBK	Evaluering af den frivillige bæredygtighedsklasse (2023)
EKR	Enfamiliehuse, kæde-/rækkehuse	SBST	Renoveringscases af Transition Ap5 for Social- og Boligstyrelsen (2023) [53]
ER	Erhverv	Rambøll ¹	Rambøll (2020), kun niveau 3 [54]
IN	Institution, kultur, idræt	DTU-KADK	Lærlingenes Hus studie (2022) [55]
KB	Kontorbyggeri		

Klimapåvirkning af eksisterende danske studier. Median for cases med originale data og renoveringer med estimeret korrektur af emissionsfaktorer for 2025. Median for nybyggeri og nedrivning baseret på BUILD-rapport 2023:21 [9]. De forholdsvis store metodeforskelle bag de anvendte data er forklaret i Tabel 7

Det ses, at alle renoveringer undtagen tre har en lavere klimapåvirkning over de kommende 50 år end scenariet for nedrivning og efterfølgende nybyggeri. Medianen for renoveringer ligger på 6,20 kgCO₂e/m²år i de originale studier eller 3,45 med en estimeret justering af energi baseret på de nye emissionsfaktorer for energiforsyning [76]. Spændet i materialepåvirkninger kan i overvejende grad være påvirket af forskellen i renoveringsomfang. Renoveringernes medianen for energi ligger på 4,10 og for materialer på 2,62 kgCO₂e/m²år, henholdsvis 0,74 og 2,71 kgCO₂e/m²år. Den ekstremt lave klimapåvirkning af energi baserer på en beregningsmetode, hvor der ikke tages hensyn til udledning af drivhusgasser fra afbrænding af biomasse i energiproduktion, især for fjernvarme, som er brugt til korrigerende af de ovenfor nævnte resultater. Se analyse af emissionsfaktorer for energi i DP1.

I både renoveringer og nybyggeri afviger det faktiske energiforbrug som udgangspunkt fra det beregnede, hvis man antager de standardforudsætninger, som skal bruges til at eftervise overholdelse af bygningsreglementet. Her vil det faktiske forbrug ofte ligge højere i bygninger med god energimæssig ydeevne, men kan ligge lavere i bygninger med dårligere ydeevne. Se også analyse af performance gap og muligheder for håndtering i praksis DP1.

Metoden for energiberegning fremgår generelt ikke i de undersøgte casestudier. Resultater for det fremtidige energibehov efter renovering kan således bero på en energirammeberegning eller på et målt forbrug, eventuel i energimærket, fra den eksisterende bygning fratrukket en forventet besparelse for driften ved renovering. Selvom det første nok som oftest er tilfældet, kan metoden med målt forbrug kombineret med besparelsetiltag også være en mulighed.

Modul B6 for nybyggeri er beregnet med de kommende, lavere emissionsfaktorer for BR 2025 i modsætning til renoveringscases, som benytter ældre, højere faktorer af forskellige generationer. Det skyldes, at disse data er blevet anvendt i BUILD-rapport 2023:21 [9] om nybyggeri. Dette skævvrider sammenligningen med renoveringer til fordel for nybyggeri. Den store indflydelse af emissionsfaktorer for energiforsyning bliver tydelig, hvis man tilnærmelsesvis omregner de energirelaterede påvirkninger i median for renoveringer til de nye emissionsfaktorer fra 2025, se den grønne kolonne i den lave ende.

Der er en enkelt case i kategorien enfamilie-/kæde-/rækkehuse (EKR) øverst i Figur 29 med en meget høj påvirkning for energi på 18,0 kgCO₂e/m²år. Selvom niveauet virker højt blandt de viste cases, så er det typisk for bygningsmassens gennemsnitlige niveau. Her ligger klimapåvirkningen for energi hos EKR-casen nemlig på 19,0 i perioden før 1960 og med opvarmningsform ledningsgas. Det må derfor formodes, at netop denne renovering ikke har forsøgt at nedbringe energiforbruget eller omvendt, at de øvrige cases enten har haft en forholdsvis god energistandard i forvejen, eventuelt fra tidligere renovering, eller at der er overvejende tale om energirenoveringer.

Til sidst kan udvalget af cases have indflydelse på resultaterne. Sammenligningen med nybyggeri vil være farvet af, hvilken energimæssig tilstand den eksisterende bygning har været før renoveringen og om, og i hvilken grad energiforbruget bliver reduceret. Mange renoveringer af klimaskærm og installationer vil ofte ende med at blive energiforbedret samtidig. Det skyldes bygningsreglementets komponentkrav og den teknologiske udvikling. Derimod kan renoveringer uden energirelaterede tiltag give en helt anden klimaprofil. Det kan være funktionelle ombygninger og værdiløft i forbindelse med nye lejere eller ejere samt nødvendige udskiftninger af vand- og afløbsinstallationer.

2.3.3.1 **Metode og kvalitet i beregningen**

Der er sammenlignet en række kilder til eksisterende renoveringscases, se Tabel 6. Tre kilder for renoveringer (FBK, BUILD-rapport 2022:33 og cases fra Transition) er udvalgt og vist med deres resultater

for klimapåvirkning. Selvom enkelte cases kan have svingende kvalitet og fuldstændighed i modellering, vurderes det, at casene samlet set kan give et indtryk af et udsnit af renoveringer. Renoveringerne anses dog ikke som typiske eller repræsentative med hensyn til bygningstype eller tiltag. Dette udvalg forventes at blive udført i det kommende arbejde med grænseværdier for renoveringer.

Tabel 6 Kvalitet af beregninger i cases

Kilde	Modul B6 Driftsenergi	Moduler A1-3, B4, C3-4	Eksisterende materialer medtaget?	Datakilde	Benyttet
BUILD-rapport 2022:33 om klimakrav til renovering [18]	Kontrolleret Gældende BR emissionsfaktorer fra 2023	Kontrolleret Miljødata jf. LCAByg 5	Nej	Cases fra rådgivere, kontrolleret af BUILD	Ja
Frivillig bæredygtighedsklasse (2020-23) ²	Mangler dokumentation i de fleste cases. Emissionsfaktorer i LCAByg 5 baseret på COWI-rapport fra 2016	Mængder ikke kontrolleret for overensstemmelse. Miljødata jf. LCAByg 5	Ja/nej, kun i nogle cases Status af materialer (bevaret, fjernet, ny) er usikker	Cases fra rådgivere, konsistenskontrol af BUILD	Ja
Casesamling, renovering af 10 enfamiliehuse, af Transition til SBST (2023) ¹ [53]	Faktisk klimakorrigeret forbrug Fremtidige BR emissionsfaktorer fra 2025	Miljødata jf. BR18 bilag 2, tabel 7	Ja, levetider af ikke-berørte dele som ny	Casesamling udarbejdet af Transition ApS for SBST	Ja
BUILD-rapport 2023:21 om grænseværdier for nybyggeri [9]	Kontrolleret Fremtidige BR emissionsfaktorer fra 2025	Væsentlige mængder kontrolleret Miljødata jf. BR18 bilag 2, tabel 7	-	Cases fra rådgiver, kontrolleret af BUILD	Ja
Rambøll rapport (2020) [54]	Kontrolleret				
LCA af Lærtingenes Hus på Bornholm [55]	Kontrolleret Beregnete lokale emissionsfaktorer, som er lavere end BR emissionsfaktorer	Kontrolleret Miljødata fra Ecoinvent	Ja	Analyse af Det Kongelige Akademi og DTU	Ja
CO ₂ -besparelser i det almene boligbyggeri [57]				Variierende omfang af renoveringer, metode og datakvalitet. Også variation i dokumentation af beregningsforudsætninger.	Nej
Livscyklusvurderinger for historiske ejendomme (Realdania 2022) [58]				Energiforbrug kun med i enkelte cases. Afvigende enhed for klimabelastning (DGNB, BR klimakrav eller FBK). LCA metoden er ikke dokumenteret, herunder systemgrænsen, betragtningsperiode, miljødata, inventar, usikkerhed, energiforbrug, levetider mm.	Nej

1) Metode oplyst af Transition (2024)

2) Resultater og metode oplyst af BUILD (2023)

Da der ikke findes et studie over et større antal renoveringer med éns metode, skal de udvalgte renoveringscases i afsnit Udvalgte renoveringscases betragtes med forbehold. I nedenstående Tabel 7 Beregningsforudsætningers indflydelse, herunder i resultater af cases i afsnit er der derfor anført, hvilke metodiske forskelle der kan trække konklusionerne i Figur 30 i hver sin retning. Tabellen kan også bruges som kriteriekatalog til at vurdere usikkerheder i LCA ved renoveringer generelt.

Tabel 7 Beregningsforudsætningers indflydelse, herunder i resultater af cases i afsnit Udvalgte renoveringscases

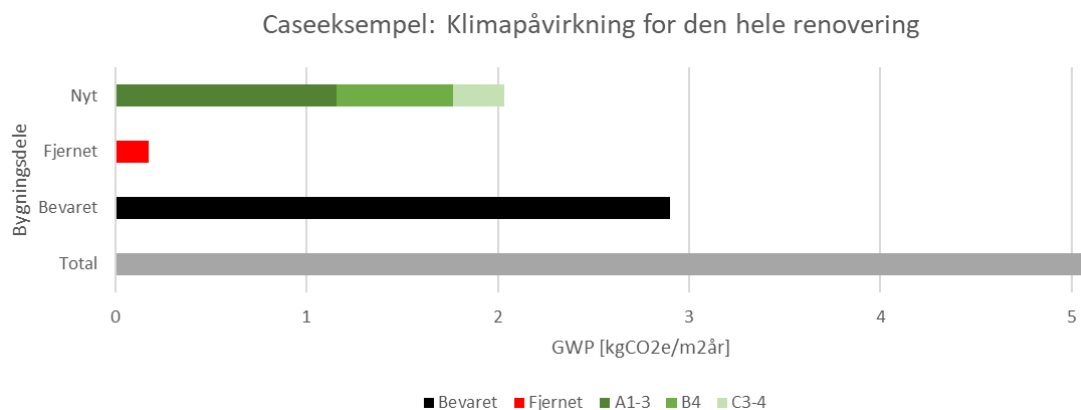
Parameter	Vurdering i forhold til afsnit Udvalgte renoveringscases	Indflydelse og konsekvens
Energibesparelse i renoveringen	Bestemmes af tilstand før og renoveringsdybde og varierer meget. Dokumentation varierer også	Besparelse er relevant i sammenligninger af renoveringsvarianter
Energiforbrug efter renovering	Variierende omfang og dokumentation.	Specielt i urenoverede ældre bygningers kan påvirkninger i B6 være dominerende og overstige nybyggeriets totale påvirkninger. Det beregnede nye forbrug er relevant for sammenligning med nybyggeri
Nye materialer i renoveringen	Bestemmes primært af renoveringens dybde og svinger derfor meget i klimapåvirkninger.	Relevant for sammenligninger med nybyggeri
Træ i eksisterende bygning	Variierende omfang og dokumentation.	Hvis træet fjernes under renovering eller bygningen nedrives, kan udledninger fra det biogene kulstof give en markant udledning
Udformning af nybyggeriet	Typisk byggeskik	I nærværende beregning anvendes kun en enkelt værdi. I en virkelig sammenligning med et bevaringsscenarie ville nybyggeriets klimapåvirkninger kunne svinge fra cirka 6 til 14 kgCO ₂ e/m ² år
Modul 6: Metode for energiberegning	Både renoveringer og nybyggeri er baseret på et beregnet energibehov.	Nyere bygninger og eksisterende bygninger med god energistandard har ofte et højere faktisk forbrug, mens ældre bygninger med dårlig energistandard et lavere, se afsnit om performance gap i DP1. â Klimapåvirkning for nybyggeri og eks. bygninger med god energistandard undervurderes á Klimapåvirkning for eks. bygninger med dårlig energistandard overvurderes
Emissionsfaktorer i modul 6 (energi)	Renoveringer er beregnet med ældre, dvs. højere emissionsfaktorer for energi, mens nybyggeri er beregnet med de kommende, lavere emissionsfaktorer for BR 2025	á Klimapåvirkning for nybyggeri undervurderes â Klimapåvirkning for renoveringer overvurderes
Eksisterende materialer	I de fleste renoveringscases mangler påvirkninger fra de eksisterende materialer, herunder eventuelt biogent materiale	â Klimapåvirkning i renoveringer undervurderes
Materialernes miljødata	Materialepåvirkninger for renoveringer er beregnet med lidt ældre emissionsfaktorer (evt. bortset fra SBST cases)	â Klimapåvirkning i renoveringer undervurderes
Case udvalg	Renoveringscases er tilfældigt valgt. Cases til nybyggeri er repræsentativt for bygningsmassen og almindelig praksis	Nybyggerier viser et retvisende bud på typisk byggeri. Renoveringscases kan ikke vurderes

Parameter	Vurdering i forhold til afsnit Udvalgte renoveringscases	Indflydelse og konsekvens
		og kriterier for typiske renoveringer er ikke fastlagte.
Byggeproces Moduler A4-5	Byggeprocessen vil typisk have en lavere klimapåvirkning ved renoveringer	Klimapåvirkning for renoveringer er nedjusteret efter bedste skøn, se afsnit 2.3

2.3.3.2 Klimapåvirkning fra eksisterende materialer

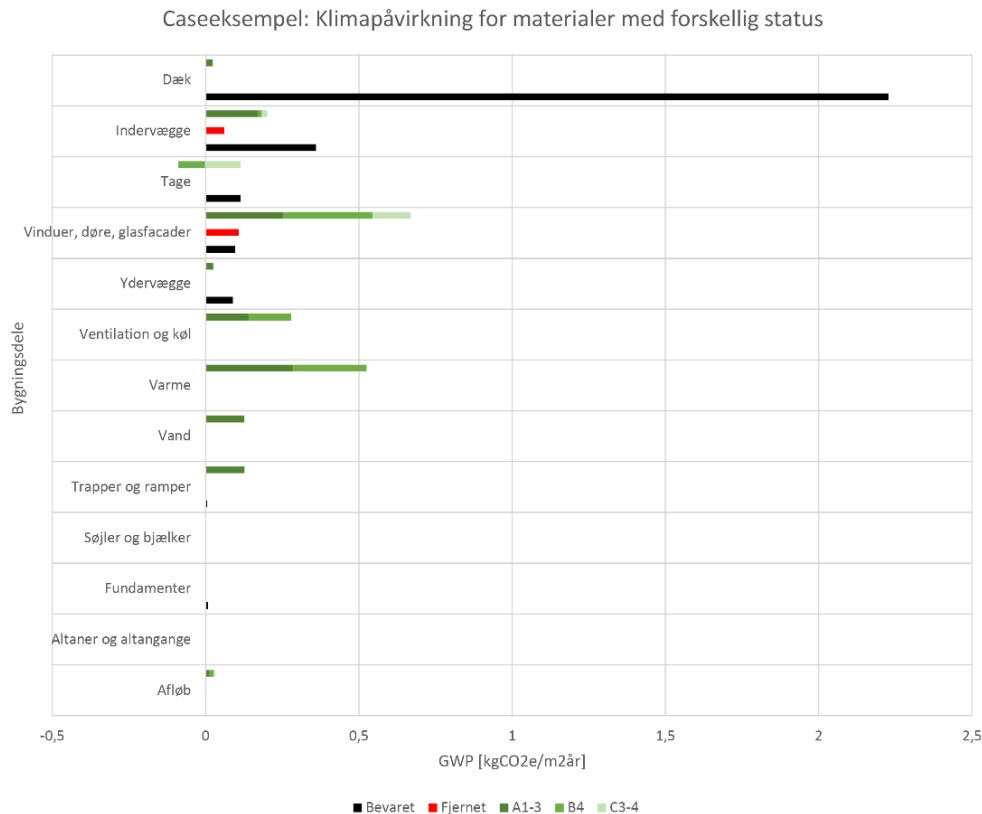
Eksisterende materials klimapåvirkning med henblik på udskiftninger og bortskaffelse er ikke blevet undersøgt systematisk i litteraturen. Disse påvirkninger er helt uafhængige af renoveringen og ligger begrundet i den oprindelige konstruktion og materialevalget. Eksisterende materialer er mindre relevant i LCA af renoveringer til optimering eller sammenligning af renoveringstiltag, men bør medtages, når en mere grundig LCA er nødvendig ved sammenligning af nedrivning/nybyg versus renovering. I det følgende illustreres det med en case, der indgik i FBK testfasen.

Bygningen er et 3-etagers etageboligbyggeri fra 1942 på 1.518 m². Der blev udskiftet faldstammer, facade og varmeanlæg. Den indleverede LCAByg model er blevet korrigeret for fejl i levetider og inddatering af bevarede, nedrevne og nye materialer, så vidt det var muligt. Ifølge Figur 31 udgør de bevarede materialer, inklusive udskiftninger og Endt levetid, den største andel af klimapåvirkninger. De nye er også relevante, mens de fjernede, ikke har større betydning. Dette skyldes, at der ikke er blevet fjernet større elementer under renoveringen, set i forhold til de mange materialer, der medregnes i en fremtidig nedrivning, se Figur 31.



Figur 31 Eksempel for klimapåvirkning fra materialer efter status i renoveringen. Beregnet i LCAByg 2023.

Dækkonstruktionen af træ dominerer regnskabet på grund af dens store mængde biogent materiale, som regnes frigivet efter endt levetid. Det største bidrag af nye materialer stammer fra nye vinduer, nyt ventilationsanlæg, nye varmerør og faldstammer. Taget viser negative emissioner, da en ny tagkonstruktion samt belægning er planlagt 5 år efter renoveringen. Dermed rykker det negative biogene bidrag fra modul A1-3 til B4. Generelt bærer påvirkninger fra de bevarede materialer præg af bygningens karakteristiske murede vægge med træbjælkelag.



Figur 32 Eksempel for klimapåvirkning fra materialer efter status i renoveringen og opdelt i bygningsdele. Beregnet i LCAbyg 2023

2.4 Opsummering

LCA er en metode under udvikling, især nu hvor den begynder at blive grundlag for politiske målsætninger og lovregulering af byggeriets værdikæde. Tendensen i udviklingen peger en udvidelse af beregningen med flere livscyklusmoduler og en præcisering af metoden. Der afprøves bl.a. muligheden for at inkludere emissioner fra selve byggeprocessen og lave LCA for flere byggeaktiviteter, herunder dybe renoveringer, i praksis og regulering. Flere nationale databaser med generiske miljødata er på vej i landene omkring os, og der udgives efterhånden et stort antal af miljøvaredeklarationer for byggevarer. Desuden sker der f.eks. gennem affaldsdirektiv og krav om selektiv nedrivning også en betydelig udvikling og forbedring i forhold til at kunne opgøre mere præcise klimapåvirkninger fra nedrevne og bortskaffede materialer. Begge tendenser vil skabe en mere retvisende praksis og lukke afstanden mellem de faktiske forhold og modellerne i reguleringen. Til trods for denne udvikling eksisterer der stadig en række åbne spørgsmål, som endnu ikke er blevet besvaret i form af harmoniserede internationale regler. Det gælder både for LCA af bygninger generelt og for renoveringer specielt, hvor der kun findes sporadiske erfaringer.

Der forventes en forstærket renoveringsaktivitet over de kommende år grundet Bygningsdirektivets implementering, herunder med kommende nationale renoveringsplaner, bedre energimærkninger og obligatoriske mål for reduktion af energiforbrug i bygninger med det højeste forbrug. Denne renoveringsaktivitet kan føre til store energibesparelser i den eksisterende bygningsmasses, som bidrager til målsætningen om dekarboniseringen af energiproduktionen. Til gengæld vil byggeaktiviteten føre til et større materialeforbrug, hvor klimabelastningen fra materialevalg risikere at opveje eller betydeligt reducere klimabelastningen ved energiforbedringer. Her kan LCA anvendes til at optimere renoveringers klima- og miljøpåvirkninger over hele livscyklussen.

Et øget pres til renovering af bygninger med det laveste energimærke kan også øge risikoen for flere nedrivninger, hvis bygherren vurderer, at et nybyggeri ville være et bedre alternativ. Her kan sammenlignende LCA mellem bevaring / renovering af eksisterende bygninger versus nedrivning /nybyggeri give en værdifuld beslutningsstøtte. Når man betragter de tilgængelige danske studier om renoveringers klimapåvirkning, ligger niveauet for størstedelen under et generisk scenarie for nedrivning og nybyggeri. Median for renoveringer ligger på 6,20 kgCO₂e/m²år i de originale studier eller 3,45 med en estimeret justering i forhold til de nye emissionsfaktorer for energiforsyning. Forholdet mellem nybyggeri og renoveringer er et øjebliksbillede og kan forskydes alt efter, hvordan teknologiudvikling kommer til at foregår for energi og materialeprocesser. Desuden må der tages forbehold for den variation af metoder, der indgik i de inkluderede casestudier. Endelig er det vigtigt at understrege, at klimapåvirkning ikke bør stå som eneste kriterium til at vurdere miljøforhold. Ved eksisterende bygninger er det især forbrug af ressourcer og eventuel recyklering af materialer, der kan have en lige så høj betydning.

De enkelte cases viser stor variation, som oftest skyldes et varierende renoveringsomfang. Minimumsniveauet er derved mindre relevant i sammenligningen, da det mindre renoveringsomfang i sagens natur vil have nemmere ved at have en lavere klimapåvirkning end nybyggeri.

Det fortsat høje energiforbrug og brug af fossile energikilder i ældre byggeri er kun i mindre grad repræsenteret i de tilgængelige studier og giver derfor ikke et retvisende billede. Kun de få cases med klimapåvirkning på op til 19 kgCO₂e/m²år giver et indtryk af, hvor høje påvirkningerne kan være, hvis ikke energiforbruget reduceres væsentligt under renoveringen og energikilden omstilles.

Absolutte referencer som CO₂e-grænseværdier på tværs af renoveringer er problematiske på grund af den store variation i udgangspunkt og mulige indgreb. I øjeblikket findes der ikke referenceværdier til eksisterende byggeri udover krav om deklARATIONER for dybe renoveringer i Norge og Nederlandene som forsøgsordninger. I mange lande som Danmark og Sverige undersøges i øjeblikket muligheden for regulering af klimapåvirkning også i renoveringer. I Danmark forslår BUILD og Strateginetværket krav om begrænsning af klimapåvirkning på komponentniveau samt grænseværdier for klimapåvirkninger i hele bygningens livscyklus for gennemgribende ombygninger.

På projektniveau kan LCA allerede i dag bidrage til at finde de mest klimarigtige løsninger, eksempelvis med variantstudier som beslutningsstøtte. Metoden er forholdsvis moden til praksis. I den videre udvikling bør der rettes fokus på følgende problemstillinger:

1. For det første skal man overveje om og i hvor stort omfang eksisterende materialer skal indgå i LCA for renovering, da incitamenter til reduktion af klimapåvirkninger er begrænsede. Derudover kan inddragelse af de eksisterende materialer medføre metodiske udfordringer med at placere ansvaret for udledning af biogent kulstof i nedrevne træmaterialer. Én mulighed for at håndtere udfordringen er at deklarerer biogent kulstof separat. På denne måde sikres der incitamentet til at bevare træ i bygninger og lagring af kulstof i bygninger synliggøres som separat indikator. Denne operation kræver miljødata fra den nyeste standard.
2. For det andet skal man være opmærksom på, at LCA'en kun medtager nuværende og fremtidige påvirkninger, og derfor heller ikke tager højde for den værdi af materialer, som nedrives eller udskiftes og som endnu ikke har "udtjent deres estimerede levetid". Metoden skaber derved ikke et incitament til at undgå fx hyppige ombygninger, men bidrager kun til at reducere emissionerne i planlagte ombygninger.

3. For det tredje bør en livscyklustilgang ikke kompromittere den videre energieffektivisering af bygningsmassen, da reduktion af energibehov er en forudsætning for omstillingen af energiforsyningen til vedvarende energi, som er en knap samfundsressource. Det betyder, at LCA i energirenoveringer bør foregå med et mål for energieffektivisering som betingelse og derefter med LCA til yderligere optimering af materialeindsatsen hertil. Norske FutureBuilt viser en mulighed med en grænseværdi for hele livscyklussen kombineret med en separat grænseværdi for driftsenergi.

2.5 Litteraturgennemgang

Emne	Reference	Indhold
Lovkrav Nybyg Renov.	[4] Bygningsdirektivet (Rådet for den Europæiske Union, revision (Europaparlamentet, Ministerrådet, 2024)	<p>Mål/problem: Regulering af ny og eksisterende byggeri for at opnå netto-nul-emissions byggeri i 2050.</p> <p>Metode: Ændring af gældende EU direktiv om bygningers energieffektivitet hen imod byggeriets klimapåvirkning over hele dens livscyklus. Den nyeste version er udgivet af Rådet for Den Europæiske Union i december 2023. Eftersom forhåndsftalen er kommet på plads forventes denne version at blive vedtaget i 2024.</p> <p>Resultater: Nybyggeri skal være nulemissionsbygninger fra 2028 (offentlige ejere) hhv. 2030 (private). Der skal udføres klimaberegninger for nybyggeri med større brugsareal end 1.000 m² fra januar 2028 og alle bygninger fra januar 2030. Alle livscyklusmoduler fra EN 15978 skal medtages og resultatet bliver en del af energimærket. Nationale grænseværdier for nybyggeri skal introduceres senest i 2030 med plan om stramninger i 2027 frem mod klimaneutralitet.</p> <p>For renovering af <u>eksisterende byggeri</u> skal der udarbejdes en national renoveringsplan med renoveringstakter for 2030, 2040 og 2050. Nye minimumskrav til offentligt og erhvervsbyggeri: Senest i 2030 skal de 16% energimæssigt dårligste bygninger være renoveret hhv. 26% i 2033. Boligmassens gennemsnitlige primærenergiforbrug skal reduceres med 16% i 2030 og 20-22% i 2035, hvor 55% af reduktionen komme fra renovering af de dårligst performende bygninger. Øvrige relevante nye krav er bl.a. flere bygningsintegrerede solenergianlæg via krav til nye og eksisterende bygninger / renoveringer. Nyt renoveringspass skal understøtte bygningssejere i renoveringsindsatsen, herunder med langsigtede plan.</p>
Politik Nybyg Renov.	[7] National strategi for bæredygtigt byggeri (Indenrigs- og Boligministeriet, 2021)	<p>Mål/problem: Strategien udgør regeringens sektorhandlingsplan indenfor bygge- og anlægssektoren og understøtter det politiske mandat for en række igangværende og kommende initiativer, herunder bygningsreglementets klimakrav.</p> <p>Metode: Politisk strategi, der formulerer konkret handling som følge af Klimalovens mål om at Danmark skal reducere sin CO₂-udledning med 70 pct. i 2030 sammenlignet med 1990. Anbefalingerne fra Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren er indgået i overvejelserne.</p> <p>Resultater: De væsentlige initiativer for nybyggeri og renovering omfatter 1) en lovregulering med afsæt i den frivillige bæredygtighedsklasse, 2) Trinvis indfasning og stramning af CO₂e-krav grænseværdi for bygninger frem til 2030, 9) Analyse af potentiale for mere bæredygtige konstruktioner, 10) Genbrug i bygninger, 11) Klimavenlige byggematerialer, 12) Retvisende miljødata for materialer, 13) Helhedsvurderinger ved renoveringer, 16) Eksempelsamling for billigt bæredygtigt byggeri, 19) Måltrettet energieffektiviseringsindsats, 20) Tilskud til energibesparelser i husholdninger og erhverv</p>
Analyse Nybyg	[9] BUILD-rapport 2023:21 Klimapåvirkning fra nybyggeri - analytisk grundlag til fastlæggelse af ny LCA baseret grænseværdi for bygningers klimapåvirkning fra 2025 (Tozan et al., 2023)	<p>Mål/problem: Opdatering af CO₂e-grænseværdi for bygningers klimapåvirkning i henhold til den nationale strategi for bæredygtigt byggeri [7]</p> <p>Metode: Analyse af 163 repræsentative bygninger i henhold til aktuel LCA-metode jf. bygningsreglementets klimakrav.</p> <p>Resultater: Resultater er vist i Tabel 1. Jf. strategien skal grænseværdien for 2025 ligge på et niveau, som 2/3 af nybyggeriet kan overholde, det vil sige 9,9 kgCO₂e/m²år. Mulig differentiering vil være enfamiliehus (9,43), etagebolig (9,14), rækkehus (8,53) mm. Det ville nedbringe nybyggeriets påvirkninger med 3,2% ift. 2023 eller 0,06% af danske globale påvirkninger.</p>
Analyse Renov.	[12] Helhedsvurdering ved renovering (BUILD, 2022)	<p>Mål/problem: Målet er at skabe et vidensgrundlag til fremme af hensigtsmæssige og bæredygtige renoveringer ud fra et helhedsperspektiv. Rapporten analyser (1) Tendenser for renovering (2) Årsager til nedrivning af enfamiliehus og (3) Klimapotentiale ved renovering kontra nedrivning/nybyg og (4)</p>

Emne	Reference	Indhold
		<p>Metode: (1) Spørgeskemaundersøgelser fra Energistyrelsen og Bolius. (2/3) BBR data og spørgeskemaundersøgelse. Køkken og bad medregnes ikke i klimavurderingen.</p> <p>Resultater: Meget detaljerede resultater i alle delanalyser (1-3) samt anbefalinger til kriterier for en helhedsvurdering i projekter med eksisterende bygninger (4). Specifikt finder delanalysen (1) en opsummering af typiske tiltag for enfamiliehuse og etageejendomme. Årsager for renovering inkluderer primært nedslidning, utætheder og skader mm. derefter energioptimering og forskønnelse. Renoveringsraten er cirka 34% for huse fra før 1990. (2) Nedrivning foretages oftest af nye ejere. 21% af aktiviteter er Nedrivning/nybyg. Flest nedrevne huse fra 1900-1972, under 100 m² og med dårligt energimærke. Gennemsnitlig levetid er 85 år. (3) Det er vigtigt med en hurtig energieffektivisering. Nedrivningsprocessen (selv uden at de eksisterende materialers produktion er medregnet) kan også have en betragtelig klimapåvirkning (6-20%) med indflydelse på sammenligningen.</p> <p>Det konkluderes at for etageboliger og kontorer er renoveringer typisk klimamæssigt rentable overfor nedrivning/nybyg. Dette gælder også for enfamiliehuse, men i lidt mindre grad. Da små nybyggerier har en større andel driftsenergi (35%) i den samlede klimapåvirkning sammenlignet med større bygninger (19%), drager enfamiliehuse i særlig grad nytte af den igangværende dekarbonisering af energiforsyning.</p>
<p>Sverige</p> <p>Nybyg</p> <p>Renov.</p>	<p>[13] Report 2023:24 Limit values for climate impact from buildings and an expanded climate declaration (Boverket, 2023)</p>	<p>Mål/problem: Opdrag fra regeringen til at udvikle forslag til krav om klimadeklaration for nybyggeri, renoveringer og tilbygninger. Metode, data og optimeringstiltag forventes mere eller mindre følge krav til nybyggeri. En obligatorisk deklaration specifikt for renoveringer forventes dog at skubbe til innovation indenfor løsninger, som er typiske i renoveringsprojekter, herunder tekniske bygningsinstallationer og fast inventar.</p> <p>Metode: Ifølge høring ønsker et flertal at indføre klimadeklaration i renoveringer. Tilgangen er at identificere konkrete bygningsændringer der skal underkastes kravet. På denne måde undgå man udfordringen at stille generelle krav til meget varierende projektyper. Følgende bygningsændringer med høj klimapåvirkning ønskes at være underlagt kravet: (1) vinduesudskiftning, nye installationer, større ændringer af bærende konstruktioner og ydervægge (2) Ændringer i anvendelse (3) frekvensen i ombygninger i kontorlejemål (4) omfangsrige værdiløft i etageejendomme.</p> <p>Der tilstræbes kun at stille krav i ombygninger, som i forvejen er underlagt krav om byggetilladelse. BR ombygningsbestemmelsen er ikke egnet som udløser til klimakrav, da begrebet er uklart defineret og kun få projekter ville være omfattet. I stedet bør kravet kobles til bestemmelsen om "øvrige ændringer end tilbygning der kræver byggetilladelse", som omfatter (1) Væsentlig anvendelsesændring (2) Nye boligenheder eller nye rum til erhverv (3) Udvendige ændringer (forudsætter lokalplan). Det er lagt op til kun at medtage 1 og 2. Værdiforøgende foranstaltninger udover disse ændringer kræver ikke byggetilladelse og vil derfor ikke være omfattet krav om klimadeklaration. Undtaget fra krav om byggetilladelse og dermed klimadeklaration er enfamiliehuse der større en 100 m² med ejere, der er juridiske personer som fx virksomheder.</p> <p>Tilbygninger er ikke være omfattet.</p> <p>Resultater: Der forslås en klimadeklaration til ombygninger. En grænseværdi anbefales ikke, da ombygninger har stor variation og fordi der ikke anbefales at begrænse nødvendige ændringer som levetidsforlængelse og energieffektivisering. Det vurderes at deklARATIONEN ville skabe et yderligere incitament til industrien for at udvikle grønnere produkter gennem synliggørelse af påvirkninger. Krav skal kobles til eksisterende definitioner og kun gælde for arbejder, der kræver byggetilladelse og dermed kontakt til myndigheder. Derudover skal kun arbejder med høj klimabelastning reguleres uden at skabe barrierer for vedligehold og energiforbedringer.</p> <p>Forslag til krav: Ombygninger, som kræver byggetilladelse, skal deklarere klimapåvirkning i moduler A1-3, A4 og A5 (byggeaffald). Der sikres en bagatelgrænse ved kun at regulere ændringer underlagt byggetilladelse og høj klimapåvirkning. De inkluderede moduler følger nybyggeri med undtagelse af energiforbrug i A5, som er udeladt, da det forventes at være ubetydende. Eksisterende materialer er behøver ikke medregnes med henvisning til EN 15978, hvor en ny livscyklus begynder med renovering. I henholdt til eksisterende klimakrav til nybyggeri er hverken B6 eller Endt Levetid medtaget. B6 er ikke inkluderet, da driftsenergi er reguleret udenfor klimakravene. Endt Levetid ikke med på grund af ubetydende bidrag ift. administration. Flere moduler kan implementeres, når harmonisering med andre lande er ønsket, dog uden forventning om en bedre styrende effekt.</p> <p>Tilbygninger: Ikke inkluderet i klimagrav for nybyggeri. Modsat de danske klimakrav er tilbygninger i Sverige opfattet som ændringer. Skal ikke omfattes af klimakrav, da det ikke kan forsvares i en samfundsmæssige cost/benefit analyse. Derudover bør grænseværdier udelukkende gælde for tilbygninger, da de samme grænser fra nybyggeri ville være for lempelige for tilbygninger.</p>
<p>Metode</p> <p>Renov.</p>	<p>[14] Branchevejledningen i LCA ved renovering (</p>	<p>Mål/problem: Manglende vejledning til LCA metode for renoveringer</p> <p>Metode: Kortfattet guide. Appendiks indeholder beregninger for 4 cases.</p>

Emne	Reference	Indhold
	Teknologisk Institut og BUILD, 2016)	Resultater: Udførlig anvisning om LCA-metode mht. systemgrænse, inventar af materialer, data osv. Resultater af casestudier indeholder kun grafer og ikke talværdier for den samlede livscyklus.
Analyse Renov.	[15] Livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer – miljømæssige konsekvenser belyst via casestudier (SBI 2015:29)	Mål/problem: Manglende viden om renoveringers miljøpåvirkninger set i et livscyklusperspektiv. Metode: Undersøgelse af 2 etageejendomme, hvor der blev gennemført kvalitative bygningsforbedringer som energieffektivisering, bedre indeklima og øget beboerkomfort. LCA metode jf. BR2023. De bevarede og fjernede materialer er ikke medregnet i slutresultatet. Resultater: Klimapåvirkning for indlejrede påvirkninger for SFII er 2,7 hhv. for TP 1,6 kgCO ₂ e/m ² år. Andelen af de indlejrede påvirkninger er for A1-3 (65%), B4 (27,5%) og C3-4 (8,5%). Sammenlignet med daværende DGNB reference for nybyggeri er indlejrede påvirkninger af renoveringen omkring 25-40% og B6 90-100%. Det konkluderes at renoveringer kan være fordelagtig sammenlignet med nybyggeri – dog uden at beregne påvirkninger fra selve nedrivning. SFII:
Politik Renov.	[17] Klimakrav til renovering - Metode og grænseværdi (Strateginetværk for bæredygtigt byggeri, 2023)	Mål/problem: Der mangler en metode til at sikre at BR grænseværdier fører til faktiske CO ₂ e-besparelser i nybyggeri. Notatet indeholder de præciserede anbefalinger til renoveringer efter netværkets første notat fra marts 2023. Metode: Strateginetværkets temagruppe om data, LCA og dokumentation har udarbejdet anbefalinger baseret på en række workshops. Anbefalingerne er baseret på intentionerne i regeringens nationale strategi for bæredygtigt byggeri. Netværket består af repræsentanter fra byggebranchen og støttes af GI og Realdania. Resultater: 1) Kun renoveringer Over 1.000m ² skal omfattes i BR 2025, 2) opdeling i simple (2 ændrede bygningsdele) og dybe (over 2) renoveringer, 3) Simple renoveringer skal reguleres på bygningsdelsniveau, for dybe kan også vælges bygningsniveau (fra 2027), 4) En klimabelastningsramme definerer grænser for de enkelte bygningsdele, som tilsammen skal overholdes jf. varmetabsramme (fra 2027), 5) Klimapåvirkning af de nye og fjernede materialer er medtaget, men ikke fra energiforbrug og eksisterende materialer. Der er ikke en anbefaling om, hvilket omfang af renovering der skal udløse overholdelse af krav og hvordan kommune kan håndtere krav, som ikke er underlagt byggetilladelse.
Analyse Metode Renov.	[18] Klimapåvirkning fra renovering – muligheder for udformning af grænseværdier til LCA for renovering (BUILD 2022:33)	Mål/problem: Projektet analyserer muligheden for udvikling af krav til klimapåvirkningen af renoveringer. Kravet skal kunne reducere CO ₂ e-udledningen i renoveringer, men samtidig være overkommelige at gennemføre i praksis. Metode: Omfattende LCA af 29 større renoveringer og analyse af forskellige tilgange og deres konsekvenser. Resultater: Generelt bør et LCA-krav spille sammen med BR energikravene, så der undgås uønskede effekter. Der er udviklet fem forskellige definitioner af grænseværdier: (1) Målestok for den samlede bygning (2) Målestok for renovering af bygningsdel (3)/(4) klimamæssig tilbagebetalingstid af energirenoveringer for bygninger / bygningsdele (5) LCA-reference som målestok for renovering (6) krav til sammenligning af løsninger (relativ grænse). Der anbefales at stille krav om overholdelse af grænseværdi for renovering over 1.000 m ² , men kun deklARATION i mindre projekter, enten for bygningsdele eller hele projektet. Der foreslås at dybe renoveringer skal overholde grænseværdi for bygningen. Tilbygninger bør behandles som nybyggeri. Rapporten kortlægger også renoveringspotentialer og renoveringsomfanget i Danmark.
Analyse Renov.	[22] An LCA methodology for assessing the environmental impacts of building components before and after refurbishment. (Obrecht et al., 2021)	Mål/problem: LCA ved renoveringer overseer ofte bygningers tidligere livscyklus og påvirkninger Metode: Metodeudvikling med illustrative beregninger. Resultater: Ny metode for inddragelse af eksisterende materialers historiske påvirkninger fra materialers første livscyklus, det vil sige fra etablering til renovering i dag. Derved præciseres metoden for bestemmelsen af de miljøpåvirkninger, som ikke er blevet betalt tilbage i form af brugsfunktion, dvs. en form for miljømæssig tilbagebetalingsværdi (residual value). En række specifikke allokeringemetoder til at fordele påvirkninger mellem de to livscykluser bliver præsenteret og deres effekt sammenlignet.
Analyse Renov.	[23] Resource use and greenhouse gas emissions of office fit-outs – a case study. (Liljenström & Malmqvist 2016)	Mål/problem: Store mængder materialer og komponenter fjernes ofte, selv om de ikke har nået slutningen af deres levetid, selv i tilfælde af såkaldte lejertilpasninger af kontorer, som ofte opstår ved ændring af lejere eller genforhandling af husleje for kontorer. Metode: Case studie af kontorbyggeri i Stockholm Resultater: Fem større tilpasninger af lejere (herunder fjernelse og udskiftning af visse indvendige vægge) repræsenterer omtrent den samme klimapåvirkning som opførelsen af en ny struktur. Sådanne tilpasninger af lejermål en gang om ti år er ikke ualmindelige ifølge forfatterne.

Emne	Reference	Indhold
Analyse Nybyg	[24] CO ₂ -krav og særlige bygningsforudsætning er - udformning af model til beregning af overskridelse af grænseværdi ved øget klimapåvirkning grundet særlige bygningsforudsætning er (Hasselsteen et al., 2022)	<p>Mål/problem: Manglende viden om klimapåvirkninger i byggerier, der afviger fra konventionelt kontor- og boligbyggeri og identifikation af årsager til særligt høje påvirkninger fra byggematerialer. Behov for en undtagelsesregel for bygninger, som har et berettiget behov for en større klimapåvirkning grundet bygningens anvendelse.</p> <p>Metode: Identifikation af særlige bygningsforudsætninger, som kan medføre et yderligere materialeforbrug og dermed klimapåvirkning. Analyse af bygningsdelers typiske niveau af klimapåvirkning.</p> <p>Resultater: Metode til beregning af en tilladt overskridelse af BR grænseværdi på komponentbasis og i forhold til en typisk påvirkning af bygningsdelen. Modellen og referenceværdier danner grundlag for BR § 298, stk. 4 om særlige forhold.</p>
Analyse Renov.	[25] Klimaeffektiv renovering - Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering (BUILD og Arkitema, 2021)	<p>Mål/problem: Energirenoveringer er afgørende for dekarboniseringen af bygningsmassen. Fysiske renoveringer medfører dog en klimamæssig materialeomkostning. Hvor stor er denne omkostning ved vinduesudskiftning, efterisolering og opsætning af solceller? Og hvor lang tid tager det at udligne de materialemæssige påvirkninger med energibesparelsen?</p> <p>Metode: Efterisolering blev undersøgt for 1 m² klimaskærm, de varierede parametre er isoleringstiltag, isoleringsniveau før/efter, isoleringsmateriale, miljødata/EPD. Vinduesudskiftning blev undersøgt som en sammenligning af 2 og 3-lagsruder samt en blanding, baseret på en række energirammeberegninger, de varierede parametre er orientering, bygningstype og miljødata/EPD. Solcelleanalysen sammenligner klimapåvirkning af 12 produkter. Der blev desuden udført usikkerhedsanalyser for en række andre parametre.</p> <p>Resultater: De mest gængse isoleringstiltag er også klimamæssigt rentable. Efterisoleringen kan yderligere optimere klimabalancen ved at vælge isoleringsmateriale, underkonstruktion og beklædninger med fokus på lave emissioner. De betaler sig hurtigst hjem at efterisolere i bygninger med dårlig energimæssig ydeevne. Vinduesudskiftning med 3-lags ruder er som udgangspunkt den bedste løsning, bortset fra dårlig isolerede bygninger, hvor 3-lag mod nord og 2-lag mod syd, øst og vest giver bedre resultater. Solcellestudiet viser, at der kan være store forskelle i produktionens klimabelastning og at beregningsmetoden for solceller i bygningers LCA bør revurderes, da solcellernes vigtige rolle til den grønne omstilling af energiforsyningen ikke kommer tilstrækkeligt til udtryk.</p>
Analyse Nybyg	[28] Harmonised Carbon Limit values for buildings in the Nordic Countries - Analysis of the Different Regulatory Needs (Balouktsi, 2024)	<p>Mål/problem: Kortlægning af forskelle og ligheder i de nordiske landes LCA metoder og tilgange til grænseværdier for klimapåvirkninger af bygninger. Målet er at udpege potentialer til harmonisering af tilgange til én fælles Nordisk område for lavemissions-byggeri. Mere sammenlignelige metoder og køreplaner for implementering giver virksomheder og interessenter bedre muligheder for at skabe positiv konkurrence om de bedste løsninger og bedre muligheder for en fælles indsats, der undgår modstridende incitament. Dette er et delprojekt i Nordic Sustainable Construction initiativet af det Nordiske Ministerråd. De involverede lande er Sverige, Norge, Finland, Danmark, Island og Estland.</p> <p>Metode: Denne rapport (og slutrapporten, som udkommer i sommer 2024) støttes af de nationale myndigheder for bygningsregulering (i Danmark SBST). Data blev samlet ind via litteraturstudier, samarbejde i en nordisk arbejdsgruppe samt møder i en international ekspertgruppe.</p> <p>Resultater: Rapporten giver en detaljeret, aktuel status i udvikling af klimadeklarationer og grænseværdier, som lige nu er under udvikling i mange lande. Anbefalinger inkluderer 1) En omkostningseffektiv implementeringsstrategi, 2) Grænseværdier bør differentieres efter bygningens funktion, 3) Klimadeklaration for dybe renoveringer bør indføres, 4) Det udnyttede areal bør forberedes som fælles arealreference, 5) Særlig fokus skal lægges på upfront carbon, 6) Biogent carbon bør opgøres separat, 7) Standard- og generiske miljødata bør udvikles med ensartet tilgang, 8) Klassifikation af bygningsmodel bør kunne oversættes automatisk fra land til land.</p>
[49] analyse Nybyg Renov.	[41] LCA of climate friendly construction materials (Alig et al., 2020)	<p>Mål/problem: Forventet udvikling af materialeproduktion af byggevarer 2030-2050 set ud fra en schweizisk vinkel.</p> <p>Metode: LCA af udvalgte byggevarer baseret på input til produktionsform og affaldsbehandling via interviews og litteraturstudie.</p> <p>Resultater: I en sveizisk rapport har man prøvet at estimere de klimamæssige reduktionspotentiale, der ligger i produktion af byggematerialer. Det samlede besparelsespotentiale anslås med 50-60% for de materialerelaterede påvirkninger af bygninger. Rapporten advarer dog også, at den ensidige reduktion af drivhusgasudledning vil føre til en forøget miljøpåvirkning i andre kategorier end drivhusgasser såsom for gipsplader, lineoleum og stål.</p>
Politik	[45] Metode til fastsættelse af fremtidige CO ₂ -	Mål/problem: Der mangler en metode til at sikre at BR grænseværdier fører til faktiske CO ₂ -besparelser i nybyggeri. Notatet opsummerer de prioriterede anbefalinger fra Strateginetværket til implementering i 2025.

Emne	Reference	Indhold
	grænseværdier (Strateginætværk for bæredygtigt byggeri, november 2023)	<p>Metode: Strateginætværkets temagruppe om data, LCA og dokumentation har udarbejdet anbefalinger baseret på en række workshops. Anbefalingerne er baseret på intentionerne i regeringens nationale strategi for bæredygtigt byggeri. Netværket består af repræsentanter fra byggebranchen og støttes af GI og Realdania.</p> <p>Resultater: Anbefalinger inkluderer:</p> <p><i>Lukning af performance gap:</i> 1) Diskontering af fremtidige livscykluspåvirkninger, 2) Flere moduler skal medtages, 3) Nedrivning forud for nybyggeri skal ikke længere være klimamæssigt gratis, 4) Konservative defaultværdier, 5) Mere repræsentative nationale miljødata, især for Endt Levetid, 6) En køreplan for den videre udvikling af bygningsmodellen, 7) Bygningsmodellen kan differentieres afhængigt af typologi, 8) Inddragelse af udeområde og forsyning på grunden.</p> <p><i>Fastsættelse af grænseværdier:</i> 9) Analyse af bottom-up reduktionspotentialet, 10) Referenceværdier for bygningsdele, 11) Hensyntagen til top-down reduktionsmål, 12) Grænseværdier differentieret for anvendelse (skærpet for enfamiliehuse pga. lempeligere BR-krav), som skal ramme regulering mere specifik og reducere behov for unstagelse for særlige forhold, 12) Arealfaktor til at korrigere skærpe grænseværdi for store boliger.</p> <p>Grænseværdi for alt nybyggeri: 13) Alle anvendelser, herunder uopvarmet og tilbygninger skal omfattes</p>
Analyse Nybyg	[46] Klimapåvirkning fra 45 træbyggerier (Andersen et al., 2023)	<p>Mål/problem: Denne rapport har fokus på det klimamæssige potentiale for brug af biobaserede materialer i byggeriet</p> <p>Metode: Analysen blev gennemført før BR klimakravene er trådt i kraft, men anvender de gældende definitioner og emissionsdata for materialer og energi. Tekniske installationer er erstattet med generiske påvirkninger. De indsamlede cases havde ikke til formål at nedbringe klimapåvirkningen.</p> <p>Resultater: Fra de 45 cases ligger 41 under de BR 2023 klimakrav på 12 kgCO₂e/m²år, 14 ligger under lavemissionsklassen på 8 kgCO₂e/m²år. En videnskabelig artikel med en analyse af cases er på vej.</p>
Analyse Nybyg	[47] Boligbyggeri fra 4 til 1 planet – 25 best practice cases (Garnow et al., 2023)	<p>Mål/problem: Demonstration af nybyggeri med lav klimapåvirkning.</p> <p>Metode: Indsamling af 25 boligbyggerier. LCA-metode i henhold til BR klimakrav fra 2023.</p> <p>Resultater: Fra de 25 cases overholder 23 cases BR lavemissionsklassen (8 kgCO₂e/m²år) og halvdelen ligger under 6 kgCO₂e/m²år, som er 50% af den aktuelle grænseværdi på 12. De fleste cases er baseret på biogene materialer som træ og halm. Der kan ses alternative metoder til fundering og terrændæk med lavere klimapåvirkning.</p>
Analyse Politik Nybyg	[48] Reduction Roadmap 2.0	<p>Mål/problem: Der mangler en metode til bestemmelse af byggesektorens budget af tilladte drivhusgasudledninger, hvis Danmark skal overholde landets bidrag til Parisaftalens 1,5 graders mål.</p> <p>Metode: Den forblivende mængde drivhusgasser, som kan udledes inden 2030, fordeles på lande og sektorer og til sidst den enkelte bygning (top-down metode). Metoden bruger gældende LCA metode i BR.</p> <p>Det bemærkes at de nye, væsentligt lavere emissionsfaktorer for energi til brug i BR 2025 er endnu ikke indregnet. Omvendt ville den faktiske klimapåvirkning være større, hvis alle livscyklusmoduler (+2,57 kgCO₂e/m²år) og det faktiske energiforbrug inkluderes.</p> <p>Resultater: Tidsplan med trinvis reduktion af boligbyggeriets klimapåvirkning fra 2020 frem mod 0,4 kgCO₂e/m²år (1,5 graders scenarie) i 2030 svarende en 96% reduktion. To alternative planer med længere tidshorisont frem mod hhv. 2032 og 2036, som med mindre sandsynlighed sikrer målsætningen. Grænseværdier er 4,50 (for 2025), 3,48 (2026), 2,45 (2027), 1,43 (2028) og 0,40 (2029).</p>
Analyse Nybyg	[49] Supporting the development of a roadmap for the reduction of whole life carbon of buildings - final report (Rambøll, 2023)	<p>Mål/problem: Der er et behov for et udgangspunkt for bygningsmassens nuværende klimapåvirkning for at fremskrive udviklingen og udforme tiltag til at opnå klimamålene for byggesektoren.</p> <p>Metode: Bottom-up modellering af bygningsmassen ved hjælp af arketyper, der repræsenterer forskelle i byggeriet og hvis struktur og udvikling kan beregnes mere præcist en med top-down metoden. Derudover inddragelse af socioøkonomiske udviklinger.</p> <p>Resultater: Klimapåvirkninger over bygningers livscyklus udgør 41% af emissioner i EU i referenceåret 2020. De indlejrede påvirkninger er 21%, hvor 15% kommer fra nybyggeri og <u>kun 6% fra eksisterende byggeri</u>. Derimod udgør driftsenergi hovedparten med 79% af alle emissioner. Forholdet 6% vs. 79% viser tydeligt klimapotentialt i energieffektiviseringen af eksisterende bygninger her og nu og hvorfor det har den højeste prioritet i det nye Bygningsdirektiv. For at opnå det europæiske klimamål af netto-nul-emissions byggeri i 2050 er følgende tiltag nødvendige, som går udover de allerede planlagte initiativer: En øget renoveringsrate fra 1,5 til 3% årligt for at</p>

Emne	Reference	Indhold
		<p>nedbringe energiforbruget, en udfasning af fossil energiforsyning og en opbremsning af det forventede nybyggeri.</p> <p>Usikkerhed: Scenariet for et langsommere voksende etageareal antager en reduktion i den årlige nybyggerirate fra 1,5 til 0,4%. Dette opnås ved en reduktion af etagearealet per person på 20% og en begrænsning af nybyggeri kun til at erstatte teknisk uforvarlige bygninger. Rapporten medtager ikke potentialer af omstilling af den mest emissionstunge materialeproduktion (cement, metal, glas, mineralfibre, plast) til grøn energi.</p> <p>Perspektiv: Selvom energiforsyningen bliver grønnere og bygningsmassen bliver mere energieffektiv i gennemsnit med flere nye bygninger, viser rapporten at en øget renoveringsindsats er ryggraden i at opnå byggeriets klimaforpligtelser.</p>
[48]analyse Nybyg	[51] Towards embodied carbon benchmarks for buildings in Europe - #2 Setting the baseline: A bottom-up approach (Röck et al., 2022)	<p>Mål/problem: Manglende fokus hos lovgivere på en udvikling, der reducerer byggeriets kulstofbudgetter, så det flugter med Parisaftalens målsætninger. Her er især de indlejrede klimapåvirkninger underbelyst, som udgør størstedelen af nybyggeriets upfront carbon, det vil sige påvirkninger før ibrugtagning. Manglende repræsentative data om bygningers indlejrede klimapåvirkninger står i vejen for at kunne fremskrive vejen fra en baseline til næsten nul-emissionsniveauet.</p> <p>Metode: Rapporten er en del af en serie, der hver især belyser forskellige aspekter af CO₂e-grænseværdier for bygninger. Grænseværdier beregnes ud fra jordens samlede forblivende mængde af mulige udledninger indenfor 1,5 graders opvarmingsscenariet. Fra det samlede budget beregnes fem landenes og derefter byggesektorens budget, for at ende med bygningers individuelle grænseværdi i 2030, baseret på 769 cases. Rapporten beskriver vejen derhen og er det internationale pendant til det danske Reduction Roadmap.</p> <p>Resultater: Metode til vurdering og løbende opfølgning af indlejrede udledninger af bygninger og anbefalet proces til udvikling af grænseværdier i henhold til landenes kulstofbudget. Spændet i de undersøgte cases viser en faktor 2 fra de laveste påvirkninger til de højeste for boliger og faktor 12 for andre anvendelser. En del af forklaringer er betydelige metodeforskelle, hvorfor resultater kan ikke sammenlignes på tværs af lande. Den store variation i udledninger per person indikerer et sufficienspotentiale, det vil sige en (nøjsom) reduktion i omfanget af byggeri til fordel for klimaet.</p>
Analyse Nybyg Renov.	[50] BUILD-report 2023:23 Analysis of new modules in connection with calculation of the climate impact of buildings (Balouktsi & Birgisdottir, 2023)	<p>Mål/problem: Bidrag til klimapåvirkning og definition af scenarier er ikke udviklet for de manglende moduler i livscyklussen i Danmark.</p> <p>Metode: Granskning af standarder, internationale erfaringer og estimater af konsekvensen for 10 cases.</p> <p>Resultater: Estimater i kgCO₂e/m²år er 0,53 (B1), 0,47 (B2/3), 0,08 (C1) og 0,07 (C2), til sammen 1,15. Anbefalinger til dokumentationskrav er givet.</p>
Analyse Renov.	[54] Analyse af CO ₂ -udledning og totaløkonomi i renovering og nybyg (Rambøll, Sørensen & Mattson, 2020)	<p>Mål/problem: Der har manglet et systematisk, sammenlignende LCA studie af forholdet mellem bevaring/renovering versus nedrivning/nybyggeri.</p> <p>Metode: Komparativ LCA og LCC variantstudie. af 16 bygninger, kombineret med fire scenarier. Scenariet for den eksisterende tilstand bliver sammenlignet med 3 renoveringsscenarier: 1) Tagisolering, 2) Tag og ydervægger og 3) Tag, ydervægger og installationer. Bygningstyper er enfamiliehuse/rækkehuse, etageboliger, offentligt byggeri og erhvervsbyggeri. Livscyklusmoduler omfatter FKB/BR18 klimakrav.</p> <p>Energiforhold i nybygscenariet anvender samme geometri som renoveringer, men med BR15-kompatible komponenter og installationer. Energi er beregnet med Be15 eller Be18 metoden. Energiforbrug er for nogle cases taget fra litteratur. Klimapåvirkning for hhv. energi og materialer for den respektive bygningstype er taget fra BUILD-rapport 2021:13.</p> <p>Resultater: Renoveringen har oftest den laveste klimapåvirkning, hvor dybere indgreb giver de bedste resultater. Kun for en enkelt enfamiliehuscase er nybygscenariet bedre.</p>
Analyse Renov.	[55] Comparative Life-Cycle Assessment of restoration and renovation of a traditional Danish farmer house. (Støttet af Realdania, Artikel: Serrano et al, 2022)	<p>Mål/problem: For lidt viden om LCA af forskellige tilgange til bevaring/renovering af historiske bygninger.</p> <p>Metode: I forskningsprojektet "Livscyklusanalyse af transformation af et gammelt hus" blev der udført komparativ LCA af (1) restaurering versus (2) renovering uden hensyntagen til bevaringsværdi af Lærtingernes Hus fra 1887. materialer modelleret med Ecoinvent data, hvis niveauforskel til de gældende generiske data i BR, bilag 2, tabel 7 er ukendt.</p> <p>Energi: Varmetabsberegning til bestemmelse af energibehov</p> <p>Energiforsyning: Varmepumpe. Emissionsfaktorer taget fra Bornholm forsyning, som er lavere end BR18, bilag 2, tabel 8.</p> <p>Vinduer: 1-forsatsrude, 2-udskiftning med 2-lags træ-alu vindue og 20 års levetid</p> <p>Indv. vægge: 1-lufttørrede lersten, 2-gips/mineraluld</p>

Emne	Reference	Indhold
		<p>Ind. isolering: 1-75 mm isolering med kalkpuds, 2-mineraluld 300mm med gipsplade</p> <p>Infiltration, som ville være større i restaureringen, er ikke medregnet</p> <p>Resultater: Andel af modul 6 for energiforbrug i bygningens klimapåvirkning er meget lavt i scenarier 1 og 2 (hhv. 32 og 13%) på grund af valgte lokale emissionsfaktorer. Den moderne renovering har højere påvirkninger i 8 ud af 15 miljøkategorier, herunder en 11,7% højere klimapåvirkning ifølge bilagsmaterialet, sammenlignet med den gennemførte restaurering. Selvom renoveringen har et 32% mindre varmetab, er den væsentlig højere materialeindsats i dette studie udslagsgivende.</p>
Analyse Renov.	[57] CO ₂ besparelser i det almene boligbyggeri (beregninger fra forskellige rådgivere, støtte fra Realdania med AlmenNet og Landsbyggefonden)	<p>Mål/problem: Manglende afprøvning og erfaring om CO₂e-besparende renoveringstiltag i den almene sektor.</p> <p>Metode: Analyse af 32 gennemførte renoveringstiltag i 13 almene boligforeninger. Tiltag i kategorierne variantanalyse, driftsoptimering (tekniske installationer, efterisolering), genbrug til samme funktion / mindre funktion, fornybare ressourcer til drift, dialogværktøjer. Beregninger er udført af bygherrens rådgivere med varierende formål, genstand og metoder.</p> <p>Resultater: En række rapporter om projekterne i 13 almene boligorganisationer samt kort publikation med hovedkonklusioner og oversigtskatalog (i alt 25 dokumenter)</p>
Analyse Renov.	[58] Livscyklusvurderinger for historiske ejendomme – Realdania By & Bygs erfaringer med LCA på restaureringer og transformationer (Realdania, 2022)	<p>Mål/problem: LCA af 8 af Realdanias restaureringer</p> <p>Metode: Casestudie. Energi B6 kun med i nogle cases. Der anvendes afvigende enhed for klimabelastning ift. standard (DGNB, BR klimakrav eller FBK). LCA metoden er ikke dokumenteret, der mangler oplysninger om systemgrænsen, betragtningsperiode, miljødata, inventar, usikkerhed, energiforbrug, levetider mm.</p> <p>Resultater: Alle cases ligger under referencen for nybyggeri, dog med forbehold for uklar metode og sandsynligvis manglende energiforbrug, som er væsentlig for eksisterende ejendomme</p>
Lovkrav Nybyg	[59] Klimakrav i bygningsreglement BR18 §§ 297-298 gældende fra 1. januar 2023	<p>Definition af LCA-metode (klimaberegning):</p> <p>Omfattet er alle bygninger med krav om energiberegning. Grænseværdi på 12 kgCO₂e/m²år skal overholdes af bygninger over 1.000 m² opvarmet areal, kun klimadeklaration i mindre bygninger. Moduler A1-3, B4, B6, C3-4 (D deklarerer). Betragtningsperiode 50 år. Definitioner af referencearealer for materialer og energi, omfanget af bygningsmodel, generiske og specifikke miljødata for materialer, generiske miljødata for energi. Tillæg til energiramme indgår ikke, ligeledes ikke særlige bygningsforhold.</p> <p>Fra 1. januar 2024 forventes det at genbrugte materialer må indregnes med en klimapåvirkning på 0.</p> <p>Disse bestemmelser forventes at blive tilpasset med virkning fra den 1. januar 2025.</p>
Politik Nybyg	[60] Roadmap for udvikling af metode til LCA (Strateginetværk for bæredygtigt byggeri, marts, 2023)	<p>Mål/problem: Der mangler en metode til at sikre at BR grænseværdier fører til faktiske CO₂e-besparelser i nybyggeri. Roadmappen er netværkets første bud på anbefalinger til de planlagte revisioner af BR klimakrav i 2025, 27 og 29. De opdaterede anbefalinger til revisionen i 2025 findes i det efterfølgende notat fra november 2023 samt i notat om renovering fra december 2023. Her beskrives kun anbefalinger, der <u>ikke</u> er med i de to opdaterede dokumenter.</p> <p>Metode: Strateginetværkets temagruppe om data, LCA og dokumentation har udarbejdet anbefalinger baseret på en række workshops. Anbefalingerne er baseret på intentionerne i regeringens nationale strategi for bæredygtigt byggeri. Netværket består af repræsentanter fra byggebranchen og støttes af GI og Realdania.</p> <p>Resultater: Anbefalingerne udover dem givet i de nye notater er 1) Revision af håndtering af energimix og grønne certifikater i emissionsdata for driftsenergi og materialer/EPD, 2) BUILD-anvisning om bygningers klimapåvirkning og udvidet FAQ i BR, 3) Kontrolordning for klimaberegninger 4) Regler for manglende efterlevelse af klimakrav, 5) Genbrug skal tilgodeses, 6) Beregningsregler for renoveringer, 7) Klimakrav til renoveringer</p>
[46]analyse Nybyg	[61] BUILD-rapport 2023:14 Ressourceforbrug på byggepladsen – Klimapåvirkning af bygningers udførelsesfase (Kanafani et al., 2023)	<p>Mål/problem: Klimapåvirkninger fra byggeprocessen er ikke kendt. Derfor skal det undersøges, om der i modulerne A4/5 ligger betydende påvirkninger og besparelspotentiale med henblik på introduction i BR klimakrav.</p> <p>Metode: Kortlægning af danske byggepladsers klimapåvirkning forbundet med forbrug af varme, el, brændstof samt mængden af byggeaffald. Derudover transport til og fra pladsen.</p> <p>Resultater: Transport til pladsen udgør 0,41 kgCO₂e/m²år (A4) og øvrige processer 1,02 (A5), til sammen 1,42. Definition af dokumentationskrav er givet.</p>
Analyse Renov.	[62] SBI-rapport 2016:09 Forskellen mellem målt og	<p>Mål/problem: Undersøgelse af forskellen mellem beregnet og faktisk energiforbrug i huse.</p>

Emne	Reference	Indhold
	beregnet energiforbrug til opvarmning af parcelhuse (SBI, 2016)	<p>Metode: Sammenligning af det beregnede energibehov fra energimærkning af enfamiliehuse med det faktiske forbrug fra BBR via forsyningselskaberne.</p> <p>Resultater: 1) Jo bedre energimærket er, desto højere er det faktiske forbrug og omvendt. 2) Jo bedre energimærket er, desto mindre bliver spredningen i energiforbrug, både beregnet og faktisk. Det betyder at energieffektive bygninger sikrer faktiske energibesparelser overordnet set. Det betyder også, at det enkelte projekt kan afvige i høj grad fra gennemsnittet og at der kan være mange tekniske og sociale årsager til. Sluttelig skal man være opmærksom på beregning af den forventede besparelse i energireoveringer.</p>
[55]analyse Renov.	[63] Bygningskultur og Klima - Undersøgelser af eksisterende viden om livscyklusvurderinger og bevaringsværdier (Realdania, 2021)	<p>Mål/problem: Publikationen har til formål at undersøge, hvilken rolle bevaringsværdigt byggeri spiller i den eksisterende bygningsmasses klimabelastning. Der sammenlignes klimabelastning med ikke-bevar byggeri, og vurderes, hvordan klimabelastningen fra de bevaringsværdige bygninger kan reduceres under hensyntagen af bevaringsværdierne. Dette sker i lyset af, at BR undtager bevaringsværdige bygninger fra energikravene ved reovering.</p> <p>Metode: Til at belyse spørgsmålet er der i projektet foretaget undersøgelser af eksisterende viden på området samt af forskellige CO₂e-besparende indgreb i bygningsmassen. Afgrænsning på etageboligbyggeri med bevaringsværdier fra perioden 1930-74.</p> <p>(1) litteraturstudie</p> <p>(2) LCA af komponenter: Efter FBK metode (A1-3, A4-5, B4, C3-4 for nye materialer, kun EoL for fjernede. Plus B6. RSP 50 år). Variationsanalyser for en række tiltag inkl. klimaskærm og ventilation.</p> <p>(3) LCA casestudier: Forholdsvis høj reference for nybyggeri på 12 kgCO₂e/m²år fra BUILD 2020:04</p> <p>Resultater: Målt energiforbrug af etageboliger fra BBR analyseret og korrigeret. Energiforbrug af bevaringsværdige bygninger (de ældre) afviger ikke signifikant fra øvrige. Bevaringsværdige bygninger fra 1930-39 udgør kun 12,8% af periodens energiforbrug.</p> <p>(1) Litteraturstudiet: CO₂e-aftrykket ved reovering af eksisterende bygninger er lavere sammenlignet med nybyggeri. Generelt manglende tværfaglighed mellem LCA og bevaring og deraf følgende vidensgap. Derudover mangel/variation på metode til definition af bevaringsværdi og LCA. Vigtigheden af beskrivelse og usikkerhed af metoden i hele pipeline af vurdering understreges. Faktiske energiforhold er centrale. Der kan der ikke træffes generaliserende udsagn om klimamæssige effekter af reoveringer på grund af manglende systematik (kun sporadiske casestudier og overordnede betragtninger)</p> <p>(2) Mange konkrete indsigter baseret på kvantitativ analyse inkl. usikkerhed. Ofte er det klimamæssigt rentabelt at isolere mere end BR energikrav. Mekanisk ventilation uanset type er klimamæssigt rentabelt, hvis den sammenlignes med en lige så høj naturlig ventilation før reovering.</p> <p>(3) De 4 reoveringscases ligger på kanten eller højere i klimabelastning af nybyggeri på trods af det høje referencegrundlag på 12 kgCO₂e/m²år. Det er dog ikke muligt at generalisere pga. tilfældigt valgte parametre</p>
Analyse Renov.	[64] Reelle CO ₂ -besparelser i konkrete bygninger – en tværfaglig metodik med afsæt i bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974 (Realdania, 2022)	<p>Mål/problem: Ny viden om at mindske klimabelastningen fra bevaringsværdige bygninger med større nøjagtighed og under hensyntagen til bygningens bevaringsværdier. Fokus på energireoveringer af bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974. Problem er bl.a. misforhold mellem beregnede og reelle CO₂e-besparelser og den til grundlæggende rådgivningspraksis ift. YBL18.</p> <p>Metode: Interviews og litteratur. Mangler hensyntagen til eks. Branchevejledning for energibesparelser 2.0 (SBI 2020)</p> <p>Resultater: Bygherrevejledning til efterspørgsel af rådgiverydelse.</p>
Metode Renov.	[65] Branchevejledning for energiberegninger, version 2.0 (BUILD og Teknologisk Institut, 2018)	<p>Mål/problem: Vejledningen skal øge tilliden til energiberegninger gennem en øget gennemsigtighed i kommunikationen mellem bygherre og rådgiver og enighed om ensartet brug af metoder til udførelse af energiberegningerne på tværs i byggebranchen.</p> <p>Metode: Udgivelse af vejledning baseret på samarbejde mellem BUILD og Teknologisk Institut, som er afprøvet på fire faktiske etageejendomme.</p> <p>Resultater: Detaljeret anvisning af forskellige beregningsmetoder til forskellige typer af energireoveringer. Metoden tager hensyn til forskellige sværhedsgrad af beregninger, vurdering af reelle energibesparelser, usikkerheder samt rapportering og giver realistiske beregningseksempler. Guiden indeholder metode til enkelttiltag og kombinerede tiltag, både med en simpel og avanceret tilgang. Der gives konkrete anbefalinger om hvilke forudsætninger der bør tilpasses de konkrete bygningsforhold, som energimodellen kalibreres efter.</p>
[65]analyse Renov.	[66] Vedligehold og klimabelastning – en undersøgelse af	<p>Mål/problem: Manglende viden om klimapotentiale ved vedligehold.</p>

Emne	Reference	Indhold
	praksis i boligudlejnings-ejendomme (Realdania, 2022)	<p>Metode: aktørkortlægning, litteraturoverblik og interviews. 6 privatejede (professionelle) udlejningsorganisationer. Litteratur: Energirenoveringer, vedligehold/facility management, ejer/lejer dilemma, levetid</p> <p>Resultater: Der findes ikke et register af aktører i professionel udlejning og derfor ikke et overblik. Mindre fokus på klima end på økonomi. Ejer-lejer paradoks gør at ejere ikke har igangsat større bølge af energirenoveringer. Kun delvis forventet efterspørgsel på bæredygtige lejemaal og investeringer. Høj professionalismisme i vedligehold, som også kan gavne bæredygtighed.</p>
Analyse Metode Nybyg Renov.	[67] Dialogværktøj – Cirkulær værdiskabelse i den eksisterende bygningsmasse Afsnit om katalog over cirkulære løsninger (BUILD, Via University College, 2019)	<p>Mål/problem: Manglende viden om de klimamæssige effekter af renovering frem for nybyggeri og genbrug af komponenter frem for brug af virgine materialer. Analyse af cirkulære potentialer for eksisterende bygninger på niveauet bygning, bygningsdel og materiale.</p> <p>Metode: Livscyklusvurdering af tre scenarier for en eksisterende skolebygning. Scenarierne bevaring, ombygning og nybyggeri/nedrivning er kombineret med en konventionel og en cirkulær tilgang til materialer. Første analyser viser resultater for bygningsniveauet. Anden analyse viser resultater af variation for bygningsdele, der indgår i bygningen. Tredje analyse viser LCA af 18 aktuelle upcyclingløsninger, der indgår i bygningsdeles cirkulære varianter. Upcyclingløsninger vurderes derudover med hensyn til cirkularitet, kredsløbspotentiale og modenhed, som sætter klimapåvirkningen i kontekst.</p> <p>Resultater: Illustration af anvendelse af LCA som beslutningsværktøj. Resultatet af bygningscasen er mest illustrativt og kan ikke generaliseres. Katalog over upcyclingløsninger bidrager til en diskussion om, hvilke miljømæssige gevinster der ligger i forskellige former for upcycling.</p>
Analyse Renov.	[68] Adfærd og forbrugsmønstre ved energirenovering af boliger (Elforsk projek 347-025, DTU, 2020)	<p>Mål/problem: Monitorering af effekt af energirenovering af fire boligblokke i perioden 2015-2019.</p> <p>Metode: Temperaturmåling før og efter renovering på lejlighedsniveau, kombineret med energimåling på blokniveau. Installation af infoskærme med forbrug af varmt brugsvand, varme, el og vand i alle lejligheder. Skærm viser referenceforbrug fra lejligheder med lignende beboersammensætning (alder, antal). Periode uden skærm og med skærm.</p> <p>Resultater: Varmeforbruget faldt med 60%. Den markante forskel i rumtemperaturer på tværs af lejligheder samt deres niveau har ikke ændret sig med renoveringen. Efter at skærmene er taget i brug, faldt elforbrug med 15% og forbrug af varmt brugsvand med 34%. Det konstateres at beboerne har ikke øget indetemperatur af hensyn til komfortstigning og at infoskærme har en mulig adfærdsregulerende effekt.</p>
Analyse Renov.	[69] Energieffektiv ventilation i eksisterende etagebyggeri (EUDP 64010-0075, Teknologisk Institut 2019)	<p>Mål/problem: Ventilation i ældre etageboligbyggerier er typisk udført som naturlig ventilation og i nyere etagebyggerier med mekanisk kontroludsug, som både resultater i et stort energitab og trækgener. Projektet skal forbedre ventilationsforhold med følgende hensyn: (1) Lille pladsforbrug og integration i arkitektur, (2) Reduceret energiforbrug til ventilation, (3) Forbedret termisk indeklima og luftkvalitet, (4) Mindre skimmel, råd, svamp.</p> <p>Metode: Demonstration af forskellige løsninger i forbindelse med renovering af en stor etageejendom. Inddragelse af leverandører i at bringe nye løsninger på markedet.</p> <p>Resultater: Hovedrapport samt 4 omfattende bilagsrapporter (sidst nævnte er ikke gransket). Projektet har udviklet og demonstreret nye systemer til mere energieffektiv ventilation med varmegenvinding i eksisterende etageejendomme. Almene boligorganisationer og kommuner blev orienteret om vigtigheden af energieffektiv ventilation og gældende lovkra og der blev lagt op til justering af lovkra. Nye vejledninger, projekteringstools, testede komponenter og uddannelse er etableret.</p>
Analyse Renov.	[70] Reelle energibesparelser ved energirenovering i etagebyggeri (Teknologisk Institut 2018, støttet af Realdania, GI)	<p>Mål/problem: Ofte opnås der ikke den ønskede energibesparelse i renoveringer. Projektet skal frembringe en nem og omkostningslet metode til beregning af den reelle energibesparelse ved renovering af etageboliger.</p> <p>Metode: Projektet har undersøgt syv energirenoveringer med hensyn til de opnåede energibesparelser og årsagerne til forskellen mellem beregnet og målt energiforbrug og -besparelse.</p> <p>Resultater: Der er en markant forskel mellem de beregnede besparelser og de reelt opnåede varmebesparelser. Adfærd betyder mindst lige så meget som teknologi.</p> <p>På den baggrund har projektet udviklet metoder og værktøjer til brug ved kommende energirenoveringer, som gennem undersøgelse af fire parametre – infiltration, ventilationsmængder, indetemperatur og varmt brugsvand – kan sikre en reduceret forskel i målt og beregnet energiforbrug.</p>
Metode Renov.	[71] Dokumentation af energibesparelser ved energirenovering (Teknologisk Institut, 2020)	<p>Mål/problem: De beregnede og dermed forventede energibesparelser i renovering af etageejendomme opnås sjældent. Udfordringen er manglende kendskab til den nødvendige proces, der starter med forundersøgelser og slutter med driftsevaluering.</p> <p>Metode: Kort notat med trin-for-trin anvisninger om den gode proces.</p>

Emne	Reference	Indhold
		Resultater: Procesvejledning om (1) Beslutning og mål, (2) Før dokumentation, (3) Projekt og renovering, (4) Brug og drift, (5) Efter dokumentation.
Analyse Metode Renov.	[72] Reviewing allocation approaches and modelling in LCA for building refurbishment. (Zimmermann et al. 2022)	Mål/problem: Der mangler enighed om LCA metode i renoveringer, der giver incitamenter til at reducere påvirkninger og som kan håndteres i praksis. Metode: Afsøgning af eksisterende metoder ved litteraturstudie af videnskabelige artikler. Resultater: Der findes fire generelle tilgange til LCA a renoveringer, som blev beskrevet og vurderet efter fordele og ulemper, både med hensyn til en repræsentation af påvirkninger i virkeligheden og arbejdsbyrden. Artiklen anbefaler ikke valg af konkret metode.
Analyse Renov.	[73] Bygningskultur og klimavenlige løsninger – en kortlægning af behovet for nye løsninger inden for renoveringen af bevaringsværdige bygninger (Realdania, 2022)	Mål/problem: Hvilke byggeprodukter og -materialer til renoveringer er der behov for, der både reducerer bygningens klimabelastning og fastholder eller styrker bygningernes arkitektoniske kvaliteter. Med særligt fokus på modernistiske boligejendomme opført mellem 1930-75, da disse vurderes at udgøre en betydelig procentdel af den bygningsmasse, som står over for gennemgribende renoveringer i de kommende år. Metode: Kvalitativ undersøgelse ved hjælp af ekspertudsagn og brancheworkshops. Resultater: Gennemgang af komponenters potentiale. Resultater: Nye produktmuligheder: Vinduer mangler standardiserede og billige løsninger til renovering, ikke udskiftning. Renovering af døre er dyre i håndværkerpriser, der findes dog nye døre der efterligner arkitektonisk udtryk osv. med tage, facader, altaner, aptering og skorstene.
Analyse Renov.	[74] Life cycle environmental impacts from refurbishment projects – A case study (Rasmussen, F. N. & Birgisdóttir, H., 2016)	Samme case (SF II) som i SBI 2015:29. Renoveringens indlejrede påvirkninger er her 3,0 kgCO ₂ e/m ² år. Påvirkninger fra nedrevne materialer i C3-4 ville forøge resultatet med 0,07.
Analyse Renov.	[75] Embodied greenhouse gas emissions from refurbishment of residential building stock to achieve a 50% operational energy reduction. (Brown, N. W. O., Olsson, S. & Malmqvist, T., 2014)	Mål/problem: Hvad der de materiale-mæssige klimapåvirkninger forbundet med energirenoveringer? Hvad er konsekvens for den svenske målsætning om en 50% energireduktion for hele bygningsmassen? Metode: Beregning af de indlejrede klimapåvirkninger af 30 tiltag for energieffektivisering. Sammenligning af indlejrede påvirkninger med energibesparelser. Resultater: De fleste tiltag for energieffektivisering er også klimaeffektiv og har en kort klimamæssig tilbagebetalingstid. Regulering og styring har de laveste indlejrede påvirkninger (0–2 g CO ₂ e per sparet kWh). Her har reduktion af indetemperatur til 20 grader et meget stort besparelsespotentiale sammenlignet med en meget lav andel af indlejrede omkostninger (0,4 g CO ₂ e per sparet kWh). Ændringer af klimaskærmen har væsentlig højere påvirkninger (op til 15–30 g CO ₂ e per sparet kWh). Påvirkninger fra enkelte tiltag med nye mursten og betondele har høje påvirkninger. Set ud fra tiltagenes forekomst i renovering af hele bygningsmasse, så udgør nye vinduer og ventilationsanlæg alene 83% af de indlejrede påvirkninger. I alt koster bygningsmassens energieffektivisering 12% i indlejrede klimapåvirkninger.
Analyse Renov.	[76] Comparative life-cycle assessment for renovation methods of waste water sewerage systems for apartment buildings (Berglund et al. 2018)	Mål/problem: Udskiftning af gamle spildevandsledninger er forbundet med materialeintensive reparationer af vægge og gulv. Metode: Sammenligning af klimapåvirkning af forskellige foringsmetoder med udskiftning. Resultater: Klimapåvirkninger fra renovering er næsten 50% lavere end udskiftningen. Påvirkningerne fra udskiftning og renovering ligger mellem 3 (udskiftning) og 7 (renovering) kg CO ₂ e per m ² opvarmet areal.
Analyse Renov.	[77] Vilches A, Garcia-Martinez A, Sanchez-Montañes B. Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. Energy Build 2017; 135: 286–301.	Mål/problem: Opsamling og klassificering af eksisterende viden og spænd af forskelle i tilgange og resultater. Metode: Review af 13 eksisterende studier af renoverings-LCA, primært energirenoveringer. Resultater: Transport og byggepladsprocesser mangler ofte. Sammenligning af scenarier nedrivning/nybyggeri kontra renovering er underbelyst. Tilbagebetalingstider er under 7,5 år for energirenoveringer. Større forskelle i inkluderede afgrænsning af livscyklus og referenceperiode. Ofte, metode for beregning af energibesparelse er ikke angivet specifikt nok.
Analyse Renov.	[78] Schwartz Y, Raslan R, Mumovic D. The life cycle carbon footprint	Mål/problem: Manglende viden om forskelle i LCA metode og klimapåvirkning for nybyggeri og renoveringer.

Emne	Reference	Indhold
Nybyg	of refurbished and new buildings – A systematic review of case studies. Renew Sustain Energy Rev 2018; 81: 231–241.	<p>Metode: Review af 251 internationale casestudier, både renoveringer og nybyggeri. Nybyggeri og renovering er sammenlignet på tværs af casestudier, det vil sige ikke for konkrete scenarie, hvor en eksisterende bygning erstattes af et reelt alternativt på stedet.</p> <p>Resultater: Afgørende forskelle i afgrænsning, beregningsmetode, betragtningsperiode, både med hensyn til materialer og energi, umuliggøre større konklusioner. Sammenligning af nedrivning/nybyggeri med renovering viser resultater i begge retninger. Forfatterne forslår et nyt systematisk bottom-up studie, hvor de relevante parametre kan kontrolleres.</p>
Analyse Renov. Nybyg	[79] Hasik V, Escott E, Bates R, et al. Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. Build Environ 2019; 161: 106218.	<p>Mål/problem: Undersøgelse af nedrivning/nybyg kontra renovering</p> <p>Metode: Litteraturstudie, konceptudvikling samt beregningseksempel med to komplementære scenarier for nedrivning/nybygger kontra renovering.</p> <p>Resultater: Den forslåede metode indregner eksisterende og nye materialers kommende påvirkninger samt driften i renoveringsscenariet. Nybygscenariet inkluderer produktion og drift. Endt levetid er undtaget i begge scenarier, da dette ville stortset være identisk og ikke nødvendigt for anvendelse af LCA til sammenligninger. I beregningseksemplet udgør renoveringen 25% af nybyg scenariet.</p>

3 Variantstudier

3.1 Variantstudier af renoveringsgrader og typologier

3.1.1 Introduktion

Når man betragter de tilgængelige danske studier om renoveringers klimapåvirkning, så ligger niveauet for størstedelen under et generisk scenarie for nedrivning og nybyggeri, men de enkelte cases viser stor variation, som ofte skyldes stor variation i omfanget af renovering, se afsnit 2.3 og [99]. Det er yderligere svært at træffe beslutninger på baggrund af disse beregninger, da beregningerne ofte ikke er sammenlignelige, pga. manglende transparens og brug af forskellige beregningsmetoder og data. Samtidig er der meget lidt viden om det arkitektoniske og økonomiske aspekt. Disse udfordringer understreger behovet for mere transparente og nuancerede CO₂-beregninger, der også inddrager det arkitektoniske og økonomiske aspekt.

Projektet undersøger om renovering af eksisterende bygninger er klimamæssigt bedre end nedrivning og nybyggeri, samt økonomien i livstidsperspektiv i renoveringer hhv. nedrivning og nybyggeri.

Undersøgelsen omfatter livscyklusvurderinger (LCA) og beregninger af levetidsomkostningerne (Life Cycle Costing, LCC) på forskellige grader af renovering af konkrete bygningseksempler: parcelhus, rækkehus og etagehus fra hhv. en ældre og nyere tidsperiode. Nuværende studier viser ofte at klimapåvirkningen fra den eksisterende bygningsmasse primært stammer fra driften af bygningerne, hvor klimapåvirkningen fra nedrivning og nybyggeri primært stammer fra materialerne. Derfor undersøges bl.a. i hvor høj grad valget om hvilken data der anvendes for driftsenergien, påvirker de samlede CO₂-beregninger og dermed beslutningsgrundlaget for renovering kontra nedrivning og nybyggeri f.eks. det reelle versus det beregnede energiforbrug og de nuværende versus de nye energiemissionsfaktorer for 2025.

Effekten af biogene materialer i renovering samt overvejelser ifm. timingen af emissionerne indgår i rapportens resultater og konklusioner.

Rapporten kommer med arkitektoniske perspektiver og problematikker på forskellige grader af renovering, som er relevante at overveje og udfordrer samtidig den konventionelle renovering med en vision om at renovere med flere biogene materialer i fremtiden der har et lavere klimaaftryk sammenlignet med de konventionelle materialer.

Undersøgelsen skal samlet set bidrage til en mere nuanceret forståelse af, hvordan vi bedst kan håndtere vores bygningsbestand med henblik på at mindske vores samlede miljøaftryk.

3.1.2 Formål

I dette afsnit præsenteres variantstudier af forskellige grader af renovering - let, mellem, dyb – samt baseline (uændret bygning) og nedrivning med nybyggeri af sammenlignelig nutidig typologi. Formålet med varianterne er at opstille serier af varianter, som kan sammenlignes indbyrdes for samme typologi eller for flere typologier, for samme renoveringsgrad. Der undersøges tre forskellige bygningstyper: parcelhus, rækkehus og etagehus, indenfor to forskellige tidsperioder: traditionel og moderne. Det bemærkes, at begreberne "traditionel" og "moderne" her anvendes for at beskrive perioder med typisk byggeteknik, som det fremgår af beskrivelserne nedenfor, og ikke betegner arkitektur som sådan. De valgte typologier udgør halvdelen af bygningsbestanden i Danmark, og fokuserer udelukkende på boliger. Disse varianter er sammenlignet med tilsvarende nedrivning og nybyggeri ved hjælp af både LCA- og LCC-beregninger, som afslutningsvist i dette afsnit sammenholdes med hinanden. Formålet er at undersøge om der tegner sig generelle klimamæssige og økonomiske tendenser indenfor forskellige renoveringsgrader, bygningstypologier og -perioder og identificere bedste praksis.

Da boliger er de mindst tekniktunge bygningstyper og dermed dem, der har den laveste forventelige drift på installationerne, som vægter tungt i driftsomkostningerne, må der tages forbehold for at generalisere erfaringer fra variantanalyserne til andre bygningstyper end boliger, herunder f.eks. kontor, skole eller hospital. Anvendelsen af resultaterne hertil vil kunne føre til en signifikant undervurdering af klimapåvirkningen og driftsomkostningerne ved andet mere komplekst byggeri.

3.1.3 Varianter: Tre bygningstypologier fra to tidsperioder

De tre bygningstypologier omfatter langt hovedparten af boliger i Danmark:

- › Parcelhuset: fritliggende enfamiliehuse.
- › Rækkehuse: sammenbyggede boliger, herunder tæt-lave boligbebyggelser på op til 2 etager.
- › Etagehuse: boligbebyggelser i flere etager

Der er fokuseret på bygninger fra to forskellige tidsperioder, her kaldet traditionel og moderne periode - for at dække forskellige udgangspunkter for bygningernes tilstand og renovering. Perioderne er afgrænset på baggrund af hvornår der er sket skift i byggeskik og – teknologi, ændrede krav til isolering samt mængden af boligenheder opført i den pågældende periode.

Overordnet dækker den traditionelle periode for alle tre typologier perioden fra ca. 1930 til ca. 1960, som er præget af massive bærende konstruktioner i murværk, typisk med tegtag. I tiden efter ca. 1960 sker der et skifte i konstruktioner og materialer, dels drevet af de nye krav om isolering, dels af nye materialer og processer, især inden for betonelement byggeri. For hver typologi er valgt en lidt snævrere tidsperiode for at karakterisere den konkrete bygning, som er analyseret. Her har udgangspunktet været, at den valgte typologi bedst muligt repræsenterer et stort antal bygninger. Grundlaget har været Danmarks Statistik for opførelse af bygninger af de nævnte typer.

Den moderne periode dækker overordnet tiden fra ca. 1975 til ca. 2000. Her er der større variation i byggeteknik og materialer end før 1960, mens niveauet for isolering af boliger er hævet betragteligt. Som for den traditionelle periode er der for de enkelte typologier fokuseret på en snævrere tidsperiode, baseret på hvor mange bygninger der er opført, for bedst muligt at dække typiske bygninger.

Nedenfor beskrives de generelle karakteristika ved hver bygningstypologi indenfor hver af tre bygningstypologier og to tidsperioder som der er taget udgangspunkt i. Dog henvises der til Bilagsrapport A – LCA afsnit A.1 for detaljer om de bygningsdelsopbygninger der er anvendt i LCA- og LCC-beregningerne af de konkrete bygningseksempler.

Parcelhus



Figur 33 Repræsentation af parcelhuset før 1960. Foto: Steffen Stamp



Figur 34 Repræsentation af parcelhuset 1975-2000. Foto: Heidi Lundsgaard

Det traditionelle parcelhus (PT) (1930-40): Byggeskikken og materialerne dækker også ældre hustyper, som f.eks. "murerstervillaen", ligesom hustypen med stort set uændret byggeteknik og materialer kendes frem mod 1940. Typologien repræsenteres ved et fuldmuret hus i 1½ etage plus kælder, med tegltag og sprossede vinduer. Loftet og vinduerne vil på nuværende tidspunkt være hhv. efterisoleret og ud skiftet i de fleste af disse huse. Bortset fra det fremstår mange af disse bygninger stort set uændret.

Det moderne parcelhus (PM) (1975-1980): Den valgte periode dækker et betydeligt antal parcelhuse opført i årene 1975-80, med næsten 240.000 huse bygget i dette årti, hvorefter antallet falder markant i 1980'erne. Disse huse er typisk etplanshuse med hulmur, hvor facademuren er af tegl og bagmuren af porebeton. Taget består normalt af cementbundne bølgeplader. Isoleringen af hulmur, lofter og terrændæk er stigende op gennem perioden 1975-2000, men ændres først radikalt omkring 2000. Derfor er perioden 1975-80 repræsentativ for isoleringsmæssige forhold for hele perioden, hvor de isoleringsmæssigt er ret dårlige, men mange af disse huse er blevet ekstra isoleret på loftet og har fået skiftet vinduer.

Rækkehus



Figur 35 Repræsentation af rækkehus fra før 1960. Foto: Heidi Lundsgaard



Figur 36 Repræsentation af moderne rækkehus. Foto: Steffen Stamp

Det traditionelle rækkehus (RT) (1950'erne): kendetegnes ved at kun en begrænset mængde opføres før 1950 ifølge boligstatistikken. Den ældre rækkehus-typologi bygger på byggeteknikken fra 1940'erne og 1950'erne i form af en klassisk, muret stil, der adskiller sig betydeligt både i energi- og materialemæssig henseende fra den første bølge af rækkehuse eller tæt-lav bebyggelser, der først vandt udbredelse i 1980'erne. Disse huse er typisk i en etage eller 1½ etage med krybekælder og har et tegltag. Vinduer er typisk skiftet på nuværende tidspunkt og krybekælderen efterisoleret.

Det moderne rækkehus (RM) (1980): I perioden 1975-2000 oplever det moderne rækkehus en stærk stigning i popularitet, især i 1980'erne, inden for det almene boligbyggeri. Byggeteknikken og materialevalget fra 1980'erne minder om tilsvarende tendenser i parcelhusbyggeri, men inkluderer også anvendelsen af tagpap og bygninger i 1½-2 etager.

Etagehus



Figur 37 Repræsentation af traditionelt etagehus. Foto: Helene Høyer Mikkelsen

Det traditionelle etagehus (ET) før 1960: var typisk et fuldmuret byggeri i 3-5 etager med kælder, forsynet med et tegltag og etageadskillelser i træbjælkelag. Denne byggestil strakte sig over flere årtier op til 1930'erne og fortsatte i mindre omfang op til omkring 1960. Flere stilarter inden for denne periode er repræsenteret, men den grundlæggende byggeteknik og materialevalget forblev relativt uændret over en lang tidsperiode.



Det moderne etagehus (EM)1970-1980: Opførelsen af boliger i etagehuse var omfattende op til 1980. Der fokuseres på den tidlige del af perioden, den såkaldte "kransporsarkitektur" fra 1970'erne, der markerede starten på betonelementbyggeri. Den typiske byggeteknik i perioden fra 1970 til 1980 involverede et statisk system med bærende betonydervægge, -dæk og -kerner.

Figur 38 Repræsentation af moderne etagehus. Foto: Bjørn Pierri Enevoldsen

Generiske cases

Det er udfordrende at perspektivere resultaterne af eksisterende LCA-beregninger over på andre bygninger da resultaterne typisk vil være for projektspecifikke. For at kunne komme med generelle konklusioner der har en bredere anvendelighed i branchen er det nødvendigt at anvende et data grundlag der er repræsentativt for størstedelen af bygningsmassen. Der er i projektet derfor valgt at opstille 6 generiske cases der repræsenterer typologierne beskrevet i afsnit 3.1.3. Faktiske cases i anonymiseret form har ligget til grund for materialemængderne der skal bruges for at kunne lave en LCA-beregning. De faktiske cases er udvalgt pba. hvor godt de repræsenterer bygningstypologierne og perioderne. De steder hvor de faktiske cases har afvejet fra den tilsvarende generiske typologi er der foretaget tilpasninger. F.eks. hvis der i den faktisk case har et uopvarmet loftrum, men det er vurderet at der for størstedelen af bygningsmassen inden for den pågældende typologi og periode vil have et opvarmet beboet loftrum.

Det kan være svært at ramme alle bygninger indenfor hver typologi og periode med den opstillede generisk case. F.eks. kan der i visse tidsperioder være arbejdet med flere forskellige dækopbygninger, hvorfor det har været nødvendigt at udvælge én af dem til den generiske case. Dette skal der tages forbehold for når resultaterne fra denne rapport sammenlignes med andre lignende bygninger. De konkrete bygningsdelsopbygninger kan ses af Bilag A.1.Bygningsbeskrivelser.

Nybyg

Der anvendes udvalgte nybyggerier i sammenligningen med renovering. Disse er ikke generiske men konkrete cases. Der er valgt nybyg cases, hvis klimapåvirkning ligger gennemsnitligt ift. BUILDs rapport fra 2023 [9] for at undgå at vælge nogle cases der ligger i yderligheden dvs. meget højt eller lavt i klimapåvirkning. Det betyder at nybyggerier sagtens kan ligge meget højere eller lavere end gennemsnittet, da spændet på den klimamæssigt bedste og dårligste bygning er meget stort. Eventuelle solceller i nybyg casene er ikke taget med ligesom de heller ikke er medtaget for de generiske cases.

Da nybyggeriernes klimapåvirkning er udgangspunktet for sammenligning med renoveringsscenarierne, er det klart, at sammenligningen bliver stærkt påvirket af valget af nybyg cases, når man tager i betragtning den store spredning, som ses i klimapåvirkning ved nybyggeri i de seneste år. Nybyggerier kan sagtens ligge meget højere eller lavere i klimapåvirkning end gennemsnittet.





De konkrete bygningsdelsopbygninger af nybyg casene kan ses i 5Bilag A i Bilag 5A.1.


3.1.4 Renoveringsscenarier

Renoveringsscenarierne tager udgangspunkt i energirenoveringer og ikke bredere renoveringer, som fx også ville omfatte nyt køkken og bad. Imens udskiftningen af køkken og bad har begrænset indvirkning på energiforbruget i boliger, vægter det tungt på fx CO₂-regnskabet og i det økonomiske regnskab – og det er renoveringer der foretages hyppigt. Normalt vist indgår fast inventar, herunder køkken, i LCC-beregninger, men medtages ikke i LCA-beregninger for nybyg – og medtages derfor ikke i LCA-beregningerne for de forskellige renoveringsscenarier i variantanalyserne. For at sikre sammenlignelighed og derved et fælles beregningsgrundlag for LCA og LCC-analyserne medtages renovering af køkken og badeværelser heller ikke de totaløkonomiske variantanalyser. Det er dog væsentligt at påpege at netop disse typer af renovering udgør et betydeligt materialeforbrug og er det der erfaringsmæssigt vægter størst ved anskaffelse af en ny bolig. Den gennemsnitlige levetid for et køkken i praksis er ca. 11 år til trods for at den teoretiske levetid er op til tre gange så høj jf. Realdanias rapport fra 2021 [63].

Renoveringsscenarierne bygger på scenarier som Realdania har ønsket undersøgt, som bl.a. bygger på en mindre invasiv renovering for at udfordre den nuværende måde at renovere på hvor der foretages fulde materiale- og konstruktionsudskiftninger, som kan være relevant ift. at mindske både de klimamæssige og økonomiske omkostninger. Derfor afspejler scenarierne ikke nødvendigvis den gængse renoveringsskik der er i byggebranchen i dag. For hver bygningstypologi beskrevet i afsnit 3.1.3 er der i renoveringsscenarierne taget højde for erfaringer med forudgående renoveringer der allerede har fundet sted særligt i den ældre del af bygningsmassen. Det betyder at der i alle bygningstypologier er taget udgangspunkt i, at vinduerne på nuværende tidspunkt allerede er skiftet og er ca. 15 år gamle på tidspunktet for analyserne. Scenarierne ses af Tabel 8 og uddybes i teksten nedenfor.

Tabel 8 Renoveringsscenarier

	Scenarie	Beskrivelse
	Nedrivning med nybyg (N)	Nedrivning af den eksisterende bygning og opførelse af et tidssvarende nybyggeri
	Baseline (B)	Fortsat drift af eksisterende bygning uden ændringer i driftsenergien og den forventede restlevetid.
	Let renovering (L)	<p>Konstruktioner:</p> <p><u>Vinduer:</u> Eftergang af vinduer herunder skift af alle tætningslister og skift af 10% af ruder og rammer som forlænger levetiden.</p> <p><u>Tag/Loft:</u> Øget loft isolering, mineraluld (100mm indblæsning) og tilføjelse af dampspærre *</p>
	Mellem renovering (M)	<p>Let renovering +</p> <p>Konstruktioner:</p> <p><u>Vinduer:</u> Skift af vinduer</p> <p><u>Tag/Loft:</u> Skift af tagbeklædning og undertag.</p>

	Scenarie	Beskrivelse
		100mm øget efterisolering (mineraluld) i loft (80% af arealet grundet skunk) ** Tekniske installationer: <u>VBV:</u> Varmtvandsbeholder udskiftes til brugsvandsveksler <u>Varme:</u> Skift af fjernvarmeveksler
	Dyb renovering (D)	Mellem renovering + Konstruktioner: <u>Ydervæg:</u> *** 100mm (mineraluld) udvendig efterisolering af facaden, samt ny facade i form af skalmur i tegl, undtaget EM **** <u>Sokkel:</u> 140mm (EPS) udvendig efterisolering af sokkel med 70mm letklinker **** Tekniske installationer: <u>Ventilationsanlæg:</u> Tilføjelse af balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding <u>Ventilationskanaler:</u> Skift/Tilføjelse af ventilationskanaler

* For den moderne etagebolig (EM), traditionelt rækkehus (RT), traditionelt parcelhus (PT) vil der ved let renovering ikke ske en øget loftisolering, grundet varmt tag. Der vil derimod tilføjes øget isolering ved mellem renovering i forbindelse med skift af tagbeklædning.

** For EM, RT og PT efterisoleres med 200mm, da der ikke efterisoleres ved let renovering.

*** I nogle tilfælde overholdes BR18 u-værdi krav til renovering ikke.

**** Nye facader i dyb renovering EM er pudset på isolering som system.

Scenariet 'Mellem renovering' bygger videre på de foregående tiltag i scenarie 'Let renovering', og scenariet 'Dyb renovering' bygger videre på 'Mellem renovering'. Klimapåvirkningen for renoveringsscenarierne og tiltagene kan ikke sammenlægges, idet kombinerede tiltag vil påvirke energiforbruget anderledes end hvert tiltag for sig selv. Scenarierne i Tabel 8 sammenlignes med et scenarie der afspejler nedrivning af den eksisterende bygning og opførelse af et nybyggeri indenfor den pågældende bygningstypologi.

Baseline scenariet tager udgangspunkt i en fortsat drift af den eksisterende bygning uden ændringer i driftsenergien dvs. at der sker nødvendige udskiftninger af materialer i takt med at deres levetid udtjenes, men at bygningen ikke opgraderes. F.eks. udskiftes vinduer i løbet af levetiden 1:1 og ikke med en bedre mere energieffektiv type. Det forudsættes at vinduer er termoruder, installationer er isoleret og loft har en efterisolering på 50mm i de traditionelle typologier. For det traditionelle rækkehus antages det at krybekælderen på nuværende tidspunkt vil være blevet efterisoleret med min. 100 mm mineraluldsbatts og dampspærre.

I den lette renovering eftergås vinduer for at forlænge deres levetid. Her udbedres for hhv. skader herunder råd og tæthed, omfatter tætningslister og maling og evt. udskiftning af defekte termoruder. Dette er normalt ikke noget der medregnes i LCA beregningen da det ligger i B2 livscyklusfasen som ikke er medtaget i dette projekt, se afsnit 3.1.5.1 Metode. Mht. utæthed tages der udgangspunkt i Energimærkningshåndbogen, som angiver typiske utætheder for bygninger fra forskellige perioder. Generel tætning af bygningen er ikke medtaget i det lette renoveringsscenarie, da det i praksis vil betyde udskiftning af dampspærre, hvilket normalt kun foretages ved større renoveringstiltag.

Forøgelse af boligernes areal er ikke ualmindeligt ifm. renovering. Det er dog fravalgt at have med i renoveringsscenarierne, ud fra et ønske om at man frem for at bygge flere kvadratmeter effektiviserer boligernes eksisterende arealer ud fra et klimaperspektiv.

Forkortelser, typologier og renoveringsscenarier

I rapporten benyttes de forkortelser for typologier og renoveringsscenarier, som fremgår af Tabel 9 nedenfor:

Tabel 9 Forkortelser

Typologi	Forkortelse
Parcelhus	P
Rækkehus	R
Etagehus	E
Traditionel	T
Moderne	M

Scenarier	Forkortelse
Baseline	B
Let renovering	L
Mellem renovering	M
Dyb renovering	D
Nedrivning + nybyg	N

Sammensatte forkortelser: Typologi, periode, scenarie, således:

RT M: Rækkehus Traditionel med Mellem renovering

RM M: Rækkehus Moderne med Mellem renovering

3.1.5 LCA-studier

Der foretages LCA-beregninger med henblik på at give overslag over de klimamæssige konsekvenser af de forskellige renoveringsscenarier, bygningstypologier og tidsperioder.

3.1.5.1 Metode

I afsnit 1.1 foreslås forskellige afgrænsninger af en LCA afhængig af formålet med beregningen. Her skelnes mellem afgrænsninger ifm. tre forskellige scenarier: 1) nedrivning og nybyg versus renovering, 2) renovering af enkelte bygningsdele og 3) større renoveringsprojekter. For variantstudierne er metoden for scenarie 1 fulgt for at sammenligne de klimamæssige forskelle mellem nedrivning og nybyg versus renovering på hele bygningen. Metoden beskrevet i afsnit 1.2 for scenarie 1 følger BR18 klimakravet for nybyggeri, men inkluderer derudover materialer der nedrives ifm. nybyg eller renovering. Da der er kommet nye energi emissionsfaktorer fra 2025 [11], er der i variantstudiernes desuden valgt at anvende disse til LCA-beregningerne. Metoden for LCA-beregningerne opsummeres kortfattet i Tabel 10 nedenfor og er uddybet i detaljer i Bilag A.1 LCA-metode:

Tabel 10 LCA-beregningsforudsætninger

Emne:	Forudsætning:
Betragtningsperiode:	50 år
Enhed:	kg CO ₂ ækv./m ² /år (hvor m ² er referencearealet)
Livscyklusfaser:	Produktion af nye materialer i år 0 (A1-A3), udskiftninger over 50 år (B4), driftsenergi over 50 år (B6), affaldsbehandling og bortskaffelse i år 50 (C3-C4), nedrivning af den eksisterende bygning i år 0 (Ex.C3-4)
Biogene materialer:	følger -1/+1 reglen jf. (EN15978, 2012) (se Billagsrapport A i bilag A.6)
Startår:	2025
LCA-program:	LCAByg 2023.2 (v5.4.0.1)
Miljødata for byggematerialer:	generisk datagrundlag jf. BR18, bilag 2, tabel 7 (ikrafttrædelse januar 2023)
Emissionsfaktorer for energi til bygningsdrift:	Fremskrevne emissionsfaktorer der skal gælde i bygningsreglementet fra 2025 jf. (Artelia A/S, 2023)
Drift:	Baseret på Be18-beregning med fjernvarme som varmforsyning
Levetider:	BUILD levetidstabel (Haugbølle, Mahdi, Morelli, & Wahedi, 2021) er anvendt på alle bygningsdele på nær vinduer og installationer hvor en restlevetid er vurderet (se 5Bilag A afsnit 5A.4)

3.1.5.2 Resultater

Figur 39 viser klimapåvirkningen for hvert scenarie indenfor de traditionelle og moderne parcel-, række- og etagehuse. Tallene i figuren er vist i en tabeloversigt i Bilag B. LCA-resultater. Emissioner fra driftsenergien med udgangspunkt i de nye 2025 energi emissionsfaktorer er repræsenteret med orange, mens materiale relaterede emissioner er repræsenteret med blå nuancer på Figur 39.

Figur 39

Klimapåvirkning for hver bygnings for hver tidsperiode og scenarie

- Drift v emission 2025 (B6)
- Løbende udskiftning af materialer (B4)
- Nye materialer år 0 (A1-3)
- Nedrivning år 50 (C3-C4)
- Nedrivning år 0 (Ex. C3-C4)

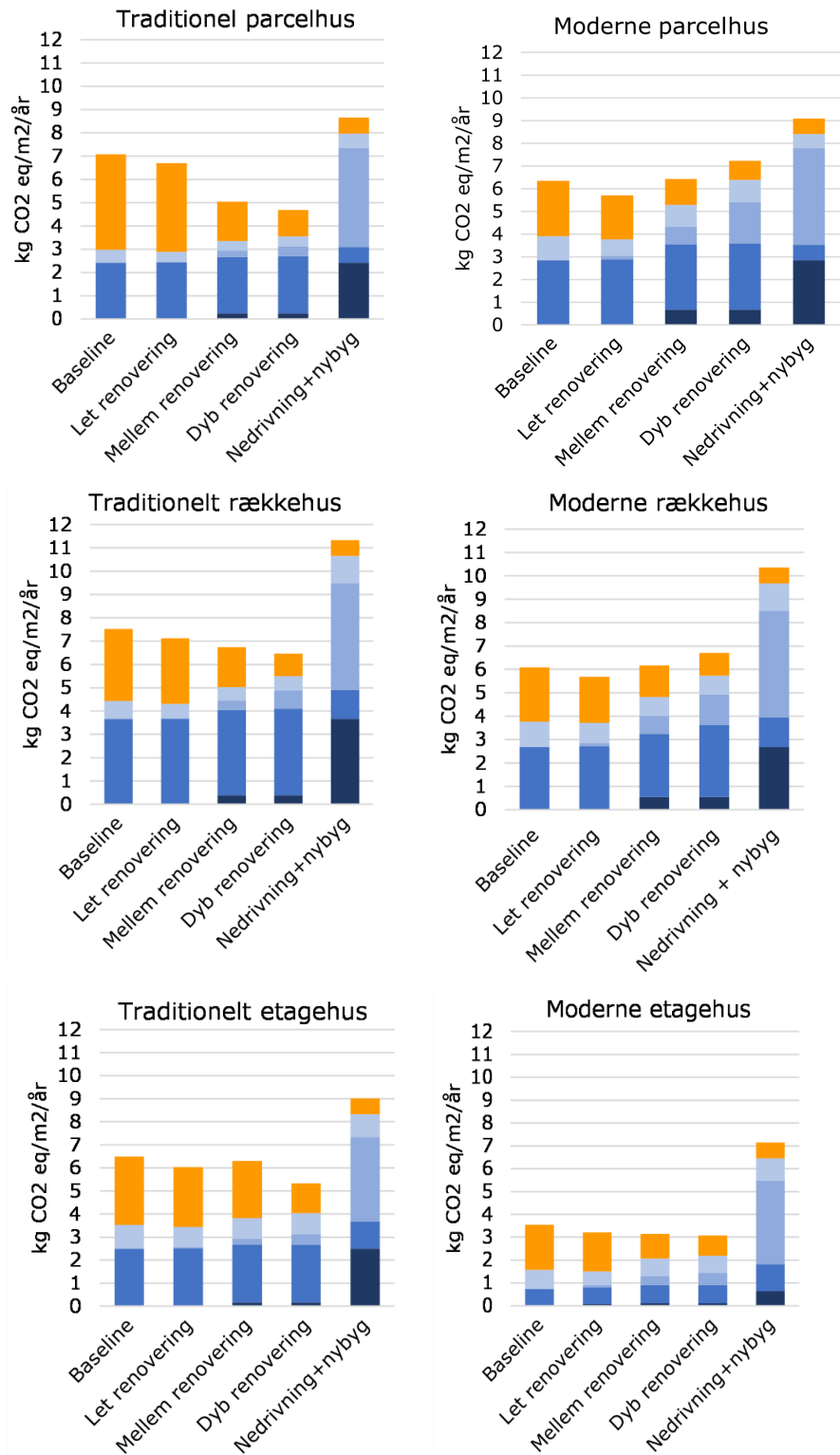
Baseline: Fortsat drift i betragtningsperioden, kun udskiftning ved endt levetid

Let: Eftergang af vinduer (forlænget levetid), efterisolering af tag/loft

Mellem: let renovering + skift af vinduer, udskiftning og efterisolering af tag, ny brugsvandsveksler, skift af fjernvarmeveksler.

Dyb: mellem renovering + udvendig facadeisolering og ny teglfacade, efterisolering af sokkel, tilføjelse af ventilation med varmegenvinding og ventilationskanaler.

Nedrivning + nybyg: Nedrivning af den eksisterende bygning og opførelse af et tidssvarende nybyggeri



Generelle observationer på tværs af bygningstypologierne:

- › De traditionelle typologier har generelt en højere klimapåvirkning end de moderne typologier i baseline og renoveringsscenarierne. Det skyldes at de ældre bygninger (de traditionelle typologier) har et højere driftsenergiforbrug end de nyere bygninger (de moderne typologier).

- › Både en fortsat drift af bygningerne i deres nuværende tilstand (baseline scenariet) samt renovering (let, mellem og dyb renovering) er generelt klimamæssigt bedre end nedrivning og nybyg for alle typologierne, både de traditionelle og moderne.
- › Materialerne udgør mellem 90-94% af klimapåvirkningen fra nedrivning med nybyg, mens driften kun udgør mellem 6%-10% af klimapåvirkningen. Den største materiale relaterede klimapåvirkning ved nedrivning og nybyg kommer fra nye materialer i år 0 og udgør mellem 29%-51% af den totale klimapåvirkning på tværs af typologierne.
- › Inden renovering udgør driften mellem 38%-58% af den samlede klimapåvirkning for både de traditionelle og moderne bygninger (baseline scenarierne). Efter den dybe renovering udgør driften kun mellem 15%-29% af den samlede klimapåvirkning for både de traditionelle og moderne bygninger (dybt renoveringsscenarie). For nogle af typologierne f.eks. det moderne parcelhus og -etagehus, reducerer den dybe renovering klimapåvirkningen fra driftsenergien så meget, at den størrelsesmæssigt kommer ned og er sammenlignelig med klimapåvirkningen fra driftsenergien ved nedrivning og nybyg.
- › For de traditionelle boliger er det en tendens, at desto dybere, der energirenoveres, desto længere ned i klimapåvirkning på tværs af typologier. Dog gælder for det traditionelle etagehus, at mellem renovering har en højere klimapåvirkning end let renovering.
- › For de moderne typologier gælder, at etagehuset viser samme tendens som de traditionelle typologier, at klimapåvirkningen falder, jo dybere der renoveres. For de moderne parcel- og -rækkehuse ses en anden tendens, nemlig at kun let renovering er klimamæssigt bedre end baseline, mens klimapåvirkningen stiger ved både mellem og dyb renovering. Selvom emission fra driften nedsættes, så er materialeforbruget hertil så stort, at emissionen herfra mere end opvejer besparelsen fra driften. Også for etagehusene ses kun en lille nedgang i den samlede klimapåvirkning fra let til mellem renovering. Det ses, at der opnås en reduktion i driftsenergi fra let til mellem renovering, som dog helt eller næsten opvejes af emissionen fra materialerne.
- › På trods af at der anvendes flere materialer til at gennemføre den dybe renovering sammenlignet med den lette og mellem renovering, er den dybe renovering generelt det renoveringsscenarie der giver den klimamæssigt største besparelse (med undtagelse af det moderne parcelhus hvor den lette renovering er bedre, og det moderne rækkehus, hvor den dybe renovering er det mest klimabelastende renoveringsscenarie), idét at der opnås en stor klimamæssig reduktion af driften ved at hele klimaskærmen efterisoleres. Den lette renovering giver generelt ikke en særligt stor klimabesparelse sammenlignet med baseline og derfor vil en mere omfattende energirenovering ud fra et klimaperspektiv være mere anbefalelsesværdig. Den lette renovering vil dog kunne give nogle komfortmæssige fordele ifm. mindre træk gener fra vinduerne og kan derfor af andre årsager stadig være et godt renoveringsinitiativ at gennemføre.
- › Indenfor hver typologi og tidsperiode er klimapåvirkningen fra nedrivning i år 50 den samme på tværs af renoveringsscenarierne.
- › Klimapåvirkningen ved nedrivning og nybyg af de traditionelle bygningstypologier er typisk højere end klimapåvirkningen ved nedrivning og nybyg af de moderne bygningstypologier. Dette er mest udtalt ved etagehustypologien. Forskellen skyldes at der typisk er flere trækonstruktioner i de traditionelle

typologier end de moderne, som afbrændes når de bortskaffes ifm. nedrivning og derved udleder mere CO₂ end ved de moderne og de nybyggede typologier der har mange mineralske konstruktioner (f.eks. beton), som nedkuses og anvendes som erstatning for sten og grus til vejfyld, der har en meget lavere CO₂-udledning.

- › Nedrivning af den eksisterende bygning udgør en væsentlig andel af klimapåvirkningen (9%-32% af den totale klimapåvirkning) i forbindelse med nedrivning og nybyg idét der bortskaffes store mængder træ. Etagehuset er dog undtagelsen idét at det primært består af beton.
- › Det samlede billede for rækkehuse er meget lig resultatet for parcelhuse, hvilket også er forventeligt, da perioder og konstruktionstyper er meget ens for de to typologier. Principielt ville man forvente en generelt lavere klimapåvirkning for rækkehuse, fordi sammenbygningen af boliger sparer nogle byggematerialer. I de valgte nybyg cases ligger rækkehuscasen dog højere end parcelhuscasen pr. m². Forklaringen kan være, at parcelhus nybyg casen er på 170 m², mens rækkehuscasen har et areal pr. bolig på 107 m². Det vil sige, at parcelhuscasen fordeler de typisk klimatunge m² så som bad og køkken, samt ydermere, på et større areal, hvilket kan være en del af forklaringen.

Tendenserne er ikke så afhængige af, om der er tale om parcel-, række- eller etagehus. Der ses snarere ligheder på tværs af de traditionelle hhv. de moderne huse. Da det generelt er klimamæssigt dyrere at nedrive de traditionelle bygningstypologier og bygge noget tidssvarende nyt, pga. de store mængder træ der afbrændes ved bortskaffelse, taler dette for at bevare de traditionelle bygninger og undgå/udskyde udledningen ved nedrivning og nybyg af den gamle bygningsmasse i dag. Men pga. de traditionelle bygningstypologiers udfordring med en høj klimapåvirkning fra driftsenergiforbruget kan dette modsat også motivere til at man vælger at rive ned og bygge noget nyt og mere energieffektivt. Det vil dog være klimamæssigt mest fordelagtigt at foretage en dyb renovering af de traditionelle bygningstypologier for at reducere driftsenergiforbruget og mindske materialeforbruget. Den dybe renovering omfatter udvendig efterisolering af facaderne. Dette kan det give store udfordringer i forhold til at bevare kulturarven i de ældre huse. I afsnit 3.3 gives arkitektoniske perspektiver på den dybe renovering.

For de moderne typologier er belastningen ved nedrivning generelt mindre, men de kan også, med et ret lille materialeforbrug, bringes ned i samlet klimapåvirkning. Det ses overordnet på tværs af baseline og renoveringsklasser, sker der en groft sagt næsten 1:1 udskiftning af energiforsyningskilde: når der på materialeside investeres 1 kg CO₂ækv/m²/år spares der tilsvarende driftsemmission. Man kunne fristes til at konkludere, at det ikke er værd at renovere, men det skal her huskes som tidligere anført, at energiforbruget bør nedbringes.

Særligt for parcelhusene:

- › For det traditionelle parcelhus opnås en stor klimamæssige besparelse ved mellem og dyb renovering sammenlignet med baseline scenariet. En tilsvarende besparelse opnås ikke for det moderne parcelhus idét det nyere hus er bedre isoleret i baseline, og der anvendes en stor mængde materialer i mellem og dyb renovering, som overstiger besparelsen på drift.
- › Det moderne parcelhus har en højere klimapåvirkning fra materialerne end det traditionelle parcelhus, i alle renoveringsscenarierne hvoraf den største andel udgøres af nedrivning i år 50, som dog belaster traditionel og moderne omtrent ens.

- › Den mellem renovering performer dårligere end den lette renovering for det moderne parcelhus. Det ses at klimapåvirkningen fra materialeforbruget til renoveringen overgår besparelsen til driftsenergi. Dette skyldes at vinduernes levetid forlænges i den let renovering, hvilket forårsager færre udskiftninger end i den mellem renovering, hvor vinduerne udskiftes i år 0, og skal have udskiftes rude og ramme i år 25.

Særligt for rækkehusene:

- › Klimapåvirkningen fra nedrivning og nybyg er langt højere for både det traditionelle og moderne rækkehus (hhv. 11,3 kg CO₂ ækv./m²/år og 10,4 kg CO₂ ækv./m²/år) sammenlignet med de øvrige bygningstypologier (mellem 7,1 kg CO₂ ækv./m²/år og 9,0 kg CO₂ ækv./m²/år). Det ses primært at være nedrivningen af det eksisterende hus, som belaster idét de indeholder meget træ.

Særligt for etagehusene:

- › Sammenlignet med parcel- og rækkehus, har det moderne etagehus en meget lavere klimapåvirkning end det traditionelle etagehus. Dette skyldes bl.a. at det moderne etagehus er baseret på hustyper fra ca. 1980, hvor der var større krav til isolering end i perioden for det traditionelle etagehus (ca. 1930), hvor også en stor andel af trækonstruktioner bidrager til en stor emissions-belastning ved nedrivning i år 50. Dvs. der er stor forskel på de to typologiers udgangspunkt, og denne forskel er større end for parcel- og rækkehuse, da det moderne etagehus er nyere end de øvrige moderne typologier.

3.1.5.3 Diskussion / Metodeudfordringer

Nedenfor gives en liste over generelle metodemæssige udfordringer der giver anledning til usikkerheder i LCA-beregningerne.

- › Om renovering er klimamæssigt bedre eller dårligere end nedrivning og nybyggeri afhænger af det nybyggeri der sammenlignes med. I denne rapport er der udvalgt nybyg cases med en gennemsnitlig klimapåvirkning ift. BUILDs "Klimapåvirkning fra 60 bygninger" [87], men nybyggeri kan sagtens ligge meget højere eller lavere end gennemsnittet, da spændet imellem den klimamæssigt bedste og dårligste bygning er meget stort.
- › I den ideelle LCA-metode for renovering beskrevet i afsnit 1 foreslås det at medregne nedrivning og transport C1-2. Der findes på nuværende tidspunkt ikke tilgængelig standardiseret miljødata på livscyklusfaserne C1-2 af eksisterende byggevarer i bygningen, som renoveres eller rives ned. Det er i projektet forsøgt at indhente data herpå hos nedrivere så som Tscherning og Kingo uden held. Selv hvis det var lykket at få denne data, ville den ikke direkte kunne implementeres 1:1 i LCA-beregningerne uden efterbehandling/tilpasning.
- › Medregning af restlevetider for renovering er en udfordring da det kræver en vurdering af de eksisterende bygningsdeles tilstand. I dette projekt arbejdes der med generiske cases der skal repræsentere størstedelen af bygningsmassen indenfor udvalgte bygningstypologier og byggeperioder. Derfor er der i projektet gjort grove antagelser om restlevetiden for hver typologi og bygningsperiode og hvilke bygningsdele der i dag stadig er de originale og hvilke der allerede er blevet udskiftet, samt hvornår de er blevet skiftet for at kunne udregne en restlevetid baseret på de teoretiske levetider i BUILDs levetidstabel. En vurdering af restlevetider fra projekt til projekt vil skabe en uensartet metode på tværs af byggebranchen, og gøre projekterne usammenlignelige med hinanden og med nybyg der jo følger BUILDs standardiserede levetidstabel. Der er behov for standardisering og teoretiske restlevetider for at sikre at LCA'er regnes på et ens grundlag.

- › For at kunne gennemføre LCA-beregninger hvorpå der kan drages generelle konklusioner om renovering er det nødvendigt at regne på generiske cases og renoveringsgrader. Det kræver at man definerer konstruktionsopbygninger og materialetyper som er repræsentative for hver eneste bygning indenfor den pågældende typologi og tidsperiode. I projektet er det erfaret at der kan forekomme forskelle mellem to bygninger indenfor samme typologi og tidsperiode som gør det svært at vælge en repræsentativ case for typologien og tidsperioden og derfor nødvendiggør antagelser for at kunne gennemføre LCA beregningerne, men som gør at resultaterne kan have svært ved at dække alle bygninger indenfor den pågældende typologi og tidsperiode. Dette er en svær balancegang.
- › Som sagt regnes der på generiske bygningscases og renoveringsgrader, men beregningsmetodikken i LCAByg kræver meget detaljeret data helt ned til den præcise betonstyrke og armeringsgrad. Det betyder at processen frem mod at anskaffe/etablere et data grundlag der kan anvende i LCA-beregningen er meget lang, sammenlignet med hvis man kunne anvende overordnet data. Det peger på at der er et databehov som imødekommer at man kan lave overslagsberegninger på et tidligt tidspunkt der kan tage højde for usikkerheder i projektet.
- › I projektet er det erfaret at der er behov for stærke renoveringskompetencer/-ressourcer for at kunne detaljere de beskrevne bygningstypologier og tidsperioder ift. konstruktionsopbygninger og materialetyper og egenskaber og komme med fornuftige antagelser for at lave retvisende LCA-beregninger på case bygninger.
- › Efterhånden som konstruktionsopbygninger og materialetyper er blevet detaljeret for hver af de 6 case bygninger har det været nødvendigt at tilpasse de oprindelige renoveringsgrader/-tiltag for at sikre at de stemmer overens med hvad man kan og gør i virkeligheden for de 6 case bygninger.
- › Emissionsfaktorerne for driftsenergien er fremskrevet iht. den forventede udvikling i Danmarks energisammensætning. Data der anvendes til materialerne, er ikke fremskrevet dvs. der anvendes en statisk emissionsfaktor der forbliver den samme over den 50-årige beregningsperiode. Dette er urealistisk da klimapåvirkningen fra materialerne også vil blive påvirket af at energien til bl.a. produktion af materialerne gradvist bliver grønnere over tid. Dette skaber dermed nogle usikkerheder omkring resultatet af klimapåvirkningen fra materialerne i alle de beregnede scenarier.

3.1.5.4 *Procesudfordringer*

LCA på renoveringsprojekter endnu ikke er lige så veletableret som det er for nybyggeri. I projektet er der undervejs stødt på forskellige beregningsudfordringer som også gør sig gældende for alle andre renoveringsprojekter hvor der skal udføres en LCA-beregning:

- › Kortlægning af mængderne til en LCA-beregning er tidskrævende når det skal gøres manuelt. LCABygs renoveringsbibliotek kan via prædefinerede konstruktioner aflaste dette arbejde. På nuværende tidspunkt er LCABygs renoveringsbibliotek kun dækkende for etagebygninger fra før 1930. Det har derfor krævet en uventet stor mængde manuelt arbejde at opbygge disse konstruktioner for at have de rigtige data at basere beregningerne på.
- › LCAByg er udviklet til at regne på nybyggeri. Og dette har vist sig at være en udfordring når vi skal regne på renovering. F.eks. i en LCA af et nybyggeri vil byggevarer blive udskiftet automatisk pba. deres levetid til en ny tilsvarende bygningsdel. Men når vi har at gøre med eksisterende bygningsdele, ender man med en masse manuelt arbejde da man skal dobbeltmodellere; man bliver nødt til at antage en restlevetid og pba. heraf modellere at den eksisterende bygningsdel bliver bortskaffet når den skal udskiftes ved endt restlevetid og samtidig skal man modellere den nye bygningsdel som den

gamle udskiftes med. Typisk vil man heller ikke udskifte den gamle bygningsdel til en bygningsdel magen til som man gør i en LCA af nybyggeri, men en nyere tidssvarende byggevarer f.eks. skifte de gamle 2 lags vinduer med tidssvarende 3 lags vinduer.

- › LCByg data repræsenterer nutidige bygningsdele. Dette er en udfordring når vi anvender data til at beskrive de eksisterende bygningsdele. F.eks. tager data ikke højde for miljøskadelige stoffer f.eks. tilsætningsstoffer i rockwool fra 70'erne, som man ikke vil bortskaffe på samme måde som den rockwool man producerer i dag. Vi kan derfor konkludere at branchen mangler et LCA renoveringsbibliotek med repræsentative datasæt for eksisterende bygningsdele. Den samme udfordring gør sig gældende for LCC da der vil være omkostninger forbundet med f.eks. fjernelse af asbest. I variantstudierne er det antaget at der ikke forefindes miljøskadelige stoffer i bygningerne eller at disse på forhånd er håndteret.
- › I nogle tilfælde har vi erfaret at vi også mangler repræsentative datasæt i LCByg biblioteket ifm. de nye materialer man renoverer med, f.eks. indfarvet puds.
- › Det er et generelt problem for branchen at vi mangler data på installationer. For nybyg er der etableret standard installationsværdier for nybyggeri pba. erfaringstal for at gøre det nemmere for branchen at medregne installationer. Der findes ikke på samme måde erfaringstal på installationer i eksisterende bygninger.

3.1.6 LCC-studier

Der er valgt at foretage LCC-beregninger på rækkehusene med henblik på at give overslag over de økonomiske konsekvenser af forskellige renoveringsscenarier. Det forventes ikke, at resultaterne kan generaliseres direkte til de to andre typologier (parcelhuse og etageboliger), men i stedet vil give en indikation af de forholdsmæssige differencer indbyrdes imellem renoveringsgraderne. Formålet med LCC-beregningerne er ikke at vurdere, hvilke renoveringsgrader der er tilrådelige, ligesom rentabilitet, prisstigninger og investeringsmuligheder for varianterne ikke vurderes.

3.1.6.1 Metode

Metoden for LCC-beregningerne er nedenfor kortfattet opsummeret. Detaljerede beskrivelser af datagrundlag, beregningsforudsætninger, -metode og -resultater findes i Bilag D - LCC. LCC-beregningerne udføres så vidt muligt på det samme datagrundlag som LCA- og energirammeberegningerne.

Tabel 11 LCC-beregningsforudsætninger

Emne:	Forudsætning:
LCC-program:	LCByg version 3.6.18
Beregningsmetode:	Nutidsværdimetoden, hvor fremtidige omkostninger fremskrives med en prisudvikling (fx inflation) og tilbagediskonteres med en diskonteringsrente iht. DS/ISO 15686-5:2017 Bygge- og anlægsaktiver - Levetidsplanlægning - Del 5: Analyse af livscyklusomkostninger (LCC).
Betragtningsperiode:	50 år
Levetider:	samme som for LCA-beregningerne.
Priser for renoveringsscenarierne:	Prisopslag i prisbøger omsat til gennemsnitlige priser (2024).
Priser for Nedrivning-og-nybyg-scenariet:	Baseret på de faktiske økonomiske forhold i den respektive nybyggeri-case (2022). Priserne er pristalsreguleret til 2024.

Idet prisgrundlaget ikke er ens for renoveringsscenarierne og nedrivning-og-nybyg-casen skal sammenligningen imellem renoverings- og nedrivning-og-nybyg-scenarierne udføres med forbehold. Der er imidlertid foretaget tilpasninger af nedrivning-og-nybyg-scenariet for at kompensere for de forskellige prisgrundlag:

- › Pristalsregulering fra 2022 til 2024 vha. nettoprisindekset
- › Geografisk korrektionsfaktor fra specifik lokation til generisk
- › Anvendelse af samme generiske priser for forsyning og renhold som renoveringsscenarierne.

Beregningerne grupperes i følgende omkostninger:

- › Omkostninger til rådgivning, bygherre og byggeplads
- › Forsyningsomkostninger
- › Omkostninger til renhold
- › Udskiftning af eksisterende bygningsdele, der bliver i casen.
- › Udskiftning af nye bygningsdele, der tilføres i casen.
- › Vedligehold af eksisterende bygningsdele, der bliver i casen.
- › Vedligehold af nye bygningsdele, der tilføres i casen.
- › Anskaffelse af nye bygningsdele
- › Nedrivning og bortskaffelse af *eksisterende* bygningsdele.

Foruden forskelle i konstruktionsopbygninger i bygningsdelene grundet forskellige byggeskikke er der, som nævnt i afsnit Renoveringsscenarier, også forskel på, hvordan bygningsgeometrien for de to tidsperioder ser ud. Dette får en betydning for, hvor stor en betydning renoveringstiltagene får for den samlede totaløkonomi. Tabel 12 indeholder en oversigt over parametre i de to rækkehuse, som får en signifikant indflydelse ift. resultaterne og sammenligningen heraf.

Tabel 12 Betydende parametre for renoveringstiltagene effekt på de samlede levetidsomkostninger

	Traditionel		Moderne	
	Areal	Pr. bruttoareal	Areal	Pr. bruttoareal
Bruttoareal	990 m ²		399 m ²	
Gulvareal	1006 m ²	1,02	366 m ²	0,92
Klimaskærmareal ekskl. vinduer	901 m ²	0,91	576 m ²	1,44
Vinduer	110 m ²	0,11	62 m ²	0,16
Toilet	36 m ²	0,04	16 m ²	0,04
Tag	923 m ²	0,93	454 m ²	1,14

F.eks. har den traditionelle rækkehus-case en anvendt 1. sal med loft til kip, hvilket betyder at forholdet imellem det samlede gulvareal og bruttoarealet er større end 1, da en del af gulvarealet under skråvægge

ikke medtages i bruttoarealet. Derudover har det moderne rækkehus en større ratio af klimaskærm og vinduer ift. bruttoarealet end det traditionelle rækkehus, dels fordi det moderne rækkehus er i ét plan og dels grundet grundplanens udformning. Forholdet imellem bruttoareal og tag har derudover også en betydning for beregningernes udfald. Konsekvensen af disse differencer imellem de betydende parametre er, at renoveringsscenarier vedr. vinduer, ydervæg og tag vil have en større omkostningsmæssig indvirkning på renoveringer af det moderne rækkehus kontra det traditionelle rækkehus.

3.1.6.2 Resultater

Figur 40 viser nutidsværdien for rækkehusene for hhv. den traditionelle og moderne tidsperiode. Tallene i figuren er vist i Tabel 14 Nutidsværdier for rækkehuse, totalt og fordelt på omkostninger. Resultaterne for renoveringsscenarierne i det traditionelle og moderne rækkehus er suppleret med nutidsværdien for nedrivnings-og-nybyg-scenariet. Denne er medtaget i begge figurer, men udgøres af den samme case.

Figur 40

Nutidsværdier for rækkehuse i hver tidsperiode

- Rådgivning & byggeplads
- Forsyning
- Renhold
- Udskiftning - eksisterende
- Udskiftning - nye bygningsdele
- Vedligehold - eksisterende
- Vedligehold - nye bygningsdele
- Anskaffelse - nye bygningsdele
- Nedrivning & bortskaffelse

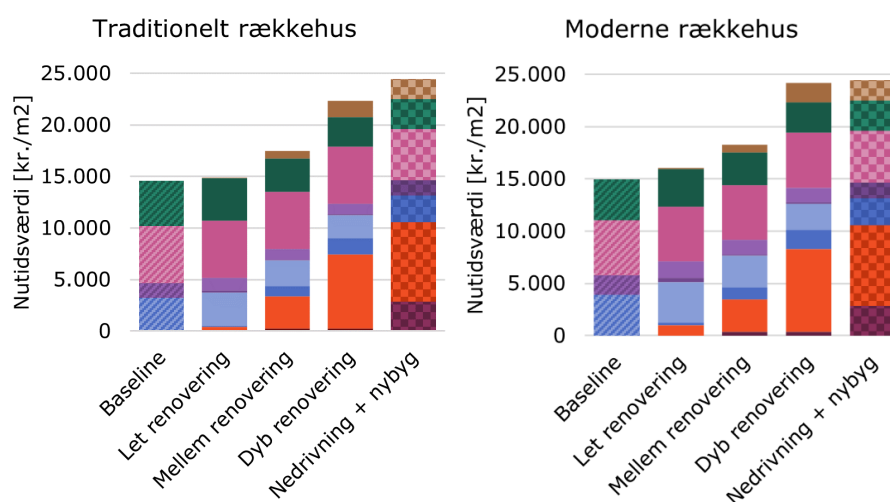
Baseline: Fortsat drift med løbende vedligehold og kun udskiftning ved endt levetid.

Let: Eftergang af vinduer (forlænget levetid), efterisolering af tag/loft.

Mellem: Efterisolering af loft/tag (inkl. tagisolering), udskiftning af vinduer, tag, brugsvandsveksler og fjernvarmeveksler.

Dyb: Mellem renovering + udvendig facadeisolering og ny teglfacade, efterisolering af sokkel, tilføjelse af ventilation med varmegenvinding og ventilationskanaler.

Nedrivning + nybyg: Nedrivning af den eksisterende bygning og opførelse af et tidssvarende nybyggeri.



Figur note: De skrå-skraverede søjler repræsenterer baseline scenarierne, imens de ternede søjler repræsenterer nedrivning-og-nybyg scenariet.

Sammenfattende viser resultaterne, at det billigste set ud fra et totaløkonomisk perspektiv er ikke at gøre noget. Dette ville imidlertid betyde et vedvarende højt energiforbrug. Sammenlignes de dybe renoveringsgrader med nedrivning-og-nybyg-scenariet, fremkommer det, at nutidsværdien for disse ligger på omtrent samme niveau.

Tabel 13 Nutidsværdier for rækkehuse, totalt og fordelt på omkostninger

	Traditionelt rækkehus				Moderne rækkehus				Nybyg
	Baseline	Let renovering	Mellem renovering	Dyb renovering	Baseline	Let renovering	Mellem renovering	Dyb renovering	Nedrivning + nybyg
■ Rådgivning & byggeplads	-	37	735	1.635	-	85	765	1.826	1.954
■ Forsyning	4.389	4.145	3.242	2.805	3.907	3.600	3.080	2.935	2.898
■ Renhold	5.559	5.559	5.559	5.559	5.272	5.272	5.272	5.272	5.011
■ Udskiftning - eksisterende	1.398	1.185	1.017	1.017	1.876	1.577	1.396	1.396	-
■ Udskiftning - nye bygningsdele	-	226	88	113	-	414	110	135	1.429
■ Vedligehold - eksisterende	3.231	3.200	2.447	2.195	3.889	3.845	2.996	2.477	-
■ Vedligehold - nye bygningsdele	-	124	1.046	1.597	-	293	1.192	1.836	2.598
■ Anskaffelse - nye bygningsdele	-	406	3.068	7.159	-	961	3.123	7.959	7.735
■ Nedrivning & bortskaffelse	-	-	273	273	-	-	341	341	2.830
Total	14.577	14.882	17.475	22.352	14.943	16.046	18.274	24.176	24.455

I de følgende afsnit sammenlignes resultaterne på tværs af renoverings- og nedrivning-og-nybyg-scenarierne, hvor det synliggøres hvilke parametre der i særlig grad er afgørende for analysens resultater.

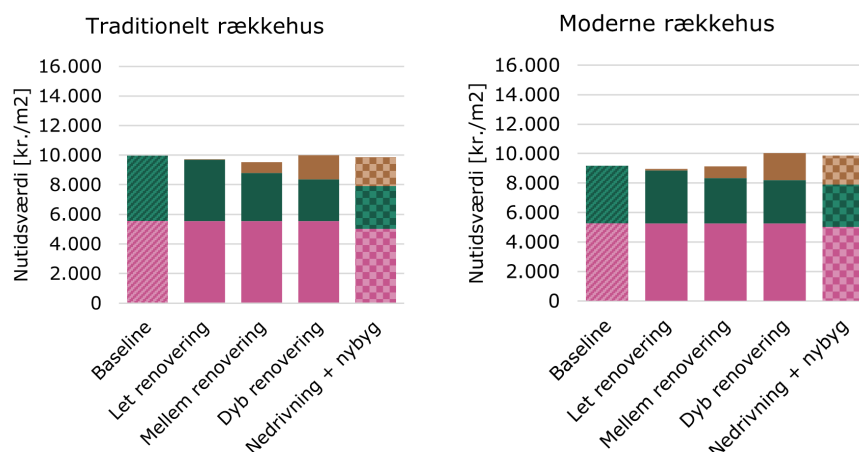
Rådgivning

Nutidsværdien for rådgivning ses i Figur 41 sammen med nutidsværdierne for hhv. forsyning og renhold. Omkostningerne til rådgivning, bygherre og byggeplads dækker over omkostninger, der ikke forbindes med selve byggeriet, men fx bygherre og rådgivning. For renoveringsscenarierne er omkostningerne estimeret i procentsatser af den samlede byggesum, imens de i nedrivning-og-nybyg-scenariet er baseret på den faktiske økonomi for totalrådgiveraftale, byggepladsindretning og -drift samt geo- og landinspektørundersøgelser, hvor renoveringsscenarierne som nævnt er baseret på estimater.

Figur 41

Nutidsværdier for eksisterende og nye bygningsdele i rækkehus-scenarierne.

■ Rådgivning & byggeplads
■ Forsyning
■ Renhold



Figur note: De skrå-skraverede søjler repræsenterer baseline scenarierne, imens de ternede søjler repræsenterer nedrivning-og-nybyg scenariet.

Da renoveringsprojekter an, tages der forbehold for, at omkostningerne i praksis vil udgøre en større eller mindre andel af den samlede byggesum. Dette er nærmere beskrevet i 5E.3 Rådgivning, bygherre og

byggeplads Der afsættes midler til miljøvurderinger til undersøgelse af miljøfarlige stoffer, som asbest, PCB osv. Det forudsættes imidlertid at miljøvurderingerne bliver resultatløse, og det antages derfor at renoveringerne ikke vil blive tidsmæssigt og økonomisk påvirkede af eventuelle saneringer.

Forsyning

Forsyningsomkostningerne beregnes på baggrund af energirammeberegningerne og er derfor direkte afspejling af de gradvise forbedrede energirammer i takt med at rækkehusene efterisoleres og fortættes. Forsyningsomkostningerne udgøres af hhv. et varmekonsum via fjernvarme, forbrug af el samt omkostninger til drikke- og spildevand. Enhedspriserne for forsyning findes i Bilag 4.2.1, og tager udgangspunkt i gennemsnitlige forbrugerpriser fra BUILD 2023:13, der indeholder en revurdering af beregningsforudsætninger til brug i LCCbyg, herunder også nye enhedspriser for forsyning (Laursen & Haugbølle, Beregningsforudsætninger og nøgletal i LCCbyg, 2023). Vandforbrug (drikke- og spildevand) indgår ikke som en del af LCA-beregningerne, og det faktiske vandforbrug estimeres ikke i dette projekt. Vandforbruget estimeres i stedet på baggrund af generelle antagelser og informationer til 0,75 m³ per kvadratmeter per år. Se nærmere i Bilag E.

Renhold

Omkostningerne til renhold er konstante på tværs af renoveringsgraderne, da renoveringstiltagene udelukkende handler om at forbedre de byggetekniske løsninger, og derfor ændrer renholdsarealer, aktiviteter og frekvenser sig ikke. Det traditionelle rækkehus har dog en større andel af gulvareal ift. det samlede bruttoareal end det moderne rækkehus. Det betyder at omkostningerne til renhold for det traditionelle rækkehus bliver højere end det moderne, når de samlede omkostninger til renhold beregnes per bruttoareal. Forholdet imellem vinduesareal og bruttoareal påvirker i modsatte retning, dog har det traditionelle rækkehus vinduer der er placeret så der er over 2,5 m til overkanten af vinduet, hvilket har en fordyrende effekt. Omkostningerne til renhold udgør en nutidsværdi på ca. 5.550 kr./m² for det traditionelle rækkehus og ca. 5.275 kr./m² for det moderne rækkehus. Renhold udgør ca. 5.000 kr./m² i nedrivnings-og-nybyg-scenarier. Da renholdet består af de samme aktiviteter, priser og frekvenser i både renoveringscases og nedrivning-og-nybyg-scenariet, tilskrives forskellene variationer i de arealer der renholdes, som konsekvens af forskellig bygningsgeometri.

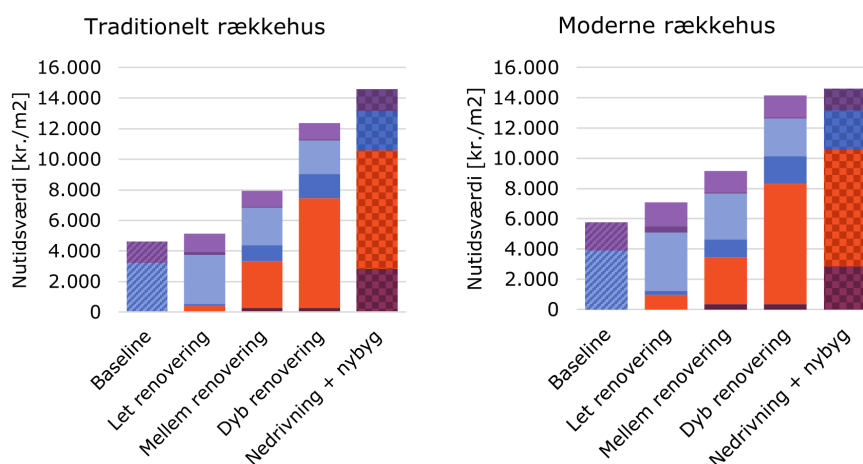
Renoveringstiltag

Figur 42 sammenligner nutidsværdierne relateret til bygningsdele og medtager udelukkende omkostninger, der relaterer til demontering, bortskaffelse, vedligehold og udskiftning af de eksisterende bygningsdele samt anskaffelse, vedligehold og udskiftning af nyanskaffede bygningsdele.

Figur 42

Nutidsværdier for eksisterende og nye bygningsdele i rækkehus-scenarierne.

- Udskiftning - eksisterende
- Udskiftning - nye bygningsdele
- Vedligehold - eksisterende
- Vedligehold - nye bygningsdele
- Anskaffelse - nye bygningsdele
- Nedrivning & bortskaffelse



Figur note: De skrå-skravede søjler repræsenterer baseline scenarierne, imens de ternede søjler repræsenterer nedrivning-og-nybyg scenariet.

Den samlede nutidsværdi for udskiftning falder fra ca. 1.400 kr./m² i baseline for det traditionelle rækkehus til 1.130 kr./m² i den dybe renovering. Tilsvarende falder den samlede nutidsværdi for udskiftning fra ca. 1.880 kr./m² i den moderne baseline til ca. 1.530 kr./m² i den dybe renovering af det moderne rækkehus. Til sammenligning er nutidsværdien for udskiftning beregnet til ca. 1.430 kr./m² i nedrivning-og-nybyg-scenariet.

Den samlede nutidsværdi for vedligehold stiger fra ca. 3.230 kr./m² i baselinen for det traditionelle rækkehus til ca. 3.790 kr./m² i den dybe renovering af det traditionelle rækkehus. Tilsvarende stigning ses for det moderne rækkehus, hvor vedligehold af baseline udgør ca. 3.890 kr./m² og stiger til ca. 4.310 kr./m². Stigningen i omkostningen til vedligehold skyldes, at der tilføres flere materialer til renoveringsscenarierne end der fjernes. Til sammenligning er nutidsværdien for vedligehold beregnet til ca. 2.598 kr./m² i nedrivning-og-nybyg-scenariet.

Omkostningen til anskaffelse stiger jo dybere renoveringsgrad, der foretages, da der tilføres flere og flere renoveringstiltag. Ved sammenligning af de dybe renoveringsgrader og nedrivning-og-nybyg-scenariet, ses det at nutidsværdien for anskaffelse er ca. 7.160 kr./m² for det traditionelle rækkehus, ca. 7.960 kr./m² for det moderne rækkehus og ca. 7.740 kr./m² for nedrivning-og-nybyg-scenariet. Der er med andre ord ikke den store forskel på renoveringstiltag eller nybyg når det gælder de definerede renoveringsgrader. Dette bør imidlertid sammenholdes med omkostningen til nedrivning og bortskaffelse. Imens denne udgør ca. 270 kr./m² for det traditionelle rækkehus og ca. 340 kr./m² for det moderne rækkehus, er den væsentligt højere for nedrivning-og-nybyg-scenariet (ca. 2.830 kr./m²).

Foruden ovenstående bemærkes følgende ved sammenligning af scenarierne:

- › Nutidsværdierne for de moderne LCC-beregninger er generelt højere end tilsvarende for de traditionelle rækkehuse. Dette skyldes primært de betydende faktorer beskrevet i Bilag D LCC Metode.
- › Anskaffelsen i den lette renoveringsgrad er højere i det moderne rækkehus end i det traditionelle, fordi etageadskillelsen imod loft isoleres i det moderne rækkehus. Dette foretages først i den mellemste renoveringsgrad for det traditionelle rækkehus, da denne som nævnt er regnet med loft til kip.
- › Ovenstående forskel udjævnes i den mellemste renovering, hvor det traditionelle rækkehus tilføres mere isolering i taget jf. den manglende efterisolering i etageadskillelsen mod loft, og i den forbindelse

genopbygges loftet med nye gipsplader. Der tilføres ikke ny loftopbygning i den moderne rækkehuscase, da arbejdet sker over loftet. Derudover udskiftes beholderen til varmt brugsvand og fjernvarmeveksleren i det mellemste renoveringsscenarie. I den moderne case videregives efterisoleringen af etageadskillelsen til den mellem renovering.

3.1.6.3 *Diskussion af resultater*

På baggrund af resultaterne af LCC-beregningerne ses det, at den totaløkonomisk billigste løsning er ikke at foretage sig noget ved baseline-scenarierne. Dette vil imidlertid betyde høje omkostninger til forsyning af el og varme til rækkehusene. Derudover er restlevetiderne for mange af bygningsdele antaget som nye, og de reelle omkostninger til vedligehold og udskiftning af de eksisterende bygningsdele må derfor formodes at være højere, end det beregningerne angiver. Dette gør sig især gældende for bygningsdele hvor restlevetiden er lav, fordi udskiftningernes økonomiske betydning er større, jo tættere på år 0 de foretages pga. diskonteringen af fremtidige pengestrømme. Projektet bygger på en antagelse af, at restlevetiderne for hoveddelen af eksisterende bygningsdele svarer til levetiden for nye bygningsdele er, at de beregnede omkostninger til løbende udskiftninger kan være lavere end hvad de i realiteten er. Dette er en konsekvens af diskonteringen af fremtidige pengestrømme, hvor en fremtidig omkostningseffekt på nutidsværdien reduceres jo længere ud i fremtiden den er. I beregningen af baseline for det traditionelle rækkehus udgør vinduesudskiftningen i år 30 en nutidsværdi på 210.650 kr. – men hvis denne i stedet udføres efter 25 år, vil det give anledning på en højere nutidsværdi på 250.186 kr., imens den tilsvarende vil falde til 177.361 kr. hvis udskiftningen udføres efter 35 år.

Sammenholdes hhv. de dybe renoveringsscenarier med nedrivning-og-nybyg-scenariet, så viser undersøgelserne, at renoveringstiltagene er en signifikant parameter ift. rangeringen af de andre parametre. Renoveringstiltagene i de dybe renoveringstiltag resulterer i energirammer, som giver anledning til forsyningsomkostninger, der ens på tværs af de tre scenarier. Derudover afhænger anskaffelsesomkostningerne, vedligeholdsomkostningerne samt udskiftningsomkostningerne alle af renoveringstiltagene for de to renoveringscases. Her ses det, at den dybe renovering af det moderne rækkehus har en højere nutidsværdi end den dybe renovering af det traditionelle rækkehus. Én af de primære forklaringer til disse differencer findes i forskellene i bygningsgeometrierne og de resulterende arealforhold imellem bruttoareal og oplands-arealer til renoveringstiltagene, fx kvadratmeter ydervæg.

Imens prisgrundlaget for de generiske rækkehuse og renoveringerne heraf er baseret på prisopslag i prisbøger, stammer prisgrundlaget i nedrivning-og-nybyggeri-scenariet primært fra en realiseret case. Casen er opført i 2022, og derfor er anvendte omkostninger pristalsreguleret og geografisk korrigeret for at sikre sammenlignelighed. Det er imidlertid et velkendt fænomen, at priser i prisbøger generelt er højere end realiserede omkostninger, og sammenligningerne imellem renovering-scenarierne og nedrivning-og-nybyg-scenariet skal derfor udføres med forbehold. Ses der alene på anlægsprisen for det nye rækkehus, dvs. summen af rådgivning og byggeplads samt anskaffelse, nye bygningsdele, så er prisen 9.689,- kr/m². Denne anlægspris omfatter ikke køkken og udendørs arealer, herunder skure mv., men må dog stadig betragtes som ret lav. Dette må inddrages i forbeholdet for sammenligning mellem renoverings- og nedrivning-og-nybyg-scenariet.

De præsenterede resultater i de foregående afsnit medtager ikke restværdier. Det vil sige at det antages at samtlige materialer i renoverings- og nedrivning-og-nybyg-scenarierne afskaffes efter den 50-årige beregningsperiode og ikke er noget værd. Dette afspejler imidlertid ikke sædvanlig beregningspraksis, hvor bygninger og bygningsdeles restværdi beregnes på baggrund af restlevetid og anskaffelsesværdi ved en lineær afskrivning. Konsekvensen af dette er, at de beregnede nutidsværdier i værste fald er 5-10 % højere

end de ville være, hvis man havde medtaget restværdierne i beregningerne. Teoretisk beregnede restværdier med udgangspunkt i worst-case-scenario kan ses i bilag E.1.

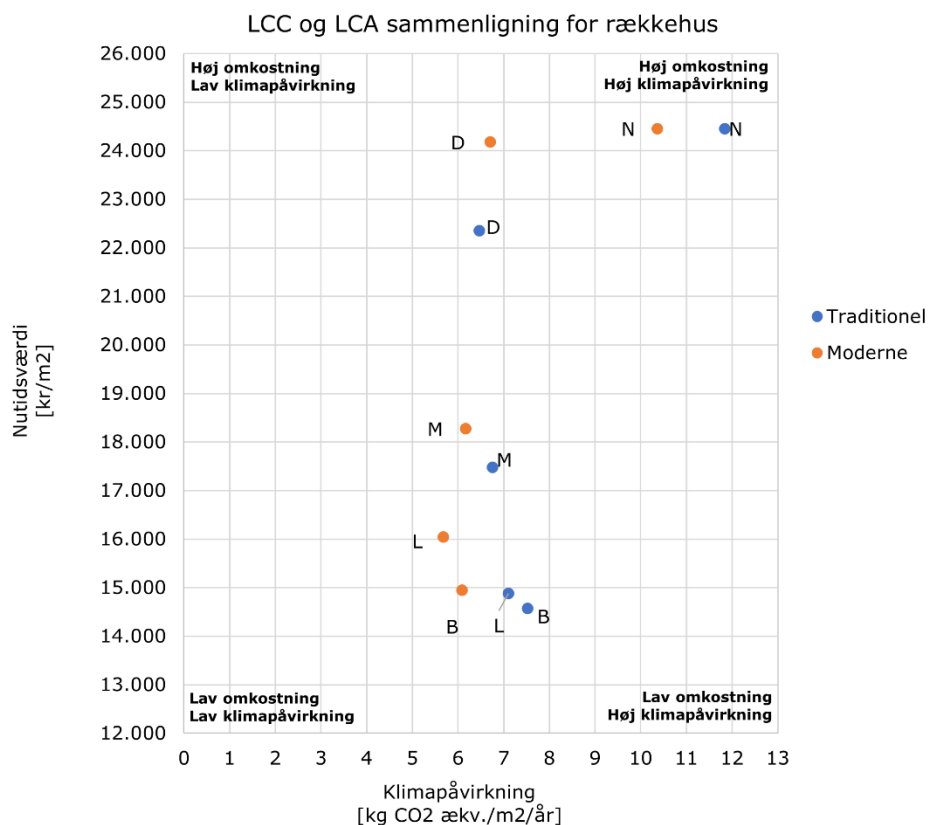
3.1.7 Sammenligning af LCA og LCC-resultater

3.1.7.1 Resultater

I Figur 43 ses en sammenstilling af LCA- og LCC-resultater for traditionel og moderne rækkehus scenarier. LCA-resultater er baseret på 2025-emissionsfaktor og er beregnet ud fra start i år 2025. LCC-resultater er beregnet ud fra start i år 2024, hvilket der må tages forbehold for: LCA med start i 2024, ville betyde højere LCA for drift, hvilket ville øge LCA for alle scenarier, men mest for baseline og let renovering.

I figuren er markeret fire yderområder for hhv. omkostning og klimapåvirkning. Når høj klimapåvirkning, som her defineres som emissioner op til den nuværende grænseværdi for nybyggeri uden forudgående nedrivning på 12 kg CO₂ækv./m²/år, så ligger kun nedrivning og nybyggeri i dette område, mens baseline og alle renoveringsscenarier ligger i et middellområde mellem en lav og høj klimapåvirkning.

Det ses dog umiddelbart, at nedrivning og nybyggeri har både høj omkostning og høj klimapåvirkning, mens de dybe renoveringer også har høj omkostning, men noget lavere klimapåvirkning. De øvrige renoveringsscenarier adskiller sig ikke markant fra hinanden mht. til klimapåvirkning, men det ses at mellem renovering er noget dyrere end lav renovering og baseline scenarier. Dyb renovering er beregnet med efterisolering af facader inklusive ny facade i tegl (muret i traditionel, skærmtegl i moderne), hvilket vurderes at være en ret dyr løsning.



Figur 43 LCC- og LCA sammenligning. Forkortelser: B=baseline, L=Let renovering, M=Mellem renovering, D=dyb renovering, N=nedrivning og nybyg

Når heroverfor "høj omkostning" defineres som LCC lige over de dyreste cases, og "lav omkostning" som de billigste cases (altså en relativ definition), så ses det, at eftersom der ikke er den store forskel i emission (fra ca. 5,5 til ca. 7,5 kg CO₂ækv/m²/år, som dækker middelområdet mellem 0 og 12 CO₂ækv/m²/år) for de scenarier, som bevarer det eksisterende rækkehus, vil det økonomisk være klogest at gøre så lidt som muligt, dvs. baseline eller let renovering. Dybe renoveringer er kostbare, men klimamæssigt betydeligt bedre end nedrivning og nybyggeri.

På dette grundlag er der ingen klar sammenhæng mellem LCC og LCA-resultater, forstået sådan at der for en større investering opnås en tilsvarende større besparelse på klimapåvirkningen. Samlet set kan det konstateres:

- › Ingen scenarier ses at ligge optimalt med en kombination af lav omkostning og lav klimapåvirkning.
- › Baseline, let og mellem renovering har relativt lave omkostninger og mellem klimapåvirkning

Dybe renoveringer har høje omkostninger, højest for moderne rækkehus, og mellem klimapåvirkning. Man opnår kun en relativt lille sænkning af klimapåvirkningen ved yderligere økonomisk investering fra mellem til dyb renovering

Nedrivning og nybyg er både dyrere og klimamæssigt dårligere end mellem renovering.

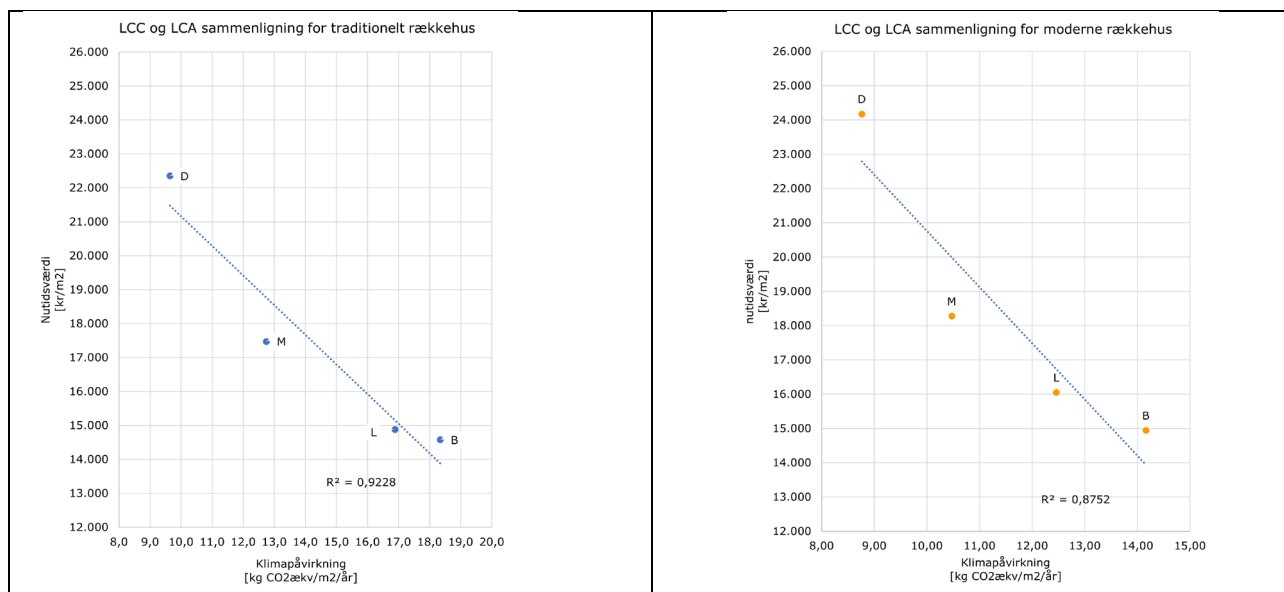
Den bedste investering klimamæssigt og økonomisk er på dette grundlag baseline eller let renovering, uanset om der er tale om traditionel eller moderne typologi.

3.1.7.2 **Diskussion og betydning**

Figur 39 angiver scenariernes klimapåvirkning baseret på emissionsfaktor 2025. Som det tidligere er vist, betyder dette, at emissionen fra drift vægter betydeligt mindre end ved de nugældende emissionsfaktor 2023. Det er derfor ikke overraskende, at de scenarier, som har de laveste LCC resultater, bliver de mest anbefalelsesværdige, og at der ikke kan ses en klar sammenhæng mellem investering og klimabesparelse, selvom der spares mere driftsenergi, jo mere der renoveres.

For at undersøge, om anvendelse af emissionsfaktor 2023, som giver en væsentlig højere emission for drift, viser en større sammenhæng mellem LCA og LCC, vises i Figur 44 kombineret LCA og LCC for renoveringsscenarierne for hhv. traditionelt og moderne rækkehus, sammen med tendenslinje og R² for samme.

Det ses af figuren, at der med denne beregning og sammenstilling af data fremtræder en ret tydelig tendens for begge typologier således, at høj LCC og lav LCA hhv. lav LCC og høj LCA hænger samme, eller sagt med andre ord, ved at øge omkostning til renovering opnås en lavere klimabelastning, hidrørende fra energiforbrug til drift.



Figur 44 LCC og LCA-sammenligning for traditionelle rækkehus med emissionsfaktor 2023. Forkortelser: B=baseline, L=Let renovering, M=Mellem renovering, D=dyb renovering, N=nedrivning og nybyg

Det må understreges, at tolkningen af LCA i kombination med LCC kun må ses som nogle meget overordnede tendenser. Der er mange faktorer, som påvirker prisen for en renovering, og projektets LCC kan ikke anvendes direkte som vejledende for prisen på et renoveringsscenarie.

3.2 Variantanalyse af udvalgte parametres betydning for LCA-resultaterne

Forskellige parametre kan i større eller mindre grad have indflydelse på LCA-resultaterne. Da LCA-resultaterne viser at driftsenergien har en stor andel af klimapåvirkningen i de eksisterende bygninger, er der foretaget variantanalyse af parametre og forudsætninger med betydning for beregning af driftsenergien og dens emissioner. De tre væsentligste parametre for driftsenergien som påvirker LCA-resultatet og dermed giver anledning til usikkerhed i LCA-resultatet er:

Energiforbruget: til LCA-beregningen anvendes iht. BR18 et beregnet driftsenergiforbrug baseret på en energirammeberegning i Be18. Det har dog længe været kendt, at der i praksis er et ”performance-gap” mellem det beregnede driftsenergiforbrug og driftsenergiforbruget i praksis.

Emissionsfaktor: For at omregne driftsenergiforbruget fra kWh til tilsvarende kg CO₂ ækv./m²/år anvendes en såkaldt emissionsfaktor, som er et udtryk for hvor meget klimapåvirkning der kan tilskrives 1 kWh pba. energiforsyningskilden hvor f.eks. strøm fra vindmøller har en lavere CO₂ emission sammenlignet med strøm fra kulafbrænding. Emissionsfaktorerne til LCA-beregning er fastsat iht. BR18, og opdateres med mellemrum ud fra en fremskrivning af den forventede udvikling af energiproduktionen i Danmark. I det nuværende bygningsreglement anvendes emissionsfaktorer fra [103], kaldet 2023 emissionsfaktorer, men ved opdatering af bygningsreglementet i 2025 skal anvendes opdaterede emissionsfaktorer fra [81], kaldet 2025 emissionsfaktorer.

Energikilde: De forskellige energikilder f.eks. fjernvarme, naturgas og el har forskellige emissionsfaktorer. Derfor påvirker energikilden i høj grad det samlede LCA-resultat for bygningen. Variantanalyserne er gennemført med udgangspunkt i fjernvarme, men kilden er påvirket af om området er udlagt til fjernvarme.

Biogene materialer: I renovering-scenarierne af de generiske cases er konventionelle materialer antaget som udgangspunkt for beregningerne. Men der ses en stigende interesse i at erstatte de konventionelle byggematerialer med biogene alternativer i større eller mindre grad for at reducere bygningernes klimapåvirkning. For at undersøge effekten af biogene materialer på resultaterne af LCA-beregninger er der foretaget variantstudier af dyb renovering, hvor materialerne i klimaskærmen (isolering, beklædning og vinduer) så vidt muligt er ændret til biogene materialer.

Emissionstidspunkt: I variantstudierne er der fokuseret på den totale klimapåvirkning over 50 år. Men emissionerne sker på forskellige tidspunkter af en bygnings levetid og har derfor forskellige konsekvenser for klimaet. Tidsperspektivet er derfor en væsentlig parameter at betragte i LCA-beregningerne.

I de efterfølgende afsnit foretages følsomhedsstudier, der demonstrerer effekten af disse parametre på LCA-resultatet for scenarierne på et udvalgt af bygningstypologierne: dvs. hvis der regnes med det sandsynlige faktiske energiforbrug, de nuværende emissionsfaktorer i bygningsreglementet og andre energiforsyningskilder end fjernvarme, hvis der renoveres med biogene materialer frem for konventionelle og timingen af emissionerne.

3.2.1 Performance gap

Performance gap er et udtryk for forskellen imellem det beregnede og faktiske driftsenergiforbrug. I afsnit Håndtering af performance gap i energiberegninger^{1.4} redegøres der i detaljer for fænomenet, og der opstilles formler, som til en vis grad kan kompensere for performance gap. Effekten af performance gap i variantstudierne er beregnet pba. beregningsmetoden anvist i afsnit 1.4.

Som forklaret i afsnit 1.4, udtrykker performance gap de faktiske forbrugsdata i bygninger i forskellige energiklasser. Disse data viser en meget stor spredning. Derfor beregnes ved brug af performance gap-formlerne en minimums-, en gennemsnits- og en maksimums- værdi for det forventede faktiske energiforbrug. Som det fremgår, kan minimums-energiforbruget ved anvendelse af performance gap-formlerne antage værdier ned til nul, hvilket udtrykker den store spredning i faktisk energiforbrug. Når gennemsnitsværdien beregnet med performance gap sammenlignes med drift baseret på en energiberegning iht. til BR18, ses det, at for energiklasser op til og med klasse C, er det forventede faktiske forbrug i gennemsnit lavere end det beregnede forbrug. Modsat gælder det for energiklasse B og højere, at det gennemsnitlige forventede forbrug baseret på performance gap-formlerne er højere end forbruget beregnet ud fra BR18. Dette svarer til de indsamlede data for bygningers faktiske forbrug.

Tabel 15 viser energiklasserne, og klimapåvirkningen fra hhv. materialer, drift og performance gap for hvert scenarie for det traditionelle rækkehus. Energitklasserne for det traditionelle rækkehus spænder fra E for baseline til A2015 for nedrivning og nybyggeri.

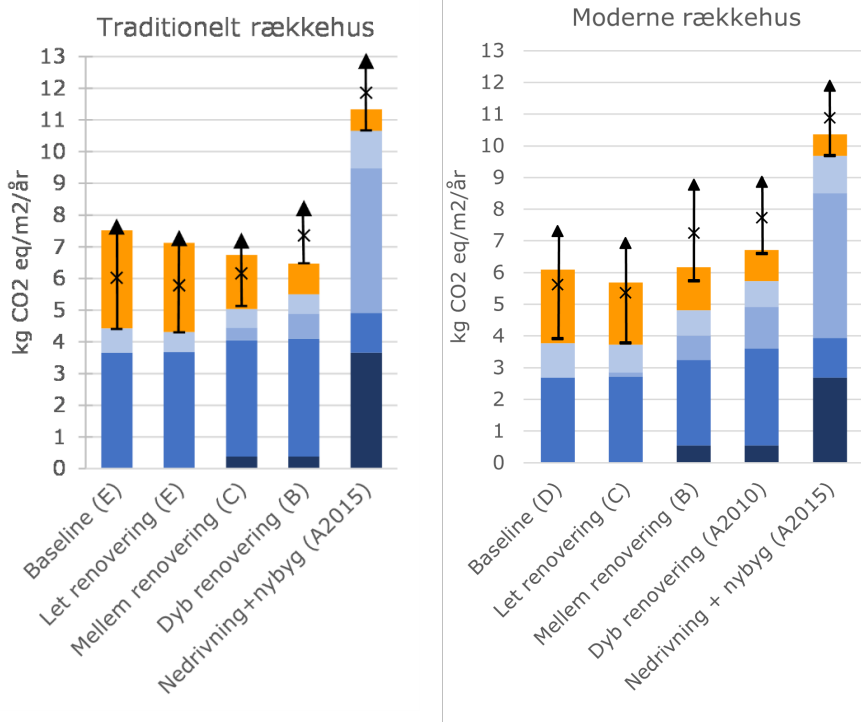
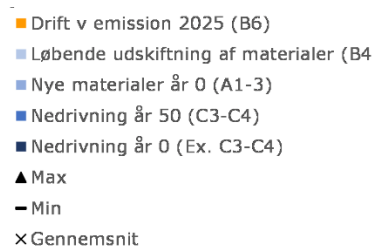
Tabel 14 Energimærke og klimapåvirkning fra materialer og driftsenergi for scenarierne for det traditionelle rækkehus i kg CO₂ ækv./m²/år

Trad. Rækkehus Case	Energimærke	Materialer i alt	Drift, emission 2025	Drift, performance gap		
				Gennemsnit	min	max
Baseline	E	4,43	3,09	1,6	0,0	3,2
Let renovering	E	4,31	2,81	1,5	0,0	3,0
Mellem renovering	C	5,03	1,71	1,1	0,1	2,2
Dyb renovering	B	5,49	0,97	1,9	1,0	2,7
Nedrivning+nybyg	A2015	10,65	0,68	1,2	0,0	2,2

Data fra Tabel 15 er illustreret i Figur 45 nedenfor. De orange søjler viser klimapåvirkningen fra driftsenergien og de sorte pile viser performance gappets spænd fra minimum til maksimum, mens krydset viser det gennemsnitlige forventede faktiske driftsenergiforbrug.

Figur 45

Performance gap for scenarierne for det traditionelle og moderne rækkehus



Det traditionelle rækkehus:

- › For baseline, let og mellem renovering (hhv. energiklasse E, E og C) er det gennemsnitlige performance gap lavere end det beregnede driftsenergiforbrug. Dog spænder performance gappet på tværs af hele det beregnede driftsenergiforbrug. Erfaringsmæssigt vil det faktiske forbrug altid ligge mindre end det beregnede forbrug for bygninger med energiklasse E.
- › For dyb renovering og nybyggeri (hhv. energiklasse B og A2015) kan der forventes et højere faktisk driftsenergiforbrug, end det beregnede idet det gennemsnitlige performance gap ligger over det beregnede forbrug sammen med en stor del af spændet mellem minimum og maksimum.

Det moderne rækkehus:

- › Det moderne rækkehus har baseline og let renovering et lavere driftsenergiforbrug og dermed også bedre energiklasser (hhv. D og C) sammenlignet med det traditionelle rækkehus. Her viser det gennemsnitlige performance gap en tendens til at det faktiske driftsenergiforbrug vil ligge i den høje ende af det beregnede forbrug og pba. af maksimumværdien potentielt højere end det beregnede forbrug.
- › For mellem, dyb og nedrivning og nybyg scenarierne (hhv. energiklasse B, A2010 og A2025) ligger det gennemsnitlige performance gap og en stor andel af performance gap spændet mellem minimum og maksimumsværdien over det beregnede driftsenergiforbrug og derfor kan der forventes et højere faktisk driftsenergiforbrug end det beregnede.

Generelt på tværs af det traditionelle og moderne rækkehus:

Klimapåvirkningen fra driftsenergien er beregnet pba. af de nye 2025 energi emissionsfaktorer. Brug af de nuværende 2023 energi emissionsfaktorer vil forholdsmæssigt give samme resultat som vist på Figur 39, da klimapåvirkningen fra driftsenergien blot vil øges for alle scenarierne pga. de højere emissionsfaktorer for 2023.

- › Man bør ved vurdering af energirenoveringstiltag, som placerer en bygning i energiklasser op til og med energiklasse C være opmærksom på, at det faktiske energiforbrug typisk vil være lavere end det beregnede ved BR18 beregning.
- › Man bør ved vurdering af energirenoveringstiltag, som placerer en eksisterende eller nybygget bygning i energiklasse B eller bedre, være opmærksom på, at det faktiske energiforbrug typisk vil være højere end det beregnede ved BR18 beregning

Rækkehus eksemplet viser at størrelsesorden af performance gap kan have et bredt spænd og dermed give anledning til stor usikkerhed i LCA-beregningen er, og ikke mindst usikkerhed om effekten af energirenoveringstiltag. Performance gap er jf. afsnit 1.4 undersøgt på tværs af bygningstypologier for boliger og viser samme generelle tendens. Beregningseksemplet viser, at LCA-resultatet for både det traditionelle og moderne rækkehus stadig giver den samme overordnede konklusion ved sammenligningen mellem renovering kontra nedrivning og nybyg: at det er klimamæssigt bedst at renovere frem for at rive ned og bygge nyt. Men det stiller også generelt de lavere renoveringsgrader bedre, især for de moderne typologier, som typisk når højere energiklasser ved renovering.

3.2.2 Emissionsdata

De nye opdaterede 2025 emissionsfaktorer for drift (Modul B6) for fjernvarme og el, har dannet udgangspunktet for rapportens LCA-beregninger. 2025 emissionsfaktorer er betydeligt lavere end de emissionsfaktorer der anvendes til eftervisning af bygningsreglementets nuværende klimakrav. De nuværende emissionsfaktorer beregnet i 2020 og præsenteret i [39] med baggrund i energistyrelsens daværende fremskrivning for el og fjernvarmeproduktion [103]. Betydningen af forskellen mellem anvendelse af nuværende emissionsfaktorer og kommende 2025 emissionsfaktorer er præsenteret i de følgende afsnit. Da de nuværende emissionsfaktorer anvendes til eftervisning af bygningsreglementets klimakrav fra 2023 er disse i figurer benævnt "drift v. emission 2023". For alle bygningstypologierne er anvendt fjernvarme som varmforsyningskilde. Især fjernvarme har fået lavere emissionsfaktorer for 2025

(ca. 80 % lavere). Der er i afsnit 1.5 redegjort nærmere for forskelle mellem nuværende og kommende emissionsfaktorer.

Figur 46 viser forskellen mellem at anvende hhv. 2023 (orange skravering) sammenlignet med 2025 (orange) emissionsfaktorer som er udgangspunktet for LCA-beregningerne i afsnit 3.1.5, og hvordan det påvirker konklusionerne der kan drages heraf. *Figur 46* sammenligner desuden medianen for nedrivning og nybyg samt renovering af følgende anvendelseskategorier: bolig & erhverv, etageboliger, kontorbyggeri, erhverv samt enfamiliehuse, kæde-/rækkehuse og institution, kultur, idræt (pba. 2025 emissionsfaktorerne) fra cases der er beregnet igennem de seneste år, som er undersøgt i projektets litteraturstudie i afsnit 2.3.

Generelle tendenser på tværs af bygningstypologierne, perioder og scenarier:

- › Når 2023 emissionsfaktorerne anvendes i LCA-beregningerne, vokser klimapåvirkningen fra driftsenergien betydeligt for alle typologierne og scenarierne. F.eks. går baseline scenariet for det traditionelle parcelhus fra en samlet klimapåvirkning på 7,08 kg CO₂ ækv./m²/år til 21,38 kg CO₂ ækv./m²/år når der skiftes fra 2025 til 2023 emissionsfaktorerne.
- › Den voldsomme stigning i klimapåvirkning ved brug af 2023 emissionsfaktorerne bevirker, at scenariet hvor den eksisterende bygning fortsat driftes i dens nuværende tilstand de næste 50 år (baseline) og en let-, mellem- og dyb renovering ikke længere alle sammen er klimamæssigt fordelagtige sammenlignet med nedrivning og nybyg, som når 2025 emissionsfaktorerne anvendes. For alle typologierne, på nær det traditionelle parcelhus og -etagehus, er den mellem og dybe renovering dog stadig klimamæssigt bedst sammenlignet med nedrivning og nybyg, selvom 2023 emissionsfaktorerne giver en markant stigning i klimapåvirkningen fra driftsenergien.

Beregning med emissionsfaktor 2023 muliggør en sammenligning med cases fra studiet i afsnit 2.3. Det ses, at variantstudierne af renoveringsscenarier alle ligger over medianen af renoveringscases, mens de valgte nybyggeri-scenarier ligger tættere på medianen for nybyggeri. Dog skal man være opmærksom på, at nedrivning normalt ikke medregnes i nybyggeri.

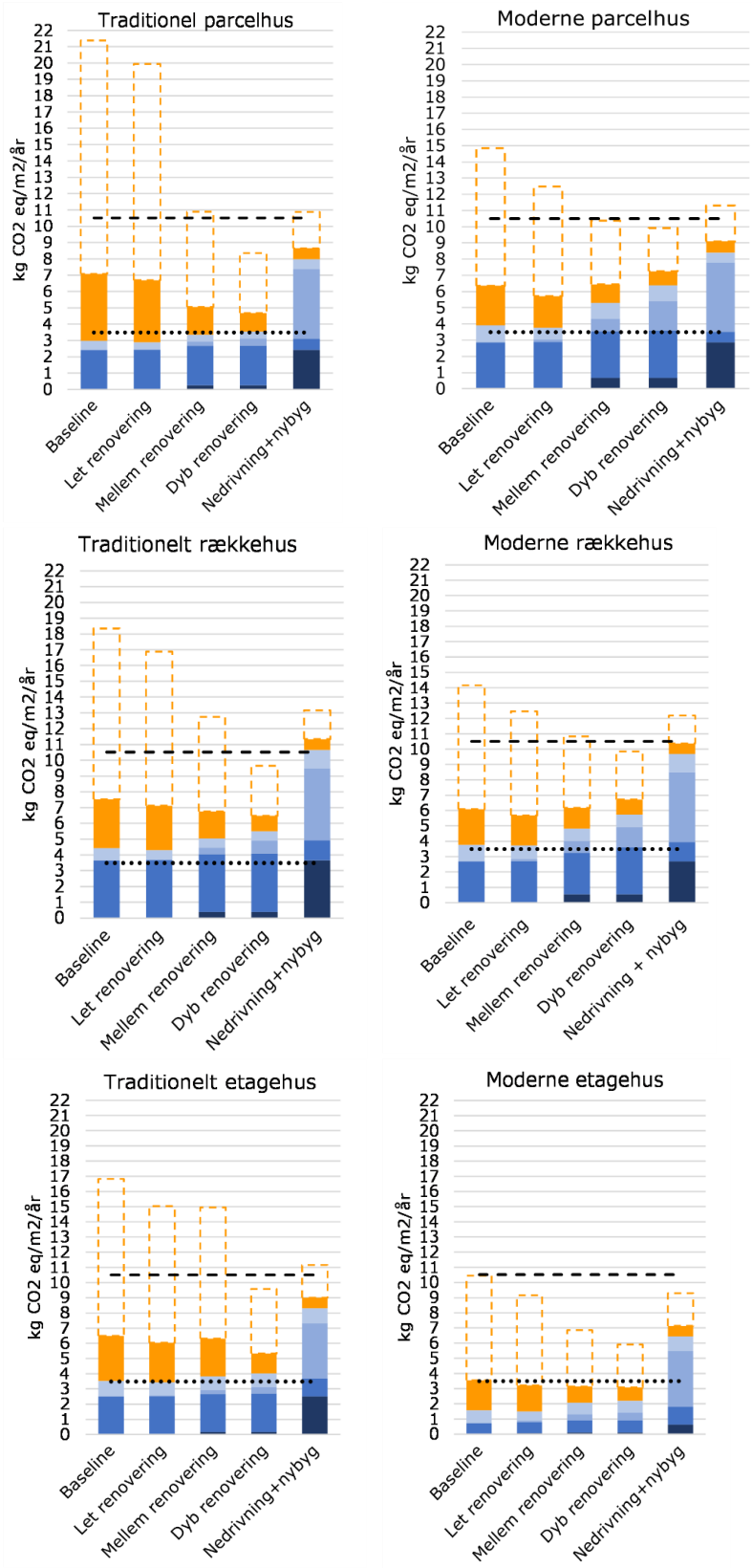
Om der anvendes emissionsfaktorer for 2023 eller 2025 i LCA-beregningerne er dermed afgørende for om renoveringsscenarierne har en lavere klimapåvirkning end nedrivning og nybyg. Når 2025 emissionsfaktorerne skal anvendes fra 2025 i bygningsreglementet vil det i fremtiden skabe et langt større fokus på at reducere klimapåvirkningen fra materialerne frem for fra driften for både nye og eksisterende bygninger. Selvom energiforsyningen i Danmark med tiden bliver gradvist grønnere, hvortil klimapåvirkningen fra både de eksisterende og nye bygningers driftsenergi gradvist vil falde, betyder det ikke at der fremadrettet skal være mindre fokus på at spare på driftsenergien. Selv grøn energi har indvirkning på miljøet under produktion og distribution f.eks. kræver produktion af grøn energi stadig mange ressourcer. Ved at reducere bygningers energibehov kan det også mindske behovet for at udvide energiproduktionen, øge forsynings sikkerheden og frigøre midler til andre klimareducerende investeringer. I nybyggeri er der et stort potentiale for at implementere nyere, mere energieffektive teknologier og design, der kan reducere driftsenergiforbruget fra bygningen over tid i forbindelse med opvarmning, køling, belysning mm. I eksisterende bygninger er der et stort potentiale for energirenovering som kan mindske driftsenergiforbruget.

Beregningen med emissionsfaktor 2023 placerer projektets variantstudier i forhold til faktiske cases: I forhold til de faktiske cases ligger variantstudierne over medianen i LCA for renoveringer (bortset fra

etagehus, dyb renovering), og under medianen for nedrivning plus nybyggeri. Det betyder, at forudsætningerne for variantstudiernes scenarier er valgt således, at man ved sammenligning af renovering med nedrivning og nybyg i udgangspunktet har stillet renoveringerne lidt dårligere end nedrivning og nybyg, set i forhold de cases, som er undersøgt i (projektets DP2 henvisning).

Figur 46 Sammenligning af 2023 og 2025 emissionsfaktorer for alle typologier og scenarier. Medianværdier for nybyggeri og renovering baseret på Tozan et al. (2023)

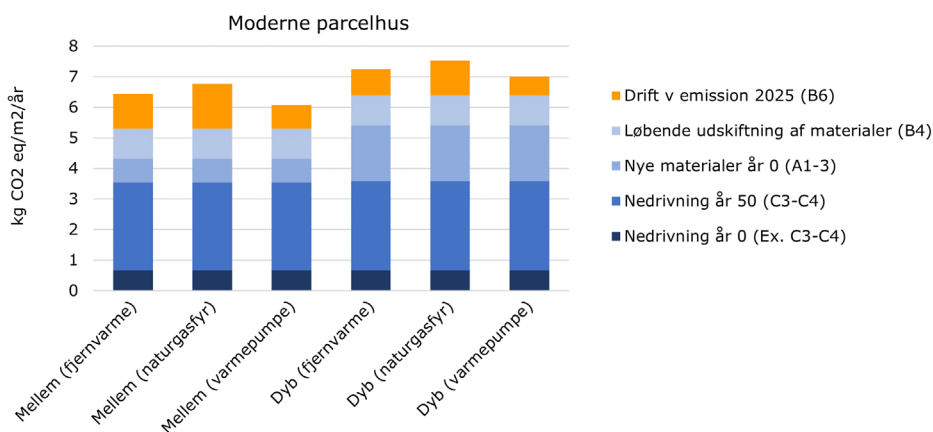
- Yderligere drift v emission 2023 (B6)
- Drift v emission 2025 (B6)
- Løbende udskiftning af materialer (B4)
- Nye materialer år 0 (A1-3)
- Nedrivning år 50 (C3-C4)
- Nedrivning år 0 (Ex. C3-C4)
- Median nedrivning + nybyg (drift v emission 2025)
- Median renovering (drift v emission 2025)



3.2.3 Energikilde

Der er forskel på hvor mange kg CO₂ ækv./m²/år der udledes fra 1 kWh produceret med hhv. fjernvarme, naturgas og el. Derfor kan et skift fra en energikilde til en anden nedbringe bygningens klimapåvirkning. Dog skal man være opmærksom på at der kan være materialerelaterede klimapåvirkninger forbundet med at skifte kilde.

Figur 47 viser et eksempel på forskel i klimapåvirkning mellem forskellige energikilder for den mellem og dybe renovering af det moderne parcelhus. Fjernvarme har været udgangspunktet for LCA-beregningerne i rapporten, da det er den mest udbredte varmekilde. Dog er der også mange parcelhuse der forsynes med naturgas, og der ses også en stigning i varmepumper.



Figur 47 Klimapåvirkning for det moderne parcelhus for forskellige energikilder ved mellem og dyb renovering.

Et skift væk fra en ældre gaskedel til fjernvarme eller varmepumpe vil reducere klimapåvirkningen fra driftsenergien med hhv. 23% og 48% for den mellem renovering samt 26% og 47% for den dybe renovering. Den største besparelse i klimapåvirkning fås ved at skifte til en varmepumpe.

Skift af varmekilde bør være det sidste renoveringstiltag man foretager, efter at have foretaget alle relevante energirenoveringstiltag for at nedbringe energiforbruget. Hvis man begynder med at skifte varmepumpen på et hus med et stort varmetab, for derefter at energirenovere kan man ende med at have en overdimensioneret varmepumpe.

3.2.4 Biogene materialer

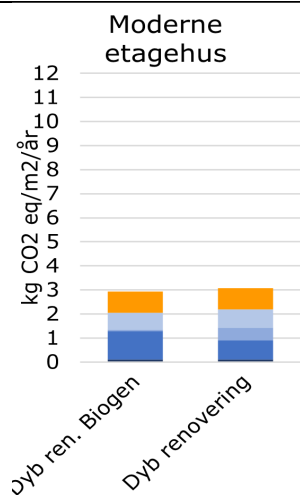
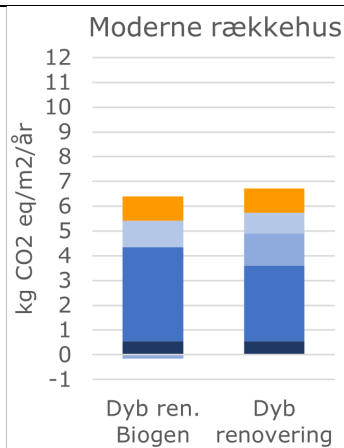
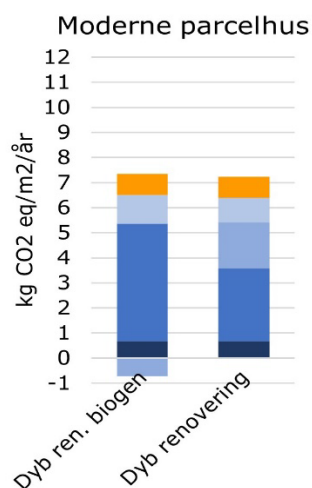
På baggrund af LCA-beregningerne i afsnit 3.1.5 udskiftes de konventionelle materialer der er anvendt i de dybe renoveringsscenarier for de moderne typologier til tilsvarende biogene alternativer, således:

- › Der anvendes papiruld isolering i stedet for mineraluld hvor muligt
- › Ny facader udføres med biogene facadematerialer
- › Udskiftning af vinduer til trævinduer i stedet for træ-alu vinduer (parcel- og rækkehus)
- › Facadematerialer opsættes på trækasette-løsning
- › Eksisterende tagareal udvides med 5% (udhæng som konstruktiv træbeskyttelse)

Metoden for at beregne på biogene varianter er beskrevet i nærmere detaljer i Billagsrapport A i Bilag A.6.

Figur 48 Effekt af biogene materialer i dyb renovering

- Drift v emission 2025 (B6)
- Løbende udskiftning af materialer (B4)
- Nye materialer år 0 (A1-3)
- Nedrivning år 50 (C3-C4)
- Nedrivning år 0 (Ex. C3-C4)
- ▲ Max
- Min
- × Gennemsnit



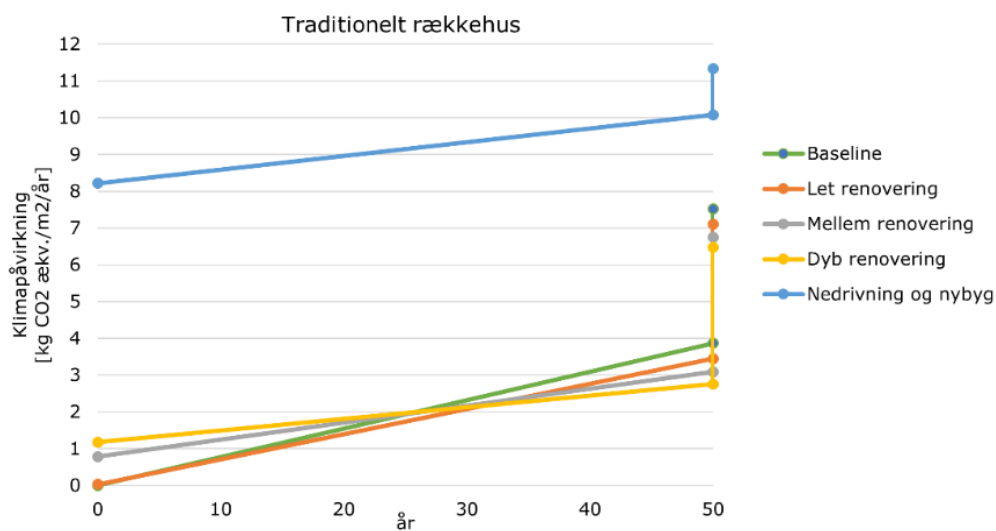
Figur 49 Dyb renovering foretaget med hhv. biogene materialer og konventionelle materialer på moderne parcelhus ved mellem og dyb renovering.

Som det fremgår af (Figur 48 ovenfor), er LCA-resultatet for dyb renovering med biogene materialer kun lidt lavere end med konventionelle materialer. Det er derfor valgt kun at vise resultatet for udskiftning af flest mulige materialer til biogene. For parcelhuset opnås en reduktion på 8%, mens den er 7% for rækkehuset. Bemærk, at LCA af nye, tilførte materialer (A1-A3) er negativ for disse typologier med brug af biogene materialer, og den negative værdi skal fraregnes søjlens højde i diagrammet. For etagehuset opnås en reduktion af emissionerne på 4,2% samlet set, og for materialer alene (uden emission fra energi til drift) er reduktionen 6%. Som forklaret i Bilagsrapport A, Bilag A.6, sker der ved anvendelse af biogene materialer primært en reduktion af emissioner i fase A1-A3, svarende til produktion af nye materialer, hvor biogene materialer regnes negativt. Denne effekt gør sig også gældende i fase B4, udskiftninger, for biogene materialer som udskiftes i levetiden. Til gengæld øges emissionerne i fase C3 og C4, nedrivninger, grundet den lovmæssige afbrænding ved endt betragtningsperiode således, at emissioner fra hhv. optag og emission af biogent kulstof giver 0 i betragtningsperioden. Når den samlede effekt i LCA bliver en reduktion på få procent, skyldes det, at de biogene materialer udgør en mindre del af den samlede belastning for typologierne, da de kun indgår i isolering, den udvendige del af klimaskærmen, samt ydervægsopbygningen. Samtidig tilføres tagareal (5%) som følge af etablering af udhæng som konstruktiv træbeskyttelse. Særligt for etagehuset udgør de biogene materialer en mindre del, dels fordi isolering i tagkonstruktionen ikke kunne ændres til biogene, da der er tale om trykfast isolering i et fladt tag, og da klimaskærmen i etageboliger typisk udgør en mindre andel pr. bruttoareal.

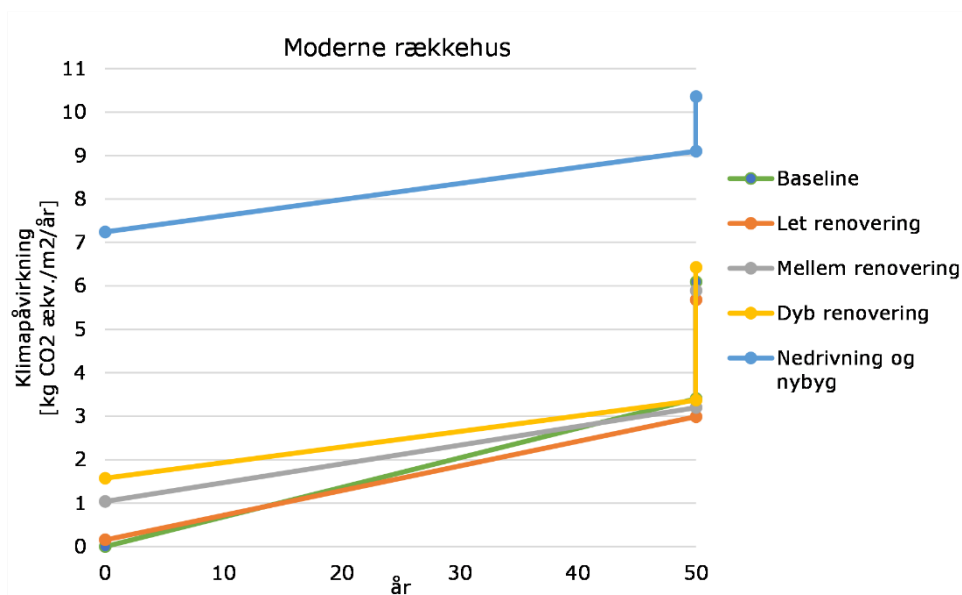
3.2.5 Tidsperspektiv for emissioner

Den mest kritiske klimapåvirkning er den der sker i dag (år 0). Det skyldes at de drivhusgasser der udledes i dag, vil have en accelererende effekt for den globale opvarmning sammenlignet med udledning om f.eks. 25 eller 50 år. Derfor bør det ud fra et klimaperspektiv prioriteres at undgå og/eller reducere / udskyde emissioner der sker i dag. Ligeledes må det lægges til grund, at jo længere ud i fremtiden, en emission eller omkostning er placeret, jo mere usikker er beregningen af den. Man kan endvidere forvente at have andre end-of-life scenarier for biogene materialer om 50 år end i dag, f.eks. direkte genbrug, således at afbrænding vil belaste mindre ved nedrivning. Jo tidligere CO₂ udledningen reduceres jo større effekt vil det således have på den globale opvarmning. Emissioner og omkostninger i år 50 beregnet i LCA hhv. LCC er forbundet med større usikkerhed end emissioner og omkostninger beregnet i år 0. Man kan antage, at byggematerialer i fremtiden vil have et lavere klimaaftryk end i dag, men det indgår ikke i en nutidig LCA-beregning.

Variantundersøgelserne af LCA viser, at en renovering ikke har lige så mange emissioner forbundet med sig i år 0, idét der bevares en del materialer og i et mindre omfang tilføres nye materialer sammenlignet med nedrivning og nybyggeri, hvor alle materialerne i det eksisterende byggeri skal bortskaffes og alle materialer til det nye byggeri skal produceres i år 0. Et overblik over tidspunktet for emissioner for rækkehusscenerier kan ses i Figur 50 og Figur 51.



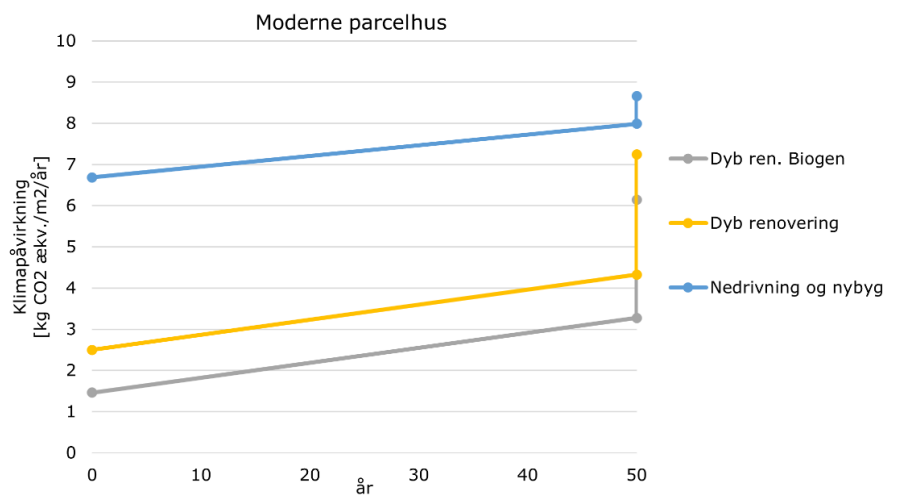
Figur 50 Akkumuleret klimapåvirkning for det traditionelle rækkehus



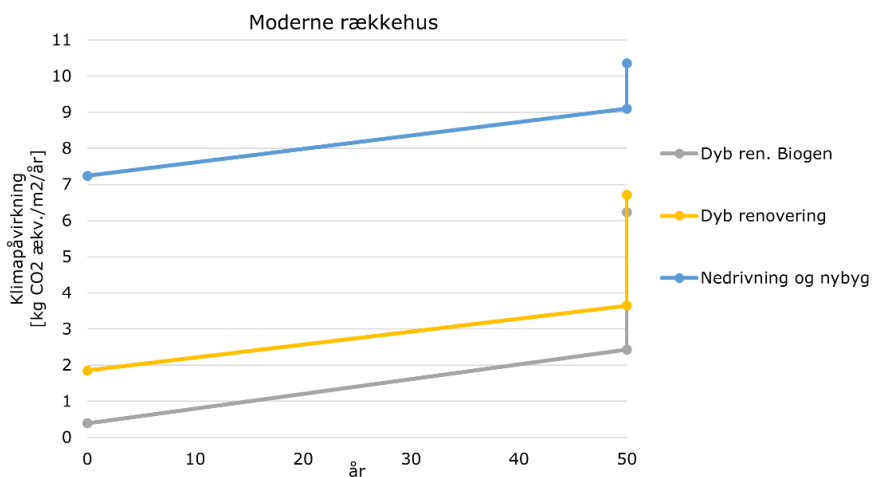
Figur 51 Akkumuleret klimapåvirkning for det moderne rækkehus

Emissionerne i baseline- og renoveringsscenarier er dels lavere end i nedrivnings- nybyg scenarier, dels forekommer de senere i betragtningsperioden, hvilket er med til at gøre renoveringsscenarierne langt den bedste handling i dag ud fra et klimamæssigt perspektiv under forudsætning om den grundlæggende betragtning, at emissioner bør udsættes længst muligt.

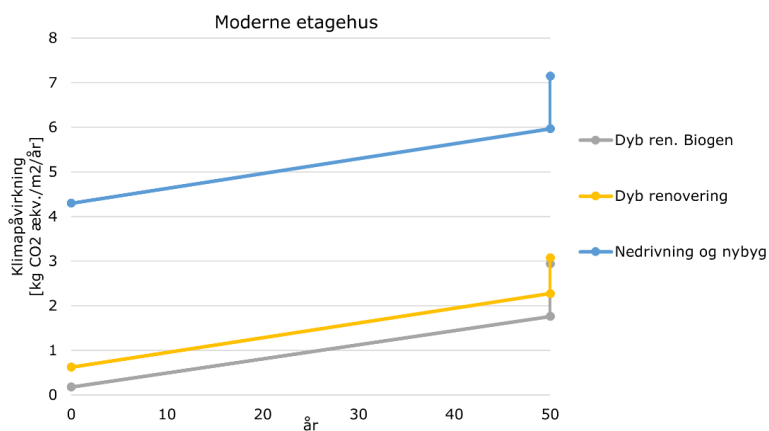
Ser man på emissionerne ved brug af biogene materialer i dyb renovering jf. afsnit 3.2.4, ses det, at de biogene materialer giver anledning til at en større del af emissionerne forekommer sent i betragtningsperioden. De 3 scenarier med biogene materialer i dyb renovering er vist i sammenligning med konventionelle materialer i dyb renovering og nedrivning og nybyg, i de efterfølgende 3 figurer for moderne parcelhus, rækkehus og etagehus.



Figur 52 Akkumuleret klimapåvirkning for det moderne parcelhus ved dyb renovering med hhv. biogene og konventionelle materialer, samt nedrivning og nybyg



Figur 53 Akkumuleret klimapåvirkning for det moderne rækkehus ved dyb renovering med hhv. biogene og konventionelle materialer, samt nedrivning og nybyg



Figur 54 Akkumuleret klimapåvirkning for det moderne etagehus ved dyb renovering med hhv. biogene og konventionelle materialer, samt nedrivning og nybyg

Af Figur 52 til Figur 54 ovenfor ses det, at selvom anvendelsen af biogene materialer i dyb renovering kun medfører en mindre reduktion af de samlede emissioner i år 50, så er der en betydelig besparelse at hente i år 0. Under den grundlæggende betragtning, at emissioner bør udsættes længst muligt, bør biogene materialer ud fra et klimamæssigt perspektiv foretrækkes frem for konventionelle til renovering, selv om den samlede sænkning af emissioner er begrænset.

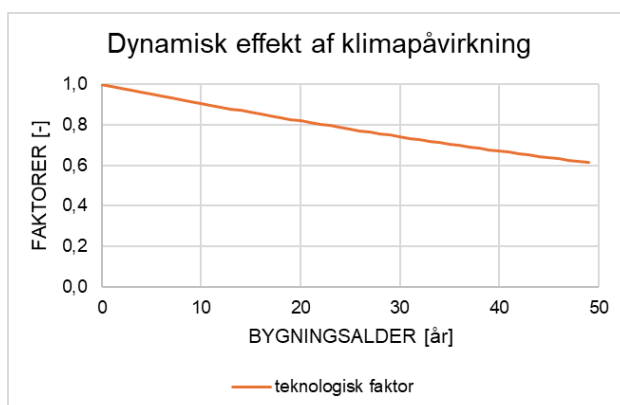
3.2.6 Tidsperspektiv – dynamiske effekter

3.2.6.1 Introduktion

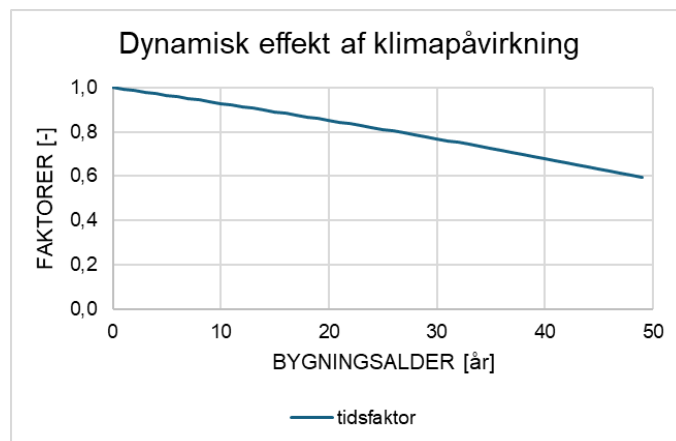
Forrige afsnit beskrev, hvordan renoveringernes klimabelastning typisk fordeler sig over en 50-årig periode. Det blev tydeligt at der er et godt samspil mellem renoveringernes fordeling af klimabelastning og det klimamæssige ønske om reduktion af ”her og nu” påvirkning.

Der er gennem forskellige brancheinitiativer som Strateginetværket for bæredygtigt byggeri udtrykt ønske om at kunne foretage mere retvisende LCAer, der medregner den klimamæssige effekt af udledningernes tidsmæssige placering og dermed tager højde for den forøgede klimamæssige effekt af at reducere ”her og nu” påvirkning eller udskyde udledning til senere i betragtningsperioden. Dette ønske er rejst for såvel nybyggeri som for renovering og udtrykt gennem rapporter fra strateginetværket [17] og [45]. At kunne vurdere betydningen af udledningernes tidsmæssige placering benævnes ofte dLCA eller Dynamisk LCA. Der tages ikke højde for disse dynamiske effekter i bygningsreglementets nuværende evalueringsmetode, men der under udvikling af DGNB 2025 manualen for renovering og nybyggeri, er der introduceret en metode der evaluerer de dynamiske effekters betydning. Metoden medtager både de tidsmæssige effekter af påvirkningerne, men også en forventet teknologisk udvikling i produktion af byggematerialer. Jf. EN15978 regnes materialer der udskiftes i løbet af betragtningsperiode normalt med samme påvirkning som tilsvarende materialer produceret ved opførelse. Den teknologiske udvikling i produktion af materialer består i en reduktion af udledning fra produktion af materialer der produceres efter ”år 0” – altså materialer der udskiftes i løbet af betragtningsperioden. Det vil sige, at man forsøger at tage højde for en forventet mere klimaeffektiv produktion af materialerne i årene fremover.

Indregning af de dynamiske effekter kan illustreres med følgende figurer, hvor Figur 55 viser betydningen af den teknologiske udvikling i produktion og Figur 56 betydningen af den tidsmæssige forskydning i CO₂-udledning fra bygningen.



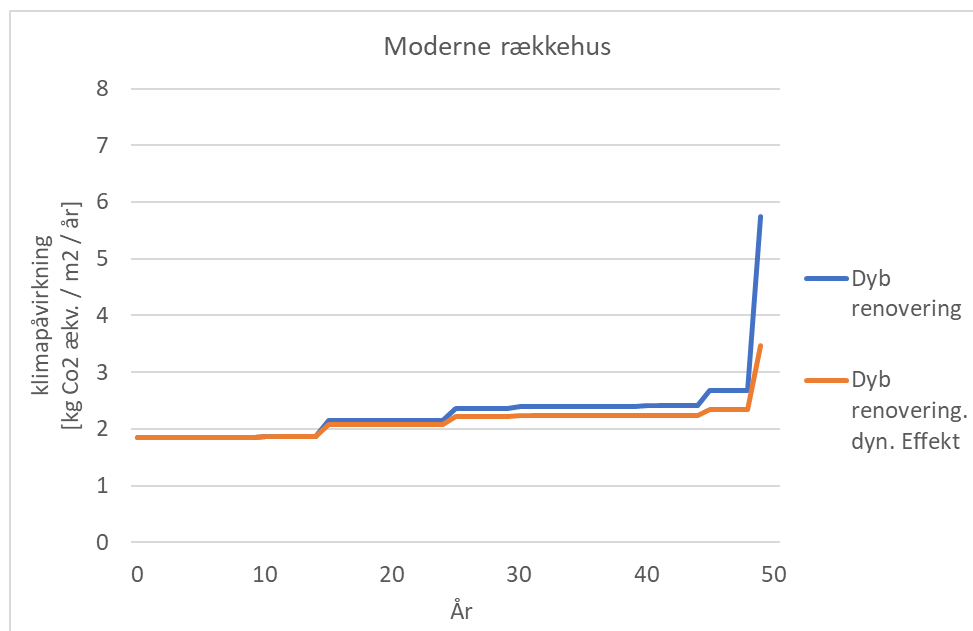
Figur 55 Teknologi-faktor for byggematerialers produktion i forhold til betragtningsperioden



Figur 56 Tidsfaktor i forhold til udledningernes tidsmæssige placering i løbet af betragtningsperioden

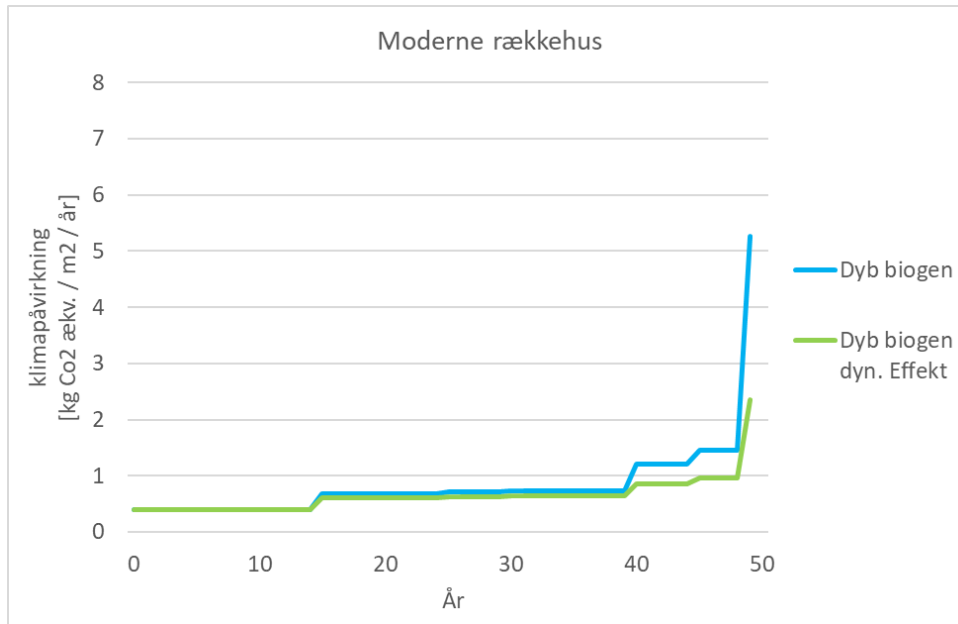
3.2.6.2 Case-eksempel – rækkehus

Som vist på figur 52-54 medfører valg af biogene materialer en lavere up-front klimapåvirkning, men denne lavere upfront-påvirkning udlignes omtrent af en højere påvirkning ved bortskaffelse i slutningen af betragtningsperioden. Da store dele af påvirkningen for de biogene scenarier er placeret i slutningen af perioden, må der forventes størst resultatmæssig effekt af en indregning af de dynamiske effekter på disse scenarier. Figur 57 og Figur 58 herunder viser resultater for den akkumulerede klimapåvirkning for materialer med indregning af de dynamiske effekter. Først vises resultater med og uden indregning for hhv. dyb renovering og det biogene scenarie. Derefter sammenholdes resultater med indregning af dynamiske effekter for hhv. dyb renovering og biogent scenarie. Resultaterne er alene vist for rækkehus-typologien (moderne) idet den overordnede tendens i resultaterne vil være den samme for de øvrige typologier.



Figur 57 Materialepåvirkning for rækkehus - dyb renovering med og uden indregning af dynamisk effekt.

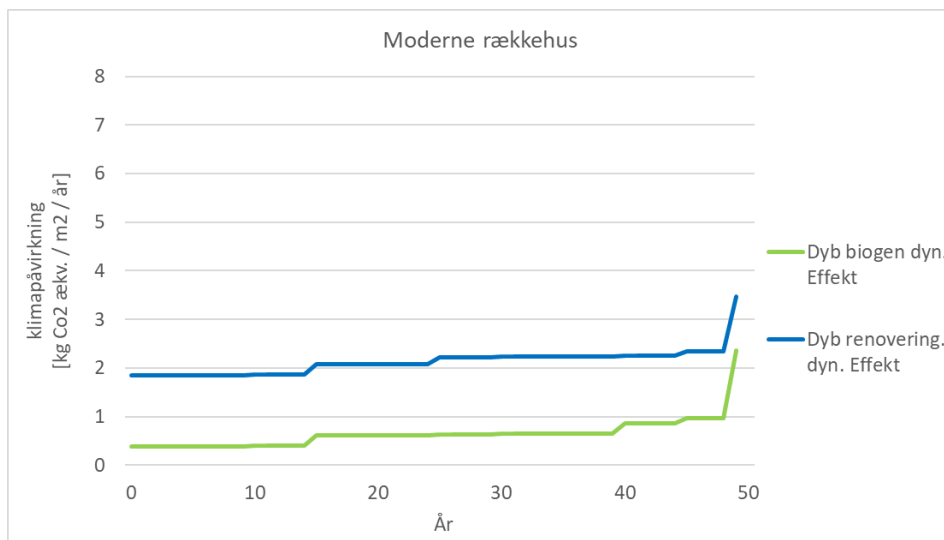
Resultaterne viser at der for den dybe renovering er en reduktion fra 5,7 kg CO₂/m²/år til 3,5 kg CO₂/m²/år svarende til ca. 39 %.



Figur 58 Materialepåvirkning for rækkehus - dyb renovering med biogene materiale med og uden indregning af dynamisk effekt.

For den dybe renovering med biogene materialer ses en reduktion fra 5,3 CO₂/m²/år til 2,4 CO₂/m²/år svarende til ca. 55%. Med indregning af dynamiske effekter opnås således mere end en halvering af påvirkningen fra det biogene scenarie. Anvendelsen af biogene materialer medfører reduktion i udledninger fra produktion af byggematerialerne og forskyder udledningerne fra "upfront" i "år 0" til senere i betragtningsperioden, hvilket betyder mindre klimamæssig effekt af udledningerne.

Betydningen af de biogene materialer ved indregning af dynamiske effekter vises mest tydeligt ved direkte sammenligning af dyb renovering og dyb renovering med biogene materialer. Figur 59 viser her tydeligt både den lavere påvirkning i "år 0" som grundet den tidsmæssige faktor ikke modsvares fuldt ved bortskaffelse i år 50.



Figur 59 Direkte sammenligning af dyb renovering og dyb renovering med biogene materialer (begge med indregning af dynamiske effekter)

3.2.7 Opsummering

Variantstudierne af med performance gap, emissionsfaktorer 2023 hhv. 2025 og ændringer i energikilder kan helt kort sammenfattes således:

- › Performance gap nedtoner fordelene ved dybe renoveringer og nybyggeri, idet energiklasser op til klasse C viser et lavere forventet energiforbrug, mens energiklasser fra B og bedre, viser et højere forventet energiforbrug. Usikkerheden på beregningerne er stor.
- › Emissionsfaktor 2023 i stedet for 2025 ændrer radikalt forholdet mellem emission fra driftsenergi og materialer således, at scenarierne baseline og let renovering i de fleste tilfælde fremtræder med langt større emission end de øvrige scenarier. Alle dybe renoveringer er dog fortsat klimamæssigt fordelagtige set i forhold til nedrivning og nybyggeri.
- › Energiforsyningskilden ændrer ligesom emissionsfaktor ved driftsemmissionen. Effekten svarer i grove træk til at ændre emissionsfaktor, idet materialebelastningen ved skift af energiforsyningskilde må forventes at være af mindre betydning i det samlede regnskab. Dermed er effekten på forskellen mellem scenarierne af samme art.

I den samlede vurdering af LCA for scenarierne ses det, at performance gap øger fordelene ved at energirenovere mindre (baseline, let og til dels mellem renovering, afhængig af resulterende energiklasse), dog med stor usikkerhed.

Emissionsfaktor 2025, som er anvendt til projektets overordnede vurderinger af LCA, øger ligeledes fordelene ved at renovere mindre, fordi hovedvægten af LCA ligger på materialer.

Skift af energiforsyningskilden i beregningerne kan ændre det samlede billede på samme måde som emissionsfaktor. Skift af energiforsyningskilde bør dog mere betragtes som en måde at nedbringe emissioner, som kan være relevant i konkrete tilfælde og som supplement til energirenovering, idet et eventuelt skifte typisk er bestemt af muligheder på lokaliteten. En nærmere undersøgelse af effekten af skift af energiforsyningskilden på de samlede konklusioner undlades af denne grund og desuden fordi, flertallet

af studier, som dette projekts resultater kan sammenlignes med, er foretaget med fjernvarme som energiforsyningskilde.

Tilbage står, at anvendelsen af performance gap og emissionsfaktor 2025 begge favoriserer en mindre grad af renovering, set i et LCA-perspektiv. Denne overvejelse vil indgå i den samlede perspektivering og vurdering af projektets variantanalyser i afsnit 3.1.7.

Variantstudierne med biogene materialer til renovering viser overordnet, at brugen af biogene materialer til renovering af klimaskærmen kun i begrænset omfang sænker emissionerne i et LCA-perspektiv, mindst for typologier, hvor klimaskærmen udgør et forholdsvis mindre areal i forhold til bruttoarealet. Det gælder således især etageboliger.

Variantstudier af tidspunktet for emissioner på udvalgte scenarier med såvel konventionelle som biogene materialer viser, at emissioner fra renoveringsscenarier i stort omfang kommer senere end i nedrivnings- og nybyg scenarier, samt at for renoveringsscenarier kan brugen af biogene materialer i betydelig grad udsætte emissionerne set i forhold til konventionelle materialer, selvom den samlede nedsættelse af emissionerne er begrænset.

3.3 Arkitektoniske perspektiver på renoveringsgrader og biogene materialer

3.3.1 Formål

Den dybe renoveringsgrad er i projektet defineret, så den omfatter en udvendig efterisolering af facaden. Det vil typisk medføre en visuel ændring af bygningen, også når der vælges samme klimaskærm som før. Dels vil efterisoleringen betyde en ændring af proportioner, som især vil være tydelig ved vindues- og døråbninger, detaljer med mere, dels vil nye materialer have et anderledes udseende end de originale, selv når der som i variantstudierne vælges en ny muret facade med samme murstenstype, forbandt etc.

Dette er konsekvenser, som med udgangspunkt i bygningens arkitektur og æstetiske og historiske kvaliteter må overvejes i hvert enkelt tilfælde. Som et udgangspunkt for disse overvejelser er der for de moderne hustyper udarbejdet en serie illustrationer, som udfolder perspektiver for udvendigt brug af biogene byggematerialer i forbindelse med facaderenovering. Formålet er at give inspiration og stille spørgsmål til mulige tilgange.

Vi opfatter illustrationerne som studier på, hvad der sker, når man undersøger de problematikker som spørgsmålene blotlægger. Illustrationerne er altså ikke eksempler på, hvorledes man bedst eller endegyldigt udfører en biogen facaderenovering. Illustrationerne kan altså blotlægge både positive og negative arkitektoniske konsekvenser.

Det er samtidig formålet at undersøge æstetikken i patinering af biogene materialer, samt æstetikken i en tilgang til vedligeholdelse, hvor man ikke skifter alt på én gang af hensyn til ensartethed, men tolererer at udskifte efter behov, for at forbruge færre materialer. Illustrationerne skal vise de visuelle effekter heraf.

Illustrationerne understøttes af LCA-beregninger, som viser den tilhørende klimamæssige effekt ved brugen af biogene materialer i bygningsrenoveringen. Disse ses præsenteret i ovenstående, afsnit 3.1.3.

3.3.2 Illustrationer af renovering med biogene materialer

I dette afsnit præsenteres en række illustrationer af udvalgte renoveringer med forskellige typer materialer. Illustrationerne repræsenterer ikke konkrete, gennemprojekterede arkitektoniske projekter, men er

tiltænkt som et inspirerende indspark til dialog og overvejelse om mulige arkitektoniske retninger for bygningsrenoveringer – herunder særligt brugen af biogene materialer i renoveringer.

For hver illustration beskrives de konkrete tiltag og detaljer i punktform. Noterne skal ses som en overordnet forklaring valgte tiltag, ikke en detaljeret anvisning.

Sammen med illustrationerne rejses en række spørgsmål. Spørgsmålene har været stillet og diskuteret i projektet og afspejler i princippet temaer og overvejelser, som efterfølgende er udforsket og konceptuelt visualiseret i illustrationerne.

Illustrationerne linker til renoveringsgrad *Dyb*, beskrevet under afsnit 3.1.4, men med integrering af biogene materialer. Der er ikke forsøgt benyttet biogene materialer i alle illustrerede koncepter, men derimod kan tilgangen beskrives som 'biogen renovering med strategisk brug af robuste materialer'.

Der præsenteres illustrationer for følgende tre typologier:

1. Parcelhus, moderne (1975-2000)
2. Rækkehus, moderne (1975-1985)
3. Etagehus, moderne (1960-1980)

Biogene materialer brugt som klimaskærm patinerer på en måde, som ikke er så velkendt i en dansk sammenhæng, som patineringen af mere velkendte materialer. Derfor er renoveringerne vist både som nyopførte, og som de må forventes at se ud efter nogle år i dansk klima, herunder med udskiftning af enkelte elementer.

Illustration af patinering efter 10 og 30 år er erfaringsbaseret.

3.3.2.1 *Det moderne parcelhus*

Mange klassiske parcelhuse fra perioden omkring 1975 havde ensartede facader med symmetriske vinduer og enkelthed i designet. Mursten er den mest almindelige facadebeklædning, ofte i neutrale farver som gul, brun eller hvid. Bygningerne har ofte delpartier i træ eller kombinationer af mursten og træ. Facaderne var generelt enkle og rene i udtrykket, med fokus på bygbarhed, minimalt vedligehold og harmoni i proportionerne.

Herunder er vist et tilsvarende tidstypisk parcelhus. Illustrationerne udgør reference og grundlag for de arkitektoniske illustrationer knyttet til renovering af moderne parcelhus.



Figur 60 Referencefoto af det moderne parcelhus, eksempel 1. Foto Heidi Lundsgaard



Figur 61 Referencefoto af det moderne parcelhus, eksempel 2. Foto: Videncentret Bolius

Fokus for illustrationer af parcelhus

Periodens parcelhuse er ofte udført med enkle og gedigne byggematerialer, men husene mangler energimæssig opdatering, da isoleringsstanderne mv. fra denne tid var en anden. I de viste illustrationer er det forsøgt illustreret, hvordan et udvendigt efterisoleret parcelhus kan se ud, hvis vi erstatter konventionelle byggematerialer med biogene og stadig holder os indenfor den traditionelle byggetradition.

Et spørgsmål der rejser sig i denne sammenhæng er, om den udvendige biogene efterisolering bør forholde sig til det arkitektoniske udgangspunkt? Eller afkræver brugen af biogene materialer, samt klimaagenden generelt, en helt ny arkitektonisk tilgang? Eksempelvis vil et parcelhus, der efterisoleres udvendigt og beklædes med træ, om muligt blive opfattet som et 'sommerhus'. Er dette en styrke eller en svaghed?



Figur 62 Illustration af nyrenoveret parcelhus, moderne

Ovenstående illustration af nyrenoveret parcelhus viser følgende:

- Tag udføres som tagpapstag. Tagkonstruktionen er desuden efterisoleret med papiruld.
- Bygningens eksisterende udhæng udvides i muligt omfang for at beskytte de biogene facade.
- Bygningen har øget facadedybde pga. den udvendige efterisolering. Der er efterisoleret med papiruld.
- Bygningens eksisterende delpartier i træ ved vinduer videreføres som reference til parcelhusets oprindelige arkitektur.
- Under alle vinduer indarbejdes gennemgående uorganiske drypnæser, så vand ledes væk.
- Træfacaden udføres med vandret beklædning. Derved sikres nemmere fremtidig udskiftning af enkelte facadebrædder.
- Træfacaden malerbehandles. Da hele facaden er let tilgængelig, er en malerbehandling en nem og effektiv metode til at sikre, at bygningen i fremtiden fremstår vedligeholdt.
- Alle vinduer og vindueslysninger udføres i træ. Sålænke udføres i tyndplademetal.

Andre relevante spørgsmål rejser sig, når valget i renoveringen falder på brug af biogene materialer. Hvordan beskyttes og vedligeholdes biogene facaderenoveringer bedst? Er 'slidt med vilje' en attraktiv renoveringsstrategi? Ofte udføres træfacaden med lodret beklædning, men vælges den vandrette beklædning, forberedes facaden for partiel udskiftning af enkelte facadebrædder under fremtidige vedligeholdsscenerier.



Figur 63 Illustration af renoveret parcelhus, moderne, med ca. 10 års patina

Ovenstående illustration af renoveret parcelhus med ca. 10 års patina viser følgende:

- Tagpaptag tager imod alger og patinerer tydeligt.
- Facader fremstår med varieret patina alt efter hvor ofte facadebrædder malerbehandles.
- Beskadiget bræddebeklædning og drypnæser kan udskiftes løbende.
- Nordvendte facader er mere begrønnede end andre facader
- Vinduer og vindueslysninger i træ er blevet sølvgrå og træets gyldne farve er væk grundet lyspåvirkning.



Figur 64 Detalje af renoveret parcelhus, moderne, med ca. 10 års patina

3.3.2.2 *Det moderne rækkehus*

Mange rækkehuse fra denne periode er typisk karakteriseret ved en enkel arkitektur, præget af mindre vinduer og geometrisk symmetri. Facaderne er ofte udført i røde eller gule mursten, med et tag beklædt med tagpap eller teglsten. Rækkehusene reflekterer tidsåndens postmodernistiske idealer om enkelthed og fokus på praktisk anvendelse.

Arkitekturen fra denne periode fremstår ofte med forenkede og symmetriske genfortolkninger af tidligere tiders bygningsmæssige ornamentik. Perioden introducerede også flere nye byggematerialer, ofte i klare farver. Nye facadeplader som f.eks. div. metal- og eternitplader blev brugt til at skabe et nyt arkitektonisk udtryk.

Herunder er vist tidstypisk rækkehus. De viste illustrationer udgør reference og grundlag for de arkitektoniske perspektiver for renovering af moderne rækkehus.



Figur 65 Referencefotos: Det moderne rækkehus. Foto: Projektfoto

Fokus for illustrationer af rækkehus

Et ældre hus har som udgangspunkt udgjort en gennemtænkt arkitektonisk helhed. Når vi moderniserer og renoverer, er dette vigtigt at have for øje. I nærværende projekt har det været interessant at undersøge, hvilke arkitektoniske udtryk et radikalt større brug af biogene materialer afstedkommer? Vil det være en stor mentalitets- og forståelsesændring, hvis vi ikke renoverer med henblik på at give ældre bygninger et 'nyt og friskt' arkitektonisk udtryk, men udelukkende med henblik på at udbedre slitage og eventuelle bygningsmæssige skader?

Fokus for illustrationer for biogen renovering af rækkehus er at illustrere en bygningsrenovering med lang holdbarhed. De illustrerede materialer tager udgangspunkt i biogene løsninger, men benytter uorganiske materialer på de områder af bygningen, der udsættes for størst slid, f.eks. vandpåvirkning.



Figur 66 Det moderne rækkehus, nyrenoveret med biogene materialer

Ovenstående illustration af nyrenoveret rækkehus viser følgende:

- Tyndplade-metaltag sikrer lang levetid til renoveringen. Tagkonstruktionen er efterisoleret med papiruld.
- Bygningen tilføres et stort udhæng, der skærmer den biogene facade.
- Udsatte bygningsdele, der er svært tilgængelige ift. vedligehold, udføres i uorganisk materiale. Dette er f.eks. tilfældet for gavltrekanter.
- Bygningen har øget facadedybde pga. den udvendige efterisolering. Der er efterisoleret med papiruld.
- Der indarbejdes gennemgående uorganiske drypnæser på facaden, så vand ledes væk.
- Den biogene facade i kork og træspån udføres i opdelte partier for herved at forberede facaden for partiel udskiftning under fremtidige vedligeholds- og renoveringsscenarier.
- Den biogene facade afsluttes med et offerbræt, så der fra start planlægges med fremtidig udskiftning.

Alle vinduer og vindueslysninger udføres i træ. Sålbænke udføres i tyndplademetal.



Figur 67 Biogen renovering – ca. 10 års patinering

Ovenstående illustration af renoveret rækkehus med ca. 10 års patina viser følgende:

- Metaltag fremstår stort set som ved opførsel.
- Facade er blevet meget mørk og den gyldne farve er væk grundet lyspåvirkning.
- Både kork og træspån har en meget åben overfladestruktur, der patinerer kraftigt og markant.
- Bygningens facade er særlig modtagelig overfor alger.
- Dele af facader, som er under udhæng, er langt mindre udsat og fremstår dermed lysere.
- Nordvendte facader er mere begrønnede end andre facader.



Figur 68 Detalje af biogen renovering – ca. 10 års patinerung

Ikke alle byggematerialer ældes med skønhed, men organiske materialer bliver, i manges øjne, ofte smukkere at se på med tiden. Materialerne får patina frem for blot at blive nedslidte. Hvordan indgår dette perspektiv i den arkitektoniske forståelse knyttet til bygningsrenoveringer? Vil denne betragtning kunne ændre vores tilgang til arkitektur, vedligehold og bygningsrenovering?

Skal arkitekturen fremhæve snarere end skjule en eksisterende bygnings alder og i stedet fokusere på at udbedre slitage og nødvendige reparationer? En renoveringstilgang kan være 'kintsugi-arkitektur', hvor der over tid arbejdes med partiel udskiftning/renovering af nedslidte bygningsdele. Indgangen er det klimamæssige perspektiv, hvor hensigten er at udskifte kun de bygningsdele og materialer, der fremstår særligt nedslidte. Vil en sådanne tilgang medføre en større accept af partielle facade- og/eller tagudskiftninger og synlige reparationer?

Den viste illustration for renovering af rækkehus med ca. 30 års patina giver et eksempel på, hvordan en partiel renoveringsstrategi kan se ud.



Figur 69 Biogen renovering – ca. 30 års patinering

Ovenstående illustration af renoveret rækkehus med ca. 30 års patina viser følgende:

- Metaltag er udskiftet med genbrugte vingetegl.
- Delpartier af korkfacaden er udskiftet. Del delvise udskiftning medfører store farvemæssige variationer.
- Udsatte træspån og trædele er udskiftet. Forskellen i farve og patinering er tydelig.
- Offerbræt under korkfacade er udskiftet.
- Sokkel og pudspartier kan vedligeholdes f.eks. med nyt pudslag.
- Vinduer og vindueslysninger samt træbeklædning ifm. indgangsparti olieres.

3.3.2.3 Moderne etagebyggeri

Beton-etagehusene fra denne periode er præget af et markant og modernistisk arkitektonisk ideal, med rene linjer, geometriske former og synlig beton på facaderne. Disse bygninger introducerede store vinduespartier, naturligt lys og ofte facadeintegrerede balkoner/altaner. Altaner er dog ofte lukket/blændet under efterfølgende renoveringer.

Arkitekturen afspejler periodens modernistiske tænkning med fokus på funktionalitet, enkelhed, rationel produktion og opførsel. Etagehusene er således opført som elementbyggeri grundet et ønske om en rationel og effektiv byggeproces. Dette medfører en stor arkitektonisk ensartethed, som ofte også er repræsenteret i disponeringen af udearealerne. En efterfølgende transformation/renovering af sådanne etagehus er ofte konstruktivt udfordrende pga. betonkonstruktionernes iboende konstruktiv logik og begrænsninger.

Herunder er vist foto af tidstypiske etagehuse. De viste fotos udgør reference og grundlag for de arkitektoniske perspektiver for mulig biogen renovering af moderne etagebyggeri.



Figur 70 Reference: det moderne etagehus. Fotos Bjørn Pierri Enevoldsen og Helene Høyer Mikkelsen

Fokus for illustrationer af etagehus

Hvordan kan et etagehus med fokus på biogen renovering se ud, hvis der samtidig skal tages hensyn til brandforhold og et ønske om at skabe minimalt vedligehold? Er det muligt at facaderenovere med biogene byggematerialer og stadig opfylde gældende lovgivning for etagehus?

De illustrerede byggematerialer for renovering af etagehus tager udgangspunkt i biogene løsninger, men supplerer igen med uorganiske materialer på udvalgte dele af bygningen, der udsættes for særligt stort slid.



Figur 71 Biogen renovering – nyrenoveret

Ovenstående illustration af nyrenoveret etagehus viser følgende:

- Nyt tag med tagpap udføres med hældning. Tagkonstruktionen er efterisoleret med papiruld.

- Bygningen tilføres et stort udhæng, der skærmer den biogene facade.
- Bygningen fremstår med øget facadedybde pga. den udvendige efterisolering. Der er efterisoleret med papiruld.
- Facade udføres i almindeligt varmebehandlet træ. Facadetræet brandbehandles ikke pga. de store gennemgående brandskørter, der forhindrer brandspredning mellem etagerne.
- Brandskørter fungerer også som gennemgående uorganiske drypnæser, så vand ledes væk.
- Træfacaden udføres med vandret beklædning. Derved sikres nemmere fremtidig udskiftning af enkelte facadebrædder.
- Træfacaden udføres som delpartier, for herved at forberede facaden for partiel udskiftning under fremtidige vedligeholds- og renoveringsscenarier.
- Majoriteten af vinduerne udføres som træ/alu-vinduer pga. etagebyggeriets karakter (vinduernes udsatte placering og vanskeligheden af fremtidigt vedligehold).
- Beskyttede vindueslysninger udføres i træ. Sålbænke og drypnæser udføres i tyndplade metal.
- Stueplan beklædes med fibercementplader pga. øget slitage.



Figur 72 Biogen renovering – ca. 10 års patinerung

Ovenstående illustration af renoveret etagehus med ca. 10 års patina viser følgende:

- Tagpaptag tager imod alger og patinerer tydeligt.
- Træfacaden fremstår med stor farvevariation. Træfacaden fremstår hovedsageligt lys grundet lyspåvirkning, hvor trædele med stor vandpåvirkning fremstår næsten sorte.
- Beskyttet træ under udhæng har bevaret en anelse af den oprindelige gyldne farve.
- Nordvendte facader er mere begrønnede end andre facader.
- Brandskørter og aluminiums-vinduesrammer fremstår stort set som ved opførslen.

3.3.3 Opsummering

I dette afsnit er præsenteret udvalgte illustrationer af arkitektoniske perspektiver for bygningsrenovering. Fokus er renovering med fokus på brug af biogene materialer.

Flere spørgsmål er rejst og diskuteret, herunder om den udvendige biogene efterisolering bør forholde sig til det arkitektoniske udgangspunkt? Skal arkitekturen fremhæve snarere end skjule en eksisterende bygnings alder og i stedet fokusere på at udbedre slitage og nødvendige reparationer?

Med udgangspunkt i de viste illustrationer præsenteres en 'kintsugi-arkitektur', hvor der over tid arbejdes med partiel udskiftning/renovering af nedslidte bygningsdele. Indgangen er det klimamæssige perspektiv, hvor målet er at spare på ressourcer og byggematerialer, og derfor kun (løbende) udskifte de bygningsdele og materialer, der fremstår særligt nedslidte.

3.4 Konklusion

Rapportens undersøgelser viser en overvejende tendens til at renovering er klimamæssigt bedre end nedrivning og nybyg af særligt ældre men også nyere parcelhuse, rækkehuse og etagehuse. Baseline og let renovering kan, trods lave og sene emissioner samt en billig pris, generelt ikke anbefales for hverken traditionelle eller moderne parcel-, række- og etagehus typologier, da de ikke eller kun i meget lille grad, medvirker til at nedbringe energiforbruget fra eksisterende boliger og dermed klimapåvirkningen. I vurderingen af de resterende scenarier: mellem og dyb renovering samt nedrivning og nybyg, for hhv. moderne og traditionelle typologier, skal følgende tages i betragtning:

- › LCC viser overordnet, at mellem renovering samt nedrivning og nybyg må foretrækkes af økonomiske hensyn (dyb renovering er det dyreste scenarie).
- › Performance gappet reducerer klimafordelen ved at opnå de laveste energiklasser, som typisk findes i dyb renovering og nybyg for de traditionelle typologier, og for mellem og dyb renovering samt nybyg i moderne typologier.
- › LCA med emissionsfaktor 2025, som skal anvendes fra næste år i bygningsreglementets klimakrav, viser, at mellem og dyb renovering giver de laveste emissioner for traditionelle typologier, mens de moderne typologier generelt har lavest emission ved let renovering, gældende for parcel- og rækkehus, og ved dyb renovering, gældende for det moderne etagehus.
- › Anvendelsen af biogene materialer i renovering nedbringer og forsinket emissioner, men har samlet set en mindre sænkende effekt på de samlede emissioner. Anvendelse af biogene materialer har i den dybe renovering den største bygningsæstetiske effekt.
- › Ud fra timingen af emissionerne og med den hensigt at forsinke emissioner mest muligt, viser LCA-beregningerne klart at renovering er at foretrække frem for nedrivning og nybyggeri.

Ud fra en betragtning af disse 5 parametre, må den helt overordnede konklusion være:

For moderne typologier, med deres bedre energimæssige udgangspunkt og dermed højere energiklasser i mellem og dyb renovering samt nybyggeri, tilsiger alle ovenstående punkter, at mellem renovering eller dyb renovering må foretrækkes. Mellem renovering er billigst og giver i mindre grad anledning til, at

performance gap reducerer den reelle emissionsbesparelse fra drift, og har for parcel- og rækkehuse også en lavere emission end dyb renovering.

For traditionelle typologier, som energimæssigt har et dårligt udgangspunkt og dermed en lav energiklasse, vil performance gabet have en mindre effekt: det taler for, at foretage en dyb renovering ud fra et klimamæssigt synspunkt. Den dybe renovering er dog dyrere og indebærer en udvendig efterisolering af facaden, hvilket ændrer arkitekturen betragteligt. Udvendig facadeisolering må generelt overvejes meget nøje for de traditionelle typologier, da en sådan ændring også kan have en økonomisk konsekvens for værdien af bygningen. For den traditionelle typologi er det ikke muligt entydigt at pege på mellem eller dyb renovering eller nedrivning plus nybyggeri, som mest fordelagtigt. Dette vil afhænge af bygningens udgangspunkt: tilstand, energibehov og arkitektonisk kvalitet, idet følgende spørgsmål må besvares:

- › Hvis der kan opnås en tilstrækkelig og acceptabel reduktion af energi til drift ved mellem renovering, er denne løsning at foretrække ift. klima, pris og æstetik.

Det skal afslutningsvis understreges, at ovenstående konklusioner om valg af scenarie i virkeligheden for forskellige bygninger er generelle, og at der for konkrete bygninger altid kan være specifikke forhold, som gør at man bør vælge anderledes. Der er i variantstudierne gjort nogle meget brede antagelser om restlevetider, hvor man i en konkret sag altid må vurdere tilstand og kvalitet af materialer og lade dette indgå i en samlet vurdering. For en bevaringsværdig bygning i god stand med gode materialer giver det måske god mening at renovere så lidt som muligt. I andre tilfælde kan en bygning være i så dårlig stand eller skadet, at nedrivning må foretrækkes.

4 Økonomisk effekt af klimakrav og -afgifter

4.1 Indledning

Økonomien i bygge- og renoveringsopgaver er ofte helt afgørende. Uanset om man anlægger et kommercielt investeringsperspektiv, eller et privat forbrugerperspektiv, vil økonomien i et givent nybyggeri eller renoveringsprojekt være afgørende for, om det bliver gennemført og i hvilket omfang og kvalitet.

Det er sandsynligt, at krav om lavere klimabelastning fra nybyggeri og renovering vil påvirke byggeprojekternes økonomi. Hvis denne påvirkning skal kunne styres, er der behov for en nærmere forståelse af, hvilke økonomiske forhold der påvirkes, og i hvilket omfang. Med udgangspunkt i gældende klimakrav foretages i kapitel 1 en analyse og beskrivelse af de økonomiske forhold, som mere eller mindre direkte må antages påvirket.

Med klimakrav forstås i de følgende undersøgelser dels Bygningsreglementets krav til bygningers energibehov, dels de seneste krav om LCA-beregning og grænseværdier for nybyggeri over 1000 m² eller særligt stillede krav fra bygherrer. Den anvendte definition af klimakrav se i tekstboks 1 nedenfor.

Tekstboks 1 Definition af klimakrav

Klimakrav i denne delrapport om indsamling af viden fra byggede og igangværende projekter defineres primært som krav ifølge BR18 §297-§298 (Klimapåvirkning)

- §297 krav om LCA-beregning

- §298 krav til grænseværdier for klimabelastningen i et livscyklusperspektiv (maks. CO₂/m²/år) for visse bygninger, renoveringer eller bygningsdele (Ovenstående krav omfatter implicit BR krav til energibehov, da dette indgår via energirammeberegningen for brugsfasen, B6, i LCA-beregningen)

Der er også i nogle tilfælde diskuteret effekter af skrapere projektspecifikke krav, som en bygherre kan have stillet i enkelte projekter. Ligesom der er en forventning om, at større renoveringer også på sigt vil få sat grænseværdier til klimakrav.

Mange andre klima- og bæredygtighedskrav indføres i disse år både i EU og i medlemsstaterne, f.eks EU Taksonomien [108]. Det samme gælder nationale målsætninger omkring blandt andet lavemissionsklasser i Bygningsreglementet, Den frivillige bæredygtighedsklasse, nationale og internationale certificeringssystemer og branchens initiativer som f.eks Reduction Roadmap. I afsnit 2.2 findes en gennemgang af krav og initiativer.

På nuværende tidspunkt kan der opsamles de første erfaringer med klimakrav for nybyggeri og dermed også de økonomiske forhold der gør sig gældende. Det er derimod en udfordring for denne undersøgelse, at der er meget lidt viden om klimakrav på renoveringsprojekter og dermed også de økonomiske forhold der bliver påvirket heraf.

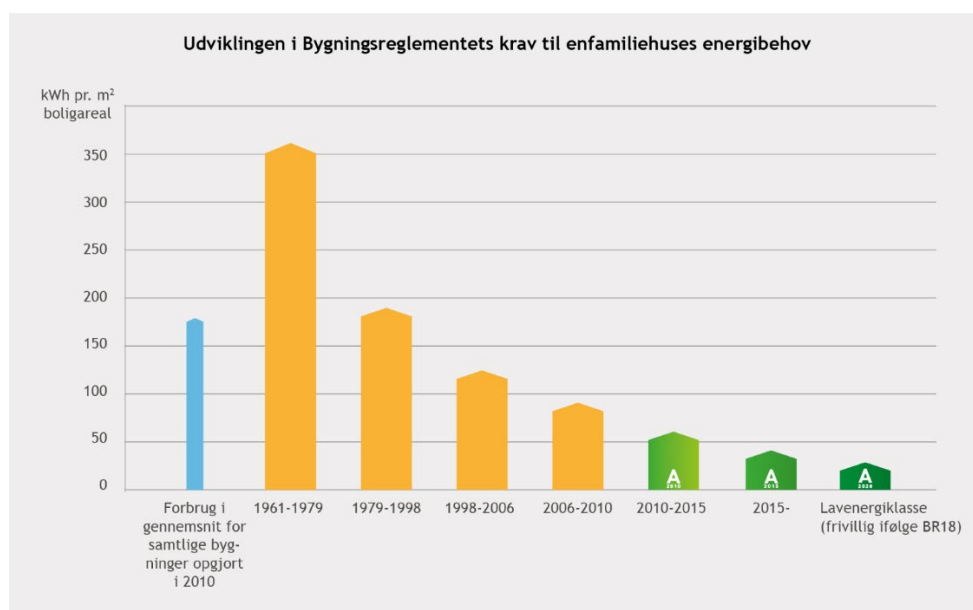
I afsnit 4.2 identificeres og beskrives på baggrund af litteratur og projektets eksperter en række faktorer, som forventes påvirket af klimakravene, og forventede påvirkningsmekanismer forklares. I afsnit 4.3 undersøges den konkrete økonomiske påvirkning af udvalgte faktorer på bygge- og renoveringsopgaver. Undersøgelsen er foretaget ved at spørge en gruppe personer med erfaring inden for nybyggeri og

renovering, og resultaterne bygger således på erfaring, holdninger og forventninger fra en begrænset personkreds.

Afgifter er et velkendt instrument til at styre økonomisk aktivitet. I afsnit 4.4 undersøges det, på baggrund af LCA- og LCC-data fra projektets variantundersøgelser, hvilken effekt en eventuel CO₂-afgift måtte have på projektøkonomien.

4.2 Klimakravs påvirkning af byggeriers generelle økonomiske forhold

Klimakrav til byggeriet er indført gradvist, senest ved indførelsen af grænseværdier til CO₂-emission. Ser vi tilbage i tiden er det først i forbindelse med oliekrisen i 1970'erne, at Energipolitikken opstod og der kom fokus på energipriser og forsyningssikkerhed [105]. På det tidspunkt blev der indført krav til energibehovet i Bygningsreglementet, som siden løbende er skærpet, som det fremgår af Figur 71 nedenfor.









Figur 73 Udviklingen i Bygningsreglementets krav til enfamiliehouses energibehov (Kilde: Videncenter for Energibesparelser i Bygninger (Susie Frederiksen, 2023))

Med Paris-aftalen i 2015 [3] har Danmark forpligtiget sig til at reducere CO₂ udledning med 40 % i 2030 i forhold til udledningen i 1990. Hvor fokus før alene var på energibehovet, har man ved at introducere CO₂-krav i Bygningsreglementet, for alvor fået udvidet vores horisont for, hvad klimavenlige bygninger er. Livscyklusperspektivet er ikke nyt i branchen, da man blandt andet siden 2012 har DGNB certificeret bygninger, hvor CO₂-udledningen for byggeriet er beregnet. Den lovgivningsmæssige indførelse i Bygningsreglementet i januar 2023 og indfasningen af yderligere konkrete krav til byggeriets klimaafttryk i 2025 og fremad, vil give øget fokus for både nybyg og renovering.

De eksisterende energikrav og klimakrav ønskes undersøgt hvor vidt de har indvirkning på økonomien i nybyggeri af boliger. Allerede i dag stilles der energimæssige krav til renoveringer i højere eller mindre grad og det forventes ligeledes renoveringerne bliver omfattet af klimakrav.

For at beskrive hvad kommer der til at ske med vores bygninger ved øget klimakrav er der behov for at anskue dette ud fra forskellige kategorier. De økonomiske påvirkninger fordeler sig overordnet set i følgende kategorier inden for både nybyggeri og renovering:

	Rådgivning: Meromkostninger til proces, design, beregninger og dokumentation
	Entreprise og materialer: Anlægsøkonomi, forventede meromkostninger til nye og klimavenlige løsninger og produkter. Højere anlægsomkostninger grundet krav til lavere udledninger
	Markedsværdi: Bevaringsværdier og tilknyttede økonomiske værdier i fare, Øget markedsværdi for renoveret ejendom med lavere klimabelastning
	Drift og vedligehold: Lavere energiforbrug, men driftstung teknologi
	Risiko: Mulige øgede udgifter til forsikring
	Økonomisk adfærdsregulering

Figur 74 Oversigt over identificerede økonomiske faktorer

Nedenfor er en gennemgang af de fem kategorier og hvordan de påvirker de generelle økonomiske forhold.

4.2.1 Rådgivning

Her beskrives hvilke økonomiske forhold indenfor rådgivning, design, beregninger og dokumentation der påvirkes af klimakrav for både nybyg og renovering.

De nye klimakrav kræver forandringer. Det kræver tilvænnning, herunder nye kompetencer, procedure og standarder. Klimakravene har i høj grad stillet krav til dette for nybyg. Allerede i den indledende rådgivning skal klimakrav og evt. bæredygtighedsstrategier rammesættes. Den indledende tilgang til et projekt har stor påvirkning på klimabelastningen, f.eks. omfanget for nybyg eller renovering, hvor mange m² der er behov for at bygge. Men også en evt. udbudsstrategi, der kan indeholde skærpet krav til klima, kan have indflydelse på det færdige produkt.

Efterhånden vil rådgivende arkitekter og ingeniører skulle tilegne sig nye kompetencer inden for klimavenligt design af bygninger. Selvom mange gode værktøjer, materialer og løsninger allerede findes, vil der fortsat være en stigende udvikling og meget nyt at lære. En del af denne 'efteruddannelse' kommer som learning-by-doing i de konkrete, klimambitiøse projekter og det er uundgåeligt, at nogle af de merudgifter, der følger heraf, vil tilfalde projektet. Bemandingen på projektet vil også være anderledes med de nye klimakrav, da der udover det sædvanlige team også vil skulle tilknyttes en specialist til vejledning og beregning af LCA. Klimakravene øger kompleksiteten af de valg og løsninger byggeriet skal indeholde. LCA-beregningen rækker ind i både energiberegningen, indeklimaberegninger, de konstruktive principper, dagslysforhold mv. og det stiller større krav til en tværfaglig koordinering. Samme proces vil gøre sig gældende for renoveringsprojekter, når klimakravene også omfatter denne bygnings kategori.

Gennem de seneste årtier har kravene til dokumentation inden for byggebranchen generelt været stigende, hvilket medfører et øget tidsforbrug i hele værdikæden, bl.a. hos entreprenører, rådgivende teknikere og hos bygherrer. Med LCA-krav til nybyg i 2023 og nye krav til både nybyg og renovering i 2025 må det forventes, at denne tendens fortsætter. Jo mere retvisende en LCA-beregning skal være, desto flere detaljerede og præcise informationer skal der lægges til grund. I takt med at digitale beregningsværktøjer

udvikles, og at EPD'er og lignende klimadata bliver lettere tilgængeligt vil denne byrde muligvis lattes, men vi må forvente, at ydelser inden for bæredygtighed gradvist vil fylde mere i de kommende år. Det øgede omfang af dataindsamling, beregninger, simuleringer og dokumentation vil uden tvivl udgøre en stigende omkostning. Selvom den globale miljødiskurs rækker tilbage til tiden efter anden verdenskrig, så er det først op i 1990'erne, at der i Danmark udvikles og implementeres et egentligt værktøj eller arbejdsmetode rettet mod mere bæredygtigt byggeri, nemlig Miljørigtig Projektering. I 2012 lanceres den danske udgave af tyske certificeringsordning DGNB, som blandt de mange internationale systemer er det, der har vundet indpas i Danmark. Ordningen er løbende blevet opdateret og tilpasset miljømæssige krav og forventninger, og det må antages, at tendensen vil fortsætte, hvilket vil blive afspejlet i prisen for en certificering. Certificeringer er naturligvis ikke et lovkrav, og derfor ikke en fast udgift, men en mulig omkostning på projektet. Se også under afsnittet med markedsværdi 4.2.3.

Hvor vi i dag i høj grad er vant til at benytte mange af de samme materialetyper på projekterne, må vi forvente en større palette og variation af materialer i de kommende år. Beton der f.eks. er meget benyttet i dag, har en stor klimabelastning og der vil skulle tænkes i reducere og/eller alternative løsninger. En slankere konstruktion eller lettere bygningsdele. De gængse normer og regler for projektering bliver udfordret.

Den grønne omstilling af byggeriet indebærer blandt andet en tendens i anvendelsen af en større andel af biogene byggematerialer, såsom træ og andre brændbare materialer. Københavns store brande i 1700-tallet var blandt andet medvirkende til, at der indførtes påbud om grundmuring af f.eks. facader og bærende vægge. Klimakravene vil medføre, at vi i højere grad igen vil bygge med bærende konstruktioner i træ, og det vil naturligvis stille skærpede krav til brandsikkerhed. Bygherrerne må derfor eventuelt forvente øgede omkostninger til brandrådgivning, når det kommer til biogent boligbyggeri – særligt når det gælder etagebyggeri.

4.2.2 Entrepriser og materialer

Her beskrives hvilke økonomiske forhold indenfor entreprise, anlægsøkonomi og materialer der påvirkes af klimakrav for både nybyg og renovering.

Energistyrelsen står bag en opgørelse af de samlede drivhusgasudledninger af det danske forbrug. Her ses at byggeriets klimapåvirkning svarer til ca. 10 pct. af de samlede forbrugsbaserede CO₂ækv -udledninger, svarende til mellem 5,5-6,4 mio. tons CO₂ækv årligt. Det dækker udledninger forbundet med opførelse, renovering og vedligehold af alle bygninger i Danmark. Heraf udleder nybyg alene ca. 3,2 mio. tons CO₂ækv årligt (Social- og Boligstyrelsen, 2024). Bemærk at drift og energiforbrug ikke indgår i opgørelsen.

Det forventes vanskeligt at udlede en direkte sammenhæng mellem klimakrav

og projektøkonomi ud fra budgetter eller byggeregnskaber for konkrete projekter. Omkostningerne er ikke udspecificeret, så de alene viser en meromkostning grundet klimakravene. Man vil muligvis kunne finde en specifik omkostning til f.eks. bæredygtighedsledelse eller LCA-beregninger, men i byggeregnskabet kan man ikke se om der f.eks. er valgt en trækonstruktion i stedet for beton og hvad forskellen i pris har betydet. Man kan være heldig og få enkeltstående konkrete eksempler, hvor der er lavet variant-sammenligninger, men det kan ikke vise en bestemt tendens eller pris.

Af disse årsager har vi set efter andre undersøgelser for at finde en eventuel statistisk sammenhæng mellem klimakrav og projektøkonomi.

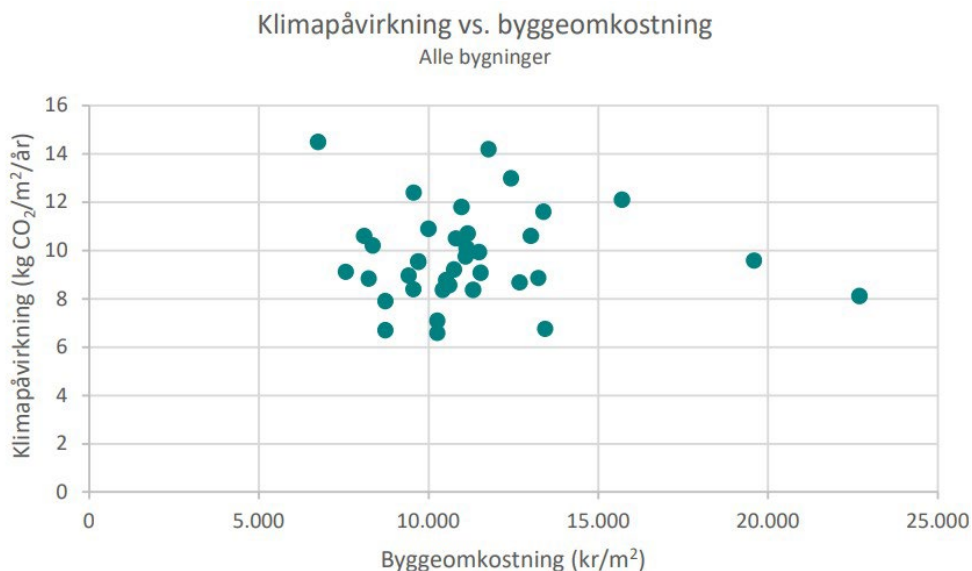
I rapporten "Bæredygtig udvikling i det byggede miljø" [96] har man via rapportens litteraturstudium kortlagt meromkostninger på mellem 1 og 10% for byggerier som er certificeret efter ordninger med fokus på bæredygtighedsparametre, fundet i 4 udenlandske studier udført 2013 til 2020.

I rapporten "Er det dyrt at bygge bæredygtigt?" [88] sammenholdes data fra 37 DGNB-certificerede projekter af forskellig type nybyggerier (etageboliger, kontorbygninger og rækkehuse fra perioden 2012-2019). 27 af bygningerne har opnået DGNB-guld, de øvrige fordeler sig på tre platin og syv sølv. Alle bygningerne er opført, de er såkaldt "almindelige byggerier" og har opnået endelig DGNB-certificering. Der er således ikke tale om demonstrationsprojekter, specialbyggeri (fx. hospitaler, idrætshaller, værksteder) eller andet med ekstraordinære indsats. Dog skal man være opmærksom på, at da der er tale om DGNB-certificerede bygninger, så er der i udgangspunktet tale om byggerier, hvor der på forhånd er en ambition om bæredygtighed. Udfaldet af undersøgelsen kunne være anderledes, hvis projekterne havde været tilfældigt udvalgt.

I forbindelse med DGNB-certificeringen udarbejdes såvel LCA som LCC. Der har således været adgang til både den samlede DGNB-score, som omfatter flere bæredygtighedsparametre og den samlede klimapåvirkning (CO₂-aftryk) fra LCA. De økonomiske data omfatter såvel bygge- og anlægsomkostningerne som totaløkonomien i form af nutidsværdien udregnet i LCC.

Af interesse for nærværende rapport er især det viste forhold mellem klimapåvirkning og byggeomkostninger. I DGNB er byggeomkostninger baseret på enten tilbudslister eller byggeregnskaber og repræsenterer således de faktisk realiserede byggeomkostninger. Ved indtastning af LCC-resultaterne i DGNB-systemet korrigeres også i forhold til den geografiske placering, så regionale prisforskelle udjævnes. Alle størrelser betragtes pr. m². Flere detaljer om de anvendte data kan findes i (BUUS Consult, 2020).

I diagrammet i Figur 73 nedenfor ses for alle 37 cases, klimapåvirkning i kg CO₂ eq/m²/år koblet med byggeomkostningen i kr/m².



Figur 75 Diagram fra rapporten "Er det dyrt at bygge bæredygtigt?" [88]., side 14. Diagrammet viser klimapåvirkning og byggeomkostning iht. DGNB-certifikatet for 37 undersøgte bygninger

Som det fremgår af diagrammet i [88], ligger klimapåvirkningen mellem ca. 6,5 og 14,5 kg CO₂ eq/m²/år. Størstedelen af projekterne ses at ligge under den nuværende kravgrænse på 12 kg CO₂ eq/m²/år, selvom de

er opført flere år før, kravet trådte i kraft. Byggeomkostningerne ligger mellem ca. 7.000 og ca. 23.000 kr./m².

Der ses i denne opgørelse *ingen* klar sammenhæng mellem klimapåvirkning og byggeomkostning, hvilket er i modsætning til [96]. Rapporten [88] er nævnt i [96], og her gives som mulig forklaring, at andre kvalitetsparametre end klimabelastning kan være udslagsgivende for den manglende sammenhæng.

Data viser således, at det er muligt at bygge billigt og med lav klimapåvirkning, idet der er flere eksempler herpå. Et eksempel fra diagrammet i Figur 73 3 har en klimapåvirkning på knap 7 kg CO₂ eq/m²/år og en byggeomkostning på knap 9.000 kr./m². Selvom alle udgifter ikke er medregnet i LCC beregninger, er det langt under halvdelen af maksimumbeløbet for støttet boligbyggeri i 2023. Man kan dermed ikke tillade sig at sige, at 'Det er dyrt at bygge klimarigtigt'.

Modsat ses også eksempler på projekter med højere klimabelastning og højere byggeomkostning. Udfordringen ved at tolke sammenhængen mellem klimabelastning og byggeomkostninger er, at en lang række forhold påvirker byggeomkostningerne. Det er umuligt ud fra de foreliggende data at afklare, hvilke omkostninger i et byggeri der skyldes "bæredygtighed" eller klima, og hvilke der skyldes andre prioriteter.

Ud fra ovenstående figur kan der heller ikke konkluderes, at klimakrav har en direkte økonomisk konsekvens. Vi ved dog af erfaring at øget klimakrav og bæredygtighedskrav sætter krav til entreprenøren i udførelsesfasen. Såsom øget krav til affaldssortering, dokumentation af byggematerialer og energimæssige krav til byggepladsen.

I følgende afsnit og i projektets afsnit 4.3 undersøges mere direkte sammenhænge mellem identificerede økonomiske faktorer og klimakrav.

I udførelsesfasen skal der være stor opmærksomhed på en optimal proces og den klimapåvirkning såvel som den økonomiske påvirkning det kan have. Fejl og mangler medfører både tidsmæssige, økonomiske og klimamæssige tab, da opretning af fejl og mangler mange gange leder til spild og dermed en øget CO₂ udledning. En effektiv byggeproces med reduceret spild, vil have en positiv påvirkning på både klima og økonomi. Dog medregnes byggeproces, svarende til faserne A4 og A5, ikke iht. BR18. I afsnit 1.2.3 gives estimer på effekten af fase A4-A5 såfremt, disse indregnes i LCA. Rapport fra Aalborg universitet 2021 [95] kortlægger spild i byggeriet, herunder omfang, årsager og forslag til indsatser. Årsagen er bl.a. ofte for lidt samarbejde, som resultat af forskellige interesser, indtjening og udbudsform. Mangelfuldt projektering/materiale. De forskellige aktører er ikke inddraget tidligt nok i processen, tidspres og mangelfuld kommunikation på byggepladsen. Altså rigtig mange forskellige parametre. Rapporten peger ligeledes på nogle indsatser der vil mindske spildet; Øget forståelse, bedre beslutningsgrundlag, samarbejdsaftaler, udbudsformer, tidlig involvering og brugerinddragelse. Derudover kan spild også minimeres ved take-back ordninger. Eller der kan indgås aftaler om reducerede mængder emballage.

Ved brug af alternative materialer f.eks. genbrugsmaterialer kunne der være øget krav til logistik og byggetid, tidlig indkøb og opbevaring af materialer eller mangel på materialer.

4.2.2.1 Nye og klimavenlige løsninger og produkter

For blot 100 år siden var udgifterne til byggeri sammensat på en markant anderledes måde. Dengang var det byggematerialerne, der var dyre, og arbejdstimerne der var billige. I dag er det omvendt. Tid er den dyreste ressource i byggebranchen. Det betyder, at jo mere ensartet, standardiseret og konventionelt man kan bygge desto billigere.

Den grønne omstilling må nødvendigvis 'disrupte' det konventionelle boligbyggeri, som oftest var/er betonelementbaseret med lette indervægge i stålregler beklædt med gips. Isoleringsprodukter er oftest sten- eller glasuld og facader er oftest skalmurede med traditionelle mursten og cementbaseret mørtel. Der er tale om meget ressource- og energikrævende materialer.

Træbyggeri er i sig selv ikke nyt, men mange andre og mere bæredygtige alternativer er ikke en del af den brede byggebranches repertoire. Det gælder både produkter og løsninger. Det kunne være produkter som lerplader, lerpuds og lerjord, hampebaserede produkter, ler- og kalkmalinger samt og ikke mindst halm- og stråprodukter m.fl. Det ikke kun produkter og materialer, men også løsninger. F.eks. vil klimakravene påvirke og eventuelt umuliggøre støbte terrændæk i beton som fundaments løsning. Disse vil blive erstattet af punktvis fundering – f.eks. med stålskruer – eller linjefundamenter i celleglas m.fl. Den øgede anvendelse af genbrugskomponenter kan også give udfordringer til ellers strømlinede montageproduktioner, hvor man så må specialtilpasse f.eks. dør- og vindueshuller til de forhåndenværende genbrugte døre og vinduer.

Når produkter og løsninger er nye og ukonventionelle for en entreprenør, repræsenterer de i en risiko for fejl og for øget tidsforbrug. En sådan risiko og usikkerhed vil naturligvis blive kapitaliseret i de entreprisetilbud, der gives på nytænkende boligbyggeri med fokus på bæredygtige tiltag. Ligeledes vil også rådgivende virksomheder skulle udvikle nye kompetencer inden for lavkarbon-byggeri og omkostninger hertil vil givetvis også have en vis indvirkning på bygherres rådgiveromkostninger.

Vi skal ikke langt tilbage i historien før genbrug og "design for disassembly" var en integreret del af byggeriet. Spær, bjælker, mursten og natursten, selv døre og vinduer er blevet nedtaget og genindbygget flere gange. Mange bindingsværkshuse har nummereret tømmer, der tillader at huset demonteres og genopføres på en anden plads. Denne nøjsomme tilgang til naturens ressourcer er forsvundet i løbet af det 20. århundrede, og er blevet erstattet af det globaliserede forbrugs- og produktionssamfunds brug-og-smid-væk-mentalitet, der også omfatter byggebranchen. Klimakravene gør det oplagt igen at tænke i genbrug og genanvendelse. Den økonomiske udfordring i den forbindelse er lige nu, at priserne på genbrugsmaterialer kan forekomme dyrere end jomfruelige materialer. Som eksempler kan nævnes gamle, afrensede mursten og overfladebrændte genbrugstræfacader, som begge typisk har en højere pris end tilsvarende ny producerede mursten og bræddebeklædninger.

I takt med at klimakravene får rådgivere og bygherre til at søge mod alternative lavkarbon-byggematerialer vil der muligvis opstå situationer, hvor efterspørgslen på mere bæredygtige produkter og materialer overstiger udbuddet og den nuværende produktionskapacitet. Det resulterer i prisstigninger og forsinkelser. Dette kan føre til højere omkostninger for byggeprojekter og begrænse valgmulighederne for materialer. Selvom priserne på bæredygtige materialer kan forventes at falde over tid, kan det stadig udgøre en økonomisk udfordring for nuværende projekter. Problemstillingen undersøges nærmere ved interviews og survey i branchen, se afsnit 4.3.2.4.

Klimakravene om lave CO₂-udledninger stiller ikke i sig selv krav om anvendelse af biogene, naturlige eller genbrugte materialer, men anvendelsen af disse materialer giver nogle af de laveste udledninger. Anvendelse af sådanne ikke-konventionelle materialer kræver i mange tilfælde en ny byggeteknik og detaljering, med fokus på at undgå fugtproblemer. Øget isolering og større tæthed af ældre boliger ændrer indeklimaet, og det er vigtigt, uanset materialevalg, at bevare fokus på at opnå et godt indeklima samtidig med en lav klimabelastning. Vores indeklima bliver påvirket af mange ting, for eksempel partikler, skimmelsvampe og allergener. Det har alt sammen betydning for kvaliteten af den luft, vi indånder – og dermed vores helbred. Et forbedret indeklima i vores boliger (nybyggede såvel som renoverede) kan meget vel have langsigtede samfundsøkonomiske konsekvenser i form af lavere sundhedsudgifter.

Klimakravene har potentiale til at få betragtelig indflydelse på bestemte sektorer i den danske produktion af byggevarer. Det drejer sig særligt om de meget klimatunge materialer, herunder cementproduktion og fremstilling af mursten. De stigende klimakrav vil sandsynligvis begrænse muligheden for at bygge med beton og mursten, og rådgivere og bygherre vil begynde at søge mod andre og mere bæredygtige byggematerialer. Det kan føre til tab af arbejdspladser i én sektor, men samtidig muligheden for etablering af nye arbejdspladser inden for nye klimavenlige byggevarer.

Klimahensyn og økonomi er ofte forbundne i den nuværende forbrugsøkonomi. Forbrug genererer økonomi og forbrug belaster klimaet gennem traditionelle lineære produktionsprocesser.

Nogle gange har økonomiske hensyn stået i konflikt med bæredygtighedsambitioner. Bygherrer og ejendomsjere har truffet valg, der reducerede klimavenligheden af en bygning for derved at overholde budgettet eller opnå forventet afkast. Dette har betydet kompromisser på bæredygtighedsfronten. At klimakravene er gældende lovgivning, giver ikke længere denne mulighed.

Klimakravene vil i takt med at de strammes udelukke flere og flere konventionelle og klimatunge produkter, hvilket indsnævrer bygherrernes valgmuligheder indenfor konventionelle byggematerialer. Derimod vil klimakravene skubbe til udviklingen af nye materialetyper, produktioner og løsninger. Det vil øge efterspørgsel og erfaringer med materiale, der har en mindre klimabelastning.

Klimakravenes påvirkning af materialepriser undersøges nærmere i afsnit Materialepriser, hvor også branchens håndtering af økonomiske rammer undersøges.

I renoveringsopgaver kan meget stramme klimakrav i sidste ende være afgørende for, om et renoveringstiltag faktisk gennemføres. Det kan være problematisk idet mange renoveringer netop har til formål (også) at forbedre bygningernes energiforbrug. LCA-beregninger kan naturligvis vise, om der er en udledningsmæssig fordel på den lange bane ved at gennemføre tiltaget, men hvis den samlede pris for renoveringen er over bygningsejers budget, kan renoveringssagen gå i stå. Og det forbedrer ikke den miljømæssige performance i vores meget energikrævende eksisterende boligmasse.

4.2.3 Markedsværdi

Her beskrives hvilke økonomiske forhold omkring markedsværdi der påvirkes af klimakrav for henholdsvis nybyg og renovering.

Den mest rentable løsning til at nedbringe energiforbruget i eksisterende bygninger er ofte at udføre en udvendig efterisolering [141]. Det er en byggeteknisk og fugtteknisk veldokumenteret tilgang, og der går ikke indvendige kvadratmeter til spilde. En udvendig efterisolering har dog den klare ulempe, at arkitektoniske bevaringsværdier går tabt. Under alle omstændigheder skjules den originale facadearkitektur, og selv hvis den genskabes vil det være med ændrede proportioner idet bygningens ydre dimensioner ændres ved påføringen af et ekstra lag isolering.

LCA-beregninger vil givetvis kunne påvise, at der i et livscyklusperspektiv kan spares så meget CO₂ over 50 år, at det både er miljømæssigt og økonomisk rentabelt at efterisolere mange bevaringsværdige bygninger. Det kan potentielt betyde tab af arkitektoniske værdier, som ifølge Realdanias rapport "Værdien af bygningsarv" [120] står i direkte relation til bygningens markedsværdi.

Eksisterende boligejendomme som gennemgår renoveringer som følge af energikrav og klimakrav vil have lavere energiforbrug og kunne opnå et forbedret energimærke. Med den seneste tids stigende energipriser, er det for alvor noget, som indgår i overvejelserne blandt huskøbere. Derfor er det også klart, at en

veludført klimarenoveret bolig har en højere markedsværdi end en tilsvarende ikke renoveret ejendom [96].

Det er interessant at nævne, at det ikke kun er omkostningerne der stiger, når der indføres klimakrav. En ny rapport Bæredygtig udvikling i det byggede miljø [96] påviser, at der også kan regnes med en øget indtjening, når bygninger overholder klimakrav eller kan fremvise en certificering på grundlag af bæredygtighedstiltag. I Figur 74 vises de overordnede resultater vedr. øget indtjening, som vist i [96].

TABEL 1. Litteraturstudiets resultater om forøgede lejepræmie og salgspæmie.

Certificering	Lejepræmie	Salgspæmie
Energimærke	5,8-17,0 %	3,0-10,1 %
Anden certificering	2,5-40,0 %	5,0-23,0 %

Figur 76 Tabel 1 fra 96] giver et samlet overblik over litteraturstudiets resultater i form af økonomisk gevinst ved salg og udlejning af ejendomme med højere energimærke eller en bæredygtighedscertificering.

Både leje- og salgspriser øges, så bygherrer kan betragte omkostningerne til klimavenligt byggeri som en investering, der kan give afkast. Det nævnes af en af informanterne, at de samlet set ser investeringer i bæredygtighed i byggerier som en fremtidssikring af deres værdier. Det skal dog bemærkes, at den øgede indtjening viser sig at være underlagt samme effekt som omkostningerne – den falder over tid. Når et flertal af bygninger i et område er certificerede på grundlag af bæredygtighedstiltag, kan der ikke længere forventes en øget lejeindtægt. Til gengæld påvirkes da de ikke-certificerede bygninger i negativ retning, idet efterspørgsel og dermed indtjeningen falder.

Et nyligt afsluttet projekt IGENBO [140] har bl.a. undersøgt økonomiens betydning for private boligejeres beslutning om at rive ned og bygge nyt eller bevare og renovere enfamiliehuset. Via en surveyundersøgelse med 200 respondenter og 8 case-studier af familier, der har udført større reoveringer af deres boliger, suppleret med kvantitative data fra BUILD's undersøgelse fra 2022, Nedrivning af enfamiliehuse: omfang og årsager [99], finder man frem til bl.a. disse konklusioner:

Når huse rives ned, og der bygges nyt hus på grunden, er det i 2/3 af tilfældene en beslutning, der træffes i forbindelse med huskøb. Beslutningen begrundes bl.a. med ønsket om at forøge ejendommens samlede værdi, og beliggenheden herunder ejendomspriser i området spiller en markant rolle. Boligkøbere, der reoverer, begrundet valget med begrænsede økonomiske muligheder kombineret med, at huset opleves som værende i en stand, der kan reoveres. Ejerens økonomi i kombination med ejendommens værdi er altså væsentlige økonomiske faktorer i beslutningen om nedrivning eller reovering. I rapporten oplyses det, at flere husejere giver udtryk for, at priser på nye huse på attraktive grunde betyder, at det godt kan betale sig at investere i en større og mere tidssvarende bolig, da det fra første dag vil hæve ejendomsværdien.

Markedsværdien af ejendommen er altså en betydende driver for nedrivning og nybyg frem for reovering, på parcelhusområdet i attraktive kvarterer. Markedsværdien som driver understøttes af, at husejerne primært har fokus på lavt energiforbrug som udtryk for bæredygtighed. Husejere som vælger at reovere, udtrykker derimod, at både energiforbrug og materialer forbindes med bæredygtighed. Man kan få den tanke, at "nybygges" lidt ensidige fokus på lavt energiforbrug som kriterium for bæredygtighed blot skal underbygge ønsket om et nyt og større hus.

EU Taksonomien er driver for at fremme markedet for bæredygtige investeringer i EU. I Danmark afrapporterer blandt andet Pensionskasserne. Med EU-taksonomien identificeres de økonomiske aktiviteter, der kan anses for at være miljømæssige bæredygtige.

4.2.4 Drift og vedligehold

Drift og vedligehold omfatter energiforbrug til drift samt løbende vedligehold og udskiftninger af udtjente konstruktioner og materialer.

Omkostninger til drift og vedligehold i såvel nybyggeri og renoverede bygninger påvirkes af økonomiske valg ved anlæg hhv. renovering.

Klima- og energikravene i bygningsreglementet vil løbende minimere boligers indkøbte energiforbrug, og dermed omkostningerne hertil. Det gælder både i forhold til nybyggeri og renoveringer. Det lave energiforbrug vil betyde lave energiregninger for beboerne. Kravene vil normalt opfyldes ved en kombination af, at energiforbruget minimeres ved at isolere hhv. efterisolere bedre, og gennem optimerede teknologiske løsninger inden for varme og ventilation samt lokal udnyttelse af vedvarende energi – f.eks. solenergi og jordvarme. Det er væsentligt at afbalancere tiltagene, idet øget isolering kan føre til overophedning, med deraf følgende øgede udgifter til ventilation. Ligeledes belaster en øget mængde isolering typisk klimaregnskabet med emissioner fra materialeproduktion – en belastning, som forventes indhentet med lavere emissioner fra et nedsat energiforbrug. Dette gælder både ved renovering, herunder energirenovering, og nybyggeri.

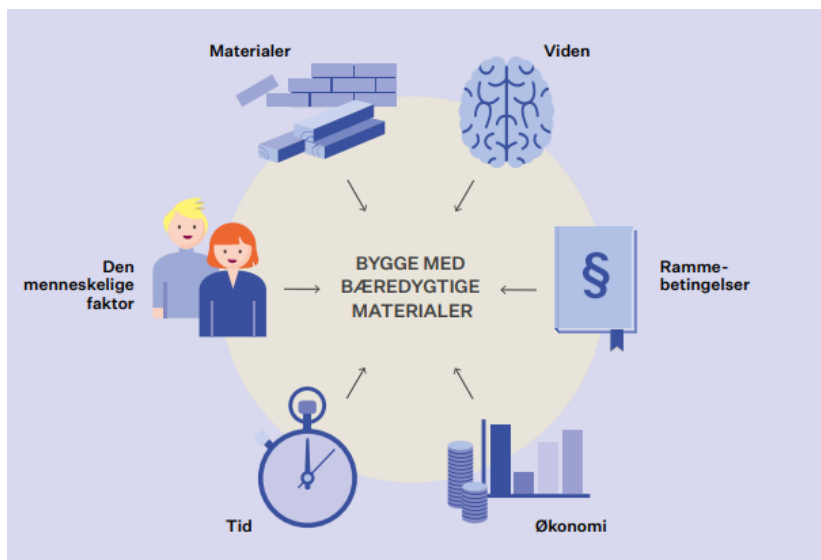
Samtidig viser der sig tydelige tegn på, at de ofte avancerede teknologier såsom varmepumper, ventilationsanlæg og solceller har en begrænset levetid og kræver hyppig service og udskiftning af komponenter. Boligejerne og -lejerne må forvente øgede driftsudgifter hertil.

Forskellige byggematerialer og konstruktioner har forskellig levetid og stiller forskellige krav til løbende vedligehold, i form af f.eks. eftersyn, udskiftning af fuger, maling eller anden overfladebehandling. Det er klart, at en væsentlig længere levetid og dermed længere periode mellem udskiftninger, kan opveje en højere anskaffelsespris, set i forhold til materialer med kortere levetid. Det kan derfor være økonomisk fordelagtigt at vælge materialer med lang levetid og minimal vedligeholdelse, selvom de er dyrere i anskaffelse. Imidlertid er byggematerialers og konstruktioners teoretiske levetid iht. BUILD Levetidstabel version 2021 [118] ikke nødvendigvis identisk med den faktiske levetid, ligesom vedligeholdelsesindsatsen har betydning for holdbarhed og levetid i praksis. Når der stilles klimakrav i form af en grænseværdi for LCA, indregnes klimabelastningen både ved anskaffelse, udskiftning og endelig bortskaffelse, baseret på levetiderne i [118]. Derfor kan man ikke konkludere, at en økonomisk investering i lang levetid (mere end 50 år) og lave vedligeholdelsesomkostninger også vil medføre en lav klimabelastning, når denne beregnes ud fra LCA med 50 års betragtningsperiode. Ved renovering er en stor del af materialevalget givet på forhånd. Her er det vigtigt at vurdere en realistisk restlevetid, og være opmærksom på, at restlevetiden kan være både længere og kortere end den teoretiske levetid minus allerede forløbet tid. Det har afgørende betydning for såvel økonomien som klimabelastningen ved renovering.

4.2.5 Risiko

Boligbyggeri der erstatter konventionelle byggematerialer med biogene materialer som træ og organiske isoleringsmaterialer, genbrugsmaterialer, andre alternative og nye byggematerialer mv. følge nye risici og udfordringer med sig, som kan øge forsikringsudgifterne for flere parter i byggebranchen. Det drejer sig f.eks. om ansvar, levetid, fugt og råd, skadedyr og insekter og brand.

I takt med at klimakravene bliver skærpet er det afgørende at der kommer andre alternative materialer i spil end de konventionelle vi kender i dag. Usikkerheden omkring brug af mere klimavenlige materialer ligger ofte i, at det ikke er gennemafprøvede materialer, manglende viden om materialernes egenskaber samt ukendte tidsmæssige- og økonomiske konsekvenser. I nedenstående figur (kilde: Publikationen Risiko som barriere for bæredygtige byggematerialer [144]) er identificeret seks barrierer og risici, der skal være opfyldt for, at man bygger med mere bæredygtige materialer:



Figur 77 Diagram fra rapporten " Publikationen Risiko som barriere for bæredygtige byggematerialer" [144]. Diagrammet barrierer og risici ved bæredygtige byggematerialer.

Rapporten [144] nævner en række mulige initiativer for at imødegå identificerede risici, som det er uden for denne rapport at gennemgå.

Risici kan føre til øgede omkostninger af følgende årsager:

Biogene materialer er kendt for at være mere følsomme over for fugt og skader sammenlignet med de mere robuste konventionelle tunge uorganiske materialer.

Fugtrelaterede problemer som råd og skimmelsvamp kan opstå, hvis der ikke træffes tilstrækkelige foranstaltninger for at beskytte og vedligeholde de biogene materialer². Rådskeer kan svække bygningens strukturelle integritet mens skimmelsvamp kan medføre alvorlige problemer med indeklimaet og udgøre en helbredsrisiko for beboerne. Biogene materialer kan også være mere modtagelige over for skadedyr og insekter sammenlignet med mere hårdføre byggematerialer. Ubehandlede biogene materialer er oftest brændbare og dermed i en højere risikoklasse end ikke-brændbare materialer som beton eller mursten. Trækonstruktioner og -beklædninger kan f.eks. brandimpregneres, men der findes eksempler på, at impregneringen over ganske få år udvaskes af nedbør.

Udbedring af skader fra fugt, råd, skadedyr og insekter samt den øgede risiko for brand, er med stor sandsynlighed emner, som vil medføre øgede forsikringsomkostninger for flere af boligbyggeriets parter.

² Uorganiske materialer som gips, porebeton og beton bør også beskyttes mod utilsigtet opfugtning, så der ikke indbygges fugt. Men skaderne kan forekomme hurtigere ved biogene materialer, og da disse sjældent kan affugtes forsvarligt, skal de i stedet udskiftes.

Projekterende rådgivere kan blive stillet til ansvar, hvis der opstår skader eller problemer som følge af valg og specifikation af biogene materialer, da de har ansvaret for at levere veldokumenterede og holdbare løsninger. Udførende entreprenører kan blive pålagt garantiansvar for de anvendte biogene materialer og udførte arbejder. Hvis skader eller problemer opstår, kan det resultere i krav om reparation og ansvar for omkostningerne. Forsikringselskaber vil måske vurdere risikoen ved biogent byggeri som højere på grund af de potentielle udfordringer og komplikationer. Dette kan resultere i stigende præmier for bygningsejeren.

4.2.6 Økonomisk adfærdsregulering i Danmark

CO₂-afgifter og CO₂-skyggepriser er eksempler på instrumenter til adfærdsregulering. Mens der ikke findes CO₂-afgifter, som rammer den danske byggebranche direkte, indeholder lovgivningen CO₂-afgifter der rammer byggeriet indirekte. Samtidig ses der i blandt branchens aktører en udvikling imod implementering af organisatoriske CO₂-skyggepriser med en tveægget betydning; dels dækker CO₂-skyggeprisen over den samfundsøkonomiske omkostning som beskrevet i Tekstboks 2, og dels anvendes CO₂-skyggepriser som en adfærdsregulering imod det mere klimavenlige valg.

Tekstboks 2 Definition af CO₂-afgift og CO₂-skyggepris

En **CO₂-afgift** er en klimaafgift, som sigter mod at give markedskræfterne mulighed for at bestemme den mest effektive måde at reducere klimabelastningen i form af CO₂-emissioner på. Der er således tale om faktiske lovgivningsmæssige afgifter, som betales som økonomisk regulering med henblik på at nedbringe CO₂-emissioner.

En **CO₂-skyggepris** er et klimatiltag, som angiver den samfundsøkonomiske omkostning ved reduktion af ét ton CO₂ækv. Prisen tager udgangspunkt i nutidsværdien for de samlede samfundsøkonomiske omkostninger og gevinster (Klimabevægelsen, 2021).

CO₂-skyggepriser er fiktive priser og afspejler derved ikke økonomiske transaktioner imellem involverede parter. I økonomiske analyser omtales skyggepriser også som *internal cost of carbon* eller *social cost of carbon*.

En måde at betragte CO₂-skyggepriser er, at "hvis naturen kunne sende os en regning" skylder vi 245 milliarder kroner i ubetalt forbrugsregning på naturens ressourcer i 2020. Det var i hvert fald konklusionen på et grønt nationalt regnskab, der i starten af 2023 blev offentliggjort efter et flerårigt forskningsprojekt. Projektet har resulteret i to nye regnemodeller – en miljøkorrigeret nettonationalindkomst og den fremadskuende *Grøn REFORM-model* [98]. Den miljøkorrigerede nettonationalindkomst beregner et såkaldt grønt BNP og sætter derved værdi på de miljø- og klimakonsekvenser, som opstår som følge af den økonomiske vækst i form af negative effekter som øget luftforurening, tab af biodiversitet og CO₂-udledning, imens Grøn REFORM-modellen kan bruges til at beregne miljø- og klimaeffekter af den forventede økonomiske udvikling og vurdering af de erhvervs- og samfundsøkonomiske konsekvenser af miljø-, energi- og klimapolitiske tiltag som fx drivhusgasafgifter [98].

4.2.6.1 CO₂-afgifter i lovgivningen

I 1992 trådte den første CO₂-afgift i kraft, lov om kuldioxidafgift af visse energiprodukter [131], imens der i de efterfølgende år blev indført gradvise ændringer som differentierede afgiftens størrelse for forskellige erhverv ligesom afgiften blev gradvist hævet [125]. Derudover indførtes PSO-afgiften 1998 med henblik på at understøtte ny energiteknologier, som ikke kunne klare sig på rene markedsvilkår. PSO-afgiften er udfaset og ophørte i 2022 [106]. EU's CO₂-kvoteordning trådte i kraft i 2005, og sætter et loft for, hvor meget CO₂ der må udledes i Europa. Kvoteordningen kommer med et handelssystem, som muliggør kvotehandel [124].

Indførelsen af kvotehandelssystemet betyder, at skelnes imellem kvotebelagte områder og ikke-kvotebelagte områder, se Tekstboks 3 Kvotebelagte områder.

Tekstboks 3 Kvotebelagte områder

EU's Kvotehandelssystem opdeler aktiviteter i kvotebelagte aktiviteter og ikke-kvotebelagte områder. De kvotebelagte områder/aktiviteter omfatter bl.a.:

- › Forbrænding af brændsel i anlæg
- › Raffinering af mineralolie
- › Produktion af råjern, stål, aluminium
- › Produktion af cementklinker, kalk, brænding, keramiske produkter
- › Produktion af mineraluldsisoleringsmateriale ved hjælp af glas, sten eller slagge
- › Tørring eller brænding af gips eller fremstilling af gipsplader og andre gipsprodukter
- › Fremstilling af papirmasse af træ eller andre fibermaterialer
- › Fremstilling af papir eller karton
- › Geografisk lagring af drivhusgasser
- › Luftfart

Note: Beskrivelsen af kvoteomfattede aktiviteter stammer fra Bilag 1 til Europa-parlamentets og rådets direktiv 2003/87/EF [107].

I praksis betyder det, at fx producenter af tegl, cement, gips, mineraluld, glas osv. til fremstilling af byggematerialer allerede er underlagt CO₂-afgifter, og derved indirekte udgør en del af materialeprisen for de materialer, der er produceret inden for det kvotebelagte område. CO₂-afgifterne inden for kvoteområdet reguleres via kvoter, imens virksomheder (både inden for og uden for kvoteområdet) kan få godtgjort CO₂-afgiften af deres brændselsforbrug til procesformål i forbindelse med produktionsenheder med tilladelse til udledning af CO₂.

Derudover har CO₂-afgiften som nævnt været pålagt energiprodukter, hvilket betyder at en andel af forsyningsomkostningerne direkte udgøres af CO₂-afgifter (Laursen & Haugbølle, Beregningsforudsætninger og nøgletal i LCCbyg, 2023).

Med den nye grønne skattereform indføres "en højere og mere ensartet CO₂-afgift" [109], der omfatter flere udledninger. For virksomheder, der ikke er omfattet af EU's kvotehandelssystem, indføres en afgift på 750 kr./ton CO₂ækv. i 2030 (2022-priser). Afgiften indføres gradvist med opstart fra 2025. For virksomheder, inden for EU's kvotehandelssystem, indføres en afgift på 375 kr./ton CO₂ækv. i 2030 (2022-priser). Disse priser indføres ligeledes gradvist. For virksomheder, der anvender mineralogiske processer, fastsættes afgiften på 125 kr./ton CO₂ækv. i 2030 (2022-priser). Det betyder at produktionsprocesser relateret til tegl-, glas og stålproduktion i mindre grad påvirkes af reformen.

Rådet for Grøn Omstilling anbefaler 10 politiske tiltag, som de finder afgørende for at realisere den danske byggebranches omstilling til at være mere cirkulært og ressourcevenlig. Anbefalingerne indebærer bl.a. at indføre en " [...] høj og ensartet CO₂-afgift, der inkluderer alle aktører i byggeriet." [133] s. 9 og uddyber endvidere, at byggevarer-producenter ikke skal have rabat fra denne afgift. Afgiften bør i øvrigt spejle klimabelastningen. Derudover indebærer anbefalingerne bl.a. højere krav til indlejrede CO₂ækv i bygningsreglementet, minimumskrav til kortlægning af ressourcer af eksisterende bygningsmasse ved

nedrivning og renovering og fokus på transformation og renovering af den eksisterende bygningsmasse (Rådet for Grøn Omstilling, 2023).

4.2.6.2 *CO₂-skyggepriser i byggebranchen*

Klimarådet vurderede i 2020 i *Kendte veje og ny spor til 70 procents reduktion* at omkostningerne forbundet med at reduktion af CO₂-emissionerne frem mod 2030 svarer til en CO₂ækv -pris på 1.500 kr. pr. CO₂ækv (2020-priser) [126]. Klimarådets skyggepris er et udtryk for en gennemsnitlig pris for hvad det koster at spare et ton CO₂ækv generelt.

Teknologisk Institut & Rambøll udførte i 2021 en *analyse af udvalgte landes tilgange til klimavenligt byggeri, LCA og samfundsøkonomi* på vegne af Bolig- og Planstyrelsen [139]. Analysen undersøger derved bl.a. de samfundsøkonomiske effekter ved klimavenligt nybyggeri sammenlignet med traditionelt nybyggeri. Nettoeffekten, dvs. forskellen imellem nutidsværdien for traditionelt nybyggeri og klimavenligt nybyggeri, beregnes for 5 scenarier (0 %, ± 2% og ± 5% difference i nutidsværdierne) for tre forskellige bygningstypologier (typehus², etagebyggeri og kontorbyggeri). Den samfundsøkonomiske omkostning ved at reducere CO₂-udledningen via mere klimavenligt byggeri udgør 0,51 mia. kr. i 2020-priser for typehuse ved en 2 % stigning i nutidsværdien, imens den udgør 1,25 mia. kr. for en 5 % stigning i nutidsværdien. Ved at sætte nettoeffekterne i forhold til den gennemsnitlige opførelse af nybyggede typehuse per år i kvadratmeter, findes skyggeprisen for bundet med at bygge mere klimavenligt byggeri. For typehuse betyder det en CO₂-skyggepris på ca. 2.000 kr./m² (2020-priser)², hvis det antages at det er 2 % dyrere at bygge klimavenlige nye typehuse ift. traditionelle typehuse. Tilsvarende er CO₂-skyggeprisen ca. 4.700 kr./m² (2020-priser)², hvis differencen i nutidsværdien er 5 % [139].

4.2.6.3 *Eksempler på anvendelse af CO₂-skyggepriser i byggeriet*

I et internationalt studie fra 2019 fandt McKinsey & Co. [132] at 28 % af Europas virksomheder gjorde brug af interne CO₂-skyggepriser. Derudover vidste studiet, at 4 % af de adspurgte virksomheder inden for ejendomsinvestering gjorde brug af CO₂-skyggepriser, imens 2 % forventede at indføre skyggepriser inden for de kommende to år. I Danmark ses ligeledes en stigende praksis for indregning af CO₂-skyggepriser i de seneste år – typisk med henblik på at synliggøre den miljømæssige konsekvens.

Fredensborg Kommune anvender skyggepriser til at vurdere rentabiliteten af forskellige renoveringsscenarier [86], imens Aarhus Kommunes byråd vedtog en indstilling om at indregne CO₂ækv i kommunes indkøb i april 2022. Her eksemplificeres, hvorledes indkomne bud på et byggeri tillægges en skyggepris på 1500 kr./ton CO₂ækv baseret på den totale CO₂-emission i tilbuddet [148]. I Københavns Kommune pålægges flyrejser en CO₂-skyggepris, som tilbageføres til kommunens generelle kasse, mens udgiften inkl. skyggepris afholdes af omkostningsstedet (fx et kontor i en forvaltning)[147]. Tilsvarende har Vejdirektoratet fra 2024 iværksat et pilotprojekt, der belønner mere klimavenlige tilbud i forbindelse med 10 asfaltarbejder, og således præmierer CO₂-besparende tiltag. Projektet tilfører et tillæg på 1.500 kr. pr. ton CO₂ækv, hvilket skaber en konkurrencemæssig fordel ved lavere CO₂-aftryk. CO₂-aftrykket regnes via tredjepartsverificerede EPD'er, og det kontrolleres efter asfaltarbejdet er ovre om det deklarerede er efterlevet i udførelsen. Hvis CO₂-aftrykket viser sig at være højere skal entreprenøren betale en bod, men omvendt udløser det en bonus hvis CO₂-regnskabet viser sig, at være bedre end lovet [142]. Ejendomsinvestoren NREP har ligeledes indført en intern CO₂-skyggepris for at sikre at der investeres mere bæredygtigt. Her indregnes prisen for CO₂ækv i prisen for nye materialer, uanset om det gælder nybyggeri eller renovering [143].

Fælles for ovenstående eksempler er, at CO₂-skyggepriserne beregnes som engangsomkostninger forbundet med den samlede CO₂-emission, og derved ikke tager højde for diskonteringen af fremtidige betalinger for

fremtidige emissioner i løbet af aktivets (bygningen, vejen eller materialets) levetid. Som konsekvens heraf får man enten undervurderet effekten af fremtidige emissioner og risikerer at overvurdere her-og-nu emissioner eller overvurderet effekten ved at lægge alle emissioner på år 0.

Et alternativ hertil, er at regne på aktivets totalomkostninger (Total cost of ownership, herefter TCO). Et eksempel på dette findes hos BUILD, der i samarbejde med POGI (Partnerskab for Offentlige Grønne Indkøb), har udviklet på et regnemodul til LCCbyg der gør det muligt at beregne og synliggøre CO₂-skyggepriser for hele byggerier (og altså endnu ikke for bygningsdele) i de meget tidlige planlægningsfaser for bygherrer og beslutningstagere i et projekt for miljøstyrelsen de seneste år. Modulet kobler sig resultater fra LCA-faserne, og fordeler disse ud over beregningsperioden baseret på antagelser om hvornår CO₂-emissionerne finder sted. Beregningsmotoren i LCCbyg anvender Klimarådets anbefalinger via Finansministeriets nøgletalskatalog [111].

TCO-modulet på en række antagelser om, hvordan LCA-fasernes CO₂ækv falder: Produktfaserne, A1-A3, antages udledt i år 0, imens udskiftningen, B4, regnes gennemsnitligt over beregningsperioden, dvs. at den årlige CO₂-emission svarer til 1/50-del af den samlede CO₂-emission fra B4. CO₂-emissionerne fra forsyningerne (B6) beregnes direkte i LCCbyg vha. resultater fra energirammen på baggrund af de nyeste fremskrivninger for el- og fjernvarme. Endt levetid, C3-C4, regnes medtaget i år 50, imens D ikke medtages af hensyn til systemgrænserne for LCA-beregninger. Da CO₂-skyggepriserne beregnes på baggrund af hele bygninger baseret på BBR, kan TCO-beregneren for nuværende ikke anvendes til beregning af renovering.

4.2.7 Sammenfatning og delkonklusion

På baggrund af litteraturstudier og input fra projektets ekspertgruppe kan det konkluderes, at de identificerede og undersøgte økonomiske faktorer:

- › Rådgivning: Meromkostninger til proces, design, beregninger og dokumentation
- › Entreprise og materialer: Anlægsøkonomi, forventede meromkostninger til nye og klimavenlige løsninger og produkter. Højere anlægs-omkostninger grundet krav til lavere udledninger
- › Markedsværdi: Bevaringsværdier og tilknyttede økonomiske værdier i fare, Øget markedsværdi for renoveret ejendom med lavere klimabe-lastning
- › Drift og vedligehold: Lavere energiforbrug, men driftstung teknologi
- › Risiko: Mulige øgede udgifter til forsikring og skatter (herunder afgift som økonomisk parameter

Alle påvirkes i større eller mindre grad, når der stilles klimakrav til nybyggeri og renoveringer. Faktorerne rådgivning, entreprise og materialer samt risiko forventes generelt at forårsage øgede omkostninger i byggeriet, når klimakrav indføres eller strammes.

De økonomiske udfordringer ved klima- og energikravene er for disse faktorer særligt initialomkostninger, som er knyttet til den krævende omstilling af vores mindset, arbejdsmetoder, værktøjer og produktionsapparat. Omkostningerne til denne omstilling vil naturligvis komme til udtryk gennem stigende priser. Det ukendte og uafprøvede indebærer risici, koster tid og vil medføre fejl og skader – og det koster altså sammen.

Påvirkningen af faktorerne markedsværdi og drift og vedligehold er mere nuanceret. Undersøgelser har vist, at når ejendomme lever op til klimakrav eller endda performer bedre end det kræves, så øges markedsværdien både ved salg og udleje. Det vil sige, at omkostningerne til at opnå disse resultater i større eller mindre grad kan betragtes som en investering, som giver et afkast i form af højere markedsværdi. Drift

og vedligehold er tilsvarende faktorer, hvor en investering kan give afkast i form af en lavere løbende omkostning. For eksempel kan efterisolering af en eksisterende bygning henholdsvis øget isolering af ny bygning resultere i en lavere løbende omkostning til køb af driftsenergi. Klimakrav påvirker beslutningen ved at stille krav om et lavere energiforbrug. Investering i holdbare materialer kan give afkast i form af lavere vedligeholdelsesomkostninger og længere levetid, før der skal indkøbes nye materialer. Sammenhængen med klimakrav er i dette tilfælde mindre åbenbar, idet byggematerialer med lang levetid ikke nødvendigvis har et lavt klimaaftryk, og deres forventede levetid ud over 50 år, som er betragtningsperioden ved LCA, dermed ikke honoreres.

CO₂-afgifter er i dag kun en indirekte økonomisk faktor i byggebranchen, som påvirker såvel renovering som nybyggeri ved at øge prisen primært på energi.

En CO₂-afgift direkte på byggeriets udledninger vil påvirke disse med anderledes mekanismer end absolutte kravgrænser, som er indført på nybyggeriet i dag. Instrumentet kan bruges på forskellige måder, som er nærmere uddybet i kapitel 4. Overordnet kan siges, at en CO₂ afgift teoretisk fremmer en markedsdrevet sænkning af emissionerne, som kan være mere effektiv end kravgrænsen men som også kan risikere blot at medføre generelt højere priser.





Det kan konstateres, at CO₂ skyggepriser så småt anvendes frivilligt af nogle aktører for at synliggøre omkostningen ved højere emissioner i projekter.

4.3 Klimakravs påvirkning af byggeprojekter

Som beskrevet i foregående afsnit, forventes det at krav om lavere klimabelastning fra renovering og nybyggerier påvirker en række økonomiske faktorer, herunder påvirkning af projektøkonomien. Dette er nærmere undersøgt gennem indsamling af viden fra kvalitative interviews og en survey, hvor der spørges ind til, hvordan klimakrav har påvirket byggesagernes økonomi på færdigbyggede og igangværende byggeprojekter. Der er blevet samlet viden om ændringer i både entrepriseudgifter, rådgivning, andre omkostninger og risici for både renovering og nybyggeri.

Af kategorierne defineret i Tekstboks 4, spørges der til påvirkning omkostninger til rådgivning, entreprise og materialer, samt risiko. Det vurderes, hvilke øgede udgifter, der kan forventes at være midlertidige i en overgangsfase, og hvilke der kan forventes at være permanente.

Tekstboks 4 Oversigt over økonomiske faktorer, som indgår i interviews og survey.

	Rådgivning: Meromkostninger til proces, design, beregninger og dokumentation
	Entreprise og materialer: Anlægsøkonomi, forventede meromkostninger til nye og klimavenlige løsninger og produkter. Højere anlægsomkostninger grundet krav til lavere udledninger
	Markedsværdi: Bevaringsværdier og tilknyttede økonomiske værdier i fare, Øget markedsværdi for renoveret ejendom med lavere klimabelastning
	Risiko: Mulige øgede udgifter til forsikring

4.3.1 Datagrundlag og metode

Datagrundlaget er indhentet fra to kilder:

- › 16 kvalitative interviews med indlagte spørgeskemaer. Informanter er udvalgt blandt byggebranchens bygherrer, rådgivere og entreprenører
- › Online survey. Respondenterne er et udsnit af projektets følgegruppe

De kvalitative interviews er den primære datakilde, mens data fra online survey betragtes som et supplement. Årsagen er udvælgelsen af informanter og respondenter, hvor informanter er udvalgt bredt, mens respondenterne til online survey udgøres af følgegruppemedlemmer, som kan tænkes at have specifikke interesser ift. projektets konklusioner.

Det er vigtigt at fremhæve, at såvel informanter i interviews som respondenter i survey kan tænkes at have specifikke interesser i projektets emne, og at svarene er et udtryk for personers holdninger, meninger og forventninger, og derfor må betragtes som subjektive data, som belyser forskellige vinkler på projektets emne.

Metode og kildekritik er nærmere udredt i bilag G, hvor også spørgeguide til kvalitative interviews, det indlagte spørgeskema samt online spørgeskema findes.

4.3.1.1 Interviews med spørgeskema, metode

Informanterne er fagfolk med praktisk erfaring og indsigt fra både færdigbyggede og igangværende byggesager inden for både nybyg og renovering, hvor klimakravene har eller kan have haft økonomisk indflydelse. Der er tilstræbt en ligelig fordeling mellem aktører i branchen (bygherrer, rådgivere, entreprenører). Der er gennemført interviews med 4 bygherrer, 8 rådgivere og 4 entreprenører. Det skal for god ordens skyld nævnes, at en informant er medarbejder i projektet vedr. LCA-variantanalyser, men svarer på baggrund af sit tidligere virke.

Vi har undersøgt deres erfaringer med de klimarelaterede krav, de har mødt i deres arbejde. Vi har også udforsket de omkostninger og udfordringer, de har oplevet i denne sammenhæng. Desuden har vi indsamlet deres forventninger til, hvordan klimakrav vil ændre sig i fremtiden, og hvilken indflydelse dette sandsynligvis vil have på økonomien i byggebranchen fremadrettet.

For den indsamlede viden må tages det forbehold, at oplysninger indsamles i det omfang, det er muligt. Informanterne svarer ud fra erfaring, idet det må erkendes efter indledende undersøgelser, at data ikke kan udledes direkte af projektoplysninger, men må bero på informanternes og respondentens svar. Der spørges ind til den økonomiske påvirkning såsom faktiske ekstraudgifter i kr. (entrepriseudgifter, rådgivning, materialepriser), øget tidsforbrug, ændringer i risiko, mindsket eller øget fokus på andre forhold, som om klimakrav påvirker arbejdet med holdbarhed og totaløkonomi, og/eller andet, som respondenter eventuelt oplyser. Viden er blevet indsamlet både for renovering og nybyggeri. Men det er svært at skelne tydeligt, da flere respondenter har haft erfaring med begge dele og ikke tydeligt har opdelt deres svar. Desuden er klimakravene endnu ikke er trådt i kraft for renoveringer, så betydningen baserer sig primært på forventninger og antagelser.

Den nærmere fremgangsmåde for identificering af informanter og gennemførelse af interview, samt mens interviewguide og spørgeskema kan ses i bilag G.

4.3.1.2 *Survey i projektets følgegruppe, metode*

Den anden del af datagrundlaget for delprojekt 4 er blevet indsamlet gennem en survey med spørgsmål om klimakrav og økonomiske forhold til projektets følgegruppe. Surveyen blev udsendt via mail til 59 personer fra følgegruppen, herefter benævnt respondenter, hvoraf der er modtaget i alt 33 komplette besvarelser (57%). En uddybning af metoden samt kopi af spørgsmålene i surveyen er indsat i bilag G. Følgegruppen består af personer, som repræsenterer en række organisationer og virksomheder med særlig interesse for projektets resultater. Det drejer sig om interesseorganisationer, offentlige myndigheder, vidensinstitutioner, bygherrer, rådgivere med flere. Der er således ikke tale om en tilfældigt udvalgt respondentgruppe, men personer som formodes at have en vis indsigt i og interesse for emnet klimapåvirkning samt projektets konklusioner, hvilket kunne farve besvarelser fra gruppen. Det er således data fra de kvalitative interviews, som er den primære kilde til undersøgelsens konklusioner, mens resultatet af survey betragtes som sekundær og underbyggende.

4.3.2 *Indsamlede data: Interviews*

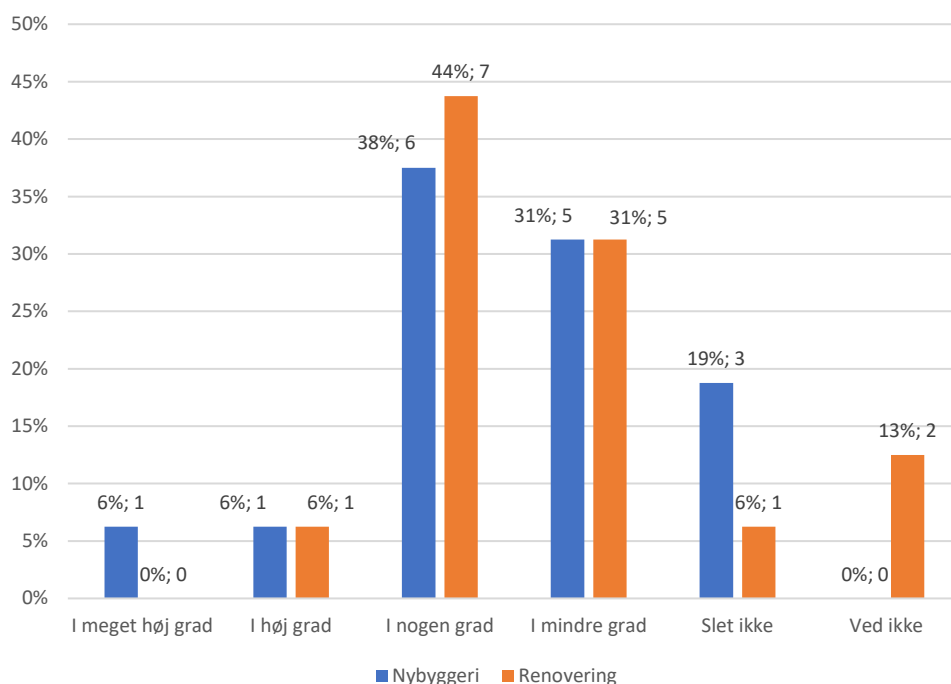
I dette afsnit præsenterer vi en sammenfatning af de indsigter, vi har opnået fra 16 interviews med bygherrer, rådgivere og entreprenører, herefter betegnet informanter under ét.

Under interviewene er informanterne blevet bedt om at udfylde et spørgeskema. Det har vist sig, at informanterne svarer temmelig spredt i de tilgængelige svarkategorier. Derfor er resultatet vist i to diagrammer: Diagram nr. 1 viser svarene fordelt på alle svarkategorier. Diagram nr. 2 puljer svarene "slet ikke" og "i mindre grad" hhv. puljer svarene "i nogen grad", "i høj grad" og "i meget høj grad". Når man har relativt få svar, kan en sådan gruppering af svar i bredere kategorier give et bedre overblik holdningen blandt informanterne.

I de følgende afsnit beskrives svarene på de 5 hovedemner informanterne er blevet stillet overfor, først spørgeskemasvarene, og derpå de kvalitative svar.

4.3.2.1 *Entrepriseudgifter, svar*

Figur 76 viser spørgeskemasvarene for entrepriseudgifter. Som det fremgår, mener størstedelen af informanterne, at klimakravene i et eller andet omfang vil have økonomisk indflydelse på entrepriseudgifterne for både nybyggeri og renovering, mens kun et fåtal mener, at klimakravene "slet ikke" vil have en økonomisk påvirkning. For de puljede svar ses, at der kun er en lille forskel på svarene for renovering og nybyggeri, og at svarene fordeler sig ca. 50/50 på ingen eller mindre påvirkning, i forhold til en mere betydende påvirkning.



Figur 78 Kilde: spørgeskema under interviews. Spørgsmål: I hvilken grad tror du, at klimakravene vil have økonomisk indflydelse i byggesager med fokus på henholdsvis nybyggeri og renovering i forhold til entreprisudgifter?

Tabel 15 Svar fordelt på alle svarkategorier

Svarkategorier for påvirkning, puljet:	Nybyggeri	Renovering
I nogen, i høj eller i meget høj grad	50%; 8 personer	50%; 8 personer
I mindre grad, eller slet ikke	50%; 8 personer	37%; 6 personer
Ved ikke	0%; 0 personer	13%; 2 personer

De kvalitative svar uddyber og begrundet spørgeskemaet som følger:

For det meste kan konventionelt byggeri imødekomme de nuværende klimakrav uden yderligere økonomiske konsekvenser. Dette gælder både for byggeri af enkelte familiehuse og større projekter, hvilket indikerer, at mange standardbyggemetoder allerede lever op til de gældende krav. Fem informanter udtrykker dette direkte, en kalder endda de nuværende krav uambitiøse, men nogle af disse mener også, at når kravene strammes, vil det påvirke økonomien.

Men det er tydeligt, når vi gennem input fra informanter undersøger den økonomiske indvirkning af klimakrav på byggesager, at der er forskellige perspektiver og erfaringer inden for branchen.

Der blev givet forskellige konkrete bud på entrepris omkostninger, enten i kroner eller procent.

- › To informanter estimerede en prisstigning på 10% på entreprisensummen. Det ene svar blev givet af en entreprenør, som mente, at prisstigningen fremkom, når man skulle optimere i forhold til energikrav, og hovedsageligt skyldes materialeomkostninger. Det andet blev givet af bygherre, som oplevede at entreprenører hæver priserne, typisk 10%, når der stilles krav.

- › Der blev givet et beregnet eksempel på, at et råhus blev 500 kr. dyrere pr m² ved brug af CREE-elementer (kombination af træ og beton) vs. traditionelt betonbyggeri. I det beregnede byggeri svarede meromkostningen her til ca. 3% af entreprisesummen.
- › En informant udtalte, at "det hele bliver dyrere" fordi det kun er konventionelle løsninger og materialer, der er dokumenteret. Hvis man vil bruge alternative, klimavenlige materialer, er der omkostninger forbundet med dokumentation og f.eks. udvikling af konstruktionsdetaljer. Denne udfordring fremhæves i forbindelse med bevarings- og renoveringsprojekter, hvor ekstra omkostninger primært relaterer sig til rådgivning og dokumentation, frem for direkte materialeudgifter. Omkostninger til dokumentation og til udvikling af løsninger behandles nærmere under rådgivning, ligesom omkostninger ved anvendelse af materialer med lavere klimaaftryk er behandlet i afsnit om materialer.

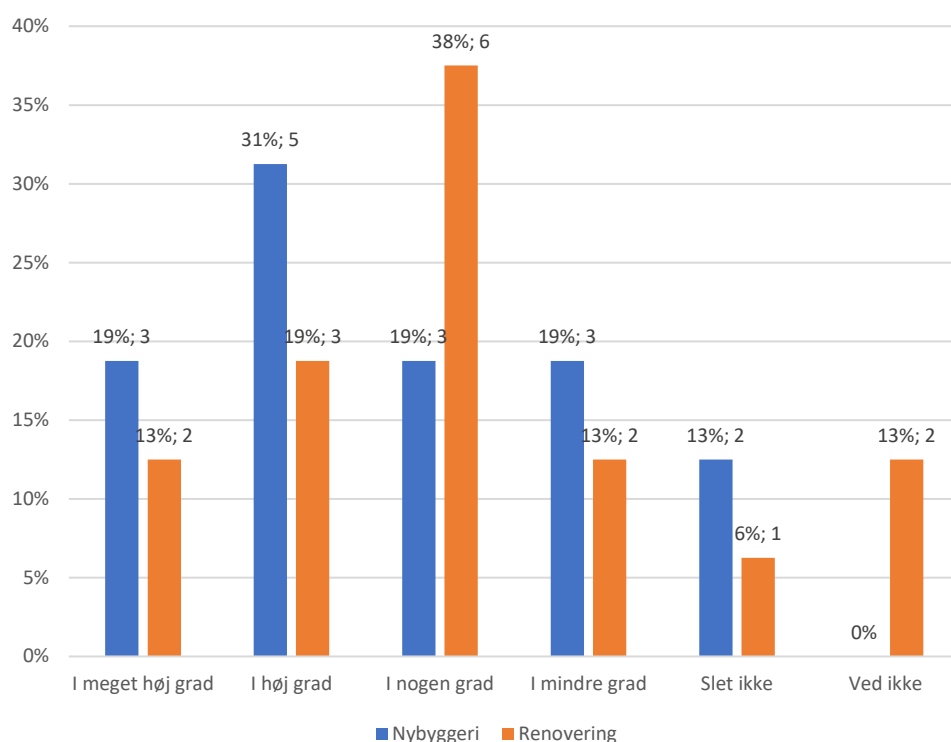
Disse priseksempler er givet af få informanter og skal betragtes som eksempler mere end tendenser. De virker dog som rimelige bud på gængse omkostninger.

I sidste ende viser disse observationer, at selvom der i visse tilfælde kan opstå øgede entrepriseudgifter, især ved implementering af ambitiøse bæredygtighedsstandarder eller specialmaterialer, er der også muligheder for at møde disse klimakrav uden signifikante ekstra omkostninger, særligt i konventionelt byggeri, set ud fra det nugældende krav om maksimalt 12 kg CO₂ eq/m² år.

Frivillige krav som f.eks. DGNB-certificering, især DGNB-guld og -platin, kan dog give bygherre budgetmæssige udfordringer, hvilket antyder, at højere bæredygtighedsstandarder kan indebære ekstraomkostninger. Selve omkostningerne for certificering kommenteres under emnet rådgivning.

4.3.2.2 Rådgivning

Figur 77 viser spørgeskemasvarene for udgifter til rådgivning. Rådgivning omfatter her bredt LCA og LCC, DGNB-certificering, evt. omprojektering for at opfylde krav, indsamling af dokumentation, undersøgelser vedr. klimavenlige materialer og løsninger etc. Det fremgår af svarene, at de fleste mener, at klimakravene vil have indflydelse på økonomien til rådgivning – både for nybyggeri og renovering.



Rådgivning

Figur 79 Kilde: spørgeskema under interviews. Spørgsmål: I hvilken grad tror du, at klimakravene vil have økonomisk indflydelse i byggesager med fokus på henholdsvis nybyggeri og renovering i forhold til rådgivning

Tabel 16 Svar fordelt på alle svarkategorier

Svarkategorier for påvirkning, puljet:	Nybyggeri	Renovering
I nogen, i høj eller i meget høj grad	69%; 11 personer	69%; 11 personer
I mindre grad, eller slet ikke	31%; 5 personer	19%; 3 personer
Ved ikke	0%; 0 personer	12%; 2 personer

De kvalitative svar uddyber og begrundes spørgeskemaet som følger:

Flertallet af informanterne er enige om, at udgifterne til rådgivning er øget i større eller mindre grad. Dette gælder både konkret i forbindelse med LCA og DGNB-certificering, og mere generelt, f.eks. med at finde materialer og løsninger med lav klimabelastning, samt kommunikation og koordinering mellem parterne i den forbindelse osv. Der er dog også enkelte informanter, som udtaler, at der ingen forøget udgift er til rådgivning, eller kun en meget lille forøgelse. Dette skal dog ses i sammenhæng med, at samme informant også svarer, at projekterne kan overholde kravgrænsen på 12 kg CO₂ækv pr. m² pr. år ved at bygge som man plejer, eller at der ikke er stillet nogle krav (f.eks. ved renovering).

I interviewene nævnes der flere konkrete eksempler på udgifter:

- › Udgifter til DGNB-certificering anslås til 0,5 til 1,5 mio. kr., hvor den højere vurdering inkluderer bæredygtighedsledelse, LCA, LCC og dokumentation. I et af interviewene satte informanten DGNB-udgiften i relation til et projekt og nævnte, at udgiften udgjorde ca. 0,5 % af enterprisesummen.
- › Omkostningen til LCA nævnes at udgøre 100-200 timer, afhængigt af om der indregnes variantstudier og optimeringer eller ej.

- › For et enfamilieshus angives den samlede dokumentationsproces kun (DGNB eller anden dokumentation for bæredygtige tiltag) at beløbe sig til 100-150.000 kr.
- › En entreprenør nævner, at den samlede udgift til rådgivning er steget voldsomt siden 2020; fra 4-6 % af anlægssummen i 2015, til nu omkring 15%.

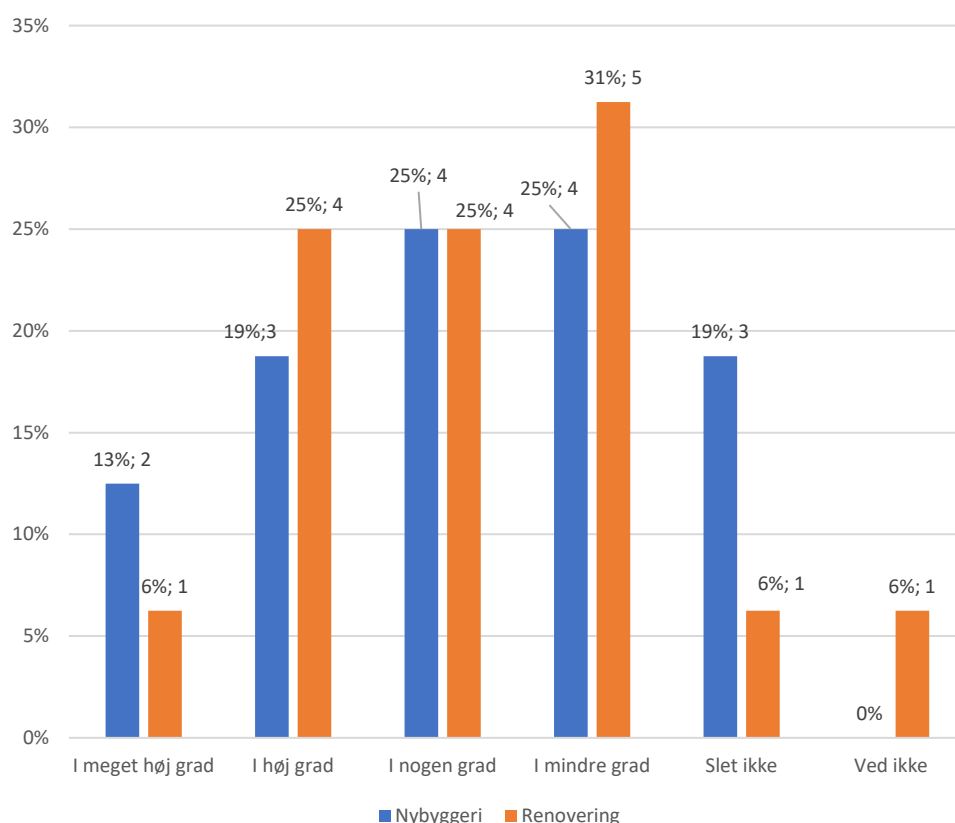
Disse priseksempler er givet af få informanter og skal betragtes som eksempler mere end tendenser. De virker dog som rimelige bud på gængse omkostninger.

Det, der karakteriserer den øgede udgift til rådgivning ud over certificeringer og LCA, er generelt dokumentation, især til nye typer af materialer herunder genbrugsmaterialer, og til indsamling af data til LCA. Rådgiverudgiften til nye typer af materialer vedrører ikke kun dokumentation af materialernes egenskaber og klimadata, men også udvikling af konstruktionsdetaljer og hele byggeteknikken med ikke-konventionelle materialer.

Når det i efterfølgende afsnit om materialer beskrives, at købspriserne for materialer med attraktive klimadata ikke er væsentligt øget, så skal det i den forbindelse huskes, at der er andre omkostninger forbundet med disse materialer, som beskrevet her under rådgivning, og nedenfor under øget tidsforbrug.

4.3.2.3 Tidsforbrug

Figur 78 viser spørgeskemasvarene for påvirkning af tidsforbruget. Som det fremgår, er informanterne generelt enige om, at klimakravene vil have en økonomisk indflydelse på byggesager i forhold til øget tidsforbrug, men omfanget er der bestemt ikke enighed om.



Øget tidsforbrug

Figur 80 Kilde: spørgeskema under interviews. Spørgsmål: I hvilken grad tror du, at klimakravene vil have økonomisk indflydelse i byggesager med fokus på henholdsvis nybyggeri og renovering i forhold til øget tidsforbrug?

Tabel 17 Svar fordelt på alle svarkategorier

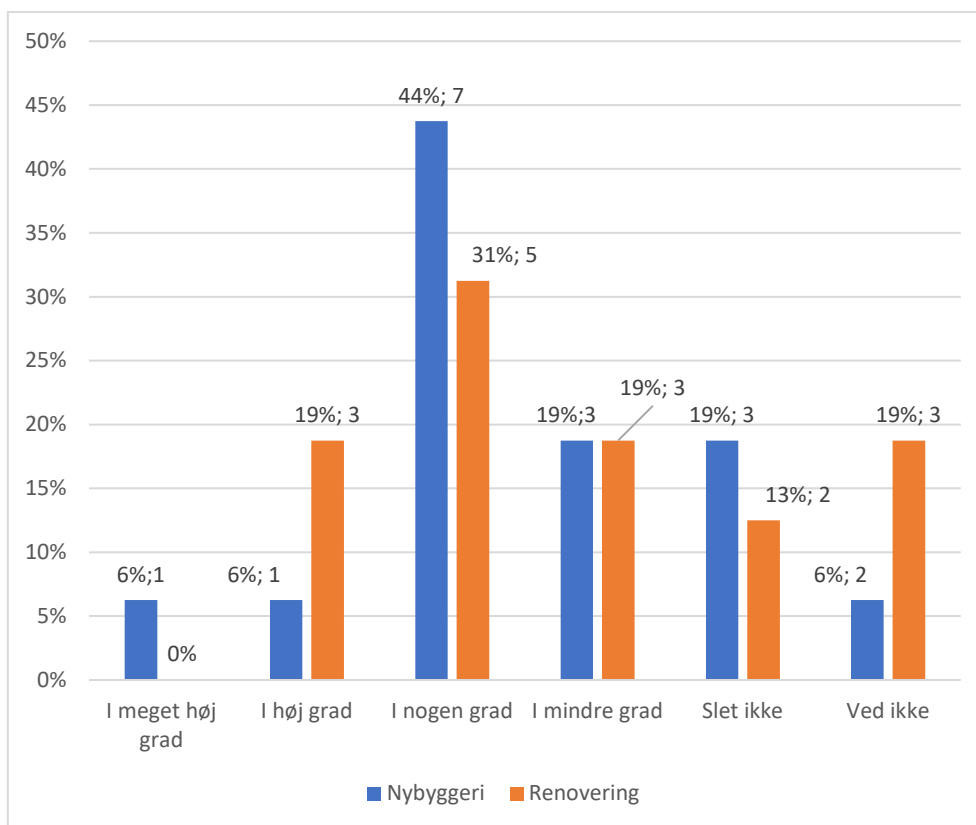
Svarkategorier for påvirkning, puljet:	Nybyggeri	Renovering
I nogen, i høj eller i meget høj grad	56%; 9 personer	56%; 9 personer
I mindre grad, eller slet ikke	44%; 7 personer	38%; 6 personer
Ved ikke	0%	6%; 1 person

I interviewene har vi kvalitativt spurgt informanterne, om de har bemærket en øget tidsmæssig investering i deres projekter som følge af klimakravene, og hvordan dette eventuelt har påvirket de relaterede økonomiske aspekter, f.eks. timeforbrug og arbejdskraftomkostninger eller øgede byggepladsomkostninger. Den årsag, som hyppigst nævnes i forbindelse med tidsmæssige udfordringer, er brugen af genbrugsmaterialer, hvor logistik og fremskaffelse af tilstrækkelige mængder af materialer er en udfordring, og visse alternative materialer.

Disse udfordringer skyldes primært, at det kan tage længere tid at fremskaffe og undersøge klimavenlige løsninger eller genbrugsmaterialer, hvilket kan føre til forsinkelser i tidsplanen for et byggeprojekt. Forlænget tid til fremskaffelse og undersøgelse af materialer kan direkte påvirke projektets samlede tidsforbrug og dermed også de relaterede økonomiske aspekter. Der nævnes også udfordringer på byggepladsen ved brug af nyere materialer (fx. Futurecem), hvor der skulle findes nye arbejdsgange og i øvrigt accepteres varierende udseender.

4.3.2.4 Materialepriser

Figur 79 viser spørgeskemasvarene for påvirkning af materialepriser. Materialer med lavt klimaaftryk kan være konventionelle materialer (f.eks. beton, stål) med dokumenteret lavere klimaaftryk end tilsvarende konventionelle materialer (dokumenteret med en EPD – 'Environmental Product Declaration') eller biogene materialer som f.eks. træ. Under "alternative materialer" henregnes ikke-konventionelle materialer som ikke er så udbredte, som f.eks., halm, søgræs, ler, muslingeskaller mv. Som det fremgår, mener størstedelen af informanterne, at klimakravene i mindre eller nogen grad vil øge materialepriserne for både nybyggeri og renovering.



Materialepriser *Figur 81 Kilde: spørgeskema under interviews. Spørgsmål: I hvilken grad tror du, at klimakravene vil have økonomisk indflydelse i byggesager med fokus på henholdsvis nybyggeri og renovering i forhold til materialepriser?*

Tabel 18 Svar fordelt på alle svarkategorier

Svarkategorier for påvirkning, puljet:	Nybyggeri	Renovering
I nogen, i høj eller i meget høj grad	56%; 9 personer	50%; 8 personer
I mindre grad, eller slet ikke	38%; 6 personer	31%; 5 personer
Ved ikke	6%; 1 person	19%; 2 personer

I interviewene har vi spurgt informanterne, om klimakravene påvirkede materialepriserne og hvordan de vurderer merprisen for at vælge løsninger med lavt klimaftryk i forhold til konventionelle alternativer. Baseret på inputtene fra interviewene fremgår det, at materialer med lavt klimaftryk generelt ikke har højere købspriser eller kun let forhøjede købspriser. De kvalitative udtalelser ser ud til at afvige lidt fra spørgeskemasvarene, idet de nedtoner prisforskellen. Flere af informanterne udtaler, at konventionelle materialer med lavere klimaftryk ligeledes kun i begrænset omfang fører til højere priser. Alternative og biogene materialer betragtes ikke som værende væsentligt dyrere, i indkøb.

Når det kommer til udvikling og integration af nye materialer, såsom CLT (Cross-Laminated Timber) og Futurecem, er der observeret en tendens til øgede omkostninger. Disse omkostninger skyldes primært udvikling og implementering af de nye materialer i byggeprocessen. Dermed anses CLT for at være dyrere end beton. Der er også en opfattelse af, at de mest holdbare materialer kan være dyrere, men at de repræsenterer en god investering på længere sigt. Holdbare materialer har ikke nødvendigvis et lavt klimaftryk til produktion, men anses via en lang levetid at være konkurrencedygtige ift. klimabelastning.

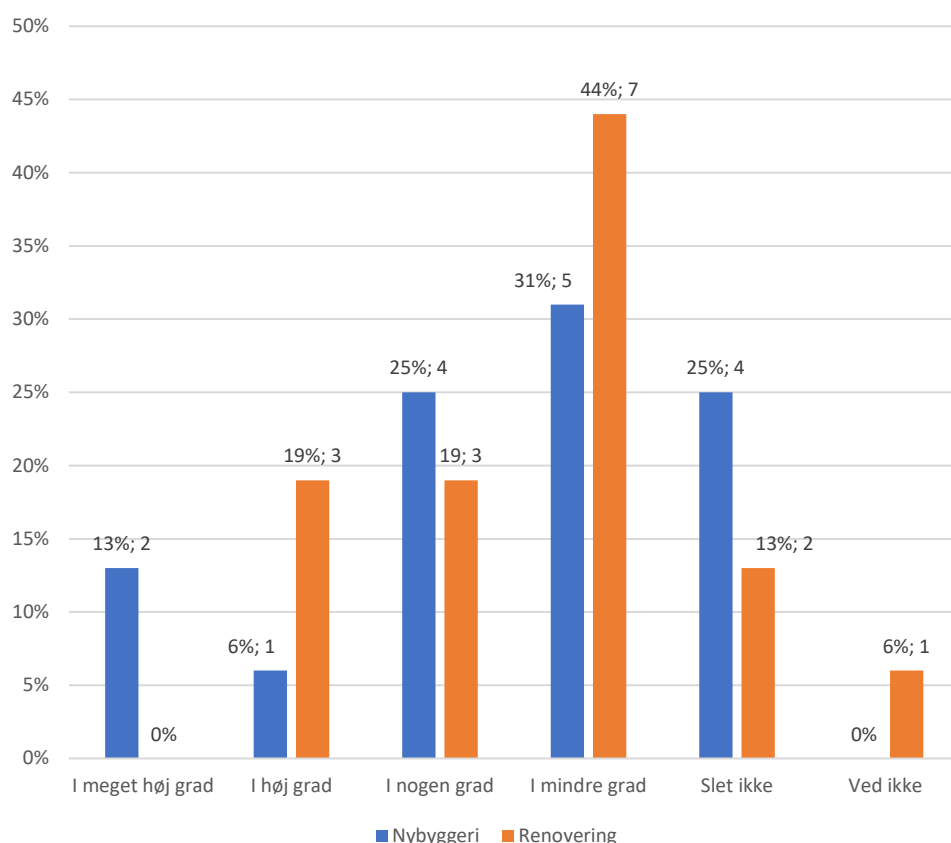
I interviewene blev genbrugsmaterialer nævnt flere gange. Informanterne fremhævede, at større mængder af specifikke materialer, især genbrugsmaterialer, kan præsentere logistiske, leveringsmæssige og administrative udfordringer. Der nævnes ekstra omkostninger forbundet med dokumentation, lager, rengøring, registrering og administration samt forlængede tidsplaner. Det fremgår af svarene under påvirkning af tidsforbrug, at øget tidsforbrug må påregnes ved anvendelse af genbrugsmaterialer. Nedrivning med henblik på genbrug kan ligeledes være en dyrere proces sammenlignet med traditionel nedrivning. Flere informanter fremhævede desuden, at anvendelsen af genbrugsmaterialer forøgede de tidsmæssige og arbejdsmæssige ressourcer, der kræves for at identificere og skaffe egnede materialer, og generelt komplicerede processen. At finde de rette genbrugsmaterialer er ikke en simpel opgave; det indebærer en omfattende søgning på markedet og en grundig vurdering af materialernes kvalitet. Denne proces involverer ofte en intensiv koordinering med leverandører og kan kræve yderligere arbejde for at tilpasse eller behandle materialerne, så de passer ind i projektets design og strukturelle krav.

Der nævnes en særlig udfordring vedr. udarbejdelse af EPD for genbrugsmaterialer. EPD'er giver indsigt i et produkts miljøpræstation gennem hele dets livscyklus og er derfor essentielle for at vurdere genbrugsmaterialers bæredygtighed, idet BR18 hidtil har krævet, at der skal foreligge en EPD, for at genbrugsmaterialer må indregnes i LCA for nybyggeri. I modsat fald har der skullet regnes med databaseværdier for tilsvarende ny-producerede materialer. Det skal dog bemærkes, at genbrugsmaterialer fra og med 2024 må sættes til 0 i LCA-beregninger for byggeri. Dermed kan man foreløbig fra 1. januar 2024 se bort fra omkostninger til at udarbejde EPD for genbrugsmaterialer. Processen med at udarbejde EPD for genbrugsmaterialer er i særlig grad kompleks og ressourcekrævende. Det skyldes, at genbrugsmaterialer ofte kommer fra varierende kilder og har gennemgået mindre standardiserede fremstillingsprocesser. Denne variation nødvendiggør en dybdegående analyse og omfattende dokumentation for at sikre præcise og troværdige EPD'er. Denne omhyggelige proces medfører ikke kun økonomiske omkostninger, men kræver også en betydelig tidsmæssig investering af aktørerne. Det samme siges af nogle få informanter vedrørende dokumentation af genbrugsmaterialers tekniske egenskaber. De har samtidig leveringsmæssige udfordringer ift. små mængder og eventuelt mange kilder.

Sammenfattende indikerer indsigterne fra interviewene om klimavenlige materialer, at selvom der kan forekomme visse økonomiske udfordringer ved at imødekomme klimakrav, især i forhold til udvikling og anvendelse af nye, bæredygtige materialer, er disse omkostninger generelt håndterbare og er i mange tilfælde at betragte som en éngangsudgift eller investering i viden, metodeudvikling og dokumentation, som kan udnyttes i efterfølgende projekter.

4.3.2.5 Risiko

Figur 80 viser spørgeskemasvarene for påvirkning af risiko. Som det fremgår, mener lidt over halvdelen af informanterne, at klimakravene slet ikke eller kun i mindre grad vil øge risiko.



Øget risiko

Figur 82 Kilde: spørgeskema under interview. Spørgsmål: I hvilken grad tror du, at klimakravene vil have økonomisk indflydelse i byggesager med fokus på henholdsvis nybyggeri og renovering i forhold til ændringer i risiko?

Tabel 19 Svar fordelt på alle svarkategorier

Svarkategorier for påvirkning, puljet:	Nybyggeri	Renovering
I nogen, i høj eller i meget høj grad	44%; 7 personer	38%; 6 personer
I mindre grad, eller slet ikke	56%; 9 personer	56%; 9 personer
Ved ikke	0%	6%; 1 person

I vores interviewundersøgelse er risikoaspektet et centralt tema. De kvalitative svar uddyber risikovurderingen i spørgeskemaet, idet flere informanter påpeger, at en præference for konventionelle løsninger og materialer ofte skyldes ønsket om at minimere risiko. F.eks. vælges beton frem for innovative materialer som lerplader, fordi det er en kendt og sikker løsning. Lignende tendenser ses i valget af isoleringsmaterialer og facadeelementer, hvor usikkerheden omkring nye løsninger og produkter fører til et fravalg af potentielt mere bæredygtige alternativer. Det kan betyde, at risikoen øges, når kommende stramninger at klimakravene forventeligt nødvendiggør brug af flere ukonventionelle løsninger og materialer.

Interessant nok er der også bygherrer, der udtrykker villighed til at acceptere en højere grad af risiko for at implementere specifikke klimavenlige løsninger. Dette sker ofte i byggeprojekter, hvor bygherrerne har kapacitet og ressourcer til at bære denne risiko. I nogle tilfælde kan det involvere at afprøve nye produkter som eksempelvis nævnt Futurecem, hvilket krævede både tid og en vilje til at acceptere både risikoen og de

æstetiske kompromisser, der fulgte. Det blev også påpeget at denne risiko var en "engangs- eller udviklingsrisiko" og at der dermed blev opnået viden til, hvordan produktet skulle bruges næste gang.

4.3.2.6 *Interviews – øvrige emner*

Baseret på input fra interviewene har vi identificeret flere emner, som har været gennemgående, uden at de direkte kan knyttes til spørgeskemaerne. Det kunne handle om, hvorledes de økonomiske udfordringer blev håndteret eller hvorledes projekterne har håndteret en vis grad af øget risiko.

Afslutningsvis blev der stillet spørgsmål, som var rettet mod fremtidig tilpasning i branchen, herunder også spørgsmål, som ikke var rettet specifikt mod økonomiske forhold, samt om informanterne havde andre emner, som de syntes var vigtige at medtage (se evt. spørgeguiden i bilaget).

Emnerne i dette kapitel var ikke en del af spørgeskemaet, hvorfor der ikke kan laves grafer. Men der kom mange input og forslag til en mere langsigtet tilpasning i fremtiden, samt kommentarer om lovgivningsmæssige barrierer – alt sammen med henblik på at gøre byggeriet mere klimavenligt.

4.3.2.7 *Energikrav som barriere*

Baseret på inputtet fra interviewene, kan vi identificere forskellige måder, hvorpå valget af grønne energikilder og energieffektivitetstiltag påvirker økonomien i byggeprojekter. Disse påvirkninger omfatter aspekter på byggepladsen, indkøbspriser på energi og den efterfølgende drift af byggeriet.

Informanterne har påpeget, at omfattende isolering er en central strategi for at reducere energiforbruget i bygninger, men at dette kan føre til overophedning. Eksempler inkluderer brugen af 40-50 cm mineraluld, som dog ikke altid har ført til det ønskede fald i energiforbrug, hvilket har nødvendiggjort installation af solceller som et kompenserende tiltag. Overophedning ses især i erhvervsbygninger på grund af den interne varmebelastning og de strenge energikrav, som kan medføre yderligere tiltag som solafskærmning og dermed yderligere omkostninger. I nogle situationer kan solafskærmningen rage så langt udenfor facaden, at det på grund af afstandskrav også kræver en større grund, hvilket yderligere øger projektomkostningerne.

I interviewene blev det også nævnt, at installationen af solcelleanlæg, hvilket kan være en nødvendighed for at overholde energirammen, repræsenterer en betydelig investering, typisk omkring 100.000 kr. pr. bolig. Derudover er der juridiske begrænsninger, der forbyder kombinationen af større solcelleanlæg, hvilket betyder, at de skal være mikroanlæg. Dette kan påvirke deres drift og effektivitet. Tilfælde, hvor det er dobbelt så dyrt at etablere køling med restvarme eller energi fra fjernvarme, er også blevet belyst. Selvom der er håb om, at sådanne systemer vil være rentable på lang sigt, indebærer de betydelige indledende omkostninger.

Samlet viser disse indsigter, at for at kunne overholde krav til bygningernes energiramme er det ofte nødvendigt at isolere for meget, hvilket medfører at andre, fordyrende tiltag må tages i anvendelse.

4.3.2.8 *Andre lovkrav som barriere*

Flere gav på forskellige måde udtryk for, at de ser den nugældende lovgivning og krav i BR18 som en barriere for at udvikle mere klimavenlige løsninger og materialer.

Udtalelserne kan overordnet deles i to indgangsvinkler:

- › Det tilgængelige almene tekniske fælleseje, i form af såvel detail- og samlingsløsninger som f.eks. præ-accepterede brandløsninger, fugtsikre løsninger med videre, tager udgangspunkt i den byggeteknik og

de materialer vi kender, typisk mineralske byggematerialer som beton og murværk. Vil man bruge noget andet, så må man selv udvikle både detail-løsninger og dokumentation.

- › En holdning til, at de krav som stilles vedr. brand, statik, lyd, ventilation mv. og de tilhørende dokumentationskrav, er unødigt "skrappe". Kravene er skrappe end i vores sammenlignelige nabolande og det sætter begrænsninger for brug af biogene materialer. Især træbyggerier har udfordringer med at overholde danske krav til brand og lyd, som medfører ekstra ressourceforbrug til fx. indpakning i gips eller sprinkleranlæg, hvilket igen forhøjer klimabelastningen fra materialer pr. m².

Statik og beregninger

Nogle informanter oplever kravene til beregning og dokumentation af statik som en barriere for klimavenligt byggeri. Inden for de seneste år er systemet for statisk dokumentation ændret med bl.a. krav om certificerede statikere, så det kan være vanskeligt at adskille, om oplevelsen af en mere krævende dokumentation hidrører fra denne ændring, eller specifikt fra nye materialer og løsninger. Men en informant påpeger, at der generelt overdimensioneres og at det fører til øget materialeforbrug, som er med til at gøre byggeriet mindre klimavenligt, uanset materialevalg. Flere udtaler på forskellig måde, at krav om statisk dokumentation leder til overdimensionering: at man bruger forenkede beregningsmetoder, dvs. bruger for lidt ressourcer på beregninger eller simpelthen ikke er dygtig nok, sikrer sig i unødigt høj grad, etc.

Der peges også på, at kravet om brug af certificerede brandrådgivere gør, at fordyrer processen, især hvis der ikke anvendes de såkaldte præ-accepterede løsninger, som i dag kun findes for konventionelle materialer, og at dette sammen med kravet om certificerede statikere gør især renoveringer mere besværlige.

Ventilation

To informanter vender flere gange under interviewet tilbage til temaet ventilation. De oplever, at kravene til ventilationsanlæg er rigide og forældede, idet de er baseret på nogle erfaringer og antagelser fra en tid med en anden demografi og adfærd end i dag. Der bliver nævnt et meget konkret krav om samlekanaler for emhætter i etageboliger, frem for direkte afkast, som ville være langt billigere og kræve mindre materialeforbrug. Ventilationssystemer ses generelt som overdimensionerede og baseret på regler om fast luftskifte frem for behovsstyret forbrug.

Fremtidige krav

Informanterne blev spurgt ind til, hvordan mere klimavenligt byggeri generelt kan fremmes. Forskellige udtalelser peger i retning af, at krav er nødvendige for at gøre byggeriet mere bæredygtigt. To informanter havde erfaring med, at private boligejere af enfamiliehuse overhovedet ikke efterspørger bæredygtighed, men kun lavt energiforbrug, og mente derfor, at parcelhusmarkedet bør underlægges krav. En anden mente, at tilskud er vigtige i det almene byggeri, hvor "man ikke gør noget af sig selv". Her prioriterer man billig drift, herunder vedligehold, over lavt klimaaftryk. Dette harmonerer dog helt ikke med en anden udtalelse om, at boligselskaberne er begyndt at efterspørger DGNB-certificeringer.

En informant så strammere klimakrav som en fordel for alle: "Når alle skal i samme retning, så går det hurtigere med at udvikle viden og løsninger. Frem for at vente på at frontløbere står for udviklingen alene".

Men der blev også advaret om kun at fokusere på CO₂. Advarslerne omfattede bl.a. risiko for suboptimering, manglende fokus på farlige stoffer og sundhed generelt (skimmel blev nævnt), manglende fokus på arkitektonisk kvalitet, ressourceforbrug mv.

4.3.2.9 *Håndtering af økonomiske udfordringer*

Baseret på input fra interviewene og spørgeskemaer med informanterne kan vi identificere forskellige måder, hvorpå økonomiske udfordringer er blevet håndteret i afsluttede og igangværende byggeprojekter. Dette omfatter overordnet, at projekter som helhed blev dyrere, der blev truffet beslutninger om at spare på omkostninger andre steder i projekterne for at imødegå økonomiske udfordringer, eller at projekterne accepterede en vis grad af øget risiko for at håndtere økonomiske udfordringer.

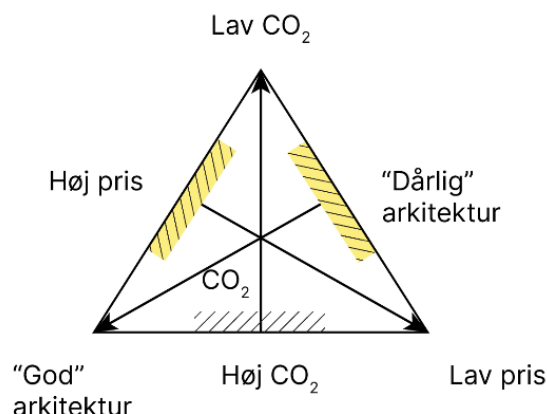
I interviewene bliver det af flere aktører også fremhævet, at en tidlig og proaktiv indsats i byggeprojekter kan medføre betydelige fordele, især når det gælder om at imødekomme klimakrav uden at pådrage sig alt for store ekstra omkostninger. F.eks. understreges det, at en tidlig indsats giver mulighed for at identificere løsninger, der kan forhindre unødvendige udgifter, hvilket understreger vigtigheden af grundig planlægning og innovation i de indledende faser af et projekt. Sådanne indsatser kan tolkes som en øget rådgivningsindsats, og bidrage til en forklaring af øgede udgifter til rådgivning. Men det er vigtigt ikke blot at tolke indsatsen ensidigt for klassiske rådgiver rolle, da såvel bygherre som entreprenør må inddrages.

Endvidere fremhæves det i interviewene også, at når aktørerne i byggebranchen bliver tvunget til at tænke anderledes, især i ikke-traditionelt bygningsdesign, kan det ofte føre til innovative og omkostningseffektive løsninger. Dette antyder, at nødvendigheden af at tænke ud af boksen – en tilgang, som måske kan fremmes af strenge klimakrav – er fordelagtigt på lang sigt, da det kan resultere i mere økonomisk bæredygtige byggeprocesser.

4.3.2.10 *Æstetik og trade-off*

Input fra interviewene viser yderligere at der ofte må foretages en afvejning mellem æstetik, klimakrav og økonomi. Informanterne giver udtryk for bekymring over, at arkitektonisk kvalitet / æstetiske aspekter kan blive ofret for at opnå lavere klimabelastning. Dette leder til en tendens, hvor nybyggeri kan blive mere ensartet, og der foretages et valg til fordel for "billigt fabriksbyggeri", der nemmere kan overholde klimakrav, men som ikke opfylder højere æstetiske og arkitektoniske kvaliteter.

Der ses en udfordring i at opnå en balance mellem skærpede CO₂-krav, æstetik og økonomi. Der er en opfattelse af, at god arkitektur kombineret med lavt klimaaftryk ofte vil resultere i højere omkostninger. Figuren nedenfor illustrerer dette dilemma, hvor de gule områder viser, at det kan være nødvendigt at acceptere enten højere omkostninger for god arkitektur og lavt klimaaftryk eller at gå på kompromis med arkitekturen for at holde både omkostninger og klimaaftryk nede. Denne afvejning mellem økonomi, klima og æstetik er afgørende i nutidens byggeprojekter, hvor det bliver stadig mere udfordrende at opnå alle tre aspekter i perfekt harmoni. Der blev dog også nævnt et eksempel på, at ændringer i bygningens geometri for at spare ressourcer og CO₂, kunne gennemføres uden at gå på kompromis med det arkitektoniske udtryk. Dette medførte dog udfordringer med at dokumentere statik, samt at der måtte gøres en særlig indsats mht. dagslys.



Figur 83 Figuren viser informanternes udtryk for, at det er vanskeligt på én gang at opnå god arkitektur, lav pris og lav CO₂. De skraverede områder repræsenterer kompromisser nævnt af informanter, f.eks. god arkitektur og lav CO₂ kombineret med en høj pris.

4.3.3 Indsamlede data: Survey – besvarelser

I survey'en blev der stillet to enslydende spørgsmål rettet mod hhv. nybyggeri og renovering, idet følgegruppen er blevet bedt om at vurdere klimakravenes indflydelse på omkostninger og priser inden for følgende emner:

- › Entreprisudgifter
- › Materialepriser
- › Øget tidsforbrug
- › Rådgivning
- › Ændringer i risiko

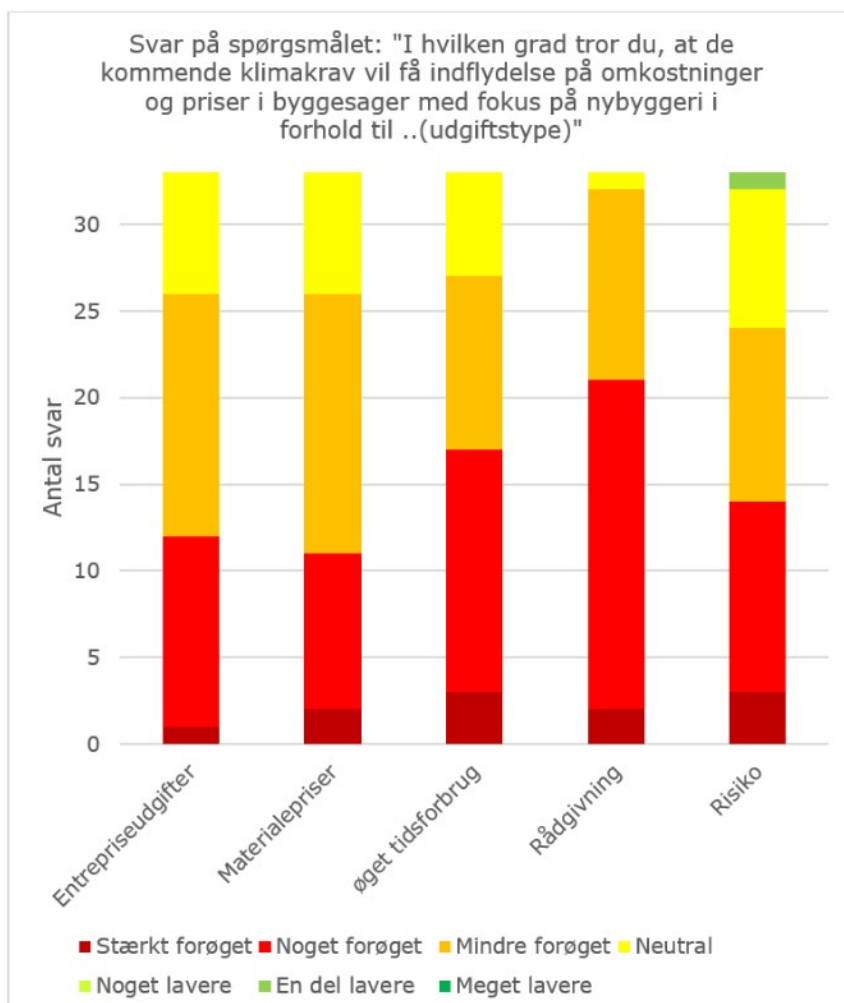
Indflydelsen skaleres i svarene på en symmetrisk skala med 7 trin fra "stærkt forøget" til "meget lavere" med "neutral" i midten. Det er også muligt at svare "ved ikke" og at kommentere sit svar. Det er bevidst valgt at udforme skalaen symmetrisk om "neutral", for at undgå at påvirke svarene i retning af, at klimakrav nødvendigvis bevirker øgede omkostninger.

Tabel 20 Svarskala til spørgsmål om klimakravenes indflydelse på omkostninger og priser i byggesager.

Svarmulighed	Point
Stærkt forøget	3
Noget forøget	2
Mindre forøget	1
Neutral	0
Noget lavere	-1
En del lavere	-2
Meget lavere	-3
Ved ikke	Medregnes ikke

Note: De anførte point var ikke synlige for respondenterne. De anvendes kun til beregning af gennemsnit for afgivne svar.

Følgegruppemedlemmernes svar på surveyen er vist grafisk med den inddeling, som er vist tabellen ovenfor.

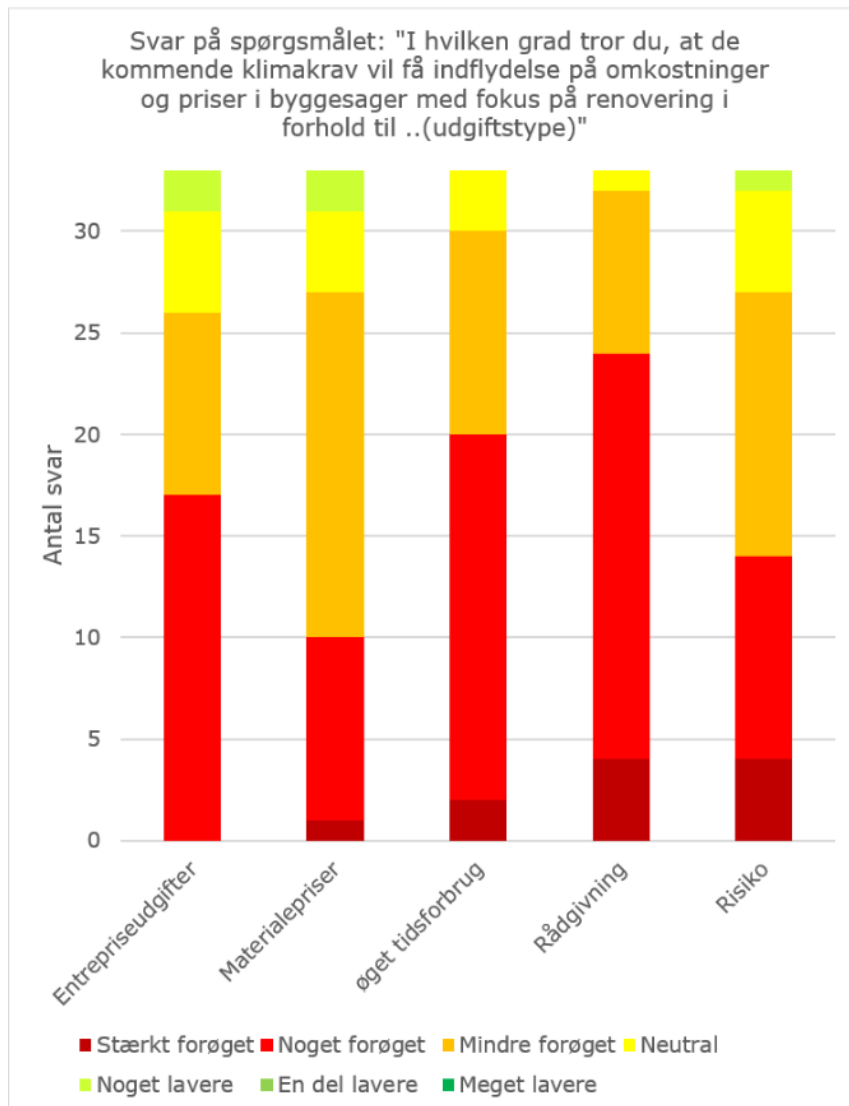


Figur 84 Klimakravenes forventede indflydelse på omkostninger og priser i byggesager med fokus på nybyggeri. Kilde: Survey blandt projektets følgegruppe.

Som det fremgår, benytter respondenterne sig samlet set af svarskalaen fra "en del lavere" til "stærkt forøget". Der er dog kun ét svar i kategorien "en del lavere". Svaret er givet i bedømmelse af ændringer i risiko. Langt størstedelen af svarene fordeler sig på noget forøget eller mindre forøget. Entrepriseudgifter, materialepriser, øget tidsforbrug og ændringer i risiko har sammenlignelige svarfordelinger, mens rådgivning skiller sig lidt ud, idet flertallet peger på mindre eller noget forøget for denne omkostningstype, mens de øvrige har ca. 20% svar i "neutral".

Renovering

Når det tilsvarende spørgsmål stilles for renovering, ses der også en ret stor spredning af svar over svarkategorierne fra "stærkt forøget" til "noget lavere". Også her spreder svarene sig ret meget, og mere end v. nybyggeri, idet der er flere svar i "yderpunkterne" "stærkt forøget" og "noget lavere", så her er holdningerne/forventningerne mere spredte i forhold til nybyggeri.



Figur 85 Kommende klimakravs forventede indflydelse på omkostninger og priser i byggesager med fokus på renovering. Kilde: Survey blandt projektets følgegruppe.

Besvarelsernes middelværdi ses nedenfor. De er beregnet ud fra pointskalaen i Tabel 21 ovenfor.

Tabel 21

Type	Nybyggeri	Renovering	Statistisk signifikant forskel ²
Entrepriseudgifter	1,2	1,2	nej
Materialepriser	1,2	1,1	nej
Øget tidsforbrug	1,4	1,6	nej
Rådgivning	1,7	1,8	nej
Ændringer i risiko	1,2	1,3	nej
Middel point	1,3	1,4	

Så selvom tallene umiddelbart hælder mod at renovering vurderes at være mere ramt af øgede omkostninger end nybyggeri, med øget tidsforbrug, rådgivning og ændringer i risiko som de udslagsgivende

faktorer, så er der ingen statistisk signifikant forskel i svarene. I gennemsnit svarer middel point 1,3 og 1,4 til at ligge på skalaen mellem "mindre forøget" (1 point) og "noget forøget" (2 point), dvs. tættest på førstnævnte.

Der er stor spredning i svarene, men betragtes den beregnede middelværdi, så kan man konkludere, at respondenterne set som en samlet gruppe vurderer, at der er forøgede omkostninger, tidsforbrug og risici. Forøgelsen ligger i gennemsnit imellem bedømmelserne 'mindre' og 'noget' forøget, hvor den højeste kategori blev benævnt 'stærkt forøget'. Spredningen i svar vurderes både at udtrykke en reel variation i opfattelsen af, hvilke og hvor meget udgiftstyperne er forøget, og at afspejle, at det er vanskeligt at opstille spørgsmål med det helt rette ordvalg og vide, hvad respondenterne forbinder med ordene.

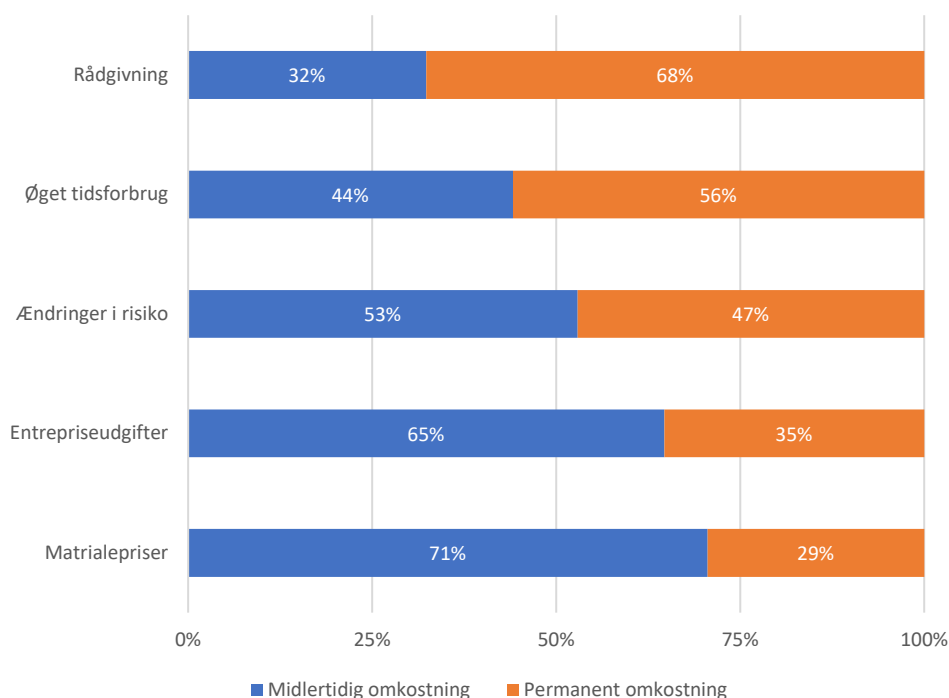
Spredningen tyder dog også på usikkerhed om svarene og at det kan komme an på, hvilke sager man har sin erfaring fra og hvilken rolle man har. At svarene er sagsafhængige og at mange andre faktorer end klimakrav bestemmer byggesagernes økonomi stemmer også overens med [88] som gennemgået i afsnittet om entreprise og materialer ovenfor. Tydeligst er dog, at der forventes et øget tidsforbrug og højere udgifter til rådgivning, men der ses ikke en generel tendens i retning af, at bygge- og anlægsøkonomien er afhængig af klimakravene (som BR's krav er på nuværende tidspunkt).

I kommentarfelterne svarer en del af respondenterne at de forventer, at udgifterne nok vil falde eller udjævne sig med tiden, hvilket er i overensstemmelse med en del svar fra interviewene med bygherrer, rådgivere og entreprenører, som præsenteres i afsnit Indsamlede data: Midlertidige og permanente omkostninger.

4.3.4 Indsamlede data: Midlertidige og permanente omkostninger

I de forudgående undersøgelser er det konstateret, at en række omkostninger forøges i større eller mindre grad som følge af klimakrav til nybyggeri og renovering. Herefter er det naturligvis interessant at belyse, om de øgede omkostninger forventes at være midlertidige, dvs. aftage over tid, eller permanente. Spørgsmålet om midlertidig eller permanente omkostninger er behandlet både i interviews og survey og svarene afrapporteres her under ét.

Figuren nedenfor viser, i hvilket omfang følgegruppen forventer, at de øgede omkostningerne vil være midlertidige eller permanente. Det ses, at et flertal forventer midlertidige øgede omkostninger i forhold til materialepriser og entrepriseudgifter som følge af klimakravene, mens øgede omkostninger vedrørende rådgivning forventes at være permanente. For øget tidsforbrug og ændringer i risiko gælder, at ca. lige mange mener, at disse omkostninger vil være midlertidige hhv. permanente.



Figur 86 Omkostninger, som forventes at være henholdsvis midlertidige og permanente, som følge af klimakravene, Kilde: Survey med følgegruppemedlemmerne af 'Klimadata for renovering' udført af COWI. N=34.

I interviewene med bygherrer, rådgivere og entreprenører undersøgte vi deres forventninger til, hvilke omkostninger i byggeprojekter, der ville være henholdsvis midlertidige og permanente som følge af klimakravene. Den generelle konsensus var, at omkostningerne ville stige i begyndelsen, især som følge af strammere klimakrav, som vil kræve ændrede materialer og teknologier. Dog forventes det, at disse stigninger vil være midlertidige og at priserne gradvist vil falde tilbage til det nuværende niveau. Dette skyldes dels en forventning om, at branchen over tid vil tilpasse sig og blive mere effektiv, og dels at nyudviklede teknologier, værktøjer og materialer vil blive mere alment tilgængelige.

En markant undtagelse er omkostningerne til dokumentation, herunder LCA og DGNB. Disse udgifter ses som permanente nye omkostninger, der dog forventes at blive lidt mindre over tid, efterhånden som branchen bliver mere erfaren og effektiv i at håndtere disse krav, samt får opbygget viden fra eksempelvis variantstudier, skabeloner og værktøjer samt andet, som kan genbruges fra projekt til projekt. En informant pegede på et specifikt værktøj til kalkulation, som for nylig er videreudviklet til også at inkludere CO₂-beregning for materialer. Informanten forventer, at dette vil være med til at gøre optimering af CO₂ og dokumentationsprocessen billigere i fremtiden.

Interessant nok ser nogle informanter øgede omkostninger til dokumentation om bæredygtighed eller udvikling af løsninger, som en investering, der på lang sigt vil tjene sig hjem på grund af større efterspørgsel. Dette underbygger en forventning om, at selvom byggeriet i begyndelsen vil opleve en stigning i omkostninger, så vil disse investeringer i bæredygtighed på sigt gavne både økonomisk og miljømæssigt.

Andre informanter forudsiger, at materialepriser vil stige over en femårig periode, primært på grund af omkostninger relateret til dokumentation, affaldshåndtering og mere tidskrævende processer. Men selv her er der en forventning om, at omkostningerne vil stabilisere sig og at branchen vil opleve et paradigmeskifte, hvorefter de ekstra udgifter vil være ubetydelige.

Nogle konventionelle byggematerialer med attraktive klimadata via EPD er i øjeblikket lidt dyrere. De højere priser kan dels forklares ved en fordelagtig stilling i konkurrencen på markedet, hvor bæredygtighed efterspørges og nogle projekter kan blive pressede til at vælge sådanne materialer. Dels kan de højere priser for sådanne materialer forklares med producenternes omkostninger til at sænke klimaaftrykket og til at dokumentere dette.

Samlet set viser vores interviews, at mens byggebranchen forventer en initial periode med forhøjede omkostninger som følge af klimakrav, vil disse udgifter over tid tilpasse og stabilisere sig. Dette vil blive understøttet af teknologisk udvikling, øgede kompetencer og effektivisering inden for branchen. Men skærpede krav vil sandsynligvis igen øge omkostningerne, indtil der indstiller sig en ny normal.

4.3.5 Analyse

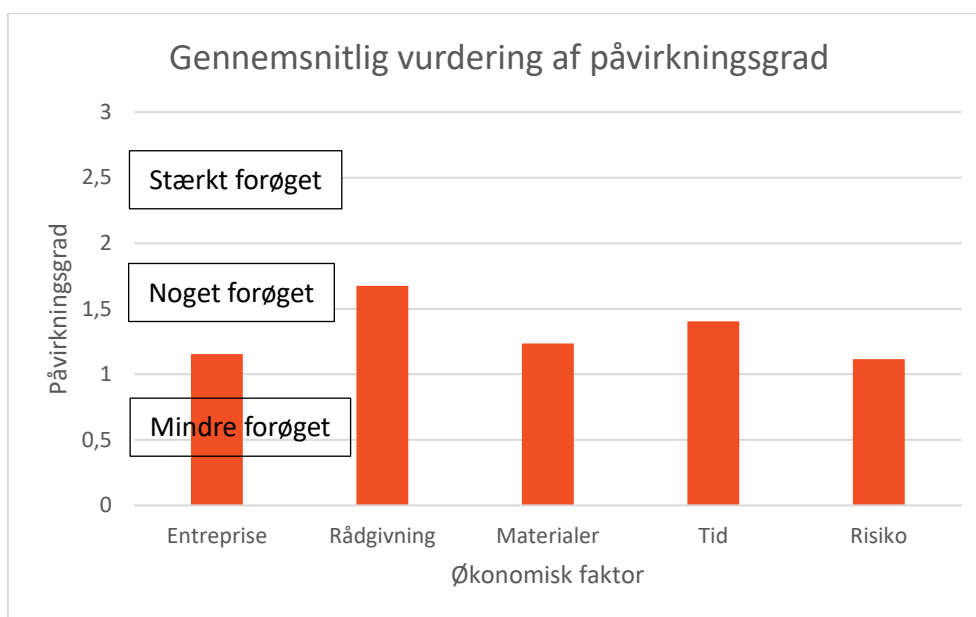
I dette afsnit analyseres og vurderes de samlede kvalitative og kvantitative data og input i forhold ændring i omkostninger, og om disse vurderes midlertidige eller permanente.

4.3.5.1 Overordnet påvirkning af byggeprojekternes økonomi

På baggrund af survey og interviews ses en klar, om end begrænset, påvirkning af de økonomiske omkostninger ved byggeri. I survey og spørgeskema er det muligt at omsætte svarene til en numerisk skala, så der kan beregnes middelværdi og spredning på de indsamlede svar. Disse beregninger er undersøgt med et statistisk værktøj, ANOVA, hvormed det er muligt at konkludere, at der ikke ses en statistisk signifikant forskel på den økonomiske påvirkning af nybyg- og renoveringsprojekter ud fra besvarelsene. Dette understøttes også af svarene ved de kvalitative interviews. Derfor behandles data herefter under ét for nybyggeri og renovering.

Generelt er der stor spredning i svarene, og der skal mindes om, at hver informant svarer ud fra egen erfaring, som kan dække over meget forskellige projekttyper. Nedenstående sammenfatning bygger således på den gennemsnitlige vurdering af påvirkning. De primære tendenser og forklaringer, afdækket ved interviews, er kort opsummeret for hvert økonomisk forhold:

- › **Entreprise.** Påvirket i lidt mere end "mindre forøget"
Der var stor spredning i svarene. Der blev estimeret stigninger på 10%, mens andre svarede, at de nuværende krav til nybyggeri ingen effekt har.
- › **Rådgivning.** Påvirket i op til "nogen forøget"
Rådgivning omfatter bl.a. LCA-beregninger, som blev vurderet til 100-200 timer, DGNB-certificering hvor der blev givet prisseksempler på 0,5 til 1,5 mio. kr., og rådgivning vedr. nye og alternative, klimavenlige materialer. Dette er individuelle prisseksempler fra informanter. Den øgede udgift til rådgivning omfatter f.eks. variantstudier, fremskaffe dokumentation og udvikle tekniske detaljer og indbygning af materialer, som stiller nye krav vedr. brand, lyd, fugt etc.
- › **Materialer.** Påvirket i lidt mere end "mindre forøget"
De klimavenlige materialer ses ikke generelt at være væsentligt dyrere. En mindre prisforøgelse kan ses på konventionelle materialer (f.eks. beton, cement, stål, mineraluld etc.), som har bedre klimadata end de "normale".
- › **Tid (til projektets gennemførelse).** Påvirket i lidt mere end "mindre forøget".
Som årsager til øget tidsforbrug nævnes især genbrugsmaterialer, hvor logistikken og det at finde nok af en given type materialer, til rette tid, er en udfordring.
- › **Risiko.** Påvirket som "mindre forøget".
En øget risiko ses især ved brugen af nye eller alternative materialer, hvor der ikke er opbygget erfaring. Dette er ofte årsag til, at sådanne materialer fravælges – i højere grad end købsprisen for materialerne.



Figur 87 Grafisk opstilling af påvirkningsgrader af de undersøgte omkostningstyper. Skalaen er baseret på beregning af gennemsnittet af svar fra både survey og spørgeskemaer udfyldt under interviews.

Det ses, at det især er rådgivning, som er påvirket, men det er også forventet, da der er dokumentationskrav, LCA-beregninger mm. Materialepriser er i mindre grad påvirket. Men klimavenlige materialerne påvirker andre faktorer, for der er øgede omkostninger til rådgivning og især for genbrugsmaterialer er der tidsforlængelse. Det er kendt fra (SBI 60 bygninger), at materialer har stor relativ påvirkning på den samlede udledning af CO₂-eq for nybyggeri, hvorimod CO₂-eq fra materialer fylder mindre relativt til driftsenergi for renoveringer.

4.3.5.2 Økonomiske mekanismer

På baggrund af svar i interviews og projektets egne eksperter kan der gives nogle bud på de økonomiske mekanismer, som bevirker øgning og senere fald af omkostninger.

- › Konkurrence, efterspørgsel og almindelige markedsmekanismer
Materialepriser er i nogle tilfælde øget lidt, som følge af en øget efterspørgsel efter byggematerialer med gunstige klimadata. Priserne forventes at falde på grund af udvikling af flere materialer med gode klimadata og de generelle markedsmekanismer. Det vil også over tid udjævne den merpris, som kan opnås for bæredygtigt byggeri, jf. afsnittet Markedsværdi.
- › Øget ekspertise og AI
En betragtelig del af de øgede rådgivningsudgifter skyldes nye ydelser som LCA og certificeringsordninger. Dette er komplicerede ydelser, og de udføres, som en respondent nævnte, ofte af nyuddannede ude stor erfaring. Med tiden vil der blive opnået større ekspertise og der forventes udviklet en vis grad af automatisering og integration med programmer som revit etc. Det vil bevirke, at der på sigt skal bruge færre timer for at udføre opgaverne, hvorved omkostningen falder.
- › Opbygning af viden og almen teknisk fælleseje
Informanter nævnte forskellige eksempler på, at der havde været omkostninger til at udvikle nye løsninger, håndtering på byggeplads, konstruktionsdetaljer mv. for nye klimavenlige materialetyper. Her har man ikke kunnet finde alment teknisk fælleseje i form af konstruktionsdetaljer, byg-erfa blade etc.

På sigt opbygger byggeriets parter den fornødne viden, og et par informanter så det som en éngangs investering at udvikle sådanne løsninger og opbygge viden.

› Tilpasning af lovgivning (brand, lyd, ventilation)

Der er næppe tvivl om, at det danske regelsæt for byggeri er præget af vores byggeskik og traditionelle, mineralske byggematerialer. Det ses f.eks. af de præaccepterede løsninger for brandsikkerhed. Nogle informanter så et klar behov for at se dette regelsæt efter i sømmene, så det ikke virker som en barriere for udvikling af mere bæredygtigt byggeri. Andre lande, som Sverige, bygger i stort omfang i træ, og ser ikke samme udfordring med brand og lyd, som opleves i danske projekter.

› Øgede klimakrav til såvel nybyg som renovering

Som beskrevet ovenfor og i Figur 86, viser undersøgelserne, at der sandsynligvis vil være øgede udgifter, hver gang der indføres en stramning af klimakravene. Det forventes, at stramninger vil kræve nye løsninger, som så igen medfører omkostninger. Det er dog værd at nævne, at en informant påpegede, at øgede krav også vil bevirke en samlet acceleration af udvikling af løsninger, fordi alle skal i samme retning, og udviklingsomkostningerne ikke skal bæres af enkelte ildsjæle og frontløbere.

Ovennævnte mekanismer ses som de primære for at forstå den økonomiske påvirkning af både nybyg- og renoveringsprojekter samt påvirkningens udvikling over tid.

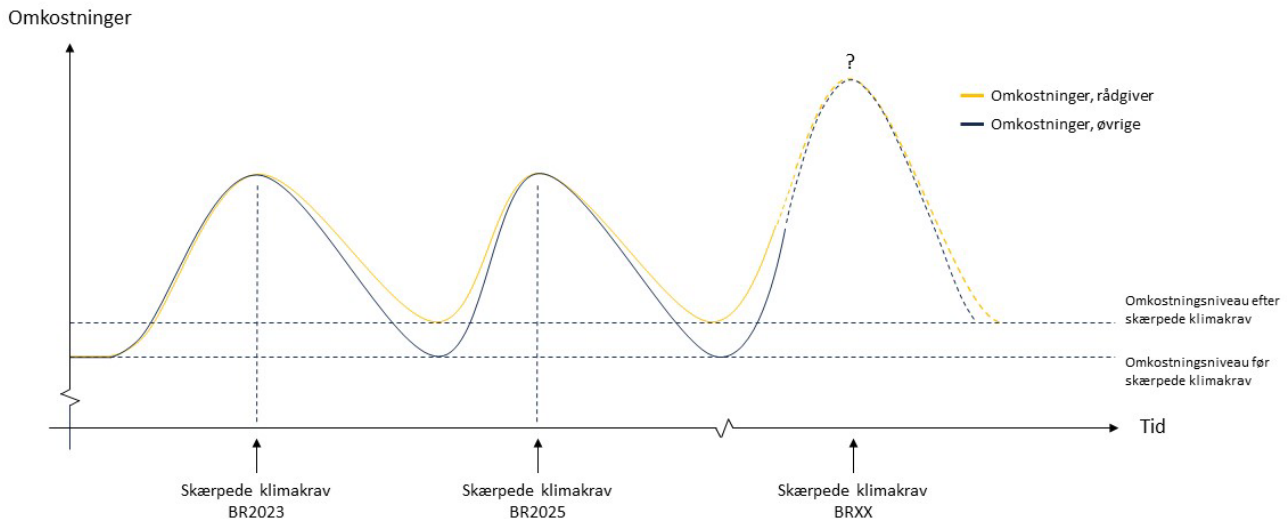
4.3.5.3 Tidsperspektivet

I vurderingen af, hvorvidt de øgede omkostninger vil være permanente eller midlertidige, var der også en stor spredning i besvarelserne. Der var dog overvejende enighed om, at de øgede omkostninger til entreprise og materialer er midlertidige, ligesom der var enighed om, at i hvert fald en del af de øgede rådgivningsomkostninger vil være permanente. Det er især de nye typer af rådgivningsydelse såsom LCA og certificeringer, som forventes at være permanente nye øgede omkostninger, skønt det dog forventes, at stigende erfaring og effektiviseringer efterhånden vil reducere den øgede omkostning hertil.

Øget tidsforbrug og risiko deler vandene, idet nogenlunde lige mange forventer, at øgningerne er permanente, som at de er midlertidige. Begge forhold er dog kun vurderet til en mindre øgning.

Der forudses generelt en større økonomisk påvirkning, når klimakravene strammes, enten ved lavere grænseværdier eller på anden måde. Som nævnt er der stor spredning i svarene, og de respondenter og informanter, som ikke ser en økonomisk påvirkning, nævner ofte, at de forventer at en sådan økonomisk påvirkning kommer, når klimakravene strammes.

Man kan illustrere påvirkningen med Figur 86. Hver gang klimakravet strammes, stiger omkostningerne, for så at falde over tid, til samme eller omtrent samme niveau som før. En ny stramning hæver omkostningerne igen, osv.



Figur 88 Den skitserede tendenslinje illustrerer den forventede udvikling i omkostninger som følge af klimakravenes stramninger. Grafen viser overordnede tendenser p.b.a. Afgivne svar.

Den skitserede tendenslinje illustrerer en principiel udvikling ud fra en samlet analyse af de indsamlede svar. Det kan ikke konkluderes, at alle typer af øgede omkostninger vil falde til præcis samme niveau som før en stramning af kravene.

4.3.6 Sammenfatning og delkonklusion

Der mindes om, at klimakrav i projektet er defineret som kravene til LCA-beregninger samt grænseværdier beskrevet i BR18. Kravene trådte i kraft d.1. jan. 2023 og forventes strammet i 2025, 2027 og 2029. I øjeblikket er der kun sat en grænseværdi for nybyggeri over 1000 m² og LCA-beregningen skal udføres for en 50-årig betragtningsperiode. Den nuværende grænseværdi på 12 kg CO₂ækv. /m² pr år er sat ud fra GWP-data fra 60 opførte nybyggerier [40] på en sådan måde, at langt de fleste af de betragtede bygninger overholder grænsen. Grænseværdien er dermed ret lempelig set i forhold til gængs byggeteknik og materialer, hvorfor det kan være svært at detektere en økonomisk effekt på nuværende tidspunkt. For renovering stilles i øjeblikket ingen klimakrav.

Når det alligevel har været muligt at stille spørgsmål om en økonomisk effekt i survey og interviews, skyldes det bl.a., at informanter i høj grad inddrager deres viden om projekter med højere krav til LCA-grænseværdi, viden om energiramme, DGNB-certificeringer, samt viden om variantanalyser med LCA-beregninger for at vurdere en effekt. I interviews har vi også bedt informanterne forholde sig til den forventede påvirkning, når klimakravene som forventeligt strammes i de kommende år. Dette er selvfølgelig nogle subjektive vurderinger, men på baggrund af informanternes erfaring anses svarene alligevel relevante for at skabe et samlet billede af den økonomiske effekt.

Det vurderes derfor, at den indsamlede viden med rette kan kombineres til et samlet billede af klimakravenes økonomiske effekt i byggeprojekter, med ovenstående forbehold.

På baggrund af delprojektets undersøgelser kan det derfor klart konkluderes, at klimakrav til byggeriet forårsager nogle omkostninger her og nu, hvoraf de fleste forventes at falde, men stige igen, når der kommer stramninger. Lige så tydeligt er det, at en lang række andre faktorer påvirker økonomien i det enkelte projekt, hvilket gør det meget vanskeligt at måle eller få fuld klarhed over størrelsen på den økonomiske effekt af specifikke klimakrav.

Generelt vurderes mange af de øgede omkostninger ikke at være permanente, men faldende i takt med tilpasning, udvikling og øget vidensniveau i branchen. De fleste vurderer ligeledes, at der vil være permanente øgede udgifter til visse rådgivningsydelser, nemlig udgifter til LCA-beregninger og dokumentation til certificeringer samt undersøgelse og indhentning af information om nye typer af materialer, og i et vist omfang også udvikling af nye tekniske detaljer og indbygning for nye klimavenlige materialer som er nye typer af udgifter, direkte forbundet til at dokumentere klimaegenskaber for byggeprojekter.

Det har ikke kunnet påvises, via de indsamlede input fra informanter og survey, at økonomien i nybyggeri og renoveringsprojekter påvirkes forskelligt, når det antages, at de underlægges samme grad af klimakrav. Når resultaterne fra survey for hhv. nybyggeri og renovering behandles statistisk, er der ikke signifikant forskel i svarene. Der kan dog spores en lidt større usikkerhed om effekten på renovering. Dette kan skyldes, at der p.t. ikke stilles klimakrav til renovering og der således ikke findes konkret viden endnu, men også at der generelt er større variation i renoveringssager, både med hensyn til bygningernes oprindelige tilstand, kvalitet og omfanget af renoveringen.

4.4 Vurdering af CO₂-afgifters effekt

I foregående afsnit vurderes det, at klimakravene forårsager midlertidige, men direkte meromkostninger, som vil fluktuere når klimakravene skærpes, samt permanente meromkostninger til rådgivningsydelser som resultatet af øgede krav til dokumentation af bygningers bæredygtighed. Imens der ikke findes klimakrav for renovering for nuværende og klimakravenes indvirkning på bygge- og anlægsøkonomi ikke kan undersøges på baggrund af faktiske sager, er der stor interesse i at undersøge hvordan andre reguleringsmetoder kan påvirke beslutninger, så branchens CO₂-emissioner fremover begrænses i videst muligt omfang, heriblandt CO₂-afgifter.

Som beskrevet i afsnit Økonomisk adfærdsregulering i Danmark findes der ikke CO₂-afgifter, der rammer den danske byggebranche direkte, dog indeholder lovgivningen CO₂-afgifter, der rammer byggeriet indirekte via en prisandel af fx materiale- og forsyningspriser. CO₂-afgifterne afhænger af virksomheder befinder sig inden for det kvotebelagte område eller ikke. Inden for de kvotebelagte områder reguleres CO₂-afgifterne med kvoter imens virksomheder indenfor såvel som uden for kvoteområdet kan opnå afgiftsfritagelse alt efter deres produktion- og brændselsforhold. Afsnit Økonomisk adfærdsregulering i Danmark beskriver derudover at der ses en udvikling imod implementering af CO₂-skyggepriser iblandt nogle af branchens aktører, fx kommunale bygherreorganisationer.

Dette afsnit undersøger, hvilken effekt CO₂-afgifter kan have på byggeprojekters økonomi for at tydeliggøre de dilemmaer og effekter CO₂-afgifter kan medføre for byggeprojekter såvel som byggebranchen generelt. Undersøgelsen er tredelt og baseres på følgende:

- › Interviews – i forbindelse med afviklingen af interviews i afsnit 4.3 blev nogle informanter spurgt ind til deres *forventninger* til, hvorledes CO₂-afgifter kan påvirke økonomien i byggeprojekter. Informanterne repræsenterer branchens forventninger, og resultaterne fra dette er beskrevet i afsnit Forventninger til eventuelle CO₂-afgifters effekt.
- › Survey med følgegruppe – i forbindelse med afvikling af et følgegruppemøde, blev følgegruppens medlemmer bedt om at udfylde et survey vedrørende Klimakrav og økonomi. Baggrunden for dette er beskrevet i 4.3 Klimakravs påvirkning af byggeprojekter. Ét af spørgsmålene fokuserede på at undersøge følgegruppens forventninger til CO₂-afgifter, og resultaterne af dette er beskrevet i afsnit Følgegruppen.
- › Regneeksempler på størrelsen af CO₂-omkostninger, hvis der indregnes en CO₂-skyggepris baseret på de beregnede CO₂-emissioner i et byggeprojekt, fx via LCA-beregninger. Resultaterne af dette er beskrevet i

afsnit 4.4.2, hvor variantanalyser fra (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter) inddrages.

Afslutningsvist sammenholdes resultaterne med henblik på at vurdere, hvordan CO₂-afgifter vil påvirke byggeprojekters økonomi. Formålet er således ikke at komme med konkrete anbefalinger til, hvorvidt, hvorledes og i hvilken grad der skal/bør indføres CO₂-afgifter på byggeprojekter i Danmark.

4.4.1 Forventninger til eventuelle CO₂-afgifters effekt

Den kvalitative vurdering af CO₂-afgifters effekt på hhv. nybyggeri og renovering tager udgangspunkt i de semi-strukturerede forskningsinterviews samt et survey udfyldt af følgegruppens medlemmer udført i afsnit 4.3 Klimakravs påvirkning af byggeprojekter.

4.4.1.1 Interview

CO₂-afgiften er behandlet i fire af de afviklede interviews (to rådgivere, én entreprenør og én bygherre), hvoraf én aktør har erfaringer med indregning af CO₂-skyggepriser som Bygherre i Aarhus Kommune. Det betyder at de følgende svar er et udtryk for aktørernes forventninger og begrænsede erfaringer, og der kan derved ikke udledes noget generelt på baggrund af besvarelserne.

Der er kun de to rådgivere, der sætter tal på deres forventninger til, hvor stor en andel CO₂-afgifter skal have for at få en effekt på beslutninger. Den ene tror at den skal være på 1-2 % af de samlede byggeomkostninger, måske 5-10 % - imens den anden forventer på at en afgiftsstørrelse på 3-5 % vil have en effekt, fordi tilsvarende rentestigninger har stor effekt på byggeaktiviteten.

Entreprenøren udtrykker, det er svært at sætte et konkret tal på en afgiftsstørrelse, da størrelsen afhænger af hvornår i beslutningsfasen denne afgift betragtes. I de helt tidlige faser har forretningsudviklere en meget lille margin, hvor der ikke er meget at give af – og dermed vil selv en lav CO₂-afgift have en stor indvirkning på de beslutninger der tages. Omvendt vil CO₂-afgiften indgå i det samlede regnestykke, og derfor mener entreprenøren, at der er en betalingsvillighed til at betale en eventuel CO₂-afgift så længe at behovet (*for renovering/nybyg, edt.*) eksisterer. Det betyder, at CO₂-afgiften ikke vil få en reguleringseffekt, men blot blive en ekstra omkostning hos forretningsudviklere og bygherrer. Entreprenøren peger på, at tilsvarende tendenser ses ved forandringer ifm. prisstigninger – der kommer en lille pause, hvor branchen indstiller sig på forandringerne – og så fortsætter projekterne i samme stil.

Én af rådgiverne foreslår at der kan være behov for at finde andre incitamentsstrukturer end dem, der opnås ved at implementere en CO₂-afgift som regulering, som betragtes som en metode til at piske forandringer igennem. Det foreslås bl.a. at oprette en fond, som kan dække risici ved nye og mere bæredygtige løsninger, som kan understøtte de økonomiske meromkostninger, der forventes at opstå ved nye mere bæredygtige løsninger.

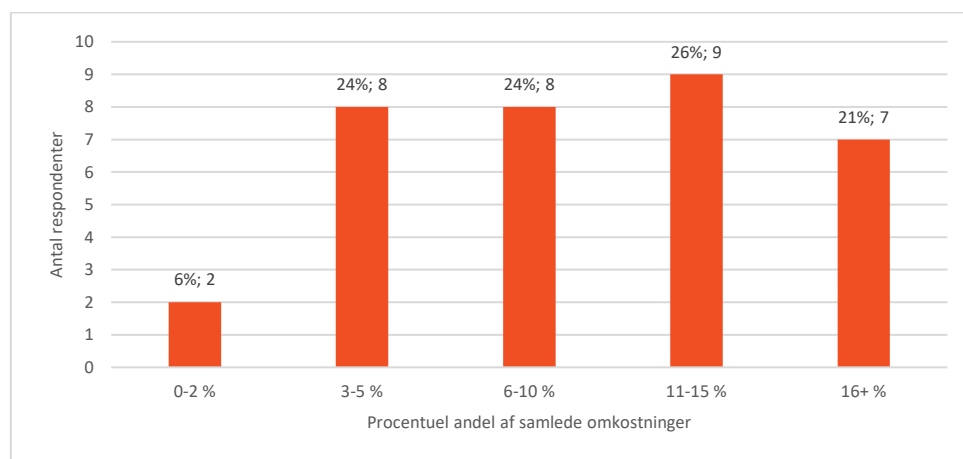
Bygherrerådgiveren fortæller at deres erfaringer med CO₂-skyggepriser er, at en skyggepris på 1.500 kr./ton CO₂ækv ikke har nogen effekt som incitament til at flytte beslutninger. Som beskrevet i afsnit Økonomisk adfærdsregulering i Danmark findes der forskellige modeller for hvordan CO₂-skyggepriser indføres i organisationer og hvilke effekter skyggepriserne efterfølgende har for bygge- og anlægsprojekter. Aarhus Kommune regner med en flad skyggepris på baggrund af de samlede CO₂-emissioner og tager derved ikke højde for diskonteringen af fremtidige CO₂-afgifter som konsekvens af fremtidige emissioner.

4.4.1.2 Følgegruppen

Følgegruppens medlemmer har udfyldt et survey, som beskrevet i afsnit 4.3. Følgegruppen består af inviterede aktører inden for branchen, som arbejder med renovering, bæredygtighed eller lignende områder inden for byggeriet. Der er 34 besvarelser og det er ukendt hvor mange af respondenterne der har

erfaringer med CO₂-afgifter eller CO₂-skyggepriser. Der er derved tale om en selekteret gruppe, og besvarelsene kan ikke anvendes til at udlede generaliserende tendenser for, hvad branchens forventninger er, men udelukkende hvad følgegruppen tror og forventer.

Figur 87 afspejler en stor tvivl om, hvor stor en ekstra omkostning CO₂-afgifter skal udgøre, før den vil have en effekt på beslutninger i projekter. Der er en jævn distribution af besvarelser iblandt fire af fem valgmuligheder (3-5 %, 6-10 %, 11-15 % og 16+%), imens der er blot to følgegruppemedlemmer, der mener at afgiften skal udgøre 0-2 % af den samlede økonomi for at få en effekt. Med andre ord, tror følgegruppen at en CO₂-afgift som minimum skal udgøre 3 % af de samlede omkostninger, men grundet kassefordelingen af besvarelsene, kan der ikke udledes yderligere herfra.



Figur 89 Svarfordeling til "Hvor stor en ekstra omkostning, skal CO₂-afgifter udgøre før det kan få indflydelse på beslutninger i projekter?"

Respondenterne er efterfølgende blev spurgt om deres tanker om, hvad øgede omkostninger til CO₂-afgifter vil betyde for valget mellem nybyggeri og renovering. I det følgende grupperes og diskuteres de konturer der tegner sig, på baggrund af undersøgelsen.

4.4.1.2.1 "CO₂-afgiften skal være høj"

Flere respondenter mener, at CO₂-afgiften skal være høj, af flere forskellige årsager. Det bemærkes at der er en udbredt grundholdning til at det er nemmest/bedst at rive ned og bygge nyt, imens det er besværligt at renovere, og derfor skal der høje afgifter til for at vende dén tendens. CO₂-afgiften skal ifølge nogle af respondenterne være en afgørende faktor for, at valget fremover falder på at renovere frem for at bygge nyt – og i forlængelse med "besværligheden" af at renovering, skal afgiften være høj.

4.4.1.2.2 "CO₂-afgiften på nybyg alene vil fremme valget af renovering frem for nybyg"

Følgegruppen giver bl.a. udtryk for, at nedrivning-og-nybyg-tendenser bør stoppes, og i den forbindelse uddybes det, at hvis der alene kommer en øget udgift på nybyggeri, i modsætning til at renovere det eksisterende, så burde det alt andet lige have en indflydelse på beslutningen således, at der renoveres mere fremfor nybyggeri. For nogle er opfattelsen, at der skal lægges en signifikant CO₂-afgift på nye materialer og nybyg førend renovering bliver mere attraktivt ift. nybyg.

Det forventes at øgede CO₂-afgifter vil gøre nybyggeri mere omkostningskrævende, særligt fordi nybyggeri involverer en større brug af materialer og processer med en høj CO₂-udledning end renoveringsprojekter, herunder fx beton og stål. Det forventes at dette kan skabe incitament hos bygherrer og investorer til at overveje renovering af eksisterende bygninger, hvor det er muligt som et mere

bæredygtigt og omkostningseffektivt alternativt, hvis der indføres CO₂-afgifter. Som en afledt effekt kan det forventede øgede fokus på renovering bidrage til at bevare historisk og kulturel arv i større grad. Dette italesættes som en mulig økonomisk gevinst, da renoverede bygninger ofte har unikke kvaliteter, der kan tiltrække beboere og virksomheder.

Omvendt kommenteres det, at renovering fremfor alt er dilemmafyldt, fordi valget af renovering frem for nybyggeri ikke må ske som bekostning af kvalitet, sikkerhed og sundhed i byggeriet – og at byggeomkostningerne spiller en væsentlig rolle, når der tages beslutninger.

4.4.1.2.3 "CO₂-afgift vil påvirke materialevalget"

Som nævnt, er det følgegruppens forventning at en signifikant CO₂-afgift på nye materialer og eller CO₂-tunge materialer vil påvirke materialevalget fremover. Fx kan et skærpet fokus på indlejret CO₂ækv medfører en større grad af genanvendelse og cirkularitet for byggematerialer og bygninger frem for nyanskaffelse og nedrivning og nybyg. Altså forventes det af følgegruppen, at konsekvensen af en højere pris for materialer betyder at man vil købe færre nye materialer og i stedet rette fokus mod renoveringsmuligheder.

Derudover forventes det at forbruget af materialer med lav udledning vil stige fremadrettet i sammenligning med materialer med høj udledning pga. den forventede prisstigning grundet CO₂-afgiften. Hvis afgiften udformes, så brug af jomfruelige materialer bliver mere omkostningstunge, kan det forventes at selektiv nedrivning vil blive mere attraktiv.

Følgegruppen forholder sig ikke tydeligt til de iboende kompleksiteter, som forudsætter at de nye materialevalg har samme levetid, som det materiale det substituerer. Hvis ikke der haves den samme levetid for fx en betonvæg og en halmballe væg, er der forskellige antal af udskiftninger af udskiftninger i løbet af beregningsperioden, som vil påvirke den samlede mængde CO₂ækv. Derudover indgår vedligehold ikke i den nuværende systemafgrænsning for LCA-analyser, og alt andet lige, må nye materialer være forbundet med et større vedligehold til dels på grund af deres natur til dels på grund af det øgede behov for at føre tilsyn med, om materialerne opfører sig som forventet grundet de øgede risici. CO₂-afgift på tunge materialer vil være en fordel for renovering, da det typiske er de tunge materialer, fx bærende systemer, der bibeholdes i forbindelse med renoveringer.

Det er imidlertid også tvivlsomt at den eksisterende bygningsmasse alene kan dække det behov, der ligger til grund for nybyggeri.

4.4.1.2.4 "CO₂-afgift må ikke stå alene som regulering"

En del af respondenterne ytrer skepsis omkring en eventuel implementering af CO₂-afgifter i byggeriet, og påpeger at det ikke betragtes som en løsning. En del af argumentationen går på, at det med en CO₂-afgift legitimeres at man kan betale for de "forkerte" valg. I stedet bør man fastholde fokus på grænseværdier som regulerer emissionen og bøder hvis denne ikke overholdes. Derudover kommenteres det, CO₂-afgifter bør ses i kombination med andre økonomiske faktorer, fx skat og forsikringer, hvis de implementeres. Sidstnævnte bl.a. pga. en forventet, indledningsvis, stigende risikopræmie på "alternative" byggeskikke i afsnit 4.2 Klimakravs påvirkning af byggeriers generelle økonomiske forhold. Følgegruppen ytrer derved en bekymring for, at en introduktion af CO₂-afgifter i byggeriet vil medføre en forværring af det ensidige fokus på CO₂, og derved resultere i en suboptimering på bekostning af andre områder.

4.4.2 Kvantitativ beregning af CO₂-skyggepriser

Følgende beregninger har til formål at undersøge hvilken betydning, det vil have for renoverings- og byggeprojekter, hvis der indregnes en CO₂-skyggepris direkte i totaløkonomien baseret på projekternes

løbende CO₂-emissioner. Den kvantitative vurdering af CO₂-skyggeprisers effekt på hhv. nybyggeri og renovering baseres på beregninger af CO₂-skyggepriser baseret på udvalgte resultater fra variantanalyser i afsnit 3.1.

Variantanalyserne tager udgangspunkt i generiske rækkehus cases, der er defineret så de så vidt muligt er repræsentative for byggeskikkene fra to tidsperioder:

- › Det traditionelle rækkehus fra 1950'erne
- › Det moderne rækkehus fra 1980'erne.

Der foretages variantanalyser af følgende scenarier for rækkehusene:

- › Baseline scenarie: Fortsat drift i betragtningsperioden, kun udskiftning ved endt levetid
- › Let renovering: Eftergang af vinduer (forlænget levetid), efterisolering af tag/loft
- › Mellem renovering: let renovering + skift af vinduer, udskiftning og efterisolering af tag, ny brugsvandsveksler, skift af fjernvarmeveksler.
- › Dyb renovering: mellem renovering + udvendig facadeisolering og ny teglfacade, efterisolering af sokkel, tilføjelse af ventilation med varmegenvinding og ventilationskanaler.
- › Derudover indgår variantstudier af et nyopført, realiseret rækkehus i beregninger.
- › Nedrivning + nybyg: Nedrivning af den eksisterende bygning og opførelse af et tidssvarende nybyggeri.

De overordnede resultater fra disse variantanalyser findes i Tabel 23, hvor der tages udgangspunkt i LCA-beregninger med de i bygningsreglementet gældende fremskrivning for driftsemissioner. For nærmere beskrivelse af variantstudierne henvises til (3.1 Variantstudier af renoveringsgrader og typologier).

Tabel 22 Oversigt over variantanalyser, renoveringstiltag og resultater fra (3. Variationsanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter).

	Scenarie	LCA kg. CO ₂ ækv/m ² /år	LCC Nutidsværdi kr./m ²
Traditionel	Baseline	18,46	14.577
	Let	16,99	14.670
	Mellem	12,81	17.712
	Dyb	9,68	27.539
Moderne	Baseline	14,26	14.943
	Let	12,54	15.233
	Mellem	10,88	18.717
	Dyb	9,89	32.470
Nybyg	Nedrivning og nybyg	12,64	23.266

4.4.2.1 Beregningsmetode og grundlag

Bilagsrapporten H beskriver beregnings- og metodegrundlaget for vurderingen samt beregningernes resultater. I Bilag H.2 beskrives det metodiske grundlag for totaløkonomiske beregninger og dertilhørende beregningsforudsætninger. Bilag H.3 redegør desuden prisgrundlaget for CO₂-skyggepriser, samt indeholder beregningsgrundlaget imens resultaterne findes i Bilag H.4. Beregninger og resultater.

Afsnit Eksempler på anvendelse af CO₂-skyggepriser i byggeriet beskriver to principper for beregning af CO₂-afgifter eller CO₂-skyggepriser for projekter:

- › Beregning af CO₂-afgift som punktomkostning med udgangspunkt i et aktivs totale emissioner
- › Beregning af CO₂-afgift via nutidsværdi metoden, så de økonomiske effekter kan indgå i de samlede totaløkonomiske betragtninger for aktivet i overensstemmelse med ISO 15686-5:2017.

Skyggeprisberegningerne i denne vurdering tager udgangspunkt i ISO 15686-5:2017-standardens metode for indregning af eksternaliteter for at tage højde for diskonteringen af fremtidige betalinger for fremtidige emissioner i løbet af aktivets levetid. Skyggepriserne beregnes via nutidsværdimetoden, hvor nutidsværdien beregnes ved:

$$NVP = \sum_{n=1}^p C_n \times \frac{(1+a)^n}{(1+d)^n}$$

Beregningerne foretages i et regneark over en beregningsperiode (p) på 50 år i overensstemmelse med LCA- og LCC-beregningerne i (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter). C_n beskriver en omkostning i det n 'te år og beregnes på baggrund af resultatudtræk fra LCAbyg. CO₂-emissionerne multipliceres med en CO₂-pris, der derefter fremskrives med den forventede årlige prisændring i procent (a) og tilbagediskonteres med den årlige forventede diskonteringsrente d . Derved bliver de beregnede CO₂-skyggepriser et udtryk for den økonomi der skal tilsidesættes i år 0 for at afholde de omkostninger der er forbundet med at udlede aktivets CO₂ækv, hvis der indføres en CO₂-skyggepris direkte tilknyttet bygge- og anlægsprojekter.

Når de beregnede skyggepriser kombineres med levetidsomkostningerne (Life Cycle Cost, LCC) fra LCC, er det vigtigt at have i mente, at nutidsværdierne fra er beregnet uden restværdier. Det vil sige at det antages at samtlige materialer i renoverings- og nedrivning-og-nybyg-scenarierne afskaffes efter den 50-årige beregningsperiode og ikke er noget værd. Dette afspejler imidlertid ikke sædvanlig beregningspraksis, hvor bygninger og bygningsdeles restværdi beregnes på baggrund af restlevetid og anskaffelsesværdi ved en lineær afskrivning. Konsekvensen af dette er, at de beregnede nutidsværdier i værste fald er 5-10 % højere end de ville være, hvis man havde medtaget restværdierne i beregningerne. Dette er yderligere beskrevet i (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter).

4.4.2.1.1 Tilpasning og antagelser omkring LCA-data

Der anvendes imidlertid forskellige principper for hvordan den 50-årige beregningsperiode håndteres i LCAbyg og LCC-beregningsprincipper. I LCAbyg forløber beregningerne over en 50-årig periode, der starter med år 0, og det sidste beregningsår er således år 49. I LCC-beregninger anvendes år 0 til de anskaffelser og aktiviteter der er nødvendige for, at aktivet kan være i brug i en 50-årig periode, dvs. fra år 1-50. Forskellene betyder, at der skal foretages tilpasninger, når årlige CO₂-emissioner fra LCAbyg anvendes som datakilde for beregninger af CO₂-skyggepriser ved nutidsværdimetoden. Tilpasningerne er detaljeret i Bilag H.2 og opsummeret i Tabel 24. Beregningerne via nutidsmetoden foretages fra år 0-50, svarende til 2024-2073.

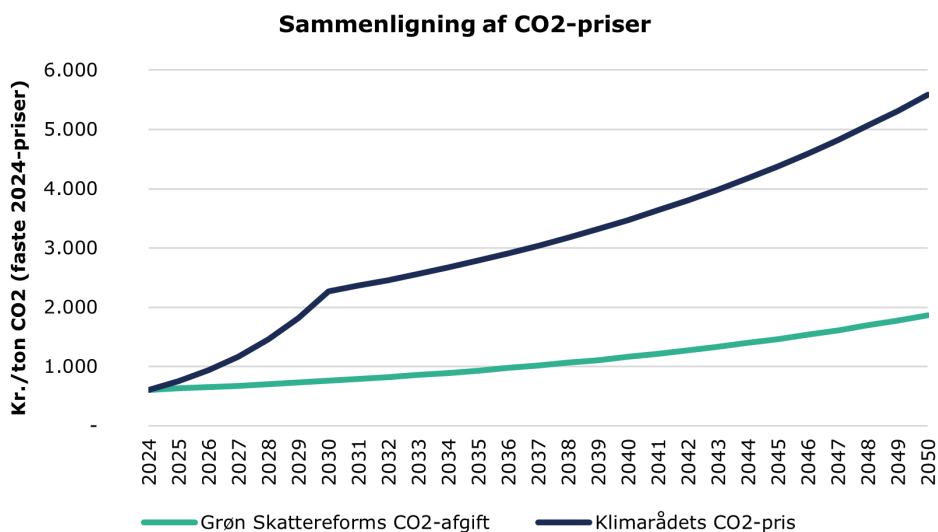
Tabel 23 Tilpasninger af LCA-resultater ifm. TCO-beregninger.

LCA			LCC	Kommentar
Beregningsår	Primo/ultimo	Fase	Beregningsår	
År 0	Primo	Ex. C3+C4	År 0	Værdien kan aflæses af fase-resultater i LCAByg.
År 0	Primo	A1-A3	År 0	Værdien kan aflæses af fase-resultater i LCAByg.
År 1-48	Ultimo	B4	År 1-50	Værdierne beregnes ved differencen imellem de akkumulerede emissioner fra LCAByg ^{se tabelnote} .
År 0-48	Ultimo	B6	År 1 – 50	Værdierne beregnes ved differencen imellem de akkumulerede emissioner fra LCAByg ^{se tabelnote} .
År 49	Ultimo	C1+C3	År 50	Værdien kan aflæses af fase-resultater i LCAByg.

Tabelnote: De akkumulerede grafer eksporteres med enheden kg CO₂ækv/m².

4.4.2.2 Valg af prisgrundlag

Finansministeriets nøgletalskatalog af februar 2024 indeholder Energistyrelsens fremskrivning af CO₂-afgiften inden for kvotesektoren i overensstemmelse med den grønne skattereform. Der findes i skrivende stund ikke en fremskrivning af reformens CO₂-afgift udenfor kvote-sektoren, men der arbejdes ifølge Finansministeriet på at lave en opdatering af fremskrivningen, som tager højde for EU's mål om 55 %-reduktioner i 2030 [111]. Figur 88 viser CO₂-afgiften inden for kvotesektoren ved den grønne linje, imens den blå linje viser Finansministeriets fremskrivning af Klimarådets CO₂ækv -pris til brug for følsomhedsanalyser i beslutningsgrundlaget. Klimarådets anbefalede CO₂ækv -pris på 1.500 kr./ton CO₂ækv er angivet i 2020-priser. I Figur 88 er denne omregnet til 2024-priser og angivet i markedspriser (faste 2024-priser). Det samme gør sig gældende for CO₂-afgiften fra den grønne skattereform.



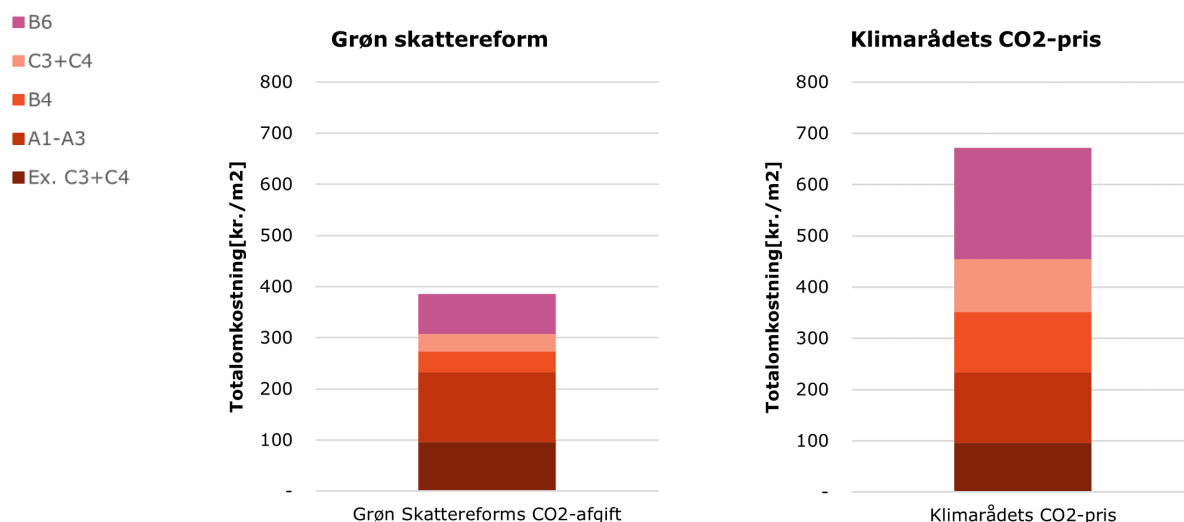
Figur 90 Sammenligning af den grønne skattereforms CO₂-afgift med Klimarådets CO₂-ækv-pris jf. Finansministeriets fremskrivninger konverteret til markedspriser (faste 2024-priser).

Teknologisk Institut finder i deres beregning af byggeriets CO₂-skyggepriser, at de samfundsøkonomiske omkostninger forbundet med at reducere et tons CO₂-ækv er 2.267 kr./ton CO₂-ækv i faste 2023-priser, hvis nutidsværdien for et klimavenligt byggeri er 2 % højere end nutidsværdien for et konventionelt byggeri. Tilsvarende udgør de samfundsøkonomiske omkostninger 5.327 kr. for reduktion af et ton CO₂-ækv i faste 2023-priser, hvis nutidsværdien for et klimavenligt byggeri er 5 % højere end nutidsværdien for et konventionelt byggeri [139]. Selvom CO₂-skyggepriserne fra Teknologisk Institut er beregnet på baggrund af sammenligning med konventionelle nybyggerier med mere klimavenlige byggerier, er data ikke efterprøvet i branchen. Det er med andre ord usikkert, hvor store ekstra omkostninger, der er forbundet med at bygge mere klimavenligt byggeri, og de procentuelle estimater mangler at blive afprøvet.

Undersøgelse af CO₂-priser

Der findes en stor tilslutning til Klimarådets anbefalede CO₂-ækv-pris, som er toneangivende for forskellige aktørers implementering af skyggepriser (se afsnit 4.2.6 Økonomisk adfærdsregulering i Danmark). Sammenligningen af Finansministeriets fremskrivninger for Klimarådets CO₂-ækv-pris og CO₂-afgiften inden for kvotesektor området i Figur 88 viser, at Klimarådets CO₂-ækv-pris er den højeste af de to. Omvendt, repræsenterer afgiftsniveauet i den grønne skattereform det leje, som en evt. fremtidig CO₂-afgift direkte tilknyttet byggeriet, befinde sig i. Derfor undersøges det indledningsvist, hvordan Klimarådets CO₂-ækv-priser adskiller sig fra CO₂-afgiften i den grønne skattereform, hvis disse indregnes på den samme case. Der tages udgangspunkt i scenariet, hvor rækkehuse nedrives og erstattes med nyopførte rækkehuse.

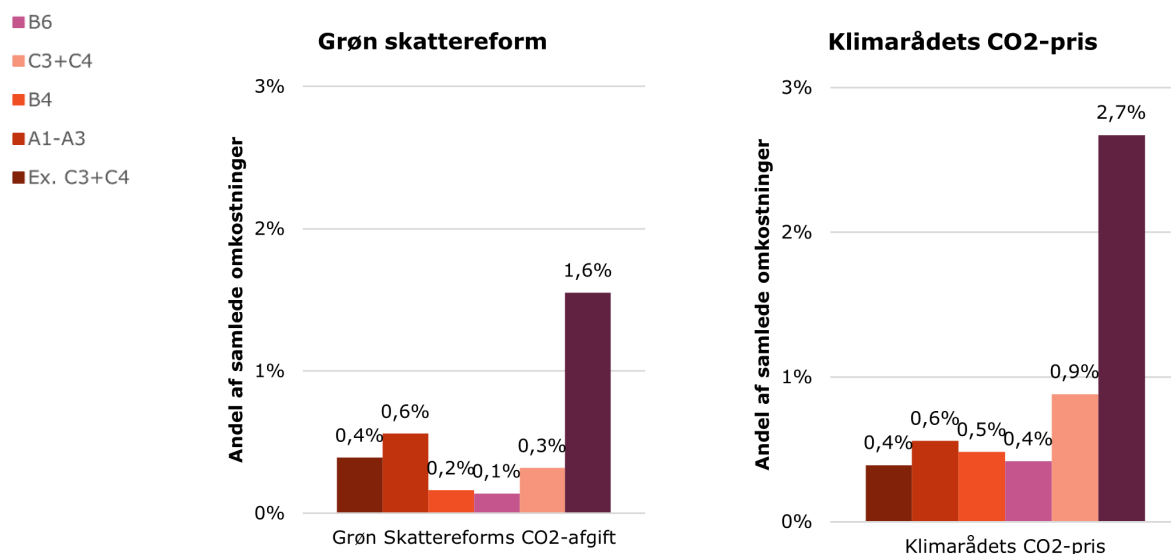
Figur 89 viser, de beregnede CO₂-skyggepriser set i forhold til de beregnede levetidsomkostninger. CO₂-skyggeprisen for produktfasen (A1-A3) er ens for de prisudviklinger, da CO₂-skyggeprisen fra den grønne skattereform i 2024 er den samme som fremskrivningen af Klimarådets CO₂-ækv-pris i 2024 [111]. Det samme gør sig gældende for CO₂-skyggeprisen for nedrivning af den eksisterende bygning forud for nybyggeriet.



Figur 91 Sammenligning af CO₂-skyggepris for nedrivning-og-nybyg-scenariet ved beregning med hhv. CO₂-afgiften fra den grønne skattereform og Klimarådets CO₂ækv-pris.

Betydningen af forskellige prisgrundlag ses i CO₂-skyggeprisen for hhv. udskiftning (B4), drift (B6) samt bortskaffelsesfaserne (C3+C4). Her ses en faktor tre imellem hhv. B4 og C3+C4 for de to prisudviklinger, imens B6 ved brug af Klimarådets CO₂ækv-priser er ca. 2,8 gange større end beregningerne på baggrund af den grønne skattereform.

De beregnede CO₂-skyggepriser ved brug af den grønne skattereform udgør totalt ca. 1,6 % af de samlede totalomkostninger og 2,7 % hvis Klimarådets priser i stedet anvendes. Figur 90 viser CO₂-skyggeprisen for de respektive LCA-fasers andel af de samlede totalomkostninger, hvis det udelukkende er den ene fase, der indgår i beregningen. Derfor udgør skyggeprisen for ex. C3+C4 og A1-A3 den samme andel af de samlede totalomkostninger, imens B4, B6 og C3+C4 udgør en større andel af totalomkostningerne beregnet via Klimarådets CO₂ækv-pris end totalomkostningerne beregnet via CO₂-afgiften fra den grønne skattereform. Dette skyldes prisudviklingerne afspejlet i Figur 88, hvor Klimarådets CO₂ækv-pris takserer CO₂-udledningerne højere end den grønne afgiftsreform.



Figur 92 Totale og fase-baserede CO₂-skyggeprisers andel af de samlede totalomkostninger.

Resultaterne i dette afsnit viser tydeligt, at de økonomiske omkostninger er størst, når Klimarådets priser anvendes som prisgrundlag til beregning af CO₂-skyggepriser i den aktuelle case.

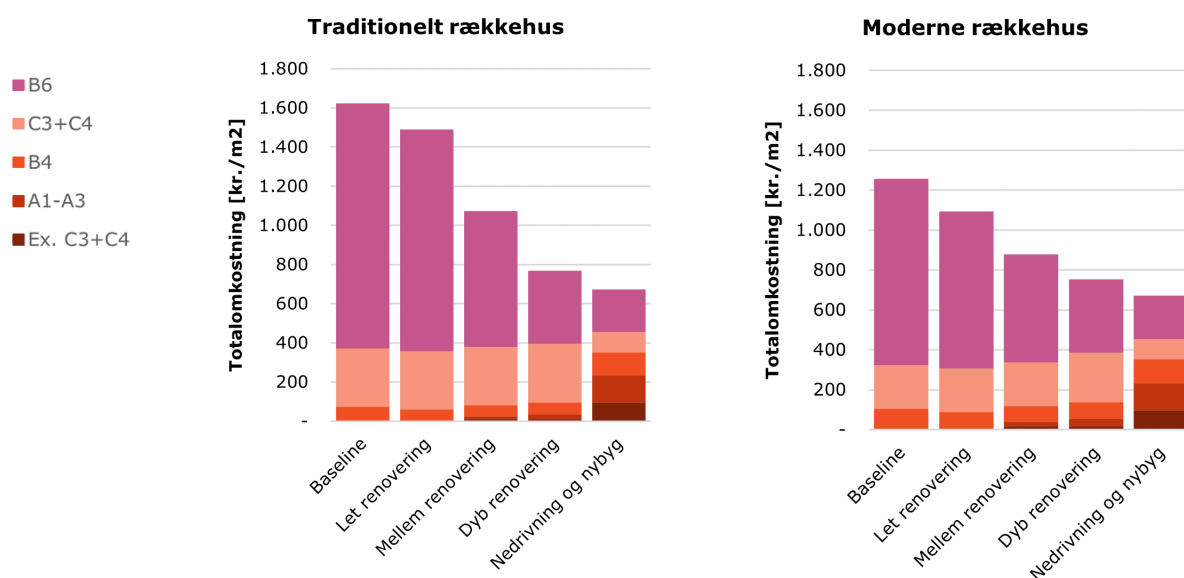
4.4.2.3 Sammenligning af CO₂-omkostninger i variantanalyser for renoverings- og nybyg-scenarier

I det følgende anvendes Klimarådets priser som prisgrundlag til beregning og sammenligning af CO₂-skyggepriser for renoverings- og nedrivning-og-nybyg-scenarierne beskrevet i Tabel 23. Derved repræsenterer beregningerne det for nuværende højst tænkelige afgiftsniveau forbundet med CO₂-afgifter på byggeprojekter. De beregnede CO₂-skyggepriser findes i Tabel 25 nedenfor.

Tabel 24 Resultater fra CO₂-skyggeprisberegninger sammenholdt med LCC-resultater og den samlede totaløkonomi.

		CO ₂ -skyggepris						Nutidsværdi	
		Ex. C3+C4	A1-A3	B4	C3+C4	B6	Total	ekskl. CO ₂ -skyggepris	inkl. CO ₂ -skyggepris
Traditionel	Baseline	-	-	74	297	1.252	1.624	14.577	16.201
	Let renovering	0,5	0,4	60	297	1.131	1.489	14.882	16.371
	Mellem renovering	12	12	57	297	694	1.072	17.475	18.548
	Dyb renovering	12	24	59	302	373	769	22.352	23.121
Moderne	Baseline	-	-	104	218	936	1.258	14.943	16.201
	Let renovering	0,7	4	84	218	787	1.094	16.046	17.140
	Mellem renovering	17	23	78	218	540	877	18.274	19.152
	Dyb renovering	17	39	81	249	368	754	24.176	24.931
Nybyg	Nedrivning og nybyg	96	137	118	102	218	672	24.455	25.127

Figur 91 viser de resultaterne for CO₂-skyggepriserne i Tabel 25. Figuren viser, at den højeste CO₂-skyggepris opnås for de to baseline-scenarier, hvor det traditionelle rækkehus' CO₂ævk-emissioner resulterer i en samlet skyggepris på ca. 1.600 kr./m², imens det moderne rækkehus resulterer i en samlet skyggepris på ca. 1.250 kr./m². De laveste skyggepriser opnås for de dybeste renoveringsgrader med en skyggepris på ca. 750 kr./m². Til sammenligning ligger skyggeprisen for nedrivning-og-nybyg-scenariet på ca. 675 kr./m².



Figur 93 CO₂-skyggepriser for renoverings- og nedrivning-og-nybyg-scenarier

De beregnede skyggepriser i Tabel 25 og Figur 91 afspejler forskellige tendenser omkring renoveringsgraderne:

- › CO₂-skyggepriserne for drift (B6) falder kraftigt efterhånden som dybere renoveringstiltag foretages. De er således en direkte afspejling af løbende forbedring i energirammen i forbindelse med renoveringstiltag og grader. Energiforbruget til drift er konstant over beregningsperioden i LCA-beregningerne, men falder fordi emissionerne fremskrives via CO₂-fremskrivninger for el- og fjernvarme. CO₂-skyggepriserne tager udgangspunkt i de nuværende fremskrivninger i Bygningsreglementet.
- › CO₂-skyggepriserne for udskiftning i brugsfasen (B4) er højest for nedrivning-og-nybyg-scenariet (118 kr./m²) og baseline-scenarierne (traditionel: 74 kr./m², moderne: 104 kr./m²), imens de er stabile i udførte renoveringsgrader (traditionel: ca. 60 kr./m², moderne: ca. 80 kr./m²). B4 dækker her over den løbende udskiftning af bygningsdele, der erstattes 1:1 med tilsvarende bygningsdele.
- › CO₂-skyggepriserne for produktfaserne (A1-A3) stiger, efterhånden som renoveringscasene renoveres mere og mere i dybden.
 - › Baseline-scenarierne har ingen CO₂-omkostninger forbundet med A1-A3.
 - › Den lette renovering af det moderne rækkehus har en CO₂-skyggepris for A1-A3 der er fire gange så stor i den lette renovering end tilsvarende for det traditionelle rækkehus, da der udelukkende tilføres efterisolering af etageadskillelsen mod loft det moderne rækkehus, da det traditionelle rækkehus har loft til kip. Det er begrænset vinduesrenoveringerne i den lette renoveringsgrad resulterer i af CO₂-skyggepriser – især fordi dele af renoveringsarbejdet som fx maling af rammer, falder under vedligehold i systemafgrænsningen for LCA, som ikke er medtaget i dette projekt.

- › Den mellemste renoveringsgrad af det moderne rækkehus resulterer i en CO₂-skyggepris for A1-A3, der er næsten dobbelt så stor som den tilsvarende skyggepris i det traditionelle rækkehus. Renoveringsgraden dækker over udskiftning af vinduer, tag-renovering samt skift af fjernvarmeveksler. Tagarealet i den traditionelle rækkehuscase er lavere end det samlede bruttoareal, og derfor bliver betydningen af dette renoveringstiltag mindre betydende end det gør for CO₂-skyggeprisen for det moderne rækkehus, hvor tagets areal er større end det samlede bruttoareal.
- › Den dybeste renoveringsgrad giver anledning til en CO₂-skyggepris på ca. 40 kr./m² for det moderne rækkehus, imens den tilsvarende er 24 kr./m² for det traditionelle rækkehus. Til sammenligning er CO₂-skyggeprisen for A1-A3 for nedrivning-og-nybyg-scenariet beregnet til 137 kr./m².
- › CO₂-skyggepriserne for affaldsbehandling og bortskaffelse ved endt levetid opdeles i den indledningsvise affaldsbehandling og bortskaffelse ved renoveringstiltagene udførelse (ex. C3+C4) og den afsluttende ved afslutningen af beregningsperioden (C3+C4).
 - › CO₂-skyggepriserne for ex. C3+C4 stiger, efterhånden som der foretages dybere renoveringer. Skyggepriserne er ens for de mellemste og dybeste renoveringsgrader og ligger på ca. 12 kr./m² for det traditionelle rækkehus og 17 kr./m² for det moderne. Til sammenligning udgør skyggeprisen for nedrivning forud for nybyg 96 kr./m² i nedrivning-og-nybyg-scenariet.
 - › CO₂-skyggepriserne for C3+C4 er konstante for hhv. baseline, let og mellem renovering, imens de stiger ifm. den dybe renovering, fordi der tilføjes flere materialer til renovering-scenariet, imens der ikke fjernes yderligere. Til sammenligning ligger CO₂-skyggeprisen for C3+C4 for renoverings-scenarierne på ca. 300 kr./m² for det traditionelle rækkehus, og ca. 220-250 kr./m² for det moderne, imens den udgør ca. 100 kr./m² i nedrivning-og-nybyg-scenariet.

4.4.3 Diskussion

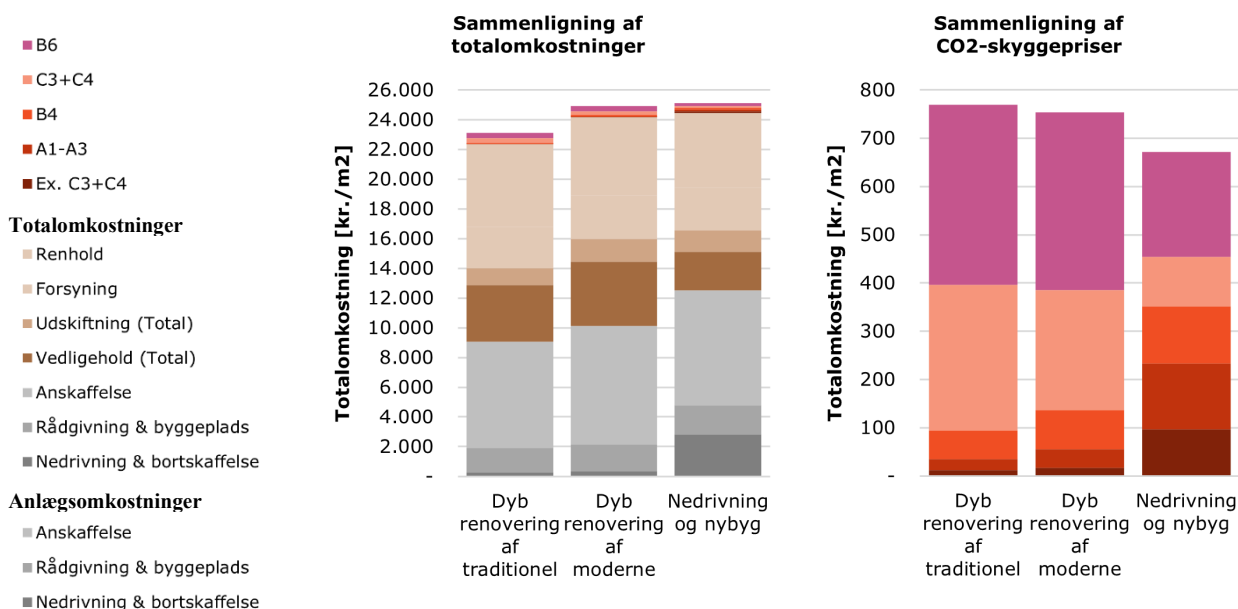
Formålet med denne delanalyse er som nævnt at vurdere hvordan CO₂-afgifter påvirker hhv. renovering og nybyg. Der findes som nævnt ikke en CO₂-afgift, der rammer byggeriet direkte, men gældende såvel som fremtidige CO₂-afgifter har en indirekte effekt på de økonomiske forhold i byggeriet. Dertil kommer det, at der ses en ekspanderende praksis i blandt nogle aktører for at indregne CO₂-skyggepriser for at synliggøre de samfundsøkonomiske omkostninger, der er forbundet med at reducere klimabelastninger tilsvarende beslutningen.

På baggrund af resultaterne fra Forventninger til eventuelle CO₂-afgifters effekt og Kvantitativ beregning af CO₂-skyggepriser er det tydeligt at CO₂-afgifter i byggeriet er komplekse. Der fremkommer dilemmaer og potentielle barrierer både når interviewrespondenter og følgegruppe forholder sig konkret til betydningen af afgifterne, og når de kvantitative beregninger behandles for at vurdere de økonomiske forhold og potentielle meromkostninger.

4.4.3.1 Størrelse af CO₂-afgift og udmøntningsmuligheder

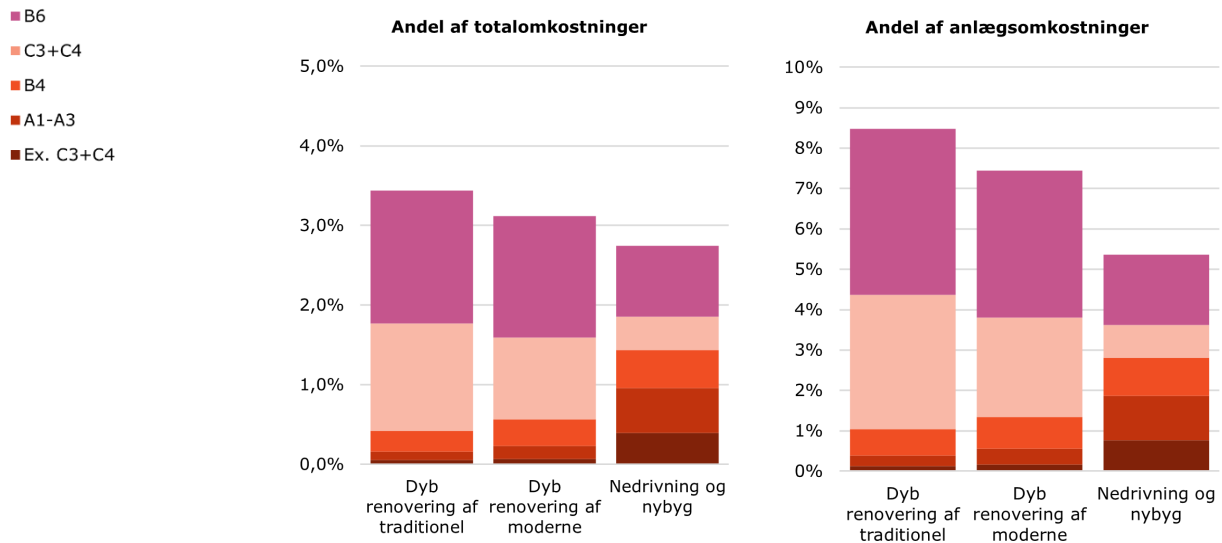
De gennemførte interviews med brancheaktører og survey med følgegruppen (se afsnit 4.4.1 Forventninger til eventuelle CO₂-afgifters effekt) viser, til trods for få besvarelser omkring CO₂-afgifter, at der er stor uenighed omkring, hvor stor andel af den samlede økonomi, en CO₂-afgift skal have, for at få en effekt. Besvarelserne peger på ligeligt på alt imellem 3-5 %, 6-10%, 11-15% samt over 16 %. Med andre ord, er det eneste der kan udledes af besvarelserne, at 94 % (32 svar ud af 34) er enige om, at afgiften skal udgøre over 3% af den samlede økonomi, for at have en effekt på beslutninger i projekter. Der vurderes imidlertid, at besvarelserne udelukkende kan anvendes som udtryk for respondenternes forventninger, da de primært stammer fra følgegruppens medlemmer, der er en selekteret gruppe af aktører med særlig interesse for renovering og/eller bæredygtighed. Der kan derfor ikke udledes noget generelt på baggrund af dette.

Figur 92 viser, at de samlede totalomkostninger for den dybe renovering af det traditionelle rækkehus er ca. 23.100 kr./m² inkl. CO₂-skyggepriserne, imens det for de for det moderne er ca. 24.900 kr./m² og nedrivning-og-nybyg-scenariet ca. 25.100 kr./m². Derudover viser sammenligningen af CO₂-skyggepriserne, at den samlede skyggepris for de tre scenarier spænder imellem 670-770 kr./m². Figur 92 viser med andre ord, at der totaløkonomisk set, ikke er den store forskel på, om der foretages dyb renoveringer af de eksisterende rækkehuse eller nedrivning-og-nybyg.



Figur 94 Sammenligning af totalomkostninger og CO₂-skyggepriser for dybe renoveringsscenarier og nedrivning-og-nybyg.

Imens totalomkostningerne indebærer alle omkostninger i løbet af scenariernes beregningsperiode, angiver anlægsomkostningerne de omkostninger, der er forbundet med renovering eller nybyg i år 0, dvs. nedrivning, anskaffelse samt rådgivning og byggeplads, som beskrevet i Figur 92. Derfor undersøges det i Figur 93 hvor stor en andel CO₂-skyggepriserne udgør af hhv. de samlede totalomkostninger og de samlede anlægsomkostninger.



Figur 95 Procentuelle andele af hhv. totalomkostninger og anlægsomkostninger for dybe renoveringsscenarier og nedrivning-og-nybyg.

Figur 93 viser, at CO₂-skyggepriserne samlet udgør mellem 2,7 % - 3,4 % af de samlede totalomkostninger, imens de udgør imellem 5,4 % - 8,5 % af de samlede anlægsomkostninger. Det bliver her tydeligt, at den højere anlægsomkostning for nedrivning-og-nybyg-scenariet imod lavere driftsomkostninger, betyder at skyggeprisen kommer til at udgøre end mindre procentuel andel af anlægsøkonomien (5,4%) end den gør for de dybe renoveringsgrader (Traditionel: 7,4%, moderne: 8,5 %). Figuren viser derudover, at CO₂-skyggeprisernes andel af de samlede total- eller anlægsomkostninger varierer alt efter hvilke CO₂-emissioner der lægges til grund for CO₂-skyggeprisberegningen.

Det er for eksempel tydeligt at B6 har den største andel af CO₂-skyggepriserne for samtlige scenarier. Da beregningerne tager udgangspunkt i de nuværende CO₂-fremskrivninger fra bygningsreglementet, må det forventes at B6-skyggepriserne vil falde, når de nye fremskrivninger fra 2025 træder i kraft. Differencen forventes imidlertid ikke at være lineær, men vil derimod afhænge af hvordan CO₂-fremskrivningens faktorer opfører sig når de kombineres med nutidsværdimetodens vækstrater og fremskrivningen af Klimarådets CO₂-ækv.-priser. Dog, er forsyningsomkostninger allerede pålagt en direkte CO₂-afgift ved købet fra værket, og det kan derved være en mulighed at det udelukkende er de indlejrede CO₂-afgifter der pålægges en CO₂-afgift eller CO₂-skyggepris ved beregning af aktives totalomkostninger for at undgå en dobbeltindregning af CO₂-afgifter. Det må derfor betragtes som en mulighed at der udelukkende indføres CO₂-afgifter på byggeprojekter for de indlejrede CO₂-emissioner, dvs. A1-A3, B4 samt C3+C4. Hvis der ses bort fra driftsemissionerne, udgør CO₂-skyggeprisen i stedet hhv. 1,9 % af totalomkostningerne for nedrivning-og-nybyg, 1,6 % for den dybe renovering af det moderne rækkehus og 1,4 % for den dybe renovering af det traditionelle rækkehus. Tilsvarende tal er 3,6 % af anlægsomkostningerne for nedrivning-og-nybyg, 3,8 % for den dybe renovering af det moderne rækkehus og 4,4 % for den dybe renovering af det traditionelle rækkehus. Her ligger skyggepriserne fortsat på omtrentligt samme prisniveau, men rangeringen har ændret sig, så nedrivning-og-nybyg nu har den højeste skyggepris: ca. 450 kr./m² for nedrivning-og-nybyg, 390 kr./m² for den dybe renovering af det moderne rækkehus, samt ca. 400 kr./m² for det traditionelle rækkehus.

De indledningsvise afdækninger i afsnit Økonomisk adfærdsregulering i Danmark peger på, at der findes andre metoder for beregning af CO₂-omkostninger end den anvendte i denne undersøgelse. Fx anvender

Aarhus Kommune en fast CO₂-skyggepris (1.500 kr. pr. ton CO₂ækv) og sammen med den totale CO₂-emission for aktivet, beregnes den samlede CO₂-omkostning som et engangsbeløb uden stillingtagen til hvornår emissionen falder og fremtidige tilbagediskonteringer heraf. I forlængelse heraf, viser sammenstillingen af den samme case beregnet via hhv. CO₂-afgiften inden for det kvotebelagte område i den grønne skattereform og Klimarådets CO₂ækv-priser, at det har en stor betydning hvilken størrelse CO₂-prisen har, og hvordan den fremskrives (se Figur 88-Figur 89). Af samme grund anbefales det at lave følsomhedsanalyser ved anvendelse af pris-fremskrivninger fra Finansministeriets nøgletalskatalog, dette er imidlertid ikke gjort, men kunne for eksempel udføres ved at regne på en høj, flad CO₂-skyggepris over hele beregningsperioden.

Beregningerne af CO₂-skyggepriser i denne vurdering er udelukket baseret på udvalgte resultater fra (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter). Det betyder at CO₂-emissionerne fra renoveringscasene er baseret på generiske cases og tænkte renoveringsgrader, som i større eller mindre grad afviger fra virkeligheden, imens nybyggeri-casen er baseret på en faktisk case. (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter) beskriver hvorledes en række tiltag er taget for at udligne forskellene i beregningsgrundlaget, der imidlertid kan medføre at de beregnede CO₂-skyggepriser udelukkende bør anvendes til at udstikke de store linjer. Resultaterne bør verificeres i et større analyse af faktiske cases, fordelt på relevante bygningstypologier. Omkostninger til nedrivning er derudover beregnet efter de nugældende regler. Kommende krav om selektiv nedrivning kan betyde en øget omkostning til nedrivning.

De kvantitative beregninger peger således på, at følgende parametre har en betydning for, hvor stor en indflydelse CO₂-afgifter har:

- › Valg af beregningsmetode.
- › Valg af prisgrundlag og fremskrivning.
- › Valg af, hvilke emissioner, der lægges til grund for CO₂-afgiften – og hvordan de fremskrives og/eller diskonteres.
- › Sammenligningsgrundlag, f.eks. totaløkonomi eller anlægsøkonomi.

Ovenstående liste viser tydeligt, at der er flere parametre der har en betydning for, hvor stor andel CO₂-afgiften bliver, hvis den beregnes direkte på et byggeprojekt, og derved også hvor stor en indflydelse den vil få. Det betyder at der er forskellige muligheder for hvordan en eventuel CO₂-afgift for byggeriet kan udmøntes, hvilket også afspejles i besvarelserne i afsnit Forventninger til eventuelle CO₂-afgifters effekt. Imens beregningerne undersøger emissionstidspunkter og -typers betydning for den samlede CO₂-afgift set i forhold til de respektive cases total- og anlægsomkostninger, peger det kvalitative data på muligheden for udelukkende af pålægge nybyggeri en CO₂-afgift, så renoveringsvalg fremstår mere attraktive og økonomisk fordelagtige. Ifølge følgegruppens survey-besvarelser (afsnit 4.4.1) kan CO₂-afgifter medføre et øget incitament imod renovering. Dette vil imidlertid afhænge af hvordan man prissætter allerede gennemførte udledninger fra eksisterende bygninger og bygningsdele.

4.4.3.2 *Materialevalg*

Besvarelserne i afsnit Forventninger til eventuelle CO₂-afgifters effekt peger på, en forventning om, at CO₂-afgifter kan påvirke materialevalg imod materialer med lavere udledning og genanvendelse af materialer, og derigennem bidrage til at reducere byggeriets ressourceforbrug og reducere mængden af affald.

I forhold til den nuværende aftale i den grønne skattereform, er det imidlertid svært at gennemskue, hvordan CO₂-afgifterne i den grønne skattereform vil påvirke priserne for byggematerialer. Dels afventes Finansministeriets fremskrivning af CO₂-afgiften uden for kvoteområdet og dels mangler vi at se, hvordan de enkeltstående producenter ommøblerer CO₂-afgiften til prisstigninger og i hvilken grad, det resulterer i innovationsprocesser for at CO₂-optimere deres produktion af materialer. Hvis emissionsfaktorerne nedsættes på energikilder, bør det også slå igennem på materialeudledningerne, som jo stammer fra fremstillingsprocessen brug af energi. Det gør det ikke i dag, fordi man ikke simulere en udvikling i GWP-værdierne. Med andre ord synliggøres det ikke i dag hvordan emissionsfaktorerne fra energikilder medvirker til at drive CO₂-udledningerne ned fra indlejret CO₂.

Resultaterne fra Kvantitativ beregning af CO₂-skyggepriser viser, at de beregnede CO₂-skyggepriser afhænger af emissionernes størrelser, men også emissionstidspunktet. Det betyder at CO₂-tunge materialer per automatik vil resultere i en større CO₂-skyggepris end materialer med et lavere CO₂-aftryk. Den nuværende praksis for LCA-beregninger i bygningsreglementet er, at der ikke medregnes emissioner for genanvendte materialer, og derved vil de heller ikke indgå i en CO₂-skyggeprisberegning, når denne beregnes direkte på LCA-resultaterne.

4.4.3.3 Andre adfærdsændrende muligheder

Det er tydeligt at mulighederne for at synliggøre beslutningers bæredygtighed er mange, og kortlægningen i afsnit Økonomisk adfærdsregulering i Danmark viser at mulighederne i praksis bliver undersøgt og nogle steder implementeret. Én af metoderne til dette er implementeringen af CO₂-skyggepriser ifm. fx tilbud-og-udbud på projekter, en anden variant er variantanalyser som det ses i den frivillige bæredygtighedsklasse (FBK) og ECO-kriteriet i DGNB. I DGNB gives der point for integration af totaløkonomiske analyser og optimering i hhv. de tidlige designfaser og projekteringen. Og selv om dette ikke direkte resulterer i en beregning af skyggepriser eller på lignende vis økonomisk sanktionering af CO₂-emissioner, så understreger en sammenstilling af de økonomiske og miljømæssige udfald for de mulige beslutninger, muligheden for at tage valg, som både er økonomisk såvel som klimavenlige.

Baseret på besvarelserne i afsnit Forventninger til eventuelle CO₂-afgifters effekt ses en skepsis og bekymring for hvorvidt CO₂-afgifter en vejen frem. Selvom regulering flytter beslutninger, opfordres der til at det undersøges om der kan skabes andre incitamentsstrukturer frem for at " [...] piske forandringer igennem". Bekymringen er, bl.a. at en CO₂-afgift kombineret med en betalingsvillighed betyder, at de "forkerte" valg kan legitimeres hvis bare compensationen betales.

Det er derudover tydeligt, at man er bekymret for, at en CO₂-afgift i byggeriet vil medføre en forværring af den ensidige fokus på CO₂ækv, og derved resultere i en suboptimering på bekostning af andre områder. Derfor bør CO₂-afgifterne i øvrigt ses i kombination med andre økonomiske faktorer som fx skat og forsikringer. Sidstnævnte bl.a. pga. en forventet, indledningsvis, stigende risikopræmie på "alternative" byggeskikke som beskrevet i afsnit Risiko.

Det må betragtes som en uønsket effekt, hvis bestræbelserne på at nedbringe byggeriets CO₂ækv betyder renovering af usunde bygninger. Det er med andre ord vigtigt at krav til CO₂-emissioner fra genbrugsmaterialer og eksisterende materialer bygger oven på eksisterende krav og regler om miljøfarlige stoffer. Det betyder med andre ord, at det er vigtigt at have en helhedsorienteret beslutningsproces, når der træffes valg om, hvad der skal ske med et givent aktiv. Hvis der udarbejdes variantanalyser, hvor den klimamæssige profil af beslutninger kobles til den økonomiske såvel som den sundhedsfaglige virkelighed af beslutningerne, bør det alt andet lige betyde, at der træffes beslutninger som sikrer at bygningsmassen fremadrettet er sund, rentabel og klimamæssig forsvarlig.

4.4.3.4 *Afledte effekter af afgifter*

Besvarelsene på interviews såvel som survey i følgegruppen afslører et fokus på projekternes økonomi og hvordan denne påvirkes af CO₂-afgifters effekter på materialevalg og priser samt bekymringer for at suboptimere af CO₂ækv frem for helhedsorienterede beslutninger.

Det bemærkes, at respondenterne ikke kommenterer på hvad de afledte effekter af en CO₂-afgift er, men udelukkende forholder sig til den umiddelbare og nære effektkæde. Respondenterne synes ensidigt at betragte reguleringen som en økonomisk sanktion, og ser således ikke de afledte effekter, en CO₂-afgift kan medføre i form af fx teknologiudvikling og ændrede forbrugsmønstre hos brugerne. Afgifter har potentiale til at drive en teknologiudvikling, hvor fx beton bliver mindre og mindre CO₂-udledende. Dette er muligvis en konsekvens af den underliggende antagelse af, at der ikke sker noget med de konventionelle materialer, men kun de nye biogene materialer. Ved implementering af en CO₂-afgift på bygge- og anlægsprojekter skabes der derudover også et øget pres på systemet for byggesagsbehandling. Det betyder forventeligt et øget behov for ressourcer til dette alt efter hvordan kontrollen dokumentationen kontrolleres.

4.4.4 *Opsummering*

Det er tydeligt at CO₂-afgifter i byggeriet er komplekse, og der er dilemmaer og effekter, der står frem, når interviewrespondenter såvel som følgegruppe forholder sig konkret til betydningen af afgifterne.

På baggrund af beregningen af CO₂-priser og resultaterne af hhv. interview og spørgeskemaundersøgelsen understreges vigtigheden af, at undgå et ensidigt fokus på at suboptimere byggeriet med fokus på at nedbringe CO₂-emissioner via krav til LCA-analyser og skyggepriser, men i stedet får drejet byggebranchen i en retning, hvor potentialerne i den eksisterende bygningsmasse anvendes.

Beregningerne viser, at Klimarådets CO₂ækv-priser giver anledning til skyggepriser der udgør omkring 3 % af de samlede totalomkostninger for de dybe renoveringsscenarier eller nedrivning-og-nybyg-scenarierne, og omkring 1,7 % hvis der ses bort fra drifts-emissionerne fra. Hvis CO₂-afgifterne fra den grønne skattereform i stedet anvendes, vil de procentuelle andele blive væsentligt lavere, og reducerer effekten af indregning af en CO₂-skyggepris. Der er ikke foretaget følsomhedsanalyser for beregningerne, og dette bør gøres, for at teste validiteten af beregningerne. Resultaterne de kvantitative beregninger kan med fordel suppleres med beregninger af andre prisniveauer og fremskrivninger. Her kunne det fx undersøges hvordan resultaterne ville falde ud, hvis der i stedet anvendes en høj enhedspris for CO₂ækv som evt. kan være ens over hele beregningsperioden. En homogen enhedspris vil nemlig betyde, at betydningen af fremtidige emissioner reduceres i en CO₂-skyggeprisberegning via nutidsværdi metoden, og tillægge kortsigtede emissioner højere værdi grundet diskonteringen af fremtidige pengestrømme. Dog kan det diskuteres, om dette vil være en korrekt fremgangsmåde, da der er generel enighed om, at disse afgifter skal stige over tid, både på grund af inflation og skærpede krav.

Nutidsværdierne for renoveringsscenarierne fremkommet på baggrund af generiske priser ved opslag i prisbøger, imens nedrivning-og-nybyg-casen er baseret på en faktisk case. Der er foretaget en række tiltag er taget for at udligne forskellene i beregningsgrundlaget (se (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter)), dog bør resultaterne verificeres i et større analyse af faktiske cases med flere typer af bygningstypologier førend det anvendes til at udlede generelle konklusioner.

De kvalitative besvarelser er udelukkende et udtryk for de interviewede og følgegruppemedlemmernes forventninger. Hvis man ønsker at studere den effekten af CO₂-afgiften, bør vurderingen udvides til at indeholde adfærdsstudier af, hvordan mennesker og organisationer faktisk ændrer adfærd, hvis de

påtrykkes en ydre stimulus, fx en afgift. Her kan studier om fx moms-afgifters adfærdspåvirkning med fordel inddrages som en del af vurderingsgrundlaget.

Udover CO₂-emissioner påvirker byggeriet også andre eksternaliteter som fx biodiversitet. En mulig effekt er, at en øget brug af biogene byggematerialer for at nedbringe emissionen fra byggeriet, potentielt kan påvirke andre miljøfaktorer, f.eks. i værste fald i form af en negativ indvirkning på off-site biodiversitet. Fokus i denne vurdering har været CO₂-afgifters effekt på byggeriet. Dette scope bør udvides til at undersøge hvordan inklusionen af omkostninger forbundet med eksternaliteter vil påvirke rangeringen af forskellige scenarier og medfører et skift i beslutningen.

Sammenfattende kan øgede CO₂-afgifter være en katalysator for en mere bæredygtig tilgang til byggebranchen, hvor renovering får fornyet fokus. Udover potentialet til at ændre beslutninger, kan en CO₂-afgift også medføre en række dynamiske effekter og forandringer, som drives frem af det stigende økonomiske pres, fx udvikling og introduktion af nye materialer eller innovation af de konventionelle, men også ændrede praksisser i alle led af byggeriets værdi- og materialekæder.

4.5 Konklusion

Projektet har identificeret og undersøgt en række økonomiske faktorer, som kan påvirkes af klimakrav i byggeriet. Undersøgelsen er dels foretaget ud fra kilder i litteraturen (afsnit 4.2) dels via brancheinput, som er indhentet ved kvalitative interviews og survey med følgegruppen (se afsnit 4.3 og 4.4.1). Endelig undersøges det, hvilken effekt en evt. CO₂-afgift vil have på projekters totaløkonomi via CO₂-skyggeprisberegninger baseret på resultaterne fra projektets variantanalyser (se afsnit 4.4).

4.5.1 Økonomiske faktors påvirkning

De undersøgte faktorer er opstillet i Tabel 26 med angivelse af de overordnede påvirkningstendenser, som undersøgelsen indikerer.

Tabel 25 Oversigt over de undersøgte faktorer og overordnede påvirkningstendenser kortlagt i projektet, med henvisning til afsnit nr. Samt angivelse af, om der er forskel i effekten på hhv. renovering/nybyg.

Økonomisk faktor	Primær effekt af klimakrav	Effekt på renovering/ nybyg
Rådgivning	Omkostning stiger på byggeprojekt	Ingen indikation af forskel
Entreprise og materialer	Omkostning stiger på byggeprojekt	Som ovenfor
Markedsværdi og leje	Værdi og indtægt stiger ift. ejendomme, der ikke opfylder angivne krav	Som ovenfor
Risiko og forsikring	Omkostning stiger på byggeprojekt	Som ovenfor
Drift (herunder energiomkostninger)	Omkostning falder	Som ovenfor
CO ₂ afgift	Afhænger af afgiftens størrelse og udmøntning.	Afhænger af afgiftspolitik

Som det fremgår af tabellen ovenfor, er den primære påvirkning af en række faktorer direkte knyttet til byggeprojektet, således: rådgivning, entreprise, materialer, risiko og forsikring; Her er konklusionen, at omkostningen stiger, når der indføres klimakrav, eller når klimakrav strammes. Øgede indtægter er

derimod primært knyttet til byggeprojektets levetid, herunder øget lejeindtægt og faldende omkostninger til driftsenergi.

Meromkostninger på op til 10% som følge af klimakrav

Rapporten (Dirchsen, Søder, & Haugbølle, 2024) har i sine litteraturstudier fundet meromkostninger for byggeri certificeret efter ordninger som omfatter aktører med betydning for bæredygtighed, opgjort til mellem 1,0 % og 10,0 %. Omkostningen ikke udspecificeret på enkeltfaktorer. Den generelle tendens bekræftes af såvel projektets informanter som survey, som vurderer, at omkostninger til de nævnte faktorer er øget i "mindre til nogen grad", mest for rådgivning. Input fra informanter og respondenter bekræfter således tendensen fra litteraturstudiet, og disse forventer også, at omkostningerne vil stige, når klimakravene strammes i fremtiden.

Meromkostninger kan betragtes som en investering med afkast

For ejendomsværdi og lejeindtægter (Figur 74) samt for driftsomkostninger, herunder særligt køb af energi, medfører klimakrav en positiv økonomisk effekt for investor, i form af øget ejendomsværdi og lejeindtægter, samt sænkede udgifter til køb af energi.

Dette tolkes således, at de øgede omkostninger ved byggeprojektet, som klimakrav medfører, kan betragtes som en investering, som giver et afkast i form af øget markedsværdi og lejeindtægt, og sparede udgifter til drift.

Det er interessant, at flere informanter også så øgede omkostninger ved f.eks. rådgivning og entrepris i forbindelse med byggeprojekter, som en form for éngangsinvestering, som kom parterne til gode ved kommende projekter.

Det afspejler kompetenceudviklingen, hvor aktørernes processer omstilles til de nuværende og fremtidige krav de skal efterleve. Denne afledte effekt er konstateret i (Dirchsen, Søder, & Haugbølle, 2024).

De øgede omkostninger som skyldes klimakrav, kan altså i større eller mindre grad ses som en investering, der giver afkast enten til projektet i form af øget værdi eller øgede indtægter i aktivets levetid, eller til kommende projekter, i form af sparede omkostninger.

Effekterne aftager efterhånden

De beskrevne økonomiske effekter forventes at aftage over tid. Det gælder såvel den øgede ejendomsværdi og lejeværdi, som vil aftage, når flere og flere ejendomme kan opvise tilsvarende fordele, som øgede omkostninger, som forventes at falde, når konkurrencen øger tilgangen til materialer med lav klimabelastning, og når stigende erfaring og nye værktøjer begrænser de stigende omkostninger til rådgivning (se Figur 84). Dog vil et nedsat energiforbrug, som følger af investering i f.eks. bedre isolering eller i særlige energianlæg, i sagens natur, være vedvarende i konstruktionens levetid.

Det er muligt at bygge billigt og klimavenligt

Der er som nævnt klare indikationer på, at klimakrav fører til forøgede projektomkostninger inden for rådgivning, entrepris og materialer, samt risiko. Samtidig ses det af [88], som sammenstill

klimapåvirkning og pris pr m² for 32 byggerier med DGNB-certificering, at der ved dette sammenligningsgrundlag ikke kan konstateres en klar tendens for sammenhængen mellem kg CO₂ækv/m² og kr/m² i et livstidsperspektiv for disse byggerier. Med forbehold for, at LCA og LCC ikke udarbejdes på præcist samme grundlag, er det dog interessant at notere, at rapporten viser eksempler på byggeprojekter med en kombination af et lavt klimaaftryk og en lav pris. Det vil sige, at økonomien ikke er eller bør være en hindring for at bygge med lavt klimaaftryk. Det må noteres, at disse data stammer fra nybyggeri. Der ses dog umiddelbart ingen grund til, at et tilsvarende billede ikke skulle gælde for renovering.

Det må også overvejes, om den lave pris i de pågældende byggerier er opnået på bekostning af andre kvaliteter end lavt klimaaftryk. Et sådant muligt trade-off er identificeret i interviewundersøgelsen og beskrives nedenfor.

Risiko for trade-off mellem pris, klima og arkitektur

Som ovenfor nævnt gives der eksempler på billigt nybyggeri med lav klimaeffekt, hvilket umiddelbart kunne tolkes som om, at øgede økonomiske omkostninger kan undgås. Datagrundlaget (DGNB certificerede byggerier) giver dog ikke mulighed for at vurdere, om de pågældende projekter f.eks. vil være dyre at vedligeholde eller have en lavere holdbarhed eller faktisk levetid, hvor betragtningsperioden er 50 år for LCA og LCC.

Informanter påpegede, at det er svært at opnå både lavt klimaaftryk, lav pris og god arkitektur. Disse informanter så æstetik og arkitektur som en kvalitet, som kunne risikere at blive nedprioriteret, når man både skulle overholde en budgetramme og klimakrav.

Økonomisk påvirkning forventes omtrent ens for renovering og nybyggeri

De litteraturbaserede undersøgelser har taget udgangspunkt i nybyggeri, men der ses ikke umiddelbart nogen grund til, at de beskrevne påvirkninger er væsentligt anderledes for renoveringer. Input fra interviews og survey viser ingen signifikante forskelle mellem renovering og nybyggeri for de undersøgte økonomiske forhold. Der sås dog en tendens til større usikkerhed ved bedømmelsen af renovering, idet der sås lidt større spredning og flere "ved ikke" svar i survey, og nogle informanter også udtrykte større usikkerhed i forhold til renovering. Der blev givet udtryk for, at variationen i omkostninger er større ved renoveringsprojekter, og at det derfor er sværere at sige noget generelt om de økonomiske forhold, såvel som om andre forhold ved renovering.

Den eneste undtagelse herfra er en eventuel CO₂ afgift på byggeprojekter. Her vil konsekvensen for renovering hhv. nybyggeri afhænge af afgiftspolitikken. Undersøgte effekter på prisen af renovering og nybyggeri gennemgås nedenfor.

4.5.2 Økonomisk effekt af CO₂-afgift – CO₂-skyggepris

CO₂-afgifter, undersøgt i form af CO₂-skyggepris, er undersøgt som instrument til at regulere emissioner fra byggebranchen.

Interviews og survey har været benyttet for at få en indikation af, hvor stor en eventuel CO₂-afgift forventes at skulle være, for at branchens adfærd ændres i retning af at vælge løsninger med mindre klimaaftryk. I følgegruppen mente flertallet af dem der besvarede en survey, at afgiften skal udgøre 3% eller mere af de samlede omkostninger for at have en effekt i form af ændrede beslutninger, men udtrykte samtidig en stor

spredning i vurdering af afgiftens størrelse. De kvalitative interviews udtrykte tilsvarende usikkerhed overfor størrelsen af en afgift ift. at påvirke beslutninger. En informant som pegede på en lav afgiftsandel på 1-2% som effektiv, henviste til, at selv små renteændringer har stor betydning for byggeprojekter. En anden informant så det fra en helt anden vinkel og mente, at en afgift blot vil blive en del af det samlede regnestykke for projekter og dermed ikke ændrer adfærd, men blot bevirker en prisstigning. Disse udtalelser og forventninger kommer fra en ganske lille gruppe af informanter, og kan derfor ikke lægges til grund for en konklusion om effekten af en eventuel CO₂-afgift. Men udtalelserne identificerer de to mulige udfald af en afgift: Adfærdsændring for at nedsætte afgiften, eller accept af afgiften som en øget omkostning uden adfærdsændring.

Projektet har beregnet den økonomiske effekt af en CO₂-skyggepris med udgangspunkt i variantstudier af LCA og LCC og Klimarådets CO₂ækv-pris.

Det må tages det forbehold for beregning af skyggeprisens økonomiske effekt, at LCA og LCC for renovering og nedrivning er baseret på generiske cases, hvor LCC tager udgangspunkt i V&S prisbøger, mens der for nybyggeri er taget udgangspunkt i en faktisk nybyggeri-case med faktiske priser. Dette giver en usikkerhed ved sammenligning af effekten af CO₂-skyggepriser på byggeriets nutidspris.

Når Klimarådets CO₂ækv-pris indregnes i projektets scenarier for traditionelle og moderne rækkehuse, tegner der sig et billede af, at skyggeprisens andel af den totale nutidsværdi i kr/m² udgør fra 2,7% til 3,4%, lavest andel ved scenarierne dyb renovering og nedrivning med nybyg, højeste andele ved scenarierne baseline og let renovering. Det fremgår samtidig, at den dybe renovering er de absolut dyreste scenarier, med eller uden CO₂-skyggepris.

CO₂-skyggeprisen er her beregnet ud fra emission fra alle faser i LCA. Da driftsenergien (fase B6) allerede er pålagt CO₂-afgift, og da emissionsfaktorerne fra 2025 bliver væsentligt lavere, hvorved en CO₂-afgift pålagt hvert ton CO₂ dermed vil få en langt mindre påvirkning af priserne, er CO₂-skyggeprisens totale andel beregnet for alle LCA-faser undtagen fase B6, svarende til at en evt. CO₂-afgift ikke pålægges driftsenergien, som allerede er afgiftsbelagt. I så tilfælde vil CO₂-skyggeprisen udgøre fra 1,4 til 1,9% af nutidsværdien inklusive skyggeafgift.

Her nås altså et niveau, som jf. de udtrykte forventninger fra survey og interviews er under det niveau, som kan få en effekt på beslutninger. Det kan jf. tabellerne i Sammenligning af CO₂-omkostninger i variantanalyser for renoverings- og nybyg-scenarier konstateres, at afgiften ikke ændrer på den økonomiske rangering af scenarierne, dvs. den ændrer ikke på, hvad der er dyreste hhv. billigste scenarie. Det er naturligvis en politisk beslutning, om og hvordan en CO₂-afgift i givet fald skal pålægges byggeprojekter. Herunder kan det besluttes, om bestemte typer af projekter, som man måtte ønske at fremme økonomisk, skal fritages for afgift. Beregningseksemplerne i nærværende projekt giver en indikation af den økonomiske effekt, hvis der tages udgangspunkt i Klimarådets anbefalede pris på 1500 kr/ton CO₂ækv.

Anvendes der i stedet en homogen enhedspris, vil det få den effekt, at betydningen af fremtidige emissioner reduceres i en CO₂-skyggeprisberegning via nutidsværdi metoden, og derved lægges et større pres på de kortsigtede emissioner.

4.5.2.1 Økonomiske påvirkninger af CO₂ afgift vs. CO₂ grænse krav

Projektets undersøgelser viser dels, at klimakrav i form af CO₂-grænsekrav og grænser for bygningers energiforbrug kræver investeringer af forskellig art, som hæver omkostningerne ved byggeprojekter. De øgede omkostninger modsvares i nogen grad af øget ejendomsværdi og højere lejeindtægter. Begge effekter vurderes at aftage over tid.

Undersøgelser af CO₂-afgifter direkte på byggeprojekters CO₂-udledninger, viser, at med projektets udgangspunkt i Klimarådets anbefalede CO₂ pris og projektets variantanalyser, vil en CO₂-afgift ikke ændre ved den prismæssige rangering af scenarier. Det er ikke det samme som at sige, at afgiften ikke kan påvirke valg i det enkelte projekt.

Virkemåden og effekten af hhv. klimakrav og klimaafgift er skitseret i Tabel 27.

Tabel 26 Principoversigt over instrumenter og forventet effekt på hhv. CO₂-emission og økonomiske faktorer i byggeprojekter.

Instrument	Effekt på:	
	CO ₂ emission	Økonomiske faktorer
Grænseværdi for CO ₂ emission	Sikrer at kravgrænsen overholdes, men er ikke driver for at nå længere ned i emissioner	Påvist øgede omkostninger ved visse faktorer for at overholde grænseværdi Opvejes helt eller delvist af øget værdi og lejeindtægt
Afgift på CO ₂ emission	Driver for at emissioner sænkes "mest muligt"	Øgede omkostninger til at sænke emissioner. Opvejes helt eller delvist af sparet afgift, samt af øget værdi og lejeindtægt
	CO ₂ emission uændret	Ingen omkostning til at sænke emission – i stedet betales afgiften

Det ses, at afgift på CO₂ emissioner kan få to udfald, afhængig af afgiftens størrelse. Dette blev også udtrykt af en informant, idet det blev udtalt, at en afgift måske blot ville blive betalt, og dermed blive en øget omkostning, i stedet for at føre til lavere emissioner.

Undgå ensidigt fokus på CO₂

Det er tydeligt, at såvel CO₂-grænseværdier som CO₂-afgifter i byggeriet er komplekse, og der er dilemmaer og effekter, der står frem ved de nærmere analyser og når informanter og respondenter forholder sig konkret til betydningen af afgifterne.

En væsentlig pointe fra interviewundersøgelsen er, at man bør undgå et ensidigt fokus på CO₂ækv, både når det handler om grænseværdier og afgifter. Med et for ensidigt fokus på at nedbringe CO₂-emissioner via krav til LCA-analyser og skyggepriser, er der risiko for suboptimeringer vedr. ressourceforbrug, gældende for både energi og materialer, samt andre værdier og kvaliteter af byggerier, herunder at sikre at potentialerne i den eksisterende bygningsmasse ikke mistes. Det kan her være relevant at nævne, at når LCA-analysen gennemføres, genereres der ud over resultater for GWP også resultaterne for en lang række andre miljø-indikatorer, som kunne bibringe en større forståelse for byggeriets samlede påvirkning af miljøet.

5 Bilag

Bilagsoversigt

Bilag A	Metodebeskrivelse for LCA variantanalyser.....	196
	A.1 Bygningsbeskrivelser	
	A.2 Livscyklusfaser	
	A.3 Miljødata	
	A.4 Drift	
	A.5 Levetider	
	A.6 Biogene materialer	
Bilag B	LCA-resultater.....	204
Bilag C	LCAbyg filer.....	205
Bilag D	Variantanalyser – LCC metode.....	206
	D.1 Introduktion	
	D.2 Metodebeskrivelse	
	D.3 Beregningsforudsætninger	
	D.4 Levetider	
	D.5 Restværdi	
	D.6 Liste over antagelser og afgrænsninger	
	D.7 Fremgangsmetode	
	D.7.1 Renoveringsscenarier	
	D.7.2 Nedrivning og nybyg-scenarie	
Bilag E	Datagrundlag for LCC.....	216
	E.1 Enhedspriser for bygningsdele og renoveringstiltag	
	E.2 Nedrivning	
	E.3 Rådgivning, bygherre og byggeplads	
	E.4 Forsyningsomkostninger	
	E.5 Enhedspriser for forsyning	
	E.5.1 Estimat af vandforbrug	
	E.6 Renholdomkostninger	
Bilag F	Resultater.....	223
	F.1 Restværdier	
Bilag G	Interviews og survey i afsnit 4.....	226
	G.1 Introduktion	
	G.2 Datagrundlag og metode	
	G.2.1 Interviews med spørgeskemaer	
	G.2.2 Survey i projektets følgegruppe	
	G.3 Interviewguide til bygherrer, entreprenører og rådgivere	
	G.4 Spørgeskema til interviews	
	G.5 Survey til følgegruppe	
Bilag H	CO ₂ afgift. Metode og datagrundlag.....	239
	H.1 Introduktion	
	H.2 Metode for beregning af CO ₂ -afgifter	
	H.2.1 Principper for beregning af CO ₂ -afgifter	
	H.2.2 CO ₂ -afgifter i TCO-beregninger	
	H.2.3 Beregningsforudsætninger	

- H.2.4 Metode for kobling af LCA og TCO-beregninger
- H.3 Enhedspriser for CO₂ækv 245
- H.4 Beregninger og resultater, CO₂-skyggepriser
 - H.4.1 Nedrivning og nybyg – Grøn skattereform
 - H.4.2 Nedrivning og nybyg – Klimarådets priser
 - H.4.3 Traditionel – Baseline
 - H.4.4 Traditionel – Let
 - H.4.5 Traditionel – Mellem
 - H.4.6 Traditionel – Dyb
 - H.4.7 Moderne – Baseline
 - H.4.8 Moderne – Let
 - H.4.9 Moderne – Mellem
 - H.4.10 Moderne – Dyb

Bilag A Metodebeskrivelse for LCA variantanalyser

I afsnit 1 er den mest ideelle metode for hvordan man laver LCA for renovering foreslået. Denne metode inkluderer bl.a. ekstra livscyklusfaser der endnu ikke er omfattet af BR18 klimakravene, men som man forventer på sigt vil blive inkluderet i fremtidige opdateringer af kravene f.eks. A4-5 transport og opførelse for nye materialer og C1-2 nedrivning/nedtagning og transport for eksisterende materialer der nedrives. For at kunne sammenligne renovering med nedrivning og nybyggeri er det valgt at anvende metoden iht. BR18 klimakravet (herunder livscyklusfaser jf. §297 og bygningsmodellen jf. Bilag 2 Tabel 6). Metoden beskrevet i de følgende afsnit afviger derfor fra den ideelle metode der anbefales i DP1.

A.1 Bygningsbeskrivelser

Materiemængderne til LCA-beregningerne stammer fra opmålinger og mængdeudtræk fra de faktiske cases' tegningsmateriale. De steder hvor de faktiske cases har afvejet fra den tilsvarende generiske typologi er der foretaget tilpasninger i materialetyper- og mængder. F.eks. hvis der i den faktisk case har et uopvarmet loftrum, men det er vurderet at der for størstedelen af bygningsmassen inden for den pågældende typologi og periode vil have et opvarmet beboet loftrum eller at vinduerne den faktisk case er 2-lags træramme vinduer men det vurderes at de på nuværende tidspunkt for de fleste bygninger indenfor den pågældende typologi vil være skiftet til 3-lags termoruder med træ/alu ramme.

Nedenfor gives en overordnet beskrivelse af de konstruktionsopbygninger af renoveringscasene dvs. tykkelser og materiale lag af konstruktioner for hver af de tre bygningstypologier indenfor de to tidsperioder, som der er anvendt til både LCA, LCC og energirammeberegningerne. Detaljer om f.eks. betontype og armeringsgrad findes i Bilag C i LCAbyg-filerne. Da der er udvalgt faktiske nybyggeri cases med henblik på at de skal repræsentere det klimamæssige gennemsnit for den pågældende typologi (hhv. parcelhus, rækkehus og etagehus) pba. [9] er konstruktionsopbygningerne mindre vigtige for sammenligning med renovering. Derfor er nybyggeriernes konstruktionsopbygninger ikke beskrevet nedenfor. Alle casene er anonymiserede.

Tabel 27 Konstruktioner, installationer og materialer i det traditionelle og moderne parcelhus.

Parcelhuset	Traditionelt	Moderne
Etager	1½	1
Areal	109,5 m ²	143,1 m ²
Byggeår	1930-40	1975-80
Kælder	Ja	Nej
Vinduer	Sprossede Træ ramme/karm, 2-lags termorude Murede false	Træ ramme/karm, 2-lags termorude
Ydervægge	Murværk i tegl 29 cm, 78% tegl/22% mørtel Hulmur, 70 mm mineraluld, løsfyld	35 cm hulmur, teglmur i facade, porebeton bagmur 100 mm, 130 mm mineraluldsbats
Skillevægge	Tung indervæg: Fuldmuret, bærende teglmur, 110 mm (1/2-sten) med 1cm puds på begge sider Let indervæg: Bræddevæg med puds (2x25mm)	Porebeton 100 mm spartlet Fliser på badeværelse

Parcelhuset	Traditionelt	Moderne
	rubrædder, rørpuds (kalk og sand) blandet med siv. Fliser på badeværelse	
Tag og tagbeklædning	Hanebåndsspær, tegltagsten, understrøget 50 mm isolering vingemåtter	Gitterspær, "eternit" bølgeplader
Isolering tag/loft	Træbjælkelag, indskudsler	100 mm isoleringsbats
Loft	Pudsede	Gipsplader på forskalling og dampspærre i plast
Etagedæk	Træbjælkelag, indskudsler	Træbjælkelag, indskudsler
Dæk over kælder	Træbjælkelag, indskudsler	-
Terrændæk	Klaplag beton, 100mm mineraluld, dampspærre	100 mm beton 100 mm isolering 100 mm Letklinker
Gulve	Brædegulve Fliser i bad Pudset betongulv (kælder)	Trægulve på strøer Fliser i bryggers og bad
Trapper	Træ indv. Insitu beton udv.	-
Fundament	Beton, uisolaret	2 letklinkerblokke øverst, 2x 200 mm højde. Beton (C25) med 5kg armering/m, 10 mm randisolering i EPS
Døre	Massive trædøre både indvendigt og udvendigt	Indv. Døre er pladedøre Udv. Døre er træ/glas
Varmekilde	Fjernvarme	Fjernvarme
Varmerør	Sorte jernrør, isoleret	Kobberrør
Radiator	Pladeradiator (55-35 degC) under alle vinduer og på badeværelse.	Pladeradiator (55-35 degC) under alle vinduer og på badeværelse. Konvektor ved store vinduer
Varmt brugsvand	110L varmtvandsbeholder	110L varmtvandsbeholder
Vandrør	50% Galvaniseret jernrør 25% PEXrør 25% Kobberrør	10% Galvaniseret jernrør 20% PEXrør 60% kobberrør 10% alu-PEXrør
Afløbsrør	Støbejern	-
Ventilationsanlæg	Kontrolventilation/udsugning	Kontrolventilation/udsugning
Ventilationskanaler	Galvaniseret, isoleret	Galvaniseret, isoleret

Tabel 28 Konstruktioner, installationer og materialer i det traditionelle og moderne rækkehus.

Rækkehuset	Traditionelt	Moderne
Etager	1½	1
Areal	990	399
Byggeår	1950-60	Ca. 1980

Rækkehuset	Traditionelt	Moderne
Kælder	Krybekælder	Nej
Vinduer*)	Træ ramme/karm, 2-lags termorude Murede false	Træ ramme/karm, 2-lags termorude
Ydervægge	Murværk i tegl 29 cm, 78% tegl/22% mørtel Hulmur, 70 mm mineraluld, løsfyld	35 cm hulmur, teglmur i facade, porebeton bagmur 100 mm, 125 mm mineraluldsbats
Skillevægge	Tung indervæg: Fuldmuret, bærende teglmur, 110 mm (1/2-sten) med 1cm puds på begge sider Let indervæg: Bræddevæg med puds (2x25mm rubrædder, rørpuds (kalk og sand) blandet med siv). Fliser på badeværelse	Porebeton 100 mm spartlet Fliser på badeværelse
Tag og tagbeklædning	Hanebåndsspær, tegltagsten, understrøget 50 mm isolering vingemåtter	Tegltag med ret lav hældning, gitterspær, uudnyttet tagrum
Isolering tag/loft	Træbjælkelag	200 mm isoleringsbats
Loft	Pudsede	Gipsplader på forskalling og dampspærre i plast Malet
Etagedæk	-	-
Dæk over kælder	Træbjælkelag, indskudsler	-
Terrændæk	Klaplag beton, 100mm mineraluld, dampspærre	100 mm beton 60 mm trykfast isolering 100 mm kapillarbrydende (letklinker)
Gulve	Bræddegulve Fliser i bad	Parket, svømmende Fliser i bad
Trapper	Træ	-
Fundament	Beton	Beton med letklinkerblok øverst
Døre	Massive trædøre både indvendigt og udvendigt	Indv. Døre er pladedøre Udv. Døre er træ/glas
Varmekilde	Fjernvarme	Fjernvarme
Varmerør	Sorte jernrør, isoleret	Kobberrør
Radiator	Pladeradiator (55-35 degC) under alle vinduer og på badeværelse.	Pladeradiator (55-35 degC) under alle vinduer og på badeværelse. Konvektor ved store vinduer
Varmt brugsvand	110L varmtvandsbeholder	110L varmtvandsbeholder
Vandrør	50% Galvaniseret jernrør 25% PEXrør 25% Kobberrør	10% Galvaniseret jernrør 20% PEXrør 60% kobberrør 10% alu-PEXrør
Afløbsrør	Støbejern	-

Rækkehuset	Traditionelt	Moderne
Ventilationsanlæg	Kontrolventilation/udsugning	Kontrolventilation/udsugning
Ventilationskanaler	Galvaniseret, isoleret	Galvaniseret, isoleret

Tabel 29 Konstruktioner, installationer og materialer i det traditionelle og moderne etagehus

Etagehuset	Traditionelt	Moderne
Etager	3	4
Areal	1507,8	3291,6
Byggeår	Ca. 1930	1970-80
Kælder	Ja	ja
Vinduer*)	Trævindue med 2-lags termoruder	Trævindue med 2-lags termoruder.
Ydervægge	Murværk i tegl 29 cm, 78% tegl/22% mørtel Hulmur, 70 mm mineraluld, løsfyld	Beton sandwich elementer med 100mm EPS Kælderydervæg: 200mm beton, 100mm EPS
Skillevægge	Pudset teglmur 13 cm, bræddevæg med puds	Betonvægge Letklinkerbeton Gipsvægge Skabsvægge (kælderrum)
Tag og tagbeklædning	Hanebåndsspær, tegltagsten, understrøget	Fladt tag, beton med pap
Isolering tag/loft	Træbjælkelag, indskudsler, 50 mm mineraluld	150 mm mineraluld
Loft	Pudsede	Malet beton
Etagedæk	Træbjælkelag, indskudsler	Beton
Dæk over kælder	Træbjælkelag, indskudsler	Beton
Terrændæk	Klaplag beton, 100 mm mineraluld	100 mm beton 100 EPS
Gulve	Bræddegulve Terrasso på bad Malet beton i kælder	Parket, svømmende Fliser i bad
Trapper	Terrasso/beton	Beton
Fundament	Beton	Beton
Varmekilde	Fjernvarme	Fjernvarme
Varmerør	50% ubehandlet blødstøbt metal 50% kobberør Isoleret	50% ubehandlet blødstøbt metal 50% kobber Isoleret
Radiator	Pladeradiator (55-35 degC) under alle vinduer og på badeværelse.	Pladeradiator (55-35 degC) under alle vinduer og på badeværelse.
Varmt brugsvand	500L varmtvandsbeholder Cirkulationspumpe <50W	500L varmtvandsbeholder Cirkulationspumpe <50W
Vandrør	50% galvaniseret jernrør 10% PEX 15% Alu-PEX 25% Kobber Isoleret	50% galvaniseret jernrør 10% PEX 15% Alu-PEX 25% Kobber Isoleret

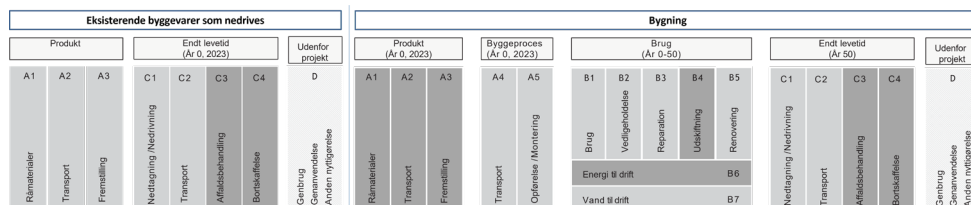
Etagehuset	Traditionelt	Moderne
Afløbsrør	Støbejernsrør	Støbejernsrør
Ventilationsanlæg	Kontrolventilation/udsugning	Kontrolventilation/udsugning
Ventilationskanaler	Galvaniseret stål	Galvaniseret stål

Tabel 30 Konstruktioner og materialer i nybyg casene

Parcelhus	<p>Enfamilie typehus i ét plan, længehus med saddeltag</p> <p>Opført år 2022, areal 170 m²</p> <p>Gitterspærtag med betontagsten, hulmur porebeton/teglmurværk, indervægge i porebeton</p>
Rækkehus	<p>Rækkehuse opført i 2 etager, i "stave" med 4 eller 5 boliger i hver stav</p> <p>Opført år 2022, i alt 42 boliger, boligareal i gennemsnit 107 m²</p> <p>Saddeltag med lav hældning, facader i teglmurværk</p>
Etagehus	<p>Opført fra år 2023 (opføres i etaper),</p> <p>Areal 10.092 m², 126 lejligheder i 8 blokke</p> <p>3/4 etagers boligblokke med saddeltag med betontagsten, facade teglmurværk</p>

A.2 Livscyklusfaser

Der regnes på de samme livscyklusfaser som for nybyg iht, BR18 klimakravene: produkt A1-A3, udskiftning B4 samt affaldsbehandling og bortskaffelse C3-C4 (se Figur 94 nedenfor). Ved B4, omfatter udskiftning både produktionen A1-3 af den nye byggevarer der udskiftes med og affaldsbehandling og bortskaffelse C3-4 af den byggevarer der skal udskiftes. For eksisterende byggevarer som nedrives medregnes affaldsbehandling og bortskaffelse (her kaldet Ex.C3-4), selvom denne tilhører forrige produktsystem jf. EN15804:2019 og EN16485:2014, men resultatet heraf opgøres separat fra C3-4 for at kunne redegøre for hvor stor en andel af klimapåvirkningen nedrivning står for, sammenlignet med klimapåvirkningen fra nybyg. For eksisterende byggevarer medregnes A1-A3 ikke da disse tilhører forrige produktsystem jf. EN15978, dvs. A1-3=0. Energi til drift B6 for scenarierne regnes på baggrund af energirammeberegninger. Energirammeberegningerne regnes fra år 2025. Biogene materialer, både nye og eksisterende, regnes med negativ udledning i A1-3 og positiv udledning ved bortskaffelse i C3-4 jf. EN15804:2019 og EN16485:2014.



Figur 96 Livscyklusfaser der medregnes markeret med mørkegrå

A.3 Miljødata

LCA-beregningerne er foretaget i LCAByg 2023.2 (v5.4.0.1), som er opdateret iht. BR18, med startår i år 2024. Startåret er korrigeret i excel efterbehandlingen af resultaterne således at startåret er 2025 for at sikre at der er overensstemmelse med at der er valgt at anvende fremskrevne emissionsfaktorer for energien fra 2025. Til beregning af renoveringsscenarierne anvendes scenariefunktionen i LCAByg. Da nybyggericasene er lavet i en ældre version af LCAByg opdateres de til den LCAByg 2023.2 (v5.4.0.1), som der er valgt at anvende i projektet. Nybyggericasene er krydstjekket ift. mangler jf. BR18 Bilag 2 Tabel 6 Bygningsmodellen. Eventuelle mangler er rettet i casene. F.eks. er standardsinstallationsværdierne fra BR18 anvendt hvis nybyggericasene har manglet de tekniske installationer.

LCAByg anvender den tyske og generiske database Ökobaudat 2020. Der tages udgangspunkt i LCABygs standard konstruktionsopbygninger i renoveringsbiblioteket. Biblioteket er primært dækkende for de traditionelle bygningstypologier, men har mange mangler ift. de moderne typologier. Derfor er standardkonstruktionsopbygningerne tilpasset de steder hvor det vurderes at afvige fra de typiske bygningsdelsopbygninger for hver typologi, periode og renoveringsscenarie.

Mængdeopgørelser til LCA-beregningerne f.eks. areal af vinduer, ydervægge, tag mm. bygger på opmålinger af de faktiske cases, som er vurderet til at være repræsentative for den givne typologi og periode, med eventuelle tilpasninger hvis det er vurderet at casen afviger fra den gængse typologi.

Miljødata på biomaterialerne

A.4 Drift

Det valgt at anvende nyeste fremskrevne emissionsdata for driftsenergien fra [81], som vil være gældende fra 1. januar 2025 iht. Social- og Boligstyrelsen. Den fremskrevne emissionsdata antager en gradvist stigende andel af fornybar energi i energinettet i løbet af den givne tidsperiode. Alle cases er beregnet med 2025 som startår. Disse emissionsdata giver en langt lavere klimapåvirkning fra driftsenergien end de nuværende emissionsdata iht. BR18.

Det er svært at regne et gennemsnit for driftsenergien der er repræsentativt indenfor hver typologi, da der er flere faktorer der spiller ind. Driftsenergien og energi-mærker er derfor baseret på energirammeberegninger af nybyggericasene og de generiske cases energibehov pba. af bygningsbeskrivelserne i afsnit A.1 beregnet i Be18 beregningsprogrammet for hver bygningstypologi, tidsperiode og renoveringsscenarie baseret på de samme forudsætninger som de tilsvarende LCA-beregninger.

For samtlige cases er der forudsat fjernvarme, som varmforsyningskilde. Det er baseret på, at størstedelen af det opvarmede etageareal i Danmark er forsynet med fjernvarme³. Valg af energikilde til opvarmning er meget lokalitetsbestemt, da det afhænger af lokale forsyningsforhold, som varierer meget. De fleste matrikler er forsynet med enten fjernvarme (66%, [91]) eller naturgas. De resterende områder vil være el-opvarmet f.eks. med varmepumpe, oliefyr eller andre opvarmningsformer. Eventuelle solceller i de anvendte nybyggeri- og renoveringscases er ikke medregnet. Valg af forsyningskilde undersøges i Hovedrapportens afsnit 2 for det moderne parcelhus i hoved-rapporten. Forudsætningerne for energiramme beregningerne til dette ses i Tabel 33 nedenfor:

³ [NYT: Fjernvarme og naturgas mest udbredt opvarmning - Danmarks Statistik \(dst.dk\)](https://dst.dk)

Tabel 31 Energirammeforudsætninger for skift af energikilde i det moderne parcelhus

Mellem renovering (naturgas)	Mellem renovering (varmepumpe)	Dyb renovering (naturgas)	Dyb renovering (varmepumpe)
<p>Ældre gaskedel</p> <p>Antal kedler: 1 stk. Nominel effekt: 20 kW Andel af VBV: 1,0</p> <p><u>Fuldlast (100%)</u> Virkningsgrad: 0,85 Kedeltemperatur: 70 grader Korrektion: 0,001</p> <p><u>Dellast (30%)</u> Virkningsgrad: 0,83 Kedeltemperatur: 50 grader Korrektion: 0,003</p> <p>Tomgang (0%) Tabsfaktor: 0,02 Andel til rum: 0,85 Temperaturdifference: 30 grader</p> <p>Driftsforhold: Kedeltemperatur, min: 20 grader Temp.faktor: 0 Blæser mv: 100 W EL til automatik: 7,5 W</p> <p>Håndbog for energikonsulenter 2008 version 3 Bilag 4.4.2 Overslagsværdier for kedeltab i små gasfyrede kedler</p>	<p>Ny varmepumpe</p> <p>Bosch Compress 3000 AWMS 6 kW Luft til vand Indbygget VVB</p> <p>Datablade vedlagt på Sharepoint.</p>	<p>Ældre gaskedel</p> <p>Antal kedler: 1 stk. Nominel effekt: 20 kW Andel af VBV: 1,0</p> <p><u>Fuldlast (100%)</u> Virkningsgrad: 0,85 Kedeltemperatur: 70 grader Korrektion: 0,001</p> <p><u>Dellast (30%)</u> Virkningsgrad: 0,83 Kedeltemperatur: 50 grader Korrektion: 0,003</p> <p>Tomgang (0%) Tabsfaktor: 0,02 Andel til rum: 0,85 Temperaturdifference: 30 grader</p> <p>Driftsforhold: Kedeltemperatur, min: 20 grader Temp.faktor: 0 Blæser mv: 100 W EL til automatik: 7,5 W</p> <p>Håndbog for energikonsulenter 2008 version 3 Bilag 4.4.2 Overslagsværdier for kedeltab i små gasfyrede kedler</p>	<p>Ny varmepumpe</p> <p>Bosch Compress 3000 AWMS 6 kW Luft til vand Indbygget VVB</p> <p>Datablade vedlagt på Sharepoint.</p>

A.5 Levetider

For nye materialer er levetiden sat iht. BR18 klimakravet jf. BUILD's levetidstabel [118]. Eksisterende blivende materialer i en bygning, der renoveres, er vigtige for at bygningen kan opretholde sin funktion som bygning. Derfor bør disse indgå i LCA'en for et konkret renoveringsprojekt for at det kan sammenlignes på ligefod med et nybyggeri. Pba. metoden beskrevet i DP1 notat skal restlevetider for de blivende materialer opgøres pba. en vurdering af bygningens tilstand og indgå i beregningerne. Hvis restlevetiden er kortere end beregningsperioden på 50 år, indgår en eller flere udskiftning under livscyklusfase B4. Men da der arbejdes med generiske cases, som skal repræsentere en større del af den eksisterende bygningsmasse, bør der også

arbejdes med generaliserede restlevetider. Dette er dog en udfordring da f.eks. tidspunkt for vinduesudskiftninger kan variere fra en case til en anden indenfor samme typologi. Frem for at fokusere på restlevetiden og tidspunktet for byggevarens udskiftning er det i stedet valgt at fokusere på antallet af udskiftninger som er det der har indflydelse på det totale LCA-resultatet. For størstedelen af bygningsdelene er anvende teoretiske restlevetider i LCA-beregningerne jf. BUILDS levetidstabel [118], dvs. de har samme antal udskiftninger som når der regnes på nye bygningsdele. Dette vurderes at være realistisk idet de bevarede bygningsdele primært består af de bærende elementer som forventes at holde bygningens levetid ud. De eneste bygningsdele, hvor det er valgt at anvende en estimeret restlevetid, er på vinduer og installationerne, da det vurderes at disse bygningsdele på nuværende tidspunkt vil være blevet skiftet ud, særligt i de traditionelle bygningstypologier. Restlevetider anvendt i LCA og LCC-beregningerne:

- › For varmekilde, varmerør og radiatorer er restlevetiden vurderet til 15 år, for de resterende installationer er restlevetiden vurderet til 10 år.
- › For rude og EPDM-tætning i vinduer er restlevetiden vurderet til 15 år, og for de resterende komponenter i vinduerne er restlevetiden vurderet til 40 år.

A.6 Biogene materialer

Biomaterialer optager kulstof i løbet af deres vækstperiode og frigiver den til atmosfæren igen når det for eksempel rådner eller afbrændes ved bortskaffelse. Dette kulstof kaldes for biogent karbon. LCAByg tager højde for optagelsen og frigivelsen af det biogene karbon fra biomaterialer i LCA-beregningen jf. EN15978:2012 på følgende måde: klimapåvirkningen fra biobaserede materialer beregnes som en negativ emission i produktfasen A1-3 for at tilgodese biomaterialets evne til at optage og lagre CO₂ og regnes derefter som en positiv emission ved endt levetid C3-4 for at repræsentere frigivelsen af CO₂'en ved forrådnelse eller afbrænding. Det vil sige, at henover beregningsperioden på 50 år vil det biogene karbon totalt set give 0.

Til de biogene varianter i afsnit 3.2.4 i hovedrapporten er isoleringsmængder og -evner bibeholdt fra de oprindelige LCA-beregninger fra afsnit 3.1.5. i hovedrapporten, hvor der anvendes konventionelle materialer, dvs. i de biogene varianter er der ingen ændringer i driftsenergien fra beregningerne i afsnit 3.1.5. De valgte biomaterialer er:

- › Der anvendes papiruldsisolering i stedet for mineraluld (i det omfang, det er muligt at udskifte. F.eks. er tagisolering i fladt tag på Etagehus Moderne trykfast mineraluld)
- › Ny facader udføres med bræddebeklædning
- › Vinduer udskiftes til trævinduer i stedet for træ-alu vinduer.

Der anvendes generisk miljødata i LCAByg til beregningerne.

Bilag B LCA-resultater

I nedenstående tabel vises et overblik over LCA-resultaterne for alle typologier og renoveringsscenarier, fordelt på de beskrevne faser i den valgte LCA-metode.

Tabel 32 Oversigt over LCA-resultater for samtlige typologier, perioder og renoveringsscenarier, fordelt på LCA-faser og totalt i kg CO₂ ækv./m²/år.

Typologi	Periode	ID	Renoveringsgrad	Livscyklusfaser						Total	
				Bortskaffelse		Produktion A1-A3	Vedligehold B4	Driftsenergi B6	Bortskaffelse		
				ex. C3-4	ex. D				C3-4		D
Parcelhus	Traditionelt	PTN	Nedrivning og nybyg	2,42	-0,73	4,26	0,62	0,68	0,67	0,00	8,66
		PTB	Baseline				0,56	4,10	2,42	-0,90	7,08
		PTL	Let renovering	0,01	-0,01	0,01	0,45	3,80	2,42	-0,88	6,70
		PTM	Mellem renovering	0,25	-0,08	0,27	0,41	1,69	2,43	-0,89	5,04
		PTD	Dyb renovering	0,25	-0,09	0,44	0,42	1,13	2,44	-0,91	4,68
	Moderne	PMM	Nedrivning og nybyg	2,42	-0,73	4,26	0,62	0,68	0,67	0,00	8,66
		PMB	Baseline				1,06	2,44	2,42	-0,90	5,92
		PML	Let renovering	0,01	-0,01	0,15	0,72	1,95	2,42	-0,88	5,25
		PMM	Mellem renovering	0,25	-0,08	0,70	0,97	1,14	2,43	-0,89	5,49
		PMD	Dyb renovering	0,25	-0,09	0,87	0,98	0,85	2,44	-0,91	5,39
Rækkehus	Traditionelt	RTN	Nedrivning og nybyg	3,66	-1,09	4,56	1,18	1,18	1,26	-1,02	11,83
		RTB	Baseline				0,77	3,09	3,66	-1,33	7,52
		RTL	Let renovering	0,02	-0,01	0,01	0,62	2,80	3,66	-1,29	7,11
		RTM	Mellem renovering	0,38	-0,13	0,40	0,59	1,72	3,66	-1,31	6,75
		RTD	Dyb renovering	0,38	-0,13	0,79	0,60	0,98	3,72	-1,37	6,47
	Moderne	RMM	Nedrivning og nybyg	2,68	-1,08	4,56	1,18	0,68	1,26	0,00	10,36
		RMB	Baseline				1,09	2,32	2,68	-1,38	6,09
		RML	Let renovering	0,02	-0,01	0,13	0,87	1,96	2,69	-1,33	5,68
		RMM	Mellem renovering	0,55	-0,28	0,77	0,81	1,35	2,69	-1,34	6,17
		RMD	Dyb renovering	0,55	-0,29	1,30	0,83	0,97	3,06	-1,63	6,71
Etagehus	Traditionelt	ETN	Nedrivning og nybyg	2,50	-0,82	3,66	0,98	0,69	1,17	0,00	9,01
		ETB	Baseline				1,02	2,97	2,50	-1,15	6,49
		ETL	Let renovering	0,02	-0,01	0,04	0,87	2,59	2,50	-1,12	6,03
		ETM	Mellem renovering	0,16	-0,06	0,25	0,90	2,49	2,51	-1,16	6,30
		ETD	Dyb renovering	0,16	-0,07	0,44	0,91	1,30	2,52	-1,19	5,33
	Moderne	EMN	Nedrivning og nybyg	0,63	-0,43	3,66	0,98	0,69	1,17	0,00	7,14
		EMB	Baseline				0,83	1,98	0,74	-0,68	3,55
		EML	Let renovering	0,06	-0,03	0,10	0,61	1,71	0,74	-0,64	3,21
		EMM	Mellem renovering	0,11	-0,05	0,39	0,76	1,07	0,80	-0,75	3,14
		EMD	Dyb renovering	0,11	-0,06	0,51	0,77	0,88	0,80	-0,77	3,07

Bilag C LCAByg filer

Bemærk at i LCAByg filerne er startår sat til 2024. Dette er korrigeret i excel efterbehandlingen af resultaterne således at startåret er 2025 for at sikre at der er overensstemmelse med at der er valgt at anvende fremskrevne emissionsfaktorer for energien fra 2025.

Lister over filer:

- › Moderne parcelhus + biogen (LCAByg 5.4.0.1)
- › Moderne rækkehus + biogen (LCAByg 5.4.0.1)
- › Moderne etagehus + biogen (LCAByg 5.4.0.1)
- › Traditionelt parcelhus (LCAByg 5.4.0.1)
- › Traditionelt rækkehus (LCAByg 5.4.0.1)
- › Traditionelt etagehus (LCAByg 5.4.0.1)

Bilag D Variantanalyser – LCC metode

D.1 Introduktion

I forbindelse med (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter) er der foretaget en række beregninger af udvalgte variantstudiers levetidsomkostninger (LCC). Beregningsgrundlag, metode og resultater for disse variantstudier beskrives i denne bilagsrapport, som således danner grundlaget for de beskrevne resultater i (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter).

Beregningerne tager udgangspunkt i renovering af generiske rækkehus-cases. Principper for generiske cases, renoveringsgrader og konstruktionsopbygning er beskrevet i hovedrapporten, hvorfor dette dokument alene fokuserer på at redegøre for beregningsgrundlaget for LCC-beregningerne. Beregningerne er foretaget i LCCbyg version 3.6.18.

I Bilag A beskrives det metodiske grundlag for totaløkonomiske beregninger og dertilhørende beregningsforudsætninger. Bilag B redegør datagrundlaget i form af datakilder og de antagelser, der er taget ifm. estimat af fx enhedspriser. Resultaterne for beregningerne findes i Bilag F.

D.2 Metodebeskrivelse

ISO 15686-5:2017-standarden har til formål at definere fælles begreber og metoder til beregning af omkostningerne i løbet af et bygge- eller anlægsaktivs levetid (Life Cycle Costing, LCC). Dette gøres for at støtte beslutnings- og evalueringsprocesser i forskellige faser af byggeriet. Levetidsomkostninger omfatter både direkte og indirekte omkostninger, der opstår i løbet af aktivets levetid. Direkte omkostninger, som direkte relaterer sig til aktivets tilvejebringelse eller opstår som følge af aktivets brug, inkluderes i LCC-beregningerne, imens indirekte omkostninger, som ikke direkte relaterer sig til aktivet, ikke indgår i LCC-beregningerne. Dog kan disse indirekte omkostninger indgå i beregninger af hele livscyklusomkostninger (Whole Life Costing, WLC). Den typiske LCC-beregning strækker sig fra de tidlige idé- og planlægningsfaser, hvortil der er tilknyttet rådgivningshonorarer og forundersøgelser, frem til og med end of life af den opførte/renoverede bygning.

LCC-studierne udføres i overensstemmelse med ISO-standardens definition, og anvender således nutidsværdimetoden, hvor nutidsværdien beregnes ved

$$NVP = \sum_{n=1}^p C_n \times \frac{(1+a)^n}{(1+d)^n}$$

a er den forventede årlige prisændring i procent, d er den forventede årlige diskonteringsrente, p er beregningsperioden og C_n beskriver en omkostning i det n 'te år. Beregningerne udføres i LCCbyg version 3.6.18.

Beregningerne foretages over en periode på 50 år ($p = 50$), hvor renoveringstiltagene foretages i år 0 ($n = 0$), medmindre andet er angivet. Herfra regnes der med løbende vedligehold og udskiftning af bygningsdele med en levetid, der er lavere end beregningsperioden. Dette beskrives nærmere under hhv. baseline og renoveringstiltag.

Beregningernes kalkulationsrente (d) er fastlagt i overensstemmelse med den samfundsøkonomiske diskonteringsrente (Finansministeriet 24 [111]), imens prisudviklingerne (a) er fastsat i overensstemmelse med Forbrugerprisindekset og realprisudvikling som beskrevet i BUILD-rapport 2023:13 [130].

D.3 Beregningsforudsætninger

Beregningsforudsætningerne i LCC variansanalyserne tager udgangspunkt i den faldende realrente. Således anvendes kalkulationsrenter i overensstemmelse med Finansministeriets anbefalinger til den samfundsøkonomiske diskonteringsrente [111] og [130]. Derudover afstemmes prisudviklingerne i LCCbyg med de nyeste anbefalinger fra en revurdering af beregningsforudsætninger og nøgletal i LCCbyg i BUILD 2023:13 [130]. Rapporten indeholder prisudviklinger beregnet på baggrund af forbrugerprisindekset såvel som nettoprisindekset. Forskellen imellem de to indeks er medtagelsen af moms og afgifter, og da praksis hidtil har været at anvende forbrugerprisindekset til at fremskrive prisudviklinger i LCCbyg med, anvendes prisudviklinger beregnet på baggrund af forbrugerprisindekset ligeledes i dette projekt. Prisudviklingerne beregnes reale. De anvendte kalkulationsrenter og prisudviklinger i Figur 95.

Dette rentesæt er fastsat i overensstemmelse med Forbrugerprisindekset og en real prisudvikling "BUILD-rapport 2023:13" vedr. beregningsforudsætninger og nøgletal i LCCbyg og "Den samfundsøkonomiske diskonteringsrente" af juni 2023.

Kalkulationsrente og prisudvikling				
Kalkulationsrente	3,50 %	fra år: 36	2,50 % fra år: 71	1,50 %
Prisudvikling generelt	0,00 %	Standardudvikling for projektet		
Byggeomkostningsindeks	0,60 %			
Prisudvikling for drikkevand	0,50 %			
Prisudvikling for spildevand	2,00 %			
Prisudvikling for energi generelt	0,60 %			
Prisudvikling for fjernvarme	-0,30 %			
Prisudvikling for gas	-3,30 %			
Prisudvikling for flydende brændsel	2,30 %			
Prisudvikling for fast brændsel	-0,90 %			
Prisudvikling for el	1,20 %			
Prisudvikling for skatter og afgifter	1,30 %			
Prisudvikling for forsikring	1,80 %			
Prisudvikling for administration	0,70 %			

Figur 97 Beregningsforudsætninger anvendt til variantanalyser for renoverings- og nedrivning-og-nybyg-scenarier.

D.4 Levetider

En betydende parameter ved LCC-beregningerne er levetider, og især ved renovering vil der være nogle af de byggematerialer, der bliver tilbage bygningen der har en restlevetid. Restlevetiden betyder at bygningsdelen har en levetid X antal år ind i brugsfasen af bygningen, hvorefter den skal udskiftes. Der findes to definitioner på byggematerialers levetid; den faktiske levetid og den teoretiske levetid. I nogle tilfælde kan det forekomme, at bygningsdelens teoretiske levetid er udløbet eller nærvædet udløbet, men den faktiske levetid for bygningsdelen vurderes at være væsentligt højere. Fx er den teoretiske levetid for en teglmur angivet til 120 år i BUILD's levetidstabel [118], mens bygninger fra 1890'erne-1900'erne stadig står. I praksis vil en renovering af disse ikke indeholde at muren nedrives og erstattes med en ny, men i stedet at fugemørtlen kradses ud og erstattes af en ny imens ødelagte sten erstattes, og levetiden af væggen derigennem forlænges med et betydeligt antal år.

I forbindelse med renoveringscases kan det være svært at vide hvornår bygningsdelene senest er blevet udskiftet, dog kan der på baggrund af bygningens opførelsesår og teoretiske levetider fra fx BUILDs levetidstabeller [118] udføres overslagsberegninger, som kan danne grundlag for antagelser om bygningsdelens restlevetid. Det er vigtigt, at restlevetider medtages i beregningen, da det har en betydning for bygningens totaløkonomi hvornår bygningsdele skal udskiftes, hvis ikke de indgår i renoveringen.

Restlevetiderne har en betydning for alle renoveringsscenarier, dog i højere grad for de lettere renoveringstiltag end de dybere. Restlevetiderne for blivende bygningsdele er defineret i et fælles datagrundlag. Derudover findes antagelser vedrørende levetider i Bilag D.4.

D.5 Restværdi

Uagtet om der foretages en renovering eller nedrivning/nybyg, må det forventes at der er en mængde materialer i den eksisterende bygning, som har en restværdi grundet en resterende levetid efter udløbet af beregningsperioden (residual value i ISO-standarden). Restværdien er baseret på en lineær afskrivning af materialer iht. gældende afskrivningsregler i skatlovgivningen. Selvom restværdien beregnes automatisk i LCCbyg på baggrund af anskaffelsesværdien medtages den ikke i variantanalyserne, fordi overstående antagelse omkring restlevetiderne, medfører at de beregnede restværdier for de eksisterende bygningsdele er meget højere end de i virkeligheden ville være.

Der er tre forskellige scenarier for, hvordan restværdien for en ejendom (grund+hus) kan udvikle sig:

- › Ingen prisudvikling:
 - › Ejendommen koster det samme om 50 år, som den gør nu.
- › Faldende prisudvikling:
 - › Ejendommen er placeret på en ikke attraktiv lokation (udkantsdanmark) og anses som værende værdiløs efter beregningsperioden, og nedrives.
- › Normal prisudvikling:
 - › Ejendommen følger markedsudviklingen og den sædvanlige prisstigning på ca. 2 % om året gælder også for udviklingen af restværdien for huset.

Det er muligt at finde statistikker for boligudviklingen, men disse er primært tilgængelige for ejerejendomme og ikke lejeejendomme. Imidlertid anvendes et princip om generiske cases i variantanalyserne, hvorfor den geografiske placering af de analyserede boliger ikke er specificeret. Det er derfor ikke muligt at sige noget om hvordan udviklingen af ejendommens værdi udvikler sig, og restværdien i variantanalyserne er derfor udelukkende udtryk en restværdi grundet resterende levetid af bygningsdele i ejendommene. Derudover medtages grundværdier ikke i LCC-beregningerne.

Erfaringer fra nutidsværdiberegninger er, at restværdier kan udgøre op mod 5-10 % af nutidsværdierne, og derved er de beregnede nutidsværdier i projektet højere end de reelt vil være, hvis restværdien medregnes. Derfor udføres overslagsberegninger af restværdiernes størrelse for at anslå omfanget. Bilag D.5 indeholder teoretiske restværdi beregninger for dette projekt:

$$RV = NVP_{eksisterende} \times X_{restlevetid} \times Y_{restværdi\ andel} + NVP_{nye} \times Y_{restværdi\ andel}$$

Udover restværdien findes gensalgsværdien (ofte også kaldet scrapværdien (salvaged value i ISO-standarden)) som er baseret på en markedsforsventning, for hvad salg af det respektive materiale kan indtjene. Denne værdi skal brugerinddateres i LCCbyg og forudsætter at der foretages analyser af nuværende salgspriser for genbrugsmaterialer. LCA-afgrænsningen beskriver at fase D ikke medtages i LCA-variantanalyserne, hvorfor gevinster og effekter fra gensalg af udskiftede bygningsdele ikke indgår i LCC-analyserne.

D.6 Liste over antagelser og afgrænsninger

I forbindelse med LCC-beregningerne er der foretaget en række antagelser og afgrænsninger inden forskellige områder. Disse er beskrevet af nedenstående.

Tabel 33 Afgrænsning og antagelser ifm. LCC-beregninger.

Parameter	Problemstilling
Geografisk placering	Der kan forekomme store forskelle i prisniveauet for materiale, materiel og mandskab kan variere meget på tværs af Danmark. Normalvis, korrigeres den geografiske lokation ved hjælp af en geografisk korrektionsfaktor, men da der er tale om generiske cases uden en specifik lokation og priser defineres ved opslag i prisbøger, foretages der ikke geografisk korrektion af beregningerne. For nybyg-casen anvendes der data fra en specifik nybyg-case. Derfor anvendes en geografisk korrektionsfaktor for denne, så alle beregninger er sammenlignelige.
Bygherreprofil	Der kan være forskellige ejer- og lejeforhold forbundet med forskellige boligtyper. Derfor er der i forbindelse med renoveringsgraderne blevet defineret bygherreomkostninger, som vil variere alt efter om det er en privat boligejer eller et (andels)-boligselskab, der foretager en renovering. Beregningerne antager at det er en professionel bygherre, idet omkostninger til rådgivning, bygherre og byggeplads medtages i beregningerne.
Tilskudsordninger	Nogle bygherreprofiler har mulighed for at søge støtte eller tilskud til renoveringer. Privatpersoner der foretager energirenoveringer af deres parcelhus har mulighed for at søge om tilskud fra energistøtteordninger, fx ved udskiftning af varmekilde fra gasfyr til varmepumpe (SparEnergi.dk and Energistyrelsen, no date), imens Almene boligafdelinger har mulighed for at søge finansiel støtte til renoveringer fra Landsbyggefonden. Variantanalyserne i dette projekt foretages ud fra et generisk perspektiv, hvorfor økonomiske støtte og tilskudsmuligheder ikke medtages i variantanalyserne.
Forvaltning og ejendomsadministration	Omkostninger til forvaltning, ejendomsadministration og lign. ikke medtages, da der ikke skelnes imellem leje- og eje-boliger i variantanalyserne. Det betyder, at disse omkostninger skal tillægges hvis resultaterne anvendes af eksempelvis et alment boligbyggeri eller en private udlejningsejendom.
Udearealer og sekundære bebyggelser	Normalvis medtages omkostninger til anskaffelse og vedligehold af udearealer i en LCC-beregning. Særligt vedligehold (renhold) af udearealer vægter tungt i en totaløkonomisk analyse, idet de er forbeholdt med regelmæssige omkostninger til pleje og slåning af græsarealer, vedligehold af inventar i udeområder osv. Udearealer indgår imidlertid ikke i variantanalyserne fra et LCA-perspektiv, og for at sikre en fælles afgrænsning og sammenlignelighed af analysens resultater medtages udearealer ligeledes heller ikke i de totaløkonomiske variantanalyser. Som udgangspunkt medtages sekundære bebyggelser ikke i beregningerne, med mindre de også er medtaget i LCA-analyserne.
Restværdi	Der tages ikke højde for eventuelle restværdier i beregningerne.
Nedrivning og bortskaffelse	Antages ikke at indeholde miljøfarlige stoffer
Bygningsdele fra nye	Bygningsdele, der udskiftes eller tilføjes i beregningerne i denne renovering, anskaffes fra nye. Der forekommer altså ikke genbrugsmaterialer i beregningerne.

D.7 Fremgangsmetode

Variantstudierne er baseret på beregning af generiske renoveringscases som sammenlignes med en faktisk nybyggericase. Fremgangsmetoden for disse to typer af cases er forskellige, og beskrives i de nedenstående afsnit.

Fælles for beregningerne er, at de opstilles således at de indeholder de samme grupper, se nedenstående tabel. Dette understøtter den efterfølgende resultatbehandling og gør sammenligningerne på tværs simple og gennemsigtige.

Tabel 34 Beskrivelse af den anvendte af gruppering for LCC-omkostninger.

Gruppe	Omkostningstyper	Baseline	Renoveringscase	Nybyg-case
Baseline/ Eksisterende	<ul style="list-style-type: none"> › Vedligehold › Udskiftning 	Gruppen dækker i baselineberegningerne over samtlige bygningsdele og -materialer i det eksisterende rækkehus.	Gruppen dækker i renoveringscasene over de blivende, eksisterende materialer ifm. renovering af rækkehusene.	-
Nedrivning	<ul style="list-style-type: none"> › Engangsomkostning 	-	<p>Gruppen anvendes ved renovering af bygningsdele, og dækker over demontering og deponi af bygningsdele, der bortskaffes.</p> <p>Bortskaffelse af bygningsdele, der løbende udskiftes konteres under omkostningstypen <i>udskiftning</i>.</p>	Gruppen anvendes til nedrivning af hele rækkehusområder i nybyg-casen.
Renoverings-tiltag/nybyg	<ul style="list-style-type: none"> › Anskaffelsesomkostning › Vedligehold › Udskiftning 	-	Gruppen anvendes til nye bygningsdele ifm. renoveringstiltag, og den indeholder således anskaffelses-, vedligeholds- og udskiftningsomkostninger for nyanskaffede bygningsdele.	Gruppen anvendes til nybyggeriet, og den indeholder således anskaffelses-, vedligeholds- og udskiftningsomkostninger for nyanskaffede bygningsdele.
Rådgivning, bygherre og byggeplads	<ul style="list-style-type: none"> › Engangsomkostning 	-	Gruppen anvendes til beregning af omkostninger til rådgivning, bygherre og byggeplads ifm. renoveringer.	Gruppen anvendes til beregning af omkostninger til rådgivning, bygherre og byggeplads ifm. nybyggeri.
Forsyning	<ul style="list-style-type: none"> › Løbende udgift 	Gruppen anvendes til beregning af forsyningsomkostninger i løbet af driftsperioden.		
Renhold	<ul style="list-style-type: none"> › Løbende udgift 	Gruppen anvendes til beregning af omkostninger til renhold i løbet af driftsperioden.		

D.7.1 Renoveringsscenarier

Renoveringscasene er variantstudier af tre forskellige renoveringsgrader (let, mellem og dyb) på rækkehuse fra to forskellige tidsperioder (traditionel og moderne). Datagrundlaget for beregningerne er todelt, idet det dels består af data der er fælles for LCA- og LCC-beregningerne, samt data som kun er gældende for LCC-beregningerne. Bilag C beskriver hvorledes det data specifikt til de totaløkonomiske beregninger fremkommer, imens det fælles data stammer fra LCA-beregningerne.

Fremgangsmetoden for de totaløkonomiske beregninger for renoveringsscenarierne er:

- › Der opstilles indledningsvis baseline-alternativer for hhv. det traditionelle og moderne rækkehus. Herefter dupliseres baseline-alternativerne løbende efterhånden som det tilpasses og tilføjes flere informationer i overensstemmelse med de definerede renoveringsgrader.
- › Restværdier udelukkes fra resultaterne, da denne vil opstå som konsekvens af de ekskluderede omkostninger til anskaffelse. Bilag D.5 beskriver hvordan restværdien kan fastlægges teoretisk.

Baseline – eksisterende bygningsdele

Baseline-beregningen har til formål at undersøge de omkostninger, der er forbundet med fortsat drift og vedligehold af den eksisterende bygning. Der foretages som bekendt beregninger for to forskellige tidsperioder. Udover forskellige aldre på bygningerne er de behæftet med forskellige byggeskikke, og derved forskellige konstruktionsopbygninger. Bilag E.1 beskriver hvorledes datagrundlaget for de eksisterende bygningsdele fremkommer.

Konstruktionsopbygningerne inddateres som nyanskaffelser i LCCbyg for at kunne beregne hhv. vedligeholds- og udskiftningsomkostninger på baggrund af disse. Da der ikke er nogle nyanskaffelser forbundet med fortsat drift og vedligehold af baselinescenarierne, ekskluderes anskaffelsesomkostningerne i databehandlingen i forbindelse med bearbejdningen af analyseresultaterne. For eksisterende bygningsdele, der har en levetid mindre end beregningsperiodens 50 år, beregnes en automatisk udskiftning af bygningsdelen. Demontering og bortskaffelse ifm. dette findes under *Eksisterende bygningsdele – udskiftning*.

Renoveringstiltag – tilføjelse af nye bygningsdele

Renovering af eksisterende bygningsdele indregnes af to omkostningstyper, som beskrevet i Tabel 2. Demontering og deponi konteres som en engangsomkostninger i gruppen *Nedrivning*, imens anskaffelsen af nye bygningsdele (inkl. montering) konteres i gruppen *Renoveringstiltag/nybyg*. For nye bygningsdele, der har en levetid mindre end beregningsperiodens 50 år, beregnes en automatisk udskiftning af bygningsdelen. Demontering og bortskaffelse ifm. dette findes under *Nye bygningsdele – udskiftning*.

Levetiderne for de nyanskaffede materialer defineres i overensstemmelse med BUILD's levetidstabel [118]. Vedligeholdelses- og udskiftningsomkostninger beregnes automatisk på baggrund af levetid, anskaffelsesværdi og vedligeholdelses- og udskiftningsprocenter ved brug af standardværdier fra LCCbyg. Bilag E.1 beskriver hvorledes datagrundlaget for de nye bygningsdele fremkommer.

Nedrivning – nedrivning af eksisterende bygningsdele

Omkostningerne i denne gruppe dækker over demontering og/eller nedrivning samt evt. sortering af restmaterialer på byggepladsen, transport til affaldsbehandlingssted og omkostninger til deponering af affaldet, inklusive deponeringsafgifter.

End of Life i forbindelse med nedrivning og bortskaffelse af eksisterende byggeri mv. inden et nybyggeri eller en renovering gennemføres på grunden findes under *Construction costs* og *Initial adaption and refurbishment* i LCC-definitionen [121]. I DGNB-certificeringer medtages disse typer af omkostninger ikke for at undgå at favorisere *greenfield* byggerier frem for *brownfield* [114].

Prisen for bortskaffelse af affald afhænger af, hvor velsorteret affaldet er, og derudover hvilken type affaldet er (Cirkulær Sjælland, 2020). Alt demontering, nedrivning og deponi i beregningen udføres under antagelse af, at der ikke forekommer nogle miljøfarlige stoffer, og der således ikke er skal tages nogle særlige miljøhensyn som fx sanering ved forekomst af asbest, PCB mv.

Beregningerne skelner imellem nedrivning/demontering af bygningsdele og nedrivning af hele bebyggelser.

Hertil anvendes prisestimer for nedrivning baseret på prisopslag i Molios prisbøger for anlæg. De anvendte enhedspriser ses i Bilag E.2 Nedrivning. Nedrivningen sker underforudsætning af at der ikke er miljøfarlige stoffer i det nedrevne materiale.

Renoveringsscenarierne medregner omkostninger til demontering og deponering af materialer. Hertil anvendes prisestimer for demontering og deponering baseret på prisopslag i Molios prisbøger for renovering. Dette er nærmere beskrevet i Bilag E.1.

Rådgiver, bygherre og byggeplads

Rådgivning, bygherre og byggeplads dækker over omkostninger, der ikke forbindes med selve byggeriet, men fx bygherre og rådgivning. I forbindelse med nogle af renoveringsgraderne kan der opstå behov for rådgivning fra arkitekter og/eller ingeniører. Datagrundlaget findes i E.3.

Omkostningerne estimeres på baggrund af erfaringer i COWI's renoveringsafdeling. Omkostningerne er estimeret i procentsatser af den samlede byggesum, men da renoveringsgraderne ikke nødvendigvis afspejler hvordan man i praksis vil gribe renoveringsprojekter an, tages der forbehold for, at omkostningerne i praksis vil udgøre en større eller mindre andel af den samlede byggesum.

Der afsættes midler til miljøvurderinger til undersøgelse af miljøfarlige stoffer, som asbest, PCB osv. Det forudsættes imidlertid at miljøvurderingerne bliver resultatløse, så det kan antages at renoveringerne ikke vil blive tidsmæssigt og økonomisk påvirkede af eventuelle saneringer. Man kunne have vurderet den relative sandsynlighed for forekomst af miljøfarlige stoffer, og indregnet omkostningerne forbundet med dette via et tillæg på fx 1 % og 3 % tillæg.

Byggeplads- og stilladsomkostninger dækker over omkostninger forbundet med at etablere en byggeplads ifm. renoveringsgraderne. Der er ingen omkostninger til grund, rådgivning og bygherre for baseline-beregningerne.

Forsyningsomkostninger

Forsyningsomkostningerne beregnes på baggrund af energirammeberegningerne, som er en del af det fælles datagrundlag. Enhedspriserne for forsyningsomkostningerne findes under Bilag E.5.

Omkostninger til renhold

Omkostninger til renhold estimeres på baggrund af prisopslag i Molios prisbøger for drift og vedligehold. Det antages at enhedspriserne for rengøring i prisbøgerne er defineret ud fra hvad omkostningerne for renhold, hvis der hyres professionel rengøring, og selvom der er tale om boliger med private forbrugere,

fastholdes enhedspriserne på et professionelt rengøringsniveau. Enhedspriserne fremkommer via metoden beskrevet i Bilag E.6

Renhold af udearealer medtages ikke i beregningerne, da udearealer ikke indgår i LCA-beregningerne.

Da renoveringsgraderne udelukkende handler om at forbedre de byggetekniske løsninger, antages det at boligarealerne ikke ændrer sig renoveringsgraderne imellem inden for de respektive tidsperioder og typologier. Derfor vil renholdsomkostningerne være konstante på tværs af renoveringsgraderne. Dog er der forskelle på hvordan arealfordelingen er imellem de traditionelle og moderne typologier, hvorfor renholdsomkostningerne på tværs af typologierne. Renholdsarealerne opmåles på baggrund af plantegninger eller mængdeudtræk fra Revitmodeller.

D.7.2 Nedrivning og nybyg-scenarie

Som nævnt, er beregningen af nedrivnings-og-nybyg-scenariet baseret på en faktisk case. Den faktiske case er DGNB-certificeret (sølv) og baseret på beregningsmetoderne beskrevet i DGNB2020-manualen, som stemmer overens med den anvendte beregningsmetode i dette projekt.

Der er imidlertid foretaget en række mindre tilpasninger til projektet, for at sikre at det er sammenligneligt med renoveringsscenarierne:

- › Den faktiske nybyggeri-case er regnet i 2022-priser, imens renoveringsscenarierne er regnet i 2024-priser. Derfor pristalsreguleres de omkostninger i nybyggericasen, som ikke tilpasses prisgrundlaget beskrevet i dette projekt. *Pristalsreguleringen* foretages med udgangspunkt i nettoprisindekset.
- › Den faktiske case er opført i Aarhus Kommune, og i sammenligning med prisopslag fra Molios prisbøger, betragtes nogle af omkostningerne for lokale. Derfor anvendes der en *geografisk korrektionsfaktor* til behandling af beregningsresultaterne sikre sammenlignelighed imellem de generiske renoveringscases og den "faktiske" nybyggeri-case. Ved opslag i DGNB2020-manualen resulterer dette i en korrektionsfaktor på 0,95 [114]. De beregnede nutidsværdier divideres med faktoren.

Tilpasningerne er beskrevet i tabel 3 nedenfor:

Tabel 35 Tilpasninger til LCC-beregning af faktisk nybyg-case for at sikre sammenlignelighed med generiske renoveringscases.

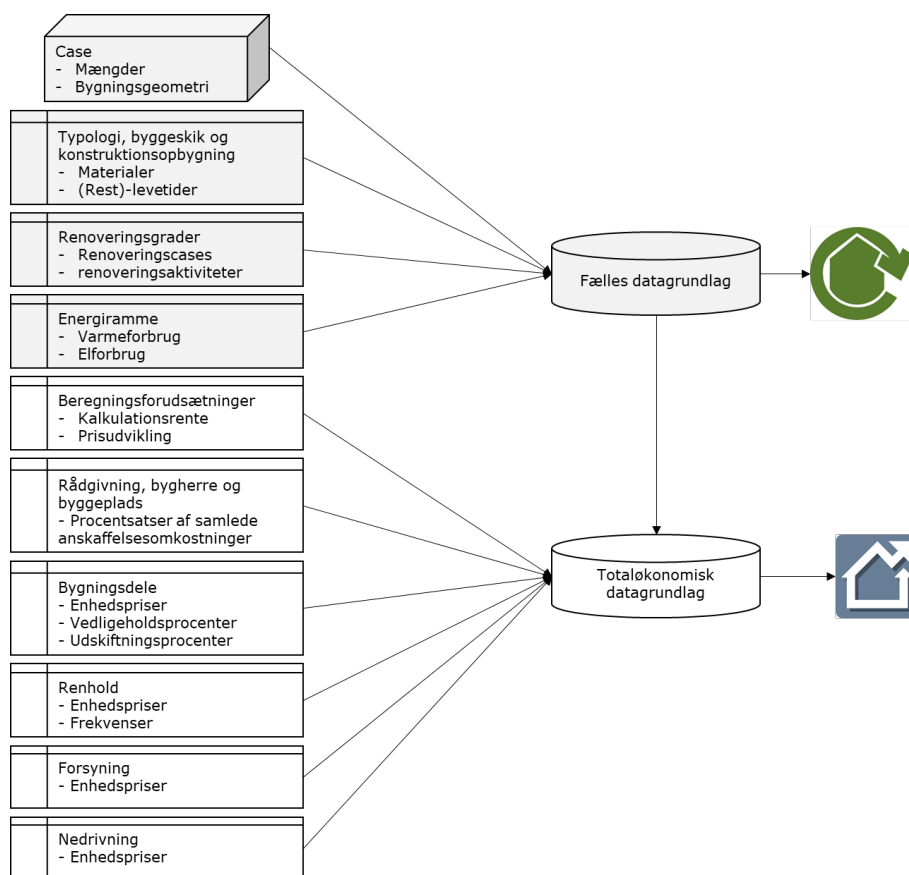
Gruppe i LCC-beregning	Tilpasning	Prisgrundlag	Pristalsregulering	Geografisk korrektionsfaktor
Beregningsforudsætninger	Beregningsforudsætningerne i nedrivning-og-nybyg-casen er tilpasset således de afspejler forudsætningerne i Bilag A.1.		-	-
Nedrivning	Den faktiske case er en green-field-projekt. Det vil sige at der er tale om et udviklingsprojekt, hvor en større mængde rækkehuse opføres på ny-udstykket jord. Derfor er der tilføjet nedrivningsaktiviteter, hvor det antages at rækkehuse, tilsvarende det opførte areal, nedrives. Dette inddateres som en engangsomkostning baseret på en kvadratmeterpris (se afsnit E.2). Nedrivningen tager ikke højde for eventuelle restlevetider af de nedrevne materialer, ligesom det antages, at der ikke forekommer miljøskadelige stoffer i overensstemmelse med antagelsen for bortskaffelse af materialer i renoveringsscenarierne.	Generiske priser fra dette projekt	-	-
Renoveringstiltag/nybyg	Inventar og udstyr (fx køkken) indgår ikke i analysegrundlaget for renoveringsscenarierne, og derfor medtages det heller ikke i den faktiske case. Der indgår ikke separate skure i renoveringsscenarierne, og derfor medtages disse heller ikke i den faktiske case. Den faktiske case indeholder omkostninger til udearealer i form af belysningsanlæg, asfaltering og affaldsanlæg. Dette indgår ikke i afgrænsningen af analyserne pga. systemgrænserne for LCA-analyser, og derfor fjernes disse fra beregningen. Disse priser pristalsreguleres vha. nettoprisindekset.	Faktisk case	Ja	Ja
Rådgivning, bygherre og byggeplads	Disse priser pristalsreguleres vha. nettoprisindekset.	Faktisk case	Ja	Ja
Forsyning	Enhedspriserne for forsyning er ændret i beregningen, og de er derfor baseret på enhedspriserne i afsnit E.5. Derudover er forbruget af drikke- og spildevand beregnet, så det tager udgangspunkt i de samme antagelser som renoveringsscenarierne.	Generiske priser fra dette projekt	Nej	Nej
Renhold	Enhedspriserne og frekvenser for renhold er ændret i beregningen, og de er derfor baseret på enhedspriser og frekvenser som beskrevet i afsnit E.6	Generiske priser fra dette projekt	Nej	Nej

Bilag E Datagrundlag for LCC

LCC-beregninger udføres med udgangspunkt i en skræddersyet kontoplan (Se Bilag D), der indeholder rækkedetaljer for samtlige relevante bygningsdele, renoveringstiltag, rådgivnings- og byggepladsomkostninger, forsynings- og renholdsomkostninger.

Da der er tale om generiske cases baseret på en lang række antagelser, er det urealistisk at basere beregningerne på konkrete bygningsdele. Derfor er enhedsprisen for bygningsdele fremkommet ved gennemsnitsbetragtninger via opslag i prisbøger og efterfølgende afrunding til nærmeste 50'er. Levetider og restlevetider "arves" fra LCA, og mængder stammer fra opmålinger af cases, imens vedligeholdsprocenter er tilpasset ved brug af LCCbyggs vedligeholdelsesprocenter for tilsvarende materialer og bygningsdele. Alle bygningsdele oprettes med en udskiftningsprocent på 125 % hvorfor denne ikke indgår i nedenstående beskrivelser. Renholdspriser og -frekvenser er defineret med udgangspunkt i erfaringer fra DGNB (2016 og 2020 manualer) imens forsyningspriser stammer fra BUILDS rapport vedrørende beregningsforudsætninger og nøgletal for LCCbyg (Laursen & Haugbølle, Beregningsforudsætninger og nøgletal i LCCbyg, 2023).

Nedenstående figur viser opdelingen af datagrundlaget og afspejler, hvor der er tale om fælles data og data specifikt til totaløkonomiske beregninger.



E.1 Enhedspriser for bygningsdele og renoveringstiltag

Konstruktionsopbygningerne prissættes ved opslag i prisbøger, hvor lagopdelingen modereres og skaleres, fx for at afspejle lavere isoleringstykkelser, smallere hulrum mv. for at gøre priserne repræsentative for baseline-scenarier. Enhedspriserne fremkommer så vidt muligt af gennemsnitsberegninger af priser, hvor

der er flere mulige priser at vælge på. Formålet med at anvende gennemsnitsberegninger, er at sikre at beregningerne fastholdes i en mere generisk karakter.

Fælles for prisopslag er, at priserne varierer alt efter indkøbsmængden. Prisopslagene i forbindelse med dette projekt er baseret på standardmængderne i Molios prisbøger, og er således ikke skaleret efter de eventuelle ændringer der kan opstå hvis der indkøbes færre eller flere materialer i de egentlige mængder i beregningerne.

Tabel 37 indeholder en oversigt over prisdata for eksisterende bygningsdele som indgår i baseline beregningerne og de efterfølgende renoveringsgrader. Enhedspriserne bruges til at beregne omkostninger til vedligehold og udskiftning i LCCbyg. Bygningsdelene er fælles for byggetypologier, medmindre andet er angivet. Levetiden for de eksisterende bygningsdele antages som ny, medmindre andet er angivet under *restlevetid*.

Tabel 38 indeholder en oversigt over prisdata for renoveringstiltag i de forskellige renoveringsscenarier. Tabellen angiver hvornår renoveringstiltaget indføres. Her er omkostningerne opdelt i hhv. omkostninger til demontering og deponi samt nyanskaffelse.

Nedenstående eksempel for vinduer, viser hvordan datagrundlaget fremkommer ved gennemsnitsbetragtninger af bygningsdele og renoveringstiltag.

Eksempel for gradvis renovering og inddatering af vinduer

- › Prisen for de eksisterende trævinduer er baseret på prisudtræk på vinduer af træ med 2-lagsvinduer fra Molios prisbøger. Priserne er omregnet fra en størrelses-afhængig stykpris til en enhedspris pr. m².
- › Prisen for udskiftning af tætningslister er baseret på enhedsprisen for montering af tætningsliste mellem ramme og karm pr. lbm.
- › Prisen for udskiftning af ruder er baseret på gennemsnitlige betragtninger af udskiftning af termo- med energirude. Priserne er omregnet fra faktiske mål til kvadratmeterpriser.
- › Prisen for malerarbejde er baseret på maler- eller træbeskyttelsesbehandling af trævinduer. Priserne er omregnet fra faktiske mål til kvadratmeterpriser og summeret, så prisen indeholder både indvendigt og udvendigt malerarbejde.
- › Prisen for at udskifte et trævindue er baseret på gennemsnitsberegninger af, hvad det koster at udskifte hhv. et fast vindue af træ og et sidehængt vindue i træ.
- › Prisen for at udtage vinduer og deponere afhænger af vinduets størrelse. Priserne er angivet pr. m² og er baseret på afrundede prisopslag.
- › Prisen for træ/alu-vinduer er baseret på prisudtræk på vinduer med træ/aluramme fra Molios prisbøger. Priserne er omregnet fra en størrelses-afhængig stykpris til en enhedspris pr. m².

Tabel 36 Data for baselinebygningsdele i beregninger

Bygningsdel	Bemærkning	Typologi T: traditionel M: Moderne F: Fælles	Enhed	Enhedspris Kr./enhed	Levetid (Restlevetid) År	Vedligehold %
Vinduer						
Vinduer		F	m2	4.300	50 (30)	2,0%
Fundament						
Fundament	Anvendes også som Krybekælderydervæg. Uisoleret betonvæg, 3 cm	T	lbm	1.150	120	0,5%
Fundament	Beton/letklinker/EPS	M	lbm	1.600	120	0,5%
Ydervæg						
Ydervæg	Hulmur af tegl, inkl. hulrumisolering	T	m2	2.200	120	1,0%
Ydervæg	Hulmur af tegl/porebeton, inkl. hulrumisolering, levetid som porebeton	M	m2	2.850	80	1,0%
Indervæg						
Indervæg	Fuldmuret teglmur	T	m2	1.700	100	1,0%
Indervæg	Bræddevæg med puds	T	m2	1.200	100	1,0%
Indervæg	Porebeton	M	m2	700	100	1,0%
Indervæg	Fliser på badeværelse	F	m2	1.900	80	2,0%
Tag						
Tagkonstruktion	Halebåndspær	T	m2	900	120	2,0%
Tagbeklædning	Tegl	F	m2	1.450	80	1,0%
Tagkonstruktion	Gitterspær	M	m2	350	120	2,0%
Tagisolering	200 mm isolering i taghældning	M	m2	200	50	1,0%
Etageadskillelser						
Efterisolering krybedæk	100 mm isolering + dampspærre	T	m2	350	80 (50)	1,0%
Efterisolering krybedæk	100 + 225 mm isolering + dampspærre	T	m2	600	80 (50)	1,0%
Etagedæk	400 mm isolering, bruges også som kælderdek	T	m2	750	100	1,0%
Etagedæk	200 mm isolering	M	m2	1.000	100	1,0%
Loft	Pudset	T	m2	350	80	1,0%
Loft	Gips	M	m2	550	50	1,0%
Dampspærre	Dampspærre	M	m2	50	40	1,0%
Terrændæk						
Terrændæk	Klaplag beton, ca. 100 mm	T	m2	250	100	0,5%
Terrændæk	100 mm beton, 600 mm isolering, 100 mm letklinkerbeton	M	m2	600	100	0,5%
Gulve						
Trægulv	Bræddegulve, inkl. fodlister	T	m2	750	80	2,0%
Badeværelsesgulv	Terazzo badeværelse	T	m2	2.950	100	1,0%
Trægulv	Svømmende parket	M	m2	1.400	60	2,0%
Badeværelsesgulv	Fliser på badeværelse	M	m2	2.250	100	1,0%
Trapper						
Ligeløbstrappe af træ	Én etage	T	Stk.	38.250	100	1,0%
Døre						
Yderdøre	Massivt træ	T	m2	7.600	40	1,0%
Indvendige døre	Fyldningsdøre	T	m2	5250	40	1,0%
Yderdøre	Pladedøre med glas	M	m2	14.050	40	1,0%
Indvendige døre	Pladedøre	M	m2	7.600	40	1,0%
Forsyning og VVS						
Fjernvarmeanlæg	Centralvarme i bygning, inkl. varmeveksler, Ekskl. isoleringsarbejder.	F	m2	700	40 (15)	1,0%
Spildevand	Ekskl. Sanitetsudstyr	F	m2	100	50 (10)	1,0%
Vand	Ekskl. sanitetsudstyr	F	m2	200	60 (10)	1,0%
VVS-øvrige		F	m2	40	60 (15)	1,0%

Tabel 37 Data for renoveringstiltag i beregninger

Beskrivelse	Bemærkning	Omkostningstype R: Renoveringstiltag N: Nedrivning	Typologi T: traditionel M: Moderne F: Fælles	Renoveringsgrad L: Let M: Mellem D: Dyb	Enhed	Enhedspris Kr./enhed	Levetid År	Vedligehold %
Vinduer								
Tætninglister	Levetid af eksisterende vindue forlænges til 40 år. Erstatte af nyt vindue ved endt levetid.	R	F	L	Lbm	250	10	2,0%
Montere ny rude	Levetid af eksisterende vindue forlænges til 40 år. Erstatte af nyt vindue ved endt levetid.	R	F	L	m2	2.400	50	1,0%
Udtage og deponere rude		N	F	L	m2	500		
Reparation af trælister	Levetid af eksisterende vindue forlænges til 40 år. Erstatte af nyt vindue ved endt levetid.	R	F	L	Lbm	2.300	50	2,0%
Udtage og deponere træliste		N	F	L	Lbm	1.100		
Malerarbejde	Både udvendigt og indvendigt. Levetid af eksisterende vindue forlænges til 40 år. Erstatte af nyt vindue ved endt levetid.	R	F	L	M2	1.200	10	1,0%
Nye trævinduer	Tilføres i år 41.	R	F	L	M2	5.150	50	2,0%
Udtage og deponere vinduer	Mindre end 0,25 m2	N	F	L / M / D	M2	400		
Udtage vindue og deponere	0,5 – 1 m2	N	F	M / D	m2	250		
Udtage vindue og deponere	Større end 1 m2	N	F	M / D	m2	200		
Træ/alu-vindue		R	F	M / D	m2	6.550	60	2,0%
Etagedæk mod loft								
Indblæst isolering	Isolering i etageadskillelse mod loft	R	M	L / M / D	m2	350	80	1,0%
Dampspærre		R	M	L / M / D	m2	50	50	1,0%
Tag								
Tagrenovering		R	F	M / D	m2	1.550	60	1,0%
Demontering og deponi ifm. tagrenovering		N	F	M / D	m2	250		
Dampspærre - loft til kip		R	T	M / D	m2	50	40	1,0%
Isolering - taghældning		R	T	M / D	m2	200	50	1,0%
Nye gipslofter		R	F	M / D	m2	550	50	1,0%
Kælderydervægge								
Efterisolering af sokkel		R	F	D	m2	2.500	120	1,0%
Ydervæg								
Udvendig efterisolering	Vedligeholdsprocent for eksisterende ydervæg nedskrives til 0,5 %.	R	F	D	m2	2.700	120	0,5%
Forsyning og VVS								
Fjernvarmeveksler		R	F	M / D	Stk.	4.300	30	5,0%
Udtage og deponere eksisterende fjernvarmeveksler		N	F	M / D	Stk.	1.050		
Varmt brugsvandsbeholder	Inkl. isolering	R	F	M / D	Stk.	20.400	30	3,0%
Udtage og deponere eksisterende varmt brugsvandsbeholder		N	F	M / D	Stk.	1.450		
Ventilation	Baseret på orienterende m2-pris	R	F	D	m2	55	30	3,0%

E.2 Nedrivning

Tabel 38 Enhedspris for nedrivning af rækkehus

Nedrivningstype	Enhed	Enhedspris
Nedrivning - rækkehus	m ²	2830

Enhedsprisen dækker over nedrivning af bygning, affaldssortering, deponeringsafgift, deponering og kørsel.

Det antages, at der ved nedrivning genereres 1,15 ton affald per kvadratmeter svarende til gennemsnittet af affaldsintervallet mellem 0,80-1,50 ton affald per kvadratmeter jf. Molios prisbøger.

Dette giver en deponeringsafgift på ca. 590 kr./m², deponeringspris på 700 kr./m², kørsel på 350 kr./m² (antaget til 50 % af deponeringspris) og en nedrivningspris mellem 1180 kr./m² for parcelhuse, 1190 kr./m² for rækkehuse og 1290 kr./m² for etageboliger.

Omkostninger til nedrivning ifm. Renoveringstiltag ses i Bilag D

E.3 Rådgivning, bygherre og byggeplads

Omkostningerne er estimeret i procentsatser af den samlede byggesum, men da renoveringsgraderne ikke nødvendigvis afspejler hvordan man i praksis vil gribe renoveringsprojekter an, tages der forbehold for, at omkostningerne i praksis vil udgøre en større eller mindre andel af den samlede byggesum.

Der afsættes midler til miljøvurderinger til undersøgelse af miljøfarlige stoffer, som asbest, PCB osv. Det forudsættes imidlertid at miljøvurderingerne bliver resultatløse, så det kan antages at renoveringerne ikke vil blive tidsmæssigt og økonomisk påvirkede af eventuelle saneringer. Byggeplads- og stilladsomkostninger dækker over omkostninger forbundet med at etablere en byggeplads ifm. renoveringsgraderne.

Omkostningerne er angivet i procent af den samlede entreprisesum for renoveringsgraden.

Tabel 39 Procentuelle overslag for omkostninger vedr. rådgivning, bygherre og byggeplads. Omkostningerne beregnes på baggrund af den samlede entreprisesum for renoveringsgraden.

	Let	Mellem	Dyb
Konkurrence, rådgiverudbud	2 %	2 %	2 %
Ingeniør (Miljøundersøgelser – geo- og bygningsforurening)	2 %	2 %	2 %
Ingeniør	5 %	4 %	6 %
Arkitekt	5 %	6 %	4 %
Byggeplads- og stilladsomkostninger	4 %	8 %	8 %
Total	18 %	22 %	22 %

OBS. Procentsatserne er kun relevante hvis der er tale om boligforeninger. Hvis der er tale om private aktører, så er omkostningerne som for *parcelhuse*, hvor der kun indregnes rådgiver omkostninger til ingeniørunderøgelser:

	Let	Mellem	Dyb
Ingeniør (Miljøundersøgelser – geo- og bygningsforurening)		1 %	1%

E.4 Forsyningsomkostninger

Revurderingen af [130] indeholder ligeledes en beregning af nye enhedspriser for forsyning. Så vidt muligt, tager variansanalyserne i dette projekt udgangspunkt i gennemsnitlige forbrugerpriser beregnet i rapporten på baggrund af priser fra 2018-2021.

- › Varmeforsyningen antages af stamme fra fjernvarme. Varmeforbruget beregnes af energirammeberegningerne som beskrevet under LCA.

- › Elektriciteten antages fra elnettet, og der anvendes ikke primære energikilder som fx solceller. Elektricitetsforbruget beregnes af energirammeberegningerne som beskrevet under LCA.
- › Vandforbruget indgår ikke som en del af LCA-beregningerne, og det faktiske vandforbrug estimeres ikke i dette projekt. Vandforbruget estimeres i stedet på baggrund af generelle antagelser og informationer.

E.5 Enhedspriser for forsyning

Enhedspriserne for forsyning afhænger ikke af bygningstypologi, så længe der er tale om boliger. Enhedspriserne stammer fra BUILD-rapport 2023:13 – Beregningsforudsætninger og nøgletal til LCCbyg [130].

Tabel 40 Enhedspriser for forsyning for privatforbruger jf. BUILD 2023:13 [130].

Forsyningstype	Enhed	Enhedspris
Drikkevand	m ³	24,09
Spildevand	m ³	47,46
Varme - fjernvarme	kWh	0,53
Elektricitet	kWh	2,80

E.5.1 Estimat af vandforbrug

Ifølge Vand i tal [94] har en gennemsnitlig husstand på 2,11 personer et gennemsnitlig vandforbrug på 100 liter pr. person pr. døgn. Det svarer til et årligt vandforbrug på 36,5 m³ vand pr. person om året.

Ifølge Danmarks Statistik [90] er det gennemsnitlige arealforbrug per person afhængig af hvilken boligtype de bor i. For parcelhuse er det gennemsnitlige arealforbrug 59,8 m² pr. person, imens det er 50,4 for rækkehuse og 45,6 for etageboliger. Dette resulterer i følgende gennemsnitsværdier for vandforbrug:

Tabel 41 Beregningsgrundlag for vandforbrug.

Typologi	Gns. Areal pr person	Gns. Vandforbrug pr m ² [m ³ /m ²]
Parcelhus	59,8	0,61
Rækkehus	50,4	0,72
Etagebolig	45,6	0,80

E.6 Renholdomkostninger

Renholdsomkostningerne er fremkommet ved prisopslag i Molios prisbøger og omregnet, så enhedsprisen svarer til hver gang renholds aktiviteten udføres. Derfor findes der også en kolonne med frekvenser, som angiver hvor mange gange på et år, aktiviteten udføres. Frekvenserne er vurderet på baggrund af renholdsfrekvenser i DGNB 2016-manualen [113].

Der er en række parametre som kan påvirke enhedsprisen for renhold. For badeværelser har det en betydning om der er tale om væghængte sanitetsudstyr eller stående, imens renhold af gulve fx fordyres hvis stigrør til radiatorer går igennem gulv fremfor væg. For vinduer har det en betydning hvor højt der er til overkanten af vinduet, fordi det påvirker om det kan renhold af vinduerne kan nås stående eller skal foretages med fx teleskopstang. I tilfælde hvor der ændres på fremkommeligheden i forhold til renhold, vil enhedspriserne afspejle tilgængeligheden. Der ændres ikke på dette i renoveringsscenarierne i dette projekt, og tilgængeligheden er således uændret på tværs af renoveringsgraderne.

Tabel 42 Enhedspriser, frekvenser og typer af renhold.

Renhold	Uddybning	Enhed	Enhedspris	Frekvens
Vinduer, udvendigt	Pudsning - let tilgængelige	m2	75	2
Vinduer, udvendigt	Pudsning - almindeligt tilgængelige	m2	85	2
Vinduer, udvendigt	Pudsning - svært tilgængelige	m2	95	2
Vinduer, indvendigt	Pudsning - almindeligt tilgængelige	m2	95	2
Gulve, hårde	Støvsugning - almindeligt tilgængelige	m2	0,9	104
Gulve, hårde	Gulvvask - almindelig tilgængelighed	m2	1,2	52
Trapper, hårde - i bolig	Støvsugning - almindeligt tilgængelige	m2	1,3	104
Trapper, hårde - i bolig	Gulvvask - almindelig tilgængelighed	m2	1,5	52
Toilet/badefaciliteter	Renhold - almindeligt tilgængelige	m2	9,2	52
Trapper, hårde - fælles adgangsveje	Feje - almindeligt tilgængelige	m2	0,9	52
Trapper, hårde - fælles adgangsveje	Gulvvask - almindelig tilgængelighed	m2	1,5	26

Bilag F Resultater

Da der foretages tilpasninger af data efter beregningerne i LCCbyg, giver det ikke mening at dele beregningsfilerne. Anskaffelsesomkostningerne for de eksisterende bygningsdele ekskluderes fra beregningerne.

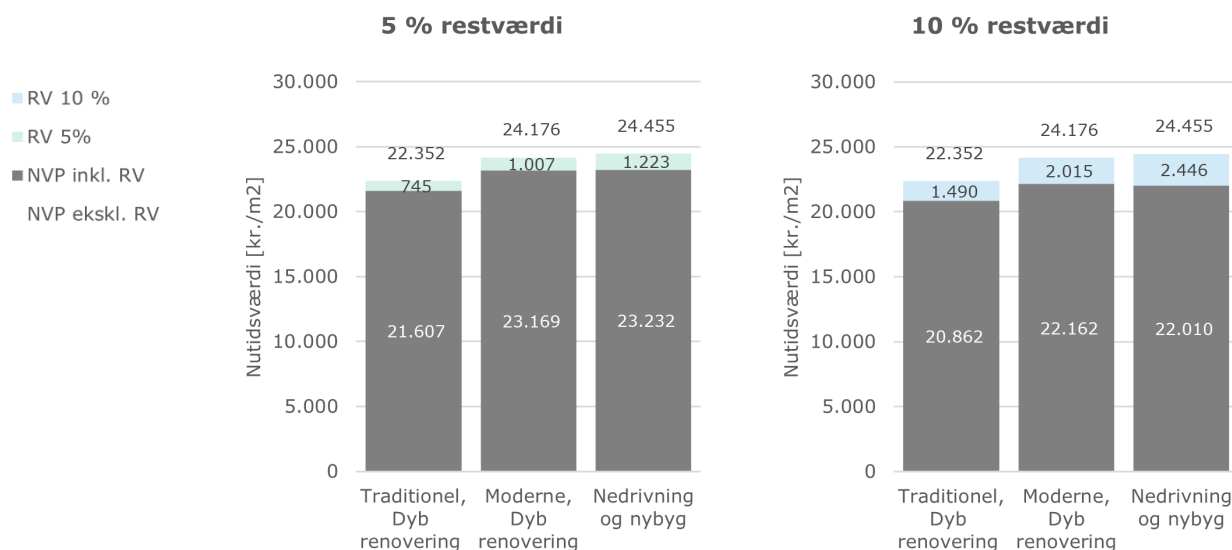
Tabel 43 Oversigt over samlede LCC-resultater angivet i kr./m².

	Traditionelt				Moderne				Nybyg
	Baseline	Let	Mellem	Dyb	Baseline	Let	Mellem	Dyb	Nedrivning og nybyg
	RT B	RT L	RT M	RT D	RM B	RM L	RM M	RM D	RNe + RNy
Eksisterende bygningsdele Anskaffelse	<i>Disse omkostninger sættes til 0, da der ikke er anskaffelse forbundet med de eksisterende bygningsdele. De er inddateret i beregningerne, da de anvendes som grundlag for beregning af omkostninger til vedligehold og udskiftning.</i>								
Eksisterende bygningsdele Vedligehold	3.231	3.200	2.447	2.195	3.889	3.845	2.996	2.477	-
Eksisterende bygningsdele Udskiftning	1.398	1.185	1.017	1.017	1.876	1.577	1.396	1.396	-
Eksisterende bygningsdele Nedrivning og bortskaffelse	-	-	273	273	-	-	341	341	2.830
Nye bygningsdele Anskaffelse	-	406	3.068	7.159	-	961	3.123	7.959	7.735
Nye bygningsdele Vedligehold	-	124	1.046	1.597	-	293	1.192	1.836	2.598
Nye bygningsdele Udskiftning	-	226	88	113	-	414	110	135	1.429
Rådgivning, bygherre og byggeplads	-	37	735	1.635	-	85	765	1.826	1.954
Forsyning	4.389	4.145	3.242	2.805	3.907	3.600	3.080	2.935	2.898

	Traditionelt				Moderne				Nybyg
	Baseline	Let	Mellem	Dyb	Baseline	Let	Mellem	Dyb	Nedrivning og nybyg
	RT B	RT L	RT M	RT D	RM B	RM L	RM M	RM D	RNe + RNy
Renhold	5.559	5.559	5.559	5.559	5.272	5.272	5.272	5.272	5.011
Total	14.577	14.882	17.475	22.352	14.943	16.046	18.274	24.176	24.455

F.1 Restværdier

Det er ikke muligt at uddrage de konkrete restlevetider på baggrund af LCC-beregningerne, da det ville forudsætte en mere detaljeret tilgang til restlevetider end den der er anvendt i dette projekt. Derfor viser Figur 2 teoretisk beregnede restværdier for de dybe renoveringsgrader samt nedrivning-og-nybyg-scenariet med udgangspunkt i worst-case-scenario, som beskrevet i Bilag D.5.



Figur 98 Restværdi ved hhv. 5 % og 10 % restværdi

De beregnede restværdier er baseret på følgende antagelser:

- › Det antages at 50 % af nutidsværdien kan henføres til renoveringstiltagene for renoveringsscenarierne og 100 % til nybyggeriet i nedrivning-og-nybyg-scenariet. Heraf regnes hhv. 5 % og 10 % restværdi.
- › Det antages at 50 % af nutidsværdien kan henføres til de eksisterende bygningsdele i renoveringsscenarierne og 0 % i nedrivning-og-nybyg-scenariet.
 - › Restlevetiden for det traditionelle rækkehus er ca. 40 år, hvis der tages udgangspunkt i levetiden for et rækkehus jf. BUILDs levetidstabel (kilde). Det betyder at restværdien skal skaleres med 33 %, når den regnes ved hhv. 5 % og 10 %.

- › Restlevetiden for det moderne rækkehus er ca. 80 år, hvis der tages udgangspunkt i levetiden for et rækkehus jf. BUILDS levetidstabel (kilde). Det betyder at restværdien skal skaleres med 66 %, når den regnes ved hhv. 5 % og 10 %.

Restværdien beregnes ved:

$$RV = NVP_{eksisterende} \times X_{restlevetid} \times Y_{restværdi\ andel} + NVP_{nye} \times Y_{restværdi\ andel}$$

Hvor $NVP_{eksisterende}$ er nutidsværdien for den eksisterende del af bygningen, imens NVP_{nye} er nutidsværdien for den nye del af bygningen. $X_{restlevetid}$ er restlevetiden af bygningen i forhold til den samlede levetid for bygningen. $Y_{restværdi\ andel}$ angiver antagelsen omkring restværdiens andel af nutidsværdien, dvs. 5-10 % i dette projekt.

Bilag G Interviews og survey i afsnit 4

G.1 *Introduktion*

Datagrundlaget for projektets undersøgelse af klimakravs påvirkning af byggeprojekter (rapportens kapitel "klimakravs påvirkning af byggeprojekter og kapitel (4.1) forventninger til eventuelle CO₂-afgifters effekt) er fremskaffet ved kvalitative interviews og en survey. Metode og kilder er nærmere beskrevet i dette bilag, hvor også spørgeguide ved interviews og spørgsmålene i survey er gengivet. Det er vigtigt at fremhæve, at såvel informanter i interviews som respondenter i survey kan tænkes at have specifikke interesser i projektets emne, og at svarene er et udtryk for personers holdninger, meninger og forventninger, og derfor må betragtes som subjektive data, som belyser forskellige vinkler på projektets emne.

G.2 *Datagrundlag og metode*

Datagrundlaget er indhentet fra to kilder:

- › 16 kvalitative interviews med indlagte spørgeskemaer. Informanter er udvalgt blandt byggebranchens bygherrer, rådgivere og entreprenører
- › Online survey. Respondenterne er et udsnit af projektets følgegruppe

De kvalitative interviews er den primære datakilde, mens data fra online survey betragtes som et supplement. Årsagen er udvælgelsen af informanter og respondenter, hvor informanter er udvalgt bredt, mens respondenterne til online survey udgøres af følgegruppemedlemmer, som kan tænkes at have specifikke interesser ift. projektets konklusioner.

Metode og kildekritik er nærmere udredt i de to følgende afsnit. Spørgeguide til kvalitative interviews, det indlagte spørgeskema samt online spørgeskema er vedlagt som bilag til rapporten.

G.2.1 *Interviews med spørgeskemaer*

Datagrundlaget for afsnit 4.3 er først og fremmest blevet indsamlet gennem 16 interviews som inkluderer en spørgeskemabesvarelse fra bygherrer, rådgivere og entreprenører, hvor vi har spurgt dem om deres erfaring med forskellige typer af byggesager (renovering og nybyggeri), hvilke klimakrav de er stødt på i deres arbejde, og hvilke udgifter eller udfordringer, der har været forbundet hermed. Derudover har vi spurgt dem om, hvordan de forventer, at klimakravene vil udvikle sig, og hvordan de sandsynligvis har påvirket eller vil påvirke økonomien i byggesager fremover.

Interviewpersonerne, herefter benævnt informanter, er blevet fundet ud fra projekter, som er identificeret i forbindelse med andre opgaver i 'Klimadata for renovering', samt ud fra projektteamets kontaktnetværk.⁴ Der er tilstræbt en ligelig fordeling mellem aktører i branchen (bygherrer, rådgivere, entreprenører). Der er gennemført interviews med 4 bygherrer, 8 rådgivere og 4 entreprenører, hvoraf én rådgiver også optræder som bygherre i eget projekt og én entreprenør (typehusfirma) også fungerer som rådgiver og i nogle tilfælde bygherre på egne projekter. Der deltog i alt 21 respondenter i de 16 interviews. Det skal for god ordens skyld nævnes, at en informant er medarbejder i projektet vedr. LCA-variantanalyser, men svarer på baggrund af sit tidligere virke.

⁴ Der er ikke blevet gennemført interviews med medlemmer af projektets følgegruppe, jf. krav i udbud.

Alle interviews blev udført som semistrukturerede interviews. Derfor var interviewguiden vejledende, hvilket indebar fleksibilitet til dels at forfølge interessante spor, der opstod undervejs i interviewet, og dels til at springe mindre essentielle punkter over, hvis de ikke var relevante for interviewpersonen. Dette gav interviewerens mulighed for at styre samtalen, samtidig med at informanten frit kunne besvare spørgsmålene (Kvale & Brinkmann, 2015). Interviewguiden fra interviews er indsat som bilag.

Tabel 44 Oversigt over interviewpersoner

Organisation	Type	Antal personer
Danica Ejendomme	Bygherre	2
FSB Boligselskab	Bygherre	2
Aarhus Kommune	Bygherre	1
Olav de Linde	Bygherre	1
DAI	Rådgiver	2
Dall Lindhardtzen	Rådgiver	1
COWI	Rådgiver (og bygherre)	1
Wissenberg	Rådgiver	1
Varmings Tegnesteue	Rådgiver	1
Randers Arkitekten	Rådgiver	1
Vilhelm Lauritsen	Rådgiver	1
Arkitema	Rådgiver	1
HHM	Entreprenør (og rådgiver)	2
Høgh Entreprise	Entreprenør	1
MT Højgaard	Entreprenør	2
Pihl Koncernen	Entreprenør	1

Der indsamles såvel kvalitativ som kvantitativ viden gennem interviews, men også gennem spørgeskemaer, som blev udfyldt under interviewene med informanterne. Kopi af spørgeskemaerne er indsat som bilag. For kvantitativ viden må tages det forbehold, at oplysninger indsamles i det omfang, det er muligt. Informanterne svarer ud fra erfaring, idet det må erkendes efter indledende undersøgelser, at data ikke kan udledes direkte af projektoplysninger, men må bero på informanternes og respondentens svar. Der spørges

ind til den økonomiske påvirkning såsom faktiske ekstraudgifter i kr. (entrepriseudgifter, rådgivning, materialepriser), øget tidsforbrug, ændringer i risiko, mindsket eller øget fokus på andre forhold, som om klimakrav påvirker arbejdet med holdbarhed og totaløkonomi, og/eller andet, som respondenter eventuelt oplyser. Viden er blevet indsamlet både for renovering og nybyggeri. Men det er svært at skelne tydeligt, da flere respondenter har haft erfaring med begge dele og ikke tydeligt har opdelt deres svar. Desuden er klimakravene endnu ikke er trådt i kraft for renoveringer, så betydningen baserer sig primært på forventninger og antagelser.

G.2.2 Survey i projektets følgegruppe

Den anden del af datagrundlaget for delprojekt 4 er blevet indsamlet gennem en survey med spørgsmål om klimakrav og økonomiske forhold til projektets følgegruppe. Surveyen blev udsendt via mail til 59 personer fra følgegruppen, herefter benævnt respondenter, hvoraf der er modtaget i alt 33 komplette besvarelser (57%). Kopi af spørgsmålene i surveyen er indsat som bilag. Således repræsenterer dataene fra undersøgelsen ikke svar fra alle følgegruppemedlemmerne, men giver en god indikation af deres viden og vurderinger af klimakrav og økonomiske forhold. Følgegruppen består af personer, som repræsenterer en række organisationer og virksomheder med særlig interesse for projektets resultater. Det drejer sig om interesseorganisationer, offentlige myndigheder, vidensinstitutioner, bygherrer, rådgivere med flere. Der er således ikke tale om en tilfældigt udvalgt respondentgruppe, men personer som formodes at have en vis indsigt i og interesse for emnet klimapåvirkning samt projektets konklusioner, hvilket kunne farve besvarelser fra gruppen. Af samme årsag er svar fra opgavegiver på den sikre side frasortet. Det er heller ikke alle respondenter, som kan forventes at have konkrete erfaringer med økonomiske påvirkninger fra projekter, som det gælder for gruppen af informanter, som er blevet interviewet. Det er således data fra de kvalitative interviews, som er den primære kilde til undersøgelsens konklusioner, mens resultatet af survey betragtes som sekundær og underbyggende.

Respondenterne er spurgt om deres baggrund, med svarmulighederne bygherre, rådgiver, entreprenør eller andet. Fordelingen af respondenter ses i Figur 97.

Figur 99 Fordeling af respondenter på grupper

Der er stillet to enslydende spørgsmål rettet mod hhv. nybyggeri og renovering, idet følgegruppen er blevet bedt om at vurdere klimakravenes indflydelse på omkostninger og priser inden for følgende emner:

- › Entrepriseudgifter
- › Materialepriser
- › Øget tidsforbrug
- › Rådgivning
- › Ændringer i risiko

Indflydelsen skaleres i svarene på en symmetrisk skala med 7 trin fra "stærkt forøget" til "meget lavere" med "neutral" i midten. Det er også muligt at svare "ved ikke" og at kommentere sit svar. Det er bevidst valgt at udforme skalaen symmetrisk om "neutral", for at undgå at påvirke svarene i retning af, at klimakrav nødvendigvis bevirker øgede omkostninger.

Tabel 45 Svarskala til spørgsmål om klimakravenes indflydelse på omkostninger og priser i byggesager.

Svarmulighed	Point
Stærkt forøget	3
Noget forøget	2
Mindre forøget	1
Neutral	0
Noget lavere	-1
En del lavere	-2
Meget lavere	-3
Ved ikke	Medregnes ikke

Note: De anførte point var ikke synlige for respondenten. De anvendes kun til beregning af gennemsnit for afgivne svar

G.3 Interviewguide til bygherrer, entreprenører og rådgivere

Herunder er indsat en kopi af den interviewguide, som blev benyttet i interviews af bygherrer, rådgivere og entreprenører.

Start på interviewguide:

[Alle interviews udføres som semistrukturerede interviews. Derfor er interviewguiden vejledende, da den indebærer fleksibilitet til dels at forfølge interessante spor, der opstår undervejs i interviewet, og dels til at springe mindre essentielle punkter over, hvis de ikke er relevante for interviewpersonen. Dette giver interviewerens mulighed for at styre samtalen, samtidig med at informanten frit kan besvare spørgsmålene.]

› Opgave	› Klimadata -Realdania
› Navn på informant	›
› Informantkategori (Bygherre, rådgiver, entreprenør)	›
› Virksomhed	›
› Dato	›
› Interviewer (COWI)	›
› 3 hovedpointer fra interviewet	› ... › ... › ...

Introduktion

Først om fremmest tak, fordi du har lyst til at deltage i et interview. Det sætter vi stor pris på. Jeg hedder XXX, og jeg arbejder for COWI, som i øjeblikket hjælper Realdania med at udføre projektet "Klimadata for renovering og nybyg", hvor vi blandt andet gennem interviews med bygherrer, rådgivere og entreprenører

prøver at blive klogere på, hvordan klimakrav nu og i fremtiden vil påvirke byggesager økonomisk. Med klimakrav mener vi Bygningsreglementets CO₂-krav til materialer og energiforbrug til drift, som blev indført d. 01.01.2023 [krav om LCA-beregning for alle bygninger og grænseværdier for store bygninger over 1000 m² = 12 kg CO₂ pr. m². Tallet dækker over en 50-årig periode og inkluderer både indlejret CO₂ i materialer og CO₂ fra energiforbrug til drift].

(Uddybende definition af "Klimakrav" i DP4 b) om indsamling af viden fra byggede og igangværende projekter forstås som krav ifølge BR§297-§298:

- §297 krav om LCA-beregning

- §298 krav til grænseværdier for klimabelastningen i et livscyklusperspektiv (maks CO₂/m²/år) for visse bygninger.

(Ovenstående krav omfatter implicit BR krav til energibehov, da dette indgår under driften i LCA.)

- Samt eventuelle frivillige krav, som f.eks. den frivillige lav-emmissionsklasse eller via krav fra DGNB-certificering eller krav stillet specifikt af bygherre.

[Krav i BR fra jan'2023: grænseværdi for bygninger over 1000 m² = 12 kg CO₂/m². Den frivillige lav-emmissionsklasse har en grænseværdi = 8 kg CO₂/m². Forventet BR-grænseværdi fra 2025: 10,5 kg CO₂/m². I DGNB skal man opnå nogle point og kan vælge forskellige måder at nå dertil – altså have forskellig fokus, heraf fylder LCA'en / CO₂' en en pæn del, så det er godt, hvis man kan komme under 12. Vi behøver ikke at nævne den frivillige bæredygtighedsklasse, da den er i pilotfase, ikke har grænseværdier og er under revision].

Jeg vil gerne tale med dig om din erfaring med forskellige typer af byggesager, hvilke klimakrav du er stødt på i dit arbejde, og hvilke udgifter eller udfordringer, der har været forbundet hermed. Derudover vil jeg også gerne tale med dig om, hvordan du forventer, at klimakravene vil udvikle sig, og hvordan de sandsynligvis har påvirket eller vil påvirke økonomien i byggesager fremover.

Du skal svare ud fra din egen erfaring, og der er ingen rigtige eller forkerte svar. Hvis der er noget, du ikke ønsker at svare på, må du gerne sige det, og hvis der er andre emner, du synes er relevante, må du gerne byde ind.

Jeg gør opmærksom på, at din org./firma vil blive nævnt som kilde i projektrapporten (men uden personnavn). Jeg vil muligvis gerne dele citater fra interviewet med Realdania. I så fald fremgår de uden dit navn og andre personlige oplysninger. Er du er indforstået med det?

Vi vil også gerne optage interviewet. Er det ok med dig, at jeg begynder optagelsen nu?

Har du nogle spørgsmål til mig, inden vi går i gang?

Tema 1: Baggrund og erfaring

[Formålet er at få grundlæggende oplysninger om informanten og skabe en afslappet stemning. Temaet vil dermed danne en ramme for resten af interviewet.]

- › Vil du starte med at beskrive din baggrund inden for byggebranchen, herunder din erfaring med forskellige typer byggesager og din rolle i disse?

- › Hvordan fordeler din erfaring sig på hhv. renovering og nybyggeri?

Tema 2: Klimakrav og økonomisk påvirkning i en specifik byggesag

[Formålet er at opnå en forståelse for, hvordan klimakrav påvirker byggeprojekter, især økonomisk, og hvordan de er implementeret og håndteret i praksis.]

- › Kan du give os et konkret eksempel på en specifik byggesag (gerne en nylig sag), hvor du var involveret, og som involverede klimakrav?
 - › Var byggesagen renovering eller nybyggeri?

[Hvis interviewpersonen ikke kan nævne en konkret sag, kan de følgende spørgsmål besvares ud fra mere generelle erfaringer og/eller forventninger.]

- › Hvad var din rolle i sagen?
- › Hvilke klimakrav stødte du på i denne byggesag, og hvordan blev de introduceret i processen? Hvor i projektforsløbet optrådte de?
- › Hvad var de økonomiske konsekvenser af klimakravene?
(Udspørg successivt til påvirkningen af nedenstående økonomiske konsekvenser af klimakravene: Ekstraudgifter i kr. (entrepriseudgifter, rådgivning, materialepriser) → øget tidsforbrug → ændringer i risiko → mindsket fokus/indsats for andre forhold/kvaliteter, og/eller andet, som respondenter eventuelt oplyser).
 - › Hvilke ændringer bemærkede du i omkostningerne?
 - › Hvordan påvirkede klimakravene materialepriserne? (/og mulighed for at få leveret materialer med lavt klimaaftryk)
 - › Hvordan vurderer du merprisen for at vælge løsninger med lavt klimaaftryk i forhold til konventionelle alternativer?
 - › Kan du give eksempler på, hvordan valget af grønne energikilder eller energieffektivitetstiltag påvirkede økonomien – både på byggepladsen, på indkøbspriser og i den efterfølgende drift af byggeriet?
 - › Har du bemærket en øget tidsmæssig investering i projektet som følge af klimakravene, og hvordan påvirkede dette de økonomiske aspekter f.eks. timeforbrug og arbejdskraftomkostninger?
 - › Hvor stor en udgift udgør rådgivere ifm. udarbejdelse af LCA?
 - › Var der udgifter til omprojektering (f.eks. med andre materialer)?

- › Var der øgede omkostninger ved at opfylde dokumentationskravene for materialer i overensstemmelse med klimakravene?
- › Hvordan blev de økonomiske udfordringer håndteret i projektet? Kan du give os eksempler på tiltag, der blev truffet for at tackle dem, og hvordan det påvirkede den økonomiske situation?
 - › Projektet som helhed blev dyrere.
 - › Hvordan?
 - › Der blev truffet beslutninger om at spare på omkostninger andre steder i projektet for at imødegå økonomiske udfordringer.
 - › Hvilke?
 - › For at håndtere økonomiske udfordringer accepterede projektet en vis grad af øget risiko?
 - › Andet. Uddyb
- › Hvis vi kort gennemgår dine svar – ville de være anderledes hvis fokus var renovering / nybyggeri (alt efter hvilken type sag, vi har gennemgået)

Tema 3: Klimakrav og økonomisk påvirkning i byggesager generelt

[Formålet er at opnå en forståelse for, hvordan klimakrav generelt økonomisk påvirker byggeprojekter med fokus på nybyggeri og renovering]

Vi har netop talt om, hvordan klimakravene havde en økonomisk påvirkning i en byggesag, som du var involveret i. Nu vil jeg gerne høre, hvordan du forestiller dig, at klimakravene generelt vil have en økonomisk indflydelse i byggesager med fokus på renovering og nybyggeri. Til dette har vi udarbejdet et kort spørgeskema, som du kan se her (**del din skærm, så informanten kan se spørgeskemaet**). Du skal blot afgive dine svar mundtligt, så udfylder jeg spørgeskemaet imens.

Link til spørgeskemaet: (fjernet)

Tema 4: Midlertidige og permanente omkostninger som følge af klimakravene

[Formålet er at opnå en forståelse for, hvilke udgifter, der forventes at være midlertidige ifm. omstillingen til at skulle rapportere på og overholde klimakravene, og hvilke omkostninger, der vil være permanente på længere sigt.]

Vi vil nu rette opmærksomheden mod både de midlertidige og permanente økonomiske udgifter som følge af klimakravene. Lad os først tale om de midlertidige økonomiske udgifter.

- › Hvilke omkostninger forventes at være midlertidige i hhv. renoverings- og nybyggeriprojekter under en overgangsperiode som følge af klimakravene? *(Fokus på entrepriseudgifter, rådgivning, materialepriser, øget tidsforbrug, ændringer i risiko),*
 - › Hvorfor forventer du, at disse udgifter som følge af klimakravene vil være midlertidige?
- › Hvilke omkostninger forventes at være permanente i hhv. renoverings- og nybyggeriprojekter som følge af klimakravene? *(Fokus på entrepriseudgifter, rådgivning, materialepriser, øget tidsforbrug, ændringer i risiko),*
 - › Hvorfor forventer du, at disse udgifter som følge af klimakravene vil være permanente?
- › Hvordan forestiller du dig, at branchen vil tilpasse sig de økonomiske udfordringer, der er forbundet med klimakravene?
- › Kan du beskrive, hvordan du ser på fremtidige udfordringer og muligheder i forhold til at opfylde klimakrav i byggebranchen?

Tema 5: Afrunding

[Formålet er at runde interviewet af og inkludere kommentarer, som ikke er omfattet af interviewets temaer.]

- › Afslutningsvis er der andre ting, som du vil tilføje, som vi ikke allerede har talt om?
- › Herudover vil jeg gerne høre, om I har lyst til at dele konkrete tal med os om de økonomiske konsekvenser af klimakravene?
- › Må vi kontakte dig igen, hvis der skulle opstå opfølgende spørgsmål?

Mange tak for din deltagelse og for værdifuld indsigt i klimakravenes økonomiske indvirkning på byggebranchen.

Slut på interviewguide.

G.4 Spørgeskema til interviews

Herunder ses kopi af de spørgeskemaer, som blev besvaret under interviewene af bygherrer, entreprenører og rådgivere.

Start på survey:

I hvilken grad tror du, at klimakravene vil have økonomisk indflydelse i byggesager med fokus på nybyggeri i forhold til...

	I meget høj grad	I høj grad	I nogen grad	I mindre grad	Slet ikke	Ved ikke
Entrepriseudgifter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rådgivning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Matrialepriser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Øget tidsforbrug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ændringer i risiko	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

I hvilken grad tror du, at klimakravene vil have økonomisk indflydelse i byggesager med fokus på renovering i forhold til...

	I meget høj grad	I høj grad	I nogen grad	I mindre grad	Slet ikke	Ved ikke
Entrepriseudgifter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rådgivning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Øget tidsforbrug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Matrialepriser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ændringer i risiko	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

G.5 Survey til følgegruppe

Herunder ses kopi af skærbillederne for den online survey, som følgegruppen via mail blev inviteret til at deltage i.

Hvad er din primære rolle inden for byggebranchen?

- Bygherre
- Rådgiver
- Entreprenør
- Andet (uddyb venligst) _____

Hvilken type byggesager arbejder du primært med?

- Renovering
- Nybyggeri
- Arbejder cirka lige meget med byggesager inden for nybyggeri og renovering

Hvilke klimakrav har du erfaring med (du kan sætte mere end et kryds)?

- Krav i BR fra januar 2023: Der skal udarbejdes LCA for byggeri
- Krav i BR fra januar 2023: grænseværdi for bygninger over 1000 m² = 12 kg CO₂/m²
- Den frivillige lav-emissionsklasse med grænseværdi = 8 kg CO₂/m²
- DGNB certificering
- Lavenergibyggeri eller 0-energibyggeri
- Andet (uddyb venligst) _____

Hvordan tror du, at klimakravene vil få indflydelse på omkostninger og priser i byggesager med fokus på nybyggeri i forhold til..

	Stærk forøget	Noget forøget	Mindre forøget	Neutral	Noget lavere	En del lavere	Meget lavere	_____
Entrepriseudgifter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Matrialepriser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Øget tidsforbrug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Rådgivning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Ændringer i risiko	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____

I hvilken grad tror du, at de kommende klimakrav vil få indflydelse på omkostninger og priser i byggesager med fokus på renovering i forhold til...

	Stærk forøget	Noget forøget	Mindre forøget	Neutral	Noget lavere	En del lavere	Meget lavere	_____
Entrepriseudgifter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Matrialepriser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Øget tidsforbrug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Rådgivning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Ændringer i risiko	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____

Hvilke omkostninger i byggesager forventer du vil være henholdsvis midlertidige og permanente som følge af klimakravene?

	Midlertidig omkostning	Permanent omkostning	_____
Entrepriseudgifter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Matrialepriser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Øget tidsforbrug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Rådgivning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Ændringer i risiko	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____

Hvor stor en ekstra omkostning (i % af de samlede projektomkostninger) tror du, at CO2-afgifter skal udgøre, før det kan få indflydelse på beslutninger? Fx i forhold til at vælge renovering frem for nedrivning og nybyggeri eller materialevalg?

- (1) 0-2 % af de samlede projektomkostninger
- (2) 3-5 % af de samlede projektomkostninger
- (3) 6-10% af de samlede projekt omkostninger
- (4) 11-15% af de samlede projektomkostninger
- (5) Mere end 16 % af de samlede projektomkostninger

Skriv gerne dine tanker om, hvad øgede omkostninger til CO2-afgifter vil betyde for valget mellem nybyggeri og renovering

Slut på survey.

Bilag H CO₂ afgift. Metode og datagrundlag

H.1 Introduktion

Der findes ikke CO₂-afgifter, der rammer den danske byggebranche direkte, dog indeholder lovgivningen CO₂-afgifter, der rammer byggeriet indirekte via en prisandel af fx materiale- og forsyningspriser. Samtidig beskriver afsnittet hvorledes der ses en udvikling imod implementering af CO₂-skyggepriser iblandt nogle af branchens aktører, fx kommunale bygherreorganisationer. CO₂-skyggepriser bruges i to betydninger; dels dækker CO₂-skyggeprisen over den samfundsøkonomiske omkostning som beskrevet i Tekstboks 5, og dels anvendes CO₂-skyggepriser som en adfærdsregulering imod det mere klimavenlige valg.

Tekstboks 5 Definition af CO₂-afgift og CO₂-skyggepris

En **CO₂-afgift** er en klimaafgift, som sigter mod at give markedskræfterne mulighed for at bestemme den mest effektive måde at reducere klimabelastningen i form af CO₂-emissioner på. Der er således tale om faktiske lovgivningsmæssige afgifter, som betales som økonomisk regulering med henblik på at nedbringe CO₂-emissioner.

En **CO₂-skyggepris** bruges i to betydninger: dels med et adfærdsregulerende formål og dels som et klimatiltag, som angiver den samfundsøkonomiske omkostning ved reduktion af ét ton CO₂. Prisen tager udgangspunkt i nutidsværdien for de samlede samfundsøkonomiske omkostninger og gevinster (Klimabevægelsen, 2021).

CO₂-skyggepriser er fiktive priser og afspejler derved ikke økonomiske transaktioner imellem involverede parter. I økonomiske analyser omtales skyggepriser også som *internal cost of carbon* eller *social cost of carbon*.

I forbindelse med (4. Økonomi - Klimakrav og økonomiske konsekvenser) er der foretaget en række beregninger af CO₂-afgifter i forlængelse af variantanalyserne for rækkehuse i (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter).

Afgiftsberegningerne har til formål at undersøge hvilken betydning, det vil have for renoverings- og byggeprojekter, hvis der indregnes en CO₂-afgift direkte i totaløkonomien baseret på projekternes løbende CO₂-emissioner. Beregningerne bygger således ovenpå resultater fra LCA- og LCC-beregninger i (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter). Denne bilagsrapport danner således grundlag for (4. Økonomi - Klimakrav og økonomiske konsekvenser)'s kvantitative undersøgelser af CO₂-prisers effekt i afsnit 4.4.

I bilag D beskrives det metodiske grundlag for totaløkonomiske beregninger og dertilhørende beregningsforudsætninger. Bilag E redegør datagrundlaget i form af datakilder og de antagelser, der er taget ifm. estimat af fx enhedspriser. Beregningsgrundlag og resultater findes i bilag F.

H.2 Metode for beregning af CO₂-afgifter

Den kvantitative vurdering af CO₂-afgifters effekt på hhv. nybyggeri og renovering baseres på beregninger af CO₂-afgifter baseret på udvalgte resultater fra variantanalyser i (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter).

H.2.1 Principper for beregning af CO₂-afgifter

Der findes forskellige metoder og beregningsprincipper for at regne CO₂-afgifter eller CO₂-skyggepriser for projekter. Disse er opsummeret i Tabel 47.

Tabel 46 Beregningsprincipper for CO₂-afgifter.

Princip	Beskrivelse	Eksempel
CO ₂ -skyggepris som engangsomkostning	Der anvendes en flad skyggepris på 1.500 kr./ ton CO ₂ ⁵ på aktivets samlede CO ₂ -emissioner.	Fredensborg Kommune anvender skyggepriser til at vurdere rentabiliteten af forskellige renoveringsscenarier (BuildingTech, 2022). I Københavns Kommune pålægges flyrejser en CO ₂ -skyggepris, som tilbageføres til kommunens generelle kasse, mens udgiften inkl. skyggepris afholdes af omkostningsstedet (fx et kontor i en forvaltning) (Københavns Kommune, 2023). Ejendomsinvestoren NREP har ligeledes indført en intern CO ₂ -skyggepris for at sikre at der investeres mere bæredygtigt. Her indregnes prisen for CO ₂ i prisen for nye materialer, uanset om det gælder nybyggeri eller renovering (Verdensmål, 2023).
CO ₂ -skyggepriser i TCO-beregninger	CO ₂ -skyggepriser indregnes i aktivets totalomkostninger (Total cost of ownership, herefter TCO) i overensstemmelse med ISO 15686-5:2017's metode for indregning af eksternaliteter.	Et eksempel på dette findes hos BUILD, der i samarbejde med POGI (Partnerskab for Offentlige Grønne Indkøb), har udviklet på et regnemodul til LCCbyg der gør det muligt at beregne og synliggøre CO ₂ -skyggepriser for hele byggerier (og altså endnu ikke for bygningsdele) i de meget tidlige planlægningsfaser for bygherrer og beslutningstagere i et projekt for miljøstyrelsen de seneste år. Modulet kobler sig resultater fra LCA-faserne, og fordeler disse ud over beregningsperioden baseret på antagelser om hvornår CO ₂ -emissionerne finder sted. Beregningsmotoren i LCCbyg anvender Klimarådets anbefalinger via Finansministeriets nøgletalskatalog (BUILD, u.d.).

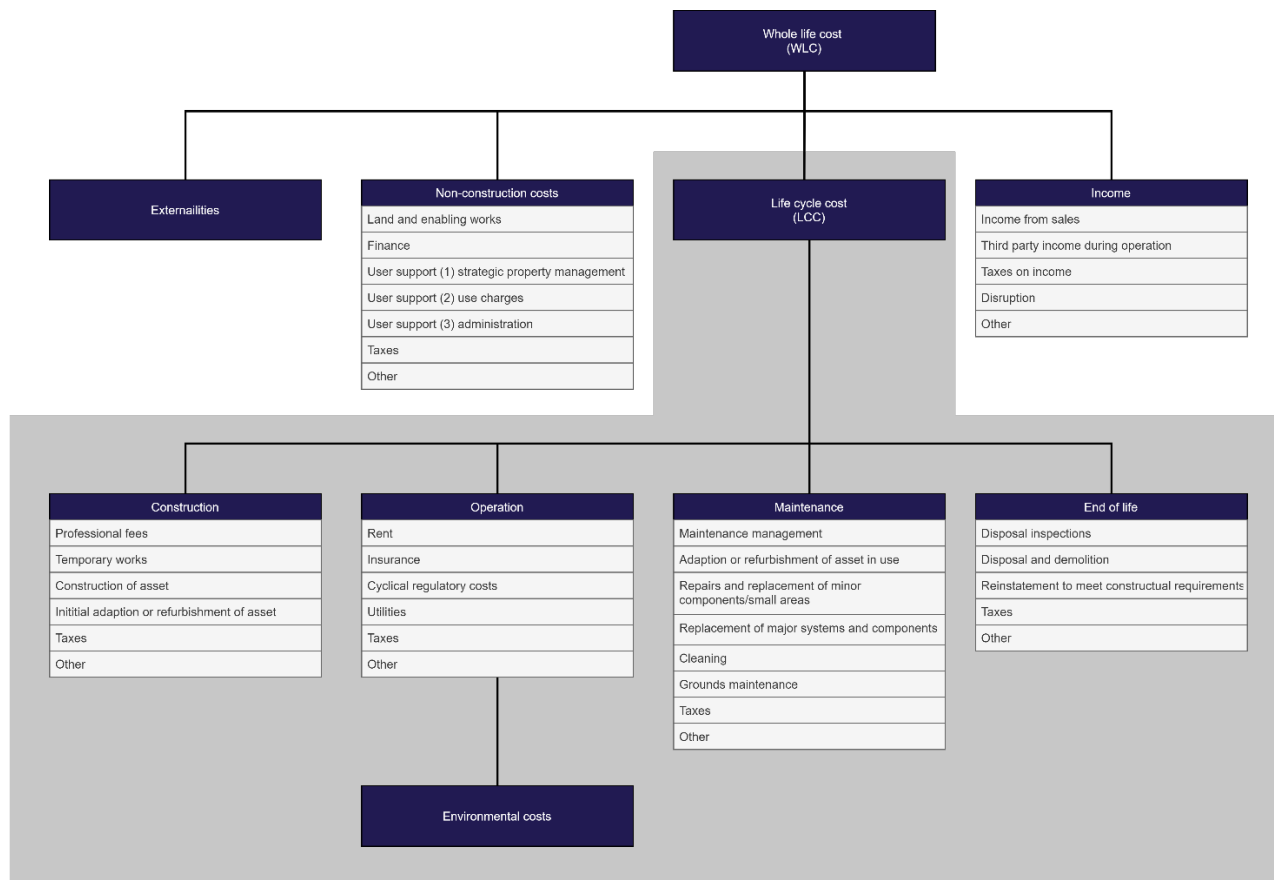
H.2.2 CO₂-afgifter i TCO-beregninger

Afgiftsberegningerne i denne vurdering tager udgangspunkt i ISO 15686-5:2017-standardens metode for indregning af eksternaliteter for at tage højde for diskonteringen af fremtidige betalinger for fremtidige emissioner i løbet af aktivets levetid.

ISO 15686-5:2017-standarden har til formål at definere fælles begreber og metoder til beregning af omkostningerne i løbet af et bygge- eller anlægsaktivs levetid (Life Cycle Costing, LCC). Dette gøres for at støtte beslutnings- og evalueringsprocesser i forskellige faser af byggeriet. Levetidsomkostninger omfatter både direkte og indirekte omkostninger, der opstår i løbet af aktivets levetid. Direkte omkostninger, som direkte relaterer sig til aktivets tilvejebringelse eller opstår som følge af aktivets brug, inkluderes i LCC-beregningerne, imens indirekte omkostninger, som ikke direkte relaterer sig til aktivet, ikke indgår i LCC-beregningerne. Dog kan disse indirekte omkostninger indgå i beregninger af hele livscyklusomkostninger (Whole Life Costing, WLC). WLC-beregninger giver et bredere perspektiv ved at inddrage omkostninger, der ikke nødvendigvis er direkte forbundet med selve aktivet, og dette kan være relevant i nogle evalueringsammenhænge [130] [121]. Figur 98 illustrerer, hvilke omkostninger der indgår i LCC-beregninger (grå kasse) og hvilke omkostninger der indgår i WLC-betragtninger. TCO (Total Cost of

⁵ Svarende til Klimarådets anbefalede CO₂e pris i 2030 (2020-priser).

Ownership) anvendes ofte som synonym for WLC, og i den resterende del af bilagsrapporten henvises anvendes TCO som begreb.



Figur 100 WLC vs. LCC efter [130] og [121]

Én af de omkostningstyper der typisk ikke indgår i en LCC-beregning men i en TCO-beregning er *eksternaliteter*, herunder CO₂-afgifter. Definitionen af eksternaliteter ses i Tekstboks 6.

Tekstboks 6 Eksternaliteter i ISO 15686-5:2017 Bygge- og anlægsaktiver - Levetidsplanlægning - Del 5: Analyse af livscyklusomkostninger (LCC).

Eksternaliteter er en generel betegnelse for den påvirkning, der påføres andre end dem, som er direkte involveret i en markedstransaktion. Eksternaliteter kan både være positive (en gevinst) – eller negative (ved at øge omkostningerne for andre eller forringe deres nytte). De økonomiske effekter af CO₂-priser indgår i en TCO-betragtning under eksternaliteter i (DS/ISO 15686-5:2017 Bygge- og anlægsaktiver - Levetidsplanlægning - Del 5: Analyse af livscyklusomkostninger (LCC)). ISO-standarden beskriver metoden for beregning af aktivers nutidsværdi, dvs. den mængde penge, der skal allokeres i dag, for at kunne afholde alle fremtidige omkostninger med den valgte kalkulationsrente og beregningsperiode **Invalid source specified..**

Beregningen af CO₂-afgifter udføres således som eksternaliteter i et TCO-perspektiv, hvor resultaterne er et udtryk for den økonomi der skal tilsidesættes i år 0 for at afholde de omkostninger der er forbundet med at

udlede den CO₂ækv, der er forbundet med den respektive case, såfremt der indføres en CO₂-afgift direkte tilknyttet bygge- og anlægsprojekter. Afgifterne beregnes via nutidsværdimetoden, hvor nutidsværdien beregnes ved:

$$NVP = \sum_{n=1}^p C_n \times \frac{(1+a)^n}{(1+d)^n}$$

a er den forventede årlige prisændring i procent, d er den forventede årlige diskonteringsrente, p er beregningsperioden og C_n beskriver en omkostning i det n 'te år. Beregningerne udføres i et regneark.

Beregningerne foretages over en periode på 50 år ($p = 50$) i overensstemmelse med LCA- og LCC-beregningerne i (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter). Her falder renoveringstiltagene foretages i år 0 ($n = 0$), medmindre andet er angivet. Beregningernes kalkulationsrente (d) er fastlagt i overensstemmelse med den samfundsøkonomiske diskonteringsrente (Finansministeriet, 2024), imens prisudviklingerne (a) er fastsat i overensstemmelse med Forbrugerprisindekset og realprisudvikling som beskrevet i BUILD-rapport 2023:13 [130]. Se bilag D.3.

Når de beregnede skyggepriser kombineres med LCC-resultaterne, er det vigtigt at have i mente, at nutidsværdierne fra (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter) er beregnet uden restværdier. Det vil sige at det antages at samtlige materialer i renoverings- og nedrivning-og-nybyg-scenarierne afskaffes efter den 50-årige beregningsperiode og ikke er noget værd. Dette afspejler imidlertid ikke sædvanlig beregningspraksis, hvor bygninger og bygningsdeles restværdi beregnes på baggrund af restlevetid og anskaffelsværdi ved en lineær afskrivning. Konsekvensen af dette er, at de beregnede nutidsværdier i værste fald er 5-10 % højere end de ville være, hvis man havde medtaget restværdierne i beregningerne. Dette er yderligere beskrevet i (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter).

C_n beregnes på baggrund af de årlige CO₂-emissioner per kvadratmeter, der multipliceres med en CO₂-pris og derefter fremskrives og tilbagediskonteres. Derved bliver de beregnede CO₂-afgifter et udtryk for den økonomi der skal tilsidesættes i år 0 for at afholde de omkostninger der er forbundet med at udlede aktivets CO₂, hvis der indføres en CO₂-afgift direkte tilknyttet bygge- og anlægsprojekter.

H.2.3 Beregningsforudsætninger

Beregningsforudsætningerne i TCO-beregningerne tager udgangspunkt i den faldende realrente. Således anvendes kalkulationsrenten (d) i overensstemmelse med Finansministeriets anbefalinger til den samfundsøkonomiske diskonteringsrente [111] og [130].

Kalkulationsrente:	År 0-35:	3,5 %
	År 36-70:	2,5 %
	År 71- :	1,5 %

Derudover afstemmes prisudviklingen (a) for CO₂-afgiften i TCO-beregningerne med de nyeste anbefalinger fra en revurdering af beregningsforudsætninger og nøgletal i LCCbyg i BUILD 2023:13 [130]. Da CO₂-

afgifterne jf. Finansministeriets nøgletalskatalog og sædvanlig afgiftspraksis reguleres via nettoprisindekset, anvendes nettoprisindekset som prisudvikling for CO₂-afgifterne i beregningen. Prisudviklingen tager udgangspunkt i den generelle inflation og sættes lig 0 %.

H.2.4 Metode for kobling af LCA og TCO-beregninger

CO₂-emissionerne fra LCAByg eksporteres via LCABygs tabel for akkumulerede CO₂-emissioner pr. m² opdelt på hhv. indlejret CO₂ækv, indlejret CO₂ækv inkl. D-fase samt drifts- CO₂ækv (dvs. B6). Da emissioner relateret til D-fasen ikke indgår i det anvendte analysegrundlag i (3. Variansanalyser – Klimadata fra dybe studier af udvalgte projekter), indgår de ikke i beregningerne af CO₂-afgifter.

Der anvendes imidlertid forskellige principper for hvordan den 50-årige beregningsperiode håndteres i LCAByg og LCC-beregningsprincipper. I LCAByg forløber beregningerne over en 50-årig periode, der starter med år 0, og det sidste beregningsår er således år 49. I LCC-beregninger anvendes år 0 til de anskaffelser og aktiviteter der er nødvendige for, at aktivet kan være i brug i en 50-årig periode, dvs. fra år 1-50. Forskellene betyder, at der skal foretages tilpasninger, når årlige CO₂-emissioner fra LCAByg anvendes som datakilde for beregninger af CO₂-afgifter ved nutidsværdimetoden. Tilpasningerne er beskrevet nedenfor og opsummeret i Tabel 48.

Tabel 47 Tilpasninger af LCA-resultater ifm. TCO-beregninger.

LCA Beregningsår	Primo/ultimo	LCA-fase	Totaløkonomi Beregningsår	Kommentar
År 0	Primo	Ex. C3+C4	År 0	Værdien aflæses af LCABygs fase-resultater.
År 0	Primo	A1-A3	År 0	Værdien aflæses af LCABygs fase-resultater.
År 1-48 År 0-48	Ultimo Ultimo	B4 B6	År 1 – 50	B4 og B6 giver anledning til løbende emissioner over beregningsperioden. B6-emissionerne påvirkes af CO ₂ -fremskrivningerne for fjernvarme og el og falder derved over beregningsperioden, imens B4 findes i punktvis emissioner som resultat af levetider. Værdierne aflæses af LCABygs akkumulerede grafer, og afholdes i år 1-50.
År 49	Ultimo	C1+C3	År 50	Værdien aflæses af LCABygs fase-resultater.

LCAByg-resultaterne indeholder data fordelt på beregningsår 0-49, og derved beror resultaterne på indlejrede principper om primo og ultimo-betalinger. De indlejrede CO₂-emissioner i år 0 (2024) dækker over bortskaffelsen af bygningsdele ifm. renovering (ex. C3+C4) og produktfaserne (A1-A3). Disse emissioner er således emissioner der falder primo år 0 i LCA-regi. Modsat, dækker drift-CO₂-emissionerne i år 0 over driften af aktivet i det første beregningsår, og der er således tale om ultimo-emissioner i det 0'te beregningsår (2024). For at håndtere dette i TCO-beregningerne splittes 2024 i to separate beregningsår:

- > 2024 – Primo: År 0
- > 2024 – Ultimo: År 1

LCAByg-resultaterne for de indlejrede CO₂-emissioner i år 1-48 henføres til løbende udskiftninger (B4). I det 49. år i LCAByg antages omkostningerne at være relateret til bortskaffelsen, da der ikke er nogle af de anvendte bygningsdele der har en levetid, der går op i 49, og emissionerne derfor ikke kan være relateret til udskiftning (B4). Da opdelingen af 2024 i primo og ultimo-betalinger tilfører et ekstra beregningsår ift. LCAByg årene, falder B4-emissionerne i år 1-49 i TCO-beregningerne. De indlejrede CO₂-emissioner i år 49 i resultaterne fra LCAByg antages at dække over endt levetid (C3+C4), da der ikke er anvendt nogle

(rest)levetider i beregningerne, der giver anledning til en udskiftning i år 49. De indlejrede CO₂-emissioner i år 49 i resultaterne fra LCAbyg skydes derved til år 50 i TCO-beregningerne.

År	LCA-år	Indlejret	Drift		År	LCC-år	Indlejret	Drift
2024	0	228	4	Opdeling af beregningsår	2024	0	228	4
2025	1	0	4		2024	1	0	4
2026	2	0	3	Ingen drift (B6) i år 0	2025	2	0	3
2027	3	0	3		2026	3	0	3
2028	4	0	3	2027	4	0	3	
2029	5	0	3	2028	5	0	3	
2030	6	0	2	2029	6	0	3	
2031	7	0	2	2030	7	0	2	
2032	8	0	2	2031	8	0	2	
2033	9	0	2	2032	9	0	2	
2034	10	0	2	2033	10	0	2	
2035	11	0	2	2034	11	0	2	
2036	12	0	2	2035	12	0	2	
2037	13	0	2	2036	13	0	2	
2038	14	10	2	2037	14	0	2	
2039	15	0	2	2038	15	10	2	
2040	16	0	2	2039	16	0	2	
2041	17	0	2	2040	17	0	2	
2042	18	0	2	2041	18	0	2	
2043	19	5	2	2042	19	0	2	
2044	20	0	2	2043	20	5	2	
2045	21	0	2	2044	21	0	2	
2046	22	0	2	2045	22	0	2	
2047	23	0	2	2046	23	0	2	
2048	24	13	2	2047	24	0	2	
2049	25	0	2	2048	25	13	2	
2050	26	0	2	2049	26	0	2	
2051	27	0	2	2050	27	0	2	
2052	28	0	2	2051	28	0	2	
2053	29	13	2	2052	29	0	2	
2054	30	0	2	2053	30	13	2	
2055	31	0	2	2054	31	0	2	
2056	32	0	2	2055	32	0	2	
2057	33	0	2	2056	33	0	2	
2058	34	0	2	2057	34	0	2	
2059	35	0	2	2058	35	0	2	
2060	36	0	2	2059	36	0	2	
2061	37	0	2	2060	37	0	2	
2062	38	0	2	2061	38	0	2	
2063	39	10	2	2062	39	0	2	
2064	40	0	2	2063	40	10	2	
2065	41	0	2	2064	41	0	2	
2066	42	0	2	2065	42	0	2	
2067	43	0	2	2066	43	0	2	
2068	44	10	2	2067	44	0	2	
2069	45	0	2	2068	45	10	2	
2070	46	0	2	2069	46	0	2	
2071	47	0	2	2070	47	0	2	
2072	48	0	2	2071	48	0	2	
2072	49	63	2	2072	49	63	2	
				2073	50	63	2	

Figur 101 Eksempel på tilpasning af data fra LCAbyg inden beregning af CO₂-afgifter.

H.3 Enhedspriser for CO₂ækv

Finansministeriets nøgletalskatalog af februar 2024 indeholder Energistyrelsens fremskrivning af CO₂-afgiften inden for kvotesektoren i overensstemmelse med den grønne skattereform. Der findes i skrivende stund ikke en fremskrivning af reformens CO₂-afgift udenfor kvote-sektoren, men der arbejdes ifølge Finansministeriet på at lave en opdatering af fremskrivningen, som tager højde for EU's mål om 55 %-reduktioner i 2030 [111]. I Energistyrelsens *Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner* [102] beskrives det, at CO₂ækv-prisen indenfor kvotehandelssystemet fastlægges som afkastet på et risikofrit aktiv, svarende til 10 års renten på tyske statsobligationer, samt en risikopræmie på 3,5 % [102].

Finansministeriets nøgletalskatalog indeholder derudover en fremskrivning af Klimarådets CO₂ækv-pris til brug for følsomhedsanalyser i beslutningsgrundlaget angivet i forbrugerpriser i faste 2023-priser. Metoden for Energistyrelsens fremskrivning af Klimarådets CO₂ækv-pris følger fremskrivningsprincippet for CO₂-afgiften inden for kvotesektoren fra 2030 og frem. Det kan antages at tilsvarende fremskrivningsprincipper ligger til grund for fremskrivningerne i Finansministeriets nøgletalskatalog.

Tabel 49 indeholder prisdata for CO₂-afgift inden for kvoteområdet i den grønne skattereform og fremskrivning af Klimarådets CO₂ækv-priser. Priserne er angivet i hhv. faktorpriser og markedspriser.

Faktorpriser er priser uden moms og punktafgifter. Finansministeriets fremskrivninger går til og med 2050, hvorefter priserne fastholdes i 2050-niveau jf. sædvanlig beregningspraksis i samfundsøkonomiske vurderinger [110].

Ifølge Energistyrelsen [102] beskriver nettoafgiftsfaktoren afgiftstrykket for forbrugeren og angiver derved størrelsen på de indirekte skatter, afgifter og tilskud, der i gennemsnit lægges på det private forbrug [130].

Faktorpriser omregnes til markedspriser ved brug af nettoafgiftsfaktoren (1,28) som korrigerer for den generelle moms og afgift [130] [151]. Markedspriserne er omregnet til kr./kg. CO₂ækv, da det er den prisenheds der anvendes i TCO-beregningerne.

Det skal desuden bemærkes, at det anbefales at der udføres følsomhedsanalyser ved brug af begge prisforløb fra Finansministeriets nøgletalskatalog jf. principperne beskrevet i de samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger [110]. Dette er imidlertid ikke gjort ifm. beregningen af CO₂-afgifter i dette projekt.

Tabel 48 Data for CO₂-afgift inden for kvoteområdet i den grønne skattereform og fremskrivning af Klimarådets CO₂ækv-priser. Priserne er angivet i hhv. faktorpriser og markedspriser. De grå priser er angivet i kr./ton CO₂ækv, imens de sorte priser er angivet i kr./kg CO₂ækv.

	Faktorpriser (kr./ ton CO ₂ ækv)		Markedspriser (kr./ton CO ₂ ækv)		Markedspriser (kr./kg. CO ₂ ækv)	
	Grøn Skattereform CO ₂ -afgift	Klimarådets CO ₂ ækv-pris	Grøn Skattereforms CO ₂ -afgift	Klimarådets CO ₂ ækv-pris	Grøn Skattereforms CO ₂ -afgift	Klimarådets CO ₂ ækv-pris
2024	472	472	604	604	0,60	0,60
2025	491	589	628	754	0,63	0,75
2026	509	733	652	938	0,65	0,94
2027	528	913	676	1.169	0,68	1,17
2028	549	1139	703	1.458	0,70	1,46
2029	570	1421	730	1.819	0,73	1,82
2030	593	1772	759	2.268	0,76	2,27
2031	617	1845	790	2.362	0,79	2,36
2032	643	1921	823	2.459	0,82	2,46
2033	670	2002	858	2.563	0,86	2,56
2034	698	2088	893	2.673	0,89	2,67
2035	728	2178	932	2.788	0,93	2,79
2036	760	2274	973	2.911	0,97	2,91
2037	794	2374	1.016	3.039	1,02	3,04
2038	830	2481	1.062	3.176	1,06	3,18
2039	867	2594	1.110	3.320	1,11	3,32
2040	907	2713	1.161	3.473	1,16	3,47
2041	949	2838	1.215	3.633	1,21	3,63
2042	994	2971	1.272	3.803	1,27	3,80
2043	1041	3112	1.332	3.983	1,33	3,98
2044	1091	3261	1.396	4.174	1,40	4,17
2045	1144	3419	1.464	4.376	1,46	4,38
2046	1200	3587	1.536	4.591	1,54	4,59
2047	1259	3764	1.612	4.818	1,61	4,82
2048	1322	3952	1.692	5.059	1,69	5,06
2049	1388	4151	1.777	5.313	1,78	5,31
2050	1459	4363	1.868	5.585	1,87	5,58
2050+	1459	4363	1.868	5.585	1,87	5,58

H.4 Beregninger og resultater, CO₂-skyggepriser

Nedenstående tabel viser resultaterne for de beregnede CO₂-skyggepriser. Beregningerne anvender beregningsforudsætningerne beskrevet under bilag D.3. og Finansministeriets fremskrivning af Klimarådets CO₂-priser.

Alle resultater er angivet i nutidsværdier i kr./m².

		Ex. C3+C4	A1-A3	B4	C3+C4	B6	Total CO ₂ -skyggepris	NVP ekskl. CO ₂ -skyggepris	NVP inkl. CO ₂ -skyggepris
Traditionel	Baseline	0	0	74	297	1.252	1.624	14.577	16.201
	Let	1	0	60	297	1.131	1.489	14.882	16.371
	Mellem	12	12	57	297	694	1.072	17.475	18.548
	Dyb	12	24	59	302	373	769	22.352	23.121
Moderne	Baseline	0	0	104	218	936	1.258	14.943	16.201
	Let	1	4	84	218	787	1.094	16.046	17.140
	Mellem	17	23	78	218	540	877	18.274	19.152
	Dyb	17	39	81	249	368	754	24.176	24.931
Nybyg	Nedrivning og nybyg	96	137	118	102	218	672	24.455	25.127

I de følgende bilag præsenteres beregningsgrundlag og resultater for samtlige variantanalyser.

H.4.1 Nedrivning og nybyg – Grøn skattereform

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2024	0	3,5%	0%	0,60	159	228	0	0	159	96	137	0	0	0	96	137	0	0	0
2024	1	3,5%	0%	0,60	0	0	0	4	0	0	0	0	2	0	96	137	0	2	0
2025	2	3,5%	0%	0,63	0	0	0	4	0	0	0	0	2	0	96	137	0	4	0
2026	3	3,5%	0%	0,65	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	96	137	0	6	0
2027	4	3,5%	0%	0,68	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	96	137	0	8	0
2028	5	3,5%	0%	0,70	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	96	137	0	10	0
2029	6	3,5%	0%	0,73	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	96	137	0	12	0
2030	7	3,5%	0%	0,76	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	0	13	0
2031	8	3,5%	0%	0,79	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	0	15	0
2032	9	3,5%	0%	0,82	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	0	16	0
2033	10	3,5%	0%	0,86	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	0	17	0
2034	11	3,5%	0%	0,89	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	0	19	0
2035	12	3,5%	0%	0,93	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	0	20	0
2036	13	3,5%	0%	0,97	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	0	22	0
2037	14	3,5%	0%	1,02	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	0	23	0
2038	15	3,5%	0%	1,06	0	0	10	2	0	0	0	6	1	0	96	137	6	25	0
2039	16	3,5%	0%	1,11	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	6	26	0
2040	17	3,5%	0%	1,16	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	6	28	0
2041	18	3,5%	0%	1,21	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	6	29	0
2042	19	3,5%	0%	1,27	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	6	31	0
2043	20	3,5%	0%	1,33	0	0	5	2	0	0	0	3	2	0	96	137	9	33	0
2044	21	3,5%	0%	1,40	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	9	34	0
2045	22	3,5%	0%	1,46	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	9	36	0
2046	23	3,5%	0%	1,54	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	9	37	0
2047	24	3,5%	0%	1,61	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	9	39	0
2048	25	3,5%	0%	1,69	0	0	13	2	0	0	0	9	2	0	96	137	18	41	0
2049	26	3,5%	0%	1,78	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	18	42	0
2050	27	3,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	18	44	0

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2051	28	3,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	18	46	0
2052	29	3,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	18	47	0
2053	30	3,5%	0%	1,87	0	0	13	2	0	0	0	8	2	0	96	137	27	49	0
2054	31	3,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	27	50	0
2055	32	3,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	27	52	0
2056	33	3,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	27	53	0
2057	34	3,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	27	55	0
2058	35	3,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	27	56	0
2059	36	3,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	27	57	0
2060	37	2,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	27	59	0
2061	38	2,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	27	61	0
2062	39	2,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	27	62	0
2063	40	2,5%	0%	1,87	0	0	10	2	0	0	0	7	2	0	96	137	34	64	0
2064	41	2,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	34	66	0
2065	42	2,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	34	67	0
2066	43	2,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	96	137	34	69	0
2067	44	2,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	34	70	0
2068	45	2,5%	0%	1,87	0	0	10	2	0	0	0	6	1	0	96	137	40	72	0
2069	46	2,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	40	73	0
2070	47	2,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	40	74	0
2071	48	2,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	40	76	0
2072	49	2,5%	0%	1,87	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	96	137	40	77	0
2073	50	2,5%	0%	1,87	0	0	0	2	63	0	0	0	1	34	96	137	40	78	34

H.4.2 Nedrivning og nybyg – Klimarådets priser

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2024	0	3,5%	0%	0,60	159	228	0	0	159	96	137	0	0	0	96	137	0	0	0
2024	1	3,5%	0%	0,60	0	0	0	4	0	0	0	0	2	0	96	137	0	2	0
2025	2	3,5%	0%	0,75	0	0	0	4	0	0	0	0	3	0	96	137	0	5	0
2026	3	3,5%	0%	0,94	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	96	137	0	8	0
2027	4	3,5%	0%	1,17	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	96	137	0	11	0
2028	5	3,5%	0%	1,46	0	0	0	3	0	0	0	0	4	0	96	137	0	14	0
2029	6	3,5%	0%	1,82	0	0	0	3	0	0	0	0	4	0	96	137	0	18	0
2030	7	3,5%	0%	2,27	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	0	23	0
2031	8	3,5%	0%	2,36	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	0	27	0
2032	9	3,5%	0%	2,46	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	0	32	0
2033	10	3,5%	0%	2,56	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	0	36	0
2034	11	3,5%	0%	2,67	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	0	40	0
2035	12	3,5%	0%	2,79	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	0	45	0
2036	13	3,5%	0%	2,91	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	0	49	0
2037	14	3,5%	0%	3,04	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	0	54	0
2038	15	3,5%	0%	3,18	0	0	10	2	0	0	0	18	4	0	96	137	18	58	0
2039	16	3,5%	0%	3,32	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	18	63	0
2040	17	3,5%	0%	3,47	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	18	67	0
2041	18	3,5%	0%	3,63	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	18	72	0
2042	19	3,5%	0%	3,80	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	18	76	0
2043	20	3,5%	0%	3,98	0	0	5	2	0	0	0	9	5	0	96	137	28	81	0
2044	21	3,5%	0%	4,17	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	28	86	0
2045	22	3,5%	0%	4,38	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	28	91	0
2046	23	3,5%	0%	4,59	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	28	95	0
2047	24	3,5%	0%	4,82	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	28	100	0
2048	25	3,5%	0%	5,06	0	0	13	2	0	0	0	27	5	0	96	137	55	105	0
2049	26	3,5%	0%	5,31	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	55	110	0
2050	27	3,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	55	116	0

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2051	28	3,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	55	121	0
2052	29	3,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	55	125	0
2053	30	3,5%	0%	5,58	0	0	13	2	0	0	0	25	5	0	96	137	81	130	0
2054	31	3,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	81	135	0
2055	32	3,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	81	139	0
2056	33	3,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	81	143	0
2057	34	3,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	81	147	0
2058	35	3,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	81	151	0
2059	36	3,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	81	155	0
2060	37	2,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	81	160	0
2061	38	2,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	81	165	0
2062	39	2,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	81	170	0
2063	40	2,5%	0%	5,58	0	0	10	2	0	0	0	20	5	0	96	137	100	175	0
2064	41	2,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	100	180	0
2065	42	2,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	100	184	0
2066	43	2,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	96	137	100	189	0
2067	44	2,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	100	193	0
2068	45	2,5%	0%	5,58	0	0	10	2	0	0	0	18	4	0	96	137	118	198	0
2069	46	2,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	118	202	0
2070	47	2,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	118	206	0
2071	48	2,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	118	210	0
2072	49	2,5%	0%	5,58	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	96	137	118	214	0
2073	50	2,5%	0%	5,58	0	0	0	2	63	0	0	0	4	102	96	137	118	218	102

H.4.3 Traditionel – Baseline

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2024	0	3,5%	0%	0,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2024	1	3,5%	0%	0,60	0	0	0	19	0	0	0	0	11	0	0	0	0	11	0
2025	2	3,5%	0%	0,75	0	0	0	18	0	0	0	0	12	0	0	0	0	24	0
2026	3	3,5%	0%	0,94	0	0	0	17	0	0	0	0	14	0	0	0	0	38	0
2027	4	3,5%	0%	1,17	0	0	0	16	0	0	0	0	17	0	0	0	0	55	0
2028	5	3,5%	0%	1,46	0	0	0	16	0	0	0	0	19	0	0	0	0	74	0
2029	6	3,5%	0%	1,82	0	0	0	15	0	0	0	0	22	0	0	0	0	96	0
2030	7	3,5%	0%	2,27	0	0	0	14	0	0	0	0	25	0	0	0	0	121	0
2031	8	3,5%	0%	2,36	0	0	0	14	0	0	0	0	25	0	0	0	0	147	0
2032	9	3,5%	0%	2,46	0	0	0	14	0	0	0	0	25	0	0	0	0	172	0
2033	10	3,5%	0%	2,56	0	0	2	14	0	0	0	4	25	0	0	0	4	197	0
2034	11	3,5%	0%	2,67	0	0	0	14	0	0	0	0	25	0	0	0	4	223	0
2035	12	3,5%	0%	2,79	0	0	0	14	0	0	0	0	25	0	0	0	4	248	0
2036	13	3,5%	0%	2,91	0	0	0	14	0	0	0	0	26	0	0	0	4	274	0
2037	14	3,5%	0%	3,04	0	0	0	14	0	0	0	0	26	0	0	0	4	299	0
2038	15	3,5%	0%	3,18	0	0	16	14	0	0	0	30	26	0	0	0	34	325	0
2039	16	3,5%	0%	3,32	0	0	0	14	0	0	0	0	26	0	0	0	34	351	0
2040	17	3,5%	0%	3,47	0	0	0	14	0	0	0	0	26	0	0	0	34	378	0
2041	18	3,5%	0%	3,63	0	0	0	14	0	0	0	0	27	0	0	0	34	404	0
2042	19	3,5%	0%	3,80	0	0	0	14	0	0	0	0	27	0	0	0	34	431	0
2043	20	3,5%	0%	3,98	0	0	0	14	0	0	0	0	27	0	0	0	34	458	0
2044	21	3,5%	0%	4,17	0	0	0	14	0	0	0	0	28	0	0	0	34	486	0
2045	22	3,5%	0%	4,38	0	0	0	14	0	0	0	0	28	0	0	0	34	514	0
2046	23	3,5%	0%	4,59	0	0	0	14	0	0	0	0	28	0	0	0	34	542	0
2047	24	3,5%	0%	4,82	0	0	0	14	0	0	0	0	29	0	0	0	34	571	0
2048	25	3,5%	0%	5,06	0	0	0	14	0	0	0	0	29	0	0	0	34	600	0
2049	26	3,5%	0%	5,31	0	0	0	14	0	0	0	0	30	0	0	0	34	629	0
2050	27	3,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	30	0	0	0	34	659	0

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2051	28	3,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	29	0	0	0	34	688	0
2052	29	3,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	28	0	0	0	34	716	0
2053	30	3,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	27	0	0	0	34	743	0
2054	31	3,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	26	0	0	0	34	769	0
2055	32	3,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	25	0	0	0	34	795	0
2056	33	3,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	24	0	0	0	34	819	0
2057	34	3,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	24	0	0	0	34	843	0
2058	35	3,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	23	0	0	0	34	865	0
2059	36	3,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	22	0	0	0	34	887	0
2060	37	2,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	30	0	0	0	34	918	0
2061	38	2,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	30	0	0	0	34	948	0
2062	39	2,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	29	0	0	0	34	977	0
2063	40	2,5%	0%	5,58	0	0	10	14	0	0	0	21	28	0	0	0	55	1.005	0
2064	41	2,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	28	0	0	0	55	1.033	0
2065	42	2,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	27	0	0	0	55	1.059	0
2066	43	2,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	26	0	0	0	55	1.086	0
2067	44	2,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	26	0	0	0	55	1.111	0
2068	45	2,5%	0%	5,58	0	0	10	14	0	0	0	19	25	0	0	0	74	1.136	0
2069	46	2,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	24	0	0	0	74	1.161	0
2070	47	2,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	24	0	0	0	74	1.184	0
2071	48	2,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	23	0	0	0	74	1.208	0
2072	49	2,5%	0%	5,58	0	0	0	14	0	0	0	0	23	0	0	0	74	1.230	0
2073	50	2,5%	0%	5,58	0	0	0	14	183	0	0	0	22	297	0	0	74	1.252	297

H.4.4 Traditionel – Let

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2024	0	3,5%	0%	0,60	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2024	1	3,5%	0%	0,60	0	0	0	18	0	0	0	0	10	0	1	0	0	10	0
2025	2	3,5%	0%	0,75	0	0	0	16	0	0	0	0	11	0	1	0	0	21	0
2026	3	3,5%	0%	0,94	0	0	0	15	0	0	0	0	13	0	1	0	0	34	0
2027	4	3,5%	0%	1,17	0	0	0	15	0	0	0	0	15	0	1	0	0	49	0
2028	5	3,5%	0%	1,46	0	0	0	14	0	0	0	0	17	0	1	0	0	67	0
2029	6	3,5%	0%	1,82	0	0	0	13	0	0	0	0	20	0	1	0	0	87	0
2030	7	3,5%	0%	2,27	0	0	0	13	0	0	0	0	23	0	1	0	0	110	0
2031	8	3,5%	0%	2,36	0	0	0	13	0	0	0	0	23	0	1	0	0	133	0
2032	9	3,5%	0%	2,46	0	0	0	13	0	0	0	0	23	0	1	0	0	155	0
2033	10	3,5%	0%	2,56	0	0	2	13	0	0	0	4	23	0	1	0	4	178	0
2034	11	3,5%	0%	2,67	0	0	0	13	0	0	0	0	23	0	1	0	4	201	0
2035	12	3,5%	0%	2,79	0	0	0	12	0	0	0	0	23	0	1	0	4	224	0
2036	13	3,5%	0%	2,91	0	0	0	12	0	0	0	0	23	0	1	0	4	247	0
2037	14	3,5%	0%	3,04	0	0	0	12	0	0	0	0	23	0	1	0	4	270	0
2038	15	3,5%	0%	3,18	0	0	11	12	0	0	0	21	23	0	1	0	26	294	0
2039	16	3,5%	0%	3,32	0	0	0	12	0	0	0	0	24	0	1	0	26	317	0
2040	17	3,5%	0%	3,47	0	0	0	12	0	0	0	0	24	0	1	0	26	341	0
2041	18	3,5%	0%	3,63	0	0	0	12	0	0	0	0	24	0	1	0	26	365	0
2042	19	3,5%	0%	3,80	0	0	0	12	0	0	0	0	24	0	1	0	26	389	0
2043	20	3,5%	0%	3,98	0	0	0	12	0	0	0	0	25	0	1	0	26	414	0
2044	21	3,5%	0%	4,17	0	0	0	12	0	0	0	0	25	0	1	0	26	439	0
2045	22	3,5%	0%	4,38	0	0	0	12	0	0	0	0	25	0	1	0	26	464	0
2046	23	3,5%	0%	4,59	0	0	0	12	0	0	0	0	26	0	1	0	26	490	0
2047	24	3,5%	0%	4,82	0	0	0	12	0	0	0	0	26	0	1	0	26	516	0
2048	25	3,5%	0%	5,06	0	0	5	12	0	0	0	10	26	0	1	0	35	542	0
2049	26	3,5%	0%	5,31	0	0	0	12	0	0	0	0	27	0	1	0	35	569	0
2050	27	3,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	27	0	1	0	35	596	0

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2051	28	3,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	26	0	1	0	35	622	0
2052	29	3,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	25	0	1	0	35	647	0
2053	30	3,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	24	0	1	0	35	672	0
2054	31	3,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	24	0	1	0	35	695	0
2055	32	3,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	23	0	1	0	35	718	0
2056	33	3,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	22	0	1	0	35	740	0
2057	34	3,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	21	0	1	0	35	761	0
2058	35	3,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	21	0	1	0	35	782	0
2059	36	3,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	20	0	1	0	35	802	0
2060	37	2,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	28	0	1	0	35	829	0
2061	38	2,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	27	0	1	0	35	856	0
2062	39	2,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	26	0	1	0	35	882	0
2063	40	2,5%	0%	5,58	0	0	3	12	0	0	0	5	26	0	1	0	41	908	0
2064	41	2,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	25	0	1	0	41	933	0
2065	42	2,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	24	0	1	0	41	957	0
2066	43	2,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	24	0	1	0	41	981	0
2067	44	2,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	23	0	1	0	41	1004	0
2068	45	2,5%	0%	5,58	0	0	10	12	0	0	0	19	23	0	1	0	60	1027	0
2069	46	2,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	22	0	1	0	60	1049	0
2070	47	2,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	21	0	1	0	60	1070	0
2071	48	2,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	21	0	1	0	60	1091	0
2072	49	2,5%	0%	5,58	0	0	0	12	0	0	0	0	20	0	1	0	60	1112	0
2073	50	2,5%	0%	5,58	0	0	0	12	183	0	0	0	20	297	1	0	60	1131	297

H.4.5 Traditionel – Mellem

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2024	0	3,5%	0%	0,60	19	20	19	0	0	12	12	0	0	0	12	12	0	0	0
2024	1	3,5%	0%	0,60	0	0	0	11	0	0	0	0	6	0	12	12	0	6	0
2025	2	3,5%	0%	0,75	0	0	0	10	0	0	0	0	7	0	12	12	0	13	0
2026	3	3,5%	0%	0,94	0	0	0	9	0	0	0	0	8	0	12	12	0	21	0
2027	4	3,5%	0%	1,17	0	0	0	9	0	0	0	0	9	0	12	12	0	30	0
2028	5	3,5%	0%	1,46	0	0	0	9	0	0	0	0	11	0	12	12	0	41	0
2029	6	3,5%	0%	1,82	0	0	0	8	0	0	0	0	12	0	12	12	0	53	0
2030	7	3,5%	0%	2,27	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	0	67	0
2031	8	3,5%	0%	2,36	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	0	81	0
2032	9	3,5%	0%	2,46	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	0	95	0
2033	10	3,5%	0%	2,56	0	0	1	8	0	0	0	1	14	0	12	12	1	109	0
2034	11	3,5%	0%	2,67	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	1	123	0
2035	12	3,5%	0%	2,79	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	1	137	0
2036	13	3,5%	0%	2,91	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	1	152	0
2037	14	3,5%	0%	3,04	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	1	166	0
2038	15	3,5%	0%	3,18	0	0	11	8	0	0	0	20	14	0	12	12	21	180	0
2039	16	3,5%	0%	3,32	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	21	195	0
2040	17	3,5%	0%	3,47	0	0	0	8	0	0	0	0	15	0	12	12	21	209	0
2041	18	3,5%	0%	3,63	0	0	0	8	0	0	0	0	15	0	12	12	21	224	0
2042	19	3,5%	0%	3,80	0	0	0	8	0	0	0	0	15	0	12	12	21	239	0
2043	20	3,5%	0%	3,98	0	0	0	8	0	0	0	0	15	0	12	12	21	254	0
2044	21	3,5%	0%	4,17	0	0	0	8	0	0	0	0	15	0	12	12	21	269	0
2045	22	3,5%	0%	4,38	0	0	0	8	0	0	0	0	15	0	12	12	21	285	0
2046	23	3,5%	0%	4,59	0	0	0	8	0	0	0	0	16	0	12	12	21	300	0
2047	24	3,5%	0%	4,82	0	0	0	8	0	0	0	0	16	0	12	12	21	316	0
2048	25	3,5%	0%	5,06	0	0	7	8	0	0	0	14	16	0	12	12	35	332	0

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2049	26	3,5%	0%	5,31	0	0	0	8	0	0	0	0	16	0	12	12	35	349	0
2050	27	3,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	17	0	12	12	35	365	0
2051	28	3,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	16	0	12	12	35	382	0
2052	29	3,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	16	0	12	12	35	397	0
2053	30	3,5%	0%	5,58	0	0	1	8	0	0	0	2	15	0	12	12	37	412	0
2054	31	3,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	37	427	0
2055	32	3,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	37	441	0
2056	33	3,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	37	454	0
2057	34	3,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	13	0	12	12	37	467	0
2058	35	3,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	13	0	12	12	37	480	0
2059	36	3,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	12	0	12	12	37	492	0
2060	37	2,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	17	0	12	12	37	509	0
2061	38	2,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	16	0	12	12	37	525	0
2062	39	2,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	16	0	12	12	37	541	0
2063	40	2,5%	0%	5,58	0	0	1	8	0	0	0	2	16	0	12	12	39	557	0
2064	41	2,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	15	0	12	12	39	572	0
2065	42	2,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	15	0	12	12	39	587	0
2066	43	2,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	15	0	12	12	39	602	0
2067	44	2,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	39	616	0
2068	45	2,5%	0%	5,58	0	0	10	8	0	0	0	18	14	0	12	12	57	630	0
2069	46	2,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	14	0	12	12	57	643	0
2070	47	2,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	13	0	12	12	57	657	0
2071	48	2,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	13	0	12	12	57	669	0
2072	49	2,5%	0%	5,58	0	0	0	8	0	0	0	0	13	0	12	12	57	682	0
2073	50	2,5%	0%	5,58	0	0	0	8	183	0	0	0	12	297	12	12	57	694	297

H.4.6 Traditionel – Dyb

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nudidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nudidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2024	0	3,5%	0%	0,60	19	40	0	0	0	12	24	0	0	0	12	24	0	0	0
2024	1	3,5%	0%	0,60	0	0	0	6	0	0	0	0	4	0	12	24	0	4	0
2025	2	3,5%	0%	0,75	0	0	0	5	0	0	0	0	4	0	12	24	0	7	0
2026	3	3,5%	0%	0,94	0	0	0	5	0	0	0	0	4	0	12	24	0	12	0
2027	4	3,5%	0%	1,17	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	12	24	0	17	0
2028	5	3,5%	0%	1,46	0	0	0	5	0	0	0	0	6	0	12	24	0	23	0
2029	6	3,5%	0%	1,82	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	12	24	0	29	0
2030	7	3,5%	0%	2,27	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	0	37	0
2031	8	3,5%	0%	2,36	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	0	44	0
2032	9	3,5%	0%	2,46	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	0	52	0
2033	10	3,5%	0%	2,56	0	0	0	4	0	0	0	1	8	0	12	24	1	60	0
2034	11	3,5%	0%	2,67	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	1	67	0
2035	12	3,5%	0%	2,79	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	1	75	0
2036	13	3,5%	0%	2,91	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	1	82	0
2037	14	3,5%	0%	3,04	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	1	90	0
2038	15	3,5%	0%	3,18	0	0	11	4	0	0	0	20	8	0	12	24	21	97	0
2039	16	3,5%	0%	3,32	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	21	105	0
2040	17	3,5%	0%	3,47	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	21	113	0
2041	18	3,5%	0%	3,63	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	21	121	0
2042	19	3,5%	0%	3,80	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	21	129	0
2043	20	3,5%	0%	3,98	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	21	137	0
2044	21	3,5%	0%	4,17	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	21	145	0
2045	22	3,5%	0%	4,38	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	21	153	0
2046	23	3,5%	0%	4,59	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	21	162	0
2047	24	3,5%	0%	4,82	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	12	24	21	170	0
2048	25	3,5%	0%	5,06	0	0	8	4	0	0	0	16	9	0	12	24	37	179	0
2049	26	3,5%	0%	5,31	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	12	24	37	188	0
2050	27	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	12	24	37	197	0

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2051	28	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	12	24	37	205	0
2052	29	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	37	214	0
2053	30	3,5%	0%	5,58	0	0	1	4	0	0	0	2	8	0	12	24	39	222	0
2054	31	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	39	229	0
2055	32	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	12	24	39	237	0
2056	33	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	12	24	39	244	0
2057	34	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	12	24	39	251	0
2058	35	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	12	24	39	258	0
2059	36	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	12	24	39	264	0
2060	37	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	12	24	39	274	0
2061	38	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	12	24	39	282	0
2062	39	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	12	24	39	291	0
2063	40	2,5%	0%	5,58	0	0	1	4	0	0	0	2	8	0	12	24	41	299	0
2064	41	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	41	308	0
2065	42	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	41	316	0
2066	43	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	41	323	0
2067	44	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	12	24	41	331	0
2068	45	2,5%	0%	5,58	0	0	10	4	0	0	0	18	7	0	12	24	59	338	0
2069	46	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	12	24	59	346	0
2070	47	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	12	24	59	353	0
2071	48	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	12	24	59	360	0
2072	49	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	12	24	59	366	0
2073	50	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	186	0	0	0	0	302	12	24	59	366	302

H.4.7 Moderne – Baseline

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nudtidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2024	0	3,5%	0%	0,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2024	1	3,5%	0%	0,60	0	0	0	15	0	0	0	0	8	0	0	0	0	8	0
2025	2	3,5%	0%	0,75	0	0	0	13	0	0	0	0	9	0	0	0	0	18	0
2026	3	3,5%	0%	0,94	0	0	0	13	0	0	0	0	11	0	0	0	0	29	0
2027	4	3,5%	0%	1,17	0	0	0	12	0	0	0	0	12	0	0	0	0	41	0
2028	5	3,5%	0%	1,46	0	0	0	12	0	0	0	0	14	0	0	0	0	55	0
2029	6	3,5%	0%	1,82	0	0	0	11	0	0	0	0	17	0	0	0	0	72	0
2030	7	3,5%	0%	2,27	0	0	0	11	0	0	0	0	19	0	0	0	0	91	0
2031	8	3,5%	0%	2,36	0	0	0	11	0	0	0	0	19	0	0	0	0	110	0
2032	9	3,5%	0%	2,46	0	0	0	10	0	0	0	0	19	0	0	0	0	129	0
2033	10	3,5%	0%	2,56	0	0	4	10	0	0	0	7	19	0	0	0	7	148	0
2034	11	3,5%	0%	2,67	0	0	0	10	0	0	0	0	19	0	0	0	7	167	0
2035	12	3,5%	0%	2,79	0	0	0	10	0	0	0	0	19	0	0	0	7	185	0
2036	13	3,5%	0%	2,91	0	0	0	10	0	0	0	0	19	0	0	0	7	205	0
2037	14	3,5%	0%	3,04	0	0	0	10	0	0	0	0	19	0	0	0	7	224	0
2038	15	3,5%	0%	3,18	0	0	21	10	0	0	0	40	19	0	0	0	48	243	0
2039	16	3,5%	0%	3,32	0	0	0	10	0	0	0	0	19	0	0	0	48	263	0
2040	17	3,5%	0%	3,47	0	0	0	10	0	0	0	0	20	0	0	0	48	282	0
2041	18	3,5%	0%	3,63	0	0	0	10	0	0	0	0	20	0	0	0	48	302	0
2042	19	3,5%	0%	3,80	0	0	0	10	0	0	0	0	20	0	0	0	48	322	0
2043	20	3,5%	0%	3,98	0	0	0	10	0	0	0	0	20	0	0	0	48	342	0
2044	21	3,5%	0%	4,17	0	0	0	10	0	0	0	0	21	0	0	0	48	363	0
2045	22	3,5%	0%	4,38	0	0	0	10	0	0	0	0	21	0	0	0	48	384	0
2046	23	3,5%	0%	4,59	0	0	0	10	0	0	0	0	21	0	0	0	48	405	0
2047	24	3,5%	0%	4,82	0	0	0	10	0	0	0	0	21	0	0	0	48	426	0
2048	25	3,5%	0%	5,06	0	0	0	10	0	0	0	0	22	0	0	0	48	448	0
2049	26	3,5%	0%	5,31	0	0	0	10	0	0	0	0	22	0	0	0	48	470	0
2050	27	3,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	22	0	0	0	48	493	0

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2051	28	3,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	22	0	0	0	48	514	0
2052	29	3,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	21	0	0	0	48	535	0
2053	30	3,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	20	0	0	0	48	555	0
2054	31	3,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	20	0	0	0	48	575	0
2055	32	3,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	19	0	0	0	48	594	0
2056	33	3,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	18	0	0	0	48	612	0
2057	34	3,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	18	0	0	0	48	630	0
2058	35	3,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	17	0	0	0	48	647	0
2059	36	3,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	16	0	0	0	48	663	0
2060	37	2,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	23	0	0	0	48	686	0
2061	38	2,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	22	0	0	0	48	708	0
2062	39	2,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	22	0	0	0	48	730	0
2063	40	2,5%	0%	5,58	0	0	15	10	0	0	0	31	21	0	0	0	79	751	0
2064	41	2,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	21	0	0	0	79	771	0
2065	42	2,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	20	0	0	0	79	791	0
2066	43	2,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	20	0	0	0	79	811	0
2067	44	2,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	19	0	0	0	79	830	0
2068	45	2,5%	0%	5,58	0	0	14	10	0	0	0	26	19	0	0	0	104	849	0
2069	46	2,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	18	0	0	0	104	867	0
2070	47	2,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	18	0	0	0	104	885	0
2071	48	2,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	17	0	0	0	104	902	0
2072	49	2,5%	0%	5,58	0	0	0	10	0	0	0	0	17	0	0	0	104	919	0
2073	50	2,5%	0%	5,58	0	0	0	10	134	0	0	0	16	218	0	0	104	936	218

H.4.8 Moderne – Let

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nudtidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2024	0	3,5%	0%	0,60	1	7	0	0	0	1	4	0	0	0	1	4	0	0	0
2024	1	3,5%	0%	0,60	0	0	0	12	0	0	0	0	7	0	1	4	0	7	0
2025	2	3,5%	0%	0,75	0	0	0	11	0	0	0	0	8	0	1	4	0	15	0
2026	3	3,5%	0%	0,94	0	0	0	11	0	0	0	0	9	0	1	4	0	24	0
2027	4	3,5%	0%	1,17	0	0	0	10	0	0	0	0	10	0	1	4	0	34	0
2028	5	3,5%	0%	1,46	0	0	0	10	0	0	0	0	12	0	1	4	0	47	0
2029	6	3,5%	0%	1,82	0	0	0	9	0	0	0	0	14	0	1	4	0	60	0
2030	7	3,5%	0%	2,27	0	0	0	9	0	0	0	0	16	0	1	4	0	76	0
2031	8	3,5%	0%	2,36	0	0	0	9	0	0	0	0	16	0	1	4	0	92	0
2032	9	3,5%	0%	2,46	0	0	0	9	0	0	0	0	16	0	1	4	0	108	0
2033	10	3,5%	0%	2,56	0	0	0	9	0	0	0	7	16	0	1	4	7	124	0
2034	11	3,5%	0%	2,67	0	0	0	9	0	0	0	0	16	0	1	4	7	140	0
2035	12	3,5%	0%	2,79	0	0	0	9	0	0	0	0	16	0	1	4	7	156	0
2036	13	3,5%	0%	2,91	0	0	0	9	0	0	0	0	16	0	1	4	7	172	0
2037	14	3,5%	0%	3,04	0	0	0	9	0	0	0	0	16	0	1	4	7	188	0
2038	15	3,5%	0%	3,18	0	0	0	9	0	0	0	28	16	0	1	4	35	204	0
2039	16	3,5%	0%	3,32	0	0	0	9	0	0	0	0	16	0	1	4	35	221	0
2040	17	3,5%	0%	3,47	0	0	0	9	0	0	0	0	17	0	1	4	35	237	0
2041	18	3,5%	0%	3,63	0	0	0	9	0	0	0	0	17	0	1	4	35	254	0
2042	19	3,5%	0%	3,80	0	0	0	9	0	0	0	0	17	0	1	4	35	271	0
2043	20	3,5%	0%	3,98	0	0	0	9	0	0	0	0	17	0	1	4	35	288	0
2044	21	3,5%	0%	4,17	0	0	0	9	0	0	0	0	17	0	1	4	35	305	0
2045	22	3,5%	0%	4,38	0	0	0	9	0	0	0	0	18	0	1	4	35	323	0
2046	23	3,5%	0%	4,59	0	0	0	9	0	0	0	0	18	0	1	4	35	341	0
2047	24	3,5%	0%	4,82	0	0	0	9	0	0	0	0	18	0	1	4	35	359	0
2048	25	3,5%	0%	5,06	0	0	0	9	0	0	0	14	18	0	1	4	49	377	0
2049	26	3,5%	0%	5,31	0	0	0	9	0	0	0	0	19	0	1	4	49	395	0
2050	27	3,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	19	0	1	4	49	414	0

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2051	28	3,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	18	0	1	4	49	432	0
2052	29	3,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	18	0	1	4	49	450	0
2053	30	3,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	17	0	1	4	49	467	0
2054	31	3,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	16	0	1	4	49	483	0
2055	32	3,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	16	0	1	4	49	499	0
2056	33	3,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	15	0	1	4	49	515	0
2057	34	3,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	15	0	1	4	49	529	0
2058	35	3,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	14	0	1	4	49	544	0
2059	36	3,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	14	0	1	4	49	557	0
2060	37	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	19	0	1	4	49	577	0
2061	38	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	19	0	1	4	49	595	0
2062	39	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	18	0	1	4	49	613	0
2063	40	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	9	18	0	1	4	58	631	0
2064	41	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	17	0	1	4	58	649	0
2065	42	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	17	0	1	4	58	665	0
2066	43	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	16	0	1	4	58	682	0
2067	44	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	16	0	1	4	58	698	0
2068	45	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	26	16	0	1	4	84	714	0
2069	46	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	15	0	1	4	84	729	0
2070	47	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	15	0	1	4	84	744	0
2071	48	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	15	0	1	4	84	759	0
2072	49	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	0	0	0	0	14	0	1	4	84	773	0
2073	50	2,5%	0%	5,58	0	0	0	9	134	0	0	0	14	218	1	4	84	787	218

H.4.9 Moderne – Mellem

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nudidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nudidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2024	0	3,5%	0%	0,60	28	39	0	0	28	17	23	0	0	0	17	23	0	0	0
2024	1	3,5%	0%	0,60	0	0	0	8	0	0	0	0	5	0	17	23	0	5	0
2025	2	3,5%	0%	0,75	0	0	0	8	0	0	0	0	5	0	17	23	0	10	0
2026	3	3,5%	0%	0,94	0	0	0	7	0	0	0	0	6	0	17	23	0	17	0
2027	4	3,5%	0%	1,17	0	0	0	7	0	0	0	0	7	0	17	23	0	24	0
2028	5	3,5%	0%	1,46	0	0	0	7	0	0	0	0	8	0	17	23	0	32	0
2029	6	3,5%	0%	1,82	0	0	0	6	0	0	0	0	10	0	17	23	0	42	0
2030	7	3,5%	0%	2,27	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	0	53	0
2031	8	3,5%	0%	2,36	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	0	63	0
2032	9	3,5%	0%	2,46	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	0	74	0
2033	10	3,5%	0%	2,56	0	0	1	6	0	0	0	2	11	0	17	23	2	85	0
2034	11	3,5%	0%	2,67	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	2	96	0
2035	12	3,5%	0%	2,79	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	2	107	0
2036	13	3,5%	0%	2,91	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	2	118	0
2037	14	3,5%	0%	3,04	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	2	129	0
2038	15	3,5%	0%	3,18	0	0	14	6	0	0	0	26	11	0	17	23	29	140	0
2039	16	3,5%	0%	3,32	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	29	152	0
2040	17	3,5%	0%	3,47	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	29	163	0
2041	18	3,5%	0%	3,63	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	29	174	0
2042	19	3,5%	0%	3,80	0	0	0	6	0	0	0	0	12	0	17	23	29	186	0
2043	20	3,5%	0%	3,98	0	0	0	6	0	0	0	0	12	0	17	23	29	198	0
2044	21	3,5%	0%	4,17	0	0	0	6	0	0	0	0	12	0	17	23	29	210	0
2045	22	3,5%	0%	4,38	0	0	0	6	0	0	0	0	12	0	17	23	29	222	0
2046	23	3,5%	0%	4,59	0	0	0	6	0	0	0	0	12	0	17	23	29	234	0
2047	24	3,5%	0%	4,82	0	0	0	6	0	0	0	0	12	0	17	23	29	246	0
2048	25	3,5%	0%	5,06	0	0	9	6	0	0	0	20	13	0	17	23	48	259	0
2049	26	3,5%	0%	5,31	0	0	0	6	0	0	0	0	13	0	17	23	48	272	0
2050	27	3,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	13	0	17	23	48	285	0

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2051	28	3,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	12	0	17	23	48	297	0
2052	29	3,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	12	0	17	23	48	309	0
2053	30	3,5%	0%	5,58	0	0	1	6	0	0	0	3	12	0	17	23	51	321	0
2054	31	3,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	51	332	0
2055	32	3,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	51	343	0
2056	33	3,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	51	354	0
2057	34	3,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	10	0	17	23	51	364	0
2058	35	3,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	10	0	17	23	51	374	0
2059	36	3,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	9	0	17	23	51	383	0
2060	37	2,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	13	0	17	23	51	396	0
2061	38	2,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	13	0	17	23	51	409	0
2062	39	2,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	13	0	17	23	51	421	0
2063	40	2,5%	0%	5,58	0	0	2	6	0	0	0	3	12	0	17	23	55	434	0
2064	41	2,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	12	0	17	23	55	446	0
2065	42	2,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	12	0	17	23	55	457	0
2066	43	2,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	55	468	0
2067	44	2,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	55	480	0
2068	45	2,5%	0%	5,58	0	0	13	6	0	0	0	24	11	0	17	23	78	490	0
2069	46	2,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	17	23	78	501	0
2070	47	2,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	10	0	17	23	78	511	0
2071	48	2,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	10	0	17	23	78	521	0
2072	49	2,5%	0%	5,58	0	0	0	6	0	0	0	0	10	0	17	23	78	531	0
2073	50	2,5%	0%	5,58	0	0	0	6	134	0	0	0	10	218	17	23	78	540	218

H.4.10 Moderne – Dyb

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nudidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2024	0	3,5%	0%	0,60	28	65	0	0	0	17	39	0	0	0	17	39	0	0	0
2024	1	3,5%	0%	0,60	0	0	0	6	0	0	0	0	4	0	17	39	0	4	0
2025	2	3,5%	0%	0,75	0	0	0	5	0	0	0	0	4	0	17	39	0	7	0
2026	3	3,5%	0%	0,94	0	0	0	5	0	0	0	0	4	0	17	39	0	12	0
2027	4	3,5%	0%	1,17	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	17	39	0	17	0
2028	5	3,5%	0%	1,46	0	0	0	5	0	0	0	0	6	0	17	39	0	23	0
2029	6	3,5%	0%	1,82	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	0	29	0
2030	7	3,5%	0%	2,27	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	0	37	0
2031	8	3,5%	0%	2,36	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	0	44	0
2032	9	3,5%	0%	2,46	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	0	51	0
2033	10	3,5%	0%	2,56	0	0	0	4	0	0	0	1	7	0	17	39	1	59	0
2034	11	3,5%	0%	2,67	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	1	66	0
2035	12	3,5%	0%	2,79	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	1	74	0
2036	13	3,5%	0%	2,91	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	1	81	0
2037	14	3,5%	0%	3,04	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	1	89	0
2038	15	3,5%	0%	3,18	0	0	14	4	0	0	0	26	8	0	17	39	27	96	0
2039	16	3,5%	0%	3,32	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	27	104	0
2040	17	3,5%	0%	3,47	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	27	112	0
2041	18	3,5%	0%	3,63	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	27	120	0
2042	19	3,5%	0%	3,80	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	27	127	0
2043	20	3,5%	0%	3,98	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	27	135	0
2044	21	3,5%	0%	4,17	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	27	144	0
2045	22	3,5%	0%	4,38	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	27	152	0
2046	23	3,5%	0%	4,59	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	27	160	0
2047	24	3,5%	0%	4,82	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	27	168	0
2048	25	3,5%	0%	5,06	0	0	11	4	0	0	0	23	9	0	17	39	50	177	0
2049	26	3,5%	0%	5,31	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	17	39	50	186	0
2050	27	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	17	39	50	194	0

Beregningsforudsætninger					CO ₂ -emissioner [kg. CO ₂ /m ²]					Nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]					Akkumuleret nutidsværdi CO ₂ -skyggepris [kr./m ²]				
År	Beregningsår	Kalkulationsrente	Prisudvikling	Markedspris	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4	Ex. C3-C4	A1-A3	B4	B6	C3+C4
2051	28	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	17	39	50	203	0
2052	29	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	50	211	0
2053	30	3,5%	0%	5,58	0	0	1	4	0	0	0	3	8	0	17	39	53	219	0
2054	31	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	53	227	0
2055	32	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	53	234	0
2056	33	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	53	241	0
2057	34	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	53	248	0
2058	35	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	53	255	0
2059	36	3,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	6	0	17	39	53	261	0
2060	37	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	17	39	53	270	0
2061	38	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	17	39	53	279	0
2062	39	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	17	39	53	288	0
2063	40	2,5%	0%	5,58	0	0	2	4	0	0	0	3	8	0	17	39	57	296	0
2064	41	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	57	304	0
2065	42	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	57	312	0
2066	43	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	57	319	0
2067	44	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	8	0	17	39	57	327	0
2068	45	2,5%	0%	5,58	0	0	13	4	0	0	0	24	7	0	17	39	81	334	0
2069	46	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	81	341	0
2070	47	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	81	348	0
2071	48	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	81	355	0
2072	49	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	0	0	0	0	7	0	17	39	81	362	0
2073	50	2,5%	0%	5,58	0	0	0	4	153	0	0	0	6	249	17	39	81	368	249

Referencer

Referencer til den samlede rapport med bilag.

- [1] CEN/TC350. EN 15978:2011: Sustainability of Construction Works - Assessment of Environmental Performance of Buildings - Calculation Method 2011.
- [2] CEN/TC350. EN 15804:2012+A2:2019: Sustainability of Construction Works - Environmental Product Declarations - Core Rules for the Product Category of Construction Products 2019.
- [3] United Nations. Paris Agreement 2015. <https://doi.org/10.4324/9789276082569-2>.
- [4] Rådet for Den Europæiske Union (Council of the European Union). Energy Performance of Buildings (recast). Brussels: 2024.
- [5] EUROPA-PARLAMENTET OG RÅDET for den Europæiske Union. Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EU) 2020/852 af 18. juni 2020 om fastlæggelse af en ramme til fremme af bæredygtige investeringer og om ændring af forordning (EU) 2019/2088. 2020.
- [6] Transport- og Boligministeriet. Bekendtgørelse om bygningsreglement 2018 2019.
- [7] Indenrigs- og Boligministeriet. National strategi for bæredygtigt byggeri 2021:8.
- [8] Regeringens klimapartnerskab for bygge- og anlægssektoren. Anbefalinger til regeringen fra Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren. 2020.
- [9] Tozan B, Olsen CO, Birgisdóttir H, Kragh J, Rose J, Sørensen CG, et al. BUILD-rapport 2023:21 Klimapåvirkning fra nybyggeri - analytisk grundlag til fastlæggelse af ny LCA baseret grænseværdi for bygningers klimapåvirkning fra 2025. 2023.
- [10] Kragh J, Birgisdóttir H. Aalborg Universitet Udvikling af dansk generisk LCA-data. 2023.
- [11] Nilsson MS, Høibye L, Maagaard SE. Emissionsfaktorer for el, fjernvarme og ledningsgas for 2025-2075. 2023.
- [12] Malabi Eberhardt LC, Jensen JO, de Place Hansen EJ, Mechlenborg M, Birgisdóttir H, Garnow A, et al. Helhedsvurdering ved renovering. BUILD, Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet; 2022.
- [13] Boverket. Report 2023:24 Limit values for climate impact from buildings and an expanded climate declaration. 2023.
- [14] Worm Amdi Schjødt TI, Poulin Henrik TI, Østergaard Flemming Carøe TI, Birgisdóttir Harpa SB, Madsen Sussie Stenholt SB, Rasmussen Freja Nygaard SB. Branchevejledning i LCA ved renovering. 2016.
- [15] Nygaard Rasmussen Freja, Birgisdóttir H. Livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer: Miljømæssige konsekvenser belyst via casestudier. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København; 2015.
- [16] Bolig- og Planstyrelsen. Vejledning om den frivillige bæredygtighedsklasse. Bolig- og Planstyrelsen; 2020.
- [17] Strateginetværk for bæredygtigt byggeri - temagruppe om data L og dokumentation. Klimakrav til renovering - Metode og grænseværdi 2023.

- <https://bygherreforeningen.dk/download/14/publikationer/87102/klimakrav-til-renovering-metode-og-graensevaerdi.pdf> (accessed December 21, 2023).
- [18] Lund Mai. Alberte, Zimmermann RK, Kragh J, Rose J, Aggerholm S, Birgisdóttir H. BUILD-rapport 2022:33 Klimapåvirkning fra renovering Muligheder for udformning af grænseværdier til LCA for renovering. 2022.
- [19] FutureBuilt. FutureBuilt ZERO-B - kriterier for lavutslippsbygg n.d. <https://futurebuilt-zero.web.app/kriterier/zero-bygg> (accessed April 14, 2024).
- [20] Kanafani K, Garnow A, Zimmermann R, Sørensen C, Stapel E, Birgisdottir H. Automated Life cycle inventories for existing buildings – a parametric reference model approach. IOP Conf Ser Earth Environ Sci 2022;1078:012097. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012097>.
- [21] W/E adviseurs. Bepalingsmethode milieuprestatie Verbouw en Transformatie - Addendum bij de Bepalingsmethode milieuprestatie gebouwen en GWW-werken. 2019.
- [22] Obrecht TP, Jordan S, Legat A, Ruschi Mendes Saade M, Passer A. An LCA methodology for assessing the environmental impacts of building components before and after refurbishment. J Clean Prod 2021;327:129527. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129527>.
- [23] Liljenström C, Malmqvist T. Resource use and greenhouse gas emissions of office fit-outs - A case study. CESB 2016 - Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future 2016:182–9.
- [24] Hasselsteen LN, Tozan B, Birgisdóttir H, Wittchen KB. CO2-krav og særlige bygningsforudsætninger - udformning af model til beregning af overskridelse af grænseværdi ved øget klimapåvirkning grundet særlige bygningsforudsætninger. 2022.
- [25] Kanafani K, Mai A, Worm S, Jensen D. Klimaeffektiv renovering Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering. vol. BUILD Rapp. 2021.
- [26] Mathiesen BV, Drysdale D, Lund H. Future Green Buildings - A Key to Cost-Effective Sustainable Energy Systems. 2016.
- [27] Mathiesen BV, Lund H, Nielsen S, Sorknæs P, Moreno D, Thellufsen JZ. Varmeplan Danmark 2021 - En Klimaneutral Varmeforsyning 2021. <https://doi.org/10.5278/27134C8F-CA93-43F2-9A50-3B4942852B47>.
- [28] Balouktsi M, Francart N, Kanafani K. Harmonised Carbon Limit values for buildings in the Nordic Countries - Analysis of the Different Regulatory Needs. 2024.
- [29] Ministry of the Environment Finland. Emissions database for construction in Finland n.d. <https://www.co2data.fi/rakentaminen/> (accessed January 13, 2024).
- [30] Direktoratet for Byggkvalitet. TEK 17 § 17-1. Klimagassregnskap fra materialer 2022. <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/17/17-1> (accessed January 13, 2024).
- [31] Standard Norge. NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger. 2018.
- [32] Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. RE2020. Réglementation Environnementale RE2020 n.d. <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020> (accessed January 13, 2024).

- [33] Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. Bouwbesluit 2012 artikel 5.9 n.d. <https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012/hfd5/afd5-2/art5-9> (accessed January 13, 2024).
- [34] Stichting NMD. Milieuprestatie van bouwwerken (MPG) n.d. <https://milieudatabase.nl/nl/milieuprestatie/milieuprestatieberekening/> (accessed January 13, 2024).
- [35] Mayor of London. The London Plan - The Spatial Development Strategy for Greater London. 2021.
- [36] Mayor of London. London Plan Guidance - Whole Life-Cycle Carbon Assessments. 2022.
- [37] Royal Institution of Chartered Surveyors. Whole Life Carbon Assessment for the Built Environment, RICS Professional Standard, 2nd edition 2023.
- [38] Arnold W, Dekker T, Giesekam J, Godefroy J, Sturgi S. An industry-proposed amendment to the Building Regulations 2010 - Whole Life Carbon: Industry-Proposed Document Z. 2022.
- [39] COWI. Opdaterede emissionsfaktorer for el og fjernvarme. 2020.
- [40] Tozan B, Brisson Jørgensen E, Birgisdottir H. Build-rapport 2021:13 Klimapåvirkning fra 60 bygninger Opdaterede værdier baseret på nyere data og danske branche EPD'er. 2021.
- [41] Alig M, Frischknecht R, Krebs L, Ramseier L, Stolz P. LCA of climate friendly construction materials. 2020.
- [42] Resch E, Wiik MK, Tellnes LG, Andresen I, Selvig E, Stoknes S. FutureBuilt Zero - A simplified dynamic LCA method with requirements for low carbon emissions from buildings. IOP Conf Ser Earth Environ Sci, vol. 1078, 2022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012047>.
- [43] European Committee for Standardization. EN 16485 Rundtræ og savet træ - Miljøvare-deklaration - Produktkategoriregler for træ og træbaserede produkter til konstruktionsbrug. 2014.
- [44] Hansen RN, Andersen CME, Birgisdottir H, Hoxha E, Eliassen J, Schmidt JH, et al. Build-rapport 2023:22 Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik. 2023.
- [45] Strateginetværk for bæredygtigt byggeri - temagruppe om data L og dokumentation. Metode til fastsættelse af fremtidige CO₂-grænseværdier for nybyggeri 2023. <https://bygherreforeningen.dk/download/14/publikationer/85539/metode-til-fastsaettelse-af-fremtidige-graensevaerdier.pdf> (accessed December 21, 2023).
- [46] Andersen CME, Garnow A, Sørensen CG, Wittchen A, Stranddorf LK, Hoxha E, et al. Klimapåvirkning fra 45 træbyggerier. BUILD, Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet; 2023.
- [47] Garnow A, Tozan B, Hasselsteen LN, Stranddorf LK, Tsang KS, Andersen CME, et al. Boligbyggeri fra 4 til 1 planet - 25 Best Practice Cases. 2023.
- [48] Hill-Hansen D, Vindaes E, Nordvik F, Reimer Bjørkskov KB, Buhl K, Dons Petrusson K, et al. Reduction Roadmap: Preconditions and Methodologies, version 2. 2022.
- [49] Den X Le, Steinmann J, Kovacs A, Kockat J, Toth Z, Röck M, et al. Supporting the development of a roadmap for the reduction of whole life carbon of buildings - final report. 2023.
- [50] Balouktsi M, Birgisdottir H. BUILD-report 2023:23 Analysis of new modules in connection with calculation of the climate impact of buildings. 2023.

- [51] Röck M, Sørensen A, Tozan B, Steinmann J, Horup LH, Le Den X, et al. Towards embodied carbon benchmarks for buildings in Europe - #2 Setting the baseline: A bottom-up approach 2022. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5895051>.
- [52] Wittchen, K.B., Kragh, J. & Aggerholm, S.: SBI 2014:01: Potentielle varmebesparelser ved løbende bygningsrenovering frem til 2050
- [53] Transition ApS. Renoveringscases for Social- og Boligstyrelsen 2023. <https://sbst.dk/byggeri/baeredygtigt-byggeri/renoveringer> (accessed December 15, 2023).
- [54] Sørensen L, Mattson M. Analyse af CO₂-udledning og totaløkonomi i renovering og nybyg. Rambøll; 2020.
- [55] Serrano T, Kampmann T, Ryberg MW. Comparative Life-Cycle Assessment of restoration and renovation of a traditional Danish farmer house. *Build Environ* 2022;219. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109174>.
- [57] Realdania. CO₂ besparelser i det almene boligbyggeri - tiltag fra 13 almene boligforeninger: Hovedkonklusioner og oversigtskatalog. 2022.
- [58] Realdania By & Byg. Livscyklusvurderinger for historiske ejendomme – Realdania By & Bygs erfaringer med LCA på restaureringer og transformationer. 2022.
- [59] Social- og Boligstyrelsen. Bygningsreglementets bestemmelser § 297-298 om klimapåvirkning n.d. https://byggningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/Krav/297_298#d578ff9b-87e2-42aa-8d81-a08f60c9b3d1 (accessed December 30, 2023).
- [60] Strateginetværk for bæredygtigt byggeri - temagruppe om data L og dokumentation. Roadmap for udvikling af metode til LCA 2023. <https://bygherreforeningen.dk/download/14/publikationer/78107/roadmap-lca-metodeudvikling.pdf> (accessed December 21, 2023).
- [61] Kanafani K;, Magnes J;, Garnow A;, Lindhard SM, Balouktsi M. Aalborg Universitet Ressourceforbrug på byggepladsen Klimapåvirkning af bygningers udførelsesfase. BUILD; 2023.
- [62] Gram-Hansen K, Rhiger Hansen A. SBI 2019:09. Forskellen mellem målt og beregnet energiforbrug til opvarmning af parcelhuse. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet; 2019.
- [63] Petersen S, Daugaard Buhl J, Østergaard Pedersen L, Tanderup Eybye B, Boisen Lyhne M, Morgen M, et al. Bygningskultur og Klima - undersøgelser af eksisterende viden om livscyklusvurderinger og bevaringsværdier. Realdania; 2021.
- [64] Strunge Larsen D, Strunge Jensen J, Steenberg Meyer N. Reelle CO₂-besparelser i konkrete bygninger – en tværfaglig metodik med afsæt i bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974. 2022.
- [65] Mortensen LH, Kanafani K, Rose J, Hjorth Richter K. Branchevejledning for energiberegninger 2.0. 2018.
- [66] Lohmann Rasmussen H, Bøytler T. Vedligehold og klimabelastning – en undersøgelse af praksis i boligudlejningsejendomme. 2022.
- [67] Birgisdóttir H, Kanafani K, Zimmermann RK, Andersen CME, Hatic D, Elmbæk M, et al. Dialogværktøj - cirkulær værdiskabelse i den eksisterende bygningsmasse. 2019.
- [68] Korsholm Andersen R. Adfærd og forbrugsmønstre ved energirenovering af boliger - afsluttende rapport for projekt nr. 347-025. 2020.

- [69] Teknologisk Institut. Energieffektiv ventilation til eksisterende etagebyggeri - EUDP 64010-0075 - Hovedrapport. 2019.
- [70] Furu Nielsen K, Svendsen P, Skammelsen Trankjær L, Peulicke Scott B. Reelle energibesparelser ved energirenovering af etageejendomme - Hovedrapport. 2018.
- [71] Teknologisk Institut. Dokumentation af energibesparelser ved energirenovering. 2020.
- [72] Zimmermann RK, Rasmussen FN, Kanafani K, Malabi Eberhardt LC, Birgisdóttir H. Reviewing allocation approaches and modelling in LCA for building refurbishment. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1078(1), [012095], 2022. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012095>.
- [73] Ejstrup H, Mossin N, Stylsvig Madsen U, Frostholt M, Wittenburg M, Thomassen M, et al. Bygningskultur og klimavenlige løsninger – en kortlægning af behovet for nye løsninger inden for renoveringen af bevaringsværdige bygninger. 2022.
- [74] Rasmussen FN, Birgisdóttir H. Life cycle environmental impacts from refurbishment projects - A case study. CESB 2016 - Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future 2016:277–84.
- [75] Brown NWO, Olsson S, Malmqvist T. Embodied greenhouse gas emissions from refurbishment of residential building stock to achieve a 50% operational energy reduction. Build Environ 2014;79:46–56. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2014.04.018>.
- [76] Berglund D, Kharazmi P, Miliutenko S, Björk F, Malmqvist T. Comparative life-cycle assessment for renovation methods of waste water sewerage systems for apartment buildings. Journal of Building Engineering 2018;19:98–108. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2018.04.019>.
- [77] Vilches A, Garcia-Martinez A, Sanchez-Montañes B. Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. Energy Build 2017;135:286–301. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042>.
- [78] Schwartz Y, Raslan R, Mumovic D. The life cycle carbon footprint of refurbished and new buildings – A systematic review of case studies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2018;81:231–41. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.061>.
- [79] Hasik V, Escott E, Bates R, Carlisle S, Faircloth B, Bilec MM. Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. Build Environ 2019;161:106218. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106218>.
- [80] Aggerholm, S., & Wittchen, K. B. (2018). *SBI-anvisning 213: Beregning af bygningers energibehov*. Aalborg: Statens byggeforsknings institut.
- [81] Artelia A/S. (2023). *Emissionsfaktorer. El, fjernvarme og ledningsgas. 2025-2075*. Social- og Boligstyrelsen.
- [82] Birgisdóttir, H., Hansen, K., Haugbølle, K., Hesdorf, P., Olsen, I. S., & Mortensen, S. (2010). *Bæredygtigt byggeri - Afprøvning af certificeringsordninger til måling af bæredygtighed i byggeri*. København: Byggeriets Evaluerings Center
- [83] boligstyrelsen, S. o. (u.d.). Bygningsreglementet 2018. Hentet fra <https://bygningsreglementet.dk/>.
- [84] Buhl, J. D., & Nilsson, M. S. (2023). *Tværgående klimaanalyse - daginstitutioner*. København: Realdania.

- [85] BUILD. (u.d.). Beregning af CO₂-skyggepriser i LCCbyg. Hentet 09. Februar 2024 fra Aalborg Universitet - VBN: <https://vbn.aau.dk/en/projects/beregning-af-co2-skyggepriser-i-lccbyg>
- [86] BuildingTech. (09. 08 2022). Fredensborg: Skyggepris på CO₂ gør vores energispareprojekter indlysende. Hentet 24. 01 2024 fra <https://pro.ing.dk/buildingtech/artikel/fredensborg-skyggepris-paa-co2-goer-vores-energispareprojekter-indlysende>
- [87] Buket Tozan, E. B. (2021). Klimapåvirkning fra 60 bygninger. Opdaterede værdier baserede på nyere data og danske branche EPD'er. Insitut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet.
- [88] BUUS Consult. (2020). Er det dyrt at bygge bæredygtigt? Green Building Council Denmark.
- [89] Bygningsreglementets vejledning om bygningers klimapåvirkning. (29. januar 2024). Hentet 02. marts 2024 fra Bygningsreglementet.dk: <https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/BRV/Version-2-Bygningers-klimap%C3%A5virkning>
- [90] Danmarks Statistik. (2023d). BOL106: Boliger med CPR-tilmeldte personer (gennemsnit) efter område, enhed og anvendelse. Hentet 3. juli 2023 fra Statistikbanken: <https://www.statistikbanken.dk/BOL106>
- [91] Dansk Fjernvarme. (2023). Fakta om fjernvarme. Hentet fra danskfjernvarme.dk: <https://danskfjernvarme.dk/om-os/fakta-om-fjernvarme>
- [92] Dansk standard. (2008). DS/EN 14040 - Miljøledelse - Livscyklusvurdering - Principper og strukturer. Charlottenlund: Dansk Standard.
- [93] Dansk Standard. (2023). DS/EN 17680:2023 Bygge- og anlægskonstruktioners bæredygtighed – Evaluering af potentiale for bæredygtig renovering af bygninger. Dansk Standard
- [94] DANVA. (2022). VAND I TAL - 2023 DANMARK. Skanderborg: DANVA.
- [95] de Place Hansen, E. J., Søder, P. H., & Fredslund, L. (2021). Kortlægning af spild i byggeriet. Aalborg Universitet.
- [96] Dirchsen, T. N., Søder, P. H., & Haugbølle, K. (2024). Bæredygtig udvikling i det byggede miljø. Aalborg Universitet.
- [97] DK-GBC. (2023). DGNB-system Danmark - Bæredygtighedscertificering af Nye bygninger og omfattende renoveringer, version 2023 1.0.0. København: Green Building Council Denmark / Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB.
- [98] DREAM - Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling. (u.d.). GrønREFORMs Hovedmodel. Hentet 28. Januar 2024 fra DREAMgruppen.dk: <https://dreamgruppen.dk/modeller-og-metoder/groenreform/generel-ligevaegtsmodel>
- [99] Eberhardt, L., Garnow, A., Birgisdottir, H., Rose, J., & Kragh, J. (2022). Klimapotentialet ved renovering kontra nedrivning med nybyg. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet.
- [100] Ecorys. (2016). EU Construction & Demolition Waste . European Commission
- [101] ELFORSK Projekt 348-024, B. H.-M. (u.d.). ELFORSK Projekt 348-024. Hentet fra https://elforsk.dk/files/media/dokumenter/2019-01/348-024%20BeREAL%20slutrapport_0.pdf.
- [102] Energistyrelsen . (2022). Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner. København: Energistyrelsen.

- [103] Energistyrelsen. (2018). Danmark energifremskrivning 2018. København: Energistyrelsen.
- [104] Energistyrelsen. (2023). Analyseforudsætning til Energinet (2022). København: Energistyrelsen.
- [105] Energistyrelsen. (n.a.). Fakta om dansk energi- og klimapolitik. Hentet fra Ens.dk: <https://ens.dk/ansvarsomraader/energi-klimapolitik/fakta-om-dansk-energi-klimapolitik>
- [106] Energistyrelsen. (u.d.). PSO-tariffen. Hentet 19. 01 2024 fra ENS.dk: <https://ens.dk/service/statistik-data-noegletal-og-kort/pso-tariffen>
- [107] Europa-parlamentets og rådets direktiv 2003/87/EF af 13. oktober 2003, 87 (Europa-parlamentet 2003. Oktober 2003).
- [108] European-Committee for standardization. (2021). prEN 15978-1 Sustainability of construction works - Methodology for the assessment of performance of buildings - Part 1: Environmental Performance. Brussels: Cen-Cenelec Management Centre.
- [109] Finansministeriet. (24. juni 2022). Aftale mellem regeringen og Venstre, Socialistisk Folkeparti, Radikale Venstre, Det Konservative Folkeparti om: Grøn skattereform for industri mv.
- [110] Finansministeriet. (2023). Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger. Finansministeriet.
- [111] Finansministeriet. (Februar 2024). Nøgletalskatalog.
- [112] Gram-Hanssen, K., Jensen, J. O., Hansen, A. R., & Trotta, G. (2020). Beboernes betydning for realiserede varmebesparelser ved renovering af boliger. København: BUILD.
- [113] Green Building Council Denmark (DK-GBC). (2017). DGNB system Denmark manual for etageejendomme og rækkehuse 2017. DK-GBC.
- [114] Green Building Council Denmark. (2020). DGNB - Bybyggeri og omfattende renoveringer (Årg. Version 2020 1.1.2). DK-GBC.
- [115] Haugbølle, K. (2013). Introduktion til LCC på bygninger. København: Trafik- og Byggestyrelsen.
- [116] Haugbølle, K., & Raffnsøe, L. (2017). Lifecycle costing in office buildings: Key performance indicators from DGNB Denmark. CIB Proceedings, 1-13.
- [117] Haugbølle, K., Forman, M., & Gottlieb, S. C. (2012). Driving sustainable innovation through procurement of complex products and systems. (N. Thurairajah, Red.) CIB Proceedings, 2012, 444-455.
- [118] Haugbølle, K., Mahdi, V., Morelli, M., & Wahedi, H. (2021). BUILD levetidstabel: Version 2021. København: Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet.
- [119] <https://www.bolius.dk/nye-huse-er-blevet-naesten-dobbelt-saa-store-paa-60-aar-40954>. (u.d.).
- [120] Incentive. (2015). Værdien af bygningsarv. Realdania.
- [121] ISO. (2017). DS/ISO 15686-5:2017 Bygge- og anlægsaktiver - Levetidsplanlægning - Del 5: Analyse af livscyklusomkostninger (LCC). Dansk Standard.
- [122] ISO, the International Organization for Standardization. (2016). ISO 14021:2016 Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling) — AMENDMENT 1: Carbon footprint, carbon neutral. ISO, the International Organization for Standardization.

- [123] Jensen, J. O., Mechlenborg, M., Kragh, J., & Egsgaard-Pedersen, A. (2022). Nedrivning af enfamiliehuse: Omfang og årsager. BUILD Aalborg Universitet.
- [124] Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. (u.d.). Klimaindsatsen i Danmark. Hentet 09. Februar 2024 fra kefm.dk: <https://kefm.dk/klima/klimaindsatsen-i-danmark>
- [125] Klimamonitor. (2022). Her er CO2-afgiftens historie og de store vendepunkter. Klimamonitor. Hentet 20. 01 2024 fra <https://klimamonitor.dk/nyheder/art8601946/Her-er-CO2-afgiftens-historie-og-de-store-vendepunkter>
- [126] Klimarådet. (2020). Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion - retning og tiltag for de næste ti års klimaindsats i Danmark. København: Klimarådet.
- [127] Kvale, S., & Brinkmann, S. (2015). Interview - Det kvalitative forskningsinterview som håndværk (3. udg.). København: Hans Reitzels Forlag.
- [128] Københavns Kommune. (2022). Ansvarlige og bæredygtige indkøb til gavn for borgere og samfund - indkøbspolitik 2023-2026. København: kk.dk.
- [129] Københavns Kommune. (2023. November 2023). Implementering af interne klimaafgifter i Københavns Kommune. Hentet 09. Februar 2024 fra kk.dk: <https://www.kk.dk/dagsordener-og-referater/Borgerrepr%C3%A6sentationen/m%C3%B8de-30112023/referat/punkt-13>
- [130] Laursen, K. G., & Haugbølle, K. (2023). Beregningsforudsætninger og nøgletal i LCCbyg. 95. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet.
- [131] Lov om kuldioxidafgift af visse energiprodukter, Nr. 888 (Skatteministeriet 21. 12 1991).
- [132] McKinsey & Company. (10. February 2021). The state of internal carbon pricing. Hentet fra McKinsey.com: <https://www.mckinsey.com/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/the-state-of-internal-carbon-pricing#/>
- [133] Rådet for Grøn Omstilling. (2023). Cirkulært byggeri - fra drøm til virkelighed - ambitiøs regulering skal drive omstillingen mod en cirkulær byggebranche. Rådet for Grøn Omstilling.
- [134] Skatteministeriet. (25. April 2023). Effekter af Aftale om grøn skattereform for industri mv.
- [135] Social- og Boligstyrelsen. (2024). Byggeriets Klimapåvirkninger (nyheder). Hentet fra Social- og Boligstyrelsen: <https://sbst.dk/nyheder/2024/byggeriets-klimapaavirkning>
- [136] Social-, Bolig- og Ældreministeriet. (31. maj 2021). Aftale mellem regeringen (Socialdemokratiet) og Socialistisk Folkeparti, Radikale Venstre, Enhedslisten og Alternativet om: Udmøntning af pulje til bæredygtigt byggeri.
- [137] Susie Frederiksen, f. (2023). Energiberegning af nye huse. Hentet fra Videncentret Bolius: <https://www.bolius.dk/energiberegning-af-nye-huse-19092>
- [138] SWECO HQ - Forecast-analyse af forventet energiforbrug. (u.d.). Hentet fra https://elforsk.dk/files/media/dokumenter/2018-10/BeReal%20case%20-%20%20Sweco%20HQ_version2.pdf.
- [139] Teknologisk Institut. (2021). Klimavenligt byggeri og LCA - analyse af udvalgte landes tilgange til klimavenligt byggeri, LCA og samfundsøkonomi. Teknologisk Institut.

- [140] Teknologisk Institut, BUILD Aalborg Universitet, Responsible Assets. (2024). IgenBo – riv ned og byg nyt eller bevar enfamiliehuset. Forenet Kredit.
- [141] Tine R. Sode, C. K. (2018). Sådan isolerer du ydervægge udefra. Hentet fra Videncentret Bolius: <https://www.bolius.dk/saadan-isolerer-du-ydervaege-udefra-16412>
- [142] Vejdirektoratet. (06. December 2023). Vejdirektoratet vil belønne mere klimavenlig asfalt. Hentet 09. Februar 2024 fra vejdirektoratet.dk: <https://www.vejdirektoratet.dk/pressemeddelelse/2023/vejdirektoratet-vil-beloenne-mere-klimavenlig-asfalt>
- [143] Verdensmål. (19. Marts 2023). NREP har indført intern CO2-afgift: "CO2 er aldrig gratis". Hentet 09. Februar 2024 fra Verdensmål - Danmarks officielle side: <https://www.verdensmaal.org/nyheder/nrep-har-indf%C3%B8rt-intern-co2-afgift-co2-er-aldrig>
- [144] Værdibyg. (2023). Risiko som barriere for bæredygtige byggematerialer. København: Værdibyg.
- [145] Worm, A., & Eberhardt, L. (2023). Klimakrav til renovering - metode og grænseværdi. Aarhus: Bygherreforeningen.
- [146] Worm, A., Rasmussen, K. W., Poulsen, C., Gade, T., & Jørgensen, O. B. (2013). Innovationsprojekt - AL2 boligs klimablok i Langkærparken. Aarhus: AL2 bolig.
- [147] Økonomiudvalget, Københavns Kommune. (21. 02 2023). Besvarelse af medlemsforslag om CO2-afgift/skyggepris. Hentet 24. 01 2024 fra kk.dk: <https://www.kk.dk/dagsordener-og-referater/%C3%98konomiudvalget/m%C3%B8de-21022023/referat/punkt-8>
- [148] Aarhus Kommune. (November 2022). Fakta om Klimaafgiften og Skyggepriser - indregning af CO2 i Aarhus Kommunes indkøb. Aarhus. Hentet 24. 01 2024 fra https://aarhus.dk/media/fa0p5z4g/fakta-om-klimaafgiften-og-skyggepriser_nov_22.pdf
- [149] Galvin, R. (2016). The rebound effect in home heating: a guide for policymakers & practitioners. Routledge, Taylor & Francis Group.
- [150] Wittchen, K. B., Jensen, O. M., & Brøgger, M. (2024). Identifying pre- and rebound effects prior to building stock energy upgrade (foreløbig titel af videnskabelig artikel, som er under fagfællebedømmelse). Journal of Building Performance Simulation.
- [151] Finansministeriet. (26.. April 2019). Notat - Dokumentationsnotat om opgørelse af nettoafgiftsfaktoren.
- [152] Udviklet af Morten Brøgger I PhD projektet: Building stock energy modelling, Aalborg University, 2019. ISSN (online): 2446-1636. ISBN (online): 978-87-7210-380-8



