



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Klimapotentialet ved renovering kontra nedrivning med nybyg

Eberhardt, Leonora Charlotte Malabi; Garnow, Agnes; Birgisdottir, Harpa; Rose, Jørgen; Kragh, Jesper

Creative Commons License
Ikke-specificeret

Publication date:
2022

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Eberhardt, L. C. M., Garnow, A., Birgisdottir, H., Rose, J., & Kragh, J. (2022). *Klimapotentialet ved renovering kontra nedrivning med nybyg*. (1 udg.) Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet. BUILD Rapport Bind 2022 Nr. 37

General rights

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

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

Take down policy

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



BUILD

RAPPORT

2022:37

Klimapotentialet ved renovering kontra nedrivning med nybyg

Leonora Charlotte Malabi Eberhardt, Agnes Garnow, Jesper Kragh, Harpa Birgisdottir, Jørgen Rose

Klimapotentialet ved renovering kontra nedrivning med nybyg

TITEL	Klimapotentialet ved renovering kontra nedrivning med nybyg
SERIETITEL	BUILD Rapport 2022:37
FORMAT	PDF
UDGAVE	1. Udgave
UDGIVELSEÅR	2022
UDGIVET DIGITALT	December 2022
FORFATTER	Leonora Eberhardt, Agnes Garnow, Harpa Birgisdottir, Jørgen Rose, Jesper Kragh
KVALITETSSIKRING	Per Kvols Heisselberg, Lea Hasselsteen Nielsen, Freja Nygaard Rasmussen
SPROG	Dansk
SIDEANTAL	70
LITTERATURHENVISNINGER	Side 69
EMNEORD	Livscyklusvurdering, Renovering, Miljøpåvirkning, Klimapåvirkning, Grænseværdi, Nybyggeri
ISBN	978-87-563-2075-7
ISSN	2597-3118
FORSIDE FOTO	Astrid Maria Busse
UDGIVER	Department of the Built Environment, Aalborg University A.C. Meyers Vænge 15, 2450 Copenhagen SV E-mail build@build.aau.dk www.build.aau.dk This publication is covered by the Danish Copyright Act.

Indhold

Opsummering	4
Sammenfatning	5
Hovedresultat	6
Forord	10
1.0 Indledning	11
2.0 Beregningsgrundlag	13
2.1 Definitioner af renoveringstyper	13
2.2 Bygningseksempler	14
2.3 Generiske beregninger	18
2.4 Metodebeskrivelse for LCA	23
3.0 Resultater	28
3.1 Bygningseksempler	28
3.2 Generiske beregninger	35
3.3 Usikkerheder	44
3.4 Klimamæssigt og økonomisk potentiale	48
4.0 Bilag	50
4.1 Bilag A	50
4.2 Bilag B	51
4.3 Bilag C	52
4.4 Bilag D	53
4.5 Bilag E	55
4.6 Bilag F	64
4.7 Bilag G	65
5.0 Referencer	69

Opsummering

Klimaloven (Klima- Energi- og Forsyningsministeriet, 2020) forpligtiger Danmark til at reducere drivhusgasudledningerne med 70 pct. i 2030 i forhold til 1990 og til at være klimaneutralt i 2050.

At reducere udledning fra byggesektoren er en afgørende faktor for at kunne overholde denne forpligtigelse. Dette har blandt andet resulteret i et nyt bygningsreglement i 2023 med CO2 krav til nye bygninger.

Opvarmning af eksisterende bygninger står for cirka en tredjedel af energiforbruget i Danmark og der findes et betydeligt besparelsespotentiale, især i ældre byggeri fra før 1960.

For at nedbringe den eksisterende bygningsmasses bidrag til CO2-udledningen har Europakommissionen lanceret initiativet "En renoveringsbølge for Europa (Europakommissionen, 2020) som skal fremme energirenovering, livscyklustilgang og omstilling til vedvarende energiformer.

Hvis renoveringer af den eksisterende bygningsmasse skal føre til en faktisk CO2-reduktion, må de betragtes i et livscyklusperspektiv, hvor også påvirkninger fra de materialer, som anvendes for at frembringe energibesparelsen, regnes med.

Rapporten beskriver beregningsforudsætningerne bag afsnittet "Klimapotentialet ved renovering kontra nedrivning med nybyg" i udgivelsen "Helhedsvurdering ved renovering". Formålet med analysen er overordnet at undersøge klimabesparelsespotentialer ved renovering sammenlignet med nedrivning/nybyg gennem livscyklusvurderinger (LCA) af tre bygningstyper: Enfamiliehus, etagebolig og kontor.

Enfamiliehus og kontorbygninger udgør en stor andel af alt nedrevet og nyopført areal og er derfor udvalgte, i tillæg undersøges et etageboligbyggeri for at favne flere bygningstyper i både funktion og størrelse.

De tre bygningstyper er repræsenterede både som specifikke bygningseksepler med udførte renoveringer og som generiske bygninger hvor renoveringstiltagen varieres for at undersøge forskellige scenariers klimapåvirkning.

Analysen sammenligner renoveringer med de kommende CO2-krav i bygningsreglementet samt et scenarie, hvor den eksisterende bygning rives ned og der bliver opført et nyt byggeri. I analysen er der fokuseret på timingen og usikkerheder omkring klimapåvirkningen fra både driftsenergien og materialernes indlejrede klimapåvirkning. Effekten af materiale- og energimæssige usikkerheder på klimaregnskabet for renovering er derfor undersøgt.

Bygningseksemplerne kan anvendes til inspiration og vejledning i fremtidige renoveringssager. Analysen er foretaget af Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD).

Forkortelser:

LCA Livscyklusvurdering (Life Cycle Assessment)

BR18 Bygningsreglementet 2018

GWP Klimapåvirkning (Global Warming Potential)

kgCO2ækv. Enhed for klimapåvirkning (kg CO2 ækvivalenter)

EPD Miljøvaredeklaration (Environmental Product Declaration)

EoL End levetid (end-of-life)

Sammenfatning

1. Resultaterne fra de undersøgte bygningseksempler viser en generel tendens til, at det er klimamæssigt fordelagtigt at renovere fremfor at rive ned og bygge nyt, dog er tidspunktet for hvornår emissionerne sker afgørende (Figur 1.1)
2. Ved renovering af eksempelbygningerne bidrager driftsenergien relativt meget til klimapåvirkningen (30-66%), mens den for nedrivning/nybyg primært er materialerelateret og driftsenergien udgør en mindre del af klimaregnskabet (19-24%) (Afsnit 3.1 og 3.2).
3. Klimapåvirkningen fra nedrivning medregnes ikke i nybygningens klimaregnskab men står for 6-20% af den samlede klimapåvirkning. Den kan derfor være afgørende for om renovering eller nybyg er klimamæssigt bedre (Afsnit 3.1 og 3.2).
4. I nogen tilfælde kan der opstå et tidsmæssigt balancepunkt, hvor nedrivning/nybyg indhenter fordelene ved renovering grundet højere udledning fra driftsenergien i de renoverede bygninger (Figur 1.1).
 - a. Resultater for de undersøgte cases af bygningstype enfamiliehus viser at nedrivning/nybyg indhenter renoveringens materialerelaterede klimabesparelse efter omtrent 20 år (Figur 1.1A).
 - b. Resultater for de undersøgte cases af bygningstypen etageboligbyggeri viser at renovering bliver ved med at være klimamæssigt bedre end nedrivning/nybyg (Figur 1.1B).
 - c. Resultater for de undersøgte cases af bygningstypen kontor viser at renovering bliver ved med at være klimamæssigt bedre end nedrivning/nybyg (Figur 1.1C).
5. Energirenovering bør være i fokus her og nu. Hvis forskellen mellem driftsenergiforbruget før og efter renovering er lille, er der ikke den store klimamæssige fordel ved renoveringen. Derfor bør der renoveres med fokus på tiltag, der reducerer klimapåvirkningen fra driftsenergiforbruget (Afsnit 3.1 og 3.2).
6. Udviklingen af energiforsyningen og energiforbruget har en stor indflydelse på det klimamæssige forhold mellem renovering og nedrivning/nybyg. Hvis tendensen til at energiforsyningens emissionsfaktorer reduceres hurtigere end forventet, vil det medføre en yderligere fordel for renoveringen (Figur 3.33).
7. Renoveringen af etageboligen og kontoret ligger tæt på klimapåvirkningen fra den klimamæssigt bedste nedrivning/nybyg case. Da det i fremtiden forventes at der bygges med større fokus på klimaoptimeringer, kan det betyde at nedrivning/nybyg på sigt klimamæssigt vil kunne måle sig med renovering (Figur 3.6 og 3.9).
8. I forbindelse med renovering udvides ofte bygningsarealet og det er klimamæssigt dyrt. Derfor er både udvidelsens størrelse og materialevalg vigtige overvejelser for at renovering skal være klimamæssigt bedre end nedrivning/nybyg (Figur 3.1).
9. Køkken og bad er en af de hyppigste renoveringstyper blandt lejligheds- og parcelhusejere, men medregnes ikke i bygningers klimaregnskab (Afsnit 3.2.4).
 - a. Udskiftning af køkken og bad udgør 8% af alle renoveringstiltagenes totale klimapåvirkning i enfamiliehus-eksemplet når der regnes med en funktional levetid på 33 år (Figur 3.32).
 - b. Udskiftning af køkken og bad udgør 18% af alle renoveringstiltagenes totale klimapåvirkning i enfamiliehus-eksemplet når der regnes med en modemæssig levetid på 11 år (Figur 3.32).

Hovedresultat

Resultaterne viser en generel tendens til, at det kan betale sig både klimamæssigt og økonomisk at renovere fremfor ikke at renovere eller rive ned og bygge nyt, men tidspunktet for hvornår emissionerne sker er afgørende for om der opnås en klimamæssig og økonomisk gevinst ved renovering.

Analysen bygger på konkrete bygningseksempler af et enfamiliehus og kontorbygning, da disse bygningstyper udgør en stor andel af alt nedrevet og nyopført areal, samt et etageboligbyggeri for at favne flere bygningstyper i både funktion og størrelse. Bygningseksemplerne er renoveret i så stort et omfang at nedrivning kunne have været et alternativ.

Tidspunktet for emissionerne indtræden er afgørende for bygningseksemplerne

Det er kritisk at udledningen af drivhusgasser minimeres her og nu hvis klimamålsætningerne for hhv. 2030 og 2050 skal nås. Figur 1 viser at det for etageboligbygningen og kontorbygningen er entydigt klart at selvom der udføres en omfattende renovering, hvor nedrivning kunne have været et alternativ, er renovering klimamæssigt at foretrække frem for nedrivning/nybyg. For enfamiliehuset er omfattende renovering også klimamæssigt at foretrække de første 17 år og 23 år hhv. med og uden tilbygning. Herefter vil nedrivning/nybyg indhente renoveringens klimabesparelse. Dette skyldes at driftsenergiens andel af nybyggeriets klimaregnskab er markant lavere (19%) end driftsenergiens andel af det renoverede enfamiliehus' klimaregnskab, der er næsten dobbelt så højt (35%). Ud fra et klimaperspektiv betyder det, at det for alle tre eksempelbygninger er klimamæssigt at foretrække en omfattende renovering her og nu frem for nedrivning/nybyg, men at der som for eksempel enfamiliehuset kan være et tidsmæssigt balancepunkt, hvor nedrivning/nybyg indhenter fordelene ved renovering. Hvornår balancepunktet opstår afhænger i høj grad af bygningens driftsmæssige udgangspunkt og renoveringstiltagens evne til at nedbringe klimapåvirkningen fra driftsenergien.

Energirenovering bør være i fokus her og nu

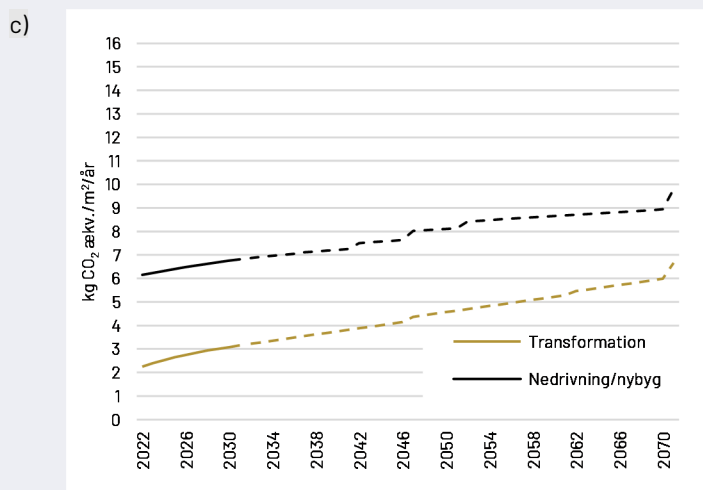
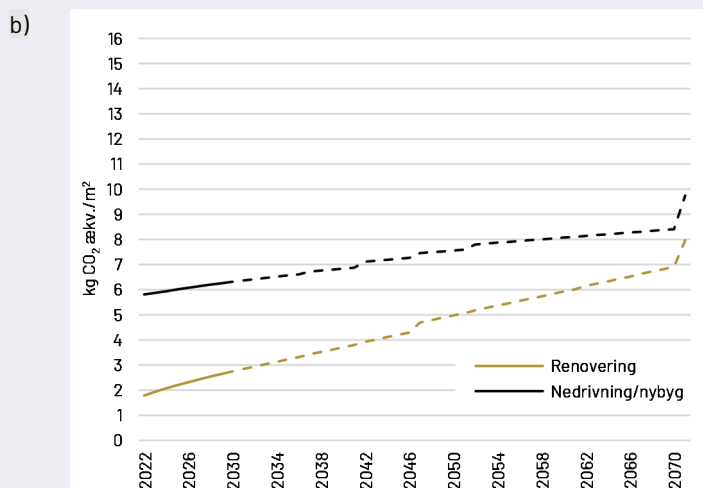
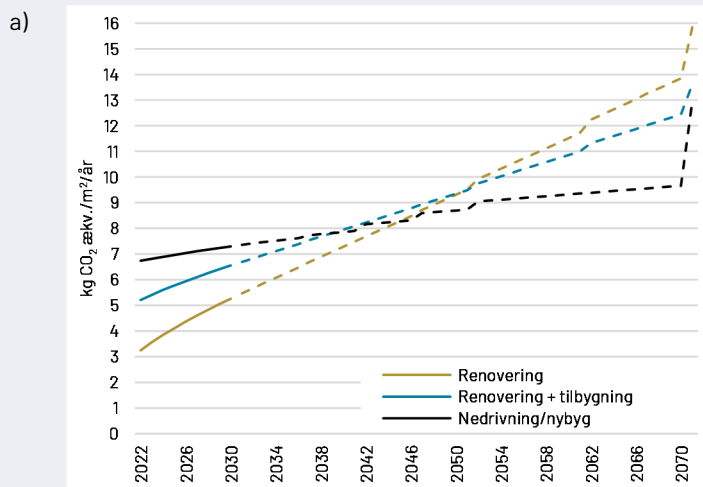
Ved renovering af eksempelbygningerne bidrager driftsenergien relativt meget til klimapåvirkningen (30-66%), mens den for nedrivning/nybyg primært kommer fra materialerne, hvor driftsenergien udgør en mindre del af klimaregnskabet (19-24%). Men desto bedre energimærket er i bygningen desto højere er det relative energiforbrug (Gram-Hansen & Rhiger Hansen, 2016). Derfor er det sandsynligt at nedriv/nybyg bruger mere energi end forventet sammenlignet med renoveringen, hvor det her også er sandsynligt at der bruges mere energi, dog ikke i samme omfang som nedrivning/nybyg. Analysen viser at det på tværs af eksempelbygningerne generelt er svært at få driftsenergiens andel af klimapåvirkningen ved renovering ned på niveau med nedrivning/nybyg. Hvorvidt renovering er bedre end nedrivning/nybyg afhænger derfor i høj grad af driftsenergiens udgangspunkt i den eksisterende bygning før renovering, og hvor meget renoveringstiltagene kan reducere klimapåvirkningen fra bygningens driftsenergiforbrug. Hvis forskellen mellem driftsenergiforbruget før og efter renovering er lille, er der ikke den store klimamæssige fordel ved renoveringen. Derfor bør der, når der alligevel skal renoveres, være fokus på tiltag, der samtidig reducerer klimapåvirkningen fra driftsenergiforbruget. Alene ved at skifte fra ledningsgas til enten fjernvarme eller varmepumpe kan der opnås en markant klimabesparelse (hhv. 37% og 74% for enfamiliehuset).

Den grønne omstilling af energiforsyningen vil øge fokus på materialeoptimeringer

Udviklingen af energiforsyningen og energiforbruget i Danmark har en stor indflydelse på det klimamæssige forhold mellem renovering og nedrivning/nybyg. Hvis tendensen til at energiforsyningens emissionsfaktorer reduceres hurtigere end forventet, vil det medføre en yderligere fordel for renoveringen. Samtidig vil denne udvikling øge materialernes andel af bygningernes klimaregnskab. I takt med denne udvikling bør fokus flyttes fra driftsenergien til materialerne. Men udviklingen på området kan også tippe klimavægtskålen.

Kommende CO₂-krav kan få nedrivning/nybyg til at måle sig med klimapotentialt ved renovering

Renoveringen af etageboligen og kontoret ligger tæt på klimapåvirkningen fra den klimamæssigt bedste nedrivning/nybyg case. I lyset af de kommende CO₂-krav til nybyggeri forventes i fremtiden at der bygges med større fokus på klimaoptimeringer. Da materialerne i dag står for langt den største klimapåvirkning ved nedrivning/nybyg og står for en mindre andel af klimapåvirkningen ved renovering selv ved en omfattende renovering som foretaget i eksempelbygningerne, vil det fremtidige fokus på materialeoptimeringer højest sandsynligt betyde at nedrivning/nybyg på sigt klimamæssigt vil kunne måle sig med renovering.



Note: Den stiplede linje efter 2030 indikerer emissionernes usikkerhed i fremtiden.

Figur 1.1. Akkumuleret klimapåvirkning for renovering af a) enfamiliehus, b) etagebolig og c) kontor med fjernvarme sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode

Da driftsenergien på nuværende tidspunkt har afgørende betydning for klimapåvirkningen af renoveringen sammenlignet med nedrivning/nybyg har materialevalget i mindre grad indflydelse på renoveringens klimaregnskab. Men uanset at valg af materialer og deres klimapåvirkning har relativ mindre betydning ved renovering end ved nedrivning/nybyg, er valget af materialer ikke uden betydning. Det gælder særligt ekstra klimatunge tiltag som fx installation af solceller, hvor spændet mellem den klimamæssigt værste og bedste solcelle på markedet er stor, eller udbygning af bygningsarealet, hvor der anvendes ekstra mange materialer i renoveringen. Det er klimamæssigt dyrt at øge bygningsarealet som en del af en renovering på lige fod med nybyggeri og derfor er både størrelsen og materialevalget vigtige overvejelser når der bygges til som en del af renoveringen.

Klimapåvirkningen fra nedrivning bliver overset i bygningers klimaregnskab

Klimapåvirkningen fra nedrivning overses i dag, da det nedrevne byggeri typisk ikke medregnes i nybygningens klimaregnskab. Men nedrivning står for 6-20% af den samlede klimapåvirkning, hvis de eksisterende bygninger var blevet revet ned for at bygge nyt frem for at renovere og er afgørende for om renoveringen fremstår bedre eller værre end nedrivning/nybyg. Medregnes klimapåvirkningen fra nedrivning kan det også betyde at nedrivning/nybyg ikke kan overholde de kommende CO₂ krav så det ikke kan lade sig gøre at rive ned og bygge nyt og at bymæssige grunde med dårlige bygninger ikke bliver håndteret.

Renovering af køkken og bad kan stå for en væsentlig andel af klimapåvirkningen

Køkken og bad er en af de hyppigste renoveringstyper blandt lejligheds- og parcelhusejere, men medregnes ikke i bygningers klimaregnskab. Udskiftning af køkken og bad udgør 8% af alle renoveringstiltagenes totale klimapåvirkning i enfamiliehus-eksemplet når der regnes med to udskiftninger i løbet af en 50-årig betragtningsperiode. Køkkener har en gennemsnitlig levetid på 11 år, og kan derfor i princippet udgøre en væsentligt større andel af klimapåvirkningen, hvilket for nuværende overses i bygningernes klimaregnskab.

Udskiftning af vinduer og totalrenovering er klimamæssigt fordelagtigt

Efterisolering er et klimamæssigt billigt tiltag at gennemføre med et højt potentiale for klimabesparelse gennem et reduceret driftsenergiforbrug. Generelt viser analysen på tværs af eksempelbygningerne at udskiftning af gamle vinduer med energivinduer er det mest klimabesparende renoveringstiltag idét der opnås en fordelagtig balance mellem en lav klimapåvirkning fra de nye materialer og en høj klimabesparelse fra et lavere driftsenergiforbrug. Udskiftning af terrændækket er det mindst klimabesparende renoveringstiltag da klimapåvirkningen fra nye materialer er højere end klimabesparelsen ved et reduceret driftsenergiforbrug. Men udskiftning af terrændækket kan øge den termiske komfort. For etageboligen og kontorbygningen opnås den største klimabesparelse ved en totalrenovering.

Der er behov for flere beregninger til at belyse området fuldt ud

Af analysens resultater står det klart at klimapotentialet ved renovering og nedrivning/nybyg er et komplekst område at afdække. Analysen er afgrænset til at kigge på tre konkrete eksempelbyggerier. I en mulig videreudvikling af projektet bør der udføres flere beregninger, der omfatter bl.a. indsamling og beregning af et større antal bygninger fra flere tidsperioder.

Forord

Byggesektoren står for 40% af den globale udledning af drivhusgasser og for at kunne nå klimamålet i 2030, er der i tillæg til grænseværdier for nybyggeri, behov for at undersøge hvordan evt. krav til renovering af vores eksisterende bygningsmasse kan håndteres.

Det stigende fokus på byggebranchens klimapåvirkning og ressourceforbrug har resulteret i en politisk aftale 5. marts 2021 om en national strategi for bæredygtigt byggeri^[2]. Strategien skal understøtte den bæredygtige omstilling af bygge- og anlægssektoren. Strategien omfatter 21 konkrete initiativer herunder initiativ 1 om en trinvis indfasning og stramning af CO₂-krav til nybyggeri frem mod 2030 og initiativ 13 om helhedsvurderinger ved renoveringer for at understøtte at beslutninger om nedrivning eller renovering afspejler den rette balance mellem forskellige parametre så som økonomi, kvalitet og klimabelastning. Den politiske aftale beskriver, at initiativet om helhedsvurderinger ved renoveringer skal bruges med det sigte, at der skal være muligt at stille krav til klimapåvirkning ved renoveringer af bygninger. I den forbindelse er der igangsat et sideløbende analyseprojekt hos BUILD, som undersøger *muligheder for at stille klimakrav til renoveringer*.

En stor del af den bygningsrelaterede drivhusgasudledning i Danmark stammer fra driftsenergi og den er som regel markant højere i ældre huse som blev opført inden energikrav til bygninger blev implementeret i bygningsreglementet.

Mange bygningsejere af eksisterende ældre byggeri kan stå i den situation, at de skal vælge mellem en omfattende renovering eller nedrivning/nybyggeri. I nærværende rapport belyses den klimamæssige konsekvens af dette valg ved detaljerede LCA analyser af en række faktiske cases og en række generiske modeller af typisk byggeri.

Selv om renovering af eksisterende bygninger ikke er inkluderet i de nye krav, er der i øjeblikket stort fokus på renoverings LCA og som et led i den nationale strategi for bæredygtigt byggeri (initiativ 13) er BUILD blevet bedt om at udføre et antal projekter med fokus på renovering, heriblandt Helhedsvurdering ved renoveringer.

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

Tine Steen Larsen
Sektionsleder

1.0 Indledning

Vi står overfor en presserende klimadagsorden, hvor byggeriet spiller en væsentlig rolle i både udfordringen og løsningen. Omkring 39% af den globale udledning af drivhusgasser kan tilskrives bygninger, hvoraf 28% kommer fra energiforbruget i den samlede bygningsmasse og 11% fra byggematerialernes udledning fra både nybyggeri og vedligehold og renovering af eksisterende bygninger (IEA, 2019). Udledningen af drivhusgasser fra byggeriet i Danmark estimeres at være 30% af de samlede udledninger med ca. 20% fra driftsenergi og 10% fra materialer (Dansk Byggeri, 2020).

Potentialet ved renovering af den eksisterende bygningsmasse i forhold til at nedbringe energiforbruget og ikke mindst i forhold til at undgå nedrivning af bygninger fremfor at bygge nyt påpeges som en vigtig del af klimadagsordenen. Europakommissionen har derfor lanceret initiativet *En Renoveringsbølge for Europa* for at indfri den eksisterende bygningsmasses bidrag til CO₂-besparelse, et initiativ som skal fremme flere og dybere energirenoveringer, livscyklustilgangen og konvertering til vedvarende energiformer (Europakommissionen, 2020).

40% af Danmarks energiforbrug anvendes i driften af bygninger hvoraf mange ældre bygninger har et højt energiforbrug. Hvis den eksisterende bygningsmasse energioptimeres ved energirenovering af klimaskærmen til det kravniveau der stilles i BR18 ved ombygningsarbejder, er der potentiale for at reducere forbruget med ca. 10.100 GWh/år, svarende til 20% af den samlede bygningsmasses driftsenergiforbrug (Kragh, J., & Aggerholm, S, 2021).

Klimabelastning fra nybyggeri og potentiale for mulige reduktioner er forholdsvis veldokumenteret i Danmark (Zimmermann (2020), Andersen (2021), Nielsen (2022), Tozan (2022)) mens samlet viden om klimapotentialet ved renoveringer og sammenligning med nedrivning og nybyg ikke er belyst.

Denne rapport er en del af projektet Helhedsvurdering ved renoveringer som er et større projekt som blev igangsat som et led i initiativ 13 fra Strategien for bæredygtigt byggeri. Projektets formål er at opbygge et bredt vidensgrundlag for helhedsvurderinger i renoveringsprojekter til gavn for myndigheder og beslutningstagere fx bygherrer, bygningsejere, rådgivere med henblik i på at understøtte/fremme mere hensigtsmæssige og bæredygtige renoveringer ud fra et helhedsperspektiv. Projektet skal på et overordnet niveau analysere forholdet mellem nedrivning/nybyg kontra renovering og forsøge at kortlægge omfanget af renoveringer hhv. nedrivninger. Projektet skal dermed danne grundlag for et beslutningsoplæg om, hvorvidt det er muligt at stille krav til klimapåvirkning ved renoveringer af bygninger, samt - hvis dette vurderes muligt - hvordan et sådan krav kan udformes.

Parallelt med dette projekt har BUILD udført et projekt med formål at analysere muligheden for at stille krav til klimapåvirkningen af renoveringer i Bygningsreglementet, hvor der også udgives en rapport.

Formålet med denne rapport er at undersøge klimapotentialet ved henholdsvis renovering og nedrivning/nybyg gennem livscyklusvurderinger (LCA) med udgangspunkt i konkrete bygningseksempler: enfamiliehus, etageboligbyggeri og et kontor.

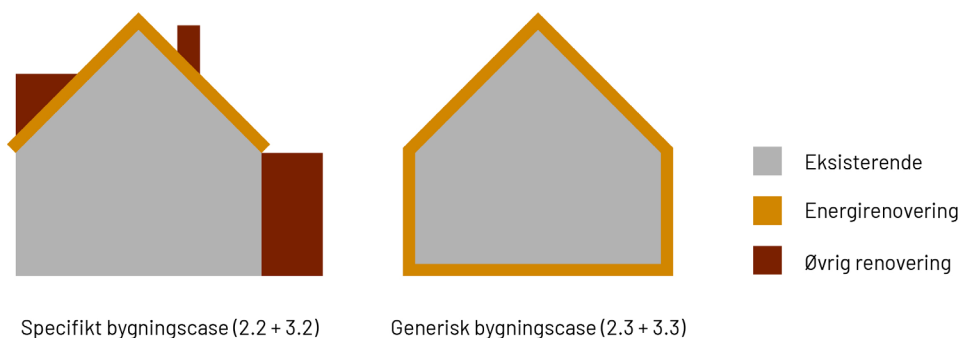
Projektet består af følgende fem dele:

1. "[Helhedsvurdering ved renovering](#)": Et notat, hvor nedenstående rapporter opsamles.
2. "[Tendenser for renovering](#)": En analyse af tendenserne indenfor renoveringer, baseret på eksisterende data på enfamiliehuse og etageboliger.
3. "[Nedrivning af enfamiliehuse: Omfang og årsager](#)": En analyse af årsager til nedrivning af bygninger hhv. renovering, baseret på surveys blandt bygningsejere.
4. "[Klimapotentialet ved renovering kontra nedrivning med nybyg](#)": En beregning af klimabesparelsespotentialet ved renovering kontra nedrivning/nybyg, baseret på konkrete bygningseksempler: et enfamiliehus, en etagebolig og en kontorbygning.
5. "[Helhedsvurdering til beslutningsstøtte ved renovering eller nedrivning/nybyggeri](#)": Udvikling af indholdet i en helhedsvurdering, der kan benyttes som beslutningsstøtte i valget mellem renovering eller nedrivning med nybyggeri.

2.0 Beregningsgrundlag

Til at belyse klimpåvirkningerne ved renovering kontra nedrivning / nybyg er der foretaget LCA-baserede beregninger af potentialet for global opvarmning fra en række specifikke og generiske cases for enfamiliehus, etagebolig og kontor. De case-specifikke bygningseksempler er faktiske cases for udførte renoveringsprojekter, indsamlet og dokumenteret via BUILD's case bank. De repræsenterer dermed bygningsrenoveringer fra 'det virkelige liv' hvor andre faktorer end energieffektivisering har spillet ind i valget af materialer og tekniske løsninger. Derimod er de generiske bygningseksempler etableret specifikt til analyserne i denne rapport, og repræsenterer renoveringseksempler med et stærkt fokus på energieffektiviserende tiltag. Her er der samtidig sørget for at gøre cases så repræsentative som muligt ift. karakteristika i den danske bygningsmasse.

Med de to forskellige typer af eksempler belyses derfor både de enkeltstående løsninger fra praksis (case-specifikke eksempler) og de mere energioptimerede eksempler med bred repræsentativitet (generiske eksempler).



Figur 2.1. Renoveringseksempler

2.1 Definitioner af renoveringstyper

Renovering er et vidt begreb, der favner mange forskellige typer af indgreb i bygningen med forskellige formål. I projektet er der derfor taget udgangspunkt i de definerede renoveringstyper i bygningsreglementets renoveringskrav.

Tabel 2.1. Oversigt over definitioner af renoveringstyper i projektet

Renoveringstype		Beskrivelse	
Energirenovering	Bygningsreglementet	Tilbygninger	Når der opføres flere kvadratmeter i tilknytning til en eksisterende bygning f.eks. en ny fløj eller ny tagetage med tagboliger.
		Ændret anvendelse	Når ét rum, flere rum eller bygning ombygges til et nyt formål med et væsentligt højere driftsenergiforbrug f.eks. et udhus, en udnyttelig tagetage der inddrages til beboelse, et pakhus eller en stald der ombygges til kontorer.
		Udskiftning af bygningsdel	Når en bygningsdel helt demonteres/nedrives uden at der bevares noget af bygningsdelen inklusiv de bærende bygningsdele og der i stedet opbygges en helt ny bygningsdel f.eks. udskiftning af en hel tag- eller gulvkonstruktion.
		Ombygning	Når der udføres et renoveringsarbejde af en bygningsdel (tag/loft-konstruktion, ydervæg, gulv-konstruktion), ofte fordi der er behov for at udskifte et udtjent materialelag enten udvendigt eller indvendigt f.eks. ny tagbelægning eller facadebeklædning. Ved ombygningsarbejde vil de bærende elementer i bygningsdelen typisk ikke blive erstattet af nye.
		Bygningsmæssige ændringer	Når der udføres konstruktionsmæssige ændringer af bygningsdele f.eks. at etablere en ny tagkvist eller et nyt vinduesparti i facaden.
	Reparationer	Når der foretages mindre arbejder f.eks. mindre reparationer så som pudsreparation af en facade, udskiftning af et enkelt eller enkelte brædder på en facade eller malerbehandling.	
	Transformation	Renoveringstiltag der har til formål at transformere bygningers medfødte standard til en erhvervet standard der er tidssvarende, altså en fornyelses- eller fornyelsesproces. F.eks. hvor kun råhuset i den eksisterende bygning bevares.	

En renoveringstype der ikke er dækket af bygningsreglementets definitioner er 'transformation' som er taget med i dette projekt som en ekstrem form for renovering (Havelund, 2013). Renoveringstyperne spænder således mellem mindre og mere omfattende typer af renoveringer, som både kan stå alene eller kombineres med hinanden. Når renoveringstyperne i Tabel 2.1 har til formål at reducere driftsenergiforbruget er der derudover også tale om en energirenovering. Energirenovering kan derfor favne alle renoveringstyperne. F.eks. er udskiftning ved udskiftning af gamle 2-lags vinduer til 3-lags energivinduer en ombygning med energirenovering.

2.2 Bygningseksempler

Datagrundlaget består af tre cases: enfamiliehus, etageboligbygning og kontorbyggeri. Beskrivelse af bygningerne kan findes i rapporten "Helhedsvurdering ved renovering". Bygningscasene er udvalgt med henblik på at inkludere bygninger af forskellig funktion og størrelse. Bygningscasene er desuden valgt ud fra deres datakomplethed og repræsentativitet både ift. de renoveringstrends der er fundet i rapporten "Helhedsvurdering ved renovering" og da der er foretaget en renovering af så stort et omfang at nedrivning/nybyg kunne have været et

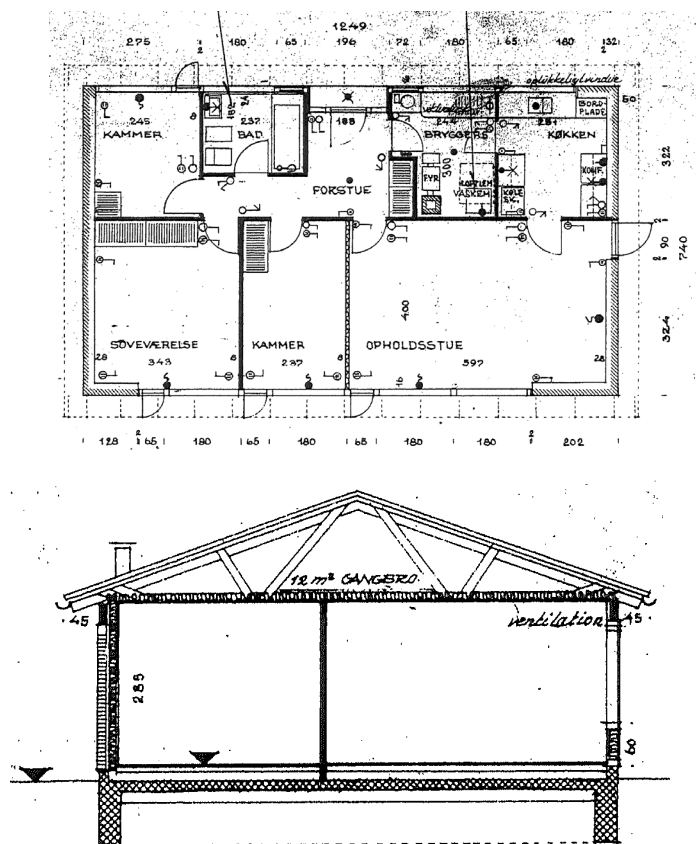
alternativ. Analysen tager udgangspunkt i de faktiske renoveringer der er foretaget for de tre bygningseksempler.

2.2.1 Case specifikt enfamiliehus

Det eksisterende enfamiliehus er fra 1969 og var opført i ét plan på 92 m², med tegltag, to murede ydervægge ved gavlene og to lette træskelet ydervægge ved facader. Huset havde vinduer med to-lags-glas og trærammer, trægulv på strøer ovenpå et betondæk støbt på et én meter dybt lag slagge, og havde derudover koks- og træskelet indervægge og trælofter. Enfamiliehusets varmforsyning var ledningsgas. Enfamiliehuset repræsenterer dermed perioden 1960-1972 som udgør den største andel af nedrevne parcelhuse (38%) (Jensen, Mechlenborg, Kragh, & Enggard, 2022). Renoveringen af enfamiliehuset har omfattet følgende tiltag:

Tabel 2.2. Oversigt over renoveringstiltag i eksempel enfamiliehuset

Renoveringstype	Udførte renoveringstiltag i eksempel enfamiliehuset
Tilbygninger	<ul style="list-style-type: none"> – Tilbygning der forøger husets opvarmede areal til 160 m²
Udskiftning af bygningsdel	<ul style="list-style-type: none"> – Nyt beton terrændæk med gulvvarme, laminat gulv og isoleret med 300 mm EPS-isolering – Ydervæggene er udskiftet med nye træskelet-vægge med fibercementfacadeplader isoleret med 250 mm mineraluld – Alle vinduer og døre er blevet udskiftet med 3-lags energiruder med træramme, hvortil vinduesarealet er blevet reduceret fra 18 til 13,6 m². – Udskiftning af gasfyr, vand-, varme- og kloakrør samt bortskaffelse af alle radiatorer
Ombygning	<ul style="list-style-type: none"> – Trælofterne er blevet malet og trægulvene erstattet af laminatgulve – Tegltaget er udskiftet med et nyt tegltag og er primært efterisoleret med 200 mm mineraluld og 200 mm trykfast EPS-isolering på gangbroen
Andet	<ul style="list-style-type: none"> – Indervæggene mellem bryggers og køkken samt køkken og stue er blevet fjernet – Nyt køkken og bad



Figur 2.2. Plan- og snit tegning af eksempel enfamiliehuset

Da størrelsen af enfamiliehusene generelt øges når der rives ned og bygges nyt (51% af de nyopførte huse er over 160 m²), er der for enfamiliehuset regnet et ekstra scenarie med en tilbygning der får huset op på 160 m². Klimapåvirkningen fra tilbygningens materialer er regnet som nybyg baseret på et gennemsnit af de 6 nybyggede enfamiliehuse fra rapporten "Klimapåvirkning fra 60 bygninger: Opdaterede værdier baseret på nyere data og danske branche EPD'er" (Tozan, Brisson Jørgensen, & Birgisdottir, 2021) og klimapåvirkningen fra tilbygningens driftsenergi er regnet som et gennemsnit mellem driftsenergien for den eksisterende bygning efter renovering og driftsenergien af 6 nybyggede enfamiliehuse. De 6 enfamiliehuse har i gennemsnit en størrelse på 168 m². Da mange i dag vælger at opføre typehuse er en nyere indsamling af 22 typehuscases (Udvikling af hjælpeværktøj til LCAByg 5 - Et samarbejde med enfamiliehusproducenter og DK-GBC, u.d.) anvendt i sammenligningen med renovering sammen med de 6 enfamiliehuse. På Figur 3.2 og Figur 3.3 ses at klimapåvirkningen fra nedrivning/typehusene ligger tæt på klimapåvirkningen fra nedrivning/nybyg (6 enfamiliehuse fra (Tozan, Brisson Jørgensen, & Birgisdottir, 2021)).

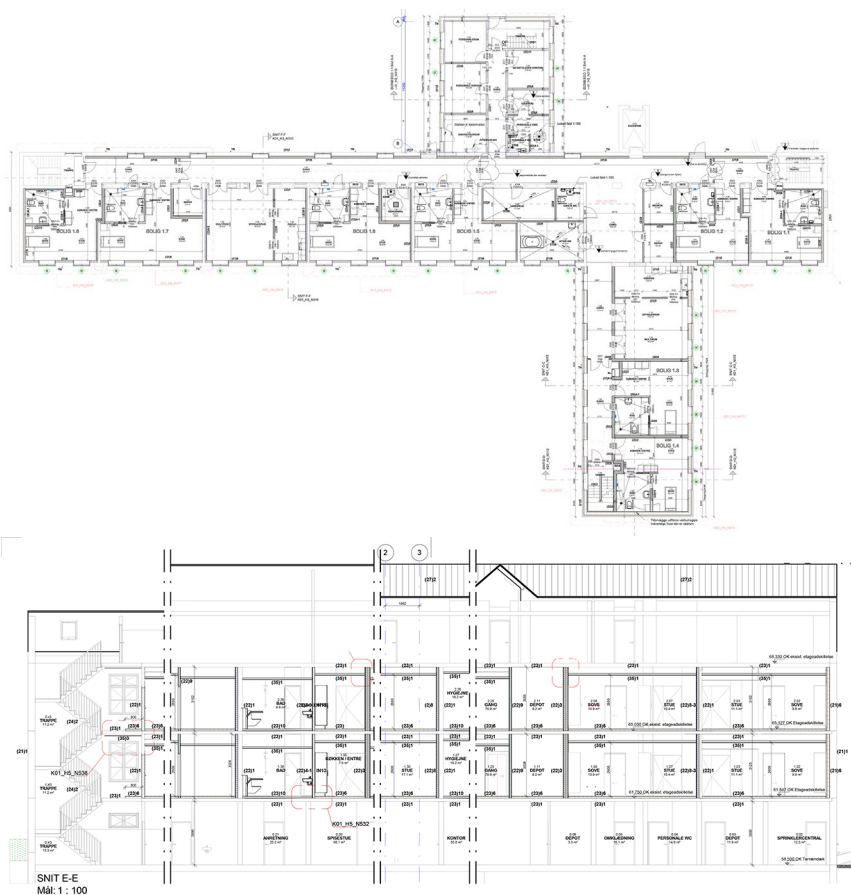
2.2.2 Case specifik etagebolig

Etageboligbygninger bliver typisk ikke revet ned, men renoveres i stor stil. Dette skyldes bl.a. at boligselskaber ikke kan modtage støtte fra Landsbyggefonden til nybyggeri, men til gengæld kan få støtte til renovering. Case bygningen er opført i 1935 og har efterfølgende fået udbygget en ekstra længe i 1960. Det er en fuldmuret bygning i tre etager med terrændæk i beton, etageadskillelser i beton, tunge indervægge og tagkonstruktion i træ med beklædning af tagtegl. Vinduerne er to-lags termoruder med trærammer, ydervægge og tag er isoleret med mineraluld. Før renovering var bygningens etageareal på 2820 m². Efter renovering er etagearealet på 3514 m² da en udnyttet tagetage ibrugtages.

Både før og efter renovering anvendes fjernvarme som opvarmningsform. Renoveringen af etageboligbygningen har omfattet følgende tiltag:

Table 2.3. Oversigt over renoveringstiltag i eksempel etageboligbygningen

Renoveringstype	Udførte renoveringstiltag i eksempel etageboligbygningen
Tilbygninger	En eksisterende længe i fire etager nedrives og opføres igen med udvidelse (i praksis en nedrivning / nybyg i forbindelse med den overordnede renovering)
Ændret anvendelse	Tagetagen udvides i højden og inddrages til beboelse
Udskiftning af bygningsdel	Hele tagkonstruktionen udskiftes Vinduer og yderdøre udskiftes
Ombygning	Indvendige overflader
Andet	Samtlige køkkener og badeværelser udskiftes (i alt 21 køkkener og 33 badeværelser)



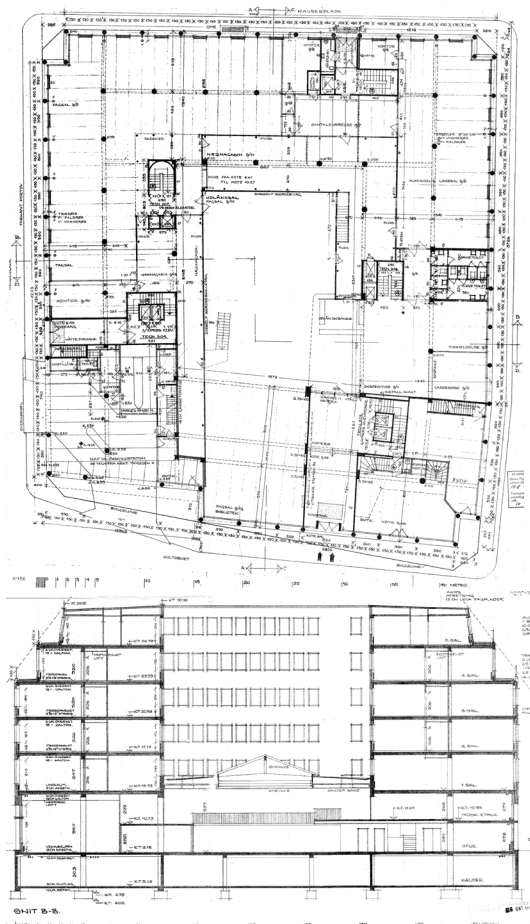
Figur 2.3. Plan- og snittegning af eksempel etagebolig

2.2.3 Case specifikt kontorbyggeri

Kontorbyggeriet blev opført i 1957 og er en 5 etagers betonkonstruktion med etagedæk og bærende søjler i grid-system. De tunge kerner med trapper og elevatorer er in-situ-støbt imens de tunge indervægge er bygget af slaggebeton. De ruminddelende vægge er lette bræddewægge. Facaden består af elementer i letbeton og store vinduespartier med to-lags-ruder og aluminiums-rammer. Kælderen er uopvarmet hvor der er parkering, og opvarmet hvor der er lager og teknik. Både før og efter renovering anvendes fjernvarme som opvarmningsform. Både før og efter renovering er kontorbygningens etageareal på 13715 m². Renoveringen er omfattende og kategoriseres som en Transformation (Tabel 2.1)

Tabel 2.4. Oversigt over renoveringstiltag af eksempel kontorbyggeriet

Renoveringstype	Udførte renoveringstiltag i eksempel kontorbyggeriet
Udskiftning af bygningsdel	<ul style="list-style-type: none"> - Samtlige facadeelementer og vinduer udskiftes - Samtlige installationer udskiftes
Ombygning	<ul style="list-style-type: none"> - Indvendige vægge - Indvendige overflader - Tag og ydervægge efterisoleres
Andet	<ul style="list-style-type: none"> - Der etableres en tagterrasse - Nye køkkener og toiletter



Figur 2.4. Plan- og snittegning af eksempel kontorbygning

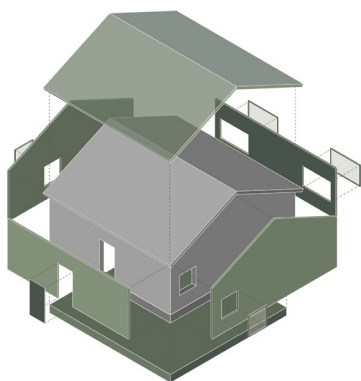
2.3 Generiske beregninger

Bygningseksemplerne beskrevet i afsnit 2.2 giver en idé om, hvor renovering står i forhold til nedrivning/nybyg. Det er dog umiddelbart svært på baggrund af bygningseksemplerne at komme med generelle konklusioner om renovering kontra nedrivning/nybyg for andre tilsvarende bygningstyper, da renoveringerne ofte er case-specifikke og bygningseksemplerne mangler i nogen grad information om de eksisterende og bortskaffede materialer ved renovering. Derfor er der udviklet mere repræsentative og datakomplette generiske modeller på baggrund af

bygningseksemplerne, der fokuserer på forskellige renoveringstiltag. Det antages at de fleste bygninger i dag er efterisoleret i en vis udstrækning, og at der ved en ny renovering efterisoleres iht. Bygningsreglementets (BR) ombygningskrav (Energikrav ved ombygninger og uskiftning af bygningsdele §279 Tabel 3, u.d.). De generiske beregninger har fokus på effekten af forskellige renoveringstiltag, som er relevante for den enkelte bygningstype og som har indvirkning på bygningsdriften: tag, ydervæg, terrændæk, vinduer og en totalrenovering som er en kombination af disse renoveringstiltag. Tiltagene er sammenlignet med et referencescenarie, hvor der ikke renoveres. Tiltagene er nærmere beskrevet i afsnittene: 2.3.1 *Generisk enfamiliehus*, 2.3.2 *Generisk etageboligbygning* og 2.3.3 *Generisk kontorbygning*.

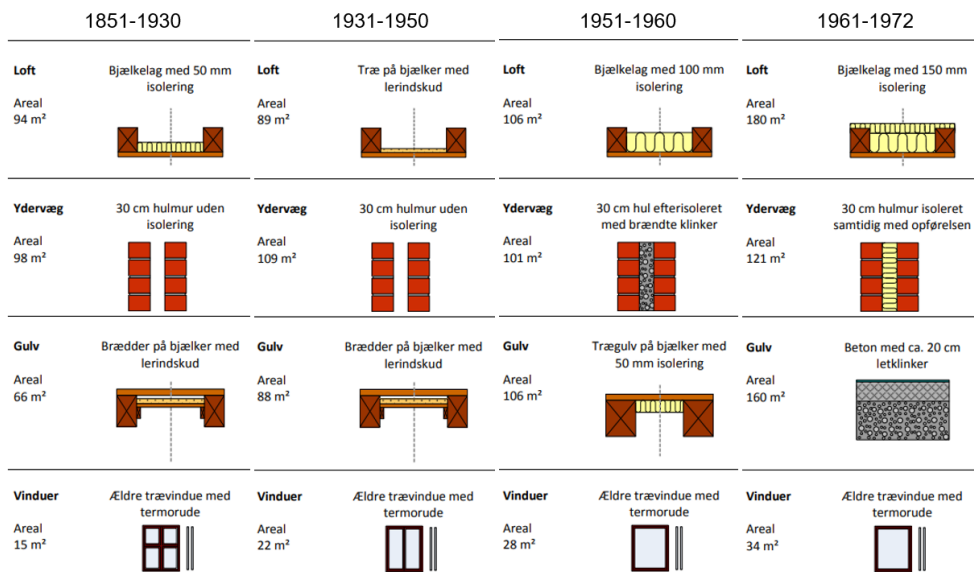
De generiske modeller opbygges af typiske bygningsdele og -materialer relevante for den tidsperiode, hvor der for den pågældende bygningstype typisk renoveres eller nedrives baseret på konstruktionsopbygningerne i TABULA (Kragh & Wittchen, 2012).

2.3.1 Generisk enfamiliehus



Enfamiliehuse fra perioden 1900-1972 udgør den største andel af nedrevne parcelhuse (38%)(Jensen, Mechlenborg, Kragh, & Enggard, 2022). Derfor er det generiske enfamiliehus opbygget af bygningsdele fra enfamiliehusstypologierne fra denne periode baseret på (Kragh & Wittchen, 2012). Bygningsdelsopbygningen fra denne periode er forholdsvis ens (se Figur 2.5): trærammевinduer med 2-lags termorude, bjælkeloftlag med mineraluldsisolering, hulmur med mineraluldsisolering, trægulv på bjælker med mineraluldsisolering. Ydervæggene i casen var en blanding af murede og lette træskellet vægge. Den generiske model opbygges kun af murede vægge for at være mere repræsentativ for perioden 1900-1972. I perioden 1961-1972 sker der et skift fra trægulv på bjælker til betondæk. Det er dog valgt at bruge trægulv på bjælker i den generiske model for at ramme flest mulige enfamiliehusstypologier og nedrivning af betondækket har en lille indflydelse på klimapåvirkningen. Geometrien fra enfamiliehuscasen er brugt til det generiske enfamiliehus.

Der regnes seks forskellige scenarier for det generiske enfamiliehus (se Tabel 2.5.4). Energibehovet dækkes med hhv. fjernvarme, varmepumpe og varmepumpe med 30 m² solceller svarende til forbruget for en standardfamilie på 4 mennesker. Der regnes både med og uden en tilbygning som er regnet som nybyg baseret på et gennemsnit af de 6 nybyggede enfamiliehuse [3] der får huset op på 160 m². Det antages at ved udskiftning af terrændækket etableres der samtidig gulvvarme.

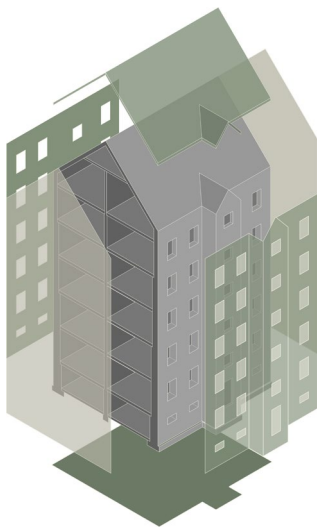


Figur 2.5. Konstruktionsopbygning i TABULA for enfamiliehuse fra perioden 1900-1972 der udgør den største andel af nedrevne parcelhuse (38%).

Tabel 2.5. Oversigt over renoveringstiltag i det generiske enfamiliehus

Renoveringsscenarie	Renoveringstiltag med fjernvarme, varmepumpe eller varmepumpe + 30 m ² solceller i generisk enfamiliehus
Reference	Ingen renovering
Tag	Ny tegtagsbeklædning, loftisolering med 300 mm mineraluld iht. BR ombygningskrav
Ydervæg	Hulmurs- og udvendig efterisolering iht. BR ombygningskrav
Terrændæk	Nyt beton terrændæk med, gulvvarme, laminat gulv og efterisoleret med EPS iht. BR ombygningskrav. Det antages at der etableres gulvvarme samtidigt, hvilket øger varmetabet fra både terrændæk og fundament.
Vinduer	Nye træ/alu vinduer med 3-lags energiruder iht. BR ombygningskrav. g-værdien reduceres samtidigt til 0,55. Yderdørenes U-værdi ændres ikke.
Total	Omfatter en kombination af de fire forrige renoveringstiltag (klimaskærmen), fundamenter og mekaniske ventilationsanlæg er ikke en del af totalrenoveringen.

2.3.2 Generisk etageboligbygning



Der fleste renoveringer af etageboligbygninger er udført på byggerier opført før 1945 og i perioden 1979-1998. Etageboligbyggeri opført op til 1945 er i høj grad sammenligneligt hvad angår materialevalg og mængder. Bygningerne kan karakteriseres som murede bygninger med lav isoleringsgrad. Derfor er den generiske etageboligbygning opbygget af bygningsdele fra etageboligtypologierne fra denne periode baseret på (Kragh & Wittchen, 2012). Bygningsdelsopbygningen fra denne periode er forholdsvis ensartet: trærammevinduer med 2-lags termorude, bjælkeloftlag med mineraluldsisolering, fuldmurede vægge med mineraluldsisolering, trægulv på bjælker med mineraluldsisolering. I perioden 1979-1998 sker der et skift fra trægulv på bjælker til betondæk. Det er dog valgt at bruge trægulv på bjælker i den generiske model for at ramme flest mulige etageboligtypologier. Geometrien for den generiske etageboligbygning er lavet om fra etageboligcasen så den er mere repræsentativ ift. en almindelig rektangulær etagebolig blok.

Der regnes seks forskellige scenarier for det generiske etageboligbyggeri (se Tabel 2.6.5 Oversigt over renoveringstiltag i den generiske etagebolig), alle med fjernvarme.

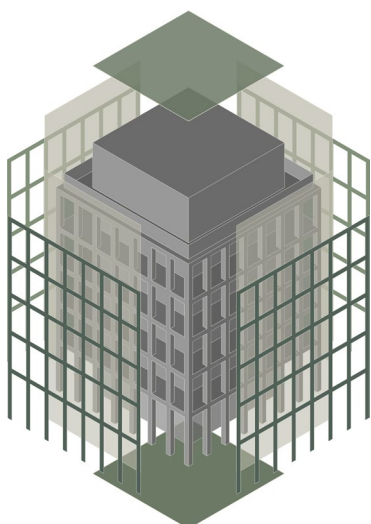
	1851-1930	1931-1950	1979-1998
Loft	Bjælkelag med 100 mm isolering Areal 303 m ²	Uisoleret bjælkelag Areal 556 m ²	Betondæk med 200 mm isolering Areal 782 m ²
Ydervæg	12 cm tegl med 50 mm isolering Areal 399 m ²	48 cm massiv tegl ydervæg Areal 1516 m ²	35 cm tegl-letbeton med 130 mm isolering Areal 1120 m ²
Gulv	Trægulv på bjælker med 50 mm isolering Areal 194 m ²	Brædder på bjælker uisoleret Areal 556 m ²	Etageadskillelse af beton med 200 mm isolering Areal 754 m ²
Vinduer	Ældre trævindue med termorude Areal 94 m ²	Ældre trævindue med termorude Areal 429 m ²	Nyere vindue med energirude Areal 428 m ²

Figur 2.6. Konstruktionsopbygning i TABULA for etageejendomme fra før 1945 og i perioden 1979-1998, hvor der er udført flest renoveringer.

Tabel 2.6. Oversigt over renoveringstiltag i den generiske etagebolig

Renoveringsscenarie	Renoveringstiltag med fjernvarme i generisk etagebolig
Reference	Ingen renovering
Tag	Ny tegltagsbeklædning, loftisolering med mineraluld iht. BR ombygningskrav
Ydervæg	300 mm udvendig EPS isolering af de to gavlydervægge og 150 mm indvendig efterisolering af ydervæggene med mineraluld iht. BR ombygningskrav
Terrændæk	Nyt beton terrændæk med gulvvarme, laminat gulv og efterisoleret med EPS iht. BR ombygningskrav. Det antages at der etableres gulvvarme samtidigt, hvilket øger varmetabet både for terrændæk og fundament.
Vinduer	Nye træ/alu vinduer med 3-lags energiruder iht. BR ombygningskrav. g-værdien ændres samtidigt til 0,55. Yderdørenes U-værdi ændres ikke.
Total	En kombination af de fire forrige renoveringstiltag

2.3.3 Generisk kontorbygning



Da der ikke findes lige så veldefineret bygningstypologier for kontorbygninger, bruges samme opbygning til den generiske kontorbygning som eksempelkontorbygningen. Selvom kontorbygninger kan være meget forskelligartede, er de ofte opbygget af beton og det vurderes derfor at være repræsentativt at benytte eksempelbygningen.

Den generiske kontorbygning har en tilsvarende opbygning som kontorcasen og er opbygget som en betonkonstruktion med tunge kerner og et grid-system af søjler. Indervægge er lette for at muliggøre fleksibel anvendelse og facaderne består af ydervægselementer i letbeton og vinduer med to-lags termoruder i aluminiumsrammer.

Modsat eksempelkontorbygningen som er en fuld transformation, hvor kun råhuset bevares, er der for den generiske kontorbygning valgt at kigge på almindelige renoveringer. Der regnes på ni forskellige scenarier for den generiske kontorbygning (se Tabel 2.7.) med fjernvarme. Der er valgt tiltag for at prøve at få kontorbygningen ned i driftsenergi tilsvarende nybyg. Et scenarie med optimering af installationerne er medtaget da dette var et område der kunne forbedres i eksempelkontorbygningen. Der regnes også på et scenarie hvor etagedækket mod den uopvarmede kælder efterisoleres da dette også var et sted der kunne forbedres for eksempelkontorbygningen. Da det på erhvervsbygninger ikke er ualmindeligt at der installeres solceller på taget, er der også regnet på et scenarie med solceller.

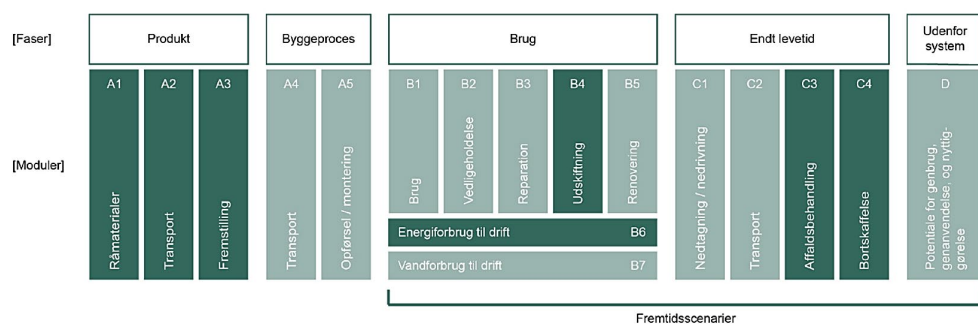
Tabel 2.7. Oversigt over renoveringstiltag for den generiske kontorbygning

Renoveringsscenarie	Renoveringstiltag med fjernvarme i den generiske kontorbygning
Reference	Ingen renovering
Tag	Udvendig efterisolering med mineraluld iht. BR ombygningskrav
Ydervæg	Indvendig efterisolering med mineraluld iht. BR ombygningskrav
Kælderdæk	Efterisolering med 75 mm mineraluld af etagedæk mod uopvarmet kælder
Vinduer	Nye aluminiums ramme vinduer med 3-lags energiruder iht. BR ombygningskrav
Installationer	Udskiftning af tekniske installationer. Her anvendes en medianværdi fra (Zimmermann, 2020) på 0.46 kg CO2ækv./m ² /år
Total	En kombination af de fem forrige renoveringstiltag
Solceller	1400 m ² solceller (80% af tagfladen)
Total + solceller	En kombination af total og solceller

2.4 Metodebeskrivelse for LCA

2.4.1 Livscyklusfaser

Klimapåvirkningen ved hhv. renovering og nedrivning/nybyg af casebygningerne er undersøgt via LCA beregninger. Beregningerne er foretaget i LCAbyg 5.2.1.0 med scenariefunktion, for at kunne inkludere flere scenarier i beregningen. LCAbyg 5 inkluderer modulerne A1-3 (udvinding, produktion og transport af byggevarer), A4-5 (transport til/på/fra byggeplads og opførelse), B4 (udskiftning af byggevarer i brugsfasen), B6 (energiforbrug til drift i brugsfasen), C3-4 (affaldsbehandling og bortskaffelse i endt levetid (EoL) fasen) og D (potentialer uden for projekt) i henhold til EN 15978 markeret med mørkegrøn på Figur 1. Der medtages dog kun modulerne A1-3, B4, B6, C3-4 i beregningerne til analyserne i denne rapport. Afgrænsningen svarer til de moduler der forventes at indgå i Bygningsreglementets LCA-krav per 2023. Ved inkludering af yderligere moduler, f.eks. A4 og A5, kan der forventes højere belastning ved nedrivning/nybyg end ved renoveringer, baseret på den øgede mængde materialer i førstnævnte. Renoveringsløsningerne vil dermed fremstå mere favorable.



Figur 2.7. Livscyklusfaser iht. EN 15978. Moduler, der er inkluderet i beregningerne, er markeret med mørke-grøn.

Klimapåvirkningen over en 50-årig betragningsperiode er repræsenteret via følgende farvekoder på søjlediagrammerne og kommer fra:

- **Drift:** Varme- og elforbrug over 50 år baseret på energirammeberegning (B6)
 - **Bevaret:** Bevarede bygningsdele der skal udskiftes henover de næste 50 år og endelig bortskaffelse efter 50 år ved bygningens endte levetid (B4, C3-4)
 - **Nedrivning:** Bygningsdele der bortskaffes i dag (C3-C4)
 - **Nye materialer:** Produktion, udskiftning og bortskaffelse af nye materialer (A1-4, B4, C3-4)
- **Værdi:** repræsenterer en klimamæssig besparelse idet at bevarede bygningsdele i teorien sparer produktionen af tilsvarende nye materialer (A1-A3)

'Drift': Der er ikke taget højde for restlevetider i udregningerne. Dette fordi bevarede bygningsdele primært er bygningsdele med lang levetid, f.eks. bærende elementer som forventes at holde husets brugsperiode ud. Restlevetiden er sat til at være samme som den oprindelige levetid, uden A1-3.

'Værdi' fremgår af resultaterne som en negativ værdi, da den skal forstås som en potentiel klimabesparelse. Da det er usikkert hvorvidt bevaring af de pågældende bygningsdele i virkeligheden ville erstatte tilsvarende nye materialer vises resultatet med en punkteret linje for at understrege usikkerheden omkring værdien. Formålet med 'værdi' er således ikke at garantere denne klimabesparelse, men at gøre opmærksom på potentialet.

2.4.2 Medtagne bygningsdele

For at sikre tilstrækkeligt datagrundlag har BUILD kortlagt bygningerne på baggrund af tegningsmateriale og eksisterende materialeopgørelser fra arkitekter, ingeniører og entreprenører. I analysen er der lagt vægt på at opnå et så fuldstændigt billede af bygningen og renoveringen som muligt. Følgende bygningsdele er inkluderet såfremt de har været til stede i bygningen: fundament, terrændæk, dæk, ydervægge, indervægge, vinduer og døre, tage, trapper og ramper, altaner og altangange, afløb, vand, varme, ventilation og køl, el- og mekaniske anlæg (herunder solceller). Efterisolering er kortlagt i en særskilt kategori. For enfamiliehuset er køkken og bad desuden inkluderet. Bortskaffede materiale fraktioner, der ikke har været muligt at identificere tilhørsforholdet af er placeret i kategorien 'Andet'. Derudover er forurenede og udefinerede affalds fraktioner ikke taget med i beregningerne.

2.4.3 Betragtningstid og levetid

Klimapåvirkningen for driftsenergiforbruget og byggevarerne er regnet på baggrund af en betragtningstid på 50 år beregnet fra 2022. Antallet af udskiftninger indenfor betragtningstiden afhænger af den fastsatte levetid for de enkelte bygningsdele. Levetiden for de enkelte bygningsdele bliver i dette projekt baseret på levetidstabellen som også findes i LCAByg version 5.2.1.0 (Aargaard, Brandt, Aggerholm, & Haugbølle, 2013). I 2021 er der kommet en opdateret version af levetidstabellen (Haugbølle, Mahdi, Morelli, & Wahedi, 2021). Der er ikke foretaget radikale ændringer i den oprindelige levetidstabel, men derimod mindre opdateringer af den eksisterende for bygningsdele i levetidstabellen. Opdateringerne har derfor ikke en stor indvirkning på LCA-resultatet. Derfor er det valgt at benytte levetiderne i LCAByg version 5.2.1.0. Bygningsdele og byggevarer udskiftes, når de har udtjent deres levetid. For bevarede bygningsdele og byggevarer regnes der med en restlevetid som svarer til de oprindelige levetider.

2.4.4 Sammenligningsgrundlag

Forskellige scenarier er sammenlignet for bygningseksemplerne:

1. ingen renovering
2. renoveringstiltagene, som er beskrevet i afsnit 1.2 og 1.3
3. et scenarie, hvor bygningen i stedet rives ned for at bygge en ny.

For scenarie 3 anvendes den gennemsnitlige klimapåvirkning fra hhv. 6 enfamiliehuse, 22 kontorer og 11 etageboliger, fra rapporten "Klimapåvirkning fra 60 bygninger: Opdaterede værdier baseret på nyere data og danske branche EPD'er" (Tozan, Brisson Jørgensen, & Birgisdottir, 2021). De sammenlignede nybyggerier fra rapporten har kun fjernvarme og

kategoriseres alle som tunge byggerier. Resultaterne viser også hvor den klimamæssigt bedste og værste enfamiliehus, etagebolig og kontor ligger ift. gennemsnittet på søjlediagrammerne vist med følgende signaturer:

- Værste case
- Bedste case

Resultaterne er desuden sammenlignet med de kommende CO₂-krav for bygninger over 1000 m² gældende fra 2023 og alle bygninger fra 2025 i bygningsreglementet. Da mange i dag vælger at opføre typehuse er en nyere indsamling af 22 typehuscases (Udvikling af hjælpeværktøj til LCAbyg 5 - Et samarbejde med enfamiliehusproducenter og DK-GBC, u.d.) også anvendt i sammenligningen med renovering af enfamiliehuset. Klimapåvirkningen fra typehusene ligger tæt på klimapåvirkningen fra de 6 enfamiliehuse.

For enfamiliehuset er renovering af køkken og bad inkluderet, men i de 6 enfamiliehuse som udgør sammenligningsgrundlaget for nybyggeri er køkken og bad ikke med. Derfor er medianværdier for CO₂-ækv vedrørende køkken og bad lagt til de 6 enfamiliehuse for at udligne sammenligningsgrundlaget.

For enfamiliehuset og kontorbygningen har der været tilstrækkeligt datagrundlag til at medtage installationerne i beregningerne. Men for etageboligbygningen har datagrundlaget for installationerne været mangelfuldt, og derfor er installationer fjernet fra de 11 etageboligbygninger der sammenlignes med ved at fraregne en medianværdi på 0,46 kg CO₂ ækv/m²/år baseret på rapporten "Klimapåvirkning fra 60 bygninger: Opdaterede værdier baseret på nyere data og danske branche EPD'er" (Tozan, Brisson Jørgensen, & Birgisdottir, 2021). Påvirkninger fra solceller indgår ikke i de nævnte medianværdier og solcellerne indgår derfor separat i modellerne for etageboligbyggeriet.

2.4.5 Bidrag fra solceller

Eksporteret el fra solceller skal indtastes separat i LCAbyg 5, hvis el-produktionen fra solceller overskrider den andel, som kan indregnes i energirammen i henhold til SBi-anvisning 213 og som eksporteres til den kollektive energiforsyning. Denne andel fremgår ikke direkte af Be18 resultater og er derfor beregnet som følger. Ifølge bygningsreglementets vejledning om energiforbrug 1.12 må vedvarende energiproduktion kun indregnes i energirammen med højst 25 kWh. Dette tal indeholder en energifaktor på 1,9 for elproduktion jf. § 252, BR18. Da der i beregningen skal regnes uden energifaktorer, skal den tilladte mængde af vedvarende el-produktion i energirammen: $25 \text{ kWh} / 1,9 = 13,2 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$, dvs.:

Ydelse fra solceller - $13,2 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$

Et eventuelt positivt resultat udgør den værdi, som er indtastet i feltet "Eksporteret el" i LCAbyg 5.

2.4.6 Database, miljøpåvirkningskategorier og referenceenhed

Der anvendes i beregningerne hovedsageligt byggevarer tilgængelige i LCAbyg 5, som baseres på den tyske og generiske database Ökobaudat 2020. Dog er der anvendt branchespecifikke miljøvaredeklarationer for beton og træ i beregningerne.

Projektet har kun fokuseret på miljøindikatorer *Global opvarmning (GWP)* i kg CO₂ ækvivalenter da klimapåvirkningen er højt prioritet i dag. Resultaterne er præsenteret i GWP normaliseret til arealet (pr. m²) og betragtningsperioden (pr. år). Normaliseringen til pr. m² foregår ved at påvirkningen fra driftsenergiforbruget normaliseres over det opvarmede etageareal, og påvirkningerne fra materialerne normaliseres over bruttoarealet. Det gøres bl.a. for ikke at udvande påvirkningerne fra driftsenergien over et større areal end det, der skal opvarmes. Da der for enfamiliehuset også undersøges effekten af at udbygge bygningsarealet, vil dette fortynde GWP'en ud på flere m². Derfor er det valgt at vise renoveringstiltagens klimapåvirkning i kg CO₂ ækv./år for alle bygningerne.

2.4.7 Drift

Klimapåvirkningen fra bygningsdrift er baseret på det beregnede energibehov i bygningernes energirammeberegninger beregnet i Be18 og dermed ikke det faktiske energiforbrug i bygningerne. Bilag D viser en oversigt over bygningseksempelernes beregnede driftsenergiforbrug og energimærker før og efter renovering. Der regnes ikke med et forbedret indeklima (højere indetemperatur) efter renoveringen. Der regnes heller ikke med højere indetemperatur i nybyggeri.

Enfamiliehuset er før renovering opvarmet af ledningsgas. Det antages at om få år er de fleste/alle konverteret væk fra ledningsgas over på enten fjernvarme eller varmepumpe og det er derfor disse forsyningskilder der regnes med i renoveringen.

Analysen tager udgangspunkt i Energistyrelsens fremskrivningsmodel for emissionsfaktorer for el- og fjernvarme fra 2020 (COWI, 2020). Dette betyder at der antages en gradvist stigende andel af fornybar energi i energinettet i løbet af den givne tidsperiode. Dog er ledningsgas ikke inkluderet. For ledningsgas anvendes nye fremskrevne emissionsfaktorer fra Bolig og Planstyrelsen (Planstyrelsen, 2022) (se Bilag A). Emissionsfaktorerne for el- og fjernvarme er de samme som forventes benyttet i de kommende LCA-krav i Bygningsreglementet 2023.

Det skal bemærkes, at de politiske aftaler indgået i foråret 2022 om markant udbygning af danske VE-anlæg ikke er indeholdt i fremskrivningen. Analysen viser dermed en konservativ udvikling. Følsomheden ved benyttelsen af disse konservative emissionsfaktorer er yderligere behandlet i nedenstående afsnit om usikkerheder.

2.4.8 Usikkerheder

For at kunne sige noget mere generelt om renovering kontra nedrivning/nybyg er betydningen af forskellige materiale- og energirelaterede usikkerheder der kan påvirke konklusionerne i de generiske beregninger undersøgt. De undersøgte usikkerheder og beregningsmetoden er beskrevet i de efterfølgende afsnit. Effekten af de materialerrelaterede usikkerheder vises for den totale klimapåvirkning på søjlediagrammerne, mens de energirelaterede usikkerheder har en tidsmæssig indflydelse på klimapåvirkningen og derfor vises på både søjlediagrammerne og de akkumulerede grafer. Usikkerhederne sammenlignes med basisberegningen hvor der ikke er medregnet usikkerheder.

Materialevalg: Valg af materialer i en renovering kan variere. Derfor er der fokuseret på tag-, facade-, vindues- og isoleringsmaterialer, da disse optræder i store mængder i eksempelbyggerierne og derfor har en væsentlig betydning for klimapåvirkningen. De beregnede renoveringstiltag repræsenterer en standardløsning. På baggrund af eksisterende data fra (Kanafani, et al., 2021) udvælges den tilsvarende værste og bedste materialeløsning sammenlignet med standardløsningen såfremt en sådan løsning findes. Effekten af det bedste og værste materialevalg på den totale klimapåvirkning undersøges i beregningerne og resulterer således i et klimapåvirkningsspænd for renoveringsscenariet. Dette er dog ikke gjort for enfamiliehusets tilbygning, da der til tilbygningen anvendes et gennemsnitligt tal for nybyggede enfamiliehuse. Bilag B viser en oversigt over løsningerne og deres klimapåvirkning sammenlignet med standardløsningen. På søjlediagrammerne er effekten af den bedste og værste materialeløsning vist med følgende signaturer:

- ▲ Bedste materialeløsning
- ▲ Værste materialeløsning

Miljødata: Både generiske og produktspecifikke miljødata har iboende usikkerheder med hensyn til præcision. I basisberegningerne er der brugt generiske miljødata. Effekten af i stedet at anvende produktspecifikke miljødata til renoveringstiltagene er derfor undersøgt både i forhold hvis der findes klimamæssigt bedre eller dårligere EPD-data sammenlignet med det generiske data. For nogle materialer er der ikke fundet en EPD som har højere og/eller lavere klimapåvirkning end det generiske datasæt. Bilag C viser en oversigt over det generiske data anvendt i beregningerne sammenlignet med EPD data. På søjlediagrammerne er effekten af den bedste og værste EPD vist med følgende signaturer:

- Bedste EPD
- Værste EPD

Driftsenergiforbrug: Der kan være stor forskel på det faktiske og beregnede energiforbrug. I de dårligst energimærkede (D-G) bygninger ligger det faktiske forbrug ofte væsentlig lavere end det beregnede energibehov, hvorimod det modsatte gør sig gældende i de bedst energimærkede huse (A-C) (Gram-Hansen & Rhiger Hansen, 2016). Effekten af at regne med det faktiske energiforbrug sammenlignet med det beregnede energibehov er undersøgt med udgangspunkt i den procentvise forskel mellem det faktiske og beregnede energiforbrug fra (Gram-Hansen & Rhiger Hansen, 2016). Den procentvise forskel er anvendt til at omregne det beregnede energiforbrug til det faktiske energiforbrug baseret på eksempelbygningernes energimærker (Bilag D). På søjlediagrammerne er effekten af at regne med det faktiske energiforbrug vist med følgende signatur:

× Faktisk energiforbrug

Tabel 2.8. Gennemsnitligt teoretisk og faktisk forbrug beregnet for hvert energimærke samt det beregnede energibehovs procentvise afvigelse fra det faktiske energiforbrug baseret på Tabel 5 i (Gram-Hansen & Rhiger Hansen, 2016).

Energimærke	Faktisk	Beregnet	Det faktiske energiforbrugs procentvise afvigelse fra det beregnede energibehov
	kWh/m ²		
A	99.7	55.6	79%
B	107.7	92.8	16%
C	138.8	128.3	8%
D	159	165.7	-4%
E	171.1	208	-18%
F	176.6	255.4	-31%
G	182.5	348	-48%

CO₂ emissionsfaktorer: En opdatering af GWP emissionsfaktorerne i 2021 (COWI, 2020) har vist at bl.a. andelen af fossile brændsler i både elforsyning og fjernvarme i 2030 er faldet markant sammenlignet med fremskrivningen fra 2018. Energiemissionsfaktorerne er derfor forbundet med en stor usikkerhed. Af den grund er der foretaget en simpel parameter variation, hvor der er regnet med et scenarie med en stor usikkerhedsmargen som kan kategoriseres som en ekstrem situation: hvis emissionsfaktorerne er 90% bedre end forventet. Dette giver et spænd mellem det beregnede resultat i LCAByg og scenariet med 90% forbedring af energiemissionsfaktorerne, hvori den reelle klimapåvirkning kan forventes at befinde sig. På de akkumulerede grafer er effekten af at regne med 90% usikkerhed i energiemissionsfaktorerne vist med følgende signatur:

◇ Emissionsfaktorer - 90 %

2.4.9 Biobaserede materialer

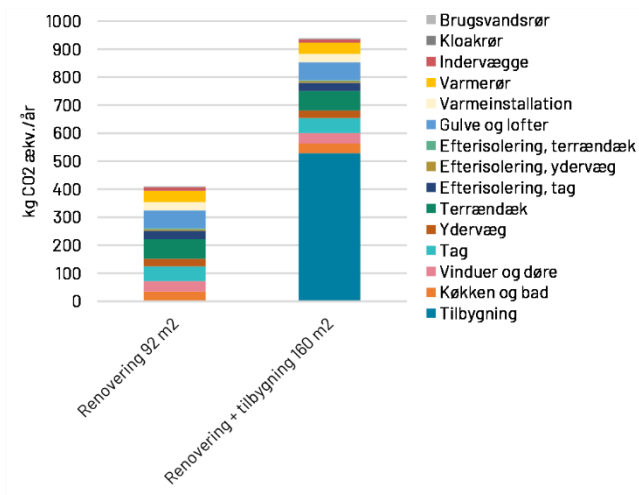
LCAByg medregner biogent carbon i biobaserede materialer. Biobaserede materialer lagrer og frigiver kulstof i løbet af deres levetid. Dette kulstof omtales som biogent carbon. I beregningen af klimapåvirkningen for biobaserede materialer i databasen i LCAByg tages der højde for optaget og frigivelsen af biogent carbon jf. EN 15804:2012. Heraf fremgår det, at klimapåvirkningen for biobaserede materialer bør beregnes som negativ i Produkt fasen (modul A1-3), grundet optaget af biogent carbon i væksten, og som positiv ved endt levetid (modul C3-4), når det biogene carbon frigives ved forrådnelse eller forbrænding. På denne måde vil balancen af biogent carbon inden for den enkelte livscyklus beregnes som 0.

3.0 Resultater

I dette afsnit vises resultaterne for både eksempelbygningerne og de generiske beregninger.

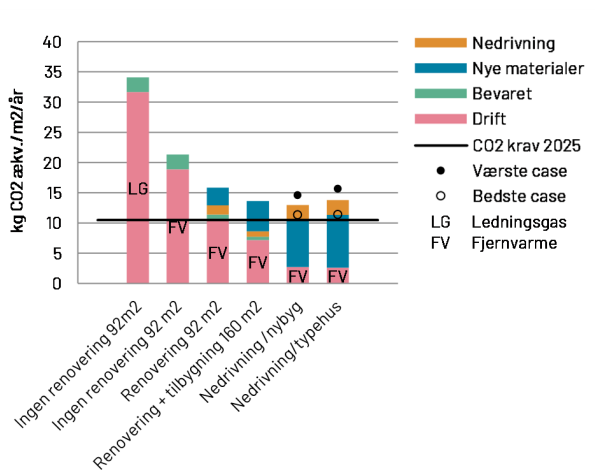
3.1 Bygningseksempler

3.1.1 Enfamiliehus

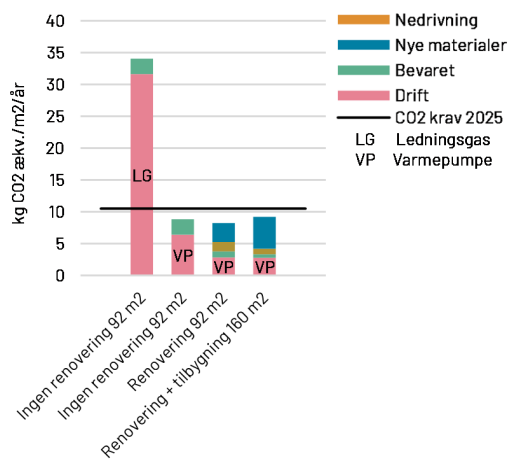


Figur 3.1. Renoveringstiltagenes klimapåvirkning fra nye og bortskaffede materialer ved renovering af enfamiliehus med og uden tilbygning over en 50-årig betragtningsperiode

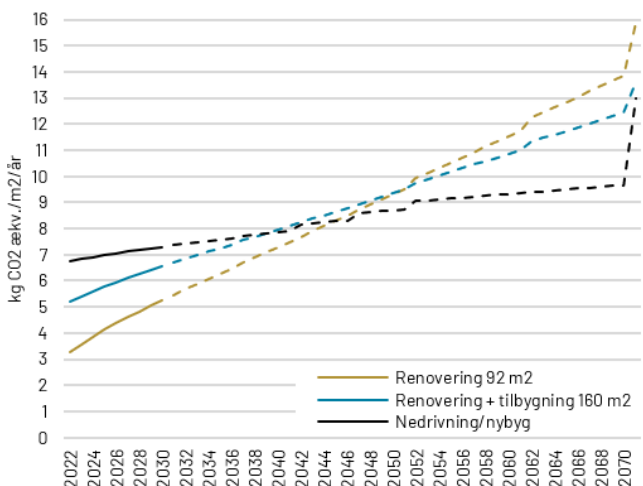
Af Figur 3.1 ses at de andre renoveringstiltag udgør en mindre klimapåvirkning sammenlignet med gennemførelsen af en tilbygning. Udover tilbygningen er de mest klimatunge renoveringstiltag er en komplet udskiftning af terrændækket og gulve og lofter. Den høje klimapåvirkning fra gulve og lofter sker i forbindelse med bortskaffelsen af store mængder træ. Tilsammen udgør renoveringstiltagene der omfatter installationer også en markant klimapåvirkning. Det nye køkken og bad udgør ikke en uvæsentlig del af renoveringens klimapåvirkning men medregnes i dag ikke i bygnings LCA'en. I beregningen er der regnet med at køkken og bad udskiftes som en del af renoveringen og udskiftes én gang mere over de 50 års beregningsperiode. Men en undersøgelse foretaget af Bolius har vist at de danske køkkener i gennemsnit har en levetid på 11,5 år og derfor kan køkken og bad potentielt have en større andel af klimapåvirkningen ved renovering end der regnes med (Hvor gamle er danskernes køkkener, u.d.).



Figur 3.2. Total klimapåvirkning for renovering af enfamiliehus med fjernvarme med og uden tilbygning

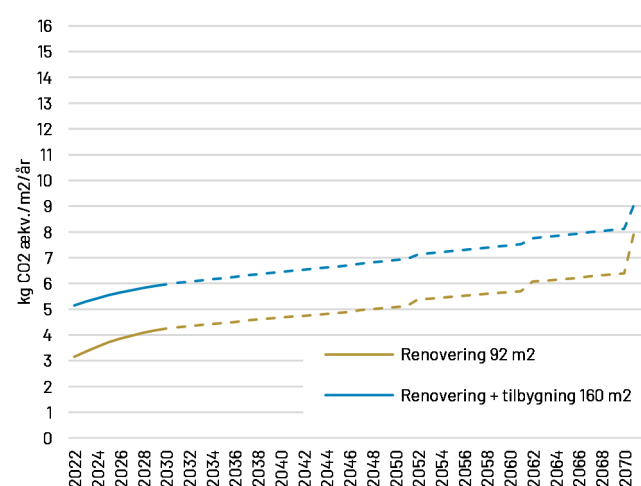


Figur 3.3. Total klimapåvirkning for renovering af enfamiliehus med varmepumpe med og uden tilbygning



Note: Den stiplede linje efter 2030 indikerer emissionernes usikkerhed i fremtiden.

Figur 3.4. Akkumuleret klimapåvirkning for renovering af enfamiliehus med fjernvarme med og uden tilbygning sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode



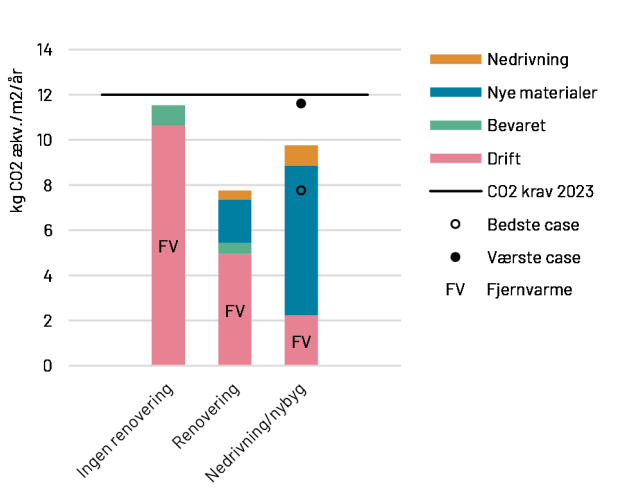
Note: Den stiplede linje efter 2030 indikerer emissionernes usikkerhed i fremtiden.

Figur 3.5. Akkumuleret klimapåvirkning for renovering af enfamiliehus med varmepumpe med og uden tilbygning sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode

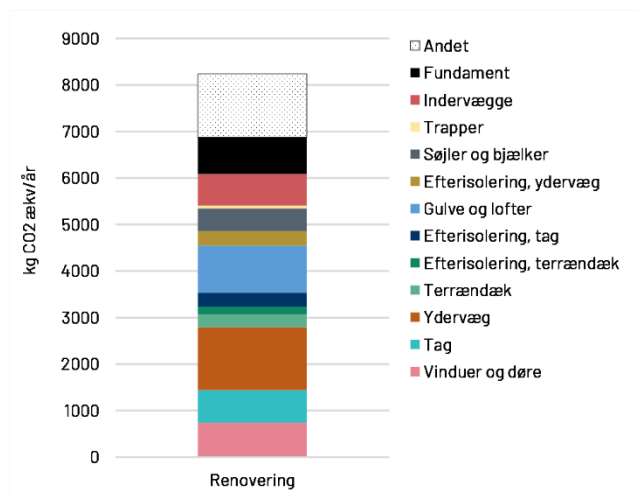
Resultaterne er delt op efter forskellige forsynings-scenarier hhv. fjernvarme, varmepumpe og varmepumpe kombineret med solceller. Figur 3.2 og Figur 3.3 viser den totale klimapåvirkning ved forskellige renoveringsscenarier for enfamiliehuset med fjernvarme sammenlignet med nedrivning/nybyg med fjernvarme og renovering med varmepumpe. Samtlige scenarier sammenlignes med de kommende CO2 krav i 2025 der gælder for alt nybyggeri. Det skal pointeres at CO2-kravene ikke gælder for renoveringer for nuværende, men CO2-kravene er her illustreret for at vise hvordan renoveringerne placerer sig i forhold til kravene for nybyggeri. Resultaterne viser at 93% af den totale klimapåvirkning vil komme fra driftsenergien, når der ikke renoveres. Ved blot at skifte over fra ledningsgas til fjernvarme kan enfamiliehusets klimapåvirkning reduceres med 37%. Ved samtidig gennemførelse af renoveringstiltagene på Figur 3.2 kan enfamiliehusets klimapåvirkning reduceres med 60% og 53% hhv. med og uden

tilbygning. Årsagen til at reduktionen på Figur 3.2 er større med en tilbygning er at klimapåvirkningen fordeles ud på et større etageareal. Men som det fremgår af Figur 3.1 er det klimamæssigt dyrt at øge boligarealet, og derfor er klimabevidst materialevalg vigtigt når der tilbygges. Dette fremgår også af den akkumulerede udvikling af klimapåvirkningen over tid for enfamiliehuset med hhv. fjernvarme og varmepumpe med og uden tilbygning på Figur 3.4 og Figur 3.5, hvor det ses at tilbygningen er klimamæssigt dyrere i dag end renovering uden tilbygning. Figur 3.2 og Figur 3.3 viser at en stor del af klimapåvirkningen ved renovering overvejende kommer fra driftsenergien, mens klimapåvirkningen fra nybyg primært kommer fra materialerne. Nedrivning medregnes typisk ikke i bygnings LCA, men står for ca. 20% af klimapåvirkningen ved nedrivning/nybyg og er faktoren der skubber nedrivning/nybyg over grænsen for de kommende CO2 krav. Klimapåvirkningen fra nedrivning er således også afgørende for om renovering fremstår bedre eller værre end nedrivning/nybyg. Figur 3.4 viser at renovering med fjernvarme både med og uden tilbygning af enfamiliehuset har den laveste klimapåvirkning i dag indtil hhv. år 2039 og 2045, hvor nedrivning/nybyg indhenter klimafordelen ved renovering, da nybyggs lave driftsenergiforbrug får kompenseret for dets høje klimapåvirkning fra materialerne og dermed vil renoveringens højere driftsenergiforbrug på et tidspunkt overstige klimafordelen ved at bevare dele af bygningen. Tidspunktet for hvornår dette sker er behæftet med en del usikkerhed i forbindelse med f.eks. energiemissionsfaktorernes udvikling, andre materialevalg og om der sammenlignes med det bedste eller værste enfamiliehus fra (Tozan, Brisson Jørgensen, & Birgisdottir, 2021) og kan derfor indtræffe både tidligere eller senere end vist på Figur 3.4 og Figur 3.5. Af Figur 3.3 ses at hvis renoveringen i stedet gennemføres med varmepumpe kan enfamiliehusets klimapåvirkning reduceres med 76% og 73% hhv. med og uden tilbygning og dermed komme ned under CO2 kravet for 2025. Figur 3.5 viser at der ikke er noget tidspunkt hvor nedrivning/nybyg vil være bedre end at renovere med varmepumpe både med og uden tilbygning da driftsenergien for enfamiliehuset når ned på niveau med driftsenergien for nybyg. Fælles for både renovering med fjernvarme og varmepumpe er at det ud fra et klimasynspunkt, hvor timingen af emissioner er afgørende, vil der være en klimamæssig fordel ved at renovere her og nu end at bygge nyt.

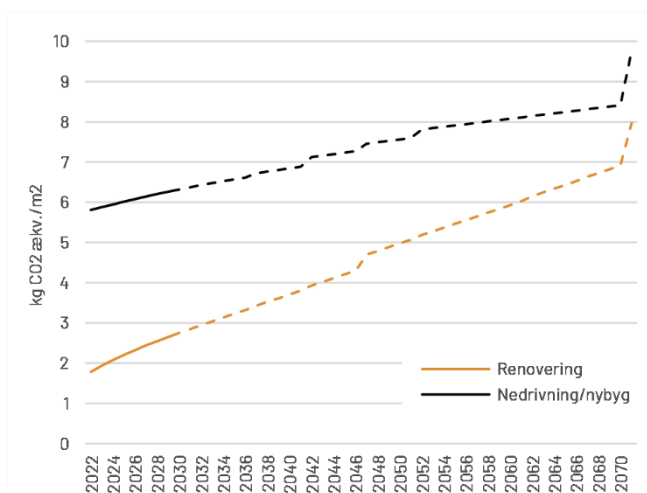
3.1.2 Etageboligbygning



Figur 3.6. Total klimapåvirkning for renovering af etagebolig med fjernvarme over en 50-årig betragtningsperiode



Figur 3.7. Renoveringstiltagenes klimapåvirkning fra nye og bortskaffede materialer ved renovering af etagebolig over en 50-årig betragtningsperiode



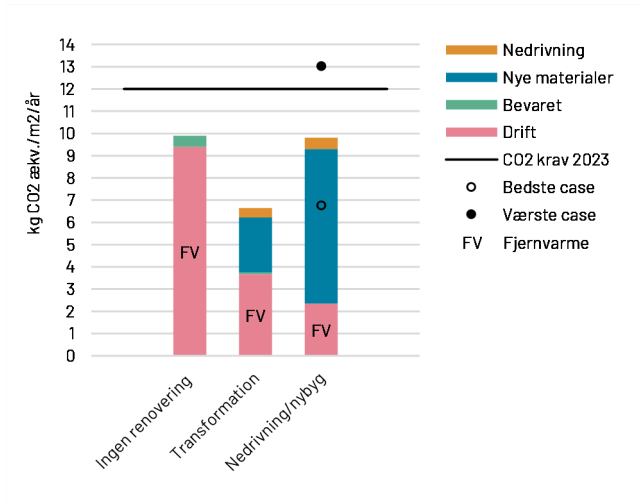
Note: Den stiplede linje efter 2030 indikerer emissionernes usikkerhed i fremtiden.

Figur 3.8. Akkumuleret klimapåvirkning for renovering af etageboligbygning med fjernvarme sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode

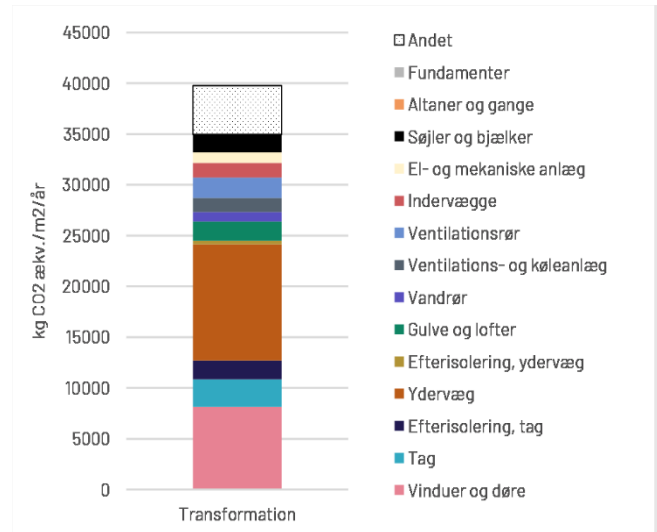
Oplysninger om bortskaffede bygningsdele ved renovering er for etageboligen blevet gjort op i totale materialefraktioner. Det har derfor ikke været muligt at fordele klimapåvirkningen fra disse materialer ud på de enkelte renoveringstiltag. De er derfor opgjort under kategorien 'Andet' på Figur 3.7. Derudover har det ikke været muligt at separere klimapåvirkningen fra tilbygningen, da denne er blandet sammen med de øvrige renoveringstiltag. Figur 3.7 viser at renovering ydervæg og gulve og lofter har den største andel af klimaregnskabet for etageboligen efterfulgt af tag, fundament, indervægge og vinduer der fylder ca. lige meget. Figur 3.6 viser at klimapåvirkning inden renovering næsten udelukkende kommer fra driftsenergien tilsvarende enfamiliehuset. Dog har etageboligbygningen en meget lavere klimapåvirkning fra driftsenergiforbruget pr. m² end enfamiliehuset, som gør at bygningen inden renovering er tættere på klimapåvirkningen ved nedrivning/nybyg. Nedrivning står for ca. 9% af

klimapåvirkningen ved nedrivning/nybyg. Ved gennemførelse af renoveringstiltagene på Figur 3.7 ses det på Figur 3.6 at etageboligbygningens klimapåvirkning reduceres med 33%. Selvom klimapåvirkningen fra driftsenergiforbruget er dobbelt så stort som for nybyg ses det på både Figur 3.6 og Figur 3.8 at renoveringen er mest klimamæssigt hensigtsmæssigt sammenlignet med den gennemsnitlige nedrivning/nybyg, da besparelsen i nye materialer ved renoveringen er stor nok til at kompensere for det høje energiforbrug efter renovering. Men renoveringen ligger tæt på klimapåvirkningen fra den bedste case for nedrivning/nybyg. Da det i fremtiden forventes at der bygges med større fokus på klimaoptimeringer, kan det betyde at nedrivning/nybyg af etageboligbygninger vil kunne måle sig med renovering af etageboligbygninger. Men i praksis vælger boligforeninger ofte renovering da de ikke kan få støtte af Landsbyggefonden til nybyggeri.

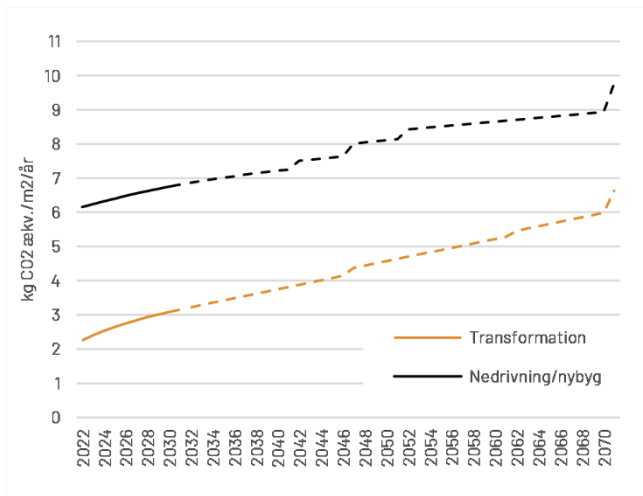
3.1.3 Kontor



Figur 3.9. Total klimapåvirkning for renovering af kontor med fjernvarme over en 50-årig betragtningsperiode



Figur 3.10. Renoveringstiltagenes klimapåvirkning fra nye og bortskaffede materialer ved renovering af kontor over en 50-årig betragtningsperiode



Note: Den stiplede linje efter 2030 indikerer emissionernes usikkerhed i fremtiden.

Figur 3.11. Akkumuleret klimapåvirkning for renovering af kontor med fjernvarme sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode

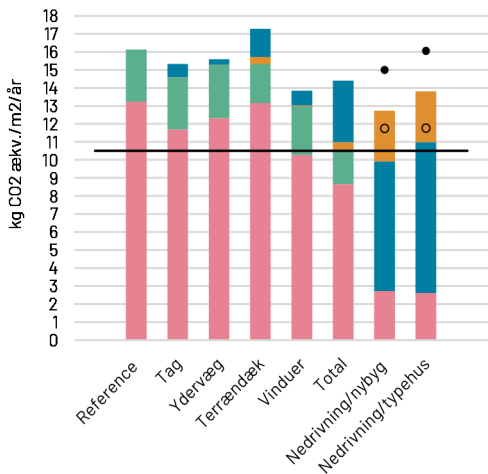
Oplysninger om bortskaffede bygningsdele ved renovering er ligesom for etageboligbygningen blevet gjort op i totale affaldsmængder, hvilket gør det umuligt at fordele klimapåvirkningen fra disse materialer ud på de enkelte renoveringstiltag og de ligger derfor i kategorien 'Andet' på Figur 3.10. Derudover er forurenede og udefinerede affalds fraktioner ikke taget med i beregningen. Figur 3.10 viser at renovering af klimaskærmen, især ydervægge og vinduer men også tag, er de mest klimatunge renoveringstiltag for kontoret. Udskiftning af alle installationerne udgør også en stor andel af klimaregnskabet. Som for de to forrige bygninger kommer klimapåvirkning inden renovering primært fra driftsenergien. Dog ligger klimapåvirkningen fra bygningen inden renovering nede omkring en gennemsnitlig

nedrivning/nybyg. Nedrivning står for 5% af klimapåvirkningen ved nedrivning/nybyg. Ved gennemførelse af renoveringstiltagene på Figur 3.10 ses af Figur 3.9 at kontorbygningens klimapåvirkning reduceres med 33% hvilket, som det også fremgår af Figur 3.11, medfører at renoveringen er mest klimamæssigt hensigtsmæssig sammenlignet med at nedrive og bygge nyt. Den fulde transformation, hvor kun rådhuset bevares, reducerer bygningens driftsenergi markant, men driftsenergiforbruget kommer ikke ned på niveau med nybyg selvom renoveringsomfanget er tæt på at kunne kategoriseres som nybyg. Dette skyldes bl.a. et meget højt transmissionsvarmetab fra etagedækket mod den uopvarmede kælder som ikke efterisoleres som en del af renoveringen, samtidig er der et højt el-behov til belysning og ventilation som i princippet også kan forbedres. På både Figur 3.9 og Figur 3.10 ses at renoveringen er mest klimamæssigt hensigtsmæssig sammenlignet med den gennemsnitlige nedrivning/nybyg. Der opnås en tilstrækkeligt stor klimabesparelse i nye materialer ved renoveringen er stor nok til at kompenserer for det høje energiforbrug efter renovering. Men, som for etageboligen, ligger renoveringen tæt på klimapåvirkningen fra den bedste case for nedrivning/nybyg. Det kan derfor forventes med det øgede fokus på klimaoptimeringer at nedrivning/nybyg af kontorbygninger vil kunne måle sig med renovering af en kontorbygning.

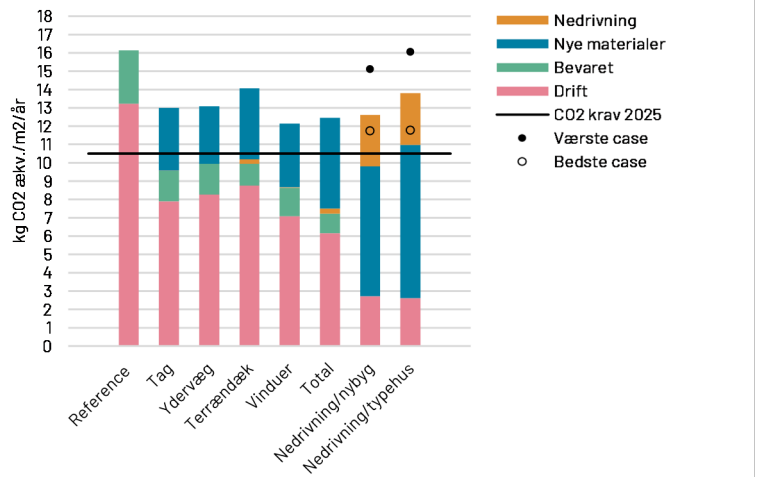
3.2 Generiske beregninger

Da driftsenergien generelt har den største andel af klimaregnskabet ved renovering, bør der når der renoveres være fokus på tiltag, der reducerer drift energien for at realisere en klimabesparelse. Derfor er der i de generiske beregninger fokuseret på driftsenergiptimerende tiltag.

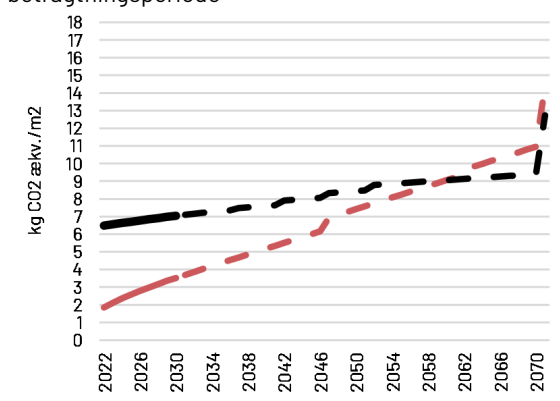
3.2.1 Enfamiliehus



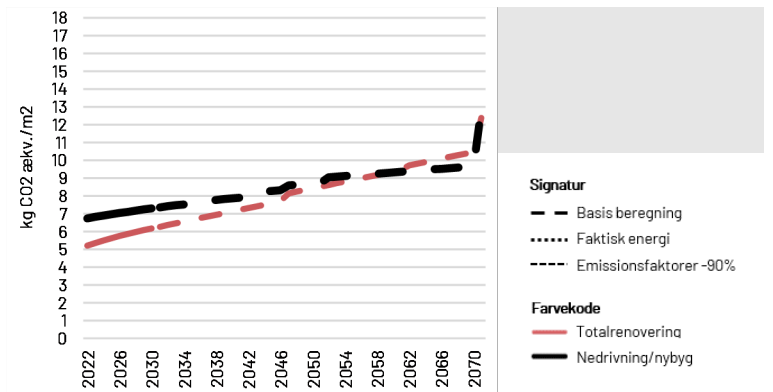
Figur 3.12. Total klimapåvirkning for renovering af generisk enfamiliehus med fjernvarme over en 50-årig betragtningsperiode



Figur 3.13. Total klimapåvirkning for renovering af generisk enfamiliehus med fjernvarme og tilbygning over en 50-årig betragtningsperiode



Figur 3.14. Akkumuleret klimapåvirkning for total renovering af generisk enfamiliehus med fjernvarme sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode

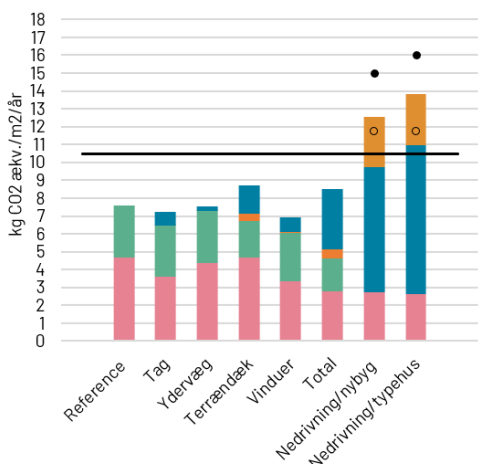


Figur 3.15. Akkumuleret klimapåvirkning for totalrenovering af generisk enfamiliehus med fjernvarme og tilbygning sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode

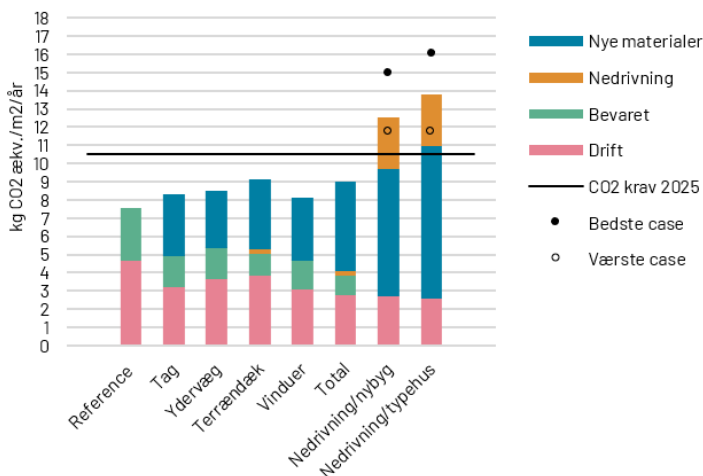
Tabel 3.1. År hvor nedrivning/nybyg er klimamæssigt bedre end scenariet med fjernvarme med og uden tilbygning hvor '-' indikerer at scenariet altid er bedst over en 50-årig betragtningsperiode

Basis beregning	
Reference	2054
Tag	2055
Ydervæg	2054
Terrændæk	2043
Vinduer	2061
Total	2059

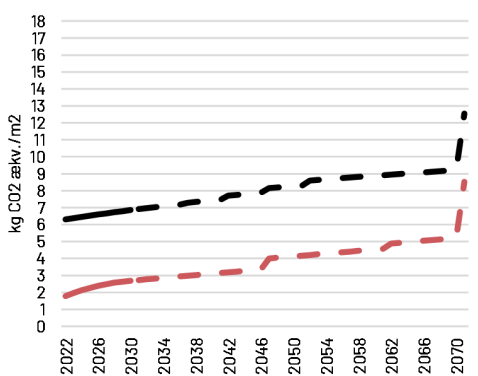
På Figur 3.12 og Figur 3.13 ses det som for enfamiliehuscasen at klimapåvirkningen i referencescenariet primært kommer fra driftsenergiforbruget over en 50-årig betragtningsperiode. Generelt har renovering af det generiske enfamiliehus med fjernvarme svært ved at komme ned i en klimapåvirkning fra driftsenergien der svarer til nybyg selv ved en total renovering og ligger derfor over det kommende CO₂ krav. Alle renoveringsscenarierne med fjernvarme og en tilbygning når ned i nærheden af klimapåvirkningen fra nedrivning/nybyg idet tilbygningen giver flere m² at fordele klimapåvirkningen ud på. Udskiftning af vinduer eller total renovering er de mest klimabesparende renoveringer, som når ned på en klimapåvirkning der til svarer nybyg. Udskiftning af terrændækket resulterer i en meget lille besparelse i driftsenergien og er klimamæssigt tungt ift. materialerne, derfor ender tiltaget med at forværre bygningens klimapåvirkning sammenlignet med referencescenariet. Vinduerne derimod har en lille klimapåvirkning i materialerne og en stor besparelse i klimapåvirkningen fra driftsenergien. Dvs. for at opnå en klimamæssig besparelse skal der opnås en balance mellem reduceret klimapåvirkning fra både driftsenergi og øget klimapåvirkning fra materialerne. Figur 3.14 og Figur 3.15 viser at total renovering med fjernvarme både med og uden tilbygning har den laveste klimapåvirkning i dag indtil år 2059 hvor nedrivning/nybyg indhenter klimafordelen ved renovering. I Tabel 3.1. ses at de øvrige scenarier også starter ud med at være bedre end nedrivning/nybyg (de akkumulerede grafer for de øvrige scenarier kan ses i Bilag E). Tilingen af emissioner er derfor afgørende, og det vil være klimamæssigt fordelagtigt at renovere her og nu end at bygge nyt.



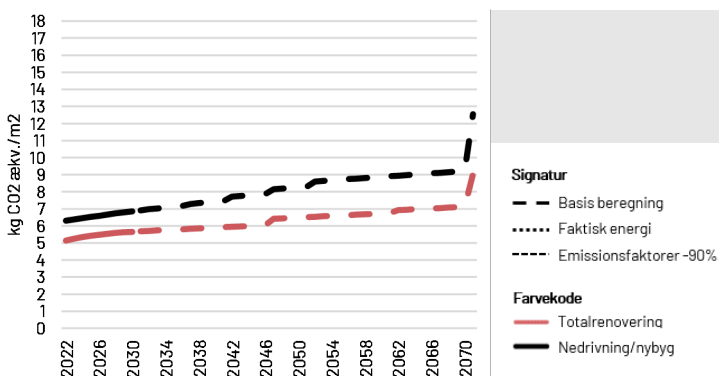
Figur 3.16. Total klimapåvirkning for renovering af generisk enfamiliehus med varmepumpe sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode



Figur 3.17. Total klimapåvirkning for renovering af generisk enfamiliehus med varmepumpe og tilbygning sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode

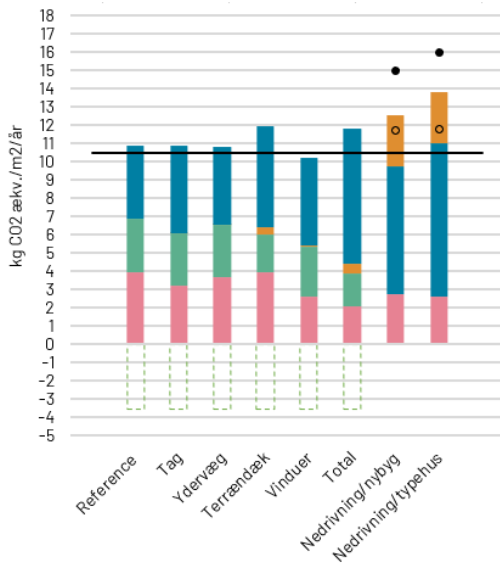


Figur 3.18. Akkumuleret klimapåvirkning for total renovering af generisk enfamiliehus med varmepumpe sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode

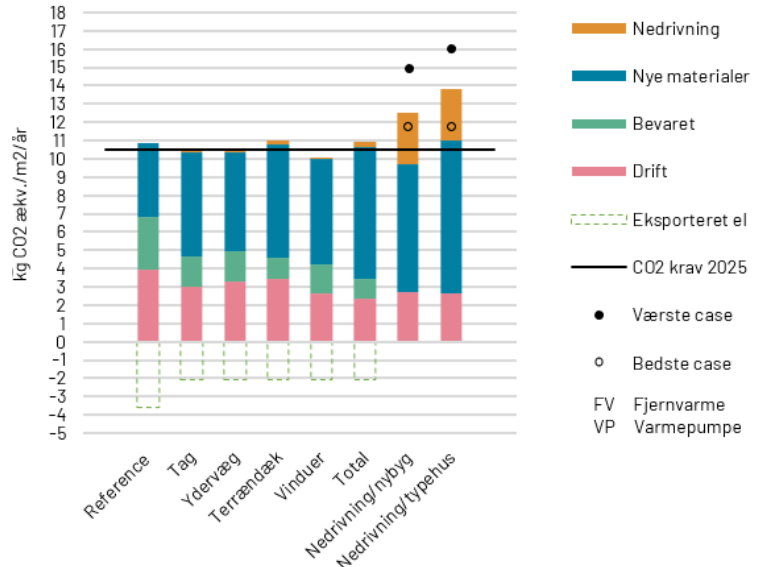


Figur 3.19. Akkumuleret klimapåvirkning for total renovering af generisk enfamiliehus med varmepumpe og tilbygning sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode

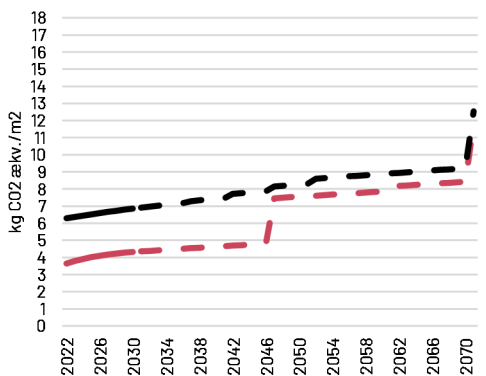
På Figur 3.16 og Figur 3.17 ses det at klimapåvirkningen med varmepumpe primært kommer fra driftsenergiforbruget over en 50-årig betragtningsperiode. Dog er klimapåvirkningen fra driftsenergiforbruget markant reduceret sammenlignet med renovering med fjernvarme og kommer tæt på nedrivning/nybyg driftsenergiforbrugs klimapåvirkning. Alle scenarierne kommer ned under både det kommende CO2 krav og klimapåvirkningen fra nedrivning/nybyg selv med en tilbygning. Reduktionen i driftsenergiens klimapåvirkning øger materialernes andel af bygningens klimapåvirkning. Igen er vinduer er det mest klimabesparende renoveringstiltag. Som for fjernvarme vil udskiftning af terrændækket resulterer i en meget lille besparelse i driftsenergien og er klimamæssigt tungt ift. materialerne og forværre bygningens klimapåvirkning sammenlignet med referencescenariet. Figur 3.18 og Figur 3.19 viser at total renovering med varmepumpe både med og uden tilbygning har den laveste klimapåvirkning og at der ikke er noget tidspunkt hvor nedrivning/nybyg indhenter klimafordelen ved renovering. Dette gælder også de øvrige scenarier (se Bilag E).



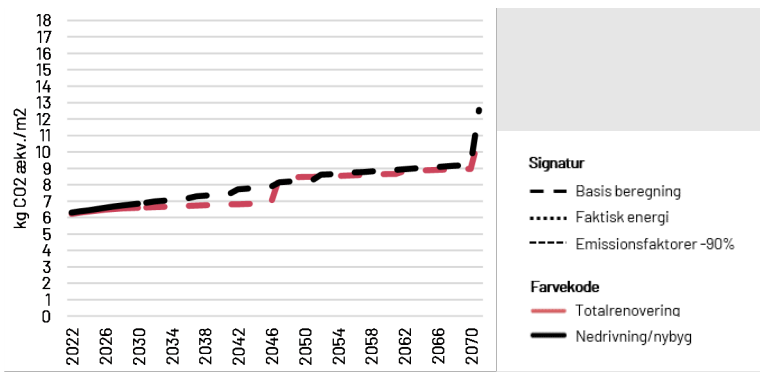
Figur 3.20. Total klimapåvirkning for renovering af generisk enfamiliehus med varmepumpe og 30m2 solceller over en 50-årig betragtningsperiode



Figur 3.21. Total klimapåvirkning for renovering af generisk enfamiliehus med varmepumpe, 30 m2 solceller og tilbygning over en 50-årig betragtningsperiode



Figur 3.22. Akkumuleret klimapåvirkning for total renovering af generisk enfamiliehus med varmepumpe og 30 m2 solceller sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode



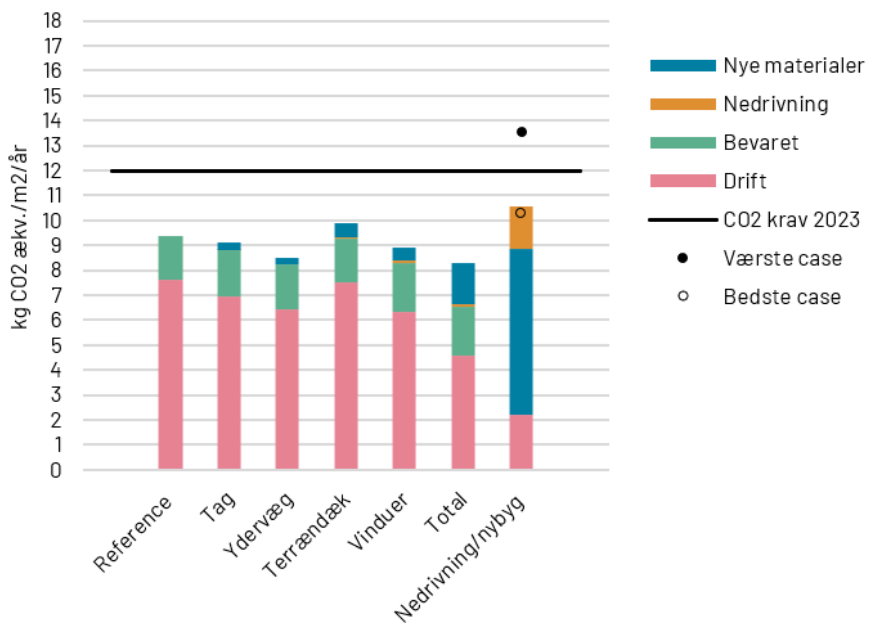
Figur 3.23. Akkumuleret klimapåvirkning for total renovering af generisk enfamiliehus med varmepumpe, 30m2 solceller og tilbygning sammenlignet med nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode

Tabel 3.2. År hvor nedrivning/nybyg er klimamæssigt bedre end scenariet med varmepumpe, 30m2 solceller og tilbygning hvor '-' indikerer at scenariet altid er bedst over en 50-årig betragtningsperiode

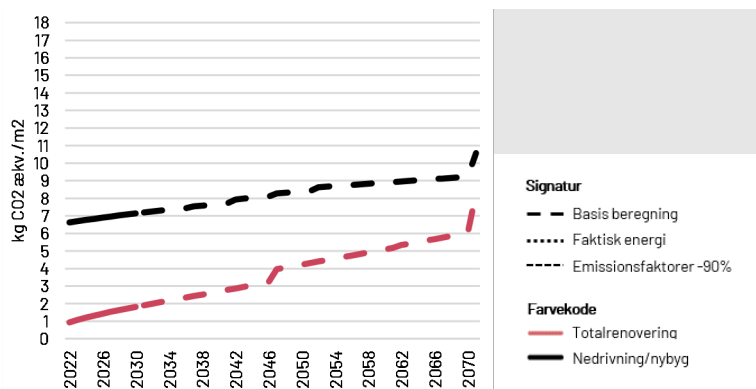
	Basis beregning
Refernce	-
Tag	-
Ydervæg	-
Terrændæk	2047
Vinduer	-
Total	2047

Figur 3.20 viser sammenlignet med Figur 3.16 at solcellerne har en meget høj klimapåvirkning som stammer fra produktionen af dem og deres korte levetid på 25 år. Figur 3.20 og Figur 3.21 viser at hvis der tilføjes 30m² solceller som en del af skiftet over til varmepumpe overskrider alle scenarier, undtagen vinduesrenoveringen, både med og uden tilbygning de kommende CO2 krav, men alle scenarierne ligger stadig under nybyg/med nedrivning. Tilføjelsen af solceller bidrager også til at materialerne får langt den største andel af bygningens klimapåvirkning sammenlignet med klimapåvirkningen fra driftsenergien. Det ses på Figur 3.23 at den eksporterede el fortyndes ud på flere kvadratmeter når der laves en tilbygning. På Figur 3.20 og Figur 3.21 ses at renovering af terrændæk og -totalrenovering er klimamæssigt bedre end nedrivning/nybyg, men viser at klimafordelen ved terrændæk- og totalrenovering bliver overhalet af nedrivning/nybyg i 2047 (Tabel 3.2). Af de akkumulerede grafer i Bilag E ses at renovering og nedrivning/nybyg graferne krydser hinanden i 2047 selvom terrændæk og totalrenovering efter 50 år er klimamæssigt bedre end nedrivning/nybyg.

3.2.2 Etagebolig for 1945, 1979-1988



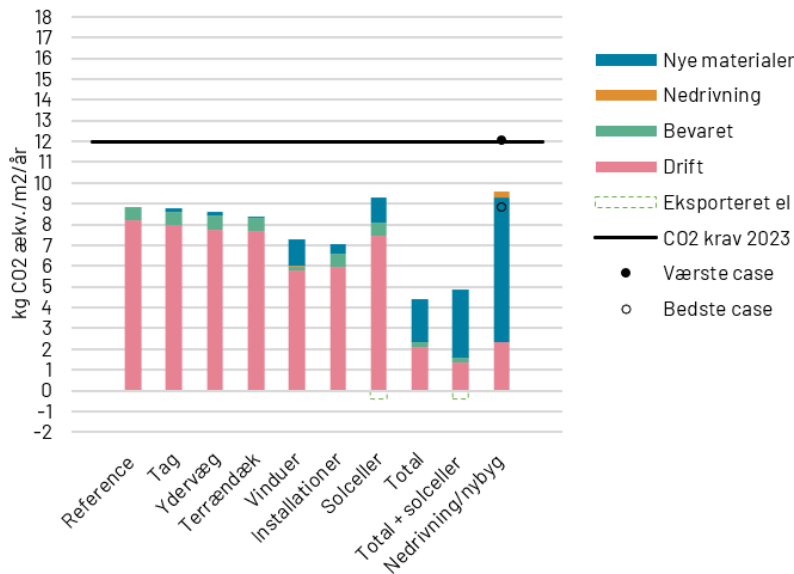
Figur 3.24. Total klimapåvirkning for renovering af generisk etagebolig med fjernvarme over en 50-årig betragtningsperiode



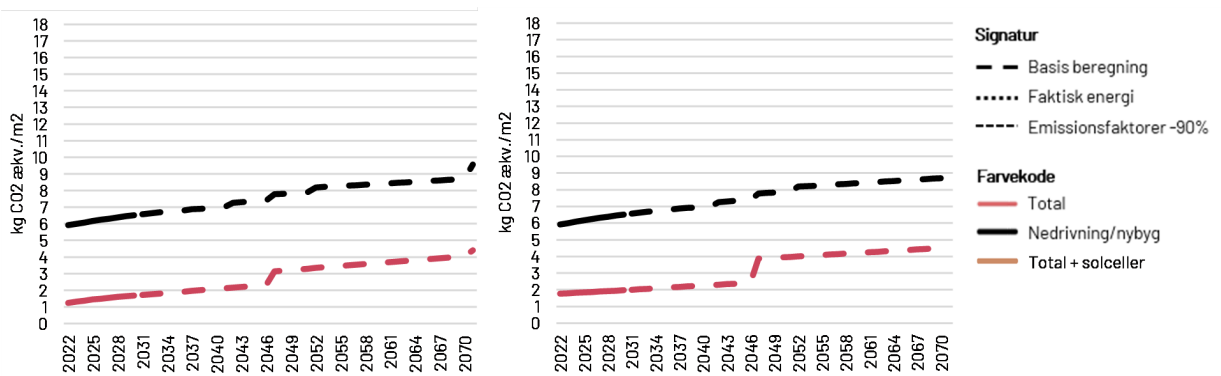
Figur 3.25. Akkumuleret klimapåvirkning for total renovering af generisk etagebolig med fjernvarme over en 50-årig betragtningsperiode

På Figur 3.24 ses at klimapåvirkningen i alle scenarierne primært kommer fra driftsenergiforbruget og at den ikke når ned på niveau med klimapåvirkningen fra driftsenergiforbruget ved nedrivning/nybyg. Alle scenarierne ligger lavere i klimapåvirkning end nedrivning/nybyg og de kommende CO2 krav. Ydervægs- og total renovering er de mest klimabesparende renoveringer for den generiske etagebolig. Dette kan bl.a. skyldes at etageboligen er et meget større byggeri end enfamiliehuset, hvor vinduerne var det mest klimabesparende tiltag. Det tyder på at der er endnu større klimagevinster ved renovering af kompakt byggeri, hvor kvadratmeterne er bedre udnyttet end et etplans enfamiliehus. Som for det generiske enfamiliehus giver udskiftning af terrændækket en meget lille besparelse i driftsenergien og er klimamæssigt tungt ift. materialerne, derfor ender tiltaget med at forværre bygningens klimapåvirkning sammenlignet med referencescenariet og ligger tæt på klimapåvirkningen fra den bedste nedrivning/nybyg case. Figur 3.25 viser at total renovering med fjernvarme har en lavere klimapåvirkning end nedrivning/nybyg og generelt er der ikke noget tidspunkt hvor nybyg indhenter klimafordelen ved nogle af scenarierne (de akkumulerede grafer for de øvrige scenarier kan ses Bilag E).

3.2.3 Kontor



Figur 3.26. Total klimapåvirkning for renovering af generisk kontor med fjernvarme over en 50-årig betragtningsperiode



Figur 3.27. Akkumuleret klimapåvirkning for total renovering og total renovering med solceller af generisk kontor med fjernvarme over en 50-årig betragtningsperiode

Tabel 3.3. År hvor nedrivning/nybyg er klimamæssigt bedre end scenarierne hvor '-' indikerer at scenariet altid er bedst over en 50-årig betragtningsperiode

Basis beregning	
Reference	-
Tag	-
Ydervæg	-
Terrændæk	-
Vinduer	-
Installationer	-
Solceller	2068
Total	-
Total + solceller	-

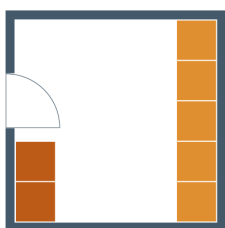
På Figur 3.26 ses at klimapåvirkningen i reference scenariet primært kommer fra driftsenergiforbruget. Alle scenarierne ligger lavere i klimapåvirkning end nedrivning/nybyg og de kommende CO2 krav. Totalrenovering og totalrenovering med solceller er meget mere klimamæssigt fordelagtigt for kontoret end for enfamiliehuset og etageboligen. Dette skyldes bl.a. at der anvendes et meget større areal af solceller, som resulterer i at der kan opnås en større klimagevinst ved et reduceret driftsenergiforbrug end klimaomkostningerne ved materialerne. Men ved en sammenligning af totalrenovering og totalrenovering med solceller er klimapåvirkningen med solcellerne højere end det uden. Solcelle scenariet er også det klimamæssigt dårligste af alle renoveringstiltagene. Men scenariet kan godt betale sig at gennemføre her og nu indtil år 2068 hvor nedrivning/nybyg er bedre (Tabel 3.3). Figur 3.27 generelt er der ikke noget tidspunkt hvor nedrivning/nybyg indhenter klimafordelen ved nogle af de andre scenarierne (de akkumulerede grafer for de øvrige scenarier kan ses i Bilag E). Af de andre tiltag er vinduer og optimering af installationer de mest klimabesparende tiltag

3.2.4 Køkken og bad

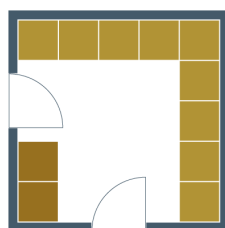
Renovering af køkken og bad, er den hyppigste renoveringstype blandt lejligheds- og parcelhusejere (Eberhardt, et al., 2022). De inkluderes ikke i LCA-krav for bygninger, men udskiftning af køkken og bad udgør en væsentlig del af enfamiliehusets klimapåvirkning. Udskiftningen står for 8% af alle renoveringstiltagenes totale klimapåvirkning når der regnes med én udskiftning i løbet af en 50 års betragtningsperiode (se Figur 3.1) hvilket er en konservativ beregning, baseret på den funktionelle levetid.

Renoveringerne er ofte omfattende i deres karakter, hvor der er tale om total udskiftning af køkken og bad i stedet for lettere renovering. Det fremgår af en undersøgelse udført på vegne af Bolius, at køkkener har en gennemsnitlig levetid på omtrent 11 år, hvilket blot svarer til en tredjedel af den reelle, såkaldte funktionelle levetid. Den korte levetid skyldes ifølge Bolius' eksperter modefænomener og omtales som den modemæssige levetid. I en livscyklusberegning med en betragtningsperiode på 50 år, ville dette indebære hele fire udskiftninger.

De generiske beregninger på køkken og bad behandler derfor kort hvordan en udskiftningsfrekvens som svarer til den modemæssige levetid ville have indflydelse på det totale klimaregnskab for et enfamiliehus.



Figur 28.
Generisk køkken A
opbygget på baggrund
af Bolius undersøgelse



Figur 29.
Generisk køkken B
opbygget på baggrund
af enfamiliehuset

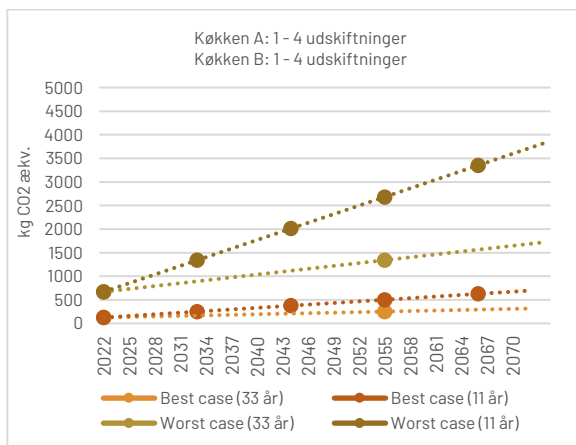
Køkken A.

5 stk. lave køkkenmoduler
2 stk. høje køkkenmoduler
1,5 m² bordplade
1 stk. vask

Køkken B.

9 stk. lave køkkenmoduler
2 stk. høje køkkenmoduler
2,9 m² bordplade
1 stk. vask

Ekskluderer hårde hvidevarer, emhætte, armatur, hængsler, greb og skruer.



Figur 30. Udskiftninger



Figur 31. Generisk bad opbygget på baggrund af enfamiliehuset

Levetid 11 vs. 33 år

Best case (køkken A)

Moduler i massivt træ
Bordplade i massivt træ
Stålvask

Worst case (køkken B)

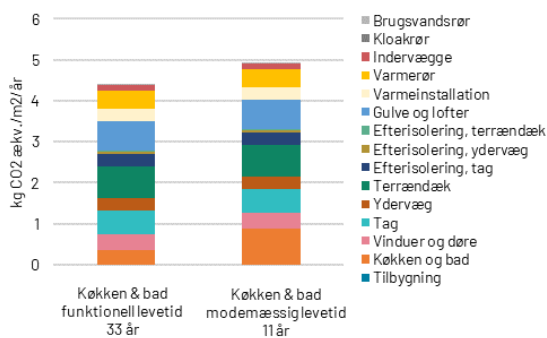
Moduler i laminat
Bordplade I stål
Porcelænsvask

Best case

Moduler i massivt træ
Bordplade i massivt træ
Stålvask
Toilet
Brusevæg i glas
Vådtrumstapet

Worst case

Moduler i laminat
Bordplade I stål
Porcelænsvask
Toilet
Brusevæg I glas
Fliser



Figur 32. Renoveringstiltagens klimapåvirkning fra nye og bortskaffede materialer ved renovering af enfamiliehus med generisk køkken (B) og bad (C).

Køkken og bad i renovering af enfamiliehuset

Det generiske køkken og bad er dimensionerede med udgangspunkt i bygningseksemplet enfamiliehus og har en middelværdi af best case og worst case materialeløsninger. Køkkenets best og worst case er defineret i Bølius undersøgelse, og badets best og worst case er defineret i dette projekt.

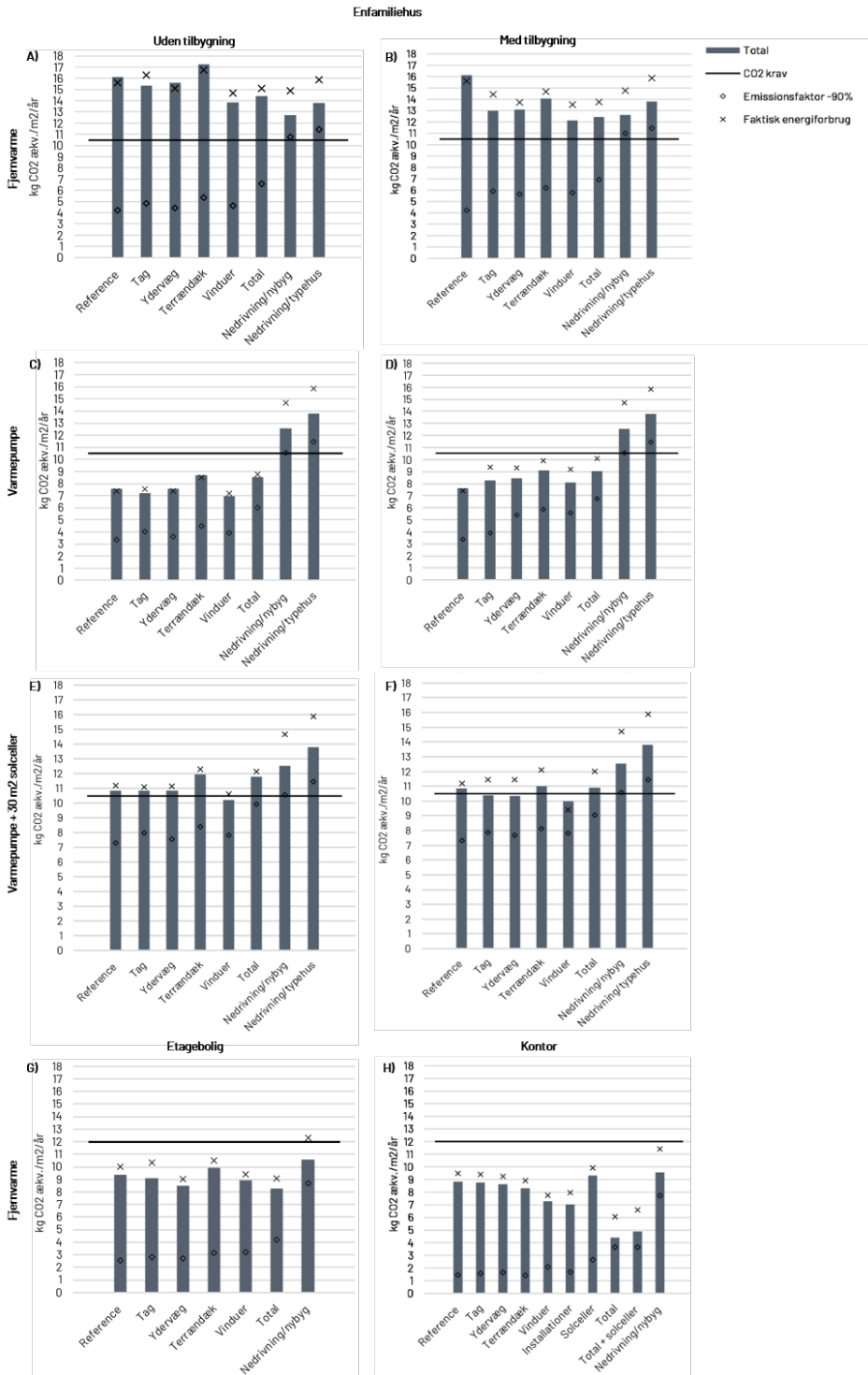
Påvirkningen fra udskiftninger der foretages under en betragtningsperiode på 50 år vises her i relation til hinanden.

Den konservative beregning med en funktionel levetid på omtrent 30 år kan ses til venstre (køkken og bad står for 8% af renoveringens samlede klimapåvirkning)

Den modemæssige levetid kan ses til højre (køkken og bad står for 18% af renoveringens samlede klimapåvirkning)

3.3 Usikkerheder

3.3.1 Energi



Figur 3.33. Effekten af energiemissionsfaktorernes usikkerhed og det faktiske energiforbrug på klimapåvirkningen af renoveringsscenarierne

I dette afsnit undersøges den klimamæssige betydning af energimæssige usikkerheder for renoverings-scenarierne af de forskellige generiske bygningstyper. På Figur 3.33 viser hver bar den totale klimapåvirkning regnet i afsnit 3.2 sammenlignet med de fremtidige kommende CO2 krav i bygningsreglementet, det faktiske energiforbrug og et scenarie med 90% reduktion af energiemissionsfaktorerne.

På Figur 3.33 ses at klimapåvirkningen, når der regnes med det faktiske forbrug, generelt er højere end når der regnes med det beregnede energiforbrug, både for renovering og især for nedrivning/nybyg, hvor det er tydeligt at forskellen er størst. Et skift fra at anvende det beregnede driftsenergiforbrug til det faktiske energiforbrug vil dermed gøre klimaregnskabet for nedrivning/nybyg noget dårligere og konklusionerne i denne rapport er derfor konservative mht. at renovering generelt har en lavere klimapåvirkning end nedrivning/nybyg, især i den første del af betragtningsperioden. På Figur 3.33 A-D) og F), ses enkelte tilfælde, hvor scenariet har et dårligt energimærke f.eks. D (se Bilag D), hvor klimapåvirkningen vil være lavere, når der regnes med det faktiske forbrug sammenlignet med det beregnede energiforbrug.

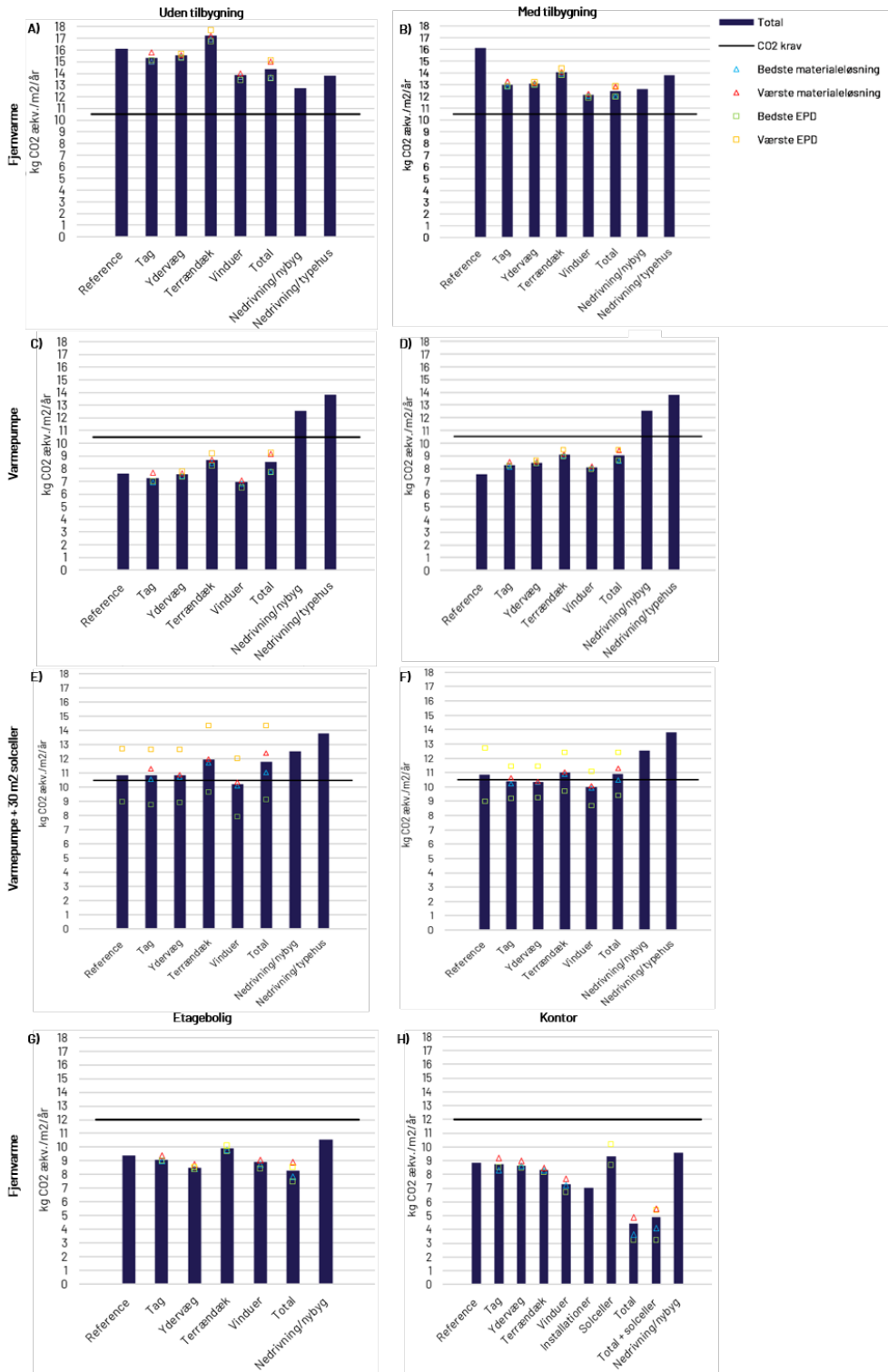
På Figur 3.33 A-F ses at en 90% reduktion af emissionsfaktorerne for enfamiliehuset vil betyde at klimapåvirkningen fra nedrivning/nybyg kommer tættere på at komme ned under klimakravet i 2025. Generelt vil en forbedring af emissionsfaktorerne have en større klimamæssig gevinst for renovering end for nedrivning/nybyg. Dette skyldes at renovering generelt har et højere driftsenergiforbrug end nedrivning/nybyg. Ved en 90 % reduktion af emissionsfaktorerne vil det være klimamæssigt mest fordelagtigt at tilføje så få materialer som muligt fordi *ingen renovering* har den laveste klimapåvirkning imens *totalrenovering* og *nedrivning/nybyg* har den højeste klimapåvirkning. Dette skyldes at driftsenergiforbrugets andel af klimapåvirkningen, og dermed reduktionspotentiallet, er højest for *ingen renovering* sammenlignet med *totalrenovering* og *nedrivning/nybyg*. Hvis tendensen til at energiforsyningen bliver grønnere hurtigere end forventet fortsætter, vil det betyde at renovering vil være langt bedre end nedrivning/nybyg. Samtidig vil denne udvikling øge materialernes andel af bygningernes klimaregnskab og derfor bør driftsenergioptimeringer have mindre forkus og materialeoptimeringer få et større fokus.

Bilag E viser de akkumulerede grafer og en oversigt over tidspunktet hvor nedrivning/nybyg vil være bedre end renovering for hhv. beregning med det faktiske energiforbrug og 90% forbedring af energiemissionsfaktorerne. Nedrivning/nybyg vil indhente klimafordelen ved mange af enfamiliehus scenarierne med fjernvarme med den faktiske energi mellem år 2045-2064. Alle scenarierne med varmepumpe og 30 m² solceller er både med den faktiske energi og beregning med 90% reducerede CO2 emissionsfaktorer bedre end nedrivning/nybyg. Dog vil nedrivning/nybyg indhente klimafordelen ved nogle af renoverings-scenarierne med en tilbygning allerede efter få år, hvis der regnes med det faktiske energiforbrug. For etagebolig og kontor er der ikke noget tidspunkt, hvor nedrivning/nybyg er bedre både med det faktiske energiforbrug og med 90% forbedrede energiCO₂ emissionsfaktorer.

Den lange betragtningsperiode på 50 år er behæftet med en stor usikkerhed ift. udviklingen indenfor klimaoptimering af byggebranchen og energiforsyningens emissionsfaktorerne i fremtiden. Ud fra et klimakrise-synspunkt kan det derfor give mening i stedet at regne på en kortere tidshorisont f.eks. 30 år, hvilket i øvrigt svarer til den tidsramme hvor klimamålsætningerne skal være nået. Emissionsfaktorernes udvikling i fremtiden er usikre, men det forventes at andelen af vedvarende energi kun vil stige i fremtiden. Da driftsenergien står for den største andel af bygningens klimapåvirkning efter renovering, kan det betyde at tidspunktet for hvornår nedrivning/nybyg er bedre end renovering udskydes eller at det aldrig indtræffer.

3.3.2 Materiale optimering

Enfamiliehus



Figur 3.34. Effekten af bedre/værre materialevalg og bedre/værre miljødata på klimapåvirkningen af renoveringsscenarierne

I dette afsnit undersøges den klimamæssige betydning af materialemæssige usikkerheder for renoverings-scenarierne af de forskellige generiske bygningstyper. På Figur 3.34 viser hver bar den totale klimapåvirkning regnet i afsnit 3.2 sammenlignet med fremtidige CO₂ krav i bygningsreglementet, den bedste/værste materialeløsning og den bedste/værste EPD.

Sammenlignet med de energimæssige usikkerheder, der kan give store udsving i det endelige klimaregnskab for de forskellige renoverings-scenarier ses det af Figur 3.34 at materialeusikkerhederne generelt kun giver mindre udsving på graferne og derfor i mindre grad påvirker scenariernes klimapåvirkning. Dette skyldes at driftsenergien står for en langt større andel af klimaregnskabet end materialerne. Scenarierne med de største udsving er totalrenovering og renovering med solceller. Den største forskel opstår generelt ved totalrenoveringen, da dette scenarie er en kombination af de øvrige scenarier og dermed vil dette scenarie indeholde større mængder materialer. På Figur 3.34 E), F) og H) for det generiske enfamiliehus ses at der er et stort spænd imellem klimaregnskabet når hhv. den bedste og værste EPD for solceller anvendes sammenlignet med det generiske data i basisberegningen. Benyttes den værste EPD vil mange af scenariernes klimapåvirkning overstige nedrivning/nybyg. Hvis den bedste EPD for solceller derimod benyttes vil alle scenarierne være markant bedre end nedrivning/nybyg. Solceller har typisk en høj klimapåvirkning som stammer fra produktionen af dem og en relativt kort levetid på 25 år, der betyder at de skal udskiftes en gang i løbet af en 50-årig betragtningsperiode. Samtidig er der stor forskel på klimapåvirkningen af forskellige typer af solceller (ca. 46% forskel i klimapåvirkning mellem det generiske miljødata og den bedste og værste solcelle i markedet se Bilag C). Det betyder at valget af typen af solcelle alene kan have indflydelse på om renovering eller nedrivning/nybyg er klimamæssigt bedst. Derfor er valget af solcelletype vigtigt at overveje i forbindelse med klimaoptimering. Som nævnt i afsnit 2.5.8 har det ikke været muligt at undersøge materialeusikkerhedernes effekt ift. enfamiliehusets tilbygning, da der til tilbygningen anvendes et gennemsnitligt tal for nybyggede enfamiliehuse. Men, da størrelsen af enfamiliehusene generelt øges, når der rives ned og bygges nyt, og da analysen viser at det er klimamæssigt dyrt at øge bygningsarealet som en del af renoveringen, er det vigtigt at have både størrelsen og materialevalget med i overvejelserne ved en tilbygning. Da materialernes andel af klimapåvirkningerne endvidere er betydelig for nedrivning/nybyg, kan usikkerheder omkring miljødata og materialevalg have en større betydning for klimaregnskabet for nedrivning/nybyg end for renovering.

Beregningsmæssigt er det problematisk at klimapåvirkningen regnes pr. m² iht. de kommende CO₂ krav, da en tilbygning vil udtynde klimapåvirkningen ud på flere kvadratmeter og kan få tilbygningen til at fremstå klimamæssigt bedre end den i virkeligheden er.

3.3.3 Værdi

På figurerne i Bilag F vises en 'Værdi', som repræsenterer de bevarede bygningsdeles indlejrede klimapåvirkning. Værdien er beregnet svarende til hvad det ville koste at producere nye materialer, som i teorien spares hvis bygningsdelene bevares. De eksisterende bygninger har generelt en høj klimamæssig værdi. Det ses ved at bevaring af bygningsdelene gennem renovering har et stort potentiale for at spare signifikante udledninger forbundet med produktionen af tilsvarende nye materialer hhv. 25%, 37% og 22% af enfamiliehusets, etageboligens og kontorets samlede klimapåvirkning før renovering. Det betyder at der er et stort klimamæssigt besparelspotentiale i at bevare så mange af materialerne som muligt. Desto mere af bygningen der bevares desto større værdi. Da der f.eks. gennemføres en omfattende renovering af enfamiliehuset, bortskaffes der derfor en stor mængde af materialer med en høj indlejret klimapåvirkning (f.eks. tegltaget), og derfor falder værdien betydeligt ved renovering. Det skal understreges at det er meget usikkert hvorvidt bevaring af de pågældende bygningsdele i virkeligheden ville erstatte tilsvarende nye materialer. 'Værdi' skal således ikke ses som en garanti for en klimabesparelse, men viser blot at der er et iboende potentiale i de eksisterende bygninger.

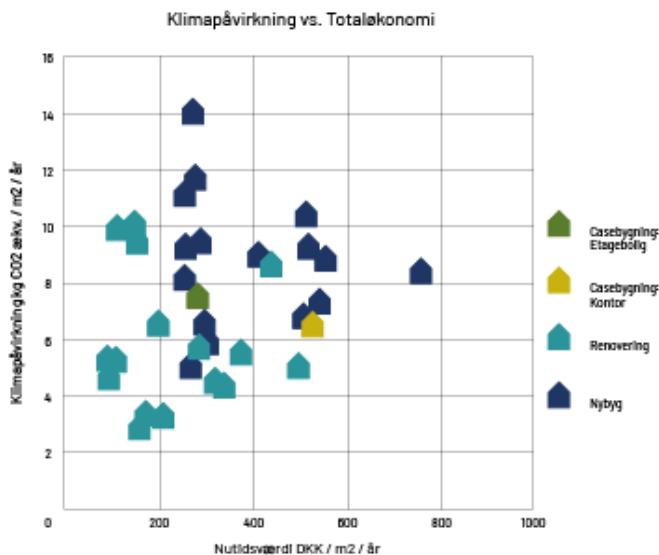
3.4 Klimamæssigt og økonomisk potentiale

I dette afsnit opsummeres de generelle tendenser for det klimamæssige og økonomiske potentiale fundet på tværs af de tre bygningstyper: enfamiliehus, etagebolig og kontor.

For eksempelbygningerne: kontor og etagebolig, er der ifm. DGNB udarbejdet LCC som sammen med den beregnede klimapåvirkning i dette projekt er anvendt til at vurdere om bygningerne viser samme tendens som fundet af en undersøgelse af 16 faktiske enfamiliehuse, etageboliger offentlige bygninger og erhvervsbygninger udarbejdet af Rambøll i 2020 (se Figur 3.35 og Figur 3.36). På trods af en betydelig variation imellem bygningscasene og eksempelbygningerne indenfor både renovering og nedrivning/nybyg ses, at det er en generel tendens, at det kan betale sig både klimamæssigt og økonomisk at overveje en omfattende renovering (turkise ikoner) frem for at rive ned og bygge nyt (blå ikoner). Figur 3.36 viser at det typisk vil det være dobbelt så dyrt at rive ned og bygge nyt fremfor at foretage en omfattende renovering. De generiske beregninger for kontor og etagebolig, er baseret på eksempelbygningerne. Det kan derfor antages at det generiske kontor og etagebolig har lignende totaløkonomiske fordele.

Case	Tag (T)	Klimaskærm (TY)	Installationer (TYI)	Nybyg (N)
1	●		●	
2		●	●	
3	●	●	●	
4	●	●		
5			● ●	
6		●	●	
7			●	
8	●		●	
9			● ●	
10			● ●	
11	●		●	
12		●	●	
13		●	●	
14	●		●	
15	●		●	
16	●	●	●	

Figur 3.35. Oversigt over renoveringstiltag i de 16 Rambølls case bygninger. Fra (Rambøll, 2020).



Figur 3.36. Forholdet mellem klimapåvirkning og totaløkonomi fra hhv. renovering og nedrivning/nybyg over en 50-årig betragtningsperiode. Sammenligning af eksempelbygningerne og Rambølls 16 case bygninger. Tilpasset efter (Rambøll, 2020). Nutidsværdi: omkostninger til opførelse, drift og vedligeholdelse og evt. udskiftning af bygningsdele, renhold samt udgifter til forsyning af energi og varme.

Eksempelbygningerne viser at driftsenergiptimerende tiltag er vigtige for at realisere en signifikant klimabesparelse. Generelt ses af de tre eksempelbygninger at efterisolering ikke fylder meget i klimaregnskabet sammenlignet med andre renoveringstiltag, men da det reducerer driftsenergien markant, er det derfor et klimamæssigt billigt tiltag at gennemføre.

Generelt er udskiftning af vinduer det mest klimabesparende renoveringstiltag idét der opnås en fordelagtig balance mellem en lav klimapåvirkning fra de nye materialer og en høj klimabesparelse fra et lavere driftsenergiforbrug. Udskiftning af terrændækket er det mindst klimabesparende renoveringstiltag da klimapåvirkningen fra nye materialer er høje end klimabesparelsen ved et reduceret driftsenergiforbrug. Men udskiftning af terrændækket kan øge bygningskomforten.

Generelt viser resultaterne at enfamiliehuset har en anden profil end etageboligen og kontoret. For det generiske enfamiliehus er det udskiftning af vinduerne der er det mest klimabesparende reoveringsscenarie, mens den største klimabesparelse for etageboligen kontoret opnås ved en totalreovering.

4.0 Bilag



4.1 Bilag A

Enhed
Byggeri

Sagsbehandler
Niels Bruus Varming

Sagsnr.

Doknr.
40040

Dato
xx-xx-xxxx

Tillægsblad til emissionsfaktorerne til brug for LCA-beregninger

I 2020 blev emissionsfaktorerne for el og fjernvarme opdateret. Derfor benyttes disse opdaterede emissionsfaktorer når der gennemføres LCA-beregninger i Danmark. Ved opdateringen blev der ikke kigget på fremskrivning af gasforsyningen.

I klimastatus og -fremskrivning 2021¹ ses det at gasforsyningen i Danmark er under omdannelse og vil indeholde væsentlig større mængder af biogas end tidligere antaget. Dette tillægsblad beskriver derfor en fremskrivning af emissionsfaktorerne for gasforsyningen baseret på denne fremskrivning. Tabel 1 viser andelen af vedvarende energi i gasforsyningen i 2019, 2025 og 2030.

Tabel 1: Andel af vedvarende energi i gasforsyningen. Kilde: Klimastatus og -fremskrivning 2021

	2019	2025	2030
VE-andel i ledningsgas	10%	42%	72%

For at omdanne dette til emissionsfaktorer, benyttes værdier fra Finlands "Emissions database for construction"², hvor følgende værdier fremgår:

Energy, biofuels, decentralized heating	0,027 kg CO _{2e} /kWh
Energy, fossil fuels, decentralized heating	0,306 kg CO _{2e} /kWh

Disse værdier kan kombineres til en fremskrivning af emissionsfaktorerne for ledningsgas. Der er antaget at 2020 svarer til 2019 i klimastatus og -fremskrivning 2021.

2020	0,278 kg CO _{2e} /kWh
2025	0,189 kg CO _{2e} /kWh

¹ https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/kf21_hovedrapport.pdf
² <https://www.co2data.fi/>



2030	0,105 kg CO _{2e} /kWh
------	--------------------------------

Efter 2030 antages af fordelingen mellem VE og fossil opretholdes.

4.2 Bilag B

Metode								
Miljøpåvirkning: kg CO2e								
Data: Generisk økobau								
Funktionel ækvivalent: 1m2 bygningsdel								
Betragtningsperiode: 50 år								
Systemafgrænsning: A1-3, C3-4								
Levetider jf. SBI 2013:30								
Kilde: Klimaeffektiv renovering - Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering 2021								
Standard løsning' er den løsning der er anvendt i den generisk beregning								
Bygningsdel		Materiale	Opbygning	Kommentar	Mængde/m2 bygningsdel	GWP	GWP Total	
Skråtagbeklædning	Værste løsning	Stål	Stål, Varmgalvaniseret stålplade	h=18 mm, t=0,5 mm		26.37	31.71	
			Overflade, Pulverlakering			2.20		
			Lægter, afstandslister	38/73 mm pr 375 mm, 25/45 mm pr 500 mm	0,0096473 m3/m2	2.78		
			Fastgørelsesmidler/skruer i galv. Stål		0,10 kg	0.36		
	Standardløsning	Tegl	Tagsten			1 m2	16.18	20.76
			Afstandslister	25x45 mm c/c 500		0,0023 m3	0.65	
			Lægter	38x73 mm c/c 375 mm		0,0074 m3	2.13	
			Skruer	0,05 kg/lag m. skruer		0,10 kg	0.36	
			Undertagsmembran	4 lag		1,9 kg	1.44	
			Påføring	45 mm c/c 1000		Afhænger af tykkelsen		
	Optimeret løsning	Beton	Betonsten				8.77	13.36
			Afstandslister	25x45 mm c/c 500		0,0023 m3	0.65	
Undertagsmembran			4 lag		1,9 kg	1.44		
Lægter			38x73 mm c/c 375 mm		0,0074 m3	2.13		
Skruer			0,05 kg/lag m. skruer		0,10 kg	0.36		
Påføring			45 mm c/c 1000		Afhænger af tykkelsen			
Facadebeklædning	Værste løsning	Aluminium	Aluminiumsplade	1 mm	2,7 kg	28.20	89.50	
			Vindgips	9 mm	0,69 m2	1.22		
			Aluminiumsprofil	Ophængningssystem	5,0 kg	53.40		
			Anodisering		1,0 m2	6.12		
			Skruer	0,05 kg/lag m. skruer	0,15 kg	0.53		
	Standardløsning	Tegl	Teglsten			0,108 m3	58.50	63.08
			Mørtel			12,1 kg	4.40	
			Murbindere	0,05 kg/lag m. skruer	0,05 kg	0.18		
	Optimeret løsning	Fyrretræ	Fyrretræ	25x150 mm		0,025 m3	5.05	12.83
			Vindgips	9 mm		0,69 m2	1.22	
			Afstandslister	22x45 mm c/c 600 mm		0,0021 m3	0.60	
			Overflade, lak			0,38 kg	5.43	
Skruer			0,05 kg/lag m. skruer	0,15 kg	0.53			
Vinduer	Værste løsning	Plast-vindue	Vindueskarm, plast		8,04 kg	34.92	181.67	
			Vinduesramme, plast		8,56 kg	38.81		
			EPDM-tætning		1,04 kg	9.86		
			3 lags rude	80 % glas antaget	24 kg	98.08		
	Standardløsning	Træ/alu-vindue	Vindueskarm, træ			6,06 kg	10.52	158.02
			Vinduesramme, træ			5,82 kg	10.74	
			Vindueskarm, aluminium			1,18 kg	13.63	
			Vinduesramme, aluminium			1,3 kg	15.19	
			EPDM-tætning			1,04 kg	9.86	
			3 lags rude	80 % glas antaget	24 kg	98.08		
	Optimeret løsning	Træ-vindue	Vindueskarm, træ			6,06 kg	10.52	129.20
			Vinduesramme, træ			5,82 kg	10.74	
EPDM-tætning					1,04 kg	9.86		
3 lags rude			80 % glas antaget	24 kg	98.08			
Isolering	Værste løsning	EPS		18 kg/m3			4.26	
	Standardløsning	Mineraluld	Formtykker	26 kg/m3	R=1m2K/W	8.29	1.53	
	Optimeret løsning	Papiruld	Papiruld	45 kg/m3		5.14	0.95	

4.3 Bilag C

Metode			
Miljøpåvirkning: kg CO2e			
Data: Generisk økobau vs. EPD			
Funktionel ækvivalent: 1m2 bygningsdel			
Betragtningsperiode: 50 år			
Systemafgrænsning: A1-3, C3-4			
Levetider jf. SBI 2013:30			
Bygningsdel	GWP kg CO2e/m2 bygningsdel		Kilde
3 lags træ/alu vindue	EPD max	93.43	EPD NEPD-2532-1275-NO fra Klimaeffektiv renovering - Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering
	Generisk	158.02	
	EPD min	76.21	NEPD-2385-1126-EN fra Klimaeffektiv renovering - Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering
Mineraluld	EPD max	0.76	Kandidatspeciale ved Rasmus Becher Ott, funktionel enhed R=1m2K/W (figur til højre)
	Generisk	1.53	
	EPD min	0.43	
EPS isolering	EPD max	8.07	Klimaeffektiv renovering - Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering, Tabel 19 s. 96 (emission i forhold til R=1m2K/W)
	Generisk	4.26	
	EPD min	2.43	
Beton	EPD max	31.137	Tilgængelighed og betydning af EPD'ER 2021, Figur 12 s. 22
	Generisk	43.87695	
	EPD min	29.369	
GWP (kg CO2e/Wp)			
Solceller	EPD max	2.38	Klimaeffektiv renovering - Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering, s. 81 Figur 40 (emission i forhold til modul-effekt)
	Generisk	1.63	
	EPD min	0.88	

4.4 Bilag D

Oversigt over energimærker, u-værdier og energiforbrug i de case specifikke og generiske beregninger

Eksempelbygninger

Energiforbrug og energimærker før og efter renovering for de case specifikke beregninger

	Før renovering		Efter renovering		
	Naturgas	Fjernvarme	Naturgas	Fjernvarme	Varmepumpe
Enfamiliehus	G		C	B	B
Etagebolig	-	D	-	C	-
Kontor	-	D	-	B	-

Generisk enfamiliehus

		Scenarie						
		Reference	Tag	Ydervæg	Terrændæk	Vinduer	Total	
U-værdi	Tag/Loft	0.35	0.12	0.35	0.35	0.35	0.12	W/m ² K
	Ydervæg	0.36	0.36	0.18	0.36	0.36	0.18	W/m ² K
	Terrændæk	0.31	0.31	0.31	0.10	0.31	0.10	W/m ² K
	Vinduer	2.80	2.80	2.80	2.80	0.80	0.80	W/m ² K
Fjernvarme	Varme	180.8	159.3	168.1	179.9	139.6	117.3	kWh/m ²
	El	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	kWh/m ²
	Energibehov	161.9	143.5	151.1	161.1	126.8	107.7	kWh/m ²
	Energimærke	D	C	D	D	C	C	
Varmepumpe (centralvarme/ jordslange)	Varme	-	-	-	-	-	-	kWh/m ²
	El	84.4	64.6	78.9	84.0	60.5	50.3	kWh/m ²
	Energibehov	160.4	134.7	149.9	159.7	115	95.6	kWh/m ²
	Energimærke	D	C	D	D	C	C	
Varmepumpe + 30m ² solceller	Varme	-	-	-	-	-	-	kWh/m ²
	El	71.3	57.7	65.7	70.9	47.4	37.2	kWh/m ²
	Solcelle- produktion	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6	kWh/m ²
	Energibehov	135.4	109.7	124.9	134.7	90	70.6	kWh/m ²
	Energimærke	C	C	C	C	B	B	

Generisk etagebolig

		Scenarie							Enhed
		Reference	Tag	Ydervæg	Terrændæk	Vinduer	Total		
U-værdi	Tag/Loft	0.35	0.12	0.35	0.35	0.35	0.12	W/m ² K	
	Ydervæg	0.36	0.36	0.18	0.36	0.36	0.18	W/m ² K	
	Terrændæk	0.31	0.31	0.31	0.10	0.31	0.10	W/m ² K	
	Vinduer	2.80	2.80	2.80	2.80	0.80	0.80	W/m ² K	
Fjernvarme	Varme	104.1	95.3	87.8	103.0	86.4	61.9	kWh/m ²	
	El	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	kWh/m ²	
	Energibehov	92.5	85	78.7	91.6	77.5	56.7	kWh/m ²	
	Energimærke	C	C	C	C	C	B		

Generisk kontor

		Scenarie									Enhed
		Reference	Loft	Ydervæg	Etage-dæk mod kælder	Vinduer	Installationer	Solceller	Transformation	Transformation + solceller	
U-værdi	Tag/ Loft	0.35	0.12	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.10	0.10	W/m ² K
	Ydervæg	0.36	0.36	0.18	0.36	0.36	0.36	0.36	0.16	0.16	W/m ² K
	Etagedæk mod uopvarmet kælder	1.30	1.30	1.30	0.45	2.50	2.50	2.50	0.30	0.30	W/m ² K
	Vinduer	2.80	2.80	2.80	2.8	0.80	2.80	2.80	0.80	0.80	W/m ² K
Fjernvarme	Varme	94.2	91.2	88.0	86.7	60.1	78.0	94.2	24.6	24.6	kWh/m ²
	El	25.8	25.8	25.8	25.8	26.3	5.9	12.7	6.1	-7.1	kWh/m ²
	Solcelleproduktion	-	-	-	-	-	-	20.6	-	20.6	kWh/m ²
	Energibehov	129.2	126.6	123.8	122.8	101	77.5	104.2	32.4	7.4	kWh/m ²
	Energimærke	C	C	C	C	C	B	C	A2020	A2020	-

4.5 Bilag E

4.5.1 År hvor nedrivning/nybyg er klimamæssigt bedre end scenariet med fjernvarme og tilbygning hvor '-' indikerer at scenariet altid er bedst

Basis beregning

Scenarie		Refererence	Tag	Ydervæg	Terrændæk	Vinduer	Installationer	Solceller	Total	Total + solceller
Enfamiliehus	Fjernvarme	2054	2055	2054	2043	2061			2059	
	Varmepumpe	-	-	-	-	-			-	
	Varmepumpe + Solceller	-	-	-	-	-			-	
Enfamiliehus + tilbygning	Fjernvarme	2054	2055	2054	2043	2061			2059	
	Varmepumpe + Solceller	-	-	-	-	-			-	
	Varmepumpe + Solceller	-	-	-	2047	-			2047	
Etagebolig	Fjernvarme	-	-	-	-	-			-	
Kontor	Fjernvarme	-	-	-	-	-	-	2068	-	-

Faktisk energi

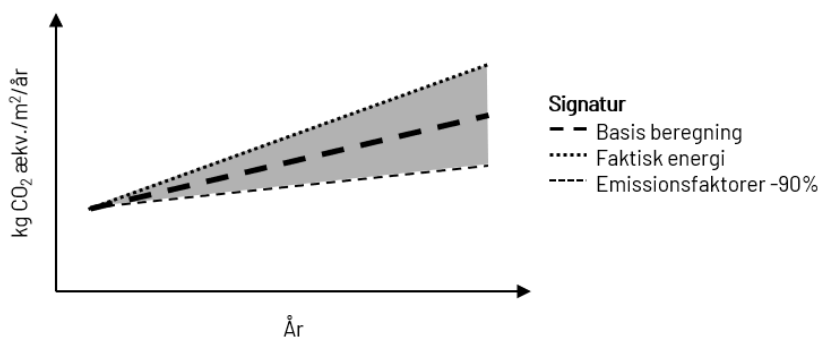
Scenarie		Refererence	Tag	Ydervæg	Terrændæk	Vinduer	Installationer	Solceller	Total	Total + solceller
Enfamiliehus	Fjernvarme	2064	2055	2061	2045	-			-	
	Varmepumpe	-	-	-	-	-			-	
	Varmepumpe + Solceller	-	-	-	-	-			-	
Enfamiliehus + tilbygning	Fjernvarme	2064	2055	2061	2045	-			-	
	Varmepumpe + Solceller	-	-	-	-	-			-	
	Varmepumpe + Solceller	-	2028	2025	2033	-			2033	
Etagebolig	Fjernvarme	-	-	-	-	-			-	
Kontor	Fjernvarme	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Emissionsfaktorerne

Scenarie		Refererence	Tag	Ydervæg	Terrændæk	Vinduer	Installationer	Solceller	Total	Total + solceller
Enfamiliehus	Fjernvarme	-	-	-	-	-			-	
	Varmepumpe	-	-	-	-	-			-	
	Varmepumpe + Solceller	-	-	-	-	-			-	
Enfamiliehus + tilbygning	Fjernvarme	-	-	-	-	-			-	
	Varmepumpe + Solceller	-	-	-	-	-			-	
	Varmepumpe + Solceller	-	-	-	-	-			2047	
Etagebolig	Fjernvarme	-	-	-	-	-			-	
Kontor	Fjernvarme	-	-	-	-	-	-	-	-	-

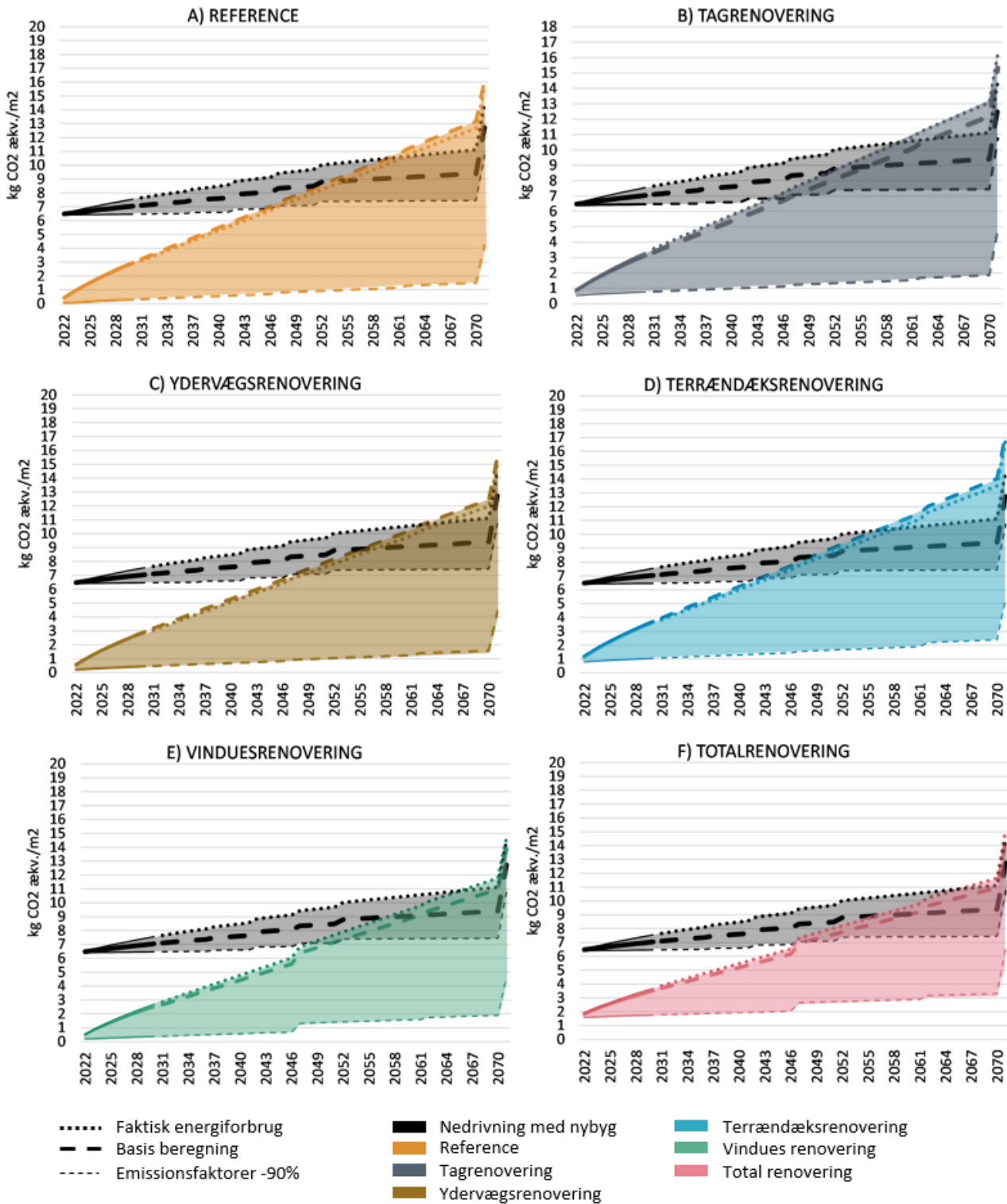
4.5.2 Akkumulerede grafer for de generiske beregninger

Koncept for hvordan usikkerheden ved beregning med faktisk energiforbrug og -90% i energiemissionsfaktorerne sammenlignet med basisberegningen over en 50-årig betragtningsperiode fremgår af resultaterne.

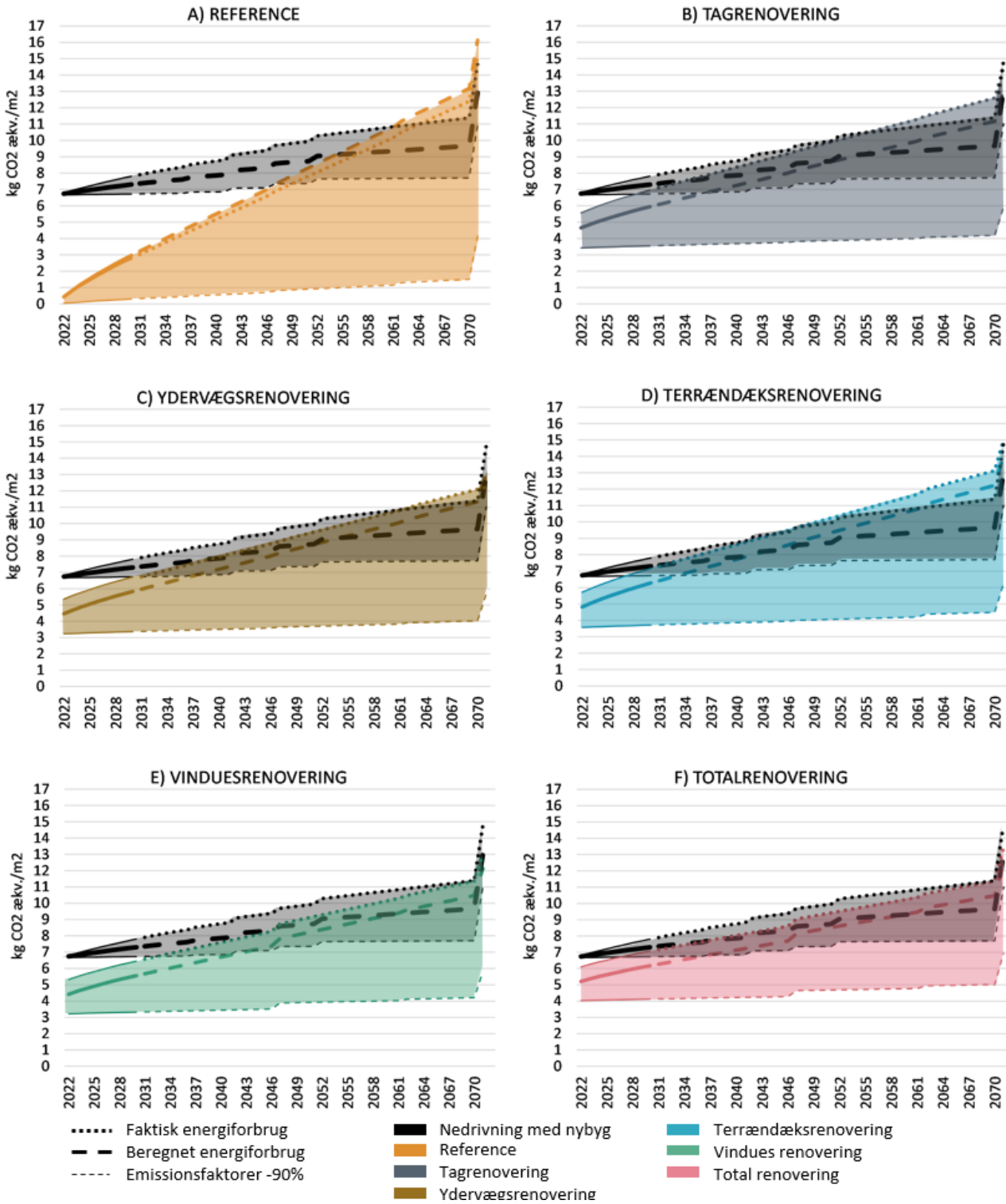


Figuren viser et eksempel på hvordan resultaterne ved beregning med det faktiske energiforbrug og -90% forbedring i energiemissionsfaktorerne vises i forhold til basisberegningen over 50 år. -90% forbedring i energiemissionsfaktorerne vil forbedre klimapåvirkningen og derfor ligge under basisberegningen mens beregningen med det faktiske energiforbrug både kan have en bedre eller være klimapåvirkning end basisberegningen.

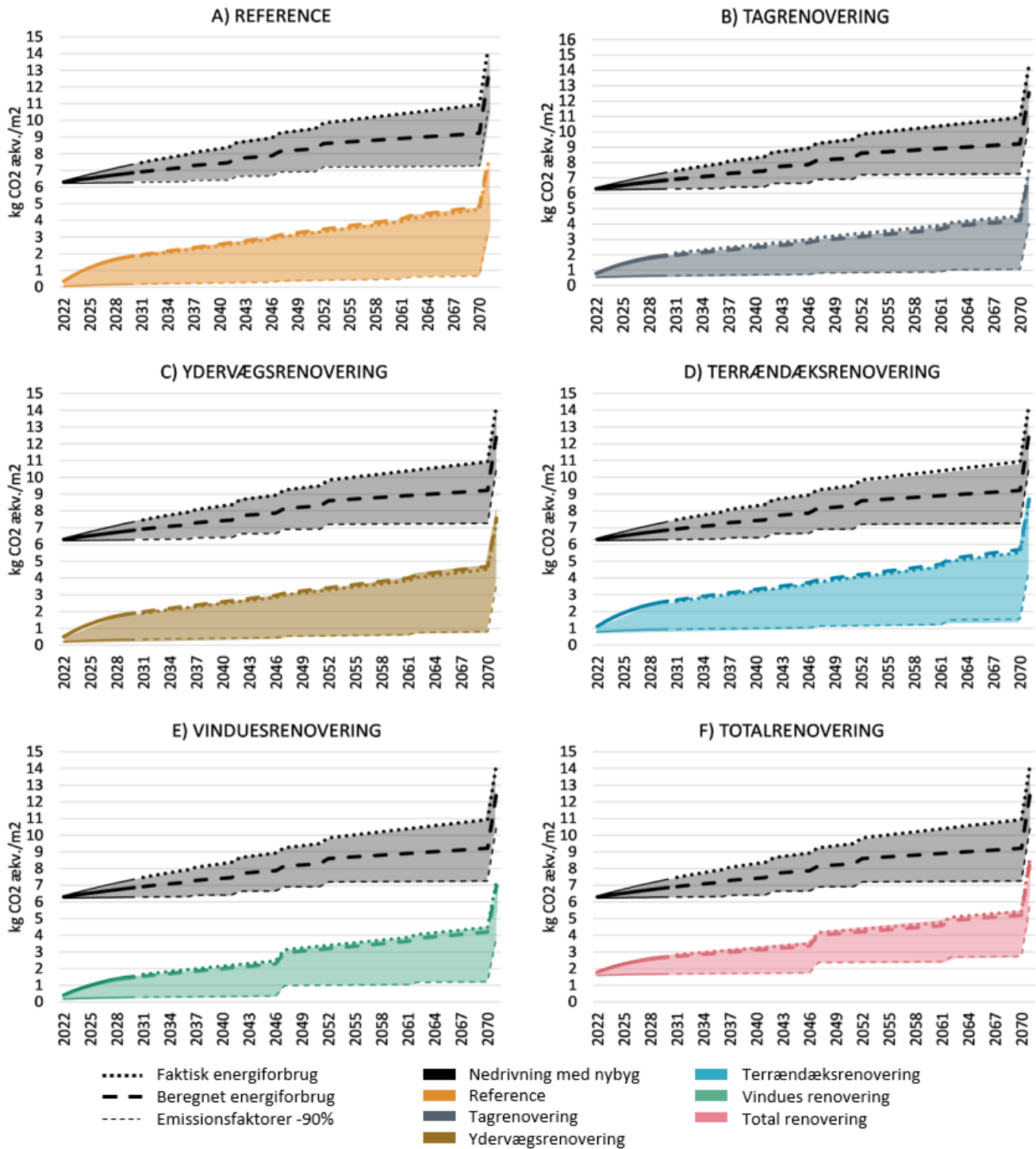
GENERISK ENFAMILIEHUS FJERNVARME: RECOVERING (BILAG)



GENERISK ENFAMILIEHUS FJERNVARME: RENOVERING + TILBYGNING

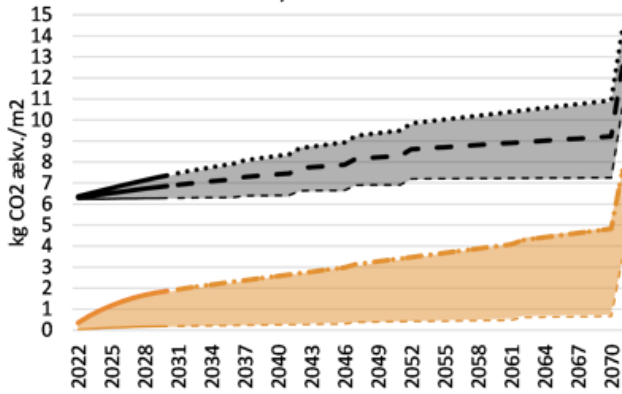


GENERISK ENFAMILIEHUS VARMEPUMPE: RENOVERING

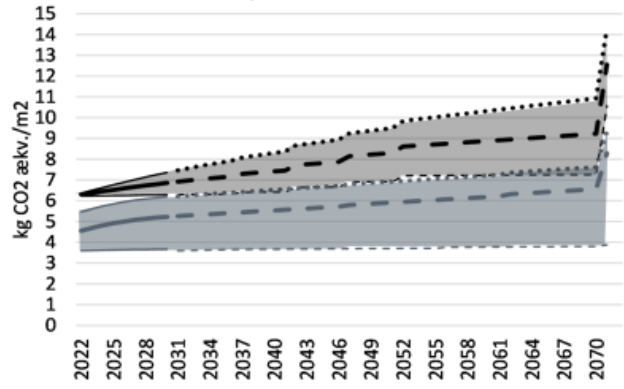


GENERISK ENFAMILIEHUS VARMEPUMPE: RENOVERING + TILBYGNING

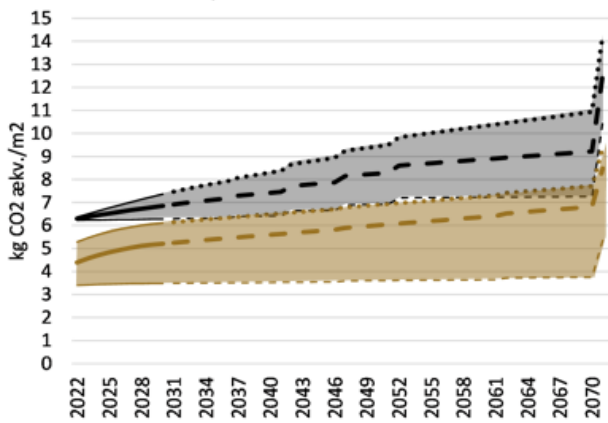
A) REFERENCE



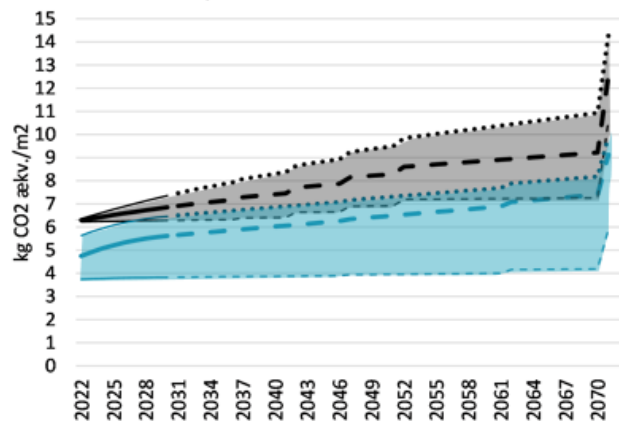
B) TAGRENOVERING



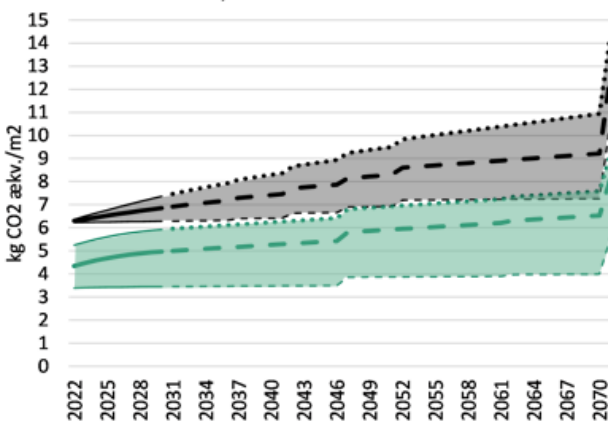
C) YDERVÆGSRENOVERING



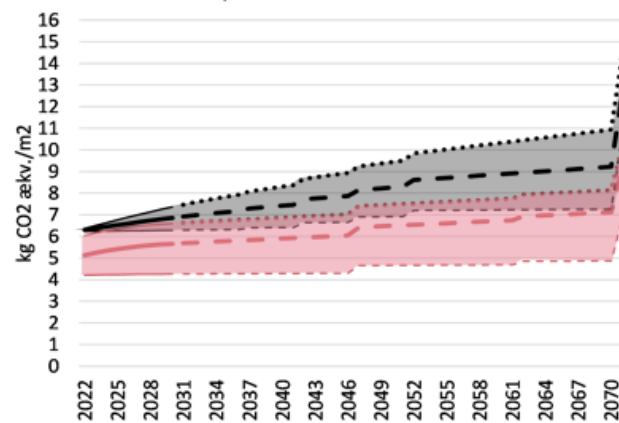
D) TERRÆNDÆKSRENOVERING



E) VINDUESRENOVERING

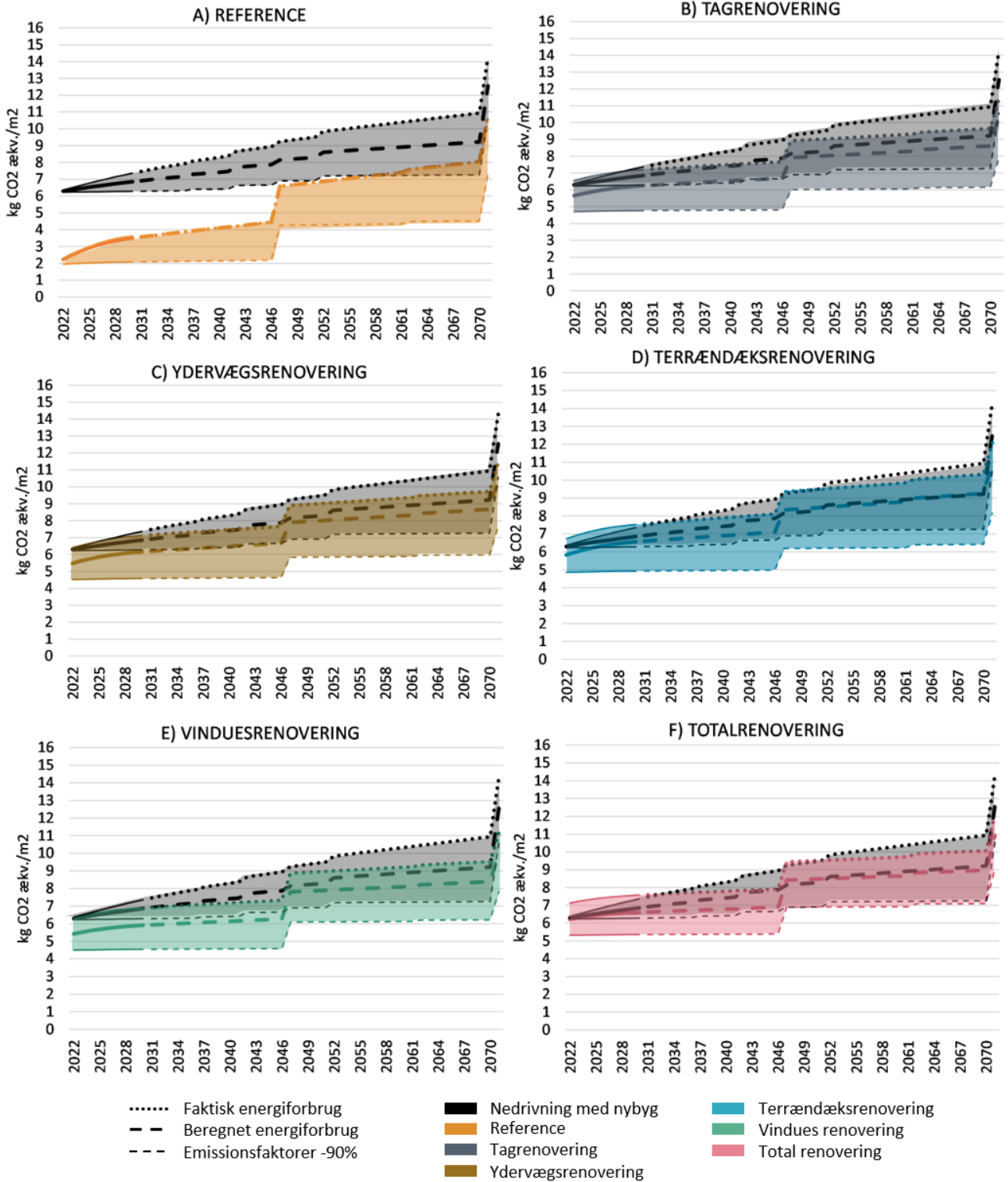


F) TOTALRENOVERING

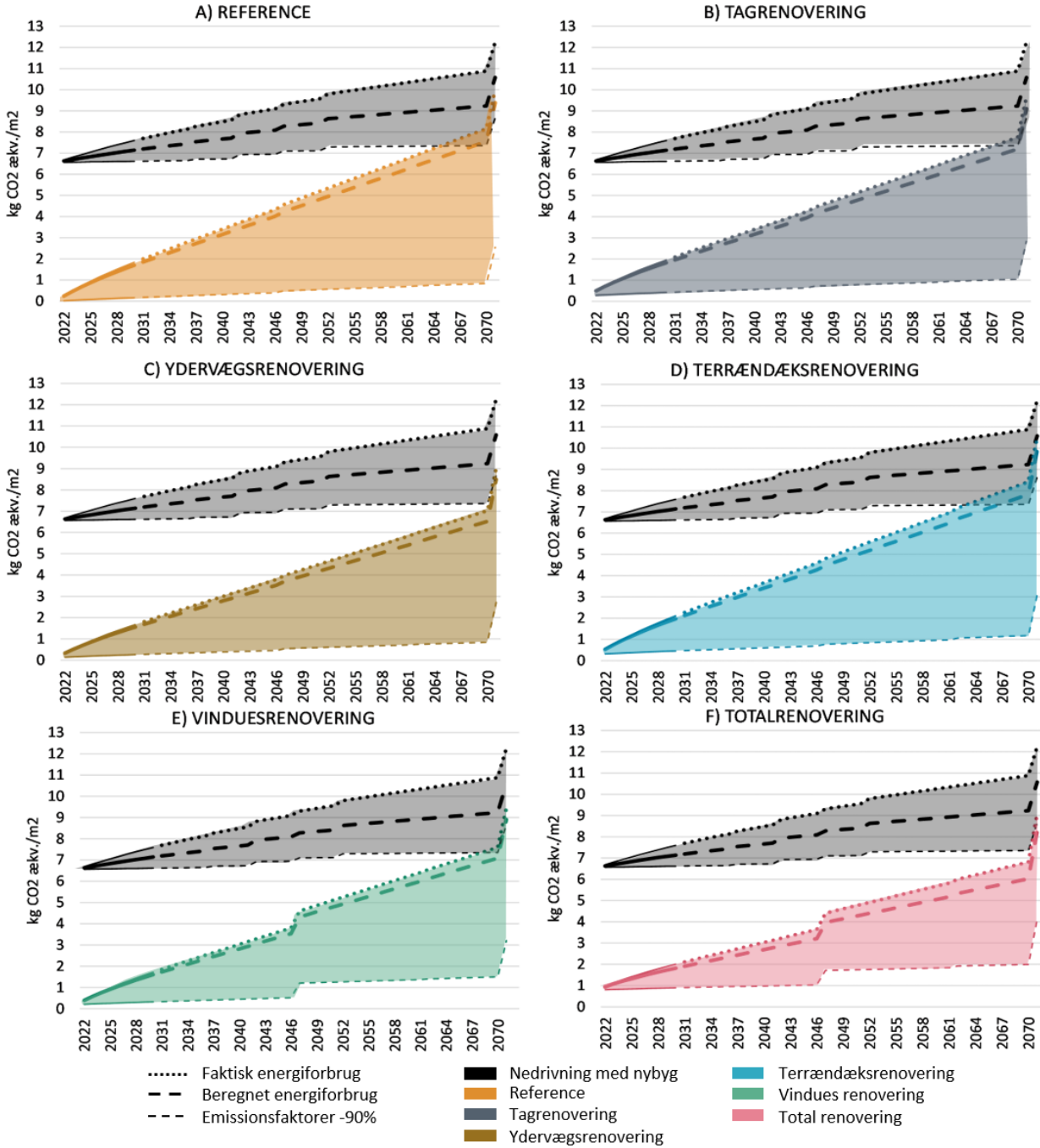


- Faktisk energiforbrug
- Beregnet energiforbrug
- Emissionsfaktorer -90%
- Nedrivning med nybyg
- Reference
- Tagrenovering
- Ydervægsrenovering
- Terrændæksrenovering
- Vinduesrenovering
- Total renovering

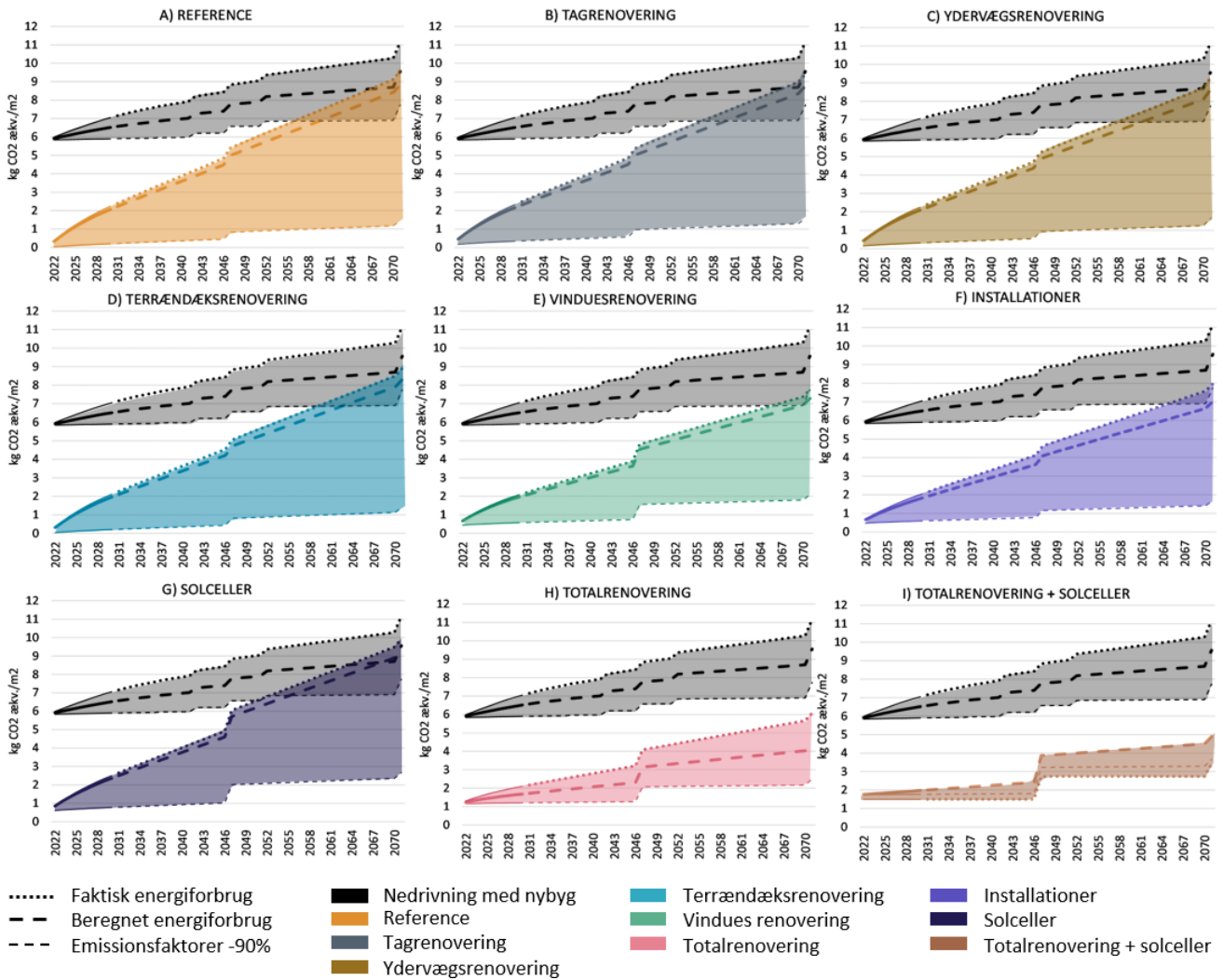
GENERISK ENFAMILIEHUS VARMEPUMPE + SOLCELLER: RENOVERING + TILBYGNING



GENERISK ETAGEBOLIG FJERNVARME: RENOVERING



GENERISK KONTOR FJERNVARME: RENOVERING



4.6 Bilag F

Procentvis klimabesparelse ved renovering af eksempelbygningerne med den pågældende forsyningskilde sammenlignet med ingen renovering

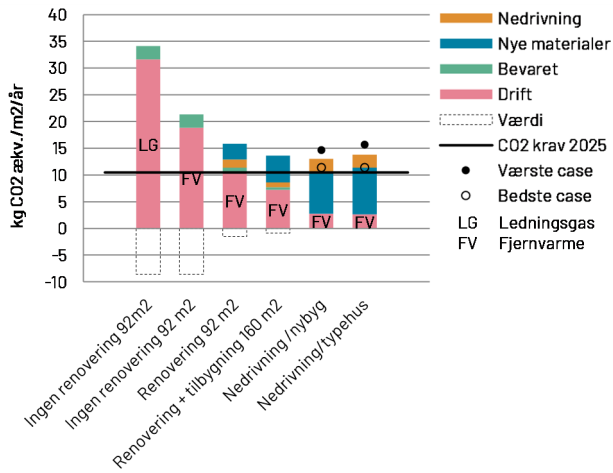
Case specifik bygning	Forsyningskilde	Ingen renovering	Renovering	Renovering + tilbygning
Enfamiliehuse	Fjernvarme	37%	53%	60%
	Varmepumpe	74%	76%	73%
Etagebolig	Fjernvarme	-	33%	-
Kontor	Fjernvarme	-	33%	-

Renoveringstiltagenes procentvise klimabesparelse for de generiske beregninger sammenlignet med ingen renovering med den pågældende forsyningskilde

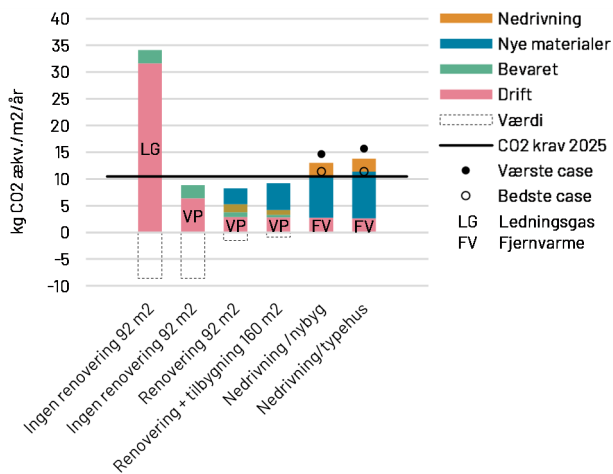
Generisk bygning	Forsyningskilde	Tag	Ydervæg	Terrændæk	Vinduer	Installationer	Solceller	Total	Total + solceller
Enfamiliehus	Fjernvarme	5%	3%	-7%	14%	-	-	11%	-
	Varmepumpe	5%	0%	-15%	9%	-	-	-12%	-
	Varmepumpe + solceller	0%	0%	-10%	6%	-	-	-9%	-
Enfamiliehus + tilbygning	Fjernvarme	19%	19%	13%	25%	-	-	23%	-
	Varmepumpe	-9%	-12%	-20%	-7%	-	-	-19%	-
	Varmepumpe + solceller	5%	5%	-1%	8%	-	-	-1%	-
Etagebolig	Fjernvarme	3%	10%	-5%	5%	-	-	12%	-
Kontor	Fjernvarme	1%	2%	6%	18%	20%	-6%	50%	45%
Gennemsnit		4%	3%	-5%	10%	20%	-6%	7%	45%

4.7 Bilag G

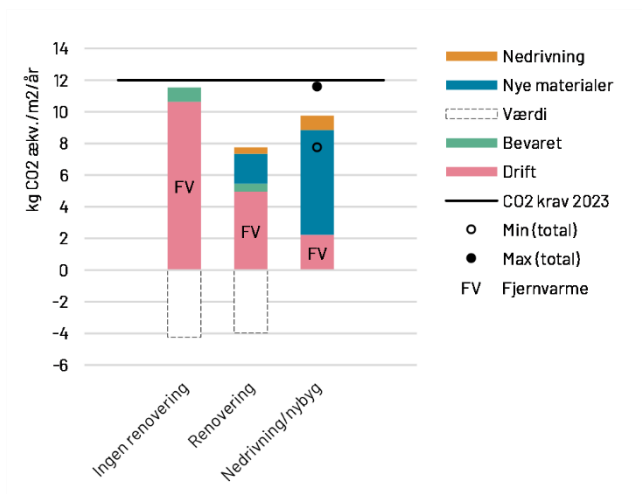
Eksempelbygninger



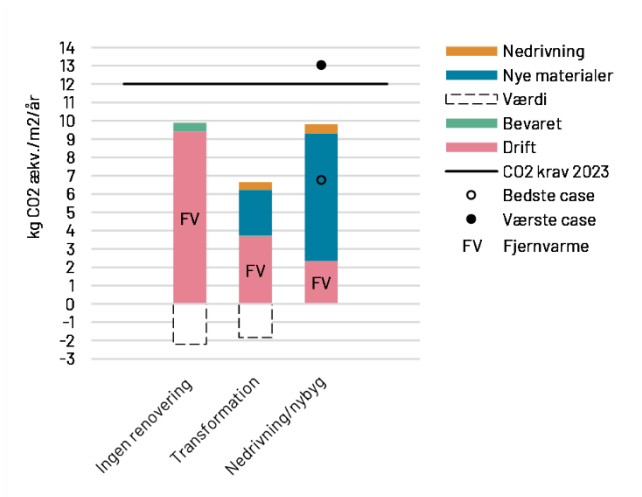
Figur 4.1 Total klimapåvirkning for renovering af enfamiliehus med fjernvarme med og uden tilbygning



Figur 4.2 Total klimapåvirkning for renovering af enfamiliehus med varmepumpe med og uden tilbygning

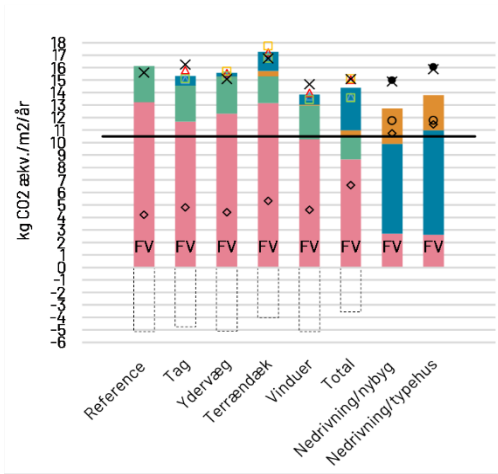


Figur 4.3 Total klimapåvirkning for renovering af etagebolig med fjernvarme over en 50-årig betragtningsperiode

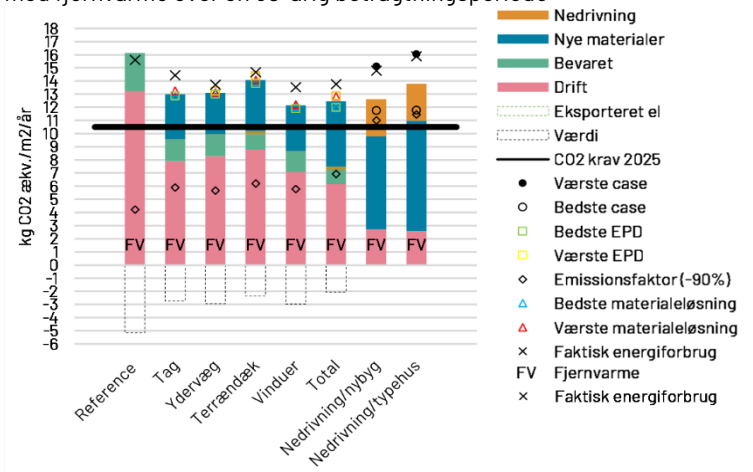


Figur 4.4 Total klimapåvirkning for renovering af kontor med fjernvarme over en 50-årig betragtningsperiode

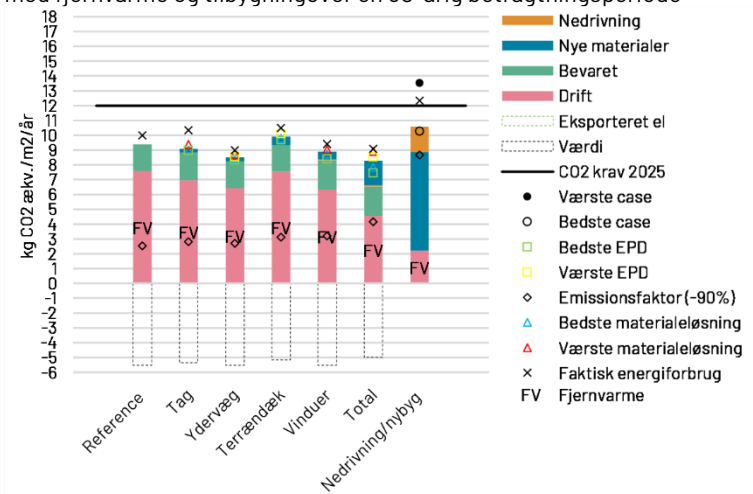
Generiske beregninger



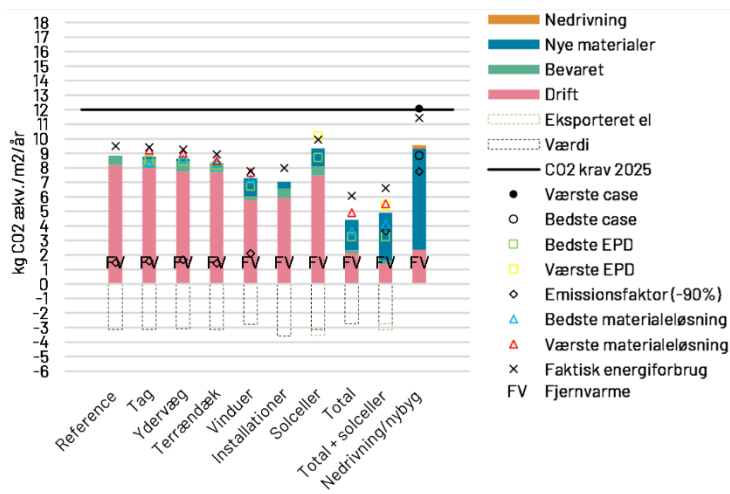
Figur 4.5 Total klimapåvirkning for renovering af generisk enfamiliehus med fjernvarme over en 50-årig betragtningsperiode



Figur 4.6 Total klimapåvirkning for renovering af generisk enfamiliehus med fjernvarme og tilbygning over en 50-årig betragtningsperiode



Figur 4.7 Total klimapåvirkning for renovering af generisk etagebolig med fjernvarme over en 50-årig betragtningsperiode



Figur 4.8 Total klimapåvirkning for renovering af generisk kontor med fjernvarme over en 50-årig betragtningsperiode

5.0 Referencer

- Andersen, C. M. (2021). *Klimapåvirkning fra 20 træbyggerier: LCA på eksisterende træbryggerier*. BUILD.
- COWI. (2020). *Opdaterede emissionsfaktorer for el og fjernvarme*.
- Dansk Byggeri. (2020). *Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren*. Dansk Byggeri.
- Energikrav ved ombygninger og uskiftning af bygningsdele §279 Tabel 3*. (u.d.). Hentet fra https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/Krav/274_279
- (2016). *Forskellen mellem mål og beregnet energiforbrug til opvarmning af parcelhuse*. SBI.
- Gram-Hansen, K., & Rhiger Hansen, A. (2016). *Forskellen mellem målt og beregnet energiforbrug til opvarmning af parcelhuse*.
- Haugbølle, K., Mahdi, V., Morelli, M., & Wahedi, H. (2021). *BUILD levetidstabel*. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet.
- Havelund, M. (2013). *Hvid bog om bygningsrenovering - Et overblik over den eksisterende viden og de væsentligste studier af renoveringseffekter*. Bygherreforeningen og Grundejernes Investeringsfond.
- Hvor gamle er danskernes køkkener*. (u.d.). Hentet fra <https://www.bolius.dk/hvor-gamle-er-danskernes-koekkener-38804>
- Kanafani, K., Mai Lund, A., Schjødt Worm, A., Due Jensen, J., Birgisdottir, H., & Rose, J. (2021). *Klimaeffektiv renovering - Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering*.
- Kragh, J., & Wittchen, K. (2012). *Bygningstypologier*.
- Nielsen, L. H. (2022). *CO2-krav og særlige bygningsforudsætninger: Udformning af model til beregning af overskrivelse af grænseværdi ved øget klimapåvirkning grundet særlige bygningsforudsætninger*. BUILD.
- Planstyrelsen, B. o. (2022). *Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om bygningsreglement 2018 (BR18)*. Hentet fra <https://hoeringsportalen.dk/Hearing/Details/66338>
- Rambøll. (2020). *Analyse af CO2-udledning og totaløkonomi i renovering og nybyg - Renovering på dagsorden*.
- Tozan, B. B. (2022). *Towards embodied carbon benchmarks for buildings in Europe: #4 Bridging the performance gap: A Performance framework*. Zenodo.
- Tozan, B., Brisson Jørgensen, E., & Birgisdottir, H. (2021). *Klimapåvirkning fra 60 bygninger: Opdaterede værdier baseret på nyere data og danske EPD'er*. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet.
- Udvikling af hjælpeværktøj til LCAbyg 5 - Et samarbejde med enfamiliehusproducenter og DK-GBC*. (u.d.). Hentet fra <https://vbn.aau.dk/en/projects/udvikling-af-hj%C3%A6lpev%C3%A6rkt%C3%B8j-til-lcabyg-5-et-samarbejde-med-enfamiliehusproducenter-og-dk-gbc>
- Zimmermann, R. K. (2020). *Klimapåvirkning fra 60 bygninger - Muligheder for udformning af referenceværdier til lca for bygninger*. BUILD.
- Aargaard, N.-J., Brandt, E., Aggerholm, S., & Haugbølle, K. (2013). *Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi*. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

Klimapotentialiet ved renovering kontra nedrivning med nybyg

Mange bygningsejere af eksisterende ældre byggeri kan stå i den situation, at de skal vælge mellem en omfattende renovering eller nedrivning/nybyggeri. I nærværende rapport belyses den klimamæssige konsekvens af dette valg ved detaljerede LCA analyser af en række faktiske cases og en række generiske modeller af typisk byggeri.