



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Klimapåvirkning fra renovering

Muligheder for udformning af grænseværdier til LCA for renovering

Lund, Alberte Mai; Zimmermann, Regitze Kjær; Kragh, Jesper; Rose, Jørgen; Aggerholm, Søren; Birgisdottir, Harpa

Publication date:
2022

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Lund, A. M., Zimmermann, R. K., Kragh, J., Rose, J., Aggerholm, S., & Birgisdottir, H. (2022). *Klimapåvirkning fra renovering: Muligheder for udformning af grænseværdier til LCA for renovering*. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet. BUILD Rapport Nr. 33

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

2022:33

Klimapåvirkning fra renovering

Muligheder for udformning af grænseværdier til LCA for renovering

*Forfattere; Alberte Mai Lund, Regitze Kjær Zimmermann, Jesper Kragh, Jørgen Rose,
Søren Aggerholm & Harpa Birgisdóttir*

Klimapåvirkning fra renovering

TITEL	Klimapåvirkning fra renovering
UNDERTITEL	Muligheder for udformning af grænseværdier til LCA for renovering
SERIETITEL	BUILD Rapport 2022:33
FORMAT	PDF
UDGAVE	1
PUBLIKATIONSÅR	2022
FORFATTERE	Alberte Mai Lund, Regitze Kjær Zimmermann, Jesper Kragh, Jørgen Rose, Søren Aggerholm & Harpa Birgisdóttir
SPROG	Dansk
SIDEANTAL	688
LITTERATURHENVISNINGER	Side 58
NØGLEORD	Grænseværdi, Renovering, Livscyklusvurdering, Miljøpåvirkning, Klimakrav
ISBN	978-87-563-2069-6
ISSN	2597-3118
FORSIDE FOTO	Regitze Kjær Zimmermann
ILLUSTRATIONER	Agnes Garnow
UDGIVER	BUILD, Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-mail: build@build.aau.dk www.build.dk

Denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

Indhold

1	Indledning	10
1.1	Baggrund for rapport	10
1.2	Renoveringspotentiale	11
1.3	Renoveringsomfanget i Danmark	12
1.4	Formål	14
2	LCA for renoveringer	15
2.1	Eksempler på LCA-metode anvendt i Danmark	16
2.2	Eksempler på LCA-metode anvendt i Europa	17
3	Metodebeskrivelse	19
3.1	Cases og metodebeskrivelse for LCA	19
3.2	Definition af renoveringstyper	22
3.3	Metoder til overholdelse af energikrav	24
3.4	Definition af grænseværdier	25
3.5	Kombination af renoveringstyper og grænseværdier	27
4	Muligheder for grænseværdier til renovering	29
4.1	Ændret anvendelse	29
4.2	Tilbygninger	31
4.3	Andre renoveringer	32
4.4	Ombygninger	36
4.5	Udskiftninger	41
4.6	Bygningsmæssige ændringer	42
5	Økonomi og klima	43
5.1	Økonomiske konsekvenser	43
5.2	Konsekvenser for klima	45
6	Perspektiv	47
6.1	Risici for omgåelse af LCA-krav ved renovering	47
6.2	LCA-metode til renovering	47

6.3	Udviklingen i emissionsfaktorer	51
7	Anbefalinger	52
7.1	Tre overordnede anbefalinger til renoveringskrav	52
7.2	Anbefaling til udvidet datagrundlag	54
7.3	Anbefaling til videreudvikling af renoveringskategorier for LCA-krav	55
8	Litteraturliste	58
9	Bilag I	60
10	Bilag II	65

Opsummering

Indledning

Ved renovering af eksisterende byggeri er det vigtigt at fremtidssikre både funktionen og anvendelsen. Dette bør så vidt muligt ske med samtidig fokus på optimering af energibesparelsen og materialevalg, hvis renoveringen skal føre til en faktisk reduktion af klimapåvirkningen. Derfor bør man altid betragte renoveringer i et livscyklusperspektiv, hvor påvirkninger fra de materialer som anvendes, regnes med. Hvis renoveringen ikke resulterer i energibesparelser, er der alene tale om en optimering ift. materialevalg.

Formål

Ligesom for nybyggeri, kan der sættes LCA-krav til renovering. Formålet med projektet er at analysere muligheden for at stille krav til klimapåvirkningen af renoveringer, hvor både selve kravet og metoden skal være operationelle og sigte mod en reduktion af CO₂-udledningen. Dette er gjort gennem en systematisk kombination af renoveringstyper og grænseværdier, som eksemplificeres gennem indsamlede renoveringsprojekter.

Kommende LCA-krav på renoveringsprojekter bør så vidt muligt formuleres, så de ikke fremmer beslutningen om at rive ned og bygge nyt, frem for at renovere. Samtidig bør et krav være med til at regulere materialevalg i en renovering, så klimabelastningen fra de nye byggematerialer bliver så lav som muligt.

Forudsætninger for analyser

Analyserne tager udgangspunkt i de eksisterende energikrav i bygningsreglementet, for på den måde at arbejde videre med en metode, der i forvejen er velkendt i byggebranchen. Der er indsamlet renoveringscases, som opdeles og analyseres ud fra renoveringstyper. Renoveringstyperne er bestemt ud fra de eksisterende energikrav i bygningsreglementet og dækker over hhv. *Ændret anvendelse, Tilbygninger, Udskiftning af bygningsdel, Ombygning og Bygningsmæssige ændringer*. Derudover er der tilføjet en ekstra kategori *Andre renoveringer* for at dække hele spektret.

Der er opstillet i alt 6 forskellige forslag til grænseværdier. Nogle er på bygningsniveau og andre på bygningsdelsniveau. Grænseværdi 1 og 2 er en samlet målestok, svarende til kravet for nybyggeri på hhv. bygnings- og bygningsdelsniveau. Grænseværdi 3 og 4 er renoveringens såkaldte klimamæssige tilbagebetalingstid på hhv. bygnings- og bygningsdelsniveau. Grænseværdi 5 bestemmes ud fra de eksisterende forhold, mens grænseværdi 6 er et krav om sammenligning af løsninger. Fordele og ulemper ved kombinationerne af typer og grænseværdier er beskrevet i rapporten.

Forkortelser:

LCA Livscyklusvurdering (Life Cycle Assessment)

FBK Den frivillige bæredygtighedsklasse

BR18 Bygningsreglementet 2018

kgCO₂ækv Enhed for klimapåvirkning (kg CO₂ ækvivalenter)

EPD Miljøvaredeklaration (Environmental Product Declaration)

KTBT Klimamæssig tilbagebetalingstid

Hovedresultater

Resultater

Der er indsamlet 29 renoveringscases, som alle er vurderet som store renoveringer, både ud fra størrelsen af renoveringsinddgrebene og bygningernes areal. Casene er derfor ikke repræsentative for typiske smårenoveringer af enfamiliehuse.

Fire cases under *Ændret anvendelse* viser stor variation i klimabelastningen fra materialer. Begrænsede energidata gør det svært at vurdere den samlede klimabelastning. Til vurderingen af cases indenfor *Ændret anvendelse* er anvendt grænseværdi 1 og 3.

I fire cases indgår en tilbygning, hvor materialernes klimabelastning fra selve tilbygningen, har en medianværdi på 6,05 kg CO₂-ækv./m²/år, hvilket er på niveau med materialepåvirkningen for nybyggeri, som har en medianværdi på 7,07 kg CO₂-ækv./m²/år. Grænseværdi 1 er undersøgt.

23 cases er kategoriseret som *Andre renoveringer* og viser en stor variation i klimabelastning fra materialer pga. den store variation af renoveringsomfang i denne kategori. Generelt er der bedre energidata på cases i kategorien *Andre renoveringer*, og der er fundet en medianværdi af den samlede klimabelastning på 7,4 kg CO₂-ækv./m²/år. For nybyg er denne medianværdi på 9,52 kg CO₂-ækv./m²/år. Grænseværdi 1 og 3 er undersøgt.

På bygningsdelsniveau analyseres *Ombygning*, *Udskiftning* og *Bygningsmæssige ændringer* ud fra grænseværdi 2, 4, 5 og 6. Her ses en udfordring ved at sammenligne

bygningssdele med forskellige udgangspunkter ift. energitilstand.

Anbefalinger

Baseret på projektets resultater, anbefales det, at der opstilles renoveringskrav, som har tæt relation til energikravene i BR18 ud fra tre overordnede forslag til krav:

1. LCA-krav til renoveringer

For alle renoveringer over 1.000 m² kan det gælde, at der enten overholdes en grænseværdi på bygnings- eller på bygningsdelsniveau. Yderligere kan det gælde, at der for alle renoveringer under 1.000 m² kan være krav om udførelse af en beregning på enten bygningsdels- eller bygningsniveau uden krav om, at en grænseværdi overholdes. Overholdelse af kravene på bygnings- og bygningsdelsniveau kan ske ved overholdelse af hhv. grænseværdi 1 (målestok for den samlede bygning) og 5 (LCA-reference som målestok for renovering).

2. LCA-krav til tilbygninger

Tilbygninger kan overholde de samme krav som LCA for nybyggeri. I første omgang kan det gælde for tilbygninger over 1.000 m². Alternativt kan der sættes krav til tilbygninger helt ned til 500 m².

3. Særlige LCA-krav til dybe renoveringer

I bygninger (over 1.000 m²), hvor der foretages dyb renovering, kan der stilles krav om, at der laves en LCA på bygningsniveau.

Det anbefales yderligere at udvide datagrundlaget for en kommende grænseværdi samt at fastlægge passende renoveringskategorier.

Summary

Introduction

When renovating existing buildings, it is important to ensure the continued function and use of the building. This should, as far as possible, be done with a simultaneous focus on optimizing energy savings and material selection, if the renovation is to lead to an actual reduction of the climate impact. Therefore, renovations should always be regarded from a life-cycle perspective, where the influence of materials are also considered. If the renovation does not result in energy savings, the optimization is purely in relation to the choice of materials.

Purpose

New construction will soon face requirements related to LCA, and similar requirements could be defined for renovations. The purpose of this project is to analyze the possibility of introducing requirements for the climate impact of renovations, where both the requirement itself and the method must be operational and aim at a reduction of CO₂ emissions. The analysis has been carried out through a systematic combination of renovation types and limit values and exemplified through collected renovation projects. It is important that future LCA requirements for renovation projects are formulated so that they do not promote the decision to demolish and build new, rather than renovate. At the same time, a requirement should help to regulate the choice of materials in a renovation, so that the

climate impact related to the new building materials is as low as possible.

Prerequisites for analyses

The proposed methods are inspired by the existing energy requirements in the building regulations, in order to continue working with a methodology that is already well known in the construction industry. Renovation cases have been collected, divided, and analyzed based on renovation types. The renovation types are categorized based on the existing energy requirements in the building regulations and cover respectively *Change of use*, *Extension*, *Replacement of building part*, *Remodeling* and *Building changes*. In addition, an additional category *Other renovations* has been added to cover the entire spectrum. A total of six different proposals for limit values have been proposed. Some are at the building level while others are at the building component level. Threshold values 1 and 2 are overall limit values, corresponding to the requirement for new construction an related to both the building and building component level. Threshold values 3 and 4 are the so-called climate payback time of the renovation at building and building component level, respectively. Limit value 5 is determined based on the existing conditions, while limit value 6 is a requirement for comparison of different solutions. Advantages and disadvantages of the combinations of types and limit values are described in the report.

Main results

Results

29 renovation cases have been collected, all of which have been assessed as major renovations, both based on the size of the renovation interventions and the area of the buildings. Cases are therefore not representative of typical small renovations related to single-family houses.

Four cases in the *Changed use* category show great variation in the climate impact from materials. Limited energy data makes it difficult to assess the overall climate impact. Limit values 1 and 3 are used for the assessment of cases within the *Changed use* category.

In four cases, an *Extension* is included, where the climate impact of the materials from the extension itself has a median value of 6.05 kg CO₂-eq./m²/year, which corresponds to the material impact for new construction (median value of 7.07 kg CO₂-equivalent/m²/year). Limit value 1 has been investigated.

23 cases are categorized as *Other renovations* and show a large variation in climate impact from materials due to the large variation of renovation scope present in this category. In general, better energy data on cases in the category *Other renovations* is available, and a median value of the total climate load of 7.4 kg CO₂-eq/m²/year has been found. For new buildings, this median value is 9.52 kg CO₂ eq./m²/year. Limit values 1 and 3 have been investigated.

At building component level, *Remodeling, Replacement and structural changes* are analyzed based on threshold values 2, 4, 5 and 6. Here, a challenge is seen in comparing building components with

different starting points in relation to energy status.

Recommendations

Based on the project's results, it is recommended that future renovation requirements should be closely related to the energy requirements in BR18 based on three overall proposals for requirements:

1. LCA requirements for renovations

For all renovations over 1,000 m², it may apply that either a limit value is observed at building or building component level. It may also apply that for all renovations under 1,000 m² there may be a requirement to carry out a calculation at either building component or building level without a specific limit value requirement. Compliance with the requirements at building and building component level can be achieved by complying with limit value 1 (scale for the entire building) and 5 (LCA reference as a scale for renovation).

2. LCA requirements for extensions

Extensions can comply with the same requirements as LCA for new construction. Initially, it may apply to extensions over 1,000 m². Alternatively, requirements can be set for extensions down to 500 m².

3. Special LCA requirements for deep renovations

In buildings (over 1,000 m²) where deep renovation is carried out, a requirement can be made that an LCA is carried out at building level.

It is also recommended to further expand the data base for a future limit value and to determine suitable renovation categories.

Forord

Byggesektoren står for 39% 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 et 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. 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 som økonomi, kvalitet og klimabelastning. Den politiske aftale beskriver, at initiativet om helhedsvurderinger ved renoveringer skal bruges med det sigte, at det skal være muligt at stille krav til klimapåvirkning ved renoveringer af bygninger. I forbindelse med dette projekt, som fokuserer på at vise mulige metoder for klimakrav ved renovering, er der sideløbende igangsat et projekt hos BUILD om Helhedsvurdering ved renovering.

BUILD – Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet København
Afdelingen for Energieffektivitet, Indeklima og Bæredygtighed

Tine Steen Larsen
Sektionsleder

1 Indledning

1.1 Baggrund for rapport

Byggesektoren er i dag ansvarlig for 39% af den globale CO₂-udledning, hvoraf 28% kommer fra energiforbruget af vores bygninger og 11% er byggematerialernes udledning. Behovet for flere bygninger vil stige i takt med befolkningstilvæksten. Byggesektoren spiller derfor en stor rolle i at nedbringe CO₂-udledningen af fremtidens byggeri (World Green Building Council, 2019).

På Europæisk plan er der fokus på, hvorledes klimabelastning fra bygninger kan nedbringes gennem forskellige initiativer, herunder regulering. Europa-Kommissionen har introduceret Level(s), som er en fælles europæisk rapporteringsmetode for bæredygtigt byggeri, hvor der indgår krav om beregning af LCA for både nybyggeri og renoveringsprojekter (Europa-Kommissionen, 2018). Metodegrundlaget i Level(s) er dog tilstrækkeligt åbent, således at det ikke giver en fastlagt fremgangsmåde for, hvordan LCA skal udføres, og det gælder derved både nybyggeri og renovering. Bygningsdirektivet, som har haft en stor betydning for nedbringelse af energiforbruget i bygninger, er under revision (Europa-Kommissionen, 2021). Heri foreslås det, at der introduceres krav til udførelse af LCA for bygninger større end 2.000 m² fra år 2027 og for alle bygninger fra år 2030. Dette vil dog kun omfatte de bygninger, som er omfattet af bygningsdirektivet. Nogle foregangslande, Holland, Frankrig, Finland, Sverige og Danmark, har allerede igangsat eller er ved at forbedre klimakrav vha. livscyklusvurderinger (LCA) på byggeri, hvor det i første omgang mest omhandler nybyggeri.

Gennem klimaloven skal Danmark være et foregangsland for den internationale indsats til reducere af de globale drivhusgasudledninger og Danmark har forpligtet sig til at reducere drivhusgasudledningerne med 70% i 2030 i forhold til udledningerne i år 1990. Målet for Danmark er at opnå klimaneutralitet i 2050 (Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2021). Som et led i at nå dette ambitiøse klimamål offentliggjorde regeringen i april 2021 for første gang en ny national strategi for bæredygtigt byggeri, der skal fungere som en sektorhandlingsplan for bygge- og anlægssektoren (Indenrigs- og Boligministeriet, 2021). En del af denne bæredygtige strategi er at indføre grænseværdier til nye bygningers klimapåvirkning i bygningsreglementet gældende fra 2023. Dette vil betyde, at det fra januar 2023 er et krav at udføre en livscyklusvurdering (LCA) af alle nybyggerier, og at bygninger over 1.000 m² skal overholde en grænse på 12 kg CO₂/m²/år for klimapåvirkning af energiforbrug og materialer. Dertil blev der introduceret en lavemissionsklasse, en frivillig CO₂ klasse med en grænseværdi på 8 kg CO₂/m²/år. Grænseværdien skal fra 2023 indgå i en trinvis stramning af CO₂-kravet, hvor der indtil videre er introduceret den forventede stramning af grænseværdier for årene 2025, 2027 og 2029. I strategien er der også nævnt et ønske om at udarbejde en metode og målestok, således at klimakrav i byggeri på sigt også kan omfatte renoveringer og ombygninger.

Nuværende erfaringer med udførelse af LCA i byggeriet i Danmark er først og fremmest kommet gennem frivillig certificering af bæredygtigt byggeri via DGNB-ordningen siden år 2012. I løbet af de 10 år med DGNB-certificering er der certificeret 167 nybyggerier, men kun 7 renoveringsprojekter (DK-GBC, 2022). Et samlet sammenligneligt datagrundlag for

klimabelastning fra nybyggeri blev etableret ved rapporten *Klimapåvirkning fra 60 bygninger, muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger* (BUILD AAU, 2020). Her indgik datagrundlag fra omkring 40 DGNB certificerede bygningscases. Der findes begrænset antal rapporter med LCA på renovering af danske bygninger. Her kan nævnes *Livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer* (Nygaard Rasmussen & Birgisdóttir, 2015), *Analyse af CO₂-udledning og totaløkonomi i renovering og nybyg* (Rambøll, 2020) og *Klimaeffektiv renovering, balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering* (BUILD AAU, 2021a). Den igangværende testfase af frivillig bæredygtighedsklasse (FBK) vil medføre yderligere erfaring med udførelse af LCA i byggeriet i Danmark. I september 2022 var i alt 58 tilmeldte projekter, hvoraf 8 projekter var renoveringsprojekter (Bolit og Planstyrelsen, 2022).

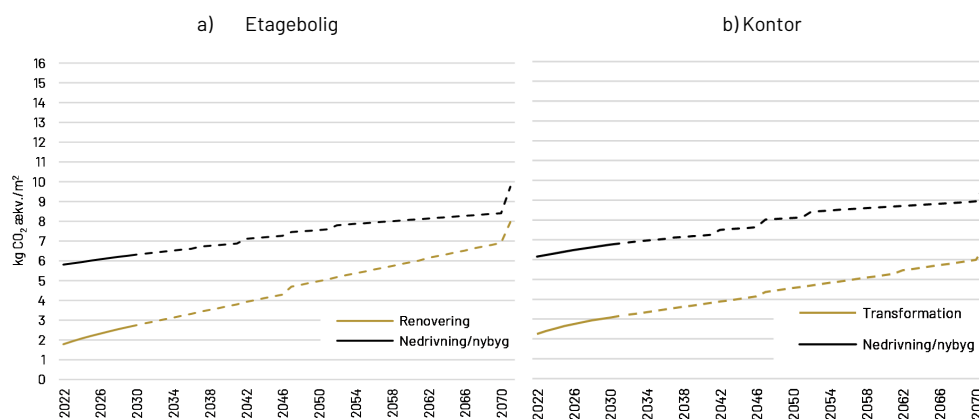
Med bygningsreglements nuværende energikrav til renoveringer er der fokus på at renovere ud fra et driftsenergimæssigt perspektiv, hvor kravniveauet til energirenoveringen er sat ud fra den økonomiske rentabilitet ved energibesparelser. De kommende klimakrav til nybyggeriet kan ikke umiddelbart anvendes på renoveringer, men som led i den nationale strategi for bæredygtigt byggeri skal det analyseres, hvordan en målestok eller en grænseværdi også kan gælde for renoveringer.

1.2 Renoveringspotentiale

For at indfri den eksisterende bygningsmasses bidrag til CO₂-besparelse har Europakommissionen lanceret initiativet *En Renoveringsbølge for Europa* (Europa-Kommissionen, 2020), som skal fremme flere og dybere energirenoveringer, livscyklustilgangen og konvertering til vedvarende energiformer. Hvis energieffektivisering skal føre til en faktisk CO₂-reduktion, må renoveringer betragtes i et livscyklusperspektiv, hvor også påvirkninger fra de materialer, som anvendes for at frembringe energibesparelsen, regnes med.

Materialeforbrug

Den eksisterende bygningsmasse har et stort potentiale for at blive bevaret og renoveret, så det kan opfylde fremtidige behov. Det er vigtigt at bevare den værdi og kvalitet af de materialer, der allerede er i det eksisterende byggeri for at reducere ressourceforbruget og dermed nedbringe drivhusgasudledninger ved byggeri. Der er endnu ikke data på omfanget af den indlejrede CO₂ i danske bygninger, men et nyt studie, der omhandler helhedsvurdering af renovering, viser en tendens til et større klimapotentiale ved at udføre omfattende renoveringer af store bygninger frem for at rive den eksisterende bygning ned og bygge nyt. Dog er det afgørende, hvornår emissionerne sker i løbet af bygningens levetid. I Figur 1a, der viser beregningen for en omfattende renovering af et etageboligbyggeri, og Figur 1b, for en transformation af et stort kontorbyggeri, ses den samlede akkumulerede klimabelastning over 50 år for energi- og materialeforbrug for både renoveringsscenariet (brun kurve) og nybyg-scenarie af en tilsvarende bygning (sort kurve).



Figur 1 Akkumuleret klimabelastning over 50 år for et renoveringsscenarie og et nybyg-scenarie af en tilsvarende bygning af a) en etagebolig og b) en kontorbygning.

Det ses på begge grafer, at renovering vil resultere i en lavere klimabelastning end at rive ned og bygge nyt. Studiet omfatter også en tilsvarende beregning for en renovering af et enfamiliehus, der dog viser at renoveringen efter 50 år vil resultere i en højere klimabelastning grundet det højere energiforbrug (BUILD AAU, 2022).

Ved renovering af eksisterende byggerier gælder det om at optimere bygningen for at fremtidssikre både funktionen og anvendelsen og udnytte værdien af materialerne samtidig med, at der opnås et lavt driftsenergiforbrug. På den måde kan man levetidsforlænge de eksisterende bygninger. Derudover har det også betydning for hvilke materialer, der anvendes i en renovering. Det er vigtigt, at et materialevalg også træffes ud fra et klimamæssigt perspektiv, så der inden for den enkelte renovering fokuseres på, hvordan og om klimabelastningen kan reduceres fra materialerne.

Driftsbesparelse

Potentialet for driftsbesparelser ligger primært i den ældre bygningsmasse. Ca. 70% af det samlede opvarmede etageareal er opført før 1979, hvor energikravene til nye opvarmede bygninger blev indført. 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 (BUILD AAU, 2021c). Heri er modregnet, at indetemperaturen ofte hæves et par grader ved en energirenovering og dermed reducerer besparelspotentialet. Kravniveauet i BR18 vil være en markant og ambitiøs efterisolering for de fleste ældre bygninger.

1.3 Renoveringsomfanget i Danmark

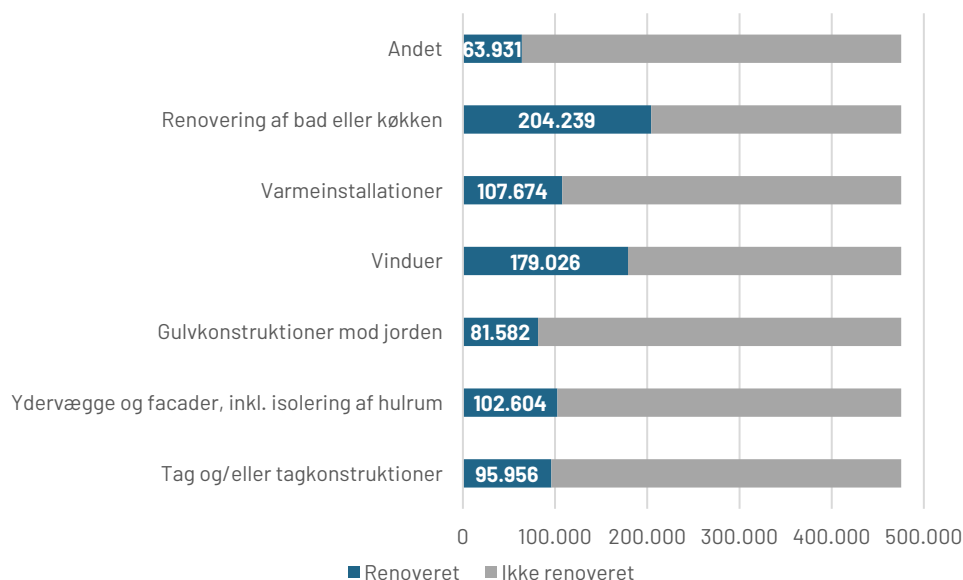
I ønsket om at skabe et indblik i renoveringsomfanget samt typen af renoveringer, der generelt udføres i Danmark, er der foretaget en gennemgang af nyeste indsamlede data. Denne gennemgang er baseret på rapporten *Analyse af efterlevelse af bygningsreglementets energikrav ved renovering af eksisterende bygninger samt omfanget af renovering*, der har kortlagt omfanget og typen af renoveringer i årene 2019-2020 ud fra kvantitative interviews (Viegand Maagøe A/S & Wilke A/S, 2021). De adspurgte til denne rapport dækker over private parcelhusejere, ejendomsadministratorer, kommuner, håndværkere og rådgivere. Baseret på besvarelser i denne undersøgelse og dataudtræk på antal af bygninger fra BBR-registeret, er der foretaget en vurdering af renoveringsomfanget på landsplan. Grundet forskellighed i spørgsmål og besvarelser mellem de seks adspurgte grupper, har det kun været muligt at foretage dette for parcelhuse og etageboligbyggerier. For parcelhuse er der i BBR udtrukket data på småhuse, der dækker over stuehuse, fritliggende parcelhuse og rækkehuse. Det totale antal af småhuse og etageboligbygninger, der er anvendt til at skalere renoveringer op på landsplan kan ses i Tabel 1.

Tabel 1 – Antal af småhuse og etageboligbygninger udtrukket fra BBR-registreret december 2020

Bygningstype	Antal bygninger
Småhuse	1.448.664
Etageboligbygninger	94.649

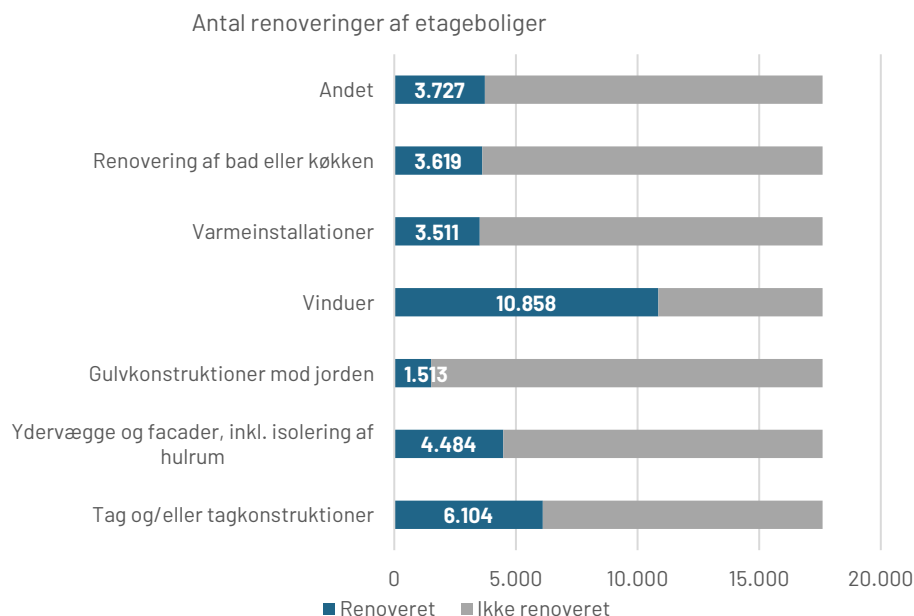
Undersøgelsen viser, at der i årene 2019-2020 var 33% af parcelhusejere, der renoverede deres bolig. Dette svarer til 475.450 småhuse i Danmark. På Figur 2 ses det, hvordan typen af renovering fordeler sig inden for de 475.450 renoverede småhuse. På figuren ses det, at renovering af køkken og bad er den hyppigste renoveringstype. Samlet set resulterer det i 204.239 renoveringer, hvilket svarer til 43%. For klimaskærmen foretages der flest vinduesudskiftninger, 38%, og i et samlet perspektiv svarer de til 179.026 tilfælde. Herefter er renovering af varmeinstallationer den hyppigste renoveringstype og kan antages at være udført i 107.674 tilfælde. Renovering af ydervægge og tage kan betragtes at forekomme stort set i hhv. 20% og 22% af renoveringerne. Dette svarer til hhv. 102.604 ydervægsrenoveringer og 95.956 tagrenoveringer i småhuse.

Antal renoveringer af småhuse



Figur 2 Antal renoveringer af småhuse opgjort efter renoveringstype baseret på (Viegand Maagøe A/S & Wilke A/S, 2021) og opskaleret til landsplan ved brug af BBR.

For etageboligbygninger er der ifølge de adspurgte udført renoveringer i 19% byggerierne i årene 2019-2020. Dette svarer til at 17.610 etageboligbyggerier er blevet renoveret i hele Danmark. Af Figur 3 ses hyppigheden af renoveringstiltagene for denne bygningstype. Her er det igen vinduer, der udskiftes oftest inden for klimaskærmen og er det hyppigste renoveringstiltag på tværs af de syv kategorier. Dette udføres i 62% af renoveringerne og svare til 10.858 vinduesudskiftninger. Dernæst foretages der flest tagrenoveringer, i 6.104 tilfælde, og 4.484 renoverer ydervæggen.



Figur 3 Antal renoveringer af etageboligbygninger opgjort efter renoveringstype baseret på (Viegand Maagøe A/S & Wilke A/S, 2021) og opskaleret til landsplan ved brug af BBR

1.4 Formål

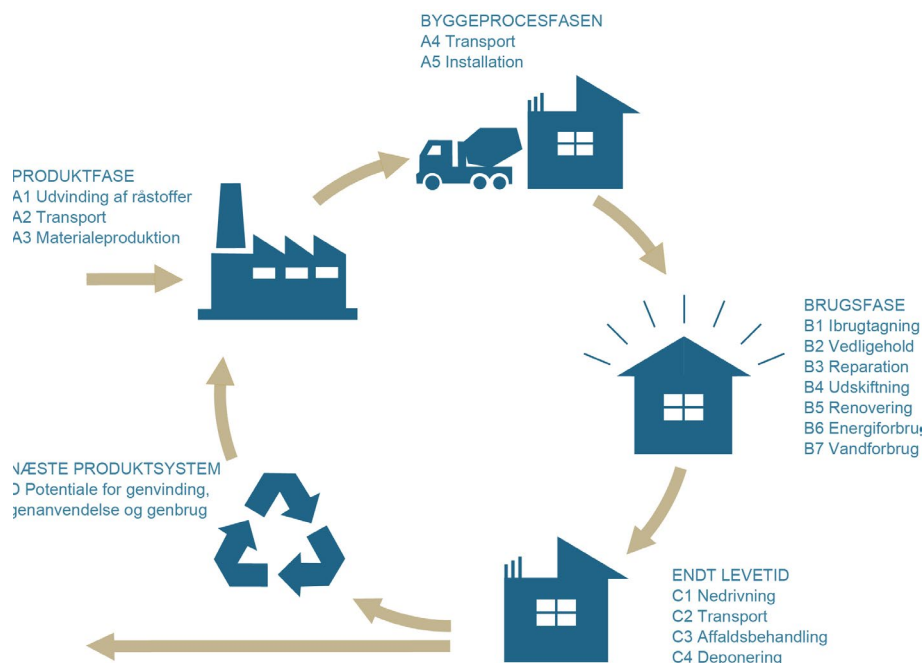
Rapporten er en præsentation af de undersøgelser, der er udarbejdet gennem projektet "Udvikling af grænseværdier samt opsamling af data fra byggerier og analyser af de klimamæssige og økonomiske effekter" afviklet i perioden september 2021 til september 2022. Formålet med projektet er at analysere muligheden for at stille krav til klimapåvirkningen af renoveringer, hvor både selve kravet og metoden skal være operationelle og sigte mod den ønskede reduktion af CO₂-udledning. Dette er gjort gennem en systematisk kombination af renoveringstyper og grænseværdier, som eksemplificeres gennem indsamlede renoveringsprojekter.

Det er formålet med analysen at tage udgangspunkt i eksisterende renoveringskrav for energi i bygningsreglement for at arbejde ud fra begreber og metoder, der er velkendte og veletablerede i byggebranchen.

Projektet skal understøtte det kommende krav om LCA og grænseværdier, som fra 2023 bliver et obligatorisk krav i Bygningsreglementet for nybyggeri, samt opbygge viden, datagrundlag og undersøge muligheder for kommende målestok eller grænseværdier for klimakrav for renoveringer. Formålet med kravene vil være at styrke beslutningen om at renovere, for på den måde at bevare den eksisterende bygningsmasse og dermed den indlejrede CO₂ i konstruktionerne. På samme tid bør et kommende krav fremme renoveringsløsninger, der sikrer mindst muligt CO₂-aftryk af de byggematerialer, der tilføres under en renovering.

2 LCA for renoveringer

Miljøpåvirkningen af et byggeri beregnes gennem en standardiseret livscyklusvurdering (LCA) i henhold til DS/EN 15978 (Dansk Standard, 2012), der indeholder byggeriets faser gennem hele levetiden af en bygning. Med et langsigtet perspektiv er det muligt at medtage de miljøpåvirkninger der sker ved opførelsen af et byggeri, under brugen og driften af bygningen samt ved endelig nedrivning af bygningen. Denne helhedsbetragtning er opdelt i fem livscyklusfaser, der derunder indeholder 17 livscyklusmoduler. De fem livscyklusfaser er; Produkt, Byggeproces, Brug, Endt levetid og Udenfor system (Figur 4). I Danmark regnes en LCA af byggeri i en betragtningsperiode på 50 år. Denne betragtningsperiode svarer ikke til den forventede levetid af en bygning, men anvendes som tidshorisont for beregningen.



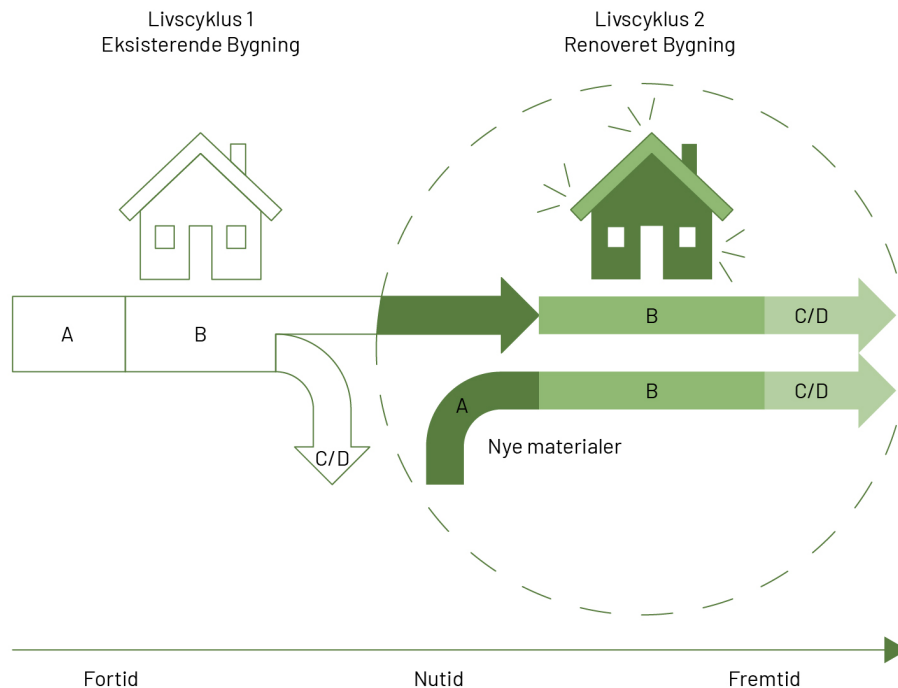
Figur 4 Bygningens livscyklus

Renovering har sin helt egen fase i modulet B5, men her er det tænkt som et scenarie-baseret modul. Dette modul kan derfor bruges for at medtage forventede fremtidige renoveringer over bygningens levetid når der laves en LCA på et nybyggeri. Når der skal laves en LCA på en bygning som skal renoveres i dag, skal produktion af byggematerialer der bruges til renoveringen allokere til A-faserne. Det fremgår ikke af standarden hvordan eksisterende materialer i bygningen, som ikke bliver berørt af renoveringen, skal medtages.

Renoveringsprojekter vil bestå af både *nye materialer*, der tilføres under renoveringen, og *eksisterende materialer* som enten nedrives ved renovering eller bevares i bygningen. Der introduceres dermed en livscyklus før renoveringen, der repræsenterer den eksisterende

bygning, hvoraf miljøpåvirkninger fra produkt- og brugsfasen af den eksisterende bygning, allerede er sket, se Figur 5.

To livscyklusser leder LCA-beregningen op til en metodisk problemstilling, hvor både de eksisterende materialer og nye materialer skal håndteres. For nye materialer vil beregningen svare til metoden for nybyggeri med alle livscyklusfaser fra Produkt til Endt levetid (Figur 5). De eksisterende materialer vil både indgå som en del af cyklus 1 og cyklus 2 og det er derfor nødvendigt at fastlægge en metode for, hvordan miljøpåvirkning skal allokere mellem de to cyklusser (Figur 5).



Figur 5 Renoverings-LCA er et overlap mellem to livscyklusser: Den eksisterende bygning, og den renoverede bygning. For at vurdere klimapåvirkninger fra renoveringsprojektet, er det nødvendigt at fastlægge en metode for, hvordan miljøpåvirkning skal allokere mellem de to cyklusser.

2.1 Eksempler på LCA-metode anvendt i Danmark

I Danmark er der begrænset erfaring med udførelse af LCA på renoveringer. Der er gennem testfasen af den frivillige bæredygtighedsklasse og certificeringssystemet DGNB beskrevet to forskellige metoder til beregning af LCA på renoveringer.

Frivillig bæredygtighedsklasse (FBK)

I august 2022 var 58 projekter tilmeldt i testfasen af FBK, hvoraf 8 projekter var renoveringsprojekter. I FBK er kravet at hele bygningen skal medtages i beregningen. Det betyder at der skal kortlægges materialer fra både den eksisterende bygning og de nye materialer, der tilføjes ved renovering. Af de eksisterende materialer vil nogle materialer blive nedrevet i renoveringsprocessen. For disse materialer beregnes påvirkninger fra Endt levetid. For de eksisterende materialer der bevares i bygningen, medtages udskiftninger (B4) og Endt levetid (C3 og C4). For nye materialer medtages produktion (A1-3), byggeplads (A4 og A5), udskiftninger (B4) og Endt levetid (C3 og C4). Da man skal medtage udskiftninger for eksisterende materialer, skal man bestemme en restlevetid for materialerne. Fase D og exD (uden for systemgrænse) beregnes separat. Driftsenergiforbruget (B6) medtages

ved at bestemme energiforbruget for den renoverede bygning via en energirammeberegning. Der regnes over en betragtningsperiode på 50 år. Der er ikke nogen referenceværdi for renoveringer i FBK.

DGNB i Danmark

I august 2022 var der i alt certificeret 174 byggerier, hvoraf 7 bygninger var større renoveringer. DGNB-certificering ved renoveringer er tiltænkt større renoveringer. Der anvendes samme manual som for nybyggeri og fokus har været på de nye materialer der tilføjes bygningen. I DGNB har man indtil nu arbejdet med kun at medtage de nye tiltag i bygningen, dvs. de nye materialer der tilføjes til bygningen ved renovering. For disse materialer er der regnet produktion (A1-3), udskiftninger (B4), og Endt levetid (C3 og C4). Da der endnu ikke er fastlagt en metode for hvilke materialepåvirkninger, der skal med i renoverings-LCA, medtages kun i nogle tilfælde nedrivning af de eksisterende materialer i bygningen som sker ved renoveringsindgrebet. I LCAbyg v3 og v4 har denne nedrivning ligget i C3 og C4, men i den nye version vil det ligge i C3ex og C4ex (for eksisterende byggeri). Til LCA'en indgår også driftsenergiforbruget (B6) for den renoverede bygning bestemt ved en energirammeberegning. Betragtningsperioden er 50 år som for nybyggeri.

I DGNB er man også begyndt at medtage byggepladsen (A4 og A5) både for nybyg og større renoveringer. Det indgår dog ikke i overholdelse af referenceværdien, da referenceværdien ikke medtager A4 og A5. Fase D, "uden for systemgrænse", medtages også separat. I DGNB bruges den samme referenceværdi for renovering som for nybyg. Selvom materialeforbruget er lavere for renoveringsprojekter, er energiforbruget til gengæld typisk højere.

2.2 Eksempler på LCA-metode anvendt i Europa

I andre lande i Europa arbejdes der også med LCA af renovering i begrænset omfang som i Danmark. Der er dog endnu ikke nogen lande, hvor den nationale lovgivning har opstillet grænseværdier til LCA ved renovering.

Store gennemgribende renoveringer medtages sammen med nybyggeri i mange standarder for LCA på bygninger, eller i bæredygtige bygningscertificeringer, hvor LCA indgår. Det gælder fx det nye europæiske framework for bæredygtigt byggeri, Level(s). Store renoveringer medtages også i fx det tyske BNB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 2022), er en certificering for offentligt byggeri og i standarden for bygnings-LCA i Schweiz, som er lavet af organisationen for ingeniører og arkitekter (SIA). I Schweiz opstilles også grænseværdier specifikt for renoveringer. Grænseværdierne er opdelt i indlejrede påvirkninger, driftspåvirkninger, og påvirkninger fra transport for bygningens brugere. Grænseværdierne opstilles for kategorierne klimapåvirkning, primær energi og ikke-fornybar primær energi. Der gælder ikke nogen lovkrav om at overholde disse grænseværdier.

Definitionen af en stor renovering er sjældent entydig. I energisammenhænge kan en stor renovering defineres ud fra hvor stor en andel af klimaskærmen som renoveres eller prisen af projektet (Europa-Kommissionen, 2021), som der henvises til i Level(s). Lidt anderledes ser det ud i de europæiske standarder for bæredygtigt byggeri og anlæg, hvor der er kommet et udkast til en ny europæiske standard for bæredygtig renovering ("nyindretning") af bygninger (CEN/TC 350, 2022). Her defineres renovering som et større indgreb, hvor der også indtænkes ændring i "space plan", og altså ikke kun fx energimæssige tiltag.

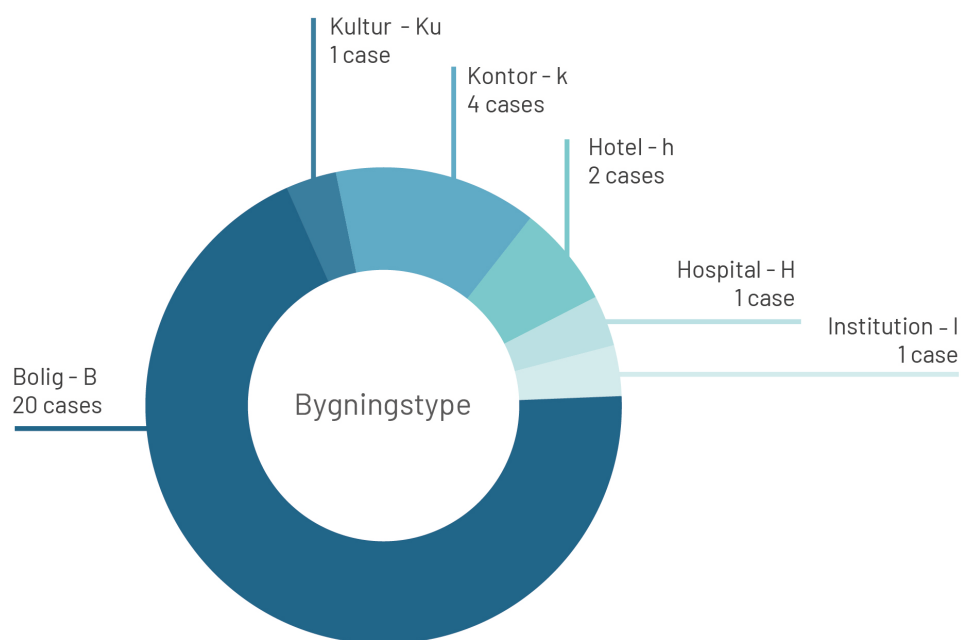
I de benyttede LCA-metoder, medtages påvirkning fra eksisterende materialer typisk kun i begrænset opfang, fx fra udskiftninger i brugsfasen af de eksisterende materialer. Men der findes enkelte ordninger, herunder en Fransk certificeringsordning HQE, hvor det

medtages i større grad med fx "restpåvirkninger" fra produktion af materialer, som ikke har udtjent deres estimerede levetid på tidspunktet for renovering.

3 Metodebeskrivelse

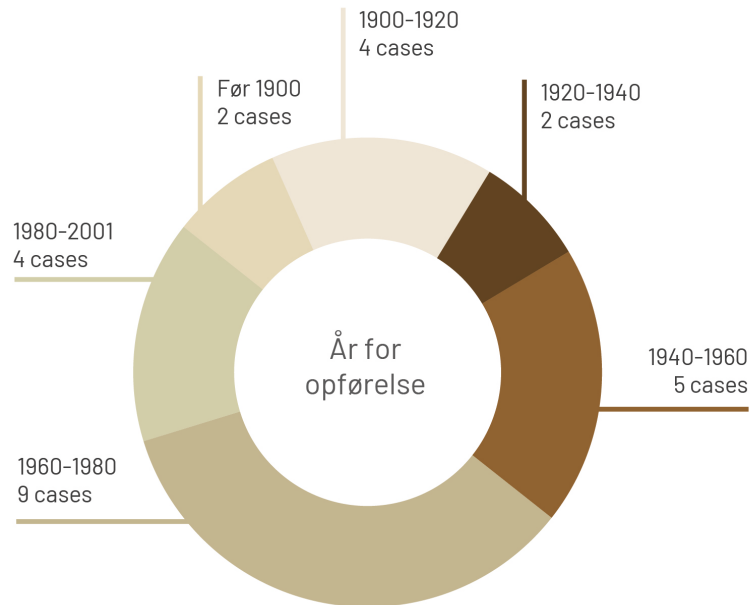
3.1 Cases og metodebeskrivelse for LCA

Idet LCA sjældent anvendes ved renoveringer var der et meget begrænset datagrundlag til rådighed, som direkte kunne anvendes til denne analyse. Derfor bestod den første del af projektet af en søgning efter cases hos danske aktører i branchen. Forud for beregningerne er der derfor indsamlet data på 29 renoveringscases som blev gjort tilgængelige for dette projekt, og som anvendes til at understøtte vurderingen af metoder for opstilling af grænseværdier. Ud fra indsamling af data og beregning af virkelige renoveringscases er det muligt at erfare, hvilken type af renoveringer der blev udført i de 29 cases, hvor meget data der er tilgængeligt samt datakvaliteten og hvor høj klimabelastningen er. Casene er en blanding af DGNB-certificerede byggerier, almene boligprojekter og få andre projekter, som BUILD fik adgang til hos branchens aktører. De 29 cases fordeler sig på 20 beboelsesbygninger, 4 kontorbygninger, 2 hoteller, 1 hospital, 1 institution og 1 kulturbyggeri, se Figur 6.

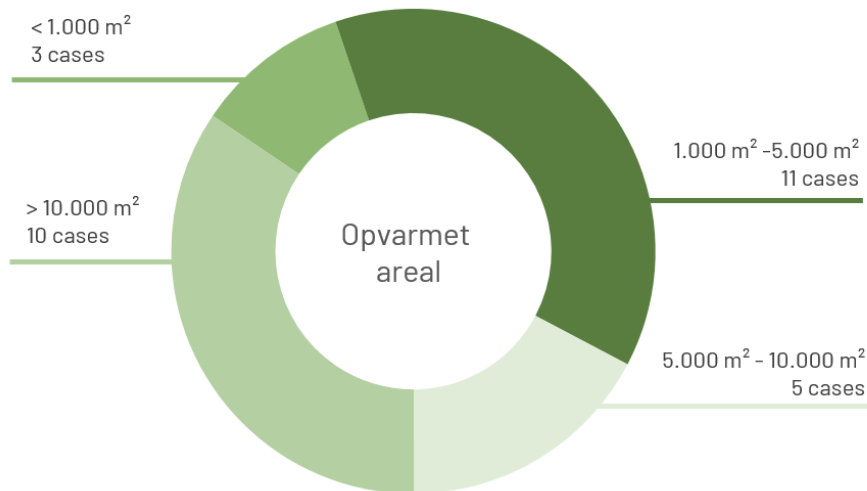


Figur 6 Fordeling af renoveringscases efter bygningsanvendelse

Ud over forskel i bygningsanvendelsestypen varierer bygningerne også ift. opførelsesår (fra 1905 til 2001). Af Figur 7 ses det, at der er flest bygninger opført i perioden 1960-1980. I Figur 8 er fordelingen opgjort ud fra et arealinterval af bygningerne, der viser at 26 ud af 29 cases har et areal over 1.000 m², hvoraf 11 ligger i intervallet 1.000-5.000 m² og 10 ligger i intervallet <10.000 m². Der er dermed tale om store renoveringsprojekter. Af de tre cases under 1.000 m² er der kun repræsenteret ét enfamiliehus.



Figur 7 Fordeling af renoveringscases efter opførelsesperiode og areal (over 1.000 m²)



Figur 8 Fordeling af renoveringscases efter opvarmet etageareal

Omfanget af renoveringstiltag

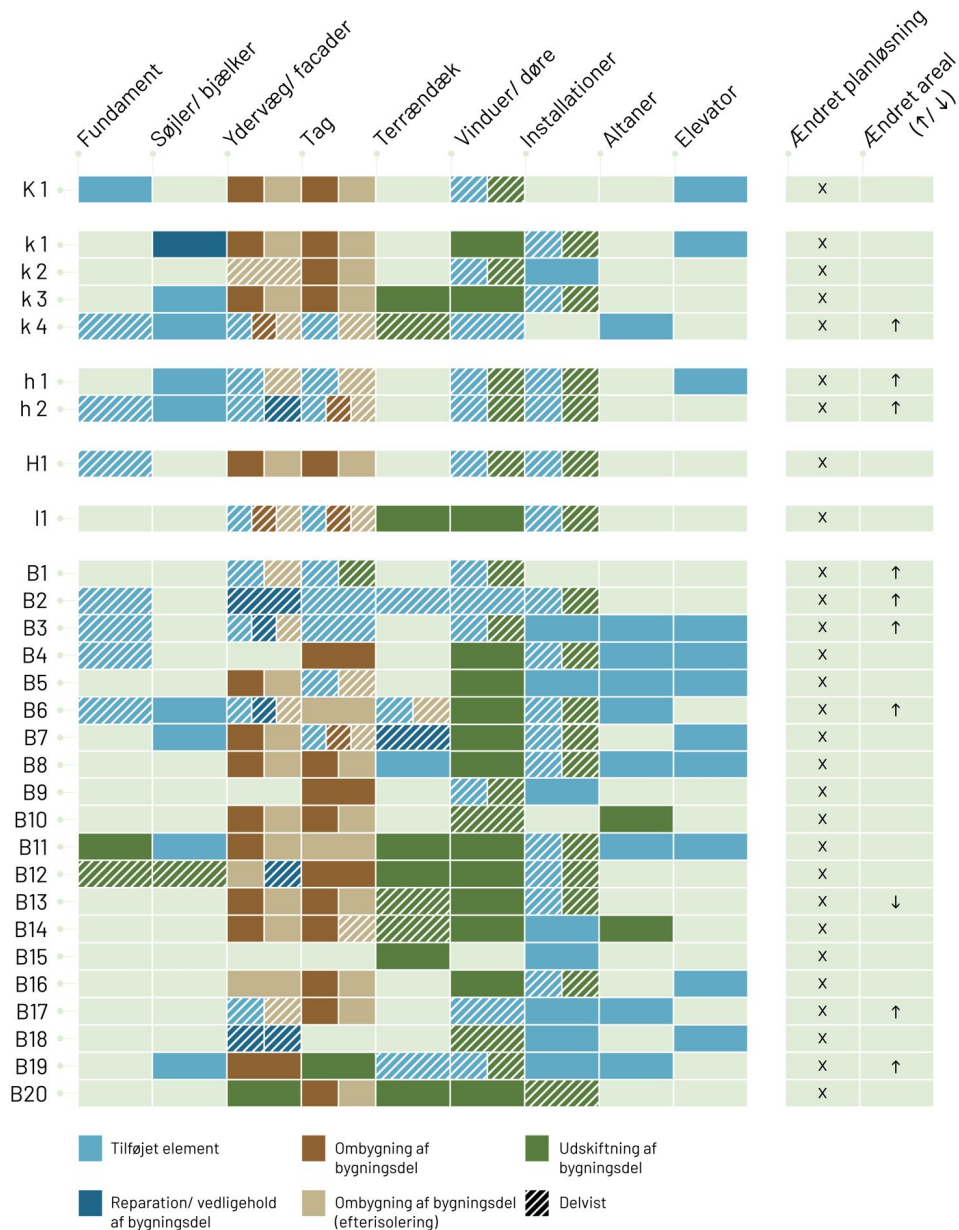
Omfanget af renoveringen og typen af renoveringstiltag, der indgår i hver af de 29 cases fremgår af Figur 9. Her er der ud fra ni kategorier indikeret hvilke bygningsdele, der gennemgår en renovering samt hvilke bygningsdele, der tilføjes til bygningen.

Derudover fremgår det i højre side af Figur 9 om renoveringen medfølger en ændring i planløsningen og om renoveringen påvirker etagearealet enten i form af en tilbygning, der giver en arealforøgelse, ↑, eller nedlægning af areal, ↓. Her er det i 8/9 tilfælde en arealforøgelse.

Af Figur 9 ses det, at udskiftning og tilføjelse af vinduer er det hyppigste renoveringsindgreb. Generelt ses det for tag- og ydervægsrenovering, at renoveringsindgrebet medfølger en efterisolering af bygningsdelen, der påvirker energiforbruget. I de fleste tilfælde vil renoveringen også indebære nye installationer til

ventilation, vand og varme. Bemærk at Bolig B2 kun består af tilføjede elementer, eftersom renoveringsprojektet stort set består af en tilbygning.

23 ud af 29 renoveringer omfatter minimum en ombygning eller udskiftning af tre bygningsdele i klimaskærmen. Samtidig medfører renoveringen i alle 29 cases en ændring i planløsningen, hvilket indebærer udskiftning af indvendige vægge, gulve og lofter. De indsamlede cases kan dermed betragtes som store renoveringer og kan derfor ikke give et billede af, de scenarier, hvor der udføres en mindre renovering i en bygning.



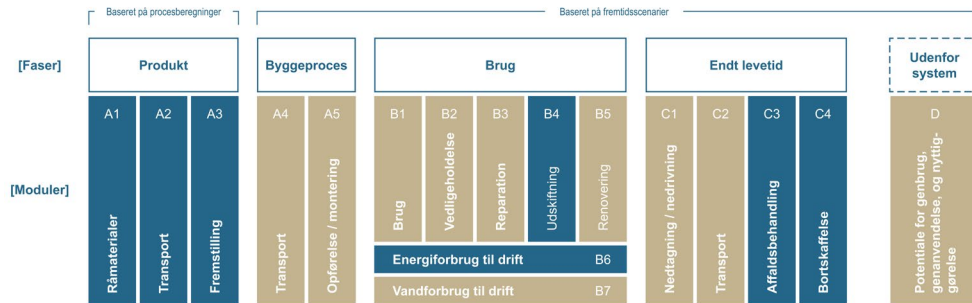
Figur 9 Omfanget af renoveringen og typen af renoveringstiltag, der indgår i hver af de 29 cases

Det begrænsede datagrundlag for LCA på renoveringer er problematisk ift. at opstille en velfunderet metode og målestok for grænseværdier for klimabelastningen for renovering. Idet der hidtil ikke har været stor tradition for at udføre LCA på bygningsrenoveringer i Danmark har en forholdsvis stor del af projektføløbet handlet om at fremskaffe adgang til

data på renoveringsprojekter som kunne anvendes til analyser, tilpasse data, udføre livscyklusvurderinger og energiberegninger. Trods forskellige henvendelser til branchen har det inden for projektets rammer kun været muligt at udføre analyser på 29 bygningscases.

Metode for LCA

LCA-beregningen følger beregningsmetoden i standarden EN 15978 for vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet. Beregningen medtager de samme livscyklusfaser og -moduler (se figur 10) som indgår i det kommende krav for beregning af klimabelastning for nybyggeri. Det samme gælder afgrænsning af de bygningsdele som indgår i beregningen, når der laves LCA på renovering af hele bygninger. Dette betyder at der fx ikke indgår materialer til køkken og badeværelser, selvom dette udgør en væsentlig del af renoveringer af eksisterende bygninger. Beregninger udføres i LCAbyg 5 (BUILD, 2022). Der medtages ikke klimabelastning fra eksisterende materialer. De eksisterende materialers betydning undersøges nærmere i afsnit 6.2.



Figur 10 Udvalgte livscyklusfaser og -moduler jf. LCA-krav for nybyggeri i BR18

3.2 Definition af renoveringstyper

De kommende LCA-krav kan med fordel tage afsæt i nuværende krav til renoveringer i bygningsreglementet. Til denne analyse er der valgt at tage udgangspunkt i energikravene, når der skal renoveres og dermed de definerede renoveringstyper, der fremgår herunder.

Bygningsreglementet har siden 2006 stillet krav om at der for nogle typer af renoveringsarbejder skal opnås energibesparelser ved at efterisolere, hvis det er rentabelt og ikke medfører risiko for fugtskader. I forbindelse med et eventuelt krav ift. LCA for renoveringer, giver det god mening så vidt muligt at anvende og fastholde bygningsreglementets definitioner.

For at forstå bygningsreglementets (BR18, 2022) renoveringskrav er det nødvendigt at forstå de forskellige typer/situationer af renovering. Ved renovering skelnes der i bygningsreglementet mellem følgende situationer:

Ændret anvendelse

Ændret anvendelse er når ét rum, flere rum eller bygning ombygges til et nyt formål med et væsentligt højere driftsenergiforbrug – fx at et udhus eller en udnyttelig tagetage inddrages til beboelse, eller et pakhus eller en stald bygges om til kontorer. Energikravet ved ændret anvendelse (§ 267) kan overholdes ved at benytte en energirammeberegning eller overholdelse af U-værdikrav i § 268. Byggetekniske forhold kan betyde, at man ikke kan overholde fx kravene til linjetab. Der kan i de tilfælde kompenseres for dette med andre energimæssige løsninger (§ 269), fx merisolering, solvarmeanlæg, varmepumpeanlæg, eller solceller. Dette kan eftervises ved en varmetabsberegning (§ 271-272) eller energirammeberegning.

Tilbygninger

Når der opføres flere kvadratmeter i tilknytning til en eksisterende bygning, er der tale om en tilbygning. Det kan fx være en ny fløj eller en ny tagetage med tagboliger, der giver ekstra areal. Energikravet for tilbygningen skal opfyldes ved at bruge en energiramme, en varmetabsramme eller ved at de enkelte konstruktioner isoleres, så de opfylder U-værdi-kravene i § 268. Benyttes energirammen for tilbygninger, gælder energirammen kun for tilbygningen. Størrelsen af energirammen for tilbygningen beregnes på grundlag af arealet af den samlede bygning. Alternativt kan kravene overholdes ved at overholde U-værdierne i § 268 eller varmetabsrammen i § 272.

Udskiftning af bygningsdel (fx udskiftning af en hel tag- eller gulvkonstruktion).

Hvis en bygningsdel helt demonteres/nedrives uden at der bevares noget af bygningsdelen inklusiv de bærende bygningsdele, og der i stedet opbygges en hel ny bygningsdel, er der tale om udskiftning af en bygningsdel. I de tilfælde, hvor der er tale om udskiftning af en bygningsdel, skal bygningsdelen altid isoleres mindst svarende til kravet i § 279, uanset rentabilitet. Bemærk at erstatning af fx en tagbelægning eller en træbeklædning i bygningsreglementet kategoriseres som en ombygning af en bygningsdel.

Ombygning (fx ny tagbelægning eller facadebeklædning).

Definitionen af ombygning er central i forhold til at forstå renoveringskravet fuldt ud. Ved ombygning udfører man 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. Ved et ombygningsarbejde vil de bærende elementer i bygningsdelen typisk ikke blive erstattet af nye. Hvis der er tale om en ombygning stiller bygningsreglementet krav om at der efterisoleres, hvis det er rentabelt og ikke medfører risiko for fugtskader.

Bygningsmæssige ændringer

Bygningsreglementet stiller også energikrav ved konstruktionsmæssige ændringer af bygningsdele (§ 270), som fx at etablere en ny tagkvist eller et nyt vinduesparti i facaden. Ændringerne skal overholde krav U-værdi/linjetab jf. § 268. Kan kravene ikke overholdes kan der kompenseres med andre energimæssige løsninger. Dette kan eftervises ved en varmetabsberegning (§ 271-272) eller energirammeberegning.

Reparationer (fx udskiftning af et par tagsten, malerarbejde, puds reparationer)

Reparationer dækker over mindre ændringer, der ikke udløser krav om gennemførelse af rentable energibesparelser. Det er typisk mindre arbejder, som for eksempel pudsreparation af en facade, udskiftning af et enkelt spær eller enkelte brædder på en facade eller malerbehandling. Ved skader efter f.eks. en storm, et rørbrud eller en mindre rådskaade, hvor størstedelen af bygningsdelen ikke er omfattet, vil der i de fleste tilfælde være tale om mindre reparationer, der ikke udløser krav om rentabel efterisolering.

Andre renoveringer

"Andre renoveringer" er ikke en kategori fra bygningsreglementet, men tilføjes i denne rapport for at dække renoveringer på bygningsniveau, som hverken er tilbygning eller ændret anvendelse. Det betyder også at den kan indeholde et bredt udsnit af renoveringstyper; fra enkelte indgreb til dybe renoveringer og transformationer.

En dyb renovering kan ifølge standarden EN 15978 defineres som en modernisering og istandsættelse i en grad, der forbedrer den eksisterende bygnings forhold til et acceptabelt niveau (Dansk Standard, 2012). Mere konkret kan en dyb renovering i denne rapport betragtes som en renovering, der omfatter mere end én bygningsdel i klimaskærmen, f.eks. tag og vinduer.

3.3 Metoder til overholdelse af energikrav

Renoveringsklasser

Bygningsreglementet har siden 2015 også indeholdt en frivillig mulighed for at bygherre kunne lave en mere holistisk renovering af en bygning, hvor kravet hæves fra bygningsdels-/komponentniveau til bygningsniveau i form af en energiramme. Formålet med de frivillige renoveringsklasser er bl.a. at give et alternativ til opfyldelse af bygningsreglementets komponentkrav i kapitel 11 § 274 - § 279 gældende for ombygninger. Ved brug af energirammen for eksisterende byggeri vil de enkeltstående bindinger på hver bygningsdel ikke optræde, hvorfor der er frihed til for eksempel at vælge bedre isolerende vinduer og øge loftisoleringen for derved at mindske facadeisoleringstykkelse. Det giver ambitiøse bygherrer og bygningsdesignere en større metodefrihed. Ved en total udskiftning af en bygningsdel eller installation skal kravene i kapitel 11 § 257 og § 258 dog altid overholdes.

Undtagelser

Fredede eller bevaringsværdige bygninger, som kirker mv. er i forskellig grad undtaget renoveringskravene. Ligeledes kan renovering der medfører risiko for fugtskader være undtaget for kravene, som fx renovering af kældre, gulve og indvendigt renoveringsarbejde af ydervægge.

Energirammeberegning (energibehovsberegning)

Kravene til nybyggeri, tilbygninger, ændret anvendelse samt renoveringsklasser kan baseres på en energirammeberegning. Beregningen skal eftervisse at bygningens beregnede energibehov er mindre end den i bygningsreglementet fastlagte energiramme. Der er tale om en standardiseret beregning af behovet for leveret energi til bygningen til opvarmning, ventilation, varmt vand, køling og eventuel belysning, multipliceret med relevante energifaktor for hver energibærer.

Varmetabsrammeberegning

En varmetabsrammeberegning består af to delberegninger. I den første delberegning bestemmes hvor meget varme, en tilbygning eller en bygning der ændrer anvendelse, ville have behov for, hvis den var opført så den netop opfyldte U-værdi-kravene i § 268 og med et vinduesareal på 22 pct. Herefter foretages en beregning med de faktiske U-værdier, linjetab og vindues-/dørarealer. Er beregningen af varmetabet med de faktiske forhold mindre end rammen fundet ved den først beregning er kravet opfyldt.

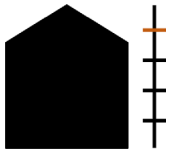
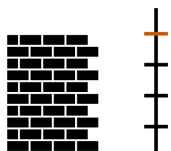
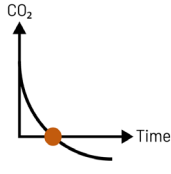
Beregning af energibesparelse for enkelttiltag

Beregningen af en energibesparelse for et enkelttiltag, fx efterisolering af en ydervæg, kan baseres på den såkaldte graddøgn-metode, hvor man benytter forskellen i U-værdien før og efter renoveringen til at fastlægge en omtrentlig forventet besparelse. Metoden kan anvendes i bygninger med opvarmningsbehov i perioden medio september til medio maj og ved en rumtemperatur på 20 °C. Såfremt indetemperaturen afviger fra dette, kan antallet af graddage/gradtimer korrigeres. Danmark har 3.765 graddage/år, svarende til 90.360 gradtimer, og energibesparelsen kan beregnes ved formlen: $(U_{\text{før}} - U_{\text{efter}}) \times 90,36$ [kWh/år pr. m²].

3.4 Definition af grænseværdier

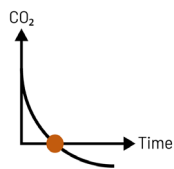
Der opstilles seks løsningsforslag til en potentiel grænseværdi for renoveringer. De seks løsningsforslag er defineret med henblik på at favne løsninger på bygningsniveau, hvor bygningen ses om en helhed samt på bygningsdelsniveau, hvor bygningsdele kan betragtes hver for sig. Derudover skal løsningsforslagene afspejle en variation i kompleksiteten af beregningen, når grænseværdien skal overholdes.

Tabel 2 Definitioner af grænseværdier

<p>Grænseværdi 1 – Målestok for den samlede bygning</p>  <p>Denne grænseværdi ser bygningen som helhed i tråd med kravet for nybyggeri, ud fra en grænse for renoveringens samlede klimapåvirkning, der medtager påvirkning fra materialer og driftsenergi. Den kan relateres til renoveringsklasserne, hvor man som bygherre ser renoveringen på bygningsniveau.</p> <p>Databehov: Skal der sættes grænseværdier til den samlede bygning er det nødvendigt at udføre en fuld LCA af hele renoveringen, hvor alle materialer skal kortlægges. Materialekortlægningen bør indeholde alle aktiviteter i byggeriet over en betragtningsperiode på 50 år. Dette indebærer både de eksisterende materialer, der nedrives enten under renovering eller efter 50 år samt de tilførte materialer. Samtidig er det nødvendigt at udføre en energirammeberegning af bygningen for at medtage varme- og elbehov i beregningen.</p>
<p>Grænseværdi 2 – Målestok for renovering af bygningsdel</p>  <p>Her betragtes de renoverede bygningsdele separat, hvor der indføres en særskilt kravværdi til hver enkelt bygningsdel. Kravværdien vil både gælde for påvirkningen fra materialer og driftsenergi.</p> <p>Databehov: Bygningsdelen skal kortlægges ud fra hvilke materiale, der tilføres ved renoveringen (+ evt. eksisterende). Energiforbruget kan overføres til en simpel varmetabsberegning gennem den aktuelle bygningsdel, hvor det kun er nødvendigt at kende til bygningsdelens U-værdi efter renovering. Beregningen begrænses til at gælde for 1 m² bygningsdel.</p>
<p>Grænseværdi 3 – kTBT af bygningens (energi)renovering</p>  <p>En grænseværdi der vurderer den klimamæssige tilbagebetalingstid af en energirenovering, dvs. en målestok for hvor lang tid efter renoveringen at klimapåvirkningen fra materialer udligner sig med klimareduktionen fra energibesparelsen. Denne kravværdi beskæftiger sig med to scenarier; hvordan ser bygningen ud 1) inden renovering og 2) efter renovering. Energibesparelsen skal afspejle den samlede bygning ud fra de to scenarier.</p> <p>Databehov: LCA-beregningen skal afspejle hele bygningen, hvor alle aktiviteter i renoveringen bør indgå. Ved denne type kravværdi, hvor det eksisterende byggeri sammenlignes med et renoveret scenarie, kan der argumenteres for, at nedrivning af alle eksisterende materialer vil forekomme i begge scenarier og derfor kan udelades i beregningen. Kortlægningen vil derfor kun vedrøre de nye materialer, der tilføres under renove-</p>

ringen. Når den potentielle energibesparelse for energirenoveringen skal dokumenteres, kræves to energirammeberegninger, en beregning af det eksisterende byggeri inden renovering og en beregning af det renoverede scenarie.

Grænseværdi 4 – kTBT af bygningsdelens (energi)renovering



Denne grænseværdi bygger på samme princip som Kravværdi 3, hvor der i stedet kun ses på den klimamæssige tilbagebetalingstid for den enkelte energirenoverede bygningsdel. Der indgår igen to scenarier af bygningsdelen; hvordan ser bygningsdelen ud 1) inden renovering og 2) efter renovering. Energibesparelsen mellem de to scenarier betragtes ligeledes kun for den enkelte bygningsdel.

Databehov: Materialer er begrænset til kun at omfatte den enkelte bygningsdel. Efter som der igen foretages en sammenligning af bygningsdelen inden og efter renovering, kan materiale-kortlægningen begrænses til kun at vedrøre de nye materialer der tilføjes under renovering. Nedrivning af materialer i den eksisterende bygningsdel vil forekomme i begge scenarier. Energibesparelsen for den enkelte bygningsdel kan bestemmes ud fra U-værdien for bygningsdelen før og efter renovering vha. graddøgsmetoden (Mortensen, Kanafani, Rose, & Hjorth Richter, 2018). Beregningen begrænses til at gælde for 1 m² bygningsdel.

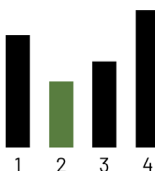
Grænseværdi 5 – LCA-reference som målestok for renovering



Denne grænseværdi henvender sig til renoveringer på bygningsdelsniveau for ombygning og udskiftning af bygningsdele. Der medtages både materialeforbrug og varmetab. Målestokken baseres på en LCA-reference, der tager udgangspunkt i materialer i den eksisterende bygningsdel inden renovering. LCA-referencen svarer til en renovering med brug af samme materialer samt en U-værdi, herunder isoleringstykkel, jf. komponentkrav § 279 i BR18. Grænseværdien vil derfor altid afhænge af den specifikke bygningsdel i det specifikke projekt og skal sikre, at der ikke anvendes løsninger i renoveringen, som resulterer i en højere CO₂-udledning end udgangspunktet.

Databehov: Til denne beregning ses der kun på klimapåvirkningen fra materialer. Til referenceberegningen skal alle relevante eksisterende materialer kortlægges for den enkelte renoverede bygningsdel. Til eftervisning af at renoveringen ikke overstiger referencen, skal alle relevante nye materialer kortlægges. Beregningen af begrænses til at gælde for 1 m² bygningsdel

Grænseværdi 6 – Krav til sammenligning af løsninger



Denne grænseværdi adskiller sig fra de fem ovenstående da der ikke er en specifik værdi, der skal overholdes, men derimod stilles der krav til udførelse af en variantanalyse for materialevalg. Dette kan både anvendes for enkeltstående materialer eller for en hel konstruktion af en bygningsdel. Beregningen kan begrænses til at gælde for 1 m² bygningsdel.

Databehov: Variantanalysen er begrænset til kun at gælde for materialepåvirkningen af de udvalgte varianter. For denne kravværdi er det ikke nødvendigt at kortlægge mængder i renoveringen, da sammenligningen foregår pr. 1 m² bygningsdel. Det er kun nødvendigt at indsamle data på de nye materialer i hver variant.

I Figur 11 nedenfor ses en opsamling af databehov i de seks grænseværdier for materialer og energi. Ved hver grænseværdi er kompleksiteten af indsamling og udførelse af data indikeret ud fra tre farver.

LCA af materialer er begrænset. Der kan udføres en simpel varmetabsberegning.	En LCA der ikke kræver materiale-mængder, men skal omfatte alle materialelag i en bygningsdel. Der skal udføres en eller flere varmetabsberegninger.	Omfattende materialekortlægning og LCA-beregning. Der kræves en eller flere energirammeberegninger.

	Materialer			Energi			
	Eksisterende*		Nye	Energiramme		Varmetab	
	Under	Endt levetid	Under	Før	Efter	Før	Efter
1							
2							
3							
4							
5							
6							

*afhænger af LCA-metode, der benyttes

Figur 11 Oversigt for databehov for de 6 grænseværdier

3.5 Kombination af renoveringstyper og grænseværdier

Det er ikke muligt at kombinere alle typer af renovering med alle typer af grænseværdier. Det skyldes bl.a. niveauerne *bygning* og *bygningsdele*, der både bruges inden for renoveringstyper og grænseværdier.

I Figur 12 er det vist hvilke kombinationer, der er undersøgt i rapporten. I det efterfølgende afsnit bliver disse kombinationer vurderet ved at opliste fordele og ulemper. I analysen vurderes metoderne også baseret på resultater fra LCA af de 29 renoveringscases.

Grænseværdier		1.	2.	3.	4.	5.	6.
		Krav for renovering som helhed i lighed med krav på nybyg	Krav til renovering af bygningsdelen	kTBT af bygningsrenovering	kTBT af bygningsdelens renovering	Referenceberegning til målestok for renovering	Sammenligning af løsninger
Bygningsniveau	Ændret anvendelse	X	På bygningsdelsniveau dækkes kategorien af B, O og U	x	På bygningsdelsniveau dækkes kategorien af B, O og U	På bygningsdelsniveau dækkes kategorien af B, O og U	På bygningsdelsniveau dækkes kategorien af B, O og U
	Tilbygninger	X	På bygningsdelsniveau dækkes det af kategorien U	Ikke muligt at lave tilbagebetalingstid når der ikke findes et før-scenarie	Ikke muligt at lave tilbagebetalingstid når der ikke findes et før-scenarie	Ikke muligt at lave referenceberegningen når der ikke findes et før-scenarie	På bygningsdelsniveau dækkes kategorien af U
	Andre renoveringer*	X	På bygningsdelsniveau dækkes kategorien af B, O og U	x	På bygningsdelsniveau dækkes kategorien af B, O og U	På bygningsdelsniveau dækkes kategorien af B, O og U	På bygningsdelsniveau dækkes kategorien af B, O og U
Bygningsdelsniveau	Bygningsmæssige ændringer: B	Kan ikke ses på bygningsdelsniveau	Dækkes af kategorien U	Kan ikke ses på bygningsdelsniveau	Dækkes af kategorien U	x	x
	Ombygninger: O	Kan ikke ses på bygningsdelsniveau	x	Kan ikke ses på bygningsdelsniveau	x	x	x
	Udskiftninger: U	Kan ikke ses på bygningsdelsniveau	x	Kan ikke ses på bygningsdelsniveau	x	x	x

* Projekter der ikke hører under ændret anvendelse eller tilbygninger. Kan dække over både små/simple renoveringer og store omfattende renoveringer som f.eks. transformationer.

Figur 12 Undersøgte kombinationer af renoveringstype og grænseværdier

4 Muligheder for grænseværdier til renovering

I dette afsnit evalueres muligheder for opstilling af grænseværdier med udgangspunkt i de seks renoveringskategorier jf. afsnit 3.2. Evalueringen af grænseværdierne tager udgangspunkt i en vurdering af fordele og ulemper. Her vurderes de grænseværdier der er afkrydset i **Figur 12** inden for den enkelte renoveringskategori.

4.1 Ændret anvendelse

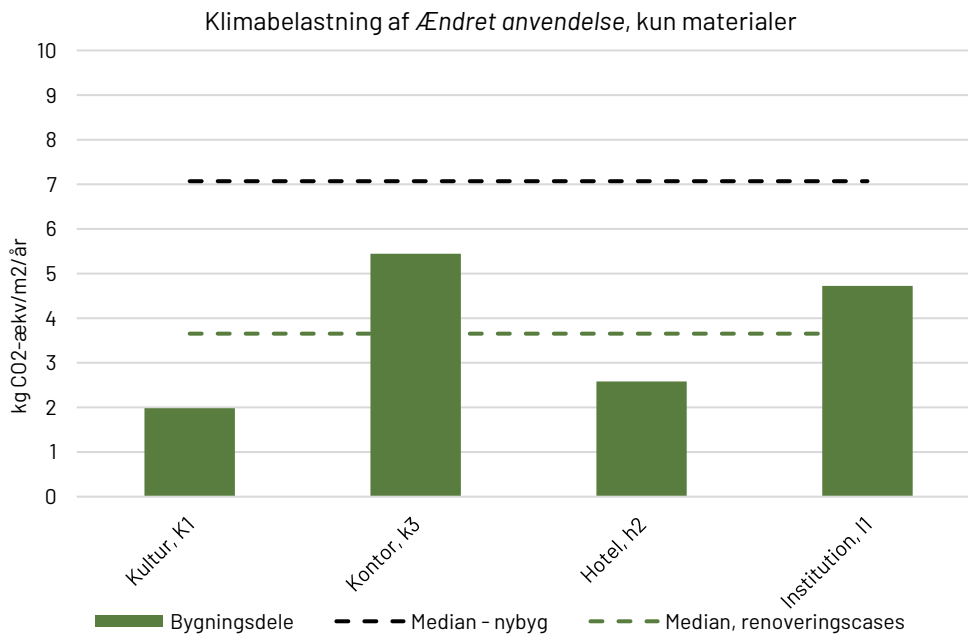
For *Ændret anvendelse* beskrives fordele og ulemper for **grænseværdi 1: Målestok for den samlede bygning** og **grænseværdi 3: kTBT af bygningens renovering** jf. Tabel 2.

Ændret anvendelse dækker over cases, som kan have en stor variation i klimapåvirkningen fra materialer. Påvirkninger svarende til **Grænseværdi 1** (dog kun for materialer) kan ses i Figur 13. Materialepåvirkninger fra ændret anvendelse ligger lavere end påvirkningerne fra nybyggeri med en medianværdi på 3,70 kg CO₂-ækv/m²/år. Men der er ikke nok cases til at vurdere om de adskiller sig særligt fra de resterende renoveringscases. Såfremt der skal indføres specifikke grænseværdi-krav til denne renoveringstype er der behov for et mere omfattende datagrundlag.

Der er mulighed for at bruge **Grænseværdi 1** i kombination med grænseværdier for bygningsdele, i tråd med energikravene. Dermed kan man enten leve op til individuelle *komponentkrav* eller en *komponentkrav-ramme*. En grænseværdi for hele bygningen giver mulighed for større spillerum i kombinationen af løsningsmuligheder, mens kravene for bygningsdele vil kræve mindre arbejde at implementere.

Skal denne grænseværdi opfyldes kan det kræve en materialekortlægning fra alle renoveringsindgreb i bygningen. Derudover kræves der en energirammeberegning, der på nuværende tidspunkt ikke er krav om at udføre ved renovering, hvorfor den ikke nødvendigvis indgår automatisk i alle projekter. Det kan med fordel overvejes, om der bør indføres krav om en energirammeberegning af et renoveringsprojekt, hvilket kan imødekomme manglende data og standardisere metoden for projektering af renoveringer.

Fordele og ulemper ved grænseværdi 1 ift. renoveringstypen *Tilbygninger* er sammenfattet i Tabel 3.



Figur 13 Klimapåvirkning fra renoveringsprojekter med ændret anvendelse. Der vises kun resultater for materialepåvirkninger, da det kun har været muligt at finde data for driftsenergien på I1.

Tabel 3 Fordele og ulemper ved grænseværdi 1 for renoveringsprojekter med Ændret anvendelse

Grænseværdi 1	Fordele	Ulemper
	<p>Frihed i valg af løsninger: Gode løsninger kan opveje mindre gode</p> <p>Mulighed for at opstille krav baseret på renoveringsscases for ændret anvendelse, eller som en procentdel af nybyggeri</p>	<p>Renoveringstypens omfang kan variere meget, derfor er effekten af grænseværdi uklar</p> <p>Det kræver en energirammeberegning som ikke altid laves ved renovering (det kan overvejes om data kan hentes fra energimærket)</p>

Grænseværdi 3 kan motivere til, at det ved renovering af en bygning overvejes om der bør indgå energibesparende tiltag, der kan reducere bygningens samlede energiforbrug. På den måde opnås en CO₂-besparelse i driften, der kan udligne klimabelastningen fra de materialer der tilføres renoveringen. Dette kan være en måde at sikre gode renoveringsløsninger, der ikke vil forøge klimabelastningen ift. udgangspunktet af bygningen. Denne grænseværdi er begrænset til kun at gælde for renoveringer, der medfører en energibesparelse.

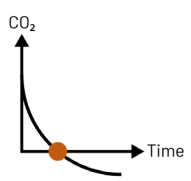
Til beregningen er det nødvendigt både at have en energirammeberegning for bygningen før og efter renoveringen for at dokumentere energibesparelsen. Dette kan derfor medføre en omfattende arbejdsbyrde ved opfyldelse af denne grænseværdi.

Når energibesparelsen af en renovering er en afgørende faktor i en grænseværdi, kan det være svært at sammenligne bygninger med forskellige energimæssige udgangspunkter (energiforbrug før renovering). En bygning med dårligt isolerede bygningsdele og et højt energiforbrug vil opnå en højere energibesparelse når energikrav er opfyldt end bygninger som har et lavere energiforbrug før renovering.

Da ændret anvendelse pr. definition har haft et lavere energibehov inden renovering, kan det antages, at der i de fleste tilfælde ikke vil være en energibesparelse for denne renoveringskategori og en beregning af den klimamæssige tilbagebetalingstid kan ikke udføres. I de tilfælde, hvor renoveringen medfører en energibesparelse, kan det anvendes.

Fordele og ulemper ved grænseværdi 3 ift. renoveringstypen *Ændret anvendelse* er sammenfattet i Tabel 4.

Tabel 4 Fordele og ulemper ved grænseværdi 3 ift. renoveringstypen *Ændret anvendelse*

Grænseværdi 3	Fordele	Ulemper
	Effekten af energireno- veringen kommer til udtryk	Kan kun laves ved renoveringer, der redu- cerer energiforbruget Kræver energiramme før og efter renove- ring (det kan overvejes om data kan hen- tes fra energimærket) Bygningens energimæssige udgangs- punkt har betydning for hvilke løsninger, som kan laves

4.2 Tilbygninger

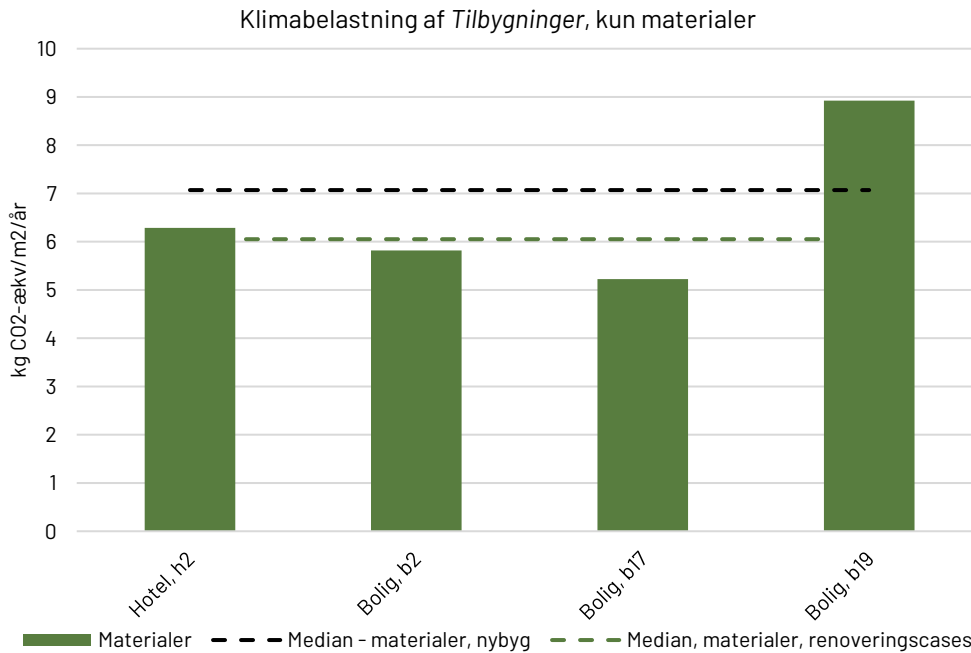
For *Tilbygninger* beskrives fordele og ulemper for **grænseværdi 1: Målestok for den samlede bygning** jf. Tabel 2.

I **Grænseværdi 1** bestemmes de samlede påvirkninger fra materialer og driftsenergi for hele bygningen, svarende til nybyggeri. Opgørelse af klimapåvirkning på bygningsniveau giver mulighed for frihed i valg af løsninger; sådan at "gode" løsninger kan veje op for "mindre gode" i et klimapåvirkningsperspektiv.

Data for driftsenergiforbruget kan være en udfordring i forhold til tilgængelighed af data. Det skyldes, at der lige nu ikke er krav til at lave energirammeberegninger for tilbygninger. Derfor vil en grænseværdi kræve, at der enten udføres en energirammeberegning for projektet, eller at det skal være muligt kun at overholde en grænseværdi udelukkende for materialeforbruget. Er der udført en energirammeberegning for hele projektet kan det være vanskeligt at opdele energibehovet mellem tilbygning og den eksisterende bygning.

Materialeforbruget i tilbygninger kan betragtes at være på niveau med nybyggeri, da alle bygningsdele er nye. Dette kan også ses på resultatet af fire tilbygninger fra renoveringscases på Figur 14. På grafen ses materialeudledning fra de fire tilbygninger med en beregnet medianværdi på ca. 6 kg CO₂-ækv./m²/år. Til sammenligning med nybyggeri ses medianværdien på ca. 7 kg CO₂-ækv./m²/år (den sorte stiplede linje) der repræsenterer materialeforbruget af 60 nybyggerier (60 cases-rapport). Dermed kan der opstilles grænseværdier på samme niveau som for nybyggeri. Det er også muligt at kombinere med grænseværdier for bygningsdele.

Fordele og ulemper ved grænseværdi 1 ift. renoveringstypen *Tilbygninger* er sammenfattet i Tabel 5.



Figur 14 Klimapåvirkning fra tilbygninger. Der vises kun resultater for materialepåvirkninger, da der ikke er data på driftsenergi for tilbygningen separat.

Tabel 5 Fordele og ulemper ved grænseværdi 1 ift. Tilbygninger

Grænseværdi 1	Fordele	Ulemper
	<p>Frihed i valg af løsninger: Gode løsninger kan opveje mindre gode</p> <p>Mulighed for at opstille krav svarende til LCA for nybyg</p> <p>Kan kombineres med krav for bygningsdele</p>	<p>Det kræver en energirammeberegning som sjældent laves ved tilbygningsprojekter (Hvis der er udarbejdet et energimærke kan det kan overvejes om data kan hentes her fra)</p>

4.3 Andre renoveringer

For *Andre renoveringer* beskrives fordele og ulemper for **grænseværdi 1: Målestok for den samlede bygning** og **grænseværdi 3: kTBT af bygningens renovering** jf. Tabel 2.

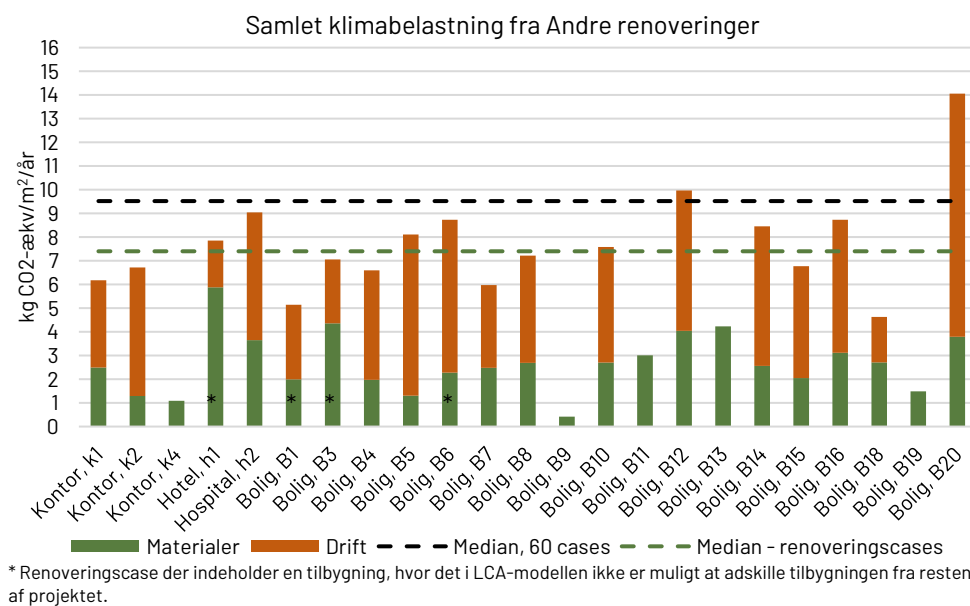
Som beskrevet i afsnit 3.2 dækker *Andre renoveringer* i denne rapport over alle renoveringer, der ikke hører under Tilbygninger og Ændret anvendelse. Det betyder at renoveringerne spænder fra enkelttiltag til gennemgribende renoveringer. Påvirkninger svarende til **Grænseværdi 1** kan ses i Figur 15. Deres medianværdi for den samlede udledning er på 7,4 kg CO₂ ækv./m²/år. Det vil fremadrettet være hensigtsmæssigt at kategorisere denne renoveringstype (*Andre renoveringer*) mere detaljeret, sådan at projekterne bliver mere sammenlignelige.

I Grænseværdi 1 bestemmes de samlede påvirkninger fra materialer og driftsenergi for hele bygningen. Opgørelse af klimapåvirkning på bygningsniveau giver mulighed for frihed

i valg af løsninger; sådan at "gode" løsninger kan veje op for "dårlige" i et klimapåvirkningsperspektiv. Når både driftsenergi og materialer medtages, kan der på den måde også tages hensyn til renoveringer med en særlig indsats for at reducere energiforbruget. Netop fordi grænseværdien giver et incitament til at reducere bygningens samlede driftsenergi, kan det være vanskeligt at overholde for bygninger med højt energiforbrug. I disse situationer er det nødvendigt at lave en meget gennemgribende renovering, som evt. også vil kræve et større materialebehov.

Derudover kan renoveringer give nye funktioner i bygningen end den tidligere har haft, herunder elevatorer, altaner mv som ikke giver en energimæssig besparelse, men oftest er forbundet med relativt store materialemæssige omkostninger.

Grænseværdiens metode lægger sig op ad den vi har for nybyggeri i bygningsreglementet. Ved store renoveringer kan projekterne også sammenlignes med nybyggeri for at se deres performance over betragtningsperioden er større eller mindre end for nybyggeri. Ved mindre renoveringstiltag, kan det være svært at overholde en samlet grænseværdi for både materialer og drift, derfor vil denne grænseværdi passe bedst til store renoveringer, og dermed vil den ikke altid være hensigtsmæssig til renoveringskategorien "Andre renoveringer".



Figur 15 Klimapåvirkninger fra renoveringsprojekter, der er placeret i kategorien "Andre renoveringer". Medianværdien er regnet samlet for materialer og drift og er kun regnet for de 18 cases, hvor driftsenergi er kendt.

Datatilgængelighed for denne grænseværdi kan være en udfordring. Der kræves en energirammeberegning, som der på nuværende tidspunkt ikke er krav til at udføre ved en renovering. Hvis der er lavet en energirammeberegning i forbindelse med overholdelse af renoveringsklasserne, vil data dog være til rådighed. Det kan overvejes om energibehov i forbindelse med renoveringer kan hentes fra Energimærket, hvis det er udført.

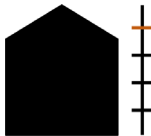
Skal denne grænseværdi opfyldes kan det kræve en materialekortlægning fra alle renoveringsindgreb i bygningen.

Kombination af denne grænseværdi, med grænseværdier på bygningsdelsniveau er en praktisk mulighed, som læner sig op ad energikravene for renovering, hvor bygherre selv

har mulighed for at vælge om det skal opgøres på bygningsniveau eller på bygningsdelsniveau.

Fordele og ulemper ved grænseværdi 1 ift. renoveringstypen *Andre renoveringer* er sammenfattet i Tabel 6.

Tabel 6 Fordele og ulemper ved brug af grænseværdi 1: Målestok for den samlede bygning for Andre renoveringer

Grænseværdi 1	Fordele	Ulemper
	<p>Stor frihed i valg af løsninger fordi klimapåvirkninger opgøres på bygningsniveau: Gode løsninger kan opveje mindre gode.</p> <p>Kan kombineres med krav på bygningsdelsniveau.</p> <p>Mulighed for at sammenligne projektet med nybyggeri</p>	<p>Svært at sætte en kravværdi der rammer bygninger med forskellige energiforbrug inden renovering.</p> <p>Tager ikke højde for tilføjede funktioner i bygning, fx elevator.</p> <p>Enkelte tiltag kan have svært ved at overholde grænseværdien</p> <p>Det kræver en energirammeberegning som ikke altid laves ved renovering (det kan overvejes om der kan bruges data fra energimærket).</p>

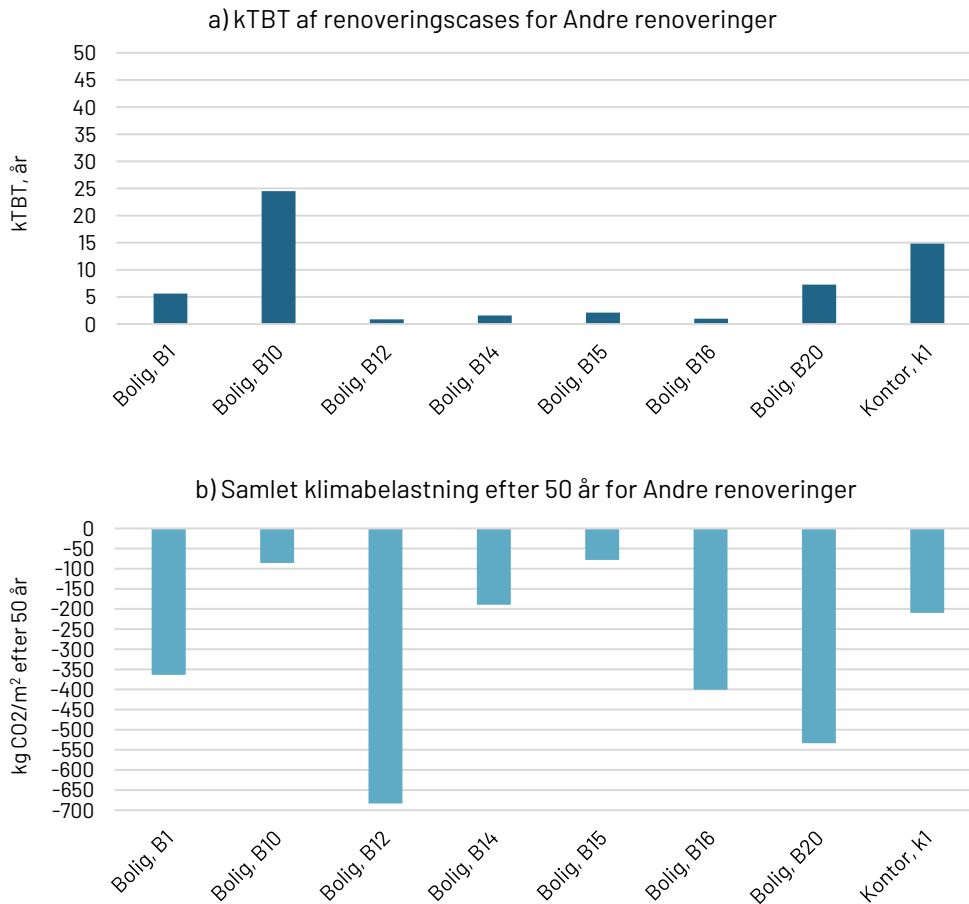
I **Grænseværdi 3** bestemmes den klimamæssige tilbagebetalingstid for hele bygningen, dvs. hvor mange år der går før klimapåvirkningen fra materialer har tjent sig hjem på baggrund at den påvirkning der spares fra energiforbruget i bygningen.

Effekten af energirenoveringen er i fokus i denne grænseværdi, hvilket fremmer fokus på effektiv energirenovering i projekter, til mindst muligt materialeforbrug. Grænseværdiens funktion er at se på ændringen, der sker i forhold til den eksisterende bygning. Derfor viser grænseværdien ikke den samlede performance af bygningen, men kun tiltagenes ændring, og deres effekt.

De eksisterende forhold i bygningen har stor betydning for hvor stor en energibesparelse der kan opnås; jo mere isolering der er før renovering, desto mindre effekt har en tillægsisolering.

Det er væsentligt at bemærke, at en kort kTBT ikke er ensbetydende med en høj CO₂-besparelse efter 50 år. Dette kan påvises ud fra otte renoveringscases under *Andre renoveringer*, hvor energiforbruget før og efter renoveringen er kendt, se Figur 16. På figur a) ses det, at den fulde renovering af Bolig B15 resulterer i en kTBT på ca. 2 år, hvor renoveringen af Kontor K1 først opnår kTBT efter ca. 15 år. Kontor K1 illustreres derfor som den værste klimamæssige renovering af de to cases. Dette billede ændres på figur b), hvor Kontor K1 nu opnår en højere klimareduktion efter 50 år på 210 kg CO₂/m²/år end Bolig B15 på 78 kg CO₂/m²/år som følge af renoveringen. Dette skyldes forskelle i renoveringsomfanget. Et mindre renoveringsindgreb, der sikrer en energibesparelse, kan hurtigt betale sig tilbage klimamæssigt. Dog vil denne energibesparelse være meget lille i en 50-årigt perspektiv, da kun en lille del af bygningen er forbedret. Figur 16 a) og b) illustrerer også tilfælde, hvor en kort kTBT også medføre en høj CO₂-besparelse efter 50 år. Dette kan gøre det vanskeligt at fastsætte en grænseværdi. Det essentielle er at afgøre om der ønskes en indsats for klimareduktioner nu og her eller længere ude i fremtiden. En mulighed er at vurdere kTBT på baggrund af renoveringsomfanget.

Det er desuden vigtigt at understrege, at den forventede udvikling af emissionsfaktorerne vil medføre at den klimamæssige tilbagebetalingstid af en energirenovering vil forøges over tid, idet emissionerne forbundet med energiforbruget i bygningerne vil falde.

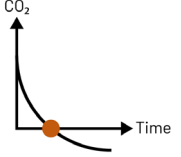


Figur 16 Øverst, figur a) viser klimamæssig tilbagebetalingstid (kTBT) og nederst, figur b) viser samlet klimabelastning over 50 år for kategorien Andre renoveringer

Data kan være en endnu større udfordring her, fordi der kræves energirammeberegning både før og efter renoveringen.

Fordele og ulemper ved grænseværdi 3 ift. renoveringstypen Andre renoveringer er sammenfattet i Tabel 7.

Table 7 Fordele og ulemper ved brug af grænseværdi 3: kTBT af bygningens renovering for Andre renoveringer

Grænseværdi 2	Fordele	Ulemper
	<p>Effekten af energirenoveringen kommer til udtryk</p>	<p>Kan kun laves ved renoveringer, der reducerer energiforbruget</p> <p>Kræver energiramme før og efter renovering (det kan overvejes om der kan bruges data fra energimærket)</p> <p>En kort kTBT er ikke ensbetydende med en høj CO₂-besparelse efter 50 år.</p> <p>Bygningens energimæssige udgangspunkt har betydning for hvilke løsninger, som kan laves</p>

4.4 Ombygninger

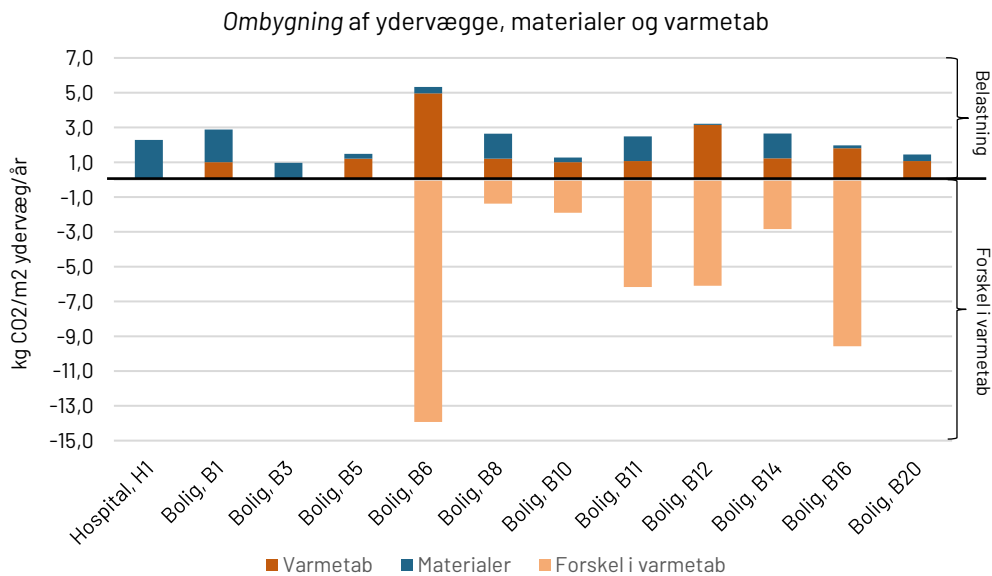
For *Ombygninger* beskrives fordele og ulemper for **grænseværdi 2: Målestok for renovering af bygningsdelen**, **grænseværdi 4: kTBT af bygningsdelens renovering**, **grænseværdi 5 Reference som målestok for renovering** og **grænseværdi 6 Sammenligning af løsninger** jf. Tabel 2.

Anvendes **Grænseværdi 2** skal der kun udføres en kortlægning af mængder for 1 m² bygningsdel. Energiforbruget kan bestemmes via en simpel varmetabsberegning for bygningsdelen.

For grænseværdi på bygningsdelsniveau er der ikke krav til at den samlede bygning performer godt klimamæssigt. Derfor kan mindre klimabelastende løsninger heller ikke opveje for mere klimabelastende løsninger. Dette kan skærpe muligheder for materialevalg og nogle løsninger vil ikke kunne blive implementeret og det kan være vanskeligt at imødekomme muligheden for renovering af bygninger, der f.eks. kan være underlagt lokalplaner, bevaringsværdi, arkitektur eller har særlige funktionsbehov som ønskes løst, fx lyd, lys, brand, termisk masse mv. Det er dog muligt at kombinere denne grænseværdi med Grænseværdi 1, hvis renoveringen er omfattende og gælder mange bygningsdele.

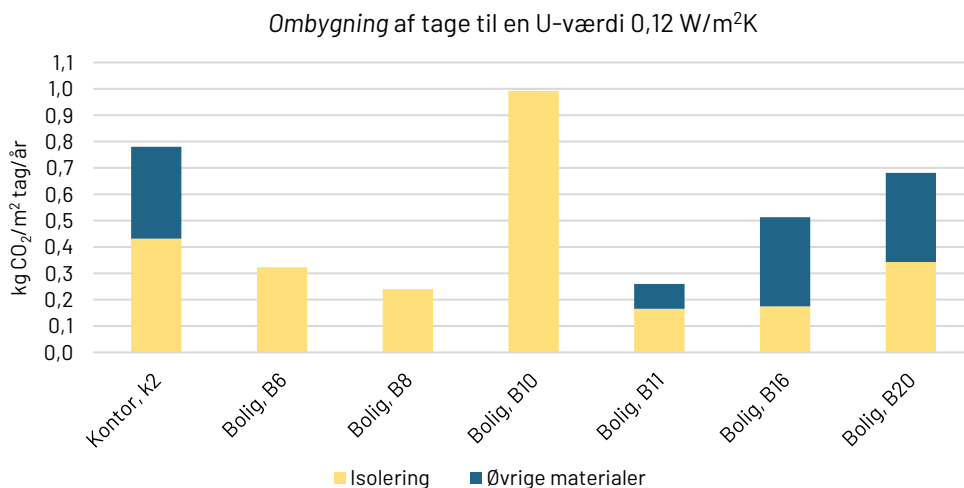
Skærpes muligheden for løsninger og materialevalg i høj grad, kan det blive et spørgsmål om der overhovedet skal foretages en renovering, fremfor hvordan renoveringen kan udføres med et fornuftigt materialevalg. Dette strider imod et incitament til at renovere frem for at rive ned og bygge nyt.

Grænseværdien giver et incitament til at bygningsdelen udføres så der opnås et lavt varmetab. Men bygningsdelene kan godt have et relativt højt varmetab, men stadig have opnået en stor energibesparelse. Ved kun at betragte varmetabet efter renoveringen tages der ikke hensyn til om, eller hvor meget, bygningsdelen er forbedret ved renoveringen. Dette ses tydeligt blandt otte eksempler på ydervægsombygninger fra de 29 renoveringscases på Figur 17. Grænseværdi 2 vil kun medtage påvirkningen over x-aksen på grafen. Her vil ombygningen i Bolig B6 betragtes som den værste klimamæssige løsning med et højt bidrag fra varmetabet. Dog er det netop denne løsning, der medfører den største forskel i varmetabet (under x-aksen) og dermed en væsentlig forbedring af denne ydervæg.



Figur 17 Klimabelastningen for ombygning af 1 m² ydervæg for både materialer og varmetab samt ændringen i varmetabet mellem før og efter ombygning af ydervæggen (lys orange søjle). Konsekvensen, hvis kun klimabelastningen fra selve ombygningen betragtes ses ved de orange og blå søjler. Grænseværdien for klimamæssig tilbagebetalingstid ser, i modsætning til denne grænseværdi, netop på forskellen i varmetab

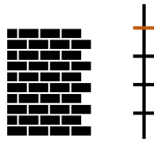
Heraf følger, at der kan være forskel i materialebehovet for gode og dårlige energimæssige eksisterende bygningsdele. Behovet for materialer varierer, hvis bygningsdelene skal opfylde samme komponentkrav for energi. Dette er illustreret i Figur 18, hvor tagkonstruktioner med forskellige energimæssige udgangspunkter renoveres til samme U-værdi. Her ses at materialepåvirkninger fra isoleringsmaterialet varierer meget. Ud over forskellen i energimæssige udgangspunkter, skyldes forskellen også til dels hvordan konstruktionsopbygningen er og hvilket isoleringsprodukt, der er valgt til den enkelte løsning.



Figur 18 Syv tagkonstruktioner med forskellige udgangspunkter, der renoveres til U-værdi-kravet for ombygningsarbejder jf. BR18 § 279. På grafen ses klimabelastningen fra tagrenoveringerne fordelt på isoleringsmateriale og tagbelægning, hvis sidstnævnte er udskiftet.

Fordele og ulemper ved grænseværdi 2 ift. reoveringstypen *Ombygninger* er sammenfattet i Tabel 8.

Tabel 8 Fordele og ulemper ved grænseværdi 2 ift. renoveringstypen ombygninger

Grænseværdi 2	Fordele	Ulemper
	Kortlægning af materialer er begrænset til 1 m ² bygningsdel	Mindre frihed til designvalg fordi grænseværdien skal overholdes inden for bygningsdelen
	Kravet kan kombineres med grænseværdi 1	Vil lægge sig tæt op ad et krav til materialers klimabelastning.
	Kan anvendes til både klimaskærm og indvendig renovering	Det kan være vanskeligt at imødekomme en grænseværdi, som skal favne forskellige konstruktionsopbygninger af den samme bygningsdel.
		Kan medføre, at der sættes spørgsmålstegn ved om der skal renoveres fremfor <i>hvordan</i> man bedst renoverer.
		Der tages ikke hensyn til, om renoveringen har forbedret bygningsdelen klimamæssigt.
		Et evt. øget kølebehov af bygningen efter efterisolering af bygningsdele medtages ikke pga. beregningsmetode.

Grænseværdi 4 kan kun anvendes for bygningsdele som medfører et varmetab. Ud fra Figur 9 i afsnit 3.1 ses det, at renoveringscase Bolig 4, 9, 12, 19 indeholder ombygninger af bygningsdele, der ikke indebærer efterisolering og derfor ikke påvirker energiforbruget. Denne grænseværdi kan derfor ikke anvendes i disse tilfælde.

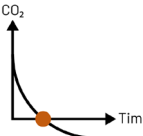
Der gælder, ligesom for grænseværdi 2, at beregningen kun medtager klimabelastningen a 1 m² bygningsdel. Dette betyder, at det kun er nødvendigt at dokumentere materialelag for 1 m² samt udarbejde en simpel varmetabsberegning af bygningsdelen.

Den klimamæssige tilbagebetalingstid er afhængig af isoleringsniveauet af den eksisterende konstruktion. Jo dårlige udgangspunkt, jo kortere tilbagebetalingstid (Balancepunkt, Kai 2021). Det betyder i forhold til en grænseværdi, at selvom der isoleres til det samme isoleringsniveau ved renovering, vil det være lettere for den dårligt isolerede bygningsdel at overholde en grænseværdi, end for den bygningsdel, der i forvejen indeholder isolering.

Modsat grænseværdi 2 kan kTBT i højere grad illustrere den klimamæssige forbedring ved ombygning af en bygningsdel og kan bruges som et kommunikativt værktøj, der fremmer energibesparende tiltag.

Fordele og ulemper ved grænseværdi 4 ift. renoveringstypen *Ombygninger* er sammenfattet i Tabel 9.

Tabel 9 Fordele og ulemper ved grænseværdi 4 ift. renoveringstypen ombygninger

Grænseværdi 4	Fordele	Ulemper
	<p>Kortlægning af materialer er begrænset til 1 m² bygningsdel og kun for nye materialer</p> <p>Ænergibesparelsen kan dokumenteres ud fra U-værdiberegninger af 1 m² bygningsdel før og efter renovering.</p> <p>Grænseværdien kan i højere grad skil-dre effekten af renoveringen</p>	<p>Kan kun anvendes ved renoverin-ger af bygningsdele der medfølger et lavere varmetab</p> <p>De eksisterende forhold har be-tydning – har man et dårligt ud-gangspunkt kan det bedre betale sig.</p> <p>Kan medfølge at det bliver et ma-terialekrav og skærper muligheder for materialevalg.</p> <p>En kort kTBT er ikke ensbety-dende med en høj CO₂-besparelse efter 50 år</p>

I **Grænseværdi 5** bestemmes referencen baseret på de materialer, der er bygningen i dag, dvs. at det bliver muligt at genskabe fx det arkitektoniske udtryk fra facadematerialet.

Beregningen kan udføres for 1 m² bygningsdel og omfatter kun de materialer, der adskiller sig fra den opstillede LCA-referencen.


Ved en ombygning af en ydervæg med skalmur, er det muligt at opbygge en ny skalmur eller vælge et materiale, der har en lavere klimabelastning end skalmuren. Er det ønsket at udføre ombygningen med tilsvarende materialer som LCA-referencen, er en beregning ikke nødvendigt, eftersom LCA-referencen er en præaccepteret løsning, så længe den opfylder U-værdikravet for ombygning af bygningsdelen.

Der kan gives frihed til at vælge materialer til f.eks. facadebeklædning, som har en højere klimabelastning end LCA-referencen, så længe det er muligt at supplere med isolering i konstruktionen for at opnå en lavere U-værdi og dermed sikre en tilsvarende energibesparelse, der kan kompensere for den ekstra klimabelastning.

Når LCA-referencen opstilles baseret på de oprindelige materialer i bygningsdelen inden renovering, betyder dette også, at LCA-referencen vil ændre sig efter ombygningen af bygningsadelen. Man kan risikere ikke at give incitament til at anvende materialer med en lavere klimabelastning, da det vil påvirke LCA-referencen, hvis der skal udføres endnu en ombygning på et senere tidspunkt i bygningens levetid.

Fordele og ulemper ved grænseværdi 5 ift. renoveringstypen *Ombygninger* er sammenfat-tet i Tabel 10.

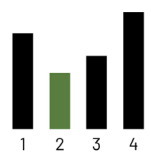
Tabel 10 Fordele og ulemper ved grænseværdi 5 ift. renoveringstypen ombygninger

Grænseværdi 5	Fordele	Ulemper
	<p>Kortlægning af materialer er begrænset til 1 m² bygningsdel.</p> <p>Det er kun nødvendigt at regne på de materialer, der adskiller sig fra LCA-referencen.</p> <p>Samme materialer som anvendt i LCA-referencen kan bruges igen til bygningsdelen.</p> <p>Kan anvendes til både klimaskærm og indvendig renovering.</p> <p>Svarer ombygningen til LCA-referencen, kan en beregning undlades - kravet til ombygningen er opfyldt.</p> <p>Kan give frihed til at vælge materialer med en højere klimabelastning end LCA-referencen, så længe der kompenseres med supplerende isolering for at opnå en tilsvarende energibesparelse.</p>	<p>Skifter man materialer ud til et mindre klimabelastende materiale, vil referencen også blive mindre, hvis der skal renoveres efterfølgende.</p> <p>Giver ikke nødvendigvis incitament til at vælge materialer med en lavere klimabelastning end den oprindelige bygningsdel inden renovering, LCA-referencen.</p>

Grænseværdi 6 indebærer som den eneste ikke en målestok, der kan beregnes, men et krav om udførelse af variantanalyser på bygningsdelsniveau. Der kan inden for hver bygningsdel, både i klimaskærmen og indvendige konstruktioner, opstilles flere løsningsforslag i ønsket om at vælge de materialer, der belaster klimaet mindst muligt.

Fordele og ulemper ved grænseværdi 6 ift. renoveringstypen *Ombygninger* er sammenfattet i Tabel 11.

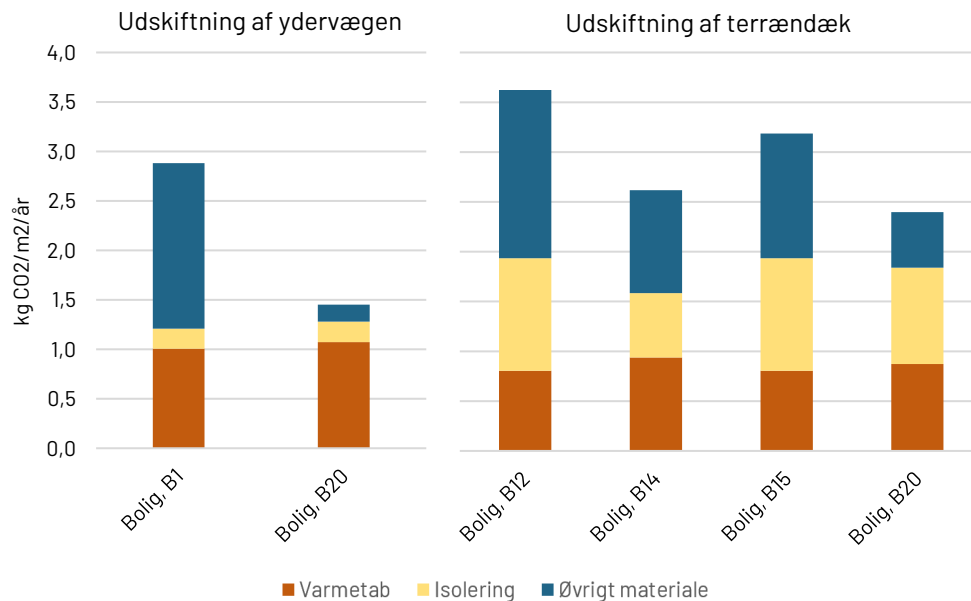
Tabel 11 Fordele og ulemper ved grænseværdi 6 ift. renoveringstypen ombygninger

Grænseværdi 6	Fordele	Ulemper
	<p>Kan bruges som et designparameter</p> <p>Ingen materialekortlægning og mulighed for øget fokus på valg af materialer samt udfordre de klassiske løsninger.</p> <p>Kravet kan overholdes ved enhver renovering.</p> <p>Kan anvendes til både klimaskærm og indvendig renovering.</p>	<p>Det kan være en omfattende øvelse, hvis der er mange bygningsdele der ombygges.</p> <p>Der kan udføres løsninger med høj klimabelastning, hvis varianterne der sammenlignes med har en høj klimabelastning.</p>

4.5 Udskiftninger

For *Udskiftninger* beskrives fordele og ulemper for **grænseværdi 2: Målestok for renovering af bygningsdelen**, **grænseværdi 4: kTBT af bygningsdelens renovering**, **grænseværdi 5 Reference som målestok for renovering** og **grænseværdi 6: Sammenligning af løsninger** jf. Tabel 2.

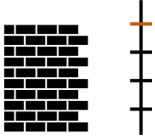
Fordele og ulemper i grænseværdierne for udskiftninger svarer til dem for ombygninger, som kan ses i forrige afsnit. En forskel er dog at hele bygningsdelen udskiftes, hvilket giver mulighed for at vurdere bygningsdelen som nybyggeri med **Grænseværdi 2**. Der findes dog ikke nogen danske grænseværdier for bygningsdele, og det ville også være en udfordring at opstille pga. bredden i funktionsbehov. På Figur 19 ses eksempler på påvirkninger fra udskiftninger af terrændæk og ydervægge. I disse eksempler ses særligt en stor variation for valg af øvrige materialer, f.eks. facadebeklædning på ydervæggen. Mens terrændækkenes påvirkninger varierer mindre, da opbygningerne her er mere ensartede.



Figur 19 Samlede klimapåvirkninger fra udskiftning af ydervæggen (a) og udskiftning af terrændæk (b)

Fordele og ulemper ved grænseværdi 2 ift. renoveringstypen *Udskiftninger* er sammenfattet i Tabel 12.

Tabel 12 Fordele og ulemper ved grænseværdi 2 ift. renoveringstypen Udskiftninger

Grænseværdi 2	Fordele	Ulemper
	<p>Kortlægning af materialer er begrænset til 1 m² bygningsdel</p> <p>Kravet kan kombineres med grænseværdi 1</p> <p>Kan anvendes til både klimaskærm og indvendig renovering</p> <p>Der kan stilles kravværdi baseret på nybyggeri (dog overvejelser i forhold til nedrivning af eksisterende)</p>	<p>Mindre frihed i designvalg fordi grænseværdien skal overholdes inden for bygningsdelen</p> <p>Vil lægge sig tæt op ad et krav til materialers klimabelastning.</p> <p>Det kan være vanskeligt at imødekomme grænseværdi som skal favne forskellige konstruktionsopbygninger af den samme bygningsdel.</p> <p>Et evt. øget kølebehov af bygningen efter efterisolering af bygningsdele medtages ikke pga. beregningsmetode.</p> <p>Forholder sig ikke til renoveringens effekt på den samlede bygning</p>

For **Grænseværdi 4, 5 og 6** gælder de samme fordele og ulemper som beskrevet under *Ombygninger*

4.6 Bygningsmæssige ændringer

Der gælder det samme for bygningsmæssige ændringer som for udskiftninger og ombygninger.

5 Økonomi og klima

I dette afsnit vurderes renoveringskravenes betydning for økonomi og klima. Til at vurdere dette er der opstillet en separat analyse. Analysen bruger ikke data fra de cases, der er præsenteret tidligere i rapporten, da det vil være komplekst at skalere op på landsplan. I stedet er brugt simplificerede scenarier for renoveringer baseret på BBR data, estimerede årlige renoverings-/udskiftningsrater, typiske konstruktioner mv. Beregningerne er henlagt i et til rapporten hørende regneark.

Renoveringskrav

Til dette afsnit er det også nødvendigt at se på hvordan kommende krav kan opstilles. Her henvises til afsnit 7, hvor BUILD's anbefalinger til krav er nærmere beskrevet. Anbefalingerne omfatter tre typer af krav til CO₂-emission, der kan vælges mellem ved renovering af bygninger:

- Individuelt krav til hver af de renoverede/udskiftede bygningsdele (á la U-værdikrav)
- Samlet krav til de renoverede/udskiftede bygningsdele (á la varmetabsramme)
- Samlet krav til bygningen (á la energiramme)

Desuden anbefaler BUILD, at der stilles krav om LCA-beregning på bygningsniveau af CO₂-ækv./m² pr. år for eksisterende bygninger, der ændrer anvendelse. Derudover kan det overvejes, om bygninger, der gennemgår en dyb renovering (transformation), også skal omfattes af kravet om LCA-beregning på bygningsniveau.

Det antages at kravene i første omgang alene vil blive stillet til bygninger med et opvarmet etageareal over 1.000 m².

5.1 Økonomiske konsekvenser

De estimerede omkostninger omfatter alene omkostninger, der er en direkte følge af kravene. Eventuelle frivillige tiltag, som kravene måtte motivere til, eller kommende krav, der indføres senere, er ikke en del af de estimerede omkostninger.

Krav til bygningsdele ved renovering

De individuelle krav til de renoverede/udskiftede bygningsdele foreslås udformet, så anvendelse af samme type materiale i regnskærmen (fx røde vingetegl på et tag) og opfyldelse af bygningsreglementets U-værdikrav er reference for CO₂-ækvivalentkravet til bygningsdelen. Hvis man vælger det, er der ikke behov for yderligere i forbindelse med opfyldelse af det individuelle krav til bygningsdelen.

Der kan være bygninger, hvor nogle bygningsdele tidligere er blevet renoveret med et materiale, som ikke er det oprindelige materiale, fx stråtag eller tegltag, som er blevet skiftet til stålplader eller fibercementplader. I disse sammenhænge kan der måske være behov

for en dispensationsansøgning, hvis renoveringen kræver byggetilladelse, og problemet ikke er håndteret generelt i regelsættet.

Hvis man i forbindelse med renovering/udskiftning af en bygningsdel vælger at skifte til et andet materiale i regnskærmen, vil det for at opfylde det individuelle krav til bygningsdelen være nødvendigt at udføre en LCA-beregning, som bestemmer CO₂-ækv./m² pr. år for henholdsvis referencen og for den aktuelle konstruktion. Tidsforbruget ved at gennemføre de to beregninger estimeres til ½ arbejdsdag for den første bygningsdel, og ¼ arbejdsdag for yderligere bygningsdele, som skal beregnes. Tidsforbrug afhænger ikke af fx bygningens størrelse eller kompleksitet. På sigt vil dette tidsforbrug kunne nedbringes betydeligt eller helt kunne fjernes ved at udgive et generelt katalog med typiske konstruktions CO₂-ækv./m² pr. år i stil med "Bygningsreglementets vejledning om efterisolering" (Bolig- og Planstyrelsen, 2022).

Tidsforbruget er estimeret for 2. året efter ikrafttrædelse af kravet, hvor eventuelle startproblemer med at håndtere beregningen for det meste er overstået. For år 2 er det antaget, at tidsforbruget til at udføre LCA-beregningen er ligeligt fordelt på en person med særlig indsigt i LCA-beregning og en almindelig byggetekniker. Dette er som i notat fra februar 2022 om "Omkostninger ved krav i Bygningsreglementet til klimapåvirkning fra nye bygninger".

Hvis der antages en timesats for byggeteknikere på 800 kr./time ekskl. moms og 1.100 kr./time ekskl. moms for person med særlig indsigt i LCA-beregning, bliver omkostningerne for en bygning, der renoveres:

- 3.600 kr. ekskl. moms i bygninger, hvis der skal beregnes 1 konstruktion,
- 5.300 kr. ekskl. moms i bygninger, hvis der skal beregnes 2 konstruktioner,
- 7.100 kr. ekskl. moms i bygninger, hvis der skal beregnes 3 konstruktioner.

Hvis ikke den valgte konstruktion kan opfylde kravet til CO₂-ækv./m² pr. år med det valgte nye materiale som regnskærm, kan der blive tale om at gennemføre yderligere beregninger med andre løsninger, til der er fundet en løsning, som opfylder kravet. Dette antages at forøge tidsforbruget og omkostningerne med 50 pct. og være nødvendigt i halvdelen af renoveringerne, som kræver beregning.

Ud fra levetider og renoveringsrater for de forskellige konstruktioner i klimaskærmen i eksisterende bygninger, er det estimeret, at der årligt renoveres ca. 1.900 bygninger over 1.000 m² om året, hvor renoveringen omfatter en eller flere bygningsdele i klimaskærmen. Det er desuden estimeret, at der i 63 af disse bygninger renoveres/udskiftes både tag, ydervæg og vinduer, mens der i 600 af bygningerne renoveres/udskiftes 2 bygningsdele, typisk tag og vinduer. I resten af bygningerne renoveres/udskiftes der kun én bygningsdel. I 40 pct. af dem er det typisk taget, som renoveres/skiftes, og i 60 pct. af dem er det typisk vinduerne, som skiftes.

Hvis det antages, at det er nødvendigt at udføre beregning i $\frac{3}{4}$ af de bygninger, som får renoveret/udskiftet 3 bygningsdele, i $\frac{1}{2}$ af de bygninger, som får skiftet 2 bygningsdele, og i $\frac{1}{4}$ af de bygninger, som kun får skiftet en bygningsdel, bliver den samlede årlige omkostning ved kravet til bygningsdelene ca. 3,8 mio. kr. pr. år ekskl. moms. Beregningen kan ses i regnearket.

LCA-beregning på bygningsniveau

LCA-beregning på bygningsniveau af CO₂-ækv./m² pr. år for eksisterende bygninger, der ændrer anvendelse, samt eventuelt for bygninger, der gennemgår en dyb renovering (transformation), forventes at have et tidsforbrug og en omkostning på samme niveau,

som for nye bygninger. Se notat fra februar 2022 om "Omkostninger ved krav i Bygningsreglementet til klimapåvirkning fra nye bygninger". Baggrunden for vurderingen er, at der vil indgå væsentligt færre bygningsdele og konstruktioner i LCA-beregningen, men at der på den anden side også skal udføres en energiberegning for bygningen efter renoveringen med Be18.

For en bygning på 1.000 m² bliver omkostningen således 42.400 kr. ekskl. moms og for en bygning på 10.000 m² bliver omkostningen 57.000 kr. ekskl. moms. Gennemsnitsstørrelsen for bygninger over 1.000 m² er 2.715 m², som har en estimeret omkostning på 48.800 kr. ekskl. moms.

Desværre kendes omfanget af bygninger, som skifter anvendelse ikke, så det er ikke muligt at estimere den samlede omkostning ved at stille krav om LCA-beregning på bygningsniveau for bygninger, som skifter anvendelse. Det formodes dog at være et ret lille antal bygninger over 1.000 m², som pr. år skifter anvendelse.

Heller ikke antallet af bygninger, som gennemgår en dyb renovering (transformation) inklusive renovering/udskiftning af en eller flere bygningsdele i klimaskærmen kendes. Hvis det antages, at en dyb renovering omfatter alle tre bygningsdele tag, ydervæg og vinduer, og der stilles krav om LCA-beregning på bygningsniveau ud fra det, bliver den årlige omkostning ca. 3,1 mio. kr. pr. år ekskl. moms, inklusive eventuelle bygninger som både skifter anvendelse og gennemgår dyb renovering. Sænkes kriteriet, så en dyb renovering bare skal omfatte 2 bygningsdele, stiger den årlige omkostning til ca. 32,5 mio. kr. pr. år ekskl. moms. Beregningen kan ses i regnearket.

5.2 Konsekvenser for klima

I det følgende er der lavet en analyse af hvor stor betydning et renoveringskrav i Bygningsreglementet vil have ud fra en klimamæssig betragtning.

Metode og antagelser

For at bestemme den samlede klimaeffekt ved indførelse af LCA-renoveringskrav, er miljøpåvirkninger fra renoveringstiltag skaleret op ved brug af BBR og forventede årlige udskiftningsrater. Data er brugt på følgende måde:

- Emissioner fra renoveringstiltag (konstruktioner/materialer) er taget fra LCAbyg 5 (BUILD, 2022) og fremgår af regnearket. Der er i beregningerne ikke medtaget byggeplads, fundamenter og tekniske installationer samt hårde hvidevarer.
- BBR er brugt til at bestemme arealerne for de bygningsdele, der renoveres. Her er brugt data for eksisterende bygninger opført til og med 2006. Arealer af bygningsdele er fundet ved hjælp af en simplificeret geometrisk model, som fremgår af regnearket sammen med forventede årlige udskiftningsrater. Der er anvendt en opdeling af bygningsmassen efter konstruktionstyper svarende til registreringen i BBR for den udvendige tag- og ydervægsbeklædning.

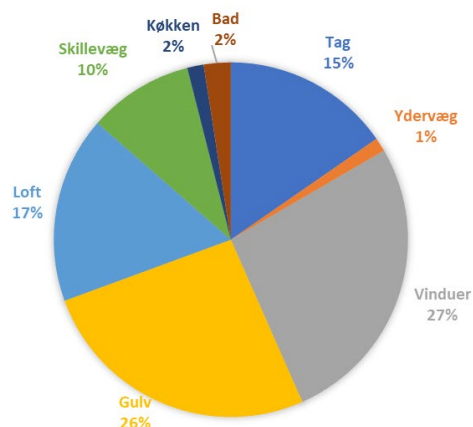
Data og beregninger kan ses i det tilhørende regneark.

Resultater

På baggrund af den opstillede analyse, er den samlede drivhusgasudledning fra materialer anvendt ved renovering (ekskl. installationer) estimeret til at udgøre ca. 0,90 mio. ton CO₂-ækv. pr. år for hele bygningsmassen, og 0,33 mio. ton CO₂-ækv. pr. år for bygninger over 1000 m² (det antages at der i første omgang stilles krav til bygninger over 1000 m²). I Figur

20 er vist fordelingen af drivhusgasudledninger fra materialer anvendt ved renovering for bygninger over 1.000 m². Her udgør tage og ydervægge ca. 16% (0,05 mio. ton CO₂-ækv. pr. år) mens vinduer udgør 27% (0,09 mio. ton CO₂-ækv. pr. år).

FORDELING AF CO₂ ÆKVIVALENTER EFTER BYGNINGSDELE



Figur 20 Fordeling af klimabelastning ved renovering af bygninger over 1.000 m² baseret på estimater og antagelser fra BBR, renoveringsrater af bygningsdele, og konstruktionsopbygninger. Se tilhørende regneark.

Et renoveringskrav for bygninger over 1.000 m² vil dermed berøre knap $(0,05+0,09)/0,90 = 16\%$ af den samlede drivhusgasudledning fra materialer anvendt ved renovering. Til sammenligning er den samlede udledning af CO₂-ækv. pr. år i *Klimastatus og -fremskrivning 2022* opgjort til ca. 45 mio. ton i 2020 (Energistyrelsen, 2022), og dermed vil et evt. renoveringskrav for bygninger over 1.000 m² påvirke ca. 0,3% af den samlede udledning. Hvis kravet indføres til alle bygninger uanset størrelse, vil størrelsesordenen være ca. 1%. Disse resultater er forbundet med en del usikkerheder, som knytter sig til antagelserne beskrevet ovenfor.

6 Perspektiv

6.1 Risici for omgåelse af LCA-krav ved renovering

Det er et dilemma, at jo flere og strammere krav, man stiller til renovering, jo mere oplagt bliver det at rive bygningen ned og bygge en ny. Det derfor vigtigt at renoveringskravene er så entydige, klare og lette at håndtere i praksis som muligt. I det følgende er givet nogle opmærksomhedspunkter ift. LCA-opgørelsesmetoden for driftsenergi og materialer, hvor der kan være udfordringer mht. efterlevelse i praksis.

Driftsenergi

Hvis renoveringskravet for ombygning af bygningsdele baseres på en metode, hvor det er energibesparelsen, der modregnes i CO₂ opgørelsen for en given renovering, vil der være en risiko for at den eksisterende konstruktions isoleringsniveau underestimeres, så der opnås en større beregnet driftsbesparelse end reelt er tilfældet. Det er derfor en fordel, hvis kravet (referencen) baseres på mindstekravet ved ombygning jf. BR18 § 279.

Materialer

Der kan være en risiko for at LCA-værdien af materialer bevidst overvurderes i LCA-opgørelsen af den eksisterende bygningsdel. Tilsvarende kan der være en risiko for at LCA-værdien af materialer undervurderes i LCA-opgørelsen af den nye bygningsdel. Materialer der bortskaffes, vil tælle negativt i LCA-opgørelsen og dermed er der en risiko for at de glemmes eller bevidst ikke medtages i beregningen.

6.2 LCA-metode til renovering

Som beskrevet i afsnit 2.1 følger LCA-beregning for et renoveringsprojekt den Europæiske standard EN 15978-1. I denne beregning medtages alle aktiviteter og nye materialer, der sker under renoveringen, men det diskuteres stadig, hvordan de eksisterende bygningsdele skal indgå i beregningen. Det kan derfor være interessant at undersøge, hvor stor en klimapåvirkning, de eksisterende materialer har, når der udføres en LCA af et renoveringsprojekt.

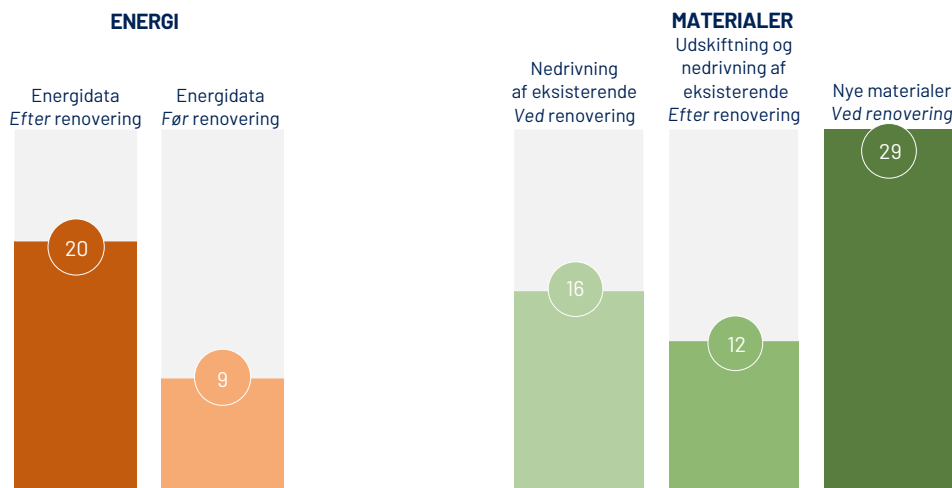
De eksisterende materialer kan betragtes i fire kategorier; 1) den oprindelige produktion af materialerne (som allerede er sket), 2) nedrivning af materialer under renovering, 3) udskiftning af materialerne efter renovering (i brugsfasen) og 4) nedrivning af materialer ved endt levetid af den renoverede bygning. Derudover har det eksisterende byggeri et energiforbrug, der kan være relevant at betragte afhængigt af den valgte metode for grænseværdi.

Datatilgængelighed

Ud fra de 29 renoveringscases er det undersøgt, hvor stor en betydning klimabelastningen fra de eksisterende materialer har. Indledende vises en oversigt over datatilgængeligheden af det eksisterende byggeri i de 29 cases, både for energi og materialer, se Figur 21.

Til venstre i Figur 21 kan man se, at ud af de 29 renoveringscases, er der for 20 cases udarbejdet en energirammeberegning af den renoverede bygning. Heraf har det i 15 af tilfældene indgået som en del af projekteringen af renoveringen. De resterende fem er udarbejdet af BUILD, når der har været tilstrækkeligt med data til at opbygge en model. Kun for ni renoveringscases er der en energirammeberegning af bygningen før renovering. For otte cases er denne beregning udført af BUILD på baggrund af tilgængeligt energimærke. I den niende case var der i forbindelse med renoveringsprojektet udført beregninger af energiforbrug af rådgiver.

Til højre i Figur 21 fremgår datatilgængeligheden af materialer fordelt på eksisterende og nye. Det har i alle de 29 cases været muligt at medtage nye materialer, der tilføjes under renoveringen. I 16 af renoveringscases kan nedrivning af de eksisterende materialer under renovering (kategori 2) medtages. Kun i 12 tilfælde har der været tegninger og beskrivelser til at kunne kortlægge alle de eksisterende materialer, der bevares i bygninger, som enten skal udskiftes undervejs (kategori 3) eller bortskaffes ved endt levetid af bygningen (kategori 4).



Figur 21 Datatilgængelighed

Bidraget fra de eksisterende materialer i bygningen

Klimabelastningen fra eksisterende materialer er beregnet ud fra ni renoveringscases.

De nye materialer modelleres på samme måde som nybyggeri, hvor der medtages modul A1-A3, B4 og C3 og C4. De eksisterende materialer, der nedrives, indgår som bortskaffelse, modul C3-C4. De eksisterende materialer, der bevares i bygningen, er modelleret ud fra følgende forudsætninger:

- Alle bevarede bærende konstruktioner antages at blive stående i bygningen i hele betragtningsperioden og indgår kun som bortskaffelse efter 50 år, modul C3-C4
- Bevarede bygningsdele/materialer udskiftes, når de har udtjent deres levetid jf. Levetidstabellen (BUILD AAU, 2021b), modul B4 og C3-C4. Det antages kun at gælde materialer, der har en restlevetid over 5 år. Er restlevetiden mindre end 5 år sættes materialet til først at blive udskiftet efter antallet af år svarende til levetiden i Levetidstabellen.

Resultatet i Figur 22 viser bidraget fra nye materialer, nedrevne materialer og bevarede materialer i de ni cases. Da biogene materialer frigiver CO₂ ved nedrivning, kan det have en

stor indflydelse på resultatet om dette medtages i beregningen eller ej. Derfor er resultatet i Figur 22 vist både med og uden frigivelse af det biogene carbon i C3-C4 for eksisterende materialer. Biogent carbon regnes typisk neutralt over bygningens livscyklus, hvilket kan være et argument for ikke at medtage det i betragtningen.

Figur 22a viser, at både de nedrevne og bevarede materialer kan medføre et højt bidrag, sammenlignet med nye materialer. F.eks. for Bolig B9 og B13 fylder de hhv. 70 % og 66 %. I dette tilfælde bliver man bygningen "straffet" for både at nedrive og bevare biogene materialer, f.eks. trækonstruktioner, i bygningen.



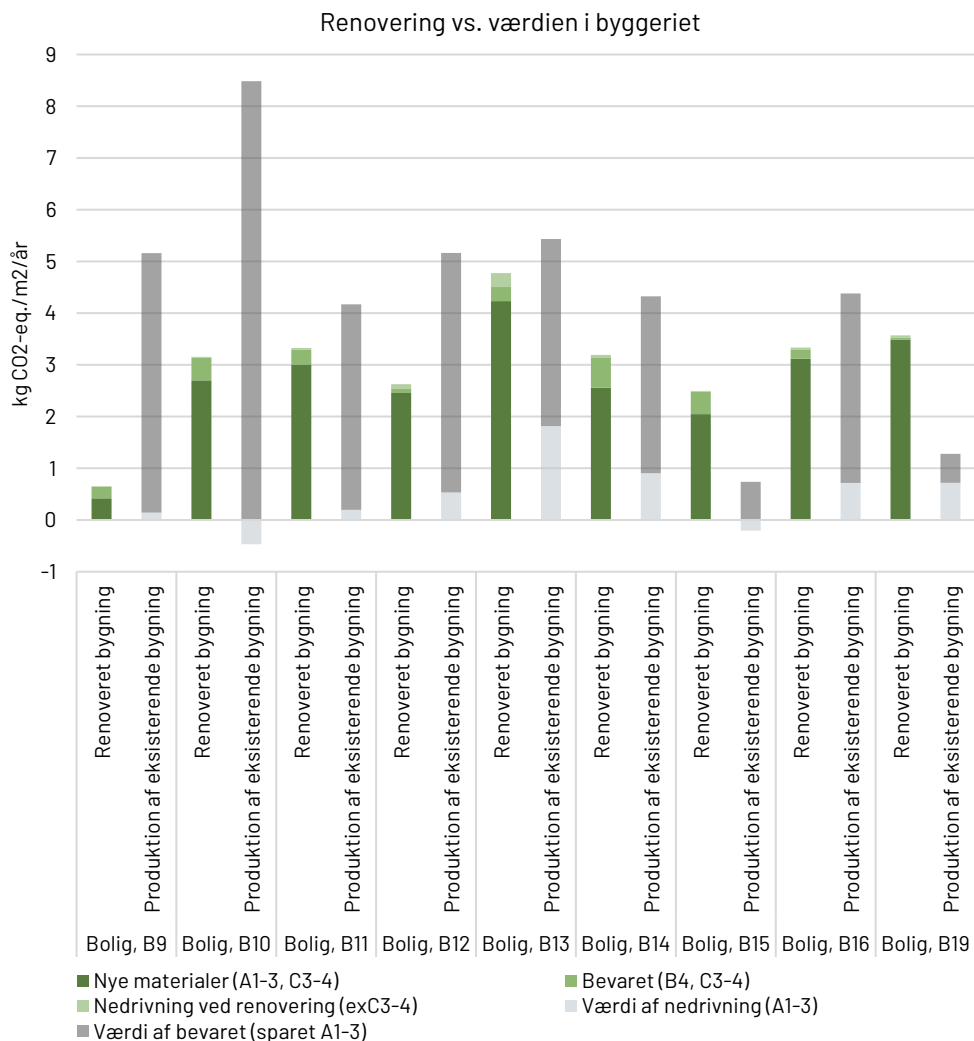
Figur 22 Klimabelastning fra nye og eksisterende materialer for ni renoveringscases.

Derfor kan man i stedet se på Figur 22b, hvor bidraget fra de eksisterende materialer er væsentligt mindre. Især for de nedrevne materialer under renovering, viser grafen et meget lille bidrag på mellem 0,5-6 % af den samlede klimabelastning fra materialer. Bidraget fra de bevarede materialer i Figur 22b bliver også mindre når frigivelsen af det biogene carbon ikke medtages i beregningen. Dog viser grafen, at bevarede materialer i nogle tilfælde kan udgøre op til 34 % af den samlede klimabelastning fra materialer (Bolig B9). De bevarede materialer har også en vis betydning for B10, B14 og B15 med et bidrag på hhv. 14%, 18 % og 17 %.

Værdien af eksisterende materialer

Med henblik på at skabe klimakloge renoveringer, hvor mest muligt materiale bevares i bygningerne, skal de eksisterende materialer også betragtes som en værdi i byggeriet. De indeholder indlejret CO₂ fra den oprindelige produktion af materialer da bygningen blev opført (kategori 1). Denne værdi af det eksisterende kan igen sammenlignes med materialer der nedrives/bortskaffes under renovering og hvilke der bevares, se Figur 23.

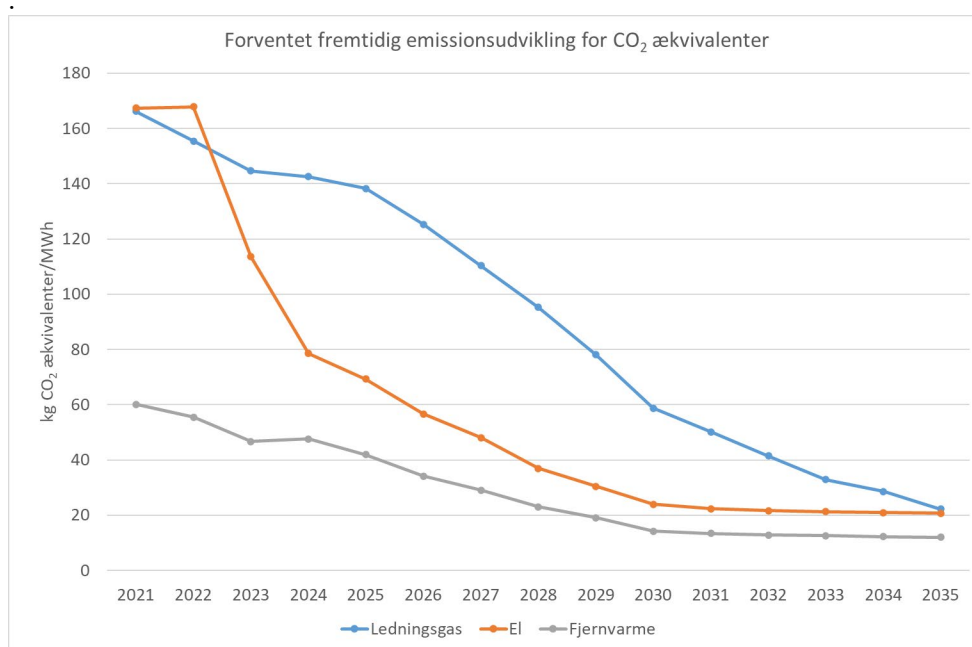
Figur 23 viser klimabelastningen fra nye og eksisterende materialer under og efter renovering (som også er vist på Figur 23b) samt den indlejrede klimabelastning, "værdien", af de eksisterende materialer (grå farver). I casene ses det at langt størstedelen af de indlejrede påvirkninger bevares i bygningen ved renovering.



Figur 23 Materialebidrag fra nye og eksisterende materialer kontra den indlejrede CO₂, værdien, af de eksisterende materialer (produktionen A1-3).

6.3 Udviklingen i emissionsfaktorer

En samlet fremtidsopgørelse af potentialet for CO₂-besparelser ved renovering af bygningsmassen er kompleks, da udviklingen i varmekonvertering af bygninger væk fra fossile brændsler øges markant de kommende år og samtidig sker der ligeledes en markant udbygning af vedvarende energianlæg. En opgørelse af potentialet vil derfor være stærkt afhængig af hvilket basisår, der lægges til grund. Figur 24 viser en fremskrivning af CO₂ emissionsfaktoren for el, fjernvarme og ledningsgas frem til 2035 baseret på *Klimastatus og fremskrivning 2022* (Energistyrelsen, 2022).



Figur 24 Forventet fremskrivning af CO₂ emissionsfaktoren for ledningsgas, el og fjernvarme på basis af (Energistyrelsen, 2022)

Det vil forventeligt tage flere år før et evt. LCA renoveringskrav er fuldt implementeret i Bygningsreglementet og samtidig ses det at fremskrivningen af emissionsfaktorerne i Figur 24, at disse reduceres markant i forhold til niveauet i 2022. Driftsenergien må dermed forventes i løbet af få år at få markant mindre betydning og dermed øge den klimamæssige tilbagebetalingstid, idet materialerne vil vægte tungere og tungere. Det kan derfor også overvejes om et LCA renoveringskrav alene bør baseres på et materialekrav.

7 anbefalinger

7.1 Tre overordnede anbefalinger til renoveringskrav

I forbindelse med et eventuelt krav ift. LCA for renoveringer, giver det god mening så vidt muligt at anvende og fastholde definitionerne fra energikrav til renovering jf. BR18. Nedenstående tabel viser relationen mellem de nuværende energikrav og anbefalingerne til LCA-krav. Det anbefales at bruge grænseværdi 1 som "LCA-ramme" og grænseværdi 5 til "LCA-komponent-krav/ramme", se Tabel 13.

Ligesom med energikravene giver det ikke mening at stille krav ift. LCA i forbindelse med mindre vedligeholdelse og reparationer, og derfor vil det udelukkende være for *Ombygninger, Udskiftninger, Ændret anvendelse* og *Tilbygninger*, at det vil være relevant at stille LCA-krav.

Tabel 13 Anbefalinger til LCA-krav og deres relation til energikravene. Grænseværdi 1 og 5 bruges til at opfylde hhv. LCA-ramme og LCA-komponent-ramme/krav

	Renoveringstype	Energikrav	LCA-krav
Bygningsniveau	Tilbygning	Energiramme (for selve tilbygning) Varmetabsramme Komponentkrav	LCA-ramme
	Ændret anvendelse	Energiramme Varmetabsramme Komponentkrav	LCA-ramme LCA-komponent-ramme LCA-komponent-krav
	Andre renoveringer		LCA-ramme LCA-komponent-ramme LCA-komponent-krav
Bygningsdels-Niveau	Udskiftning af bygningsdel	Komponentkrav	LCA-komponent-krav
	Ombygning	Komponentkrav	LCA-komponent-krav
	Bygningsmæssige ændringer	Komponentkrav Varmetabsramme	-
	Reparationer	-	-

1. LCA-krav til renoveringer

For alle renoveringer over 1.000 m² kan det gælde, at der enten overholdes en grænseværdi på bygnings- eller på bygningsdelsniveau. Dermed gives der frihed til, at grænseværdien ved simple renoveringer (én eller få bygningsdele) er opfyldt ved krav til bygningsdele, mens man ved dybere renoveringer har valget om i stedet at se renoveringen som helhed, fx hvis nogle bygningsdele skal opveje for andre.

Er det for renoveringer valgt at opfylde renoveringskrav på bygningsniveau, bør de ligeledes overholde de samme krav som nybyggeri. Der kan yderligere gælde, at der for alle renoveringer under 1.000 m² kan være krav om udførelse af en beregning på enten bygningsdels- eller bygningsniveau uden krav om, at en grænseværdi overholdes. På den måde uddannes også mindre aktører i branchen, der kan omstille sig til dette krav i fremtiden.

2. LCA-krav til tilbygninger

Tilbygninger kan overholde de samme krav som LCA for nybyggeri. I første omgang kan det gælde for tilbygninger over 1.000 m². Alternativt kan der sættes krav til tilbygninger helt ned til 500 m².

3. Særlige LCA-krav til dybe renoveringer

I bygninger (over 1.000 m²), hvor der foretages dyb renovering, kan der stilles krav om, at der laves en LCA på bygningsniveau. Har man valgt at opfylde krav til bygningsdelene, skal der pga. dette supplerende krav også laves en beregning på bygningsniveau, som dog ikke skal sammenholdes med en grænseværdi i BR på bygningsniveau. Kravet stilles for at motivere og uddanne/udvikle branchen. Beregningerne kan give data, som kan bruges i den videre udvikling af bestemmelserne.

Vejledning til krav på bygningsdelsniveau

LCA-krav til ombygning og udskiftning af bygningsdele (grænseværdi 5)

Kravet opfyldes ved at eftervise, at den faktiske samlede klimapåvirkning for bygningsdelen er mindre end en specifik beregnet LCA reference-værdi, se Tabel 14. Kravet er baseret på grænseværdi 5. I Bilag I fremgår et beregningseksempel for grænseværdi 5.

Tabel 14 Beskrivelse af LCA krav ved ombygning og udskiftning

<u>LCA reference-værdien</u> svarer til den beregnede sum af kg CO ₂ -ækv./m ² af den eksisterende bygningsdel.	<u>Faktisk bygningsdel i projekt</u> svarer til den beregnede sum af kg CO ₂ -ækv./m ² renoveret bygningsdel.
U-værdi-niveauet fra BR (hhv. ombygnings- og ændret anvendelseskravet).	U-værdi-niveauet antages at være opfyldt.
CO ₂ emissionerne for de materialer, der skal tilføres for at opbygge samme konstruktion (inklusive et isoleringslag svarende til ombygningskravet).	CO ₂ emission fra de materialer, der tilføres bygningsdelen.
Referencen skal beregnes med generiske data fra LCAByg.	Projektet skal beregnes med generiske data fra LCAByg. Alternativt kan der anvendes miljødata fra produktspecifik EPD.

I ønsket om at gøre kravet operationelt anbefales det, at der på sigt opbygges et katalog med præaccepterede løsninger svarende til *Bygningsreglementets vejledning om efterisolering* (Bolig- og Planstyrelsen, 2022), der kan bruges som LCA-reference. På den måde kan det undgås at eftervise klimabelastningen for LCA-referencen i hvert projekt. De præaccepterede løsninger bør udvikles for forskellige konstruktionsprincipper inden for hver bygningsdel.

Muligheder for at vurdere alle bygningsdele samlet

For renoveringer, der dækker mere end én bygningsdel, kan LCA-opgørelsen summeres, og der kan i princippet overføres overskud/underskud i opgørelserne mellem de enkelte bygningsdele (fx kan et underskud på 2 kg CO₂ ækv. fra renoveringen af tagkonstruktionen

dækkes ind af et overskud på 2 kg CO₂ ækv. fra renoveringen af ydervæggen). LCA-komponentrammen etableres ved at summere LCA-referenceværdier, hvor de reelle arealer er ganget på.

Beregningen af klimabelastningen fra LCA af bygningsdelene fra den reelle bygning, skal således være mindre end LCA-komponentrammen. Anvendes en LCA-komponentramme gives incitament til at genbruge eller forbedre materialevalg i nogle bygningsdele, hvor gevinsten så kan overføres til andre bygningsdele.

Beregningsforudsætninger

Alle beregningerne baseres på specifik varmforsyningstype mht. emissionsfaktorer, og både reference og projekt baseres på den opvarmingskilde, der forventes i bygningen efter renoveringen er afsluttet.

For alle beregninger relateret til referencen benyttes der generiske materialeleværdier. I beregningen for det aktuelle projekt kan der benyttes materialeleværdier fra specifikke materialer (EPD'er), og disse skal i så fald vedlægges beregningerne, så der er dokumentation for materialernes individuelle ydeevne.

Begrænsninger

- Er begrænset til kun at gælde ved ombygning og udskiftning.
- Grundet kompleksiteten ved bygningsmæssige ændringer kan der laves en undtagelse. F.eks. ved nye elevatorer i en trappeopgang, der kræver en ændring af taget samt gulvet. Alternativt kan kravet opfyldes på bygningsniveau.
- Gælder kun for klimaskærmens bygningsdele.
- Gælder ikke for tekniske installationer eller vinduer.
- Ved udskiftninger er referencen stadig en hel konstruktionsopbygning svarende til energikrav i BR. Dvs. at der kun regnes på ekstra isolering, beklædning og evt. ekstra underkonstruktioner for supplerende isolering. Ved ældre byggerier hvor bygningsdele er udført efter gamle principper, f.eks. et terrændæk kun med jord/ler, kan der indføres dispensation til at udskifte med en helt ny opbygning af fx beton og trykfast isolering.
- For vinduer og døre kan LCA-reference-kravet være vanskeligt at overholde eftersom nyere vinduer med træ/alu-ramme/karm kan have en højere klimabelastning end ældre vinduer med en ren træ-ramme/karm. De bør på nuværende tidspunkt derfor ikke omfattes af kravet. For vinduer bør der i stedet arbejdes på en LCA mærkningsordning. Alternativt kan LCA-referencen i ethvert tilfælde være en træ/alu ramme/karm, hvilket svarer til en almindelig anvendt løsning i dag.
- For installationer er der begrænsede miljødata og grundlaget for et LCA-reference-krav er usikkert. I første omgang kan kravet opfyldes ud fra de gældende energikrav.

Vejledning til krav på bygningsniveau

LCA-krav til renovering på bygningsniveau (Grænseværdi 5)

Der skal udføres en fuld LCA jf. LCA-metode afsnit 3.1. Kravet baseres på Grænseværdi 1.

7.2 Anbefaling til udvidet datagrundlag

Som det kan ses på Figur 9, består de 29 cases af større renoveringer, der indeholder flere tiltag. Der rammes dermed ikke et bredt udsnit af renoveringer, som både bør indeholde

projekter med mindre indgreb og store ombygninger. Det er derfor behov for et større datagrundlag for at udvikle en mere velfunderet metodeudvikling som favner de forskellige heder, der indgår i renovering og ombygning af eksisterende bygninger i Danmark. En øget repræsentation af renoveringer bør i højere grad omfatte de renoveringer, der typisk udføres. Dette kan imødekommes ved at indhente flere cases for småhuse, særligt enfamiliehuse, der udgør en væsentlig del af den samlede bygningsmasse.

Ud over data på flere typiske renoveringer er det også væsentligt at få et større kendskab til renoveringer i kategorien *Ændret anvendelse*, der kun er repræsenteret af fire cases og som demonstreret i Figur 13 kan variere væsentligt i klimabelastningen fra materialer. Dog er det nødvendigt at beslutte, hvordan *Ændret anvendelse* endeligt skal defineres i et kommende LCA-krav, hvis der arbejdes væk fra nuværende definitioner i energikrav.

Flere cases vil også give et større datagrundlag til vurdering af renoveringskravenes effekt på klima. Den vurderede klimaeffekt i afsnit 5 er bestemt på baggrund af nogle simplificerede antagelser. Ved at have flere cases, der er mere repræsentative for den danske bygningsmasse, kan man få et mere retvisende billede af potentialet.

For at strukturere en fremadrettet proces til indhentning af data, kan der med fordel udføres et roadmap, der kortlægger de nødvendige trin hen mod en bredere dataindsamling. Her skal det kortlægges, hvilke casetyper der er målet, og hvilke data der er nødvendige for at udføre den ønskede LCA.

7.3 Anbefaling til videreudvikling af renoveringskategorier for LCA-krav

Renoveringscases under "Andre renoveringer" dækker over et stort spænd af renoveringsomfang og forskellige formål med renoveringen, f.eks. energioptimering, indvendig renovering og funktionsændring. Eftersom denne kategori omfatter størstedelen af cases, 23 ud af 29, anbefales det at videreudvikle definitioner på renoveringskategorier, der i højere grad henvender sig til kommende LCA-krav på renoveringer og på den måde kan håndtere de store forskelligheder.

I rapporten introduceres kategorien "Dybe renoveringer", som en mulighed for at adskille de mindre fra de store renoveringer. Dog vil alle de 29 cases i denne rapport umiddelbart indgå i denne kategori, og der kan derfor være behov for yderligere opdeling/adskillelse af cases.



8 Litteraturliste

Anvendt litteratur

- Bolig og Planstyrelsen. (2022). *FBK (28-08-2022)*. Retrieved from <https://baeredygtighedsklasse.dk/>
- Bolig- og Planstyrelsen. (2022, September). *Vejledning om efterisolering*. Retrieved from Bygningsreglementet.dk: <https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/BRV/Ofte-rentable-konstruktioner/Indledning#932e398e-5dcb-4e5d-8974-de5acba2c957>
- BUILD AAU. (2020). *Klimapåvirkning fra 60 bygninger*. BUILD, AAU.
- BUILD AAU. (2021a). *Klimaeffektiv renovering - Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering*. Sydhavnen: BUILD.
- BUILD AAU. (2021b). *BUILD levetidstabel*. Sydhavnen: BUILD.
- BUILD AAU. (2021c). *Varmebesparelse i eksisterende bygninger - Segmentering*. BUILD AAU.
- BUILD AAU. (2022). *Klimapotentialet ved renovering kontra nedrivning med nybyg*. BUILD AAU.
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. (2022). *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen*. Retrieved from <https://www.bnb-nachhaltiges-bauen.de/>
- CEN/TC 350. (2022). *prEN 17680 Bygge- og anlægskonstruktioners bæredygtighed - Evaluering af potentiale for bæredygtig nyindretning af bygninger (UDKAST)*. CEN.
- Dansk Standard. (2012). *DS/EN 15978:2012 - Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet - Beregningsmetode*. Dansk Standard.
- DK-GBC. (2022). *Dk-gbc (28-08-2022)*. Retrieved from www.dk-gbc.dk
- Energistyrelsen. (2022). *Klimastatus og fremskrivning 2022*. Retrieved from *Klimastatus og fremskrivning 2022*: <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/klimastatus-og-fremskrivning-2022>
- Europa-Kommissionen. (2018). *LEVEL(s)*. Retrieved from *Level(s)*: https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/levels_en
- Europa-Kommissionen. (2020). *A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives*.
- Europa-Kommissionen. (2021). *Forslag til EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV om bygningers energimæssige ydeevne (omarbejdning)*. Bruxelles: EUROPA KOMMISSIONEN.
- Indenrigs- og Boligministeriet. (2021). *National strategi for bæredygtigt byggeri*. Indenrigs- og Boligministeriet.
- Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. (2021, 12 13). *LBK nr 2580 af 13/12/2021 - Bekendtgørelse af lov om klima*. Retrieved from *Retsinformation*: <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2021/2580>
- Nygaard Rasmussen, F., & Birgisdóttir, H. (2015). *Livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer*. Sydhavnen: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet .

- Rambøll. (2020). *Analyse af CO2-udledning og totaløkonomi i renovering og nybyg*. Rambøll.
- Viegand Maagøe A/S & Wilke A/S. (2021). *Bilagsrapport til Analyse af efterlevelse af bygningsreglementets energikrav ved renovering af eksisterende bygninger samt omfanget af renovering*. Energistyrelsen.
- World Green Building Council. (2019). *Bringing embodied carbon upfront - Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon*. World Green Building Council, Advancing Net Zero.

9 Bilag I

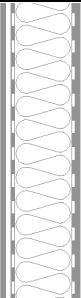
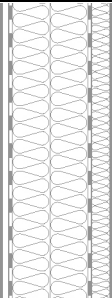
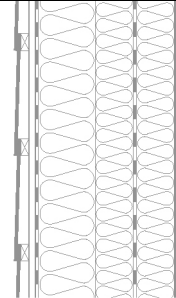
Eksempel på LCA-krav til ombygning og udskiftning af bygningsdele

Der er her givet to beregningseksempler på, hvordan grænseværdi 5 kan opstilles som LCA-krav. Dette er blot to bud på, hvordan der kan arbejdes med ideen om en LCA-referencen og der lægges op til at metoden bearbejdes og videreudvikles.

I de to følgende eksempler udføres en beregning for en renovering af en bygning, hvor der udføres en ombygning af tag og ydervæg samt en udskiftning af terrændæk. For alle bygningsdele opstilles en referencesituation der tager udgangspunkt i den eksisterende konstruktion. Referencen betragtes som den løsning, der ved renovering opfylder komponentkravet til U-værdien ved renovering jf. BR § 250 – § 256. Her kan de præaccepterede løsninger, der fremgår af "Bygningsreglementets vejledning om efterisolering" anvendes (Energiforbrug (§ 250 – § 298)).

Eksempel #1: LCA-referencen danner grundlag for den præaccepterede løsning – i "projektet" skal der kun regnes på de materialer, der afviger fra referencen.

Dette eksempel illustrerer hvordan der kan opstilles en simpel beregning, hvor der kun regnes på de materialer, der afviger fra referencen. Alle de konstruktionslag, der er i overensstemmelse med referencen, er dermed præaccepteret og vil være tilladt uden eftervisning ved beregning.

Eksempel #1.1 Opbygning af let ydervæg		
Ydervæggen er en let konstruktion med udvendig træbeklædning. Referencen for denne ombygning er dermed en efterisoleret ydervæg med træbeklædning, der overholder et komponentkrav på 0,18 W/m ² K hvilket ifølge føromtaltte vejledning svarer til en isoleringstykkelse på 250 mm.		
Før renovering	Reference U = 0,18 [W/m ² K]	Projektet
Træfacade Ventileret hulrum Vindspærre Isolering ≤ 150 mm Dampspærre Vægbeklædning	Træfacade Ventileret hulrum Vindspærre Efterisolering 200 mm Dampspærre Efterisolering 50 mm Vægbeklædning	Skiferfacade Ventileret hulrum Vindspærre Efterisolering 200 mm Dampspærre Efterisolering 50 mm Vægbeklædning
		

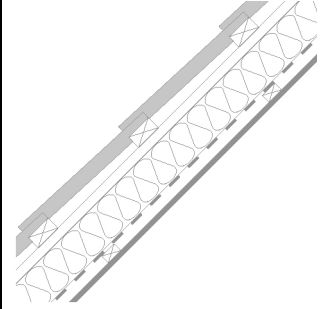
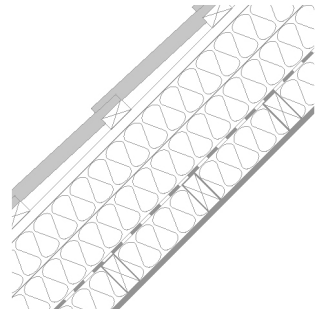
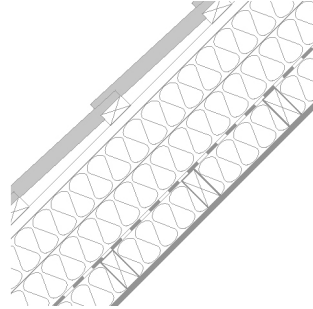
Kilde: (Bolig- og Planstyrelsen, 2022)

I dette eksempel skal den eksisterende yvendige træbeklædning udskiftes med skifer. Skifer er et materiale med højere klimabelastning end træ og denne ekstra klimabelastning skal kompenseres for ved fx at indføre yderligere isolering. Der lægges derfor 100 mm mineraluld ekstra i ydervæggen. Dette kræver ligeledes ekstra afstandslistes, som også medtages i klimabalancen for *Projektet*.

Bidrag til CO ₂	LCA-Reference		Projektet	
	Materiale	kg CO ₂ -ækv./m ²	Materiale	kg CO ₂ -ækv./m ²
Yderligere isolering			100 mm mineraluld	4,14
Ekstra konstruktion			Træstolper	2,16
Beklædning	Træbrædder inkl. lister og fastgørelse	12,80	Skiferfacade inkl. lister og fastgørelse	19,8
Energibesparelse for yderligere isolering			U-værdi = 0,13 W/m ² K	-17,56
Balance		12,80	≥	8,54
LCA-komponent-krav er overholdt				JA

Eksempel #1.2: Ombygning af skråt tag

Taget er opbygget som skråt tag med tagsten. Referencen for denne ombygning er dermed et efterisoleret tag med tagsten, der overholder et komponentkrav på 0,12 W/m²K hvilket ifølge føromtalte vejledning svarer til en isoleringstykkelse på 300 mm.

Før renovering	Reference U-værdi = 0,12 [W/m ² K]	Projektet
Tagsten på lægter Isolering ≤ 100 mm Dampspærre Loftbeklædning	Tagsten på lægter Efterisolering 200 mm Dampspærre Efterisolering 100 mm Loftbeklædning	Tagsten på lægter Efterisolering 200 mm Dampspærre Efterisolering 100 mm Loftbeklædning
		


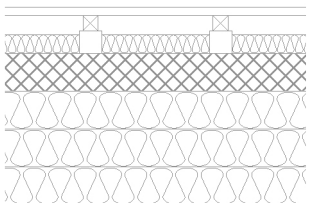
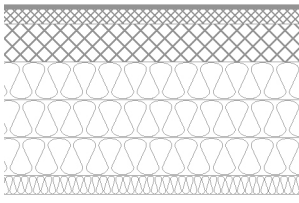
Kilde: (Bolig- og Planstyrelsen, 2022)

I denne renovering er det ønsket at genbruge teglstenene i renoveringen, da de ikke har udtjent deres levetid. Dermed er klimabelastningen fra nye teglsten sparet samtidig med at referenceopbygningen er opfyldt.

Bidrag til CO ₂	LCA-Reference		Projektet	
	Materiale	kg CO ₂ -ækv./m ²	Materiale	kg CO ₂ -ækv./m ²
Yderligere isolering			Ingen	
Ekstra konstruktion			Ingen	

Beklædning	Teglsten inkl. lægter og fastgørelse	19,3	Genbrug af teglsten - nye lægter og fastgørelse	3,14*
Energibesparelse ved yderligere isolering			Ingen	
Balance		19,3	≥	3,14
LCA-komponent-krav er overholdt				JA

*Der medtages kun klimabelastning fra nye lægter og fastgørelsesmidler pga. genbrug af tagstenene

Eksempel #1.3: Udskiftning af terrændæk		
Terrændækket består af en betondæk mod jord med et trægulv på strøer. Referencen for denne ombygning er dermed et helt nyt terrændæk, der overholder et komponentkrav på 0,10 W/m ² K hvilket ifølge føromtalt vejledning svarer til en isoleringstykkelse på 350 mm.		
Før renovering	Reference U = 0,10 [W/m ² K]	Projektet
Gulv på strøer Isolering ≤ 50 mm Betondæk	Gulv på strøer Isolering ≤ 50 mm Betondæk Isolering 350 mm	Linoleumsgulv Afretningsslag 50 mm Betondæk Efterisolering 300 mm Efterisolering trykfast 50 mm
		

Kilde: (Bolig- og Planstyrelsen, 2022)

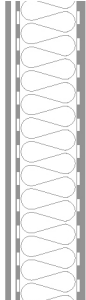
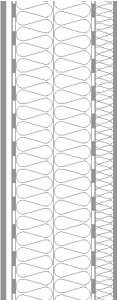
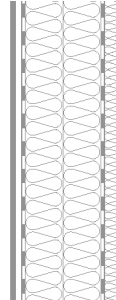
Ved udskiftning af terrændækket ændres gulvbelægningen fra træ til linoleum (bemærk at tegningen ikke afspejler dette!). Referencen er dermed overskredet og det er nødvendigt at tilføje yderligere isolering under betondækket, der skal medregnes som en yderligere klimabelastning ud over referencen. Udskiftning af terrændækket viser et eksempel hvor det ikke er muligt at overholde LCA-komponentkravet. Denne udskiftning kan opfylde referencekravet, hvis der i stedet vælges et trægulv på strøer.

	LCA-Reference		Projektet	
	Materiale	kg CO ₂ -ækv./m ²	Materiale	kg CO ₂ -ækv./m ²
Bidrag til CO ₂				
Yderligere isolering			50 mm EPS	5,74
Ekstra konstruktion			Ingen	
Gulvopbygning	Trægulv på strøer	5,92	Linoleum på afretningsslag	20,7
Energibesparelse ved yderligere isolering			U-værdi = 0,09 W/m ² K	-3,94
Balance		5,92	≥	22,5
LCA-komponent-krav er overholdt				NEJ

Eksempel #2: LCA-referencen er en beregning af alle de lag der fjernes og erstattes i bygningsdelen – i "projektet" skal der tilsvarende regnes på alle lag der tilføres.

Dette er et eksempel på en beregning, hvor alle materialer, der fjernes medtages i beregningen. På den måde er det muligt at optimere på alle materialegag og dermed vælge materialer, der er bedre end referencen. Her gives kun et beregningseksempel på ombygning af en ydervæg.

#2.1 Opbygning af let ydervæg

Ydervæggen er en let konstruktion med udvendig træbeklædning. Referencen for denne ombygning er dermed en efterisoleret ydervæg med træbeklædning, der overholder et komponentkrav på 0,18 W/m ² K hvilket ifølge føromtalt vejledning svarer til en isoleringstykkelse på 250 mm.		
Før renovering	Reference U = 0,18 [W/m ² K]	Projektet
Træfacade Ventileret hulrum Vindspærre Isolering ≤ 150 mm Dampspærre Vægbeklædning	Træfacade Ventileret hulrum Vindspærre Efterisolering 200 mm Dampspærre Efterisolering 50 mm Vægbeklædning	Træfacade Ventileret hulrum Vindspærre Efterisolering 200 mm Dampspærre Efterisolering 50 mm Vægbeklædning
		

Kilde: (Bolig- og Planstyrelsen, 2022)

I dette eksempel tages der udgangspunkt i #1.1 hvor den samme facadetype opføres igen. Ydervæggen bliver derfor efterisoleret og der opsættes ny træbeklædning. Grundet efterisolering skal dampspærren flyttes 1/3 ind i isoleringslaget. Derudover fjernes den indvendige beklædning. I projektet er det ønsket at isolere med træfiberisolering.

Bidrag til CO ₂	LCA-Reference		Projekt	
	Materiale	kg CO ₂ -ækv./m ²	Materiale	kg CO ₂ -ækv./m ²
Isolering	250 mm mineraluld	10,35	250 mm træfiberisolering	6,80
Konstruktion	Ekstra træskelet Dampspærre	7,32	Ekstra træskelet Dampspærre	7,32
Indvendig beklædning	2 lag gipsplade	2,98	2 lag gipsplade	2,98
Beklædning	Træbrædder inkl. lister og fastgørelse	12,80	Træbrædder inkl. lister og fastgørelse	12,80
Balance		33,45	≥	29,9
LCA-komponent-krav er overholdt				JA

Muligheder for at vurdere alle bygningsdele samlet

For renoveringer der dækker mere end én bygningsdel, kan LCA-opgørelsen summeres og der kan i princippet overføres overskud/underskud i opgørelserne mellem de enkelte bygningsdele (fx kan et underskud på 2 kg CO₂ ækv. fra renoveringen af tagkonstruktionen dækkes ind af et overskud på 2 kg CO₂ ækv. fra renoveringen af ydervæggen). LCA-komponentrammen etableres ved at summere LCA-referenceværdier hvor de reelle arealer er ganget på.

Beregningen af klimabelastningen fra LCA af bygningsdelene fra den reelle bygning, skal således være mindre end LCA-komponentrammen. Anvendes en LCA-komponent-ramme gives incitament til at genbruge eller forbedre materialevalg i nogle bygningsdele, hvor gevinsten så kan overføres til andre bygningsdele.

Eksempel på LCA-komponent-ramme (videreført fra eksempel #1 ovenfor)

Fra eksemplerne ovenfor ses det at LCA-kravet ikke kan overholdes for terrændækket, til gengæld ligger både ydervægs- og tagombygningen under kravet. Baseret på arealer af ydervæg, tag og terrændæk fra en case-bygning er resultaterne skaleret op, som vist i tabellen herunder. Hvis renoveringen af de tre bygningsdele betragtes samlet, vil LCA-komponent-rammen være overholdt, da den samlede renovering resulterer i en lavere klimabelastning end summen af LCA-referenceværdierne.

	Areal	LCA-reference	LCA-reference x Areal	LCA projekt	LCA projekt x Areal
	[m ²]	kg CO ₂ -ækv./m ²	kg CO ₂ -ækv.	kg CO ₂ -ækv./m ²	kg CO ₂ -ækv.
Ydervægge	531	12,8	6.797	8,54	4.535
Tag	682	18,6	12.685	3,14	2.141
Terrændæk	534	5,92	3.161	22,5	12.015
SUM			22.643	≥	18.691
LCA-komponent-ramme overholdt					JA

10 Bilag II

Som en del af projektet har det været hensigten at inddrage viden og erfaringer fra byggebranchen i ønsket om at udarbejde håndgribelige grænseværdier, der skaber incitament til at renovere. Dette er gjort ud fra to møder med en udvalgt ekspertgruppe, der både omfatter personer i brancheorganisationer og private rådgivningsvirksomheder. Pointer, perspektiver og input fra de to møder er opsummeret ud fra overordnede emner/temaer.

<p>Workshop 1 – Oplæg til metoder og kategorisering af renoveringstyper</p> <p>Diskussionen omhandlede særligt: Hvornår der sættes krav og hvordan der kan differentieres mellem renoveringstyper og aktørers kompetencer, store projekter vs. private boligejere.</p>
<p>Hvilken renovering skal en grænseværdi fremme?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hvilke renoveringer er nødvendige at foretage med vores eksisterende bygningsmasse? Dybe renoveringer? Det er væsentligt at fastlægge dette. • Der skal tages højde for renoveringer der medfører en energibesparelse samtidig med indgreb der ikke gør, som kun medføre en klimabelastning. • Man må ikke glemme brugerne af bygningen – renoveringen skal også fremme det funktionelle og de sociale aspekter. • Hvilken effekt får det at regulere? – Efterlevelse af regler og krav
<p>Hvornår skal et LCA-krav opfyldes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hvor mange og hvilke indgreb skal udløse et LCA-krav? • Et kommende krav skal være tilpasset både de små og store aktører
<p>Mulighed for at opfylde krav på bygnings- og bygningsdelsniveau</p> <ul style="list-style-type: none"> • Man kan starte med et komponentkrav til et vist niveau – det kan overgå til et bygningsniveau hvis der er mange indgreb. • Et krav bør kunne overholdes af forskellige aktører og kompetenceniveauer, f.eks. parcelhusejere. • Der kan sættes krav på baggrund af bygningens areal – renoveringsprojekter af store bygninger medfølger ofte et højt kompetenceniveau og omvendt. • Arealinddeling – bygninger med store arealer har aktører med flere kompetencer • Håndtere de små aktører, parcelhusejere
<p>(Hvordan) Skal energiforbrug indgå?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Det kan være vanskeligt at sætte et fælles krav, når energi bliver omsat til CO₂ – bør man i stedet måle på kWh? • Der kan tages udgangspunkt i energimærket – også for at dokumentere en potentiel energibesparelse

- Kan være problematisk at bruge de standardiserede emissionsfaktor for fjernvarme – man bør i stedet tage hensyn til lokale emissionsfaktorer

Workshop 2 – Oplæg til anbefalinger for grænseværdier og videre arbejde

Diskussionen omhandlede særligt: Feedback på beregningsmetode for grænseværdi 5 samt hvordan der opbygges et større datagrundlag.

Feedback grænseværdi 5 – reference

- Alle materialelag i en bygningsdel bør betragtes, herunder isolering, både for "LCA-referencen" og selve "projektet". Hvis isoleringen ikke medtages kan det risikeres, at der ikke skabes incitament til at anvende andre isoleringstyper end mineraluld, f.eks. træfiber eller papiruld.
- I beregningen er det vigtigt at betragte alt det der fjernes fra konstruktionen og erstattes. På den måde vil LCA-referencen også afhænge af typen af indgreb i f.eks. en ydervæg – renoveres der indefra eller udefra?
- U-værdien, og dermed energi, bør tages ud af dette LCA-krav – det må antages at U-værdikravet opfyldes jf. energikrav. Der skal dermed kun regnes på materialer.
- En LCA-reference kan være en god løsning på et krav. Der kan på sigt udføres et præaccepteret katalog med referenceværdier for forskellige typer af konstruktioner. På den måde tages der hensyn til forskellige konstruktionsprincipper, træskelet vs. fuldmuret facade osv.

Bygning- eller bygningsdelsniveau?

- En renovering bør ses som helhed ud fra en fuld LCA. I processen kan der stilles krav til variantstudier, hvor de bedste materialer vil indgå i den fulde LCA.
- Krav til klimaskærmen bør adskilles fra andre bygningsdele. En god idé at stille krav til klimaskærmen som det første. Senere kan der arbejdes med krav til bygningsdele, som ikke påvirker energiforbruget.

Renoveringskategorier til LCA-krav

- Dyb renovering – med fokus på den nuværende definition som henvender sig til energioptimering og er tæt knyttet til klimaskærmen.
- Indvendig ombygning
- Transformation (ændret anvendelse – funktionen ændres)
- En renovering kan defineres ud fra hvor mange lag i bygningen der renoveres, f.eks. et lag for klimaskærm, et lag for installationer, et lag for indervægge osv. Jo flere lag, jo større renovering.

Udvikle et større datagrundlag

- Det er først muligt at indhente data på renoveringer, når der indføres et krav om at udføre en renovering – særligt når der skal indsamles data på enfamiliehuse.
- Det er svært at sætte en grænseværdi inden der er adgang til data – et krav kan derfor være at der udføres en LCA.
- Et krav om at udføre en LCA skal være meningsfyldt – derfor bør der være en grænseværdi, som skal overholdes samtidig, så det kan motivere til at udføre beregning-

gen. Det er vigtigt at de udøvende kan se en mening med at lave en LCA. En grænseværdi kan derfor være simpel og let at opfylde til en start i ønsket om at generere flere fulde LCA'er.

- Der skal i højere grad kigges på den mest almindelige renovering – særligt med udgangspunkt i enfamiliehuse, der udgør en stor del af bygningsmassen. Et kommende krav bør derfor fokusere på at håndtere de typiske renoveringer først.
- Der er interesse fra branchen om at bidrage til flere cases – det er vigtigt at fastlægge, hvad der skal bruges af data

Incitamenter til renovering

- Det må ikke være komplekst at overholde og dokumentere et LCA-krav.
- Stort fokus på at det gøres så simpelt som muligt.
- Fokus på levetidsforlængelse af bygningen – der skal være incitament til at bevare.
- Kan det skabe problemer hvis renovering af flere indgreb forskydes for at kunne overholde et LCA-krav?
- Omgåelse af regler er svært at medtage som en faktor for at indføre krav – det er vigtigere at komme i mål med et krav, som senere hen kan reguleres for at imødekomme eventuelle fejl og mangler.

Klimapåvirkning fra renovering

Da der kan sættes LCA-krav til renovering, er formålet med dette projekt at analysere muligheden for at stille krav til klimapåvirkningen af renoveringer, hvor både selve kravet og metoden skal være operationelle og sigte mod en reduktion af CO₂-udledningen. Dette er gjort gennem en systematisk kombination af renoveringstyper og grænseværdier, som eksemplificeres gennem indsamlede renoveringsprojekter.