

Grønt er ikke bare en farge:  
Bærekraftige bygninger eksisterer  
allerede



SINTEF Fag

Selamawit Mamo Fufa, Cecilie Flyen og Christoffer Venås

# **Grønt er ikke bare en farge: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede**

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 68

Selamawit Mamo Fufa, Cecilie Flyen og Christoffer Venås

**Grønt er ikke bare en farge: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede**

Emneord: klimagassutslipp, klimamål, rehabilitering, systematisk kartlegging

ISSN 1894-2466

ISBN 978-82-536-1669-8

Illustrasjon forside: Selamawit Mamo Fufa

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2020

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Community

Børrestuveien 3

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 40 00 51 00

[www.sintef.no/community](http://www.sintef.no/community)

[www.sintefbok.no](http://www.sintefbok.no)

## **Forord**

### **Grønt er ikke bare en farge: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede**

Prosjektet "Kartlegging av gjennomførte klimaberegninger på eksisterende bygg" ble igangsatt av Riksantikvaren – Direktoratet for kulturminneforvaltning (RA) i oktober 2019.

Arbeidet er utført av Selamawit Mamo Fufa, Cecilie Flyen og Christoffer Venås fra SINTEF Community. Marianne Kjendseth Wiik og Kristin Fjellheim fra SINTEF Community og Anne-Cathrine Flyen fra NIKU er kvalitetssikrere i prosjektet.

Oslo, 26.06.2020

Maria Kollberg Thomassen  
Forskningsleder  
SINTEF Community

Selamawit Mamo Fufa  
Prosjektleder  
SINTEF Community

## Sammendrag

Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag for Riksantikvaren og har som mål å gi et helhetlig bilde av den miljømessige betydningen av gjenbruk av eksisterende bygninger. Den anvendte metoden innebærer en systematisk kartlegging og metaanalyse av livssyklusanalyser ved rehabilitering og oppgradering av eksisterende bygninger. Studien har vurdert publikasjoner om livssyklusanalyser av eksisterende bygninger, og har gått gjennom både norske og internasjonale kilder. Det er gjort et utvalg av norske casestudier basert på tidligere kjente forskningsprosjekter. I tillegg har vi gjennomgått noen internasjonale casestudier. Noen av caseprosjektene er foreslått av Riksantikvaren. Data fra kildegrunnlaget er brukt for å gjøre en overordnet metaanalyse, og gir et overblikk over resultatene fra kjente livssyklusanalyser av eksisterende bygninger. Som en del av bakgrunnen og diskusjonen i rapporten er også kulturminneverdiene i bygningsmassen betraktet som et viktig aspekt.

En viktig bakgrunn for rapporten er målet om at Norge skal bli et lavutslippssamfunn innen 2050, basert på internasjonale rammeverk som Parisavtalen (den internasjonale klimaavtalen) og FNs bærekraftsmål. Til tross for utviklingen av klimapolitiske målsetninger og ambisjoner i mange land, øker stadig de globale klimagassutslippene. FNs miljøprogramms årlige "Emission Gap Report 2019" viser at den lovede nasjonale innsatsen i Parisavtalen er begrenset og at dagens tempo i de nasjonale planene ikke er nok for å nå målene som er satt i avtalen. For å nå 1,5-gradersmålet kreves økte ambisjoner og raskere implementering av flere tiltak i de neste tiårene. Det viser hvor viktig det er å undersøke hvordan den eksisterende bygningsmassen kan bidra til å nå de klimapolitiske målene om utslippsreduksjon. Rundt 80–90 % av den eksisterende bygningsmassen vil fortsatt stå i 2050. I dag er det lav oppgraderingstakt (med rundt 1–1,4 % i Norge). EU-kommisjonen påpeker at 75 % av dagens bygningsmasse i EU er ineffektiv, og at oppgradering av bygninger kan gi energibesparelser tilsvarende 5–6 % og senke klimagassutslippene i EU med samme prosentandel. Med tanke på at det meste av verdens bygningsmasse i 2050 allerede eksisterer i dag, vil rehabilitering og adaptiv gjenbruk av eksisterende bygninger være et avgjørende bidrag til en bærekraftig framtid.

Forskningsfronten viser at de potensielle miljømessige gevinstene er store ved oppgradering av eksisterende bygninger sammenliknet med nybygging, fordi utslippene ved rehabilitering bare utgjør opptil halvparten av utslippene ved nybygging. Resultater fra LCA-studier viser at klimagassreduksjoner for eksisterende bygninger hovedsakelig skyldes forlengelse av de "bundne utslippene" i bygningen. Det betyr at ved å beholde eksisterende materialer, unngås (de bundne) utslippene fra bruk av materialer til en ny bygning, generering av avfall ved rivning og oppføring av ny bygning, og andre utslipp fra transport og energi knyttet til oppføringen av en ny bygning. Fra de norske casestudiene ser vi at klimagassutslipp knyttet til materialbruk i oppgraderte eksisterende bygninger kun utgjør rundt en tredjedel av tilsvarende utslipp ved nybygging.

Denne studien viser at miljøvennlig oppgradering av eksisterende bygninger bør prioriteres framfor rivning og oppføring av nye bygninger dersom det er mulig, siden slik gjenbruk i større grad er i tråd med ambisjonene i Parisavtalen og i FNs bærekraftsmål. Resultater viser at for nye bygninger vil det ta tiår før fordelene av lavere årlige utslipp knyttet til energibruk i drift utlikner belastningene av de høye utslippene knyttet til oppføringen av dem. Funn i litteraturen støtter at rehabilitering er bedre i en 30-årshorisont mot 2050, siden det kan ta fra 10 til 80 år før et nybygg utlikner klimagassutslippet som kom i byggeprosessen (i år 0). Dermed kan man, sett fra et miljømessig perspektiv, konkludere med at rehabilitering av eksisterende bygninger vil være miljømessig fordelaktig på kort og mellomlang sikt.

Valg av lokalt tilgjengelige lavkarbonmaterialer, gjennomføring av energieffektiviserings tiltak og bruk av fornybar energi er de viktigste utslippsreducerende tiltakene som bør vurderes under oppgradering av eksisterende bygninger. Den eksisterende bygningsmassen har i varierende grad potensial for energieffektivisering, i tråd med alder, materialbruk, konstruksjoner,

verneverdi, vernenivå m.m. Krav til energibruk og -effektiviseringstiltak bør tilpasses den aktuelle bygningstypen og den spesifikke situasjonen og bygningen. Casestudiene i denne studien viser store variasjoner i klimagassreduksjoner, som avhenger av en rekke metodiske valg. Resultatene varierer naturlig nok også for ulike casespesifikke forhold, som for eksempel hvilke rehabiliteringstiltak som vurderes. Derfor konkluderes det med at fullverdige livssyklusanalyser er viktige som beslutningsstøtteverktøy for å finne de gode oppgraderingstiltakene.

En livssykluslignende tilnærming er sentral for å kunne evaluere bærekraften til eksisterende bygninger mer grundig. Denne studien har avdekket at det fins få LCA-analyser av eksisterende bygninger. I tillegg er det store usikkerheter i de gjennomførte studiene på grunn av varierende og ufullstendig metodebruk. En livssyklusanalyse blir mer verdifull ved å inkludere flere miljøindikatorer og sosiale/samfunnsmessige og økonomisk aspekter enn kun klimagassutslipp. Da kan man sikre at miljøvennlige tiltak ikke går på bekostning av andre, viktige sosiale aspekter som kulturelle og historiske verneverdier.

Dersom livssyklusanalyser skal brukes som beslutningsgrunnlag, bør scenarioer som vurderer ulike rehabiliteringsalternativer eller riving av bygninger, være realistiske. Grunnleggende usikkerheter i scenarioene må diskuteres i større grad enn i dag. Analyser som bare tar for seg materialbruk og energibruk i drift, er ikke tilstrekkelig til å gi et informert beslutningsgrunnlag i et scenario om rehabilitering versus riving og nybygging. Analysene må inkludere utslippene i byggefasen og i avhending av både det eksisterende og det nye bygget. Usikkerhetene i energiberegningene må trekkes fram i en slik vurdering, siden de er avgjørende for resultatene.

Basert på funnene i denne studien trekker vi tre hovedkonklusjoner:

- 1) Det er et stort uutnyttet potensial for miljøgevinster i den eksisterende bygningsmassen. Dersom det er mulig, bør rehabilitering prioriteres foran riving og oppføring av nye bygninger i tråd med nasjonale og internasjonale klimamål.
- 2) Ved vurdering av miljøvennlige rehabiliteringstiltak bør de kulturelle og historiske verneverdiene tas med i betraktningen
- 3) Fullverdige livssyklusanalyser er viktige som beslutningsstøtteverktøy for å finne de gode oppgraderingstiltakene.

Avslutningsvis har vi listet opp sju anbefalinger basert på funn og konklusjoner i rapporten:

- Ambisjoner i rehabiliteringsprosjekter må defineres på en klar måte.
- Fullverdige livssyklusanalyser bør brukes som beslutningsstøtteverktøy.
- Miljø-LCA bør kombineres med livssyklus-kostnader (LCC) og sosiale livssyklusanalyser (SLCA) for å få et mer helhetlig, bærekraftig perspektiv på eksisterende bygninger.
- Man må vurdere mulige tiltak for verneverdige bygninger som ikke går på bekostning av verneverdiene.
- Innsamling av dokumentasjon av beste praksis bør iverksettes.
- Insentiver og tilskuddsordninger for de omfattende rehabiliteringsprosjektene bør vurderes og etableres.
- Ta i bruk FNs bærekraftsmål som verktøy i bærekraftig utvikling av bygningsmassen.

## Begrepsliste

Listen over begreper er satt sammen fra forskjellige kilder for å definere de viktigste uttrykkene som brukes i denne rapporten. Vi er klar over at flere av begrepene i rapporten vanligvis ikke brukes i sammenheng med arbeider i verneverdige bygninger. Flere av begrepene som benyttes i litteraturen som er gjennomgått, kan imidlertid ikke oversettes annerledes. Dette handler i stor grad om bevissthet, eller mangel på sådan, om begrepsbruk for tiltak i kulturelt verneverdig bebyggelse.

**Adaptiv gjenbruk (adaptive reuse):** omhandler prosessen der man gjen- eller ombruker en eksisterende bygning for annet bruk enn det bygningen opprinnelig var ment for. Samtidig bevares hoveddelen av den opprinnelige bygningen (for eksempel hovedkonstruksjonen), mens andre deler oppgraderes for å tilpasses til nye standarder og endrede brukerbehov. Tilpasning beskriver rehabilitering, oppgradering eller restaurasjonsarbeider som ikke nødvendigvis omfatter endringer i bruk (Bullen Peter, 2007).

**Betingede nasjonale bidrag (Conditional National Determined Contributions (NDCs)):** Gjennom Parisavtalen melder landene inn sine mål for utslippskutt. De betingede nasjonale bidragene er mål som meldes inn og som forutsetter at gitte betingelser skal være på plass for at de skal være gyldige. Slike betingelser kan være ekstern økonomisk eller politisk/juridiske støtte. Dette skiller de betingende bidragene fra de ubetingede målene som skal nås uten ekstern støtte, men som er mindre ambisiøse (UNEP, 2019d).

**Bundet energi (Embodied energy):** energien som inngår i utvinning av råmateriale, transport og framstilling av byggematerialer, energi til oppføring av bygningen og energien til materialer som brukes i utskifting og oppgradering under bygningens levetid (SINTEF, 2016).

**Bundne utslipp (Embodied GHG emissions):** For en bygning er dette det akkumulerte klimafotavtrykket som er bundet i materialer, produkter og byggevarer gjennom utslippene de har under produksjon, vedlikehold og avhending av bygningen. Dette utslippet betraktes som innebygd i bygningens materialer.

**FNs klimakonferanser (betegnes på engelsk som Conference of the Parties (COP)):** Det øverste organet for landene som har underskrevet FNs klimakonvensjon ("FNs ramme-konvensjon om klimaendring"), som møtes til årlige klimakonferanser (årlige partsmøter, derav COP) for å evaluere framdriften og framforhandle mer bindende protokoller til traktaten (UNEP, 2019d).

**Klimagassutslippsbudsjett (eller karbonbudsjett) (carbon dioxide emission budget (or carbon budget)):** For en gitt grense for temperaturøkning, for eksempel en langsiktig grense på 1,5 °C eller 2 °C, gjenspeiler karbonbudsjettet den tilsvarende totale mengden karbonutslipp som kan avgis for at temperaturen skal holde seg under denne grensen (UNEP, 2019d).

**Karbondioksidekvivalent (CO<sub>2</sub>-ekvivalent) (Carbon dioxide equivalent (CO<sub>2eq</sub>)):** Klimagassutslippene, som er forårsaker global oppvarming og klimaendringer, er summen av kurven med alle klimagassene som er oppført i vedlegg A til Kyoto-protokollen. Denne er uttrykt som CO<sub>2ekv</sub>. som forutsetter gassenes potensial for global oppvarming i et 100-årsperspektiv. De viktigste klimagassene er karbondioksid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) og lystgass (N<sub>2</sub>O), hydrofluorkarboner (HFC), perfluorkarboner (PFC) og svovelheksafluorid (SF<sub>6</sub>) (UNEP, 2019d).

**Levetid (Referansetid):** Tidsperioden etter oppføring hvor bygningen oppfyller (eller overgår) de definerte ytelseskravene (ISO 15686-1:2011). Bygningens levetid defineres av en generell referansestudieperiode (NS-EN 15978:2011) og en påkrevd studieperiode (krevd av byggherre eller regulering) (NS-EN 15643-1:2010)).

**Metaanalyse:** en statistisk analyse av resultater fra ulike studier som gir et samlet kvantitativt estimat (Petticrew & Roberts, 2008).

**Nullutslippsbygninger (Zero emission building):** produserer nok fornybar energi til å kompensere for bygningens klimagassutslipp gjennom bygningens levetid (SINTEF, 2016).

**Nasjonalt (bestemte) bidrag (Nationally Determined Contribution (NDC)):** er nasjonenes innmeldte og nåværende ambisjon/mål for å redusere utslipp for å nå Paris-avtalen. Nye eller oppdaterte bidrag skal sendes inn i 2020 og deretter hvert femte år. "Tiltenkte nasjonalt bestemte bidrag" (Intended Nationally Determined Contribution (INDC)) er de første målene landene melder inn, og kommuniserer en nasjons ambisjoner og strategiene og betingelsene for å kunne nå disse ambisjonene. Senere ratifiseres disse og blir til nasjonalt bestemte bidrag (NDC) (UNEP, 2019d).

**Oppgradering/energioppgradering (upgrading):** Begrepet oppgradering er brukt i en videre forstand: om omfattende utbedringer av bygninger og om enkelttiltak som hever en bygnings ytelse.

**Plusshus (Plus energy house):** bygning som gjennom driftsfasen produserer mer fornybar energi enn det som ble brukt til produksjon av byggematerialer, oppføring, drift og avhending av bygningen (SINTEF, 2016).

**Powerhouse (Power house):** en bygning (med tomt) som genererer mer fornybar energi enn det som kreves til produksjon av materialer, oppføring, drift, vedlikehold og riving av bygningen (SINTEF, 2016).

**Rehabilitering (Renovation/rehabilitation):** I denne rapporten er begrepet rehabilitering først og fremst benyttet om aktiviteter som istandsetter en eksisterende bygning, hvor aktivitetene foregår i en begrenset tidsperiode (som et byggeprosjekt) og er av begrenset omfang.

**Systematisk litteraturstudie (Systematic review):** En systematisk kartlegging er en metode som benyttes for å svare på de aktuelle problemstillingene gjennom å identifisere og kritisk evaluere funn i relevante publikasjoner. Har som mål å utforske omfanget av eksisterende litteratur innen et forskningsområde samt finne trender og mangler innen forskningsområdet (for eksempel trender for en gitt tidsperiode).

**Ubetingede nasjonale bidrag (Unconditional NDCs):** Gjennom Parisavtalen melder landene inn sine mål for utslippskutt. Av disse er de ubetingede nasjonale bidragene de målene som skal nås uten ekstern støtte (UNEP, 2019d).

**Utslippsgap (Emission gap):** Kilder brukt i denne rapporten rapporterer om "the emission gap", forskjellen mellom den rapporterte utviklingen i i klimagassutslipp fra nasjonene basert på faktiske eller innmeldte kutt, og utslippsbanene som er anslått til å gi 2 °C eller 1,5 °C temperaturøkning i 2100 (over pre-industrielle temperaturnivå) (UNEP, 2019d).

# Innhold

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>FORORD.....</b>                                                                             | <b>3</b>  |
| <b>SAMMENDRAG .....</b>                                                                        | <b>4</b>  |
| <b>BEGREPSLISTE.....</b>                                                                       | <b>6</b>  |
| <b>1. INTRODUKSJON.....</b>                                                                    | <b>10</b> |
| 1.1 STUDIENS MÅL OG OMFANG .....                                                               | 10        |
| 1.2 OM RAPPORTEN.....                                                                          | 11        |
| <b>2. BAKGRUNN .....</b>                                                                       | <b>12</b> |
| 2.1 FNS BÆREKRAFTSMÅL, KLIMAPOLITIKK OG AMBISJONER.....                                        | 12        |
| 3.2.1 <i>Fortsatt stort gap mellom ambisjoner og faktiske utslipp.....</i>                     | <i>13</i> |
| 3.2.2 <i>Norges overordnede mål og progresjon i klimagassreduksjoner .....</i>                 | <i>13</i> |
| 2.2 MILJØPÅVIRKNINGER FRA BYGG- OG ANLEGGSEKTOREN .....                                        | 14        |
| 2.2.1 <i>Klimagassutslipp .....</i>                                                            | <i>14</i> |
| 2.2.2 <i>Ressursforbruk.....</i>                                                               | <i>16</i> |
| 2.3 OPPGRADERING AV EKSISTERENDE BYGNINGSMASSE.....                                            | 16        |
| 2.3.1 <i>Lite oppgradering i dag.....</i>                                                      | <i>17</i> |
| 2.3.2 <i>Kulturminneverdier i bygningsmassen .....</i>                                         | <i>18</i> |
| 2.3.3 <i>Politiske føringer for kulturminner og deres iboende og bærekraftige verdier.....</i> | <i>19</i> |
| 2.4 LIVSSYKLUSVURDERINGER .....                                                                | 20        |
| 2.4.1 <i>LCA-metodikken og prinsipper for LCA for bygninger .....</i>                          | <i>20</i> |
| 2.4.2 <i>Få studier på LCA for eksisterende bygninger.....</i>                                 | <i>21</i> |
| <b>3. METODE.....</b>                                                                          | <b>23</b> |
| 3.1 OVERORDNET METODE.....                                                                     | 23        |
| 3.2.3 <i>Datakilder og oversikt over søket .....</i>                                           | <i>23</i> |
| 3.2.4 <i>Utvalgskriterier .....</i>                                                            | <i>25</i> |
| 3.2.5 <i>Ekstraksjon av data / datasyntese.....</i>                                            | <i>26</i> |
| 3.2 BESKRIVELSE AV CASESTUDIER .....                                                           | 26        |
| 3.2.6 <i>Casestudier fra Norge .....</i>                                                       | <i>26</i> |
| 3.2.7 <i>Casestudier fra andre land.....</i>                                                   | <i>34</i> |
| <b>4. RESULTATER FRA SYSTEMATISK LITTERATURGJENNOMGANG .....</b>                               | <b>38</b> |
| 4.1 STATUS FOR FORSKNING PÅ EKSISTERENDE BYGNINGER .....                                       | 38        |
| 4.2 ANALYSE AV SAMTIDIGHETEN AV FORFATTERNØKKELOD .....                                        | 38        |
| 4.3 KLASSIFISERING AV UNDERSØKTE PUBLIKASJONER .....                                           | 40        |
| 4.4 FUNN FRA SYSTEMATISK LITTERATURGJENNOMGANG .....                                           | 41        |
| 4.4.1 <i>Rehabiliteringsscenarioer.....</i>                                                    | <i>41</i> |
| 4.4.2 <i>Rehabilitering eller rivning og bygge nytt.....</i>                                   | <i>42</i> |
| 4.4.3 <i>Utslipp i driftsfasen versus de bundne utslippene i bygningen.....</i>                | <i>43</i> |
| 4.4.4 <i>Brukeratferd og bruk av bygninger .....</i>                                           | <i>44</i> |
| <b>5. RESULTATER FRA METAANALYSE AV EKSISTERENDE BYGNINGER.....</b>                            | <b>46</b> |
| 5.1 RESULTATER FRA CASESTUDIENE FRA NORGE .....                                                | 46        |
| 5.1.1 <i>Totalt klimagassutslipp .....</i>                                                     | <i>46</i> |
| 5.1.2 <i>Klimagassutslipp fra materialer og energibruk.....</i>                                | <i>49</i> |
| 5.2 RESULTATER FRA CASESTUDIER FRA ANDRE LAND .....                                            | 55        |
| 5.2.1 <i>Miljøkonsekvenser av rehabiliteringstiltak – bidrag fra bunden energi.....</i>        | <i>58</i> |
| 5.2.2 <i>Betydningen av oppføring og rivning av bygninger .....</i>                            | <i>59</i> |
| 5.3 SAMMENLIKNING AV LCA-RESULTATER.....                                                       | 59        |
| 5.3.1 <i>Scenarioanalyse.....</i>                                                              | <i>59</i> |
| 5.3.2 <i>Referanseverdier i LCA-sammenheng (Benchmarking) .....</i>                            | <i>63</i> |

|           |                                                                                                                                        |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6.</b> | <b>DRØFTING AV FUNN.....</b>                                                                                                           | <b>64</b>  |
| 6.1       | OPPGRADERINGSTILTAK GIR STORE UTSLIPPSREDUKSJONER .....                                                                                | 64         |
| 6.1.1     | <i>Utfordringer for energieffektivisering i eksisterende og verneverdige bygninger .....</i>                                           | <i>65</i>  |
| 6.1.2     | <i>Øke kunnskapen om de gode oppgraderingstiltakene .....</i>                                                                          | <i>66</i>  |
| 6.2       | MULIGHETER OG UTFORDRINGER I LCA-STUDIER AV EKSISTERENDE BYGNINGER .....                                                               | 66         |
| 6.2.1     | <i>Økt transparens gjennom bruk av LCA-standarder og harmoniserte metoder .....</i>                                                    | <i>67</i>  |
| 6.2.2     | <i>Utvidelse av omfanget til LCA-studiene.....</i>                                                                                     | <i>68</i>  |
| 6.2.3     | <i>Begrenset undersøkelse på enkeltbyggningsnivå .....</i>                                                                             | <i>68</i>  |
| 6.2.4     | <i>Levetid.....</i>                                                                                                                    | <i>69</i>  |
| 6.2.5     | <i>Utslippsfaktorer for ulike energikilder.....</i>                                                                                    | <i>69</i>  |
| 6.2.6     | <i>Faktisk vs. beregnet energibruk i drift .....</i>                                                                                   | <i>71</i>  |
| 6.3       | BRUK AV SCENARIOER I LCA-STUDIER FOR EKSISTERENDE BYGNINGER .....                                                                      | 71         |
| 6.2.1     | <i>Referansebygninger.....</i>                                                                                                         | <i>71</i>  |
| 6.2.2     | <i>Utvikling av nasjonale referanseverdier basert på eksisterende studier.....</i>                                                     | <i>72</i>  |
| 6.2.3     | <i>Potensielle framtidsscenarioer .....</i>                                                                                            | <i>72</i>  |
| <b>7.</b> | <b>KONKLUSJONER, BEGRENSNINGER OG FRAMTIDIG FORSKNING .....</b>                                                                        | <b>74</b>  |
| 7.1       | GENERELLE KONKLUSJONER .....                                                                                                           | 74         |
| 7.1.1     | <i>Det er et stort utnyttet potensial for miljøgevinster i den eksisterende bygningssmassen.....</i>                                   | <i>74</i>  |
| 7.1.2     | <i>Ved vurdering av miljøvennlige rehabiliteringstiltak bør de kulturelle og historiske verneverdiene tas med i betraktningen.....</i> | <i>75</i>  |
| 7.1.3     | <i>Fullverdige livssyklusanalyser er viktige som beslutningsstøtteverktøy.....</i>                                                     | <i>75</i>  |
| 7.2       | ANBEFALINGER .....                                                                                                                     | 76         |
|           | <b>REFERANSER .....</b>                                                                                                                | <b>78</b>  |
|           | <b>VEDLEGG 1: NØKKEWORD.....</b>                                                                                                       | <b>87</b>  |
|           | <b>VEDLEGG 2: VALGTE REFERANSER FOR DEN SYSTEMATISKE LITTERATURSTUDIEN .....</b>                                                       | <b>92</b>  |
|           | <b>VEDLEGG 3: EKSLUDERTE LITTERATURSTUDIER FRA SØKERESULTATER I SCOPUS, WEB OF SCIENCE AND ENGINEERING VILLAGE.....</b>                | <b>99</b>  |
|           | <b>VEDLEGG 4:BAKGRUNNSDATA FOR LCA REFERANSESTUDIER .....</b>                                                                          | <b>104</b> |

# 1. Introduksjon

Denne rapporten er resultatet av CLIMAP-X-prosjektet finansiert av Riksantikvaren i Norge. Prosjektet har studert og kartlagt klimaberegninger på eksisterende bygninger i tilgjengelige nasjonale og internasjonale publikasjoner og prosjektrapporter. Rapporten viser resultatene av den systematiske kartleggingen gjennom å identifisere omfattende studier gjennomført i Norge, Norden og i andre sammenliknbare land.

## 1.1 Studiens mål og omfang

Studiens mål og omfang er utformet i tråd med beskrivelsen av målsettingen med prosjektet, hentet fra prosjektbeskrivelsen i tilbudet:

*Målsetningen med oppdraget er innledningsvis å kartlegge gjennomførte klimaberegninger for eksisterende bygg. Dette vil innebære en systematisk kartlegging gjennom å identifisere omfattende studier gjennomført i Norge, Norden og i andre sammenliknbare land. I tillegg skal det gjennomføres en metaanalyse av funnene. Målet er at en oppsummering og sammenstilling av resultatene fra disse studiene skal gi et bedre helhetsbilde og større forståelse av hva den eksisterende bygningsmassen representerer. SINTEFs løsningsforslag innebærer en tilnærming fra et livsløpsperspektiv, og vi foreslår derfor blant annet at påvirkninga fra avfallsbehandling fra rivning av eksisterende bygninger inngår som en del av estimeringen av klimagassutslippet og miljøpåvirkninga i metaanalysen. Resultatene fra prosjektet skal kunne brukes som kunnskapsgrunnlag i det videre arbeidet med kulturminnevernets bidrag i nasjonale miljømål.*

Prosjektets hovedmål er å gi et klart, helhetlig bilde av betydningen av eksisterende bygninger i klimagassdiskusjonen. Det oppnås gjennom å undersøke de faktiske miljømessige fordelene, ulempene og mulighetene som ligger i oppgradering av eksisterende bygninger generelt sett fra et livssyklusperspektiv.

Studiens omfang er begrenset til eksisterende bygninger generelt, og verneverdige bygninger spesielt, og omfatter en LCA-tilnærming og sammenlikning med eksempler fra nye bygninger.

Prosjektets delmål er å:

- finne de potensielle miljøfordelene som ligger i oppgradering og/eller rehabilitering av eksisterende bygningsmasse
- identifisere de overordnede ytelsesnivåene til eksisterende bygninger, og sammenlikne med tilsvarende for nye bygninger

Hovedmålet og delmålene skal oppnås gjennom følgende metodiske tilnærming:

- En systematisk litteraturgjennomgang av studier ser på bygningers livssyklus for å evaluere miljømessige ytelsesnivåer i oppgradering av eksisterende bygninger. Tilnærmingen kan også synliggjøre eventuelle kunnskapshull og nye forskningsområder.
- Studien skal gi en helhetlig vurdering av flere aspekter ved oppgradering/restaurering beskrevet i litteraturen. Det omfatter resultater av oppgraderings- og restaurerings tiltak (for eksempel nye bygningskomponenter og energisystemer), verneverdier, tilpasset ombruk, direkte og indirekte miljøpåvirkning gjennom hele bygningens livssyklus, og metodevalg knyttet til livssyklusvurdering. Videre har vi undersøkt potensielle reduksjoner i miljøpåvirkningen fra gjenbruk og resirkulering av materialer og produkter under renoveringsprosessen, og mulige gevinster ved bygningenes avhending.
- En metaanalyse kvantifiserer og gir underlag for bedre forståelse av miljøpåvirkningen gjennom livssyklusen til eksisterende bygninger. Dette gjennomføres ved å analysere og sammenlikne resultatene fra de utvalgte casestudiene.

Begrepene renovering, rehabilitering, oppussing, ombygging og tilpasset ombruk brukes ofte om hverandre. Det ser ut til å være liten bevissthet rundt betydningen av de forskjellige begrepene. Vi har prøvd å ha et bevisst forhold til disse begrepene, se *Begrepsliste*. I denne rapporten har vi derfor gjennomgående forsøkt å benytte begrepene oppgradering og/eller rehabilitering som samlebegrep for alle begrepene nevnt ovenfor.

Vi tar opp følgende forskningsspørsmål for å oppfylle målene for studien:

- Hva er forskningsfronten innenfor fagområdet eksisterende bygningers miljømessige betydning?
  - Hvilke aspekter (for eksempel oppgraderingstiltak, sirkulære tiltak, verneverdier og metodevalg) er belyst i den gjennomgåtte litteraturen?
  - Hvordan er verneverdier vurdert i litteraturen?
- Hva er den oppnådde miljøytelsen til den eksisterende bygningsmassen ved oppgradering/rehabilitering i forhold til riving og nybygging?
  - Hva er de indirekte og direkte miljøpåvirkningene av prosjektene i den undersøkte litteraturen?
  - Er de forskjellige referansestudiene sammenliknbare?
  - Hvilke tiltak er nødvendige for å muliggjøre en sammenlikning mellom forskjellige referanser?
  - Hvilke forskningshull i den gjennomgåtte litteraturen kan vurderes for videre forskning?

## 1.2 Om rapporten

- I dette første kapitlet gir vi en kort introduksjon til hensikten med studien, og dens mål og omfang.
- Kapittel 2 gir en videre introduksjon til studiens tematikk og oversikt over relevante studier om drivere, barrierer og muligheter som styrker studiens underlag.
- Kapittel 3 beskriver metodikken som er benyttet for å evaluere og diskutere den systematiske gjennomgangen av foreliggende studier, og en metaanalyse av resultater fra livssyklusanalyser (LCA) fra tilgjengelige casestudier.
- Kapittel 4 presenterer resultatene fra systematisk litteraturgjennomgang.
- Kapittel 5 presenterer resultatene fra casestudier.
- Kapittel 6 diskuterer hovedfunnene fra arbeidet med studien, og diskuterer særlig funnene i kapittel 4 og 5.
- Kapittel 7 gir avsluttende konklusjoner og anbefalinger for videre arbeid.

## 2. Bakgrunn

Dette kapitlet beskriver kunnskapen som ligger til grunn for problemstillingen om eksisterende bygningers betydning i klimagassdiskusjonen. Vi beskriver viktig bakgrunnsinformasjon for å forstå resultatene og betydningen av dem. Siden problemstillingen er global, presenteres bakgrunnsinformasjonen både på det globale nivået og det norske – gjerne i denne rekkefølgen. Mye av EUs arbeid på miljø- og klimaområdet er svært relevant både for Norge og for verden, og det gis derfor også plass til viktig, EU-relatert bakgrunnsinformasjon.

### 2.1 FNs Bærekraftsmål, klimapolitikk og ambisjoner

FNs tusenårsmål var en viktig felles arbeidsplan for å redusere ekstrem fattigdom og ulikhet for FNs medlemsland årene fra 2000 til 2015. Den videre utviklingen av dette felles arbeidet for en bedre verden resulterte i vedtaket om FNs bærekraftsmål i 2015, hvor medlemslandene tok inn betydningen av bærekraftig utvikling for å oppnå en fredelig verden med mindre ulikhet.



Figur 2.1. FNs 17 bærekraftsmål. Kilder : UN (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/>) UN (a).

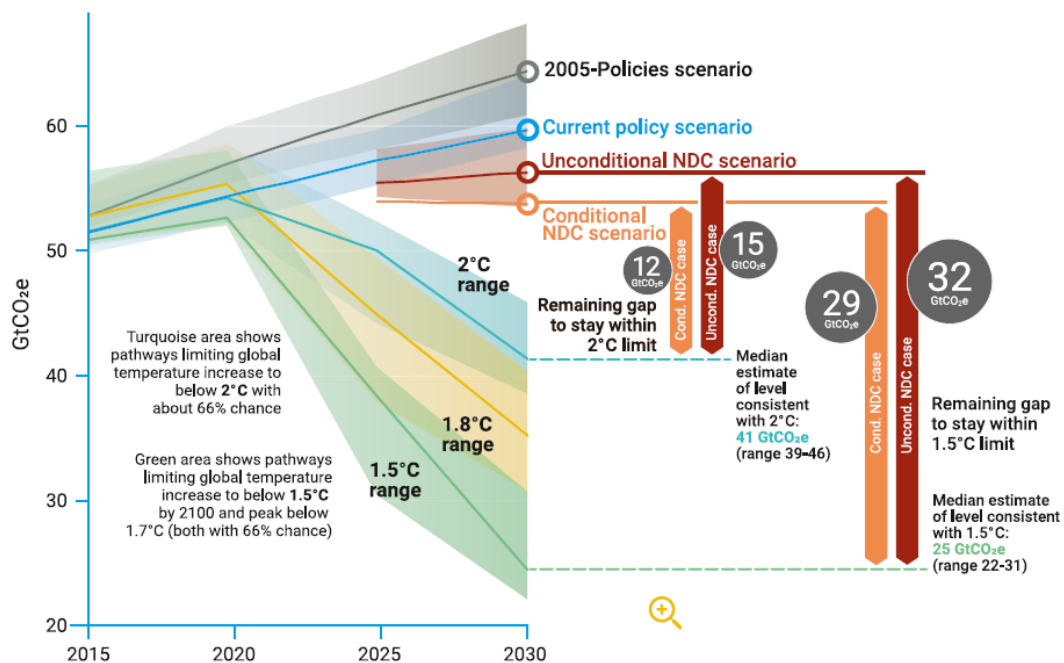
De 17 målene (med sine delmål, se figur 2.1), som inkluderer alle de tre aspektene ved miljømessig, sosial og økonomisk bærekraft, har fått bærekraftsforskning tydeligere fram i det internasjonale ordskiftet (Filho et al., 2018). Bærekraftsmålene er et verktøy for helhetlig å integrere bærekraftsperspektivet i politikktutforming på det nasjonale planet, men også for å fremme rammeverk som inkluderer bærekraft i private organisasjoners arbeid. Goubran & Cucuzzella (2019) ser på hvordan bærekraftsmålene kan integreres på en meningsfull måte i byggeprosjekter, og de trekker fram de 8 målene hvor byggenæringen har den mest avgjørende rollen for å kunne oppnå de satte målene i 2030. Utvikling av bærekraftige byggeprosesser forutsetter at man tar i bruk verktøy som viser hvordan man kan implementere bærekraftsmålene. Goubran & Cucuzzella (2019) viser dette i en integrert prosjekteringsmodell (IPD, "Integrated Design Process"), hvor det viser seg å være særlig nyttig i de tidlige fasene (konsept- og tidligfase).

Kyotoprotokollen, som ble underskrevet i 1997 (på FNs tredje klimatoppmøtet, COP3), var det første rammeverket for en internasjonalt bindende avtale for å begrense klimagassutslippene (Amanatidis, 2019). Kyoto-protokollen bandt industrialiserte land til å kutte de totale klimagassutslippene med minst 5 % i perioden 2008–2012 og med minst 18 % i perioden 2013–2020 sammenliknet med utslippene i 1990.

Fortsettelsen av Kyotoprotokollen kom med Parisavtalen i 2015 (på FNs 25. klimatoppmøte), og var et stort steg mot en global handlingsplan for å hindre klimaendringene. Den ble underskrevet av 195 land i desember 2015, med mål om å holde den globale oppvarmingen under 2 °C over pre-industrielle nivåer og for å fortsette innsatsen med å begrense global oppvarming til under 1,5 °C. EU gikk foran i den internasjonale innsatsen ved å sette ambisiøse energi- og klimamål mot 2020 og 2030, i tillegg til målet om å arbeide for et karbonnøytralt Europa i 2050 (Amanatidis, 2019, EU). Målet for 2030 er å kutte klimagassutslipp med 40 % sammenliknet med 1990-nivået (fra Kyotoavtalen), samtidig som energieffektiviteten skal øke med 32,5 % og fornybarandelen av energisystemet skal være minst 32 %.

### 3.2.1 Fortsatt stort gap mellom ambisjoner og faktiske utslipp

Til tross for framgang på klimapolitikk og ambisjoner i mange land vokser fortsatt de globale klimagassutslippene. FNs miljøprogram (UNEPs) årlige "Emission Gap Report" analyserer gapet mellom ønsket utvikling i globale klimagassutslipp i Parisavtalen (1,5- og 2-gradersmålene) med de faktiske utslippene. I 2019-rapporten kom de fram til at de globale utslippene fortsatte å øke i 2018, med en 1,5 % økning per år siden 2008, og at man per 2020 ikke vil ligge i rute til å nå målene (Figur 2.2) (UNEP, 2019a; UNEP, 2019b).



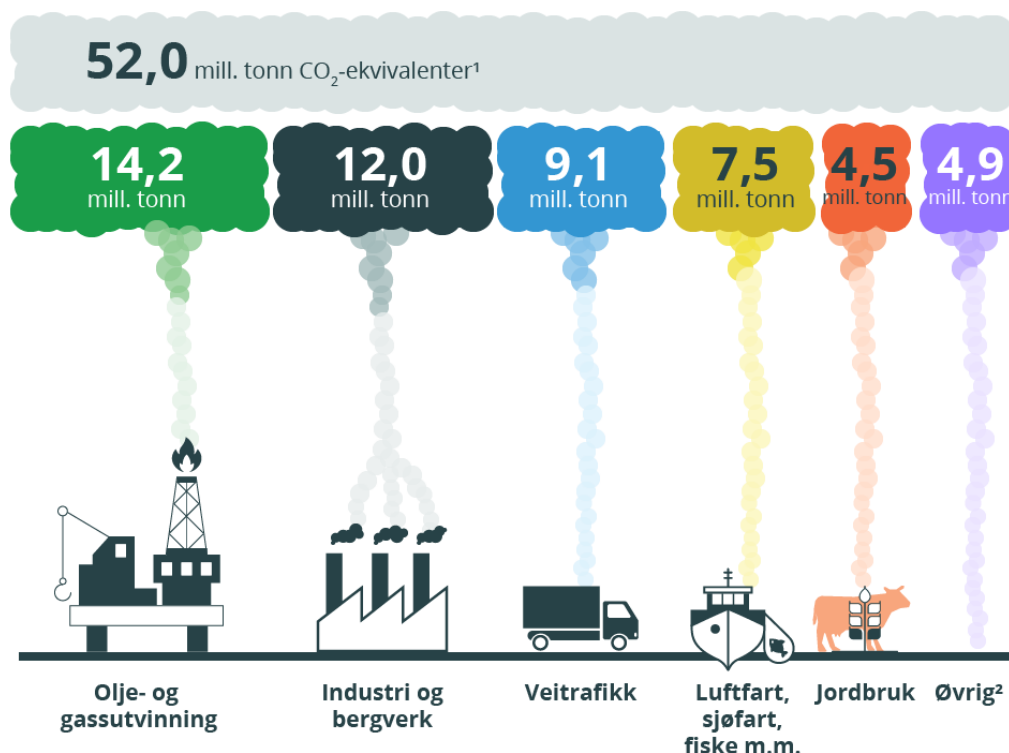
Figur 2.2. Globale klimagassutslipp i ulike scenarier og utslippsgapet i 2030. Med dagens politikk vil klimagassutslippene være 60 GtCO<sub>2eq</sub> i 2030. På den minst kostnadskrevende banen mot målene i 2030 estimeres det med 41 GtCO<sub>2eq</sub> for 2 °C-målet, 35 GtCO<sub>2eq</sub> for 1,8 °C-målet, og 25 GtCO<sub>2eq</sub> for 1,5 °C-målet. I 2030 må de årlige utslippene være 15 GtCO<sub>2eq</sub> lavere enn de ubetingede nasjonale målene kalt "Nationally Determined Contributions (NDCs)" i Parisavtalen for å nå 2 °C-målet og 32 GtCO<sub>2eq</sub> lavere for å nå 1,5 °C-målet (UNEP, 2019a).

Rapporten viser at den lovede nasjonale innsatsen i Parisavtalen er begrenset, og at dagens tempo i de nasjonale planene ikke er nok for å nå målene som er satt i avtalen. I 2030 må utslippene være henholdsvis 25 og 55 % lavere enn i 2018 for at verden skal være på den minst kostnadskrevende banen som holder oppvarmingen under 2 og 1,5 grader (UNEP, 2019d). For å nå 1,5-gradersmålet kreves økte ambisjoner og raskere implementering av flere tiltak i de neste tiårene.

### 3.2.2 Norges overordnede mål og progresjon i klimagassreduksjoner

Norge har ratifisert både Kyoto- og Parisavtalen, og satte seg mål om minst 30 % reduksjon i klimagassutslipp innen 2020 og 50 % reduksjon innen 2030 sammenliknet med 1990-nivået,

i tillegg til å bli et lavutslippssamfunn i 2050. I Norge ble totalt 52 millioner tonn CO<sub>2eq</sub> sluppet ut i 2018 (figur 2.3), som er en nedgang på 0,9 % (450 000 tonn) fra 2017, det laveste siden 1995. Dette er fortsatt 1,1 % høyere enn i 1990 (SSB, 2019b).



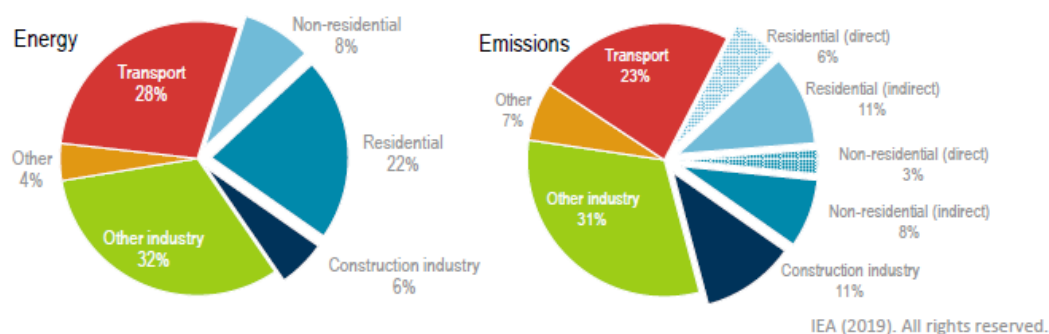
Figur 2.3. Klimagassutslipp fra Norge 2018. Kilde: SSB

Økningen fra 1990 til 2018 skyldes hovedsakelig økte utslipp fra olje- og gassproduksjon (med en økning på 73 %) og veitrafikk (økning på 26 %). I figur 2.3 ligger bygningssektoren i kategorien "industri og bergverk", og det fins ikke spesifikke tall for hvor stor del bygningssektoren utgjør av totalen. I en annen rapport med data fra 2017 viser Larsen til 13 % økning av klimagassutslipp fra den norske byggenæringen mellom 2007 og 2017 (Larsen, 2019). For å nå ambisjonene trengs det forpliktende satsinger og økte tiltak slik at den pågående utviklingen snus både innen byggenæringen spesifikt og for Norge generelt.

## 2.2 Miljøpåvirkninger fra bygg- og anleggssektoren

### 2.2.1 Klimagassutslipp

Bygg- og anleggssektoren er viktig i arbeidet for å oppnå Parisavtalen om klimagassreduksjon og FNs mål for bærekraftig utvikling (SDG). I 2018 sto sektoren nemlig for omtrent 36 % av den globale energibruken og 39 % av utslippene (UNEP, 2019c). Rapporten "2019 Global Status" viser at globale utslipp fra bygninger økte med 2 % fra 2017 til 2018. Energiforbruket økte med 1 % (ca. 125 EJ eller 36 % av den globale energibruken) (se figur 2.4) (UNEP, 2019c). Bygninger representerer 28 % av de globale energirelaterte CO<sub>2</sub>-utslippene, mens 11 % av disse utslippene skyldes produksjon av byggematerialer og produkter som stål, sement og glass. Dette er hovedsakelig drevet av befolkningsøkning, begrenset framgang i politikkutformingen og en nedgang i investeringer for økt energieffektivitet. For Norge er bygningers andel av de energirelaterte utslippene mye lavere på grunn av høy andel fornybar energibruk i bygningene (se flere detaljer på neste side og i figur 2.5).

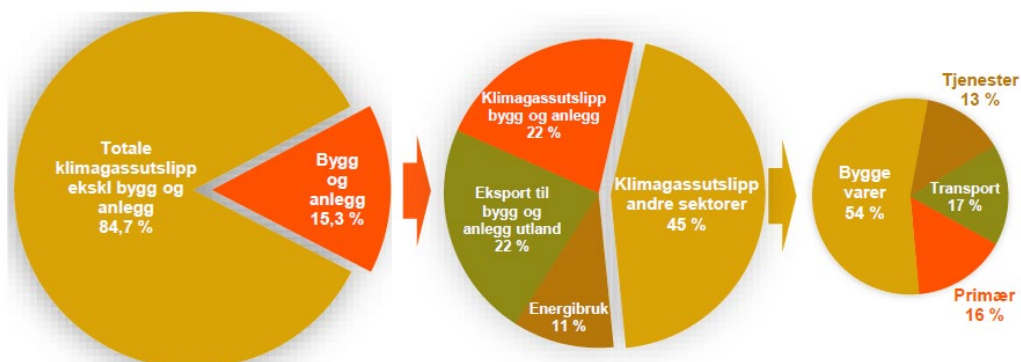


Figur 2.4. Kakediagrammer som viser den globale andelen av bygg- og anleggssektorens energiforbruk og utslipp av klimagasser i 2018. Kilde: UNEP (2019c).

Overgangen mot ren energi og en karbonnøytral økonomi er en av de største utfordringene verden står overfor i dag (EU, 2019). Energibehovet i bygninger er internasjonalt anerkjent som den viktigste bidragsyteren til klimagassutslipp fra bygninger, og EU har tatt tak i det gjennom strengere lovkrav (Malmqvist et al., 2018). Det europeiske bygningsenergidirektivet 2010/31/EU (EPBD, (EU, 2010)) og Energieffektiviseringsdirektivet 2012/27/EU (EU, 2012) er deler av det europeiske lovverket, og har spilt en stor rolle i den positive utviklingen av bygningers energibruk i Europa (EU, 2020). Dette er oppnådd gjennom implementering av energieffektiviseringstiltak og dekarbonisering av nasjonale energimikser (gjennom økt innslag av fornybar energi). Energimiks er en betegnelse på hvordan energiforsyningen er sammensatt, i form av andeler av fornybar energi, kjernekraft og/eller fossil energi.

Gjennom endringer i det europeiske bygningsenergidirektivet i 2018 ble det innført krav til sterkere og mer langsiktige strategier for oppgradering og restaurering av bygninger, slik at også eksisterende bygninger skulle bli energieffektive og bruke energikilder med lavere utslipp innen 2050. Videre ble det innarbeidet overordnede milepeler for kortsiktige (2030), mellomlange (2040) og langsiktige (2050) mål. Det er et mål å tilrettelegge for kosteffektiv oppgradering av eksisterende bygninger til lavenergibygninger for å nå de overordnede målene om klimagassreduksjoner i EU (med 80 til 90 % reduksjon sammenliknet med 1990-nivå) (EU, 2018).

Når det gjelder den norske bygg- og anleggssektoren, er andelen av klimagassutslipp lavere enn gjennomsnittet globalt, med 15,3 % i 2017 (figur 2.5), ifølge Larsen (2019). Det skyldes hovedsakelig at energiforbruket i bygninger stort sett er fossilfritt. Bare 11 % av de totale klimagassutslippene fra bygg- og anlegg kommer fra energibruk, til tross for at denne sektoren har et estimert forbruk på rundt 40 % av det totale nasjonale energiforbruket. Andelen av disse utslippene forventes å synke på grunn av forbudet mot bruk av fossilt brensel for oppvarming av bygninger i Norge og introduksjonen av fossilfrie byggeplasser i de store byene.



Figur 2.5. Andelen av bygg- og anleggsnæringens klimagassutslipp av de totale norske utslippene. Kilde: Larsen (2019)

Resultatene fra Larsen (2019) indikerer at klimagassutslippene fra bygg- og anleggsaktiviteter er i ferd med å bli større enn klimagassutslipp fra energibruk i bygninger. Dette er i stor grad på grunn av dekarbonisering av elektrisitetsforsyningen og overgangen til lavenergibygninger i Norge (Larsen, 2019). Energimiksen som brukes i analysene har betydning for tolkning av betydningen av energiutslipp sammenliknet med andre utslipp, og dette diskuteres videre i kapittel 2.4.

### **2.2.2 Ressursforbruk**

Ettersom bygg- og anleggsnæringen forbruker rundt 40 % av de totale materialressursene i verden er den viktig i arbeidet med å redusere forbruket og få til overgangen til en sirkulær økonomi (CGRi, 2020). I *Circularity Gap Report 2020* understrekes viktigheten av å opprettholde og bevare det som allerede er lagd, og dette utgjør den prioriterte sirkulære strategien for det europeiske bygde miljøet (CGRi, 2020). Om lag 35 % av EUs bygningsmasse er eldre enn 50 år. Av denne andelen er nesten 75 % energiineffektiv (EU, 2020). I tillegg viser *Circularity Gap Report 2020* at den globale økonomien bare er 8,6 % sirkulær, og for bygg- og anleggsbransjen er den bakenforliggende avfallspraksisen fra den tradisjonelle lineære økonomien en stor utfordring (CGRi, 2020). Bygg- og anleggssektoren genererer en stor andel av det totale volumet avfall, med omtrent 30 % i Danmark (Høibye & Sand, 2018) og 25 % i Norge i 2018 (Byggemiljø, 2020). EUs avfallsdirektiv krever rundt 70 % materialgjenvinning av alt ufarlig avfall fra bygg- og riveaktivitet innen 2020 (EU, 2008).

Data fra Statistisk sentralbyrå viser at avfall fra bygging, rehabilitering og riving (1,9 millioner tonn i 2017) økte med 1 % fra 2016 til 2017 (SSB, 2018a). Av dette stammer om lag 65 % av avfallet fra rivings- og oppussingsaktiviteter, noe som utgjør 2,7 % økning fra 2016. Bare 34 % av byggavfallet ble materialgjenvunnet i 2017, en reduksjon på 8 % fra året før (SSB, 2019a). Sammenliknet med 2016 har andelen avfall fra oppussing og rehabilitering i 2017 sunket med rundt 3 %, mens andelen rivingsavfall har blitt økt med om lag 6 %.

## **2.3 Oppgradering av eksisterende bygningsmasse**

Gjenbruk og renovering av eksisterende bygninger spiller derfor en viktig rolle i en mer effektiv utnyttelse av ressursene og for å redusere miljøbelastningen fra byggenæringen. En nordisk studie viser at potensialet for positiv påvirkning fra gjenbruk av byggematerialer er stort. For Norden som region vil en reduksjon i ressursbruken med 20 % tilsvare omtrent 900 000 tonn spart i klimagassutslipp og vil tilføre private selskaper sosiale og finansielle gevinster som tilsvarer 1,7 % i årlig vekst (Høibye & Sand, 2018).

For å nå 1,5-gradersmålet konkluderer FNs klimapanel (IPCC) med at det generelt trengs raske endringer i bygningssektoren (Rogelj et al., 2018). For å nå de norske forpliktelsene i Parisavtalen må den eksisterende bygningsmassen oppgraderes i overgangen til et lavutslipps-samfunn. Det kan ta fra 10 til 80 år før et nybygg utlikner klimagassutslippet som kom i byggeprosessen (Preservation Green Lab, 2011).

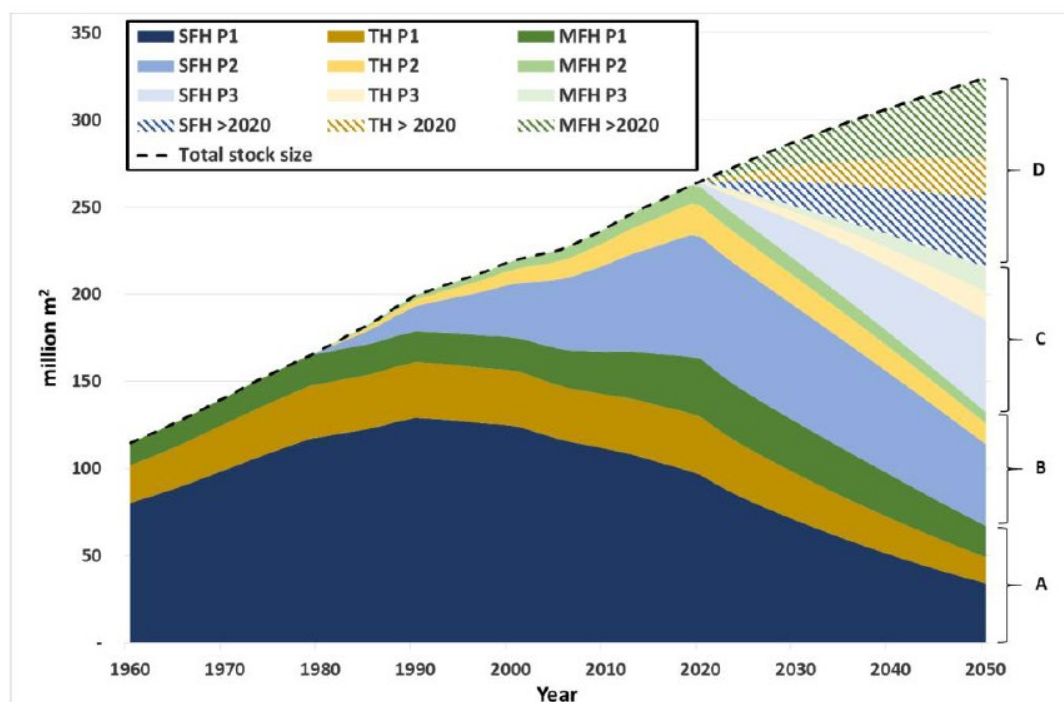
Begrensning av energibruk, klimagassutslipp og forurensning fra det bygde miljø er viktige temaer i plan- og bygningslovgivningen (pbl) og vil ha stor betydning for å nå de nasjonale målene for reduksjon av klimagassutslipp. Krav i pbl berører arealplanlegging, og dermed også oppgradering av eksisterende bygninger. Imidlertid kan det ofte være strid mellom hva kravene sier, og hva eksisterende bygningsmasse potensielt kan tåle av omfattende tiltak uten at bygningen framstår som ny.

Ved oppgradering av eksisterende bygningsmasse forutsettes det ofte utslippsreduksjon som nærmer seg utslippsnivåene for ny bygningsmasse (Almås, et.al., 2011; Kaslegård, 2010). Oppgradering av bygninger kan gi miljømessige fordeler med en gang (Flyen et al., 2020, under utgivelse; Lendlease, 2017). Reinart & Miller (2012) kommer fram til at oppgradering av verneverdige bygninger, med bruk av de eksisterende ressursene i bygget så fram det er mulig gjennom reparasjon og om-/gjenbruk, er "bærekraft i praksis" ("*sustainability in*

action"). Foster (2020) påpeker at flere analyser i nyere forskning viser hvordan tilpasset gjenbruk av eksisterende bygninger er miljømessig fordelaktig, men framhever samtidig at dette synet ikke er utbredt i praksis.

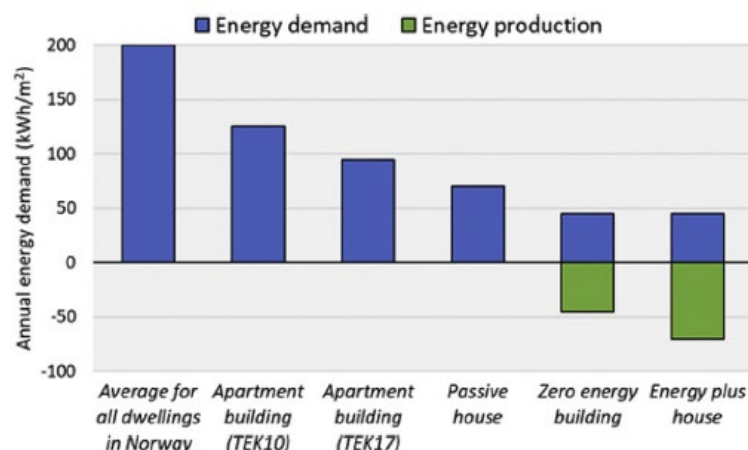
### 2.3.1 Lite oppgradering i dag

Den nåværende renoveringsgraden i Norge er estimert til å være rundt 1–1,4 % av den totale bygningsmassen (Sartori et al., 2016). EU-kommisjonen har uttalt at bare 0,4 til 1,2 % av EUs bygningsmasse er blitt oppgradert hvert år, men at det er forventet en økning opp til 2 til 3 % avhengig av medlemsland og finansielle støtteordninger (EU, 2020). Oppgradering av eksisterende bygninger har potensial til å redusere EUs totale energiforbruk med 5 til 6 % og klimagassutslipp med om lag 5 % (BUILD UP, 2019). Rundt 80 til 90 % av dagens bygninger i Europa er forventet å fortsatt være i bruk i 2050 (Wrålsen et al., 2018). Den norske bygningsmassen er forventet å følge samme trend (figur 2.6).



Figur 2.6. Utvikling i antall m<sup>2</sup> (og forventet utvikling) av den norske boligmassen mellom 1960 og 2050. Figuren viser total boligmasse og andeler av forskjellige boligtyper og oppgraderingsperioder i et basis-scenario. Seksjonen merket A (til høyre i figuren) viser boliger bygd før 2020, som er uendret i sin opprinnelige form eller oppgradert før 1980. Seksjon B viser boliger der det er gjennomført avsluttede oppgraderinger i perioden 1980 til 2020. Seksjon C viser bygninger der det er planlagt oppgraderinger etter 2020, og seksjon D viser forventede byggeprosjekter etter 2020. De blå feltene representerer eneboliger (SFH), de gule representerer tomannsboliger, rekkehus, kjedehus og andre småhus (TH) og de grønne representerer boligblokker og bygninger for bofellesskap. Kilde: Sandberg (2017 )

Leilighetsbygninger utgjør i Norge omkring 23 % av den totale bygningsmassen. Ved å oppgradere leilighetsbygninger i Norge fra gjennomsnittlig energiforbruk til dagens standard på TEK17-nivå kan energiforbruket omtrent halveres (fra rundt 200 kWh/m<sup>2</sup>/år til 95 kWh/m<sup>2</sup>/år) (Figur 2.7). Det er mulig å oppnå ytterligere reduksjon med forbedringer av bygningens energiytelse til null- eller pluss-husnivå (Wrålsen et al., 2018). Den relative mengden klimagassutslipp fra produksjon, transport, bygging, vedlikehold, oppgradering og riving av bygninger vil øke i prosessen for å oppnå forbedret energieffektivitet i bygninger, og diskuteres videre i kapittel 2.5.



Figur 2.7. Gjennomsnittlig energiforbruk for bygninger i Norge. Kilde: Wrålsen et al. (2018)

Nyere forskning (Fouseki & Cassar, 2014; Gram-Hanssen, 2018) har vist at brukeres atferd i bygninger ofte har større påvirkning på energiforbruket enn valgte teknologiske løsninger ved oppgradering. Det gjelder både ved vurdering av mengden spart energi og måten bygningen er blitt anvendt (Fouseki & Cassar, 2014). Det er viktig å være klar over at det kan være forholdsvis store forskjeller mellom beregnet og faktisk energibruk. Videre kan selv små energieffektiviseringstiltak ha til dels store og positive konsekvenser på energieffektiviteten i en bygning. Det er de første centimeterne med etterisolasjon som er de mest betydningsfulle sammenliknet med tilsvarende antall centimeter i tykkere isolasjonslag (Svensson et al., 2012; Grytli, 2004). Den største andelen av slike studier har imidlertid sett på moderne bygninger, materialer og konstruksjoner (Fouseki & Cassar, 2014). Andre, nyere nasjonale og internasjonale studier innen klimatilpasning og energieffektivisering i bygd miljø har også primært fokusert på nyere bygninger (Eakin et al., 2011).

### 2.3.2 Kulturminneverdier i bygningsmassen

I verneverdige bygninger har man ikke samme mulighet til å gjøre store og omfattende energieffektiviseringstiltak som i mer moderne bygninger uten å ødelegge verneverdier og/eller gjøre inngrep som kan skade bygningsfysiske forhold i den opprinnelige konstruksjonen. Det er ikke dermed sagt at man ikke kan gjøre noe: Mindre tiltak vil kunne ha god effekt for å forbedre både energiytelsen til bygningen og komfortnivået sett fra et brukerperspektiv (Godbolt et al., 2018). En klar teknisk utfordring er å møte behovet for bærekraftige og energieffektive løsninger og samtidig respektere og ivareta bygningenes iboende verneverdier.

For fredede bygninger vil det være vanskelig å gjennomføre energieffektiviserende tiltak som ikke vil ha innvirkning på bygningenes bygningsfysiske og konstruktive forhold, verneverdier og som kan være i strid med fredningsstatusen. Derfor omfatter denne rapporten ikke denne delen av den verneverdige bygningsmassen.

I den norske offentlige utredningen *Tilpasning til eit klima i endring* (Miljøverndepartementet, 2010) understrekes det at eldre, verneverdige bygninger utgjør en betydelig del av bygningsmassen i Norge. 515 000 bygninger er SEFRAK-registrert, og vi har om lag 6 000 fredede bygninger, ca. 5 500 bygninger på museum og rundt 1 000 listeførte kirker (i praksis behandlet som fredet, se tabell 2.1).

Tabell 2.1. Tabellen viser oversikt over totalt antall bygninger i Norge per 1.1.2020, antall bygninger registrert i SEFRAK-registeret, fredede bygninger og bygninger på museum. Dessverre er det ikke funnet tall for antall bygninger regulert til bevaring, verneverdige bygninger som er listeført, antall verneverdige bygninger (ikke fredede bygninger eller regulert til bevaring). Det er heller ikke funnet tall for verneverdige bygninger på Oslos gule liste.

| Bygninger i Norge                      | Antall           |
|----------------------------------------|------------------|
| Totalt per 1.1.2020                    | 4 212 721        |
| Registrert i SEFRAK-registeret         | 515 000          |
| Fredede bygninger                      | 6 000            |
| Bygninger på museum                    | 5 500            |
| Listeførte kirker                      | 1 000            |
| Regulert til bevaring                  | Ikke funnet tall |
| Verneverdige listede bygninger         | Ikke funnet tall |
| Gul liste Oslo, verneverdige bygninger | Ikke funnet tall |

Disse tallene er i liten grad endret siden 2010. I tillegg er et større antall bygninger regulert til bevaring etter plan- og bygningsloven. I SEFRAK-registeret til Riksantikvaren er det registrert rundt 515 000 bygninger. Registeret omfatter eldre bygninger og kulturminner fra før 1900 (i Finnmark: alle bygninger fra før 1945). Bygningene i SEFRAK-registeret er ikke nødvendigvis formelt vernet, men representerer i stor grad viktige verneverdier. Tallene er oppsummert i tabell 2.1. Vi har ikke funnet tall over antall bygninger som er regulert til bevaring eller totalt verneverdige, listede bygninger.

### 2.3.3 Politiske føringer for kulturminner og deres iboende og bærekraftige verdier

Bygningsmassen representerer en viktig kulturell og materiell ressurs, der noen bygninger har spesiell betydning på grunn av sine historiske, arkitektoniske og kulturelle verdier (NS-EN 16883:2017). Både Parisavtalen, FNs bærekraftsmål (SDG) og EUs bygningsenergidirektiv gir spesifikk anerkjennelse av kulturarvenes rolle ved gjennomføring av tiltak for utslippsbegrensning og klimatilpasning (ICOMOS Climate Change and Cultural Heritage Working Group, 2019).

I dokumentet "Klima- og miljødepartementets prioriterte forskningsbehov (2016–2021)" framheves det blant annet at den globale befolkningsøkningen "medfører økt bruk av arealer og naturressurser, og vil kunne gi økte utslipp til luft, sjø, jord og vann gjennom økt produksjon av varer og tjenester til en voksende befolkning" (Klima- og miljødepartementet, 2016, s. 4). Befolkningsøkning og medfølgende urbanisering i Norge omfatter også økt behov for bygninger, og vil medføre økt byggeaktivitet samt økt behov for gjenbruk/ombruk av bygninger. Blant hovedpunktene i departementets prioriterte forskningsbehov finner vi følgende:

- Forståelse av natur- og kulturarvens kulturelle og sosiale verdi og samfunnsøkonomiske betydning
- Kulturminner og kulturmiljøer som ressurs i en bærekraftig utvikling
- Betydning og verdi av verneområder og kulturhistoriske verdier for verdiskaping
- Bevaring av ulike kategorier kulturminner og kulturmiljøer i et langsiktig perspektiv, herunder kulturminner og kulturmiljøer som Norge har et særlig kunnskapsansvar for

Det er to av seks sentrale forskningsbehov som er spesielt for temaet i denne rapporten:

- 1) Kulturarven som ressurs og som grunnlag for utvikling av attraktive byer og tettsteder, for verdiskaping i bred forstand og for næringsutvikling
- 2) Miljøtilpasning av verneverdig bygningsmasse og historiske bymiljøer, og potensialet det bygde miljøet har for en klima- og miljøvennlig utvikling.

## 2.4 Livssyklusvurderinger

### 2.4.1 LCA-metodikken og prinsipper for LCA for bygninger

Livssyklusvurderinger (LCA) er en bredt anerkjent metode for å vurdere mulige miljøpåkjenninger gjennom en bygnings totale livsløp, og kan ligge på material-, produkt- eller bygningsnivå. Metodikken for livssyklusanalyse har vært videreutviklet i flere omganger for å harmonisere metodikken og forenkle kalkulasjon, sammenlikning og kommunikasjon av LCA-resultater. Bygningsrelaterte standarder inkluderer ISO 21931:2010 for LCA prinsipper og rammeverk for miljøvurdering av byggearbeider, EN 15897:2011 (NS-EN 15978, 2011) for miljøvurdering av bygninger, og den norske standarden NS 3720 (2018) om beregning av klimagassutslipp i bygninger (se figur 2.8).

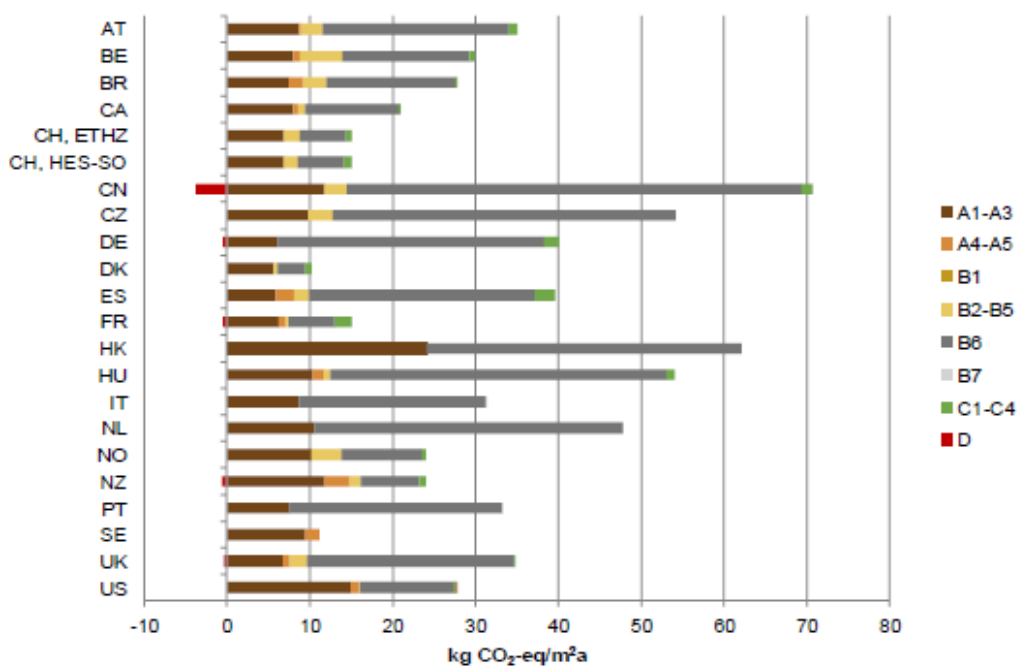
Standarden EN 15978 presenterer en modulstruktur for å definere fem overordnede livssyklusfaser: Produktfasen (modul A1–A3), byggefasen (modul A4–A5), bruksfasen (modul B1–B7), avslutningsfasen (modul C1–C4) og gevinster og laster utenfor systemgrensene (Modul D).

| Systemgrenser for byggematerialer og bygninger i henhold til NS-EN 15978 |               |                |                                               |                               |                    |                 |                |                |               |                        |                         |                    |               |                       |                            |                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|------------------------|-------------------------|--------------------|---------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1-A3<br>Produktfase                                                     |               |                | A4-A5<br>Konstruksjon<br>installasjon<br>fase |                               | B1-B7<br>Bruksfase |                 |                |                |               |                        |                         | C1-C4<br>Sluttfase |               |                       | D<br>Etter endt<br>levetid |                                                                                          |
| A1: Råmaterialer                                                         | A2: Transport | A3: Produksjon | A4: Transport                                 | A5: Konstruksjon installasjon | B1: Bruk           | B2: Vedlikehold | B3: Reperasjon | B4: Utskifting | B5: Ombygging | B6: Energibruk i drift | B7: Vannforbruk i drift | C1: Riving         | C2: Transport | C3: Avfallsbehandling | C4: Avhending              | Material-og energigjenvinning og ombruk av materialer og eksport av egenprodusert energi |

Figur 2.8. Bygningens livssyklusstadier gitt i EN 15978 (NS-EN 15978, 2011)

LCA-resultater for bygninger formidles ofte via miljøsertifiseringsordninger for bygninger som LEED (USA), BREEAM (Storbritannia), med sin norske tilpasning BREEAM-NOR, og DGNB (Tyskland). Sertifiseringsordningene bruker LCA basert på referanseverdier for å sette mål for miljømessig ytelse og bruke LCA-resultater i vurderingen av sertifiseringskriteriene (Hollberg et al., 2019). Muligheten for å sette nasjonale, livssyklusbaserte referanseverdier for klimagassutslipp diskuteres i flere land, og det er en sterk etterspørsel etter bruk av LCA i bygninger (Schlanbusch et al., 2016; Fufa et al., 2019b). Det er et pågående initiativ for å implementere slike referanseverdier i nasjonale forskrifter (Wiik et al., 2020, under utgivelse).

Ved bruk av LCA-studier og for å etablere slike referanseverdier er mangel på harmoniserte bakgrunnsdata og metodiske valg brukt i ulike studier en stor utfordring (Hollberg, et al., 2019; Frischknecht et al., 2019a; 2019b). Dette tydeliggjøres i resultatene fra "IEA BC Annex 72"-prosjektet, hvor de undersøker miljøpåvirkningene fra ett identisk kontor (be2226) (Frischknecht et al., 2019b). I studien ble det antatt lik bruk av teknologi og materialer og lik energibruk. Bygningene ble vurdert med bruk av nasjonale LCA-metoder, og viser utfordringene ved mangel på harmoniserte LCA-metoder (figur 2.9). LCA-resultatene fra kontorbygningen fra Lustenau, Østerrike ved bruk av spesifikke evalueringsmetoder og LCA-databaser fra 21 ulike land viser at rapporterte totale klimagassutslipp varierer fra 10 til 71 kg CO<sub>2-eq</sub>/m<sup>2</sup>.



Figur 2.9. Klimagassutslipp fra test av en referanse for en kontorbygning (be2226). Kilde: Frischknecht et al. (2019b)

Hovedårsaken til forskjellene i klimagassutslipp kan tillegges energimiksen som er brukt, og perioden for referansestudien. I figur 2.9 visualiseres effektivt betydningen av energimiksen i energibruk i drift (B6) for LCA-resultatene, med store forskjeller mellom landene, og hvor land med stort innslag av kull i energimiksen har store utslipp. Likevel er det store forskjeller i metodene som er brukt, og ulikt hvilke LCA-moduler som inkluderes. Innen modulene A1–A3, som er livssyklusmodulene for produksjonen av byggematerialene, er det stor forskjell i resultatene fra de ulike landene (figur 2.9). Ved å utvikle LCA-referanseverdier med basis i harmoniserte metoder vil transparentheten og repeterbarheten av LCA-resultatene øke og gjøre det mulig for de ulike brukerne av analysene å ta informerte avgjørelser.

#### 2.4.2 Få studier på LCA for eksisterende bygninger

Livssyklusvurdering (LCA) av bygninger viser at energieffektiviseringsstrategier (som økt isolasjonstykkel, energieffektive vinduer og ventilasjonssystemer og bruk av solenergi-paneler for energiproduksjon) som fører til reduksjon av energi i bruksfasen, kan ha betydelige negative konsekvenser for påvirkninger fra hele livssyklusen til bygningen (Moncaster et al., 2019; Wiik et al., 2018; Chastas et al., 2016; Dixit et al., 2012; Röck et al., 2020; Ibn-Mohammed et al., 2013; Vilches et al., 2017). Slike negative konsekvenser kan omfatte påvirkningene fra produksjon av byggevarer, transport, byggevirksomhet, utskifting og oppussing i bruksfasen, samt demontering og håndtering av avfall på slutten av bygningens levetid, såkalte bundne eller indirekte utslipp ("embodied emissions"). Dette er altså det akkumulerte klimafotavtrykket som er bundet i materialer, produkter og byggevarer gjennom utslippene disse har under produksjon, vedlikehold og avhending av bygningen. Selv om oppgradering og tilpasset ombruk av eksisterende bygninger for reduksjon av såkalte bundne utslipp er blitt foreslått (Hasik et al., 2019), er det et fåtall av LCA-studier som ser på utviklingen av miljøegenskapene til den eksisterende bygningsmassen (Pombo et al., 2016). Enda færre studier vurderer bundne/indirekte utslipp og bidraget fra kulturhistoriske, historiske og andre sosiale verdier fra den samme bygningsmassen (Hasik et al., 2019; Foster, 2020; Wrålsen et al., 2018).

LCA-studien fra IEA EBC Annex 57 (IEA EBC (b)) omhandler 80 casestudier av byggeprosjekter – både eksisterende og nybyggprosjekter. Funnene viser at produksjonsfasen var dominert av bundne klimagassutslipp med 64 % av det totale utslippet, etterfulgt av vedlikehold i driftsfasen med 22 % av utslippene, og avslutningsfasen ga 14 % av utslippene (Moncaster et al., 2019). Videre viser funnene miljøpåvirkningen fra produksjonsfasen fra elleve casestudier av oppgraderingsprosjekter, der det ble iverksatt energieffektiviserende tiltak i eksisterende bygninger. Her var klimagassutslippene under halvparten av mengden for nye bygninger, uten at det går i detalj på omfattende energioppgraderingene i casestudiene her. Det ble konkludert med at det er behov for flere undersøkelser. En norsk studie av nullutslippsbygg (ZEB) viser at bundne klimagassutslipp fra produksjonsfasen og vedlikehold i driftsfasen utgjorde 55–87 % av det totale utslippet bundne klimagasser. Av disse utslippene utgjør bygningens klimaskall inntil 65 % (Wiik et al., 2018). Utslipp fra byggefasen kan presentere opp til 10 % av de totale utslippene (Fufa et al., 2019; Wiik et al., 2017 ).

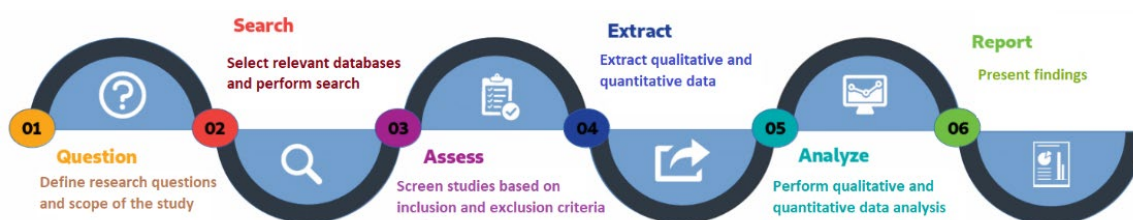
### 3. Metode

Metodedelen er inndelt i to hoveddeler. Den første delen beskriver kort den systematiske litteraturgjennomgangen og den kvalitative metaanalysen (kapittel 4) som ble brukt til å velge ut relevante studier for videre analyse. Den andre delen presenterer bakgrunnsdataene for de norske og internasjonale casestudiene som ble brukt i den kvantitative metaanalysen (kapittel 5).

#### 3.1 Overordnet metode

Den brukte metoden innebærer en systematisk kartlegging og metaanalyse av livssyklus-analyser av rehabilitering og oppgradering av eksisterende bygninger. Prosjektet har studert og kartlagt klimaberegninger på eksisterende bygninger i tilgjengelige nasjonale og internasjonale publikasjoner og prosjektrapporter. En systematisk litteraturstudie benyttes for å svare på de aktuelle problemstillingene gjennom å identifisere og kritisk evaluere funn i relevante publikasjoner. Metaanalysen innebærer en kvantitativ gjennomgang av ulike studier, hvor informasjonen kombineres og analyseres for å gi kvantitative svar på noen spesifikke forskningsspørsmål. Den systematiske litteraturstudien og metaanalysen bygger på etablerte metoder (Gradeci et al., 2019; Petticrew & Roberts, 2008; Gradeci & Labonnote, 2019; Zumsteg et al., 2012).

Gjennom "bibliometric mapping" utføres systematiske søk for å identifisere, kartlegge og samle relevant litteratur under den systematiske kartleggingen. Det er brukt to ulike IP-adresser under gjennomføringen av søket. Begrepet "scoping review" brukes om den videre utforskningen av relasjonene, motsetningene og hullene i den eksisterende forskningen som er funnet. Metaanalysen kombinerer og oppsummerer resultatene fra de ulike studiene, hvor data hentes fra den systematiske litteraturstudien i tillegg til annen litteratur som man finner uten den systematiske tilnærmingen ("snowball approach").



Figur 3.1. Skissering av prosessen med systematisk litteraturstudie og metaanalyse

#### 3.2.3 Datakilder og oversikt over søket

I denne studien ble tre litteraturdatabaser valgt: Web of Science, Engineering Village og Scopus. Booleske operatører (kombinasjon av søkeord på tre forskjellige måter: med OG/AND, ELLER/OR, IKKE/NOT) ble brukt i søket for å raffinere søkeprosessen med nøkkelordene presentert i tabell 3.1, kategorisert i objekt (hva), kontekst (hvor) og utfallet (hvordan).

Tabell 3.1. Nøkkelord

| Hva                            |     | Hvor                                                                       | Hvordan |                                                                                          |  |
|--------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| LCA OR "life cycle assessment" | AND | "Existing building" OR "cultural heritage building" OR "historic building" | AND     | Renovation OR rehabilitation OR retrofitting OR upgrading OR conservation OR restoration |  |

Nøkkelordene ble bestemt gjennom et innledende søk utført i Scopus-databasen, og det ble søkt i publikasjonenes tittel, sammendrag, nøkkelord og emnebeskrivelse. Søket hadde ingen tidsbegrensinger for publikasjonsår, slik at man fikk en oversikt over utviklingen over tid. Det

var heller ingen begrensninger i språk og dokumenttyper i søket, da nøkkelordene var på engelsk, norsk, dansk og svensk. Dette sørget for at skandinavisk litteratur og grå (upublisert) litteratur ble inkludert. Begrepene det ble søkt på og søkeresultater er vist i tabell 3.2.

Tabell 3.2. Begreper brukt i søket og resultater

| Database                            | Search terms                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Records identified |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Web of Science*                     | TS=(LCA OR "life cycle assessment") AND TS=("existing building" OR "historic building" OR "cultural Heritage building") AND TS=(renovation OR rehabilitation OR retrofitting OR upgrading OR conservation OR restoration)                                                                                                                                                         | 32                 |
| Engineering Village**               | (((((lca) WN KY) OR ("life cycle assessment") WN KY)) AND (((existing building) WN KY) OR ("historic building") WN KY) OR (("cultural heritage building") WN KY) AND (((renovation) WN KY) OR ((rehabilitation) WN KY) OR ((retrofitting) WN KY) OR ((conservation) WN KY) OR ((restoration) WN KY) OR ((upgrading) WN KY))))                                                     | 89                 |
| Scopus***                           | (TITLE-ABS-KEY(lca) OR TITLE-ABS-KEY("life cycle assessment") AND TITLE-ABS-KEY("existing building") OR TITLE-ABS-KEY("historic building") OR TITLE-ABS-KEY("cultural heritage building") AND TITLE-ABS-KEY(renovation) OR TITLE-ABS-KEY(rehabilitation) OR TITLE-ABS-KEY(retrofitting) OR TITLE-ABS-KEY(upgrading) OR TITLE-ABS-KEY(conservation) OR TITLE-ABS-KEY(restoration)) | 90                 |
| Overall (after removing duplicates) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 137                |

\* TS betyr at søket er gjort i tittel, sammendrag og nøkkelord.

\*\* WN betyr at søket er i et spesifikt fagområde og KY betyr fagområde/tittel/sammendrag.

\*\*\* Betyr kombinerte felt som søker i sammendrag, nøkkelord og tittel

Det ble søkt etter flere referanser i Google Scholar ved å bruke nøkkelordene beskrevet i tabell 3.1 på norsk, engelsk, svensk og dansk. Dette ble gjort for å dekke relevant publisert og upublisert litteratur, særlig fra de skandinaviske landene (se tabell 3.3).

Programmet Harzings' Publish or Perish, versjon 7.15.2643.7260 Windows x64, kjørt på Windows 10.0.18362 (x64) ble brukt til å laste ned referanser fra Google Scholar. Søkestrengene fra tabell 3.2 ble brukt. Ingen begrensninger ble valgt. Vi brukte "intitle" i første ledd av søkestrengen. "Intitle" resulterer kun i treff på ord i tittel.

Tabell 3.3. Nøkkelord brukt i søk i Google Scholar

| English (EN)               | Norwegian (NO)                                              | Swedish (SE)                               | Danish (DK)                             | Search results            |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|
| LCA                        | Livssyklusanalyse;<br>livsløpsanalyse;<br>klimagassregnskap | Livscykelanalys;<br>LCA                    | Livscyklus-<br>analyse/LCA              |                           |
| Building                   | Bygning; bygg;<br>boliger                                   | Byggnad;<br>bostad/bostäder;<br>bostadshus | Bygning;<br>bolig                       |                           |
| cultural heritage building | vernede bygninger,<br>kulturminne                           | kulturminne                                | bevaringsverdig bygning;<br>kulturminne |                           |
| renovation                 | Renovering                                                  | Renovering                                 | renovering                              |                           |
| rehabilitation             | rehabilitering;                                             | återställande restaurering                 | restaurering                            |                           |
| retrofitting               | ombygging;                                                  | Ombyggning                                 | retrofitting                            |                           |
| upgrading                  | oppgradering                                                | uppgradering                               | oppgradering                            |                           |
| conservation               | bevaring                                                    | Bevarande                                  | konservering                            |                           |
| restoration                | restaurering                                                | restaurering                               | restaurering                            |                           |
| 2 486                      | 29                                                          | 103                                        | 29                                      | Search results            |
| 857                        | 11                                                          | 42                                         | 18                                      | After removing duplicates |

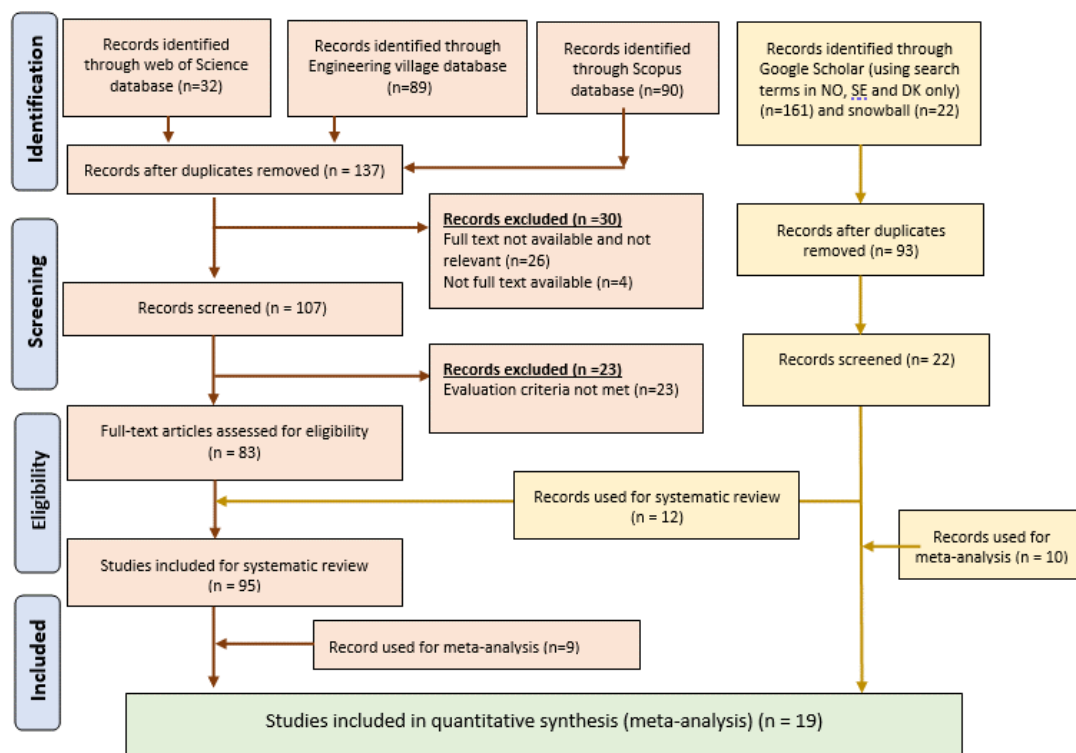
I tillegg ble det brukt en mer ustrukturert tilnærming ("snowball approach") for å dekke relevant litteratur som ikke hadde blitt dekket av det systematiske søket. Dette ble gjort ved å sjekke referanselistene til allerede funnet litteratur, ved å sjekke relevante nasjonale og europeiske tekniske rapporter og ved å få innspill fra eksperter. De siste søkene ble gjort i november 2019. Alle referansene ble eksportert til EndNote (en applikasjon som brukes for å organisere litteraturreferanser), som da fjernet duplikater.

### 3.2.4 Utvalgskriterier

Screeningen av studiene ble utført ved å vurdere relevansen i titler og sammendrag, i tillegg til noe lesning av hele tekster. Utvelgelsen basert på titler og sammendrag ble gjort av én person, mens sluttsammensetningen av artikkelsamlingen ble gjort av to personer.

211 publikasjoner er filtrert og utvalgt basert på følgende kriterier: 1) publikasjoner med god kvalitativ og kvantitativ beskrivelse av LCA-studie og transparent dokumentasjon av hva som er gjort; 2) at LCA-tilnærmingen er presentert i en eller flere casestudier.

En oversikt over søke- og utvelgelseskriterier som ble brukt i den systematiske kartleggingen og metaanalysen, vises i figur 3.2.



Figur 3.2. PRISMA-diagrammet (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analysis) viser metode for systematisk litteraturstudie og for dataanalyse. Kilde: Moher et al. (2009).

Av totalt 211 potensielt relevante artikler ble 74 dupliserte referanser ekskludert. 30 studier ble ansett som ikke relatert til denne aktuelle studien eller 19 ble ikke funnet i sin helhet. 83 studier ble samlet fra de tre valgte databasene.

I tillegg ble 87 publikasjoner (på norsk, svensk og dansk) samlet inn gjennom Google Scholar, utvalgt med en ustrukturert tilnærming (kalt "snowball approach"). Dette betyr konkret at andre publikasjoner som ble funnet underveis i arbeidet, ble lagt til i litteraturgjennomgangen dersom de ble funnet spesielt interessante. Av disse 93 publikasjonene ble 71 ekskludert ettersom de ikke var relevante for temaet, det vil si at 22 studier ble inkludert. Det er kun søkeordene knyttet til NO, SE og DK for søkeresultatene fra Google Scholar som er inkludert i

analysen. Det ble funnet 857 engelskspråklige publikasjoner gjennom søk i Google Scholar. På grunn av den store mengden publikasjoner ble enkelte referanser som var av høy interesse, lagt til ved en tilfeldig tilnærming (ved "snowball approach").

For metaanalysen har vi kun benyttet publikasjoner med resultater fra norske case-bygninger med god beskrivelse av LCA-metodologien – identifisert gjennom den systematiske analysen og "snowball"-tilnærmingen. For den komparative vurderingen har vi også inkludert et utvalg internasjonale studier som følger LCA-metodologien og som har en transparent beskrivelse av bakgrunnsdata og resultater.

I alt er det 12 norske casestudier som danner grunnlaget for metaanalysen. Det ble også identifisert 11 utenlandske bygningscaser fra 7 internasjonale publikasjoner. I tillegg ble det inkludert to casestudier som ble tilsendt fra Riksantikvaren etter den systematiske litteraturgjennomgangen var gjennomført (se 3.2.2).

### **3.2.5 Ekstraksjon av data / datasyntese**

Den fritt tilgjengelige programvaren VOSviewer 1.6.14 brukes til å kartlegge og visualisere interessante temaer gjennom en matrise for nøkkelordene oppgitt av forfattere. VOSViewer er en nettverksvisualiseringsverktøy som er blitt brukt til å vise nøkkelord basert på viktigheten av dem. Den kommersielt tilgjengelige programvaren NVivo versjon 9 (QSR) brukes til systematisk gjennomgang og kvalitativ metaanalyse for å gå i detalj og utforske spesifikke temaer identifisert gjennom VOSviewer.

Microsoft Excel brukes til den kvantitative metaanalysen. Datasyntesen ble utført kvantitativt ved å trekke ut data fra utvalgte casestudier fra Norge som vist i tabell 3.4.

## **3.2 Beskrivelse av casestudier**

I denne delen undersøkes LCA-studier som er identifisert gjennom den systematiske analysen og "snowball"-tilnærmingen. Vi starter først med identifiserte norske casestudier som har en tilstrekkelig beskrivelse av LCA-tilnærmingen. I tillegg er et utvalg internasjonale LCA-studier inkludert. Disse studiene er valgt fordi de følger LCA-metodologien i tilstrekkelig grad og har en transparent beskrivelse av bakgrunnsdata og resultater.

### **3.2.6 Casestudier fra Norge**

De norske casestudiene er valgt fra kjente nasjonale innovasjonsarenaer, inkludert Future-Built-programmet, Framtidens byer og det norske forskningssenteret Norwegian Zero Emission Buildings (ZEB).

- I beregningene er det brukt en funksjonell enhet på 1m<sup>2</sup> og en levetid på bygningen på 60 år.
- LCA-utøvere har brukt fire ulike verktøy i beregningene av klimagassutslipp:
  - klimagassregnskap.no: det tidligere norske klimagassutslippsberegningsverktøyet, som bruker Ecoinvent-databasen og EPD-er som bakgrunnsdata
  - OneClick LCA: et kommersielt LCA-verktøy som erstattet KGR.no i 2018 og som bruker tilsvarende metodikk som klimagassregnskap.no
  - ZEB-verktøyet: et Excel-basert beregningsverktøy for klimagassutslipp utviklet av det norske ZEB-senteret, som bruker Ecoinvent-databasen og EPD-er som bakgrunnsdata
  - SimaPro: en kommersiell LCA-programvare som bruker Ecoinvent-databasen
- Beregningene følger LCA-metodikken skissert av LCA-standarder, NS 3720, EN 15978 og/eller ISO 14040/44. I denne studien er resultatene fra den operative trans-

portfasen (som er inkludert i NS 3720) ekskludert for å sammenlikne funnene med andre internasjonale studier (som følger EN 15978).

- Resultatene blir presentert per prosjektfase for tre scenarioer:
  - Før rehabilitering – at bygningen fortsetter i drift uforandret
  - Etter rehabilitering – hvor bygningen oppgraderes og settes i stand (framfor riving og nybygging)
  - Et referansebygg (ny bygning) – som er et nybygg generert i de ulike verktøyene, ev. på en annen spesifisert måte. I OneClick LCA oppgis det at "referansebygget gir brukeren 'karbonytelsen' ('carbon performance') for hver bygningstype om de bygges i henhold til normale markedsbetingelser i Norge. Referansebygget brukes for å sette karbonreduksjonskrav for prosjektet, som igjen kvantifiseres ved bruk av NS 3720-standarden". Selvig (2015) dokumenterer følgende hovedprinsipper for referansebygg utviklet i klimagassregnskap.no: "Et rektangulært bygg (skole) uten utkragninger eller inntrukne elementer i fasaden med unntak av balkonger for noen av byggtypene."
    - Materialtyper hentet fra Bygganalyses erfaringsdatabase, men noe tilpasset og justert basert på arkitektfaglige vurderinger
    - Energieffektivitetsnivå som gitt i teknisk forskrift til plan- og bygningsloven.
    - Energiforsyning i tråd med teknisk forskrift
    - Gjennomsnittlige reisevaner for det aktuelle bo- og arbeidsmarkedet i henhold til Nasjonal reisevaneundersøkelse, supplert med lokale/kommunale RVU'er"
- Det må derfor påpekes at disse referansebyggene ikke optimaliseres med hensyn til materialbruk eller bruk av miljøvennlige materialer, og er ment å representere en forenklet referanse man kan måle den aktuelle bygningen opp mot – ikke for å representere en reell prosjektert bygning.
- Resultatene presenteres også per livssyklusmodul i samsvar med EN 15978. I tillegg er resultatene per bygningsdel (i samsvar med NS 3451) inkludert i diskusjonen hvor dette er tilgjengelig og interessant.
- Dataene samlet inn fra casestudiene er brukt til å utføre en statistisk analyse som gir en oversikt over referanseverdiene. Resultatene presenteres ifølge bygningstypologi, rehabiliteringstype, byggeår, rehabiliteringsår, beliggenhet, fysisk systemgrense, LCA-systemgrense, indikatorer og annen LCA-relatert informasjon. Videre ble det foretatt en forenklet komparativ vurdering med andre internasjonale studier fra den systematiske litteraturgjennomgangen for å få en full oversikt.

Casestudiene inkluderer fire boligbygninger, fem kontorbygninger, én skole, en universitetsbygg og ett sykehjem. I tillegg benyttes to referansebygninger – en enebolig og en kontorbygning – fra det norske ZEB-senteret. Disse brukes til å representere nye bygninger innenfor de to bygningstypologiene som sammenlikning med resultatene fra de eksisterende bygningene.

Tabell 3.4 gir generell informasjon om de valgte casestudiene. En kort beskrivelse av casestudiene er gitt under tabellen.

Tabell 3.4 Generell informasjon om de valgte casestudiene

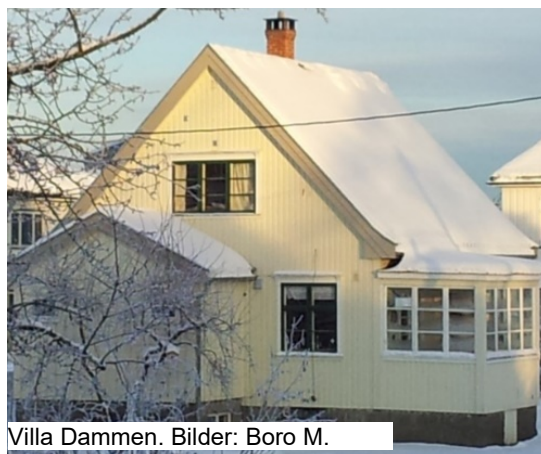
|    | Casestudie                   | Referanse                               | Lokasjon     | Bygnings-<br>typologi | Byggeår |        | Rehabiliterings-<br>periode   | Antall<br>etasjer | BRA<br>(m <sup>2</sup> ) | Opp-<br>gitt<br>levetid | Livssyklus-<br>moduler                      | Indikator                 | Verktøy                      |
|----|------------------------------|-----------------------------------------|--------------|-----------------------|---------|--------|-------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|    |                              |                                         |              |                       | År      | TEK*   |                               |                   |                          |                         |                                             |                           |                              |
| 1  | Villa Dammen                 | Fuglseth (2016)                         | Moss         | Bolig                 | 1936    | Eldre  | 2014                          | 2                 | 117                      | 60                      | A1-A3; B4;                                  | GHG                       | OneClick<br>LCA              |
| 2  | Ulsholtsveien                | Civitas (2018)                          | Oslo         | Bolig                 | 1953    | TEK49  | 2017                          | 3                 | 760                      | 60                      |                                             | GHG                       | KGR.no                       |
| 3  | Stjernehuset<br>borettslag   | Context AS (2018a);<br>Rønningen (2018) | Kristiansand | Bolig                 | 1965    | TEK49  | 2015                          | 10                | 4 543                    | 60                      | A1-A3; B6                                   | GHG                       | OneClick<br>LCA              |
| 4  | Vestlia<br>borettslag        | Skeie et al. (2018)                     | Trondheim    | Bolig                 | 1970    | TEK69  | 2017                          | 3                 | 1 680                    | 60                      | A1-A3; B6                                   | GHG                       | KGR.no<br>and/or ZEB<br>tool |
| 5  | Rådhuskvartalet              | Context AS (2018b)                      | Kristiansand | Kontor                | 1970    | TEK69  | 2014                          | 5                 | 13 071                   | 60                      | A1-A3; B6                                   | GHG                       | ZEB tool                     |
| 6  | Powerhouse<br>Kjørbo         | Sørensen et al.<br>(2017)               | Sandvika     | Kontor                | 1980    | TEK69  | March 2013 –<br>February 2014 | 4 & 5             | 5 180                    | 60                      | A1-A3; A4-<br>A5; B4; B6;<br>C1-C4          | GHG;<br>primary<br>energy | KGR.no                       |
| 7  | Grensesvingen<br>7           | Enlid & Selvig<br>(2018)                | Oslo         | Kontor                | 1986    | TEK69  | 2014                          | 8                 | 16 422                   | 60                      | A1-A3; A4;<br>A5; B4; B6                    | GHG                       | ZEB tool                     |
| 8  | Bergen rådhus                | Ulván & Reenaas<br>(2019)               | Bergen       | Kontor                | 1974    | TEK 69 | 2019                          | 14                | 10 756                   | 60                      | A1-A3; A4-<br>A5; B4-B5;<br>B6; C1-C4,<br>D | GHG                       | OneClick<br>LCA              |
| 9  | Stasjonsfjellet<br>skole     | Undervisningsbygg<br>(2015)             | Oslo         | Skole                 | 1982    | TEK69  | 2014                          | 2                 | 4 278                    | 60                      | A1-A3; B6                                   | GHG                       | KGR.no                       |
| 10 | Økernhemmet                  |                                         | Oslo         | Sykehjem              | 1950    | Eldre  | 2014                          | 4                 | 9 818                    | 60                      | A1-A3; B6                                   | GHG                       | KGR.no                       |
| 11 | NHH Bergen                   | HENT (2019)                             | Bergen       | Universitet<br>sbygg  | 1963    | TEK49  | 2020                          | 9                 | 10 167                   | 60                      | A1-A4; B6                                   | GHG                       | OneClick<br>LCA              |
| 12 | Statens Hus<br>Vadsø, bygg B | Hagen (2020)                            | Vadsø        | Kontor                | 1963    | TEK49  | Under<br>planlegging          | 4                 | 4 555                    | 60                      | A1-A3, A4,<br>A5, B4-B6,<br>C1-C4           | GHG                       | OneClick<br>LCA              |

- In accordance with the value given below

| Bygningstype                     | Passiv | Lavenergi klasse2 | TEK17 | TEK10 | TEK7 | TEK97 | TEK87 | TEK69 | TEK49 | Eldre |
|----------------------------------|--------|-------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Småhus                           | 76*    | 95*               | 110*  | 130   | 130  | 131   | 143   | 153   | 175   | 248   |
| Boligblokk                       | 72     | 89                | 95    | 115   | 126  | 131   | 140   | 147   | 180   | 257   |
| Barnehage                        | 70     | 90                | 135   | 140   | 160  | 206   | 245   | 351   | 377   | 419   |
| Kontorbygning                    | 93     | 101               | 110   | 146   | 167  | 204   | 228   | 264   | 248   | 254   |
| Skolebygning                     | 65     | 77                | 110   | 120   | 144  | 193   | 222   | 266   | 255   | 274   |
| Universitets- og høyskolebygning | 96     | 105               | 125   | 160   | 181  | 223   | 250   | 287   | 232   | 248   |
| sykehus                          | 170    | 218               | 265   | 335   | 335  | 402   | 425   | 378   | 260   | 275   |
| Sykehjem                         | 125    | 145               | 230   | 250   | 248  | 317   | 346   | 314   | 271   | 290   |
| Hotellbygning                    | 107    | 142               | 170   | 220   | 258  | 308   | 325   | 331   | 272   | 291   |
| Idrettsbygning                   | 99     | 127               | 145   | 170   | 194  | 255   | 290   | 413   | 371   | 402   |
| Forretningsbygning               | 106    | 132               | 180   | 210   | 281  | 343   | 358   | 250   | 213   | 228   |
| Kulturbygning                    | 75     | 88                | 130   | 165   | 185  | 233   | 259   | 282   | 269   | 290   |
| Lett industri                    | 87     | 112               | 160   | 190   | 195  | 241   | 280   | 421   | 357   | 387   |

\*Arealavhengig

*Villa Dammen* er den eldste bygningen i case-studiene. Det er en boligbygning fra 1936 med kulturhistorisk betydning (Fuglseth, 2016). Før rehabiliteringen i 2014–15 var konstruksjonen av et reisverksbygg uten separat isoleringssikt og trekledning med betongkjeller. Oppvarming ble levert fra en oljekjel og supplert med elektriske radiatorer. Eierne var interessert i å pusse opp huset sitt for å være både miljøvennlige og energieffektive, mens de fortsatt opprettholdt bygningens egenskaper. Tiltak i rehabiliteringen var tetting rundt vinduer og dører, økt isolasjon i gulv og tak, bytte av oppvarmingskilder med en vedovn og installering av varmegjennvinner for gråvann. En sammenliknbar LCA ble utført av Fuglseth (2016) for en sammenlikning av den rehabiliterte bygningen med et scenario uten rehabilitering, og et annet scenario hvor den eksisterende bygningen ble revet og erstattet med et nytt hus i samsvar med den norske byggeforskriften TEK10 (basert på et referansebygg oppvarmet med strøm og en moderne vedovn).



Villa Dammen. Bilder: Boro M.



Ulsholtsveien. Kilde: Tove Lauluten/FutureBuilt

Hovedbygningen (Furuhuset) i *Ulsholtsveien 31* er Futurebuilt forbildeprosjekt som opprinnelig var et metodistbarnehjem og barnehage, men ble totalrehabilitert for å huse 9 leiligheter og fellesareal i første etasje. Det ble satt inn en ny inngang med heis til loftet. Loftet er nå beboelig. Det totale oppvarmede gulvarealet (BRA) er 760 m<sup>2</sup>, med et bruttoareal (BTA) på 859 m<sup>2</sup>, med 14–20 beboere. Følgende tiltak var en del av rehabiliteringen: Fundamenter: ny heissjakt, støping av nytt fundament for kjellergulv. Bærestruktur: Enkelte nye stålsøyler.

Yttervegger: Nye vinduer, isolasjonsoppgraderinger. Innervegger: nye innervegger. Etasjeskiller: Nye overflater (gulv og tak). Tak: Ny isolasjon (takkonstruksjon ble beholdt). En ny trapp. Referansebygget ble generert i klimagassregnskap.no v. 5, som ble brukt for klimagassberegningene. I tillegg inkluderte transformasjonsprosjektet bygging av to nye bygninger, som hadde et oppvarmet gulvareal på 1 581 m<sup>2</sup> (BRA) og et bruttoareal på 1905 m<sup>2</sup> (BTA), med 36–54 beboere.

*Stjernehuset borettslag* i Kristiansand gjennomførte en rehabilitering av en 11-etasjes boligblokk fra 1965 til energimerke B. Energioppgraderingsprosjektet besto totalt av 60 leiligheter med 42–80 m<sup>2</sup>. Det totale arealet var 4 543 m<sup>2</sup> (BRA). En viktig del av prosjektet var endring av oppvarmingskilde fra oljefyr til fjernvarme og installering av et ventilasjonssystem med varmegjenvinning. Alle kuldebroer i bygningen ble systematisk kartlagt ved termografi og fjernet eller minimalisert. I tillegg økte bygningens energieffektivitet gjennom tiltak som ekstra isolasjon av vegger, gulv og tak og skifte av vinduer og dører. "I-drift"-beregningene ble gjort i OneClickLCA.



Stjernehus. Bilder: Moen O. H.



Vestlia borettslag. Bilder: Skeie K. S.

Caset for *Vestlia borettslag* tar for seg rapporten som vurderer to scenarioer: En enkel rehabilitering og en mer omfattende nZEB-rehabilitering ("nearly Zero Emission Building", nesten-nullutslippsbygg) fra en SINTEF-rapport på vegne av boligbyggelaget TOBB. Studien tar for seg Vestlia borettslag, bygd på 1970-tallet, som casestudie for å undersøke mulighetene TOBB har for oppgradering av sin eksisterende bygningsmasse. De to forskjellige rehabiliteringsscenarioene baserer seg på forslag som ble tegnet og foreslått før en faktisk rehabilitering ble gjennomført i 2012–2013 (som likner på det enkle rehabiliteringsscenariet i

rapporten). Det enkle scenarioet inkluderer tilleggisolering i tak (100 mm ekstra isolasjon) og yttervegger (100 mm ekstra isolasjon), samt endring av fasader og vinduer (til U-verdi på 1,1). I oppgraderingen ble det også installert individuelt balansert ventilasjon (viftepar med varmegjenvinning) i tillegg til eksisterende avtrekk fra bad og kjøkken. Den enkle oppgraderingen gir et netto energibehov på 179 kWh/m<sup>2</sup>/år, noe som ikke tilfredsstiller TEK17, TEK10 eller TEK7s krav til boligblokker. Det ambisiøse nZEB-scenarioet inkluderer flere endringer og ytterligere isolasjon for bygningskroppen: 200 mm ekstra isolasjon i tak, 150 mm ekstra isolasjon i vegger, skifte av trelagsvinduer (U-verdi på 0,8) og det er gjort tiltak for å redusere kuldebroer i forbindelse med balkonger, kjellere og trapper. Det inkluderer også installering av balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Den omfattende oppgraderingen gir et netto energibehov på 91 kWh/m<sup>2</sup>/år, som tilfredsstiller energirammen i TEK17 for boligblokker.

*Powerhouse Kjørbo* er verdens første rehabiliterte kontorbygning som produserer mer energi enn den bruker (Powerhouse). Det er også Futurebuilt forprosjekt. Kontorbygningen, som ligger i Sandvika, består av to kontorblokker fra 1980-tallet med et totalt oppvarmet gulvareal på 5 180 m<sup>2</sup> (Sørensen et al., 2017). Det opprinnelige fundamentet og den bærende konstruksjonen ble bevart i rehabiliteringen. Den ytre laminerte glassfasaden ble gjenbrukt innvendig, og ytterveggen ble bygd om med trestenderkonstruksjon, utvendig kledning i brent tre og økt isolasjonstykkelse. Taket og ytterveggene i kjelleren ble godt etterisolert i rehabiliteringen. Oppvarmingssystemet består av varmepumper (fra energibrønn), mens det er elektrisitetsproduksjon fra solceller på takene til de to kontorbygningene, i tillegg til den nærliggende garasjen. Powerhouse Kjørbo er sertifisert som BREEAM-NOR "Outstanding".



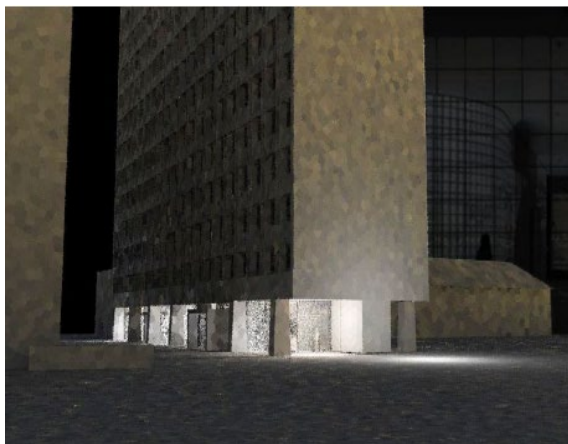
Powerhouse Kjørbo. Kilder powerhouse.no. Bilder: Aadland C.

*Grensesvingen 7* er en kontorbygning fra 1986. Bygningen ble fullstendig rehabilitert, og bare fundamenter og bærestrukturen ble beholdt. De fleste fasadene ble også demontert og gjenbrukt. Med høye miljøambisjoner ble fasadene etterisolert, vinduene og dørene skiftet ut, og en ekstra etasje ble bygd på toppen av bygningen. Bygningen oppfyller lavenergistandarden (NS 3701), får energimerke A og BREAM-NOR Outstanding.

Transformasjonsprosjektet i *Rådhuskvartalet* rundt Øvre Torg i Kristiansand innebar rehabilitering av delvis verneverdig bebyggelse. Teglsteinsfasaden er beholdt, men en moderne og klimasmart kontorbygning fyller nå dette kvartalet. Målet var energimerke B og å oppfylle lavenergistandarden (NS 3701). I tillegg til de historiske fasadene ble noe av bærestrukturen til

noen av bygningene beholdt. Klimagassregnskap.no v. 5.0 ble brukt til beregninger av klimagassutslipp og for å generere referansebygningen. De tilgjengelige resultatene er ikke detaljerte eller transparente, og casestudien blir bare analysert i begrenset grad i det følgende kapitlet.

*Bergen rådhus* er en 14-etasjes bygning fra 1971–74. Byrådet i Bergen besluttet å rehabilitere rådhuset (ut- og innvendig) etter funn i en rapport som vurderte skader på betongsøyler i fasaden som farlige. Vurderingen gjaldt også vindbelastningen og den strukturelle sikkerheten i bygningen, og rehabilitering ble besluttet med en ambisjon om en grønn og miljøvennlig bygning med forlenget levetid på omtrent 50 år. En sammenliknende vurdering av miljøkonsekvensene ble utført for å evaluere rehabilitering versus riving og nybygging. I rehabiliteringsscenarioet ble det gjort en vurdering av scenarioet med å



Bergen rådhus. Kilde: Ulvan & Reenaas (2019)

beholde det originale fundamentet, yttervegger, kledningen, etasjeskiller, horisontal bærestruktur i form av bjelker og 10 % av den vertikale bærestrukturen. Oppvarmingsbehovet skal dekkes av fjernvarme og andre tekniske installasjoner skal driftes av elektrisitet fra nettet. Klimagassutslippene for rehabilitering ble sammenliknet med et scenario med nybygging, hvor



Stasjonsfjellet skole.  
Kilde: Tove Lauluten/FutureBuilt

materialdelen var basert på en referansebygning i OneClick LCA, mens energiberegninger tok utgangspunkt i et nybygg med passivhusstandard, og brukte energiberegninger fra bygningsfysiker. Påvirkningene fra riving av bygningen ble ikke vurdert.

Det opprinnelige *Stasjonsfjellet skole* er et Futurebuilt forbildeprosjekt som var fra 1982, og rehabiliteringen ble fullført i 2014. Skolen ble oppgradert til passivhusstandard. I energioppgraderingen ble vegger og tak etterisolert og kledningen,

vinduer og dører ble skiftet ut. Ny vedlikeholdsfri kledning var hovedsakelig i jernvitrolbehandlet malmfuru. Det elektriske varmesystemet ble erstattet med vannbåret varme, hvor varmepumpe brukes for oppvarming. Beregningene ble gjort i versjon 4 av klimagassregnskap.no.

*Økernhjemmet* er et sykehjem som er Futurebuilt forbildeprosjekt. Sykehjemmet ble totalrehabilitert i 2014. Bygningsstrukturen fra 1975, en bygning på 4 etasjer, ble opprettholdt, og rehabiliteringsprosjektet hadde fokus på gjenbruk av materialer. Vinduer ble skiftet og ytterveggene ble etterisolert. Taket fikk en ny konstruksjon. Lavenergiklasse 1 ble nådd ved å minimere kuldebroene, installere et nytt teknisk ventilasjonsanlegg og med ny energieffektiv belysning. I tillegg ble PV-paneler montert på taket for å dekke 10 % av bygningens totale energibehov.



Økernhjemmet. Kilde: Tove Lauluten/FutureBuilt

Norges Handelshøyskoles hovedbygg (NHH, kalt 1963-bygget) er under oppgradering i 2020 (HENT 2020). Det er både hovedbyggets høyblokk og lavblokk som rehabiliteres. 1963-bygget inkluderer først og fremst kontorer for både sentraladministrasjonen og faglig- og administrativt ansatte ved tre institutter. I lavblokka finnes auditorium, klasserom og møterom. Høyblokka oppgraderes fullstendig, og i lavblokka oppgraderes klimaskjerm og tekniske anlegg. I tillegg gjøres det flere grep i de innvendige arealene for å øke fleksibiliteten, samhandlingen og arealeffektiviteten. Deler av høyblokken er verneverdig, hvor særlig resepsjonsområdet og gangareal har verneverdier. Deler av bygningen har stått uforandret siden 1963, og det er nødvendig med rehabilitering, hvor det særlig har vært problemer med høyblokkas fasade. Målet med rehabiliteringen er å oppnå nær passivhusstandard, samt reduksjon i materialbruk på 38% sammenlignet med et tilpasset rehabilitert referansebygg utarbeidet i forprosjektet.

Statens Hus Vadsø, bygg B, er en vernet bygning som ble bygd i 1960-1963, og var en del av gjenreisningen av Finnmark etter andre verdenskrig (Hagen 2020). Den er et klassisk eksempel på samlokaliseringen av offentlige tjenester (her statlige tjenester) i et store flerfunksjonshus, og det er den tidstypiske arkitekturen som gjør at bygningen har vernestatus. Rehabiliteringsprosjektet er på anbud våren 2020, og det er en (Statsbygg-)intern analyse fra forprosjektet som er referanse for denne rapporten. Tre av fire etasjer skal totalrehabiliteres innvendig, hvor det skal etableres en ny planløsning. Alle tekniske anlegg skal fornyes, men energiforsyningen i form av elkjeler beholdes, siden disse er relativt nye. Det skal etterisolerers i yttervegg og tak opp mot loft, vinduer og dører skal skiftes, og alt øvrig innvendig som vegger, gulv og sanitæranlegg skal fornyes. Rapporten (Hagen 2020) sammenligner det aktuelle rehabiliteringsscenarioet med et nybyggscenario, ikke med et referansebygg. Nybyggscenarioet tar for seg et lavere areal enn rehabiliteringsscenariet, siden det antas at arealnormen følges i en ny bygning (23 m<sup>2</sup>/ansatt). Dette er casestudien som inkluderer flest moduler gjennom livssyklusen av casestudiene (fra Norge), hvor også avhending av den nye og rehabiliterte bygningen (C1-C4) tas med i resultatene (men riving av den eksisterende bygningen/ de eksisterende delene av bygningen inkluderes ikke).

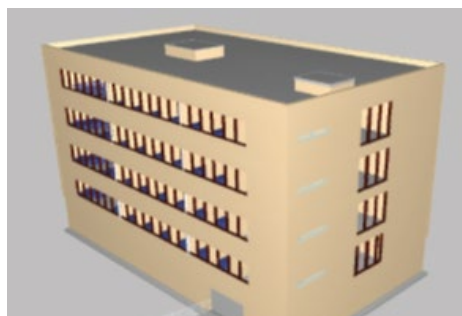


Enebolig konsept. Kilde: Dokka et al. (2013a)

energiproduksjon. Enebolig-konseptstudien har et areal på 160 m<sup>2</sup> (BRA) og har armert betongplatefundament, ytterveggkonstruksjon i trestender, kompakt tak, en godt isolert bygningskropp, i tillegg til fasade med monterte solfangere, luft-til-luft varmepumpe og solcellesystem på taket.

Kontor-konseptbygningen er en 4-etasjes bygning med kjeller (til tekniske rom og parkering). Kontorbygningen har et areal på 1 980 m<sup>2</sup> BRA. Bygningen er konseptuelt planlagt med en blanding av kontorceller og åpne kontorlandskap, og med møterom og fellesarealer. Bygningen har en stål- og betongkonstruksjon. Solceller og solfangere er integrert i bygningens sørlige fasade.

De to konseptuelle casestudiene som ble utviklet av det norske ZEB-senteret i 2013 inkluderer en konseptstudie av en enebolig og en konseptstudie av en kontorbygning (Dokka et al., 2013a; 2013b). De to bygningene er teoretiske og bygges med konvensjonelle/tradisjonelle løsninger. De er brukt som referansebygninger i forskningssenteret ZEB og er teoretisk plassert i Oslo. De har ZEB-OM-ambisjonsnivå, noe som betyr at bundne klimagassutslipp fra byggematerialer og fra energibruk i drift bør kompenseres for på stedet med fornybar



Kontorbygg-konsept. Kilde: Dokka et al. (2013b)

### 3.2.7 Casestudier fra andre land

Gjennom den systematiske kartleggingen ble det valgt ut passende casestudier fra andre land som sammenliknes med de norske casestudiene. Studier som følger anerkjente LCA-metoder med transparent presentasjon av bakgrunnsdata og resultater, er valgt ut. I tillegg er to casestudier som ble tilsendt fra Riksantikvaren inkludert, disse er fra en rapport fra England om historiske bygninger (Duffy et al 2019). Først kommer en beskrivelse av casestudiene fra "Historic England"-rapporten. Deretter kommer listen over casestudier som kommer fra litteraturgjennomgangen i tabell 3.5. De numeriske resultatene er basert på de rapporterte tallene i dokumentasjonen. For noen studier normaliseres resultatene per år og/eller per m<sup>2</sup>, avhengig av henholdsvis referanseundersøkelsesperioden og referanseområdet gitt i casestudiene. Resultatene for systemgrensene dekket i hver casestudie (som vist i tabell 3.6) er inkludert.

#### Casestudier fra "Historic England"-rapporten

Det er to casestudier i rapporten som presenteres i dette avsnittet: "Victorian Terrace" og Chapel-transformasjonsprosjektet. En kort beskrivelse av de to casestudiene følges av en oppsummering av den viktigste informasjonen i tabell 3.5.

"Victorian Terrace" gjelder rehabilitering av et rekkehus fra viktoriansk tid. Bygningen er representativ for et stort antall av engelske boliger, og det var først og fremst en energioppgradering av boligen. Målet med rehabiliteringen energieffektivisering ved installasjon av isolasjon på vegg, loft og gulv og forbedre vinduene med ytterligere lag med glass.

Chapel-transformasjonen var en mindre tradisjonell ombygging av et lite to-roms, forlatt gotisk kapell i London til en enebolig. Målet med transformasjonen og oppgraderingen var å forbedre energieffektiviteten med bedre vinduer (beholde de originale vinduene og legge til interne sekundære doble vinduer) og legge til isolasjon på vegg, tak og gulv, i tillegg til innvendig ombygging og bevaring av innvendige og utvendige materialer.

Utslippene fra rehabilitering-/transformasjonsscenarioet ble sammenlignet med en "base case", et referansescenario hvor bygningen fortsetter i drift uten noen endringer eller inngrep. Også et nybyggscenario brukes, hvor man sammenligner med en ny bolig, og dette scenariet inkluderer riving og oppnåelse av dagens bygningsstandard. I "base case" er det kun utslipp knyttet til energibruk i driftsfasen, mens nybyggscenarioet tar med de bundne utslippene knyttet til riving og oppbygning av en ny bygning, i tillegg til energibruken i driftsfasen.

Beregningen av klimagassutslippene over livssyklusen inkluderer følsomhetsanalyser for: forskjellige referanseperioder (60 år og 120 år i to 60-årige trinn), innetemperatur som varierer fra 21 ° til 18 °C i trinn på én grad, to scenarier for utslippsfaktorer for elektrisitet, samt estimerte kumulative klimagassutslipp i 2030 og 2050 som representerer årstallene for politiske mål for beslutningstakere. I tillegg ble metodikk for livssyklus kostnader brukt for å beregne byggekostnader for vugge-til-grav. Dette inkluderte kapitalkostnader ved bygging og tomteplassing, energirelaterte driftskostnader og vedlikeholdskostnader (for utskiftning av vinduer, tak og kjeler). Alle fremtidige kostnader diskonteres til et basisår ved bruk av en diskonteringsrente i området 5-10%, hvor det ble utført en følsomhetsanalyse for diskonteringsrente 0-10% i trinn på 2,5%.

Tabell 3.5. Generell informasjon om casestudier fra Historic England rapport

| Casestudie                    | "Victoria Terrace"-rehabiliteringen                                                             |                                                                                                                                 |                                                                                                 | Chapel-transformasjonsprosjekter                                                                                                             |                                                                                                                                                                       |                                                                                               |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Scenarioer                    | Base case                                                                                       | Rehabilitering                                                                                                                  | Ny bygning                                                                                      | Base case                                                                                                                                    | Transfor-<br>masjon                                                                                                                                                   | Ny bygning                                                                                    |
| Lokasjon                      | Finnigley, UK                                                                                   | Finnigley, UK                                                                                                                   | Finnigley, UK                                                                                   | London, UK                                                                                                                                   | London, UK                                                                                                                                                            | London, UK                                                                                    |
| Bygnings-<br>typologi         | Rekkehus fra Victoriansk tid                                                                    | Rekkehus fra Victoriansk tid                                                                                                    | Bolig                                                                                           | Kapell                                                                                                                                       | Historisk kapell til boligformål                                                                                                                                      | Bolig                                                                                         |
| Byggeår                       | 1891                                                                                            | 1891                                                                                                                            | 2019                                                                                            | Mid-19th C                                                                                                                                   | Mid-19thC                                                                                                                                                             | 2019                                                                                          |
| Rehabiliterings-<br>periode   |                                                                                                 | 2019                                                                                                                            |                                                                                                 |                                                                                                                                              | 2015                                                                                                                                                                  |                                                                                               |
| Antall etasjer                | 2                                                                                               | 2                                                                                                                               | 2                                                                                               | 1                                                                                                                                            | 1                                                                                                                                                                     | 1                                                                                             |
| Bruttoareal (m <sup>2</sup> ) | 83,1                                                                                            | 83,1                                                                                                                            | 83,1                                                                                            | 56                                                                                                                                           | 56                                                                                                                                                                    | 56                                                                                            |
| Byggematerialer               | Bærestruk-<br>tur i mur,<br>kledning i<br>murstein,<br>enkle<br>vindus-<br>glass for<br>vinduer | Bærestruk-<br>tur i mur, inn-<br>vendig isolert<br>murstein,<br>enkle vindus-<br>glass for<br>vinduer med<br>sekundær-<br>glass | Bærestruk-<br>tur i mur,<br>isolert hul-<br>romsvegg i<br>mur, tre-<br>lagsglass<br>for vinduer | Bærestruk-<br>tur i mur,<br>massivt<br>murverk<br>uisolert<br>massivt<br>gulv, enkle<br>vindus-<br>glass for<br>vinduer<br>med tre-<br>ramme | Bærestruk-<br>tur i mur, massivt<br>isolert mur-<br>verk, isolert<br>massivt gulv,<br>enkle vindus-<br>glass for<br>vinduer med<br>sekundær-<br>glass med<br>treramme | Bærestruk-<br>tur i mur,<br>isolert<br>hulroms-<br>vegg i mur,<br>trelagsglass<br>for vinduer |
| Oppgitt levetid               |                                                                                                 | 60                                                                                                                              |                                                                                                 |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                       |                                                                                               |
| Livssyklusmodul<br>er         | Byggefase (A1-A5), energibruk i drift (B6), vedlikehold og oppussing (B4, B5) and riving (C1-D) |                                                                                                                                 |                                                                                                 |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                       |                                                                                               |
| Indikator                     | Klimagassutslipp (GWP)                                                                          |                                                                                                                                 |                                                                                                 |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                       |                                                                                               |
| Database                      | Inventory of Carbon and Energy (ICE) database and EPDs                                          |                                                                                                                                 |                                                                                                 |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                       |                                                                                               |

### Casestudier fra internasjonale studier fra den systematiske litteraturgjennomgangen

Tabell 3.6. Generell informasjon om utvalgte internasjonale casestudier

|                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Almeida et al. (2018) ; Sedlak et al. (2015) | <p><b>Mål:</b> å forstå relevansen av bundne energi- og klimagassutslipp i evaluering av kostnads-effektiviteten til rehabiliteringstiltak til nesten nullenergibygg, samt betydningen av de bundne utslippene for utslippsreduksjoner og bundet energi for primære energireduksjoner som forventes for en energioppgradering.</p> <p><b>Bygningstypologi:</b> fire casestudiebygninger brukt for "Annex 56", fem bolighus og en barneskole, som representerer ulikt klima og forskjellige nasjonale kontekster i seks europeiske land.</p> <p>1) Kontorbygning (ARE, Bruck an der Mur) fra Østerrike med brutto oppvarmet gulvflate på 6 486 m<sup>2</sup>; byggeperiode 1963-1965 og rehabiliteringsår 2010-2012</p> <p>2) Barneskole (Kaminky 5) fra Tsjekkia med oppvarmet gulvflate på 7296 m<sup>2</sup>; byggeår 1987 og rehabiliteringsår 2009-2010</p> <p>3) Leilighetsblokk (Koniklecová 4) fra Tsjekkia med oppvarmet gulvflate på 5412 m<sup>2</sup>; byggeår 1983 og rehabiliteringsår 2009-2010</p> <p>4) To familiebygninger fra Portugal med brutto oppvarmet gulvflate på 123 m<sup>2</sup>; byggeår 1953 og rehabiliteringsår 2009-2014</p> <p><b>Referanse levetid:</b> 60 år</p> <p><b>Systemgrense:</b> A1-A5, B1-B7, C1-C4</p> <p><b>Miljøpåvirkningskategorier vurdert:</b> klimagassutslipp (GWP, med kvantifisering av klimagassutslipp for hver renoveringspakke), kumulativ ikke-fornybar etterspørsel etter primærenergi (NRPE) og kumulativ total etterspørsel etter primærenergi (TPE).</p> <p><b>Scenarier:</b> 1) referansecase eller "uansett rehabilitering" (rehabilitering der bygningens energiprestasjoner ikke forbedres, fokuserer på det estetiske, funksjonelle og strukturelle), 2) to alternative scenarioer med økte isolasjonstykkelser (i vegger, tak og gulv og kombinasjon av bygningsintegrerte tekniske systemer (tiltak for oppvarming, varmtvann, kjøling, belysning, ventilasjon) med fornybare energikilder (tiltak for å produsere fornybar energi i eller i tilknytning til bygningen), 3) scenario med de gjennomførte rehabiliteringstiltakene. I de nordlige landene hadde bygningene allerede isolasjon, så oppgraderingspakken besto i å øke isolasjonstykkelsene. Vinduene i de nordlige landene</p> |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        | <p>var i de fleste tilfeller tredoble, og de var doble i Portugal og Spania. Når det gjaldt Tsjekkia, ble det lagt til et nytt ventilasjonssystem siden det var en skolebygning med mange brukere på dagtid, der luftkvaliteten var et problem.</p> <p><b>Metodikk og bakgrunnsdata:</b> Følger metodikken utviklet for "Annex 56". Inkluderer beregninger av energibruk i samsvar med lokale forskrifter, de klimatiske forholdene og konstruksjonsteknikker, beregninger av klimagassutslipp og beregninger av kostnader som investeringskostnader, vedlikeholdskostnader, energikostnader, utskifting og avhending.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Eskilsson (2015)       | <p><b>Mål:</b> å sammenligne klimapåvirkningen for to mulige scenarier av flerfamilieboliger i Sverige.</p> <p><b>Bygningstypologi:</b> Bolig</p> <p>1) 9-etasjes leilighetsbygning i Bredäng, Stockholm bygd i 1964, boareal på 5228 m<sup>2</sup></p> <p>2) 4-etasjes i Nacka, Stockholm bygd i 2013-2014 med boareal på 811 m<sup>2</sup> <b>Levetid:</b> 50 år</p> <p><b>Systemgrense:</b> Produksjonsfase, transport av materialer til byggeplassen og energibruk i drift</p> <p><b>Scenarier:</b> Rehabilitering av den eksisterende bygningen eller riving og gjenoppbygging av en ny, mer energieffektiv bygning</p> <p>Ulike rehabiliteringstiltak ble vurdert med tanke på økt energieffektivitet. Energisystem: fjernvarme, elektrisitet</p> <p>Metodikk: LCA-metoder med GWP som indikator.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Famuyibo et al. (2013) | <p><b>Mål:</b> å utvikle metodikk som evaluerer energi og klimagassutslipp <b>over</b> hele livssyklusen for oppgradering av boligmassen</p> <p><b>Bygningstypologi:</b> Irske boligmasse for 13 ulike arketyper (6 eneboliger, 4 tomannsboliger og 3 leiligheter), som til sammen utgjør 65 % av boligene i den eksisterende irske boligmassen</p> <p><b>Levetid:</b> 50 år</p> <p><b>Systemgrense:</b> oppgradering, drift (bruk av energi til oppvarming, belysning og tekniske apparater), vedlikehold og demontering av de tre utvalgte scenarioene.</p> <p><b>Miljøpåvirkningskategorier vurdert:</b> primært energiforbruk og potensial for global oppvarming</p> <p><b>Scenarier:</b> Ingen tiltak (business as usual), tiltak for å nå gjeldende standarder (irske byggeforskrifter) og tiltak for å nå passivhus (iht internasjonale passivhusstandarder)</p> <p><b>Metodikk:</b> en hybridmodell av den eksisterende irske boligmassen, som omfatter en prosessbasert LCA-tilnærming i tillegg til input-output data for montering av materialer og tekniske installasjoner og vedlikehold. LCA ble utført i samsvar med: ISO 14040/44 (2006)</p> |
| Jorgji et al. (2019)   | <p><b>Bygningstypologi:</b> Albansk enebolig fra 1961-1980</p> <p><b>Levetid:</b> 50 år</p> <p><b>Mål:</b> å evaluere potensielle miljømessige og økonomiske konsekvenser av tre ulike alternativer for oppgradering ved å bruke en sannsynlig LCA-tilnærming</p> <p><b>Systemgrense:</b> vugge-til-grav systemgrense (fasene A1-A3, B4-B6, C + D)</p> <p><b>Miljøpåvirkningskategorier vurdert:</b> primært energiforbruk og potensial for global oppvarming</p> <p><b>Scenarier:</b> 1) standard oppgradering (bare endringer i bygningskroppen, ingen tiltak for energisystem), 2) omfattende oppgradering og 3) nybygg (riving og erstatning av den eksisterende bygningstypen med et nytt bygg som har samme geometri og energistandard i samsvar med kravene i EnEV2014)</p> <p><b>Metodikk:</b> Resultatene fra forrige studie (av SLED Study 2015) om albansk bygningstypologi brukes, mens den nye konstruksjonsmodellen er definert i henhold til tyske EnEV2014-krav. Bruk av et bærekraftsverktøy som er i samsvar med LCA-metodikk for den omfattende oppgraderingen, samt nybyggscenariet</p>                                                  |
| Hasik et al. (2019)    | <p><b>Bygningstypologi:</b> 2-etasjes, 5 500 kvm, frittstående bygning med urban beliggenhet i Philadelphia, PA.</p> <p><b>Levetid:</b> 60 år</p> <p><b>Mål:</b> å analysere miljøkonsekvensene av et rehabiliteringsprosjekt og sammenlikne påvirkningene med et hypotetisk nybyggscenario</p> <p><b>Systemgrense:</b> A1-A3, A4, B2-B4, C2-C4, D</p> <p><b>Miljøpåvirkningskategorier vurdert:</b> forurensningspotensial, overgjødslingspotensial, globalt oppvarmingspotensial, ozonnedbrytingspotensial, smogdannelsepotensial og ikke-fornybar etterspørsel av ressurser</p> <p><b>Scenarier:</b> to scenarier (rehabilitering og nybygging)</p> <p><b>Rehabiliteringstiltak:</b> Gjenbruk av så mye av den opprinnelige bygningen som mulig, inkludert bæresystemet (stålsøyler, bjelker og takstoler), betonggulv og bygningskroppen av murstein og terrakotta, og utvalgte innvendige skillevegger i terrakotta. Noen av de viktigste endringene under rehabiliteringen var full utbytting av vinduer, bytte av takbelegg, hevet atkomstgulv og nye innvendige skillevegger.</p>                                                                    |

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | <p><b>Metodikk:</b> Eksisterende bygning ble laserskannet og lastet opp til en Autodesk Revit 3D Building Information Model (BIM). Effektvurdering av miljøindikatorene ved Tally LCA-pluginn TRACI 2.1</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Asdrubali et al. (2019) | <p><b>Bygningstypologi:</b> Skolebygning i Torino (Nord-Italia) fra 1940 med oppvarmet gulvflate på 8 935 m<sup>2</sup></p> <p><b>Levetid:</b> 50 år</p> <p><b>Mål:</b> å evaluere energi- og miljøeffektiviteten til oppgraderingstiltak på et eksisterende bygg.</p> <p><b>Systemgrense:</b> A1-A3, A4-A5, B1-B7, C1-C4</p> <p><b>Miljøpåvirkningskategori:</b></p> <p><b>Scenarioer:</b> fire forskjellige oppgraderingsscenarioer med to NZEB-løsninger (som definert i italienske forskrifter) og en kostnadsoptimal oppgradering (muliggjør oppgradering til gjeldende nasjonale grenser for U-verdier og systemeffektivitet).</p> <p><b>Renoveringstiltak:</b> etterisolering av bygningskroppen, oppvarmingssystem og belysning, solavskjerming- og andre kontrollenheter</p> <p><b>Metodikk:</b> Energisimulering, LCA i samsvar med ISO 14040 og ISO 14044</p> |

## 4. Resultater fra systematisk litteraturgjennomgang

Dette kapitlet oppsummerer funnene fra den systematiske litteraturgjennomgangen og presenterer publikasjoners mønstre, fokusområder og finner gap i forskningen.

### 4.1 Status for forskning på eksisterende bygninger

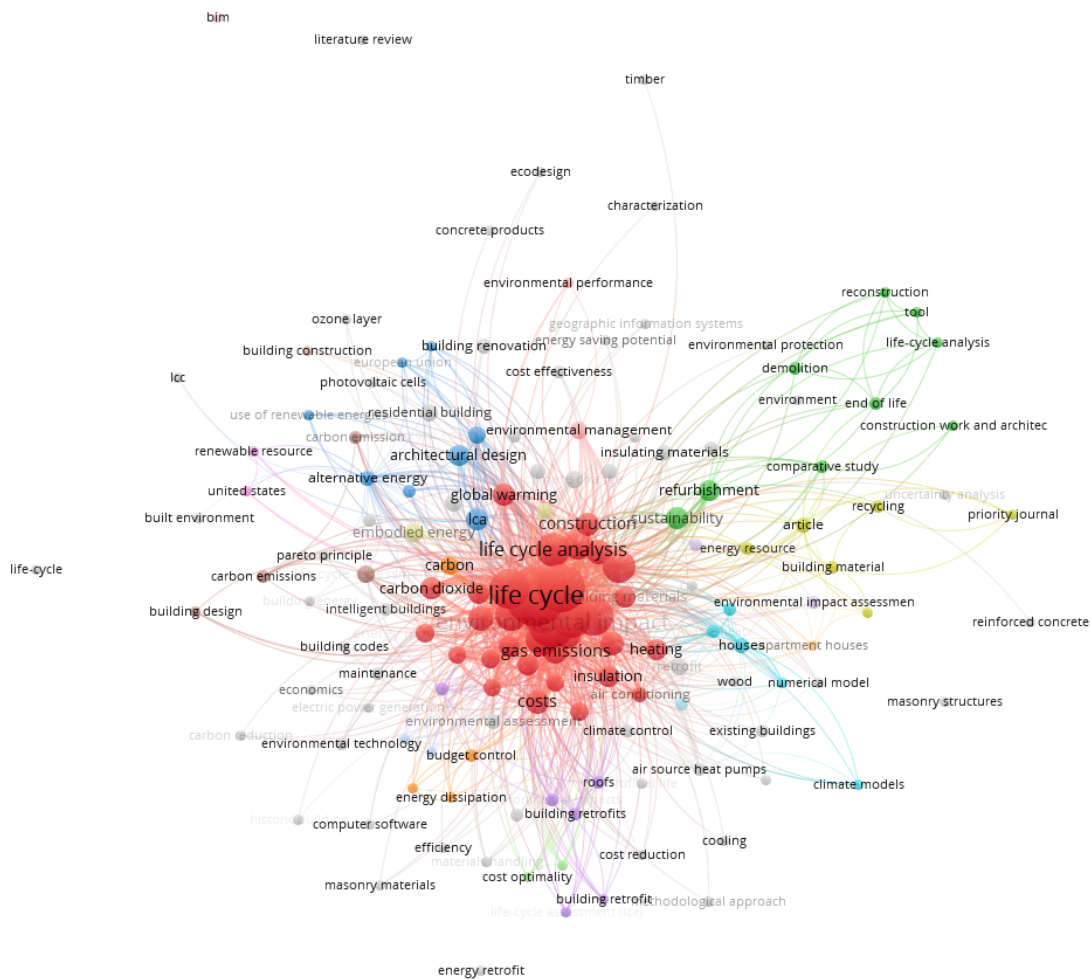
Antall publikasjoner per år er presentert i figur 4.1 for de 95 artiklene som er valgt for den systematiske litteraturstudien. Resultatet viser en økning i antall publikasjoner om livssyklusvurderingen av oppussingsprosjekter de siste fem årene.



Figur 4.1. Antall årlige publikasjoner for LCA av eksisterende bygninger

### 4.2 Analyse av samtidigheten av forfatternøkkelord

Figur 4.2 og Figur 4.3 viser resultatet fra samtidigheten av 576 forfatternøkkelord identifisert ved bruk av VOSviewer 1.6.14 (<http://www.vosviewer.com>). Samtidigheten av nøkkelordene er representert ved forskjellig klyngestørrelse og -farge. Størrelsen i hver klynge representerer hvor mange ganger nøkkelordet forekommer, mens fargen representerer hvilken klynge nøkkelordet tilhører. De kurvede linjene viser koblingen mellom nøkkelordene. Nøkkelordene nærmest senter av diagrammet har en høyere hyppighet.



Figur 4.2. Samtidighet av forfatterenøkkelord med minimum antall forekomster satt til standardverdi på 5.

Av de 593 nøkkelordene som er identifisert, er de 506 klyngene med en grenseverdi på 1 i forhold til sammenfallende referanser presentert i figur 4.2. Resultatet viser at de fleste publikasjonene fokuserer på livssyklusanalyse, som er et av nøkkelordene brukt i søkekriteriene.

For å få en mer detaljert analyse viser figur 4.3 resultatet fra de 30 nøkkelordene som møter kriteriet om standardverdi på minimum antall forekomster til 7. Som man kan se i figur 4.3, er det livssyklusanalyse, miljøpåvirkning, energiutnyttelse, ettermontering og energisparing som er de 5 mest brukte nøkkelordene.



Tabell 4.1. Matrise over bygningskategorier

| Building typology            | A : Existing building | B : Historic building | C : Non-residential building | D : Reference building | E : Residential building | F : Traditional building | G : Zero energy building |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 : Existing building        | 88                    | 5                     | 9                            | 8                      | 6                        | 3                        | 16                       |
| 2 : Historic building        | 5                     | 30                    | 1                            | 4                      | 6                        | 0                        | 2                        |
| 3 : Non-residential building | 9                     | 1                     | 46                           | 2                      | 16                       | 0                        | 4                        |
| 4 : Reference building       | 8                     | 4                     | 2                            | 51                     | 6                        | 1                        | 2                        |
| 5 : Residential building     | 6                     | 6                     | 16                           | 6                      | 86                       | 0                        | 8                        |
| 6 : Traditional building     | 3                     | 0                     | 0                            | 1                      | 0                        | 15                       | 3                        |
| 7 : Zero energy building     | 16                    | 2                     | 4                            | 2                      | 8                        | 3                        | 58                       |

#### 4.4 Funn fra systematisk litteraturgjennomgang

Basert på den systematiske analysen beskrevet i kapittel 4.1–4.3, ble funn fra de detaljerte, kartlagte publikasjonene kategorisert i fire temaer. Følgende temaer ble sett som viktige for å belyse problemstillingen: (1) Rehabiliteringsscenarioer, (2) Rehabilitering eller riving og bygge nytt, (3) Utslipp i driftsfasen versus de bundne utslippene i bygningen, og (4) Brukeratferd og bruk av bygninger.

##### 4.4.1 Rehabiliteringsscenarioer

Rehabiliteringsscenarioer tar for seg vurderingene av de ulike tiltaksalternativene som er aktuelle i en rehabilitering. Disse analyseres i form av ulike scenarioer. Asdrubali et al. (2019) diskuterte funnene fra sammenlikningen mellom økonomiske, energi- og miljømessige tilbakebetalingstider for forskjellige oppgraderingsscenarioer, som inkluderte varianter av å øke bygningskroppens termiske evne gjennom økning av isolasjonstykkelsen, installasjon av varmepumpe med solfangere og solcellepaneler, og installasjon av LED-lamper. Casestudiet var en eksisterende skolebygning fra 1940 i Torino, Italia. De peker på at rehabilitering av bygningskroppen er mindre attraktivt på grunn av den høye tilbakebetalingsperioden i kostnader og utslipp. Installasjon av fornybart energisystem viste gode økonomiske og miljømessige resultater med lavere tilbakebetalingstid. De trekker også fram at forskyvningen av miljøbelastninger, ved å øke den bundne energi- og miljøpåvirkningen i rehabiliteringsåret og senke belastningen fra energibruk i driftsfasen, er svært avhengig av klimaforhold, teknologisk utvikling, framtidige energipolitiske scenarioer og valg av materialer. Den lengre miljømessige og økonomiske perioden for å betale tilbake henholdsvis utslipp og kostnader fra en omfattende oppgradering (til nZEB) sammenliknet med en kostnadseffektiv oppgradering, diskuteres også. Asdrubali et al. (2019) fant at det var viktig å inkludere LCA- og LCC-analyser i evalueringen av de miljømessige og økonomiske aspektene av forskjellige oppgraderingsscenarioer – hver case er unik og bør analyseres.

Wang et al. (2015) diskuterer viktigheten av å vurdere småskala rehabiliteringstiltak på bygningskroppen (for eksempel utskifting av vinduer, etterisolering av yttervegger) kombinert med lavtemperaturoppvarming (fjernvarmløsninger i kombinasjon med mindre varmepumper med lavere temperatur enn vanlige løsninger). Dette ble diskutert i lys av relativt gamle hus, hvor man vil unngå en lang periode før man har kompensert for den bundne energibruken fra rehabiliteringen med den lavere energibruken i driftsfasen ("break-even"-punktet). Småskala rehabiliteringstiltak som forbedrer bygningskroppens lufttetthet og ventilasjonssystemer var det mest effektive tiltaket for flerfamiliehus. For relativt nye (høye) boligblokker blir det funnet mer gunstig med mer omfattende oppgraderingstiltak, for eksempel utskifting av vinduer, kombinert med skifte til lavtemperatur oppvarmingssystemer. Her er det flere av de undersøkte oppgraderingstiltakene som resulterte i "break-even"-punkt på under 5 år. De identifiserte også mangel på standardisert evalueringsmetodikk for evaluering av både energi- og miljøytelsen av rehabiliteringstiltak i Sverige. Dette var på grunn av kompleksiteten ved rehabilitering og variasjonen blant de eksisterende brukernes tilstand. De anbefalte å vurdere bygningstypen før det tas strategiske beslutninger om rehabilitering. Da kan man avvise mellom de bundne og driftsmessige energireduksjonene ved implementering av forskjellige tiltak. De peker også på viktigheten av å vurdere bundet energi (se begrepsliste foran i rapporten) og bundne klimagassutslipp fra materialene som brukes i rehabiliteringen av

bygningsskroppen og ventilasjonssystem – spesielt i gamle, mindre eneboliger – for å unngå en overdrivelse av bærekraften for de valgte tiltakene.

Ramirez-Villegas et al. (2019) har evaluert miljøpåvirkningene fra fire energieffektive rehabiliteringsscenarioer for treetasjes flerfamiliehus, bygd i 1969–1971 i Borlänge, Sverige. De fant at den samlede (negative) miljøpåvirkningen knyttet til utskifting av tekniske installasjoner kan sammenliknes med rehabilitering av bygningsskroppen og utskifting av ventilasjonssystem. De påpekte også at miljøbelastningen var størst fra energibruk i drift.

Dodoo et al. (2010) analyserte en flerfamiliebolig med trekonstruksjon bygd rundt 1995 i Växjö (Sør-Sverige). De fant at oppgradering av en bygning til passivhusstandard reduserer den totale energibruken. Det oppnås imidlertid en betydelig større reduksjon i det primære energiforbruket for hele livssyklusen om bygningen oppvarmes med elektrisitet (61–52 %) enn oppgradering av en bygning med fjernvarme som energikilde, på grunn av høyere energieffektivitet og dermed lavere total energibruk over livsløpet.

Moncaster et al. (2019) undersøkte utfordringene knyttet til analyser av miljøpåvirkningen av renoveringstiltak og foreslo å utvikle referanseverdier for miljøbelastningene knyttet til typiske rehabiliteringstiltak.

#### **4.4.2 Rehabilitering eller riving og bygge nytt**

Noen ganger skal man ikke bare vurdere ulike rehabiliteringsscenarioer for en bygning, men også om man skal rive og bygge nytt. Avgjørelsen om å rehabilitere eller rive en eksisterende bygning avhenger av flere faktorer. Ofte vil avgjørelsen være mest avhengig av kostnadene. Det er usikkerhet knyttet til kostnadene over livsløpet, hvor rehabilitering ofte kan komme ut som like dyrt eller dyrere enn riving og nybygging (Lucuik et al., 2010). I "Annex 72" (IEA EBC (a)) påpekes det at beslutningen innebærer en avveining mellom tilleggsinvesteringer i dag og potensielle kostnader og besparelser under bygningens bruk og levetid i mange tiår framover. Siden den økonomiske analysen på ingen måte fullt ut redegjør for alle miljøbelastninger involvert, er det også behov for kvantifisering av miljøpåvirkningene i denne beslutningen. Livssyklusvurdering er et nyttig verktøy for å rettferdiggjøre eller støtte beslutninger om behovet for rehabilitering av eksisterende bygninger, og kan ved riktig bruk benyttes i scenario-sammenlikninger med riving og oppføring av nybygg.

Assefa & Ambler (2017) undersøkte miljøbelastningene knyttet til adaptiv gjenbruk av et tretten etasjes bibliotekstårn ved University of Calgary i Canada til en administrasjonsbygning. De gjennomførte en komparativ vurdering av to scenarioer: en fullstendig riving etterfulgt av nybygging, og en selektiv dekonstruksjon av bygningen etterfulgt av gjenbruk av bygningen. Resultatene indikerer at virkningen fra den selektive dekonstruksjonen og gjenbruksscenarioene fører til en reduksjon på 28–33 % i sju miljøkonsekvenskategorier (overgjødning, smog, global oppvarming, fossilt drivstofforbruk, menneskelig helse, forsuring av kilder på vann og land og ozon-nedbrytning) sammenliknet med et komplett scenario for riving og nybygg. Selv om detaljerte, spesifikke sammenliknende analyser er utfordrende, påpeker Assefa & Ambler viktigheten av slike spesifikke vurderinger av gjenbruk versus nybygging, siden de er så avhengige av de unike egenskapene og beliggenheten til byggene.

Hasik et al. (2019a) foreslår en tilnærming for å utføre komparative vurderinger mellom rehabilitering og nybygging, og demonstrerer tilnærmingen i en case med adaptiv gjenbruk. Resultatene viser 36–75 % reduksjon av miljøpåvirkninger i over seks indikatorer (forsuringspotensial, overgjødningspotensial, globalt oppvarmingspotensial, ozonnedbrytingspotensial, smogdannelsepotensial og ikke-fornybar energietterspørsel) når rehabilitering sammenliknes med nybygg. Gjenbruk av strukturelle komponenter gir mesteparten av nedgangen i miljøpåvirkningen, mens mesteparten av miljøpåvirkningene fra rehabilitering var fra interiørkomponenter og overflater. Casestudien viser også styrken i sammenliknende scenarioer når det brukes konsistente systemgrenser og et godt beskrevet og klart omfang av undersøkelsen.

Utfordringene knyttet til mangelen på en klar systemgrensebeskrivelse for livssyklusmodulene i analysene for eksisterende bygninger og oppgraderingsprosjekter trekkes også fram.

Studien utført av Preservation Green Lab (Preservation Green Lab, 2011) på seks bygnings-typologier fra fire amerikanske byer viser reduksjoner på fra 4 til 46 % i miljøpåvirkning fra rehabilitering og gjenbruk av eksisterende bygninger sammenliknet med å rive og bygge nytt. De argumenterer også for at oppgradering av eksisterende bygninger til en energistandard på nivå med gjennomsnittet i den eksisterende bygningsmassen kan gi en umiddelbar reduksjon av klimagassutslippet. De høyere miljøpåvirkningene fra nye bygninger kommer tidlig i bygningens livssyklus, og det tar tid før de lavere utslippene i drift kompenserer for dette. Selv for nye, energieffektive bygninger (med opptil 30 % høyere effektivitet enn gjennomsnittet for eksisterende bygninger) kan det ta 10–80 år å overvinne de negative konsekvensene av klimagassutslippet fra byggeperioden.

I LCA- og LCC-studien utført av Raposo et al. (2019) integreres LCA i BIM-modellen, og denne analyserer rehabilitering av en enetasjes industribygning i Portugal. Med rehabilitering av bygningen, hvor hovedmålet var å forsterke bærestrukturen mot seismisk påvirkning, finner de besparelser på opptil 128,5 ganger for klimagassutslipp, 138,5 ganger for smogdannelse og med 3,79 ganger lavere kostnader enn for et nybygg.

Når miljø tas med i betraktningen om det skal rehabiliteres eller bygges opp på nytt, trekker Meijer & Kara (2012) fram at energiforbruket for oppvarming og forventet levealder etter rehabilitering har stor betydning for beslutningene. De tok for seg tre typer nederlandske hus: leiligheter bygd før 1966, rekkehus bygd mellom 1946 og 1965 og bygningsblokk bygd før 1966, og sammenliknet disse i fire scenarioer: ingen oppgraderingstiltak (men mindre vedlikehold), rehabilitering til moderne (minimums-)standard for å forlenge bygningens levetid, et transformasjonsscenario med omfattende rehabilitering og et scenario med nybygging. LCA-resultatene viste en positiv miljøeffekt ved riving og nybygging sammenliknet med rehabiliteringsalternativet om den forventede levetiden etter rehabilitering er lang (> 30 år) og det er høye energireduksjoner i driftsfasen (hovedsakelig når det gjelder oppvarming). Ved en kortere forventet levetid for bygningen og lavere energiforbruk for den eksisterende bygningen i driftsfasen, fant de at rehabilitering var det beste alternativet.

I motsetning viste Eskilsson (2015) at det kan forventes høyere klimagassutslipp i bygging av et nytt leilighetsbygg sammenliknet med oppgraderingsscenarioer for den eksisterende bygningen, om man la til grunn 50 års levetid. I den svenske undersøkelsen ble det vist at inntil en levetid på 126 år var den eksisterende bygningen den mest fordelaktige.

I Canada påviste Lucuik et al (2010) betydelige *unngåtte* miljøpåvirkninger ved å bevare eksisterende historiske bygninger sammenliknet med nybygging. Det ble gjort en sammenlikning av resultater for energiforbruket mellom en eksisterende bygning med best mulig rehabilitering, et typisk nybygg og beste scenario for en ny bygning. Resultatene var relativt like. Det ble funnet en positiv effekt for energiforbruket fra historiske bygninger på grunn av en mer massiv bygningskropp og mindre vindusareal. Lucuik et al (2010) hevdet at det ikke er fysiske begrensninger for at historiske bygninger ikke kan oppnå rimelig god energieffektivitet, men for hvor drastiske tiltak som kan gjøres – og at dette er den største begrensningen. Videre trekker forfatterne fram andre aspekter som kan virke mot rehabilitering av historiske bygninger; dette omfattet blant annet kompleksiteten i rehabiliteringen, mangel på bevis for å vise de miljømessige fordelene og behovet for mer areal i det urbane miljøet gjennom fortetting.

#### **4.4.3 Utslipp i driftsfasen versus de bundne utslippene i bygningen**

I kapittel 2 ble det påpekt at utslippene i driftsfasen fra energibruk ofte er lavere for nyere bygninger, mens de bundne utslippene relativt sett er større når man bygger nye bygninger sammenliknet med oppgradering. De bundne utslippene er likevel mindre utforsket i littera-

turen og eksisterende klimagassregnskap. Ghose et al. (2017), som analyserte en omfattende energioppgradering av en kontorbygning på New Zealand, viste at miljøvirkningene av unngått energibruk i driftsfasen for den rehabiliterte bygningen er betydelige om bygningens liv forlenges over en lengre periode og opprettholder den gode energieffektiviteten. Omfattende energieffektiviseringstiltak vil gi en reduksjon i GWP, EP, HT ikke-bil og ET ferskvannspåvirkningskategorier om bygningen er i drift i over 25 år. For påvirkningene av PCOP, AP, ADr, ADff og PMF må bygningen være i drift i mer enn 50 år for å få en reduksjon. Beregningen deres er basert på New Zealands elektrisitet, med store innslag av kull. Studien konkluderer med at tiltak for å fremme energioppgradering av kontorbygninger, der en betydelig andel av energibruken i drift kommer fra fornybare energikilder, bør vurderes nøye siden det kan øke den samlede miljøpåvirkningen.

Iyer-Raniga & Wong (2012) evaluerte åtte boliger i Victoria, Australia. De fant at klimagass-reduksjon var mest avhengig av energiforbruk i drift, på oppvarming og kjøling, energimiks og effektivitet i elektrisitetsnettet. I sin studie så Hasik et al. (2019) på de bundne utslippene. De fant at bygninger som har blitt bygd med en lettere bærestruktur (en lett bygning), etter minstekravene til isolasjon fra forskriftene ved byggetidspunktet, kan nemlig trenge større strukturelle oppgraderinger for å oppnå en fornuftig energistandard. Slike store oppgraderinger kan i stor grad påvirke utslippsberegningene til en rehabilitert/oppgradert bygning, og favorisere en ny bygning.

Langston et al. (2018) analyserer empiriske resultater for Hong Kong som viste 33–39 % reduksjon av bundne karbonutslipp og 22–50 % lavere kostnader i rehabiliteringsprosjekter enn i nybygg. staPreservation green lab (2011) påpeker at den faktiske miljøpåvirkningen fra energioppgraderinger avhenger av materialvalget. Oppgraderinger resulterer i lavere energiforbruk gjennom levetiden til en bygning, og gir derfor lavere klimagassutslipp, ressursbruk og lavere konsekvenser for menneskers helse. Men energieffektiviseringstiltakene resulterer også i et økt press på økosystemet på grunn av påvirkningen fra materialer. De argumenterte for viktigheten av å vurdere flere miljøkonsekvensindikatorer når energioppgraderingstiltak ble vurdert siden materialvalget er viktig for å minimere de totale negative miljøpåvirkningene.

Marique & Rossi (2018), som har gjort en komparativ vurdering av rehabilitering av en kontorbygning fra 1934 i Brussel sammenliknet med en komplett avhending og ny oppføring av bygningen, fant at rehabilitering utgjør 54,5 % av nybyggprosjektet for energi og 56,6 % for klimagassutslipp. Når det gjelder påvirkningene fra riving av den eksisterende bygningen, framtidig riving av nybygget, byggefasen og bundne miljøpåvirkninger fra bygningsmaterialer, var det betydelige forskjeller mellom de to scenarioene. De påpekte viktigheten av å analysere betydningen av bygningens bevaringsverdi, konsekvenser av riving og de fulle kostnadene ved nybygging.

#### **4.4.4 Brukeratferd og bruk av bygninger**

Brukerperspektivet er viktig når bruk av bygninger skal evalueres. Antakelser om brukeratferd kan i stor grad påvirke miljøanalysene, både når det gjelder hvordan dette påvirker energibruken og hvordan selve antallet brukere og personer per m<sup>2</sup> kan påvirke beregningene. Rodrigues & Freire (2017) diskuterte hvordan potensielle miljø- og kostnadsfordeler ved rehabilitering av historiske bygninger avhenger av bruk og beleggsgrad i bygningene. Det ble utført LCA-beregninger for alternative scenarioer for adaptiv gjenbruk av en eksisterende enebolig (fra begynnelsen 1900-tallet i Coimbra, Portugal) til bolig- eller kontorbruk, med scenarioer med lavt eller høyt belegg og ulike nivåer av tiltak for tak- og ytterveggsisolasjon. Et scenario med høyt nivå av oppgradering med tykkere isolasjon ble funnet mer fordelaktig ved høyt belegg (høy bruksgrad) og krav til høy termisk komfort. Boligbruk med krav til høyere termisk komfort gir høyere miljø- og kostnadsgevinster ved mer intensive tiltak. Boligbruk med høyt belegg gir en høyere netto årlig kostnadsbesparelse ved økt isolasjonstykkel på innsiden av ytterveggen (opptil 800 euro årlig ved 80 mm økt tykkelse). For

scenarioer med både høyt belegg og lavt belegg gir innvendig isolasjon større besparelser enn utvendig isolasjon i yttervegg. Det er ingen marginale kostnadsbesparelser i å øke isolasjonen i tak, da energibesparelsene ikke oppveier de ekstra materialkostnadene.

Wastiels et al. (2016) påpekte at selv om scenarioet for riving og nybygging fører til høyest total miljøbelastning (ca. 20 % høyere enn rehabiliteringsscenarioet) og høyest livssyklus-kostnad (ca. 30 % høyere enn rehabiliteringsscenarioet), er det slik at det å bygge nytt gir bedre miljø- og kostnadmessige resultater per kvadratmeter oppvarmet gulvflate. De har hevdet at den økte miljøpåvirkningen og kostnadene som genereres under rivingen blir kompensert med gevinster i form av mer tilgjengelig bruksareal og at et nybyggingsscenario kan være attraktivt i urbane områder med lite plass. Dette er også i tråd med funnene fra Lavagna et al. (2018), hvor det påpekes at reduksjonen i påvirkningen fra økt energieffektivitet ikke kompenserer for påvirkningen fra det voksende gjennomsnittlige boligarealet (per person, i tillegg til reduksjonen i antall beboere per husstand).

Assefa & Ambler (2017) diskuterte også den potensielle økonomiske og praktiske betydningen av å vurdere måter å øke det funksjonelle arealet innen den eksisterende bygningsmassen for å møte utfordringen med begrensede arealer tilgjengelig for utvidelser i form av nye bygninger. Slik tilpasset gjenbruk peker Preservation green lab (2011) også på. Det kan være flere grunner til at den eksisterende bygningen ikke passer inn i den foreslåtte nye bruken av bygningen: demografiendringer, ugunstig nærområde/geografisk beliggenhet eller byutviklingshensyn. Imidlertid påpekes viktigheten av å gi mer vekt til de relative miljømessige fordelene ved gjenbruk i beslutninger om riving.

## 5. Resultater fra metaanalyse av eksisterende bygninger

Dette kapitlet presenterer resultater fra de norske og internasjonale casestudiene som ble brukt i den kvantitative metaanalysen. Resultatene er kategorisert i tre hoveddeler: 1) Presentasjon av resultater fra de 12 casestudiene fra Norge, 2) presentasjon av resultater fra casestudier fra andre land, 3) sammenlikning av gjennomsnittresultater fra de nasjonale casestudiene med referanseverdier fra andre land. Dette inkluderer også scenarioanalyser for å evaluere om rehabilitering av eksisterende bygninger kan gjøre det mulig å nå 2030- og 2050-målene, hvor rehabiliteringsscenarioet sammenliknes med nybygg- og referansebyggscenarioet.

### 5.1 Resultater fra casestudiene fra Norge

#### 5.1.1 Totalt klimagassutslipp

I tabell 5.1 og figur 5.1 oppsummeres resultatene for klimagassutslipp for de utvalgte casestudiene i de tre scenarioene: før rehabilitering, etter rehabilitering og referansebygning (nybyggscenario). For scenarioet "etter rehabilitering" brukes "som bygd"-klimagassregnskapet, hvor energiforbruket er basert på energiberegninger. Resultatene viser at klimagassutslippet før rehabilitering kun er undersøkt i casestudiene for Stjernehuset borettslag og Villa Dammen.

Alle studiene med unntak av Vestlia presenterer resultater for en referansebygning som sammenlikningsgrunnlag. Referansebygningen forklares detaljert i kapittel 3.2.1. Referansebygningen lages som oftest i det anvendte verktøyet for klimagassregnskap (klimagassregnskap.no, med liknende prinsipper videreført i OneClick LCA). Enkelte prosjekter lager egne referansebygninger, en modifisert modell eller en bygning som er basert på liknende bygninger eller studier. Eventuelle spesielle forutsetninger for referansebygningene kommenteres i de aktuelle casestudiene under. Se for øvrig diskusjon om bruk av referansebygninger i kapittel 6.

For Powerhouse Kjørbo er rapporten til Sørensen et al. (2017) lagt til grunn for diskusjonen, og resultatene viser et lavere klimagassutslipp etter rehabilitering sammenliknet med referansebygningen, bortsett fra for Villa Dammen (figur 5.1). Utslippsreduksjonen er relativt sett lik, rundt 50 %, for de andre casestudiene (utenom Villa Dammen, Stjernehuset og Vestlia).

For Villa Dammen fører rehabilitering til 67 % reduksjon i det totale klimagassutslippet over 60 år, sammenliknet med scenarioet før rehabilitering. Netto klimagassutslipp for nybyggscenarioet (en referansebygning med TEK10-standard fra en masteroppgave) er over 60 år 8 % lavere enn rehabiliteringsscenarioet. For rehabiliteringsscenarioet er imidlertid tiden som trengs for å kompensere for materialutslipp på grunn av energieffektiviseringstiltak fra rehabiliteringsprosessen ca. 6 måneder. For bygningen i referansescenarioet vil det ta 52 år å kompensere for det lavere årlige energiforbruket og de tilhørende utslippene, som vist i figur 5.2.

Tabell 5.1. Oppsummering av resultater for klimagassberegninger for casestudiene

|   | Klimagassutslipp (kgCO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup> /år)                            | A1-A3            | A4-A5 | B4               | B6    | C1-C4        | D     | Total | Referanse                                                       |  |  |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------|------------------|-------|--------------|-------|-------|-----------------------------------------------------------------|--|--|
| 1 | Villa Dammen – før rehabilitering                                                       | 0                | -     | 0,9              | 60,3  | 0,8          | -     | 62,0  | Fuglseth (2016)                                                 |  |  |
|   | Villa Dammen – etter rehabilitering                                                     | 0,4              | -     | 0,9              | 18    | 0,9          | -     | 20,2  |                                                                 |  |  |
|   | Villa Dammen – referanse (ny bygning)                                                   | 4,6              | -     | 1,7              | 11,6  | ,7           | -     | 18,5  |                                                                 |  |  |
| 2 | Ulsholtsveien – før rehabilitering                                                      | 0                | -     | -                | -     | -            | -     | -     | CIVITAS (2018)                                                  |  |  |
|   | Ulsholtsveien – etter rehabilitering                                                    | 3,19             | -     | **               | 7,2   | -            | -     | 10,39 |                                                                 |  |  |
|   | Ulsholtsveien – referanse (ny bygning)                                                  | 7,36             | -     | **               | 10,8  | -            | -     | 18,16 |                                                                 |  |  |
| 3 | Stjernehuset borettslag – før rehabilitering                                            | 0                | -     | -                | 45,4  | -            | -     | 45,4  | Context (2018a)                                                 |  |  |
|   | Stjernehuset borettslag – etter rehabilitering                                          | 0,7              | -     | -                | 13,2  | -            | -     | 13,9  |                                                                 |  |  |
|   | Stjernehuset borettslag – referanse (ny bygning)                                        | 5,5              | -     | **               | 10,3  | -            | -     | 15,8  |                                                                 |  |  |
| 4 | Vestlia borettslag nZEB oppgradering – etter rehabilitering (ZEB faktor <sup>a</sup> )  | 1,13             | -     | -                | 11,77 | -            | -     | 12,9  | Skeie et al. (2018)                                             |  |  |
|   | Vestlia borettslag nZEB oppgradering – etter rehabilitering (NO faktor <sup>b</sup> )   |                  |       |                  | 2,26  |              |       | 3,39  |                                                                 |  |  |
|   | Vestlia borettslag enkel oppgradering – etter rehabilitering (ZEB faktor <sup>a</sup> ) | 0,64             | -     | -                | 23,22 | -            | -     | 23,86 |                                                                 |  |  |
|   | Vestlia borettslag enkel oppgradering – etter rehabilitering (NO faktor <sup>b</sup> )  |                  |       |                  | 4,47  |              |       | 5,11  |                                                                 |  |  |
| 5 | Rådhuskvartalet – før rehabilitering                                                    | -                | -     | -                | -     | -            | -     | -     | Context (2018b)                                                 |  |  |
|   | Rådhuskvartalet – etter rehabilitering                                                  | 3                |       | **               | 9     |              |       | 12    |                                                                 |  |  |
|   | Rådhuskvartalet – referanse (ny bygning)                                                | 4                |       | **               | 20    |              |       | 24    |                                                                 |  |  |
| 6 | Powerhouse Kjørbo – før rehabilitering                                                  | -                | -     | -                | -     | -            | -     | -     | Ref 1: Sørensen et al. (2017)<br>Ref 2: Thyholt & Lystad (2016) |  |  |
|   | Powerhouse Kjørbo – etter rehabilitering (ref 1)                                        | 3.77             | 0.25  | 1.82             | 6.54  | 0.74         | -5.82 | 7.30  |                                                                 |  |  |
|   | Powerhouse Kjørbo – etter rehabilitering (ref 2)                                        | 1,5              |       | **               | 8,4   |              | -12,3 | -2,4  |                                                                 |  |  |
|   | Powerhouse Kjørbo – referanse (ny bygning, ref 2)                                       | 5                | -     | **               | 12,1  |              |       | 17,1  |                                                                 |  |  |
| 7 | Bergen rådhus – før rehabilitering                                                      | -                | -     | -                | -     | -            | -     | -     | Ulvan & Reenaas (2019)                                          |  |  |
|   | Bergen rådhus – etter rehabilitering (NO-faktor <sup>c</sup> )                          | 1,1              | 0,2   | 0,4 <sup>e</sup> | 3,7   | 0,03         |       | 5,4   |                                                                 |  |  |
|   | Bergen rådhus – etter rehabilitering (EU-faktor <sup>d</sup> )                          |                  |       |                  | 19,0  |              |       | 20,7  |                                                                 |  |  |
|   | Bergen rådhus – referanse (ny bygning) (NO-faktor <sup>c</sup> )                        | 5,0 <sup>f</sup> |       |                  | 2,9   | <sup>f</sup> |       | 7,9   |                                                                 |  |  |
|   | Bergen rådhus – referanse (ny bygning) – (EU-faktor <sup>d</sup> )                      |                  |       |                  | 18,3  |              |       | 23,3  |                                                                 |  |  |
| 8 | Grensesvingen 7 – før rehabilitering                                                    | -                | -     | -                | -     | -            | -     | -     | Enlid & Selvig (2018)                                           |  |  |
|   | Grensesvingen 7 – etter rehabilitering                                                  | 2,16             | -     | **               | 8     | -            | -     | 10,16 |                                                                 |  |  |
|   | Grensesvingen 7 – referanse (ny bygning)                                                | 5.09             | -     | -                | 14    | -            | -     | 19.09 |                                                                 |  |  |

|    |                                                                              |                   |      |    |       |   |     |       |                          |
|----|------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------|----|-------|---|-----|-------|--------------------------|
| 9  | Stasjonsfjellet skole – før rehabilitering                                   | 0                 | -    | -  | -     | - | -   | -     | Undervisningsbygg (2018) |
|    | Stasjonsfjellet skole – etter rehabilitering                                 | 2,26              | -    | ** | 6     | - | -   | 8,26  |                          |
|    | Stasjonsfjellet skole – referanse (ny bygning)                               | 12,56             | -    | ** | 11,6  | - | -   | 24,16 |                          |
| 10 | Økernhemmet – før rehabilitering                                             | -                 | -    | -  | -     | - | -   | -     | Arkitektur.no            |
|    | Økernhemmet – etter rehabilitering                                           | 2,2               | -    | ?  | 11,5  | - | N/A | 13,7  |                          |
|    | Økernhemmet – referanse (ny bygning)                                         | 5,2               | -    | ** | 21,3  | - | -   | 26,5  |                          |
| 11 | NHH – før rehabilitering                                                     | -                 | -    | -  | -     | - | -   | -     | HENT (2019)              |
|    | NHH – etter rehabilitering                                                   | 1,5               |      |    | 15,2  |   |     | 16,7  |                          |
|    | NHH – referanse (tilpasset rehabilitert referansebygg)                       | 2,8               | -    | -  | 25,5  | - | -   | 28,3  |                          |
| 12 | Statens bygg Vadsø, bygg B – før rehabilitering                              | -                 | -    | -  | -     | - | -   | -     | Hagen (2020)             |
|    | Statens bygg Vadsø, bygg B – etter rehabilitering (EU-faktor) <sup>f</sup>   | 2,9 <sup>h</sup>  | 0,12 | -  | 14,00 | - | -   | 17,02 |                          |
|    | Statens bygg Vadsø, bygg B – etter rehabilitering (NO-faktor) <sup>g</sup>   |                   |      |    | 1,38  |   |     | 4,40  |                          |
|    | Statens bygg Vadsø, bygg B – referanse (ny bygning) (EU-faktor) <sup>f</sup> | 6,33 <sup>h</sup> | 0,3  | -  | 8,35  | - | -   | 15,28 |                          |
|    | Statens bygg Vadsø, bygg B – referanse (ny bygning) (NO-faktor) <sup>g</sup> |                   |      |    | 0,38  |   |     | 7,31  |                          |

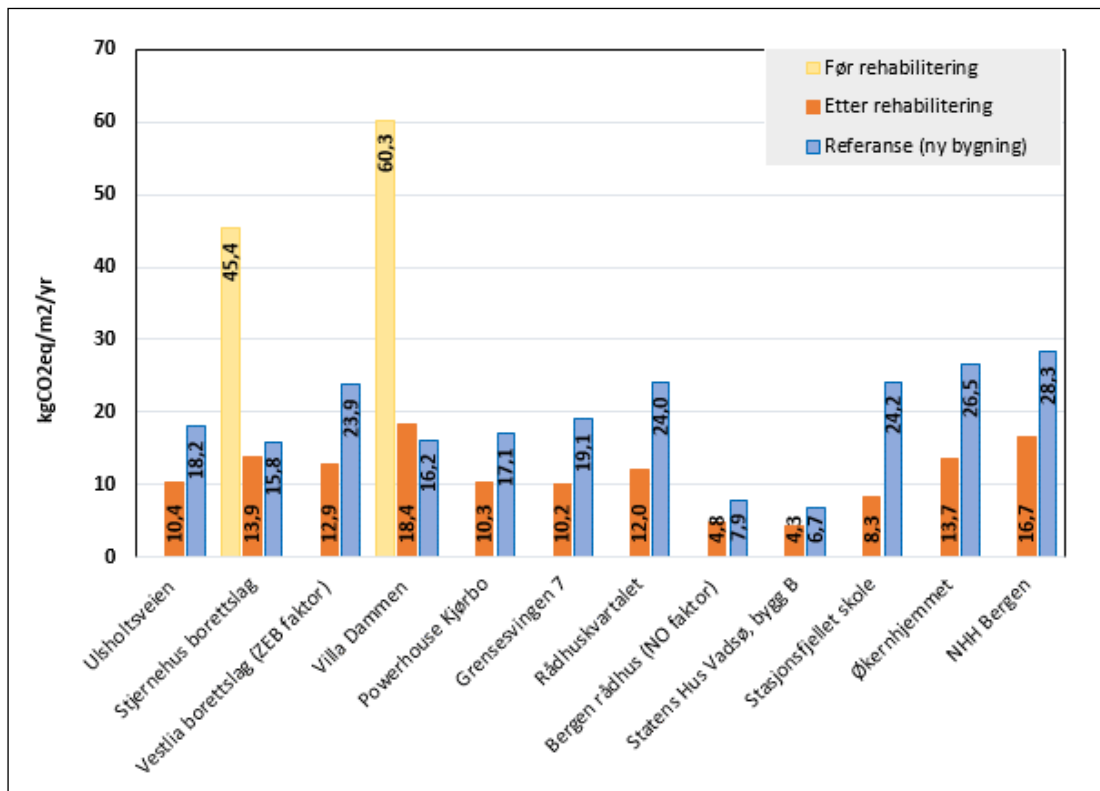
<sup>a</sup>NO-f: NO utslippsfaktor for elektrisitet, gjennomsnitt over 60 år – 0,025 kg CO<sub>2eq</sub>/kWh; <sup>b</sup>ZEB-f: ZEB utslippsfaktor for elektrisitet, gjennomsnitt over 60 år – 0,13 kg CO<sub>2eq</sub>/kWh

<sup>c</sup>NO-f: NO utslippsfaktor for elektrisitet, gjennomsnitt over 60 år – 0,024 kg CO<sub>2eq</sub>/kWh; <sup>d</sup>EU-f: Europeisk utslippsfaktor for elektrisitet, gjennomsnitt over 60 år – 0,195 kg CO<sub>2eq</sub>/kWh

<sup>e</sup>inkluderer B4-B5; <sup>f</sup>inkluderer A1-A3, A4-A5, B4.B5 og C1-C4

<sup>f</sup> EU-f: Europeisk utslippsfaktor for elektrisitet, gjennomsnitt over 60 år – 0,13 kg CO<sub>2eq</sub>/kWh; <sup>a</sup>NO-f: NO utslippsfaktor for elektrisitet, gjennomsnitt over 60 år – 0,0128 kg CO<sub>2eq</sub>/kWh

<sup>h</sup>Materialbruk inkluderer ifølge antagelsene A1-A3, A4, B4-B5 og C1-C4, men resultater er bare oppgitt aggregert for materialbruk. Tekniske anlegg er inkludert i materialbruk (det er også resultater tilgjengelig i rapporten som ekskluderer tekniske anlegg)



Figur 5.1. Klimagassutslipp i de valgte casestudiene

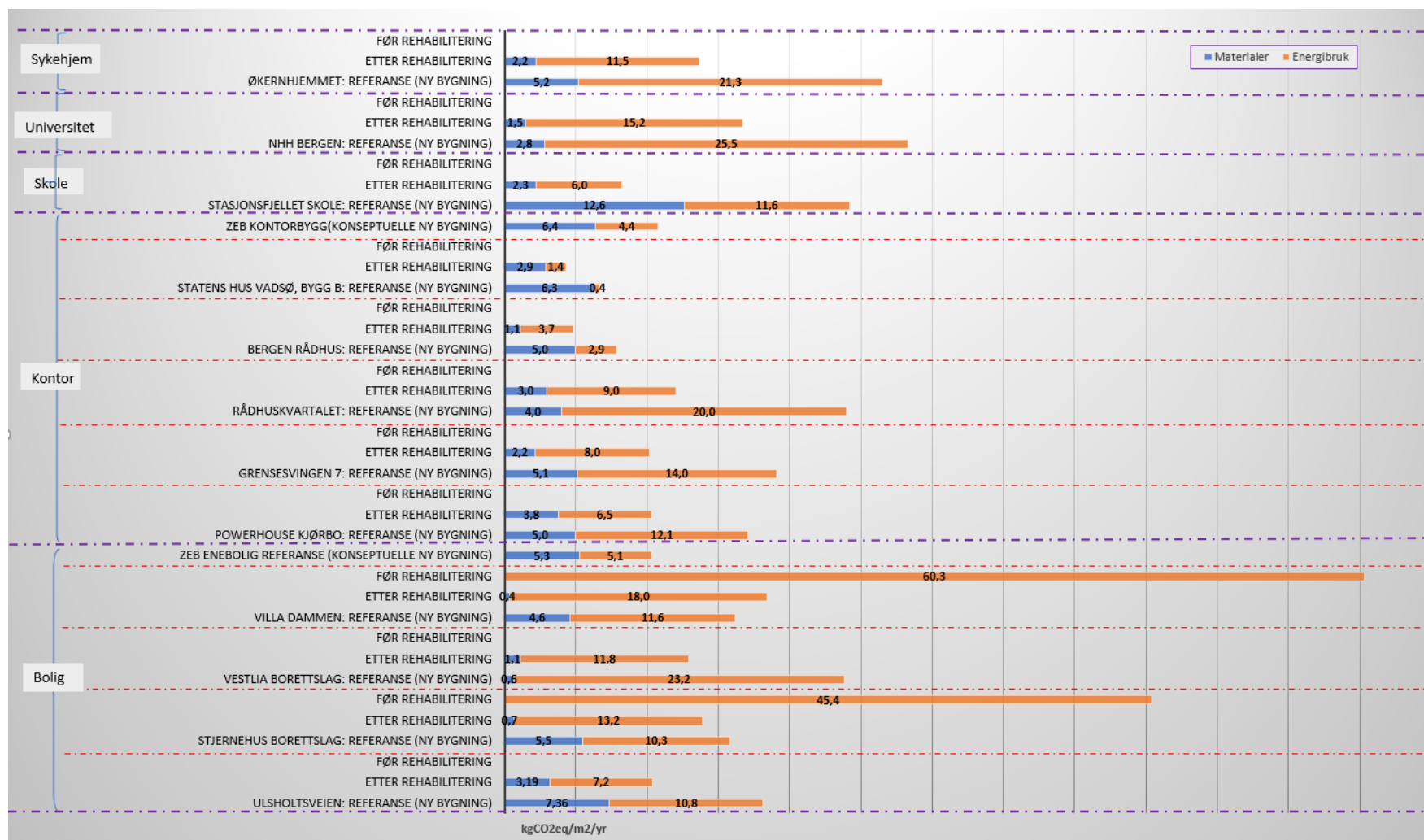
### 5.1.2 Klimagassutslipp fra materialer og energibruk

Figur 5.2 viser klimagassutslipp fra materialer og energibruk for de tre undersøkte scenarioene. Klimagassutslippet fra driftsfasen er høyere enn de bundne utslippene for alle scenarioene i casestudiene. Energieresultatene fra driftsfasen i referansescenarioet for Villa Dammen og Stjernehuset er imidlertid betydelig høyere enn for rehabiliteringsscenarioet. I Villa Dammen utgjør utslippene fra energibruk i driftsfasen 97 % i scenarioet uten rehabilitering, 89 % i scenarioet med rehabilitering og 60 % for referansebygningen. I alle scenarioene for Villa Dammen antas det at utslippet fra bruk av peisovn er null. Videre er det en differanse mellom faktisk og beregnet energibruk, hvor de faktiske målingene fra bruksfasen etter rehabilitering viser 50 % lavere energibruk enn det beregnede forbruket for rehabiliteringsscenarioet. Rapporten viser tydelig betydningen av brukeratferd for utslippene forbundet med energibruk. Utslippene fra materialbruk for referansebygningen er rundt 12 ganger høyere enn for det rehabiliterede, med 20 % av utslippene fra rivingsfasen. Valget av bakgrunnsdata brukt i beregningen for energiutslipp i driftsfasen kan være årsaken til variasjonen i resultatene.

I prosjektet Powerhouse Kjørbo ble det brukt strategier for integrert design for å minimere materialbruk, avfall, forbedre innemiljøet og redusere energibruken i drift. Trappeløpet ble brukt som ventilasjonskanal, 80 % av himlingen var eksponert betong i stedet for tradisjonell (system-)himling og gjenbruk av fundament, bærende konstruksjon og fasade i laminert glass var noen av tiltakene som minimerte de bundne miljøpåvirkningene (Sørensen et al., 2017). Utslippene knyttet til energi i drift ble beregnet i en ZEB-rapport, og brukte utslippsfaktor for strøm på 0,132 kgCO<sub>2</sub>ekv/kWh. Dette er utslippsfaktoren som ble brukt i de norske ZEB-pilotene (Fufa et al., 2016). Utslippsfaktoren er basert på en antakelse om det framtidige scenarioet om et avkarbonisert europeisk strømmnett i 2050 (som er det uttalte politiske målet), og baserer seg på den gjennomsnittlige reduksjonen fram mot 2050 for å nå disse målene. LCA-beregningene følger ZEB-ambisjonsnivådefinisjonen og har mål om å oppnå ZEB-COME, som betyr at alle bundne klimagassutslipp fra bygging (C), energibruk i drift av bygningen (O), produksjon og utskifting av bygningsmaterialer (M) og avhending av

bygningen (E), bør kompenseres gjennom fornybar energiproduksjon (Fufa et al., 2016). Resultatene viser at 42 % av ZEB-COME-utslipp ( $13,12 \text{ kg CO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2/\text{år}$ ) kompenseres med lokal fornybar energiproduksjon ( $-5,82 \text{ kg CO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2/\text{år}$ ).

En BREEAM-rapport for Kjørbo (Thyholt & Lystad, 2016) supplerer resultatene fra ZEB-rapporten, og inkluderer en referansebygning fra Klimagassregnskap.no. Utslippsfaktoren for elektrisitet som er brukt i denne rapporten, er  $0,278 \text{ kg CO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2/\text{år}$  for elektrisitet (iht. BREEAM-NOR manual), betydelig høyere enn faktoren brukt i ZEB-rapporten ( $0,132 \text{ kg CO}_{2\text{ekv}}/\text{kWh}$ ). Det beskrives noe forskjellige metoder for energiberegninger, hvor BREEAM-rapporten bruker normerte verdier fra energiberegningene i Simian, mens Sørensen et al. (2017) har tilpasset disse beregningene etter faktisk forventet forbruk. Det kan være grunnen til at forskjellen i de beregnede utslippene i B6 tross alt ikke er så store (28 % høyere i BREEAM-rapporten). For BREEAM-rapporten er utslippene tilsvarende i drift 49 % høyere enn beregnet (på  $12,5 \text{ kg CO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2/\text{år}$ ), siden energibruken var høyere enn beregnet. Energiproduksjonen er noenlunde lik som beregnet, og gjør at energibalansen totalt sett er nær null. I Vestlia-caset viser en sammenliknende analyse av en enkel rehabilitering versus en omfattende ("ambisiøs") rehabilitering til et "nesten-nullutslippbygg" (nZEB – "nearly Zero Emission Building") viktigheten av å redusere energibehovet for å redusere klimagassutslippene. Scenarioet med den mer omfattende oppgraderingen, kalt "ambisiøs oppgradering", krever bare halvparten så mye i årlig energibruk sammenliknet med den enkle oppgraderingen (med over 60 % lavere energibruk enn dagens situasjon). Den omfattende renovringen resulterer i høyere klimagassutslipp i rehabiliteringsåret (år 0), men tar igjen den enkle rehabiliteringen etter 13,5 år (ved bruk av den norske elektrisitetsfaktoren på  $25 \text{ g CO}_{2\text{ekv}}/\text{kWh}$ ) og etter 2,5 år ved bruk av ZEB-elektrisitetsfaktoren ( $130 \text{ g CO}_{2\text{ekv}}/\text{kWh}$ ). Casestudien illustrerer også avhengigheten av den anvendte elektrisitetsfaktoren, som gjør det vanskelig å sammenlikne utslippene fra energibruk med utslippene fra materialbruken (viktig i denne rapporten). Forskningsrapporten fra Vestlia-caset trekker i tillegg fram aspektet med beslutningstakernes tidshorisonter: Medlemmene i borettslaget har forskjellige tidshorisonter, og har en tendens til å ta beslutninger på kort sikt basert på økonomisk lønnsomhet. De høyere investeringskostnadene for den omfattende rehabiliteringen, som vil gi større miljømessige og økonomiske fordeler på lengre sikt, er en barriere for å kunne oppnå en framtidig bærekraftig bygningsmasse. Derfor er det behov for støtteverktøy som kan hjelpe eiere i beslutnings- eller vedtaksprosesser om energioppgradering.



Figur 5.2: Klimagassutslipp fra energiforbruk i driftsfasen og bundne utslipp fra materialbruk i de valgte casestudiene

Rapporten for Ulsholtveien 31 inneholder et prosjekt med en rehabilitert bygning og to nye bygninger, og viser betydningen av energiforbruket i driftsfasen for de totale utslippene. Energiytelsen til den rehabiliterte bygningen, Furuhuset, oppgraderes til et TEK10-nivå, hvor de to nye bygningene bygges som passivhus med solcellepaneler (PV). Materialutslippene fra de nye bygningene er beregnet til 4,88 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år, hvor den rehabiliterte bygningen har 35 % lavere materialutslipp med 3,19 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år. For energibruk i driftsfasen er det omvendt: Den rehabiliterte bygningen har et beregnet utslipp på 7,2 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år, hvor de nye bygningene har 50 % lavere utslipp (3,6 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år). Dermed er utslippene ca. 18 % lavere for de nye bygningene i løpet av livssyklusen. Det antas at 45 % av strømforbruket til de tekniske installasjonene for nybygningene dekkes av elektrisitetsproduksjon fra PV-paneler. Tallmaterialet som er tilgjengelig i rapporten, indikerer at utslippet fra solcellepanelene er rundt null. Hvis det kun ble brukt strøm fra nettet (med ingen solcelleproduksjon), ville utslippene fra energibruk vært beregnet til omlag 5 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år. De samlede livssyklusresultatene for utslipp ville da fortsatt vært rundt 5 % lavere for de nye bygningene på tomta (per m<sup>2</sup>). I tillegg til elektrisiteten som genereres fra solcellepanelene, forventes 10 % av oppvarmingsenergien å dekkes fra solfangere.

Det oppgis ikke i rapporten om de bundne utslippene fra solcellepanelene og andre tekniske installasjoner er inkludert i beregningene av materialutslippene. Kristjansdottir et al. (2016) finner at for solcellesystemene de undersøkte i tre boligbygninger i ZEB-prosjektet, var klimagassutslipp per kWh produsert i området 30–120 g CO<sub>2ekv</sub> for de forskjellige systemene. For elektrisiteten som forventes levert fra solcellepanelene i de nye bygningene i Ulsholtveien, vil de bundne utslippene være i området 0,4–1,7 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år.

Vi vet imidlertid ikke hvordan de bundne utslippene for PV-panelene håndteres i disse beregningene. Eksemplet med Ulsholtveien viser viktigheten av transparente og harmoniserte beregninger, så vel som en tydelig beskrivelse av resultatene (i henhold til NS 3720). I tillegg viser eksemplet at utslipp som utelates fra beregningene kan ha store konsekvenser for konklusjonene, og at disse usikkerhetene må beskrives i rapporten (utslipp fra byggeaktivitetene for modulene A4 og A5 er heller ikke inkludert).

De rapporterte utslippene er mindre per m<sup>2</sup> for de to nye bygningene enn for den rehabiliterte bygningen, men det er flere forutsetninger om solenergiproduksjon som skal dekke energibruken i de nye bygningene. Med tanke på at det rapporteres om et gap mellom beregnet og faktisk energiforbruk, vil den kommende rapporten for Ulsholtveien 31 med utslippsberegninger som inkluderer faktisk energiforbruk i drift, være interessant. Da vil man kunne undersøke den faktiske forskjellen i livssyklusutslipp mellom de to nye bygningene og den rehabiliterte bygningen som står på samme tomt. Resultatene viser likevel at nye bygninger som vurderer tiltak for å redusere bundne utslipp fra materialer sammen med energiproduksjon- og energieffektiviseringstiltak, har et stort potensial. På samme måte er det også et potensial for energiproduksjon på mange eksisterende bygninger som kan bidra til å gjøre bygningene til såkalte lavutslippsbygg.

Økernhjemmet er et godt eksempel på hvordan slike energiproduksjonstiltak kan implementeres i eksisterende bygninger, med solcellepanelene som ble installert på taket – som gir et viktig bidrag til reduksjon i utslippene fra energibruk. Sykehjemmet fikk et redusert energibehov på 68 % gjennom oppgraderingstiltakene. Den omfattende rehabiliteringen har lave bundne (material-)utslipp, med utslippene fra energi som fremdeles dominerende gjennom livssyklusen med 84 % av de totale utslippene. Det totale energibehovet på 120 kWh/m<sup>2</sup> er nærmere nZEB-scenariet enn det enkle rehabiliteringsscenariet i Vestlia-casestudien, noe som er lavt med tanke på at Økernhjemmet er et energikrevende sykehjem. Data fra driftsfasen viser at utslippet øker med 15–20 % for energibruk sammenliknet med de beregnede verdiene, noe som gjør at kun denne usikkerheten i de beregnede energiutslippene er høyere enn de dokumenterte, totale utslippene fra materialbruk i rehabiliteringen.

Prosjektet i Grensesvingen 7 var en fullstendig rehabilitering, hvor det bare var de opprinnelige fundamentene og bærestrukturen som ble gjenbrukt. For Grensesvingen 7 kan energibruken i driftsfasen antas å være lik forbruket til et nybygg (lavenergistandard). Beregningene av klimagassutslipp fra det andre driftsåret ("i drift"-beregninger) viser at energibruken er høyere enn beregnet i "som-bygd"-fasen, noe som resulterer i en økning i energirelaterte utslipp med 29 % sammenliknet med den beregnede bygningen (også for Rådhuskvartalet var det en økning i utslippene fra de beregnede til de faktiske utslippene på 23 %). Reduksjonen i utslipp sammenliknet med referansebygningen er 3,7 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år for energibruk og 2,9 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år for materialer. Før "i-drift"-beregningene var gjort, var utslippsreduksjonen fra energi fremdeles usikker, avhengig av brukeratferd og en ukjent energiutslippsfaktor i de 60 kommende årene. De unngåtte utslippene fra 1,33 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år av fundamenter og bygningsstruktur representerer faktiske og allerede unngåtte utslipp i rehabiliteringsfasen, og representerer 46 % av reduksjonen fra materialer og 20 % av reduksjonen for de totale utslippene fra materialer og energi (sammenliknet med referansebygningen). Selv om den nye bygningen ble optimalisert (og det ikke ble brukt referanseverdier), ville utslippene for grunn og fundamenter sannsynligvis fortsatt være betydelige.

For Stasjonsfjellet er energiforbruket også høyere i drift enn beregnet i standardene i prosjekteringsfasen, med energiforbruk som er ca. 46 % høyere enn beregnet for bygningen "som bygd". De årlige klimagassutslippene per kvadratmeter for energibruk har økt fra 6 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år til 10,4 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år (73 % økning). De tilgjengelige resultatene er samlet for den 3 600 m<sup>2</sup> originale, rehabiliterte skolebygningen og nybygget på 700 m<sup>2</sup>. Det kompliserer tolkningen av resultatene fordi transparensen i den tilgjengelige rapporten er forholdsvis lav.

For Bergen rådhus viser resultatene fra tidligfase-beregningene av klimagassutslipp fra produksjon av materialer (A1-A3), transport av byggematerialer (A4), aktiviteter på byggeplassen (A5) og energibruk (B6) at rehabiliteringsscenarioet reduserte klimagassutslippene med 32 % sammenliknet med et nybygg med NO factor (Ulvan, 2019). Nybygget er basert på referansebygningen i OneClick LCA for materialbruk, men med mer reelle beregninger for energibruk – hvor det antas at et nybygg ville blitt oppført som et passivhus. Klimagassutslippet fra materialbruk er redusert med 66 %. Det skyldes hovedsakelig en reduksjon i materialbruk og materialtransport sammenliknet med nybygget, og er på grunn av de tunge bygningsdelene som beholdes. Utslippsreduksjonen fra aktivitetene på byggeplass er anslått til å være 39 % på grunn av reduksjon i byggeperioden. Klimagassutslippene fra energibruk i drift til rehabiliteringsscenarioet er imidlertid om lag 26 % høyere enn nybyggscenarioet på grunn av at det ikke nås samme energistandard for den rehabiliterte bygningen. Riksantikvaren ga også en faglig vurdering av kulturminneverdien som pekte på de kulturelle, historiske og arkitektoniske verdiene i det eksisterende Rådhuset (Etat for utbygging, 2019). Her sto særlig bevaring av fasadene sentralt. Det anbefales å følge case-prosjektet videre med resultater for det prosjekterte bygget og bygget "som bygd", siden dette kan vise seg å bli en interessant referansecase.

Resultatene fra oppgraderingen av Stjernehus Borettslag ble i stor grad påvirket av bytte av energikilde for oppvarming fra oljevarme til fjernvarme, samt installasjonen av et ventilasjonssystem med varmegjenvinning. Det var en reduksjon på 70 % i energibruken fra den eksisterende bygningen til den rehabiliterte bygningen. Utslipp fra materialer var for det meste fra ytterveggene, med bytte av fasaden, dører og vinduer, i tillegg til mindre utslipp knyttet til installering av nye balkonger. I rapporten sammenliknes den rehabiliterte bygningen med den eksisterende bygningen, og viser at den rehabiliterte bygningen "i drift" har en reduksjon i klimagassutslipp på 57 % over levetiden på 60 år, basert på de faktiske målingene av energibruk og beregnede materialutslipp. Sammenliknet med et ikke-optimalisert nybygg, nemlig referansebygningen, beregnes den rehabiliterte bygningen til å ha et lavere utslipp (med 15,8 mot 13,9 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år). Utslippene for energibruk er imidlertid høyere i den rehabiliterte bygningen enn i referansebygningen (13,2 mot 10,3 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år). Energibehovet til den rehabiliterte bygningen er 18 % lavere enn referansebygningen, men den anvendte utslipps-

faktoren for fjernvarme er høyere enn utslippsfaktoren for energi for referansebygningen (som bruker en kombinasjon av strøm og varmepumpe). Beboerne i borettslaget fikk informasjon og opplæring for å redusere energiforbruket, og det er bare en mindre (3 %) økning fra de beregnede energibruksutslippene til "i drift"-beregningene (to år etter rehabilitering). Dette indikerer den store betydningen av brukeratferd for differansen mellom de beregnede og reelle verdiene (Gram-Hanssen 2018).

For Statens bygg Vadsø er det utslippsfaktoren som legges til grunn som er avgjørende for rehabiliteringsbeslutningen. Ved bruk av norsk utslippsfaktor er rehabilitering klart gunstigst, mens ved bruk av EU-faktoren kommer en ny bygning ut som gunstigst. 82% av de totale utslippene i rehabiliteringsscenarioet er knyttet til energibruk ved bruk av EU-faktor, mens ved bruk av norsk utslippsfaktor er det relative bidraget fra energibruk lavere, rundt 31%. Ved bruk av EU-faktoren kommer rehabiliteringsscenariet ut med 11% høyere utslipp enn nybyggscenariet, mens det er omtrent 40% lavere utslipp for rehabiliteringsscenariet ved bruk av norsk utslippsfaktor. Casen illustrerer svært tydelig hvor avhengig klimagassberegninger for bygninger kan være av den valgte utslippsfaktoren. I rapporten påpekes det at "Statsbygg har besluttet at det er den europeiske utslippsfaktoren som skal legges til grunn", uten at dette valget begrunnes i denne rapporten – som er en del av et større grunnlag, hvor dette kan komme fram. Vernehensyn er vektet høyt, siden beslutningen er rehabilitering. Ut fra denne rapporten om klimagassberegninger alene er det ikke tydelig om hva resultatene fra denne rapporten skal brukes til (hensikten med beregningene). Det kan ikke gis en entydig konklusjon om utslipp av klimagasser basert på resultatene i denne rapporten, siden disse resultatene er sprikende for de to undersøkte scenarioene. Det kan jo hende at dette er lagt til grunn i den videre vurderingen i det fullstendige beslutningsgrunnlaget.

Selv ved bruk av EU-faktoren, påpekes det i rapporten at rehabiliteringsscenarioet først kommer bedre ut etter 22 år av livsløpet, og at det er etter 22 år utslippene knyttet til energibruk gjør at nybyggscenarioet kommer bedre ut med tanke på klimagassutslipp. Videre påpekes det at valget med å beholde de relativt nye el-kjelene i rehabiliteringsscenarioet er viktig, siden disse byttes ut (med 20% elkjel og 80% varmepumpe) i nybyggscenariet for energibruken. Dette valget analyseres ikke nærmere i den undersøkte rapporten for klimagassberegninger. Generelt sett kunne man f.eks. sett for seg at installasjon av varmepumpe også kunne vært aktuelt i et av rehabiliteringsscenarioene som kunne vært undersøkt eller å beholde el-kjelene som et teoretisk alternativ også i nybyggscenariet. Valg av energiforsyning er nok trolig behandlet i en annen rapport knyttet til prosjektet, men kan ha betydning for hvilket scenario som kommer best ut (selv ved bruk av EU-faktor). Flere rehabiliteringsscenarioer kunne vært undersøkt. I anbudet ble det etterspurt opsjoner for utvendig etterisolasjon og/eller utskiftning av vinduer og/eller yttertak. Dette kunne vært undersøkt som et scenario. Gitt betydningen av å beholde el-kjelene, kunne man videre sett for seg at utslippene knyttet til material og installasjon av nytt energisystem kunne vært inkludert (selv om betydningen muligens er lav). Nå er det antatt at det er like utslipp for installasjon av teknisk utstyr per m<sup>2</sup>, men at disse utslippene er høyere for rehabiliteringen siden det rehabiliterte bygget har et større areal.

Rapporten for rehabiliteringen av NHH Bergen er en intern prosjektrapport som er utarbeidet for den prosjekterte bygningen (ikke "som bygget" etter avsluttet rehabilitering). Kun denne rapporten har vært tilgjengelig i arbeidet med denne studien, og det er i rapporten for tidligfasen at referansebygget er nærmere beskrevet. Referansebygget er her ikke et nybygg, men et tilpasset rehabilitert referansebygg utviklet i klimagassregnskap.no. For det prosjekterte bygget er reduksjonene knyttet til materialbruk for lavblokka på 59%, mens de er lavere for høyblokka med en 23% reduksjon sammenlignet med referansen. I rapporten framgår det at det er stål og andre metaller som relativt sett har størst bidrag for materialbruk for høyblokka. Det er mer omfattende rehabiliteringsarbeid i høyblokka sammenlignet med lavblokka. Norsk elektrisitetsmiks er utgangspunktet for energiberegningene, og energiforbruket utgjør 91% av utslippene over livsløpet.

## 5.2 Resultater fra casestudier fra andre land

Resultatene fra casestudier fra andre land presenteres nedenfor. Funnet er delt inn i to deler: den første presenterer hovedfunnene fra "Historic England"-rapporten, som handler om rehabilitering og oppgradering av historiske bygninger. Den andre delen presenterer funnene fra andre internasjonale studier fra den systematiske litteraturundersøkelsen, presentert.

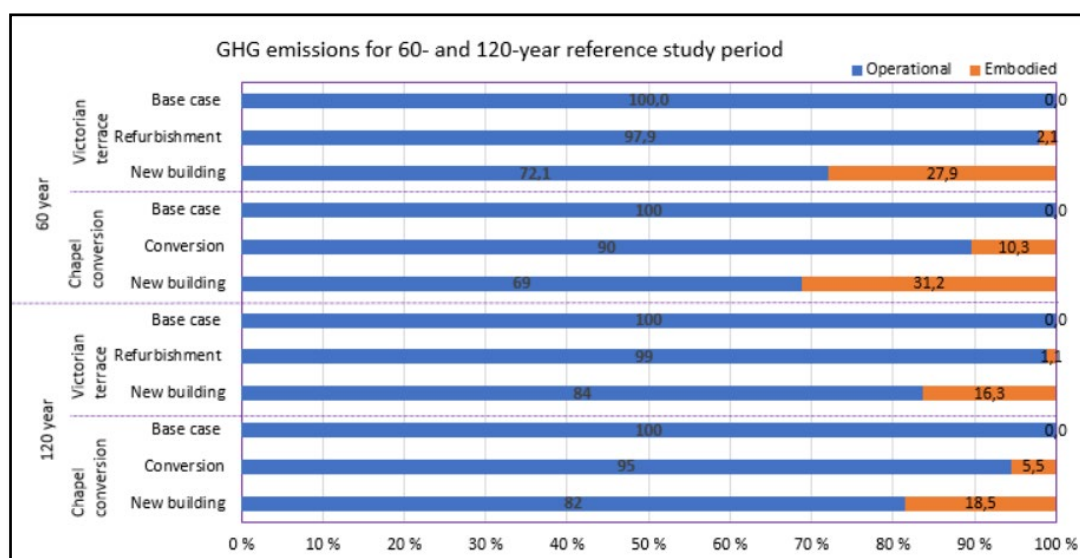
### *Hovedfunn fra "Historic England"-rapporten*

Resultater for klimagassutslipp fra studien fra Victorian Terrace viste at de bundne utslippene var omtrent 2,1% og 27,9% av de totale utslippene for henholdsvis ombygging og nybygg (inkludert riving). Det er ingen bundne utslipp fra "base case"-scenariet. I dette scenariet ble det ikke foretatt noen oppgradering av energieffektiviteten eller utskifting eller oppgradering som innebar materialbruk. For rehabiliteringsscenariet nevnes bruk av trefiberisolasjonsplater og karbonlagring i byggematerialene for å oppnå negative klimagassutslipp fra materialbruk. For nybyggscenariet utgjorde klimagassutslippet fra riving opp til 4,1% av dets totale utslipp. Klimagassutslippet fra energibruk i drift utgjorde henholdsvis 97,9% og 72,1% av de totale utslippene for henholdsvis rehabilitering- og nybyggscenariene.

Forfatterne nevner at selv om de bundne utslippene fra trefiberplater og andre trevirkeprodukter er lave, legger de vekt på behovet for å evaluere hygrotermiske egenskaper, bestandighet, kostnadseffektivitet og potensielle tekniske risikoer ved å bruke naturlige produkter i rehabilitering av historiske bygninger. Derfor må det utvikles veiledning om alternativer for "lavutslippsrehabilitering" av historiske og tradisjonelle bygninger.

For resultatene for klimagassutslipp fra casestudien for Chapel-transformasjonsprosjektet er de bundne utslippene estimert til å være 10,3% (9,9 tCO<sub>2</sub>e) for transformasjonsscenariet og 31,1% (18,8 tCO<sub>2</sub>e) for nybyggscenariet av de totale klimagassutslippene. Beregningene inkluderer riving. Også her trekkes bruken av trefiberisolasjonsplater og karbonlagring i byggematerialene for å oppnå negative klimagassutslipp fra materialbruk. For nybyggscenariet utgjorde klimagassutslippet fra riving opptil 6,7% av det totale utslippet. Klimagassutslippet fra energibruk i drift utgjorde henholdsvis 89,68% og 68,87% av de totale utslippene for transformasjons- og nybyggscenariene.

Resultatene viser at både for "Victoria Terrace"-rehabiliterings- og for Chapel-transformasjonsscenariene var klimagassutslippene relativt sett lavere ved bruk av 60-års referanseperiode. Dette skyldes hovedsakelig de høye bundne utslippene fra riving og bygging av nybygget. Energibruken i drift (fra belysning og oppvarming) er dominerende for begge casestudiene i alle scenarier (base case, rehabilitering, transformasjon og nybygg) (figur 5.3). Forfatterne understreker at det er de kortere referanseperiodene som best fremhever gevinstene (knyttet til klimagassutslipp) ved rehabilitering av historiske bygninger. Det påpekes at det er viktig vurdere de innetemperaturvariasjonene i videre studier, slik at man kjenner til de faktiske temperaturene som historiske og moderne bygninger har i drift.



Figur 5.3 Klimagassutslipp for 60 års and 120års-referansestudieperiode for hver casestudie (fra Duffy et al 2019)

Funnene fra sensitivitetsanalysen med bruk av to ulike referansestudieperioder, på 60 og 120 år, viser at klimagassutslippene fra "base case" for "Victorian terrace" overstiger nybyggscenariot 10-12 år etter ferdigstillelse av en ny bygning, avhengig av innetemperaturen brukt, mens det anslås å ta 63-74 år (avhengig av innetemperatur fra 21°C-18°C) før rehabiliteringen overstiger klimagassutslippene fra nybygget. For casestudien om Chapel-transformasjonen overstiger klimagassutslippene for "base case" det nye bygget etter 6-7 år, og det anslås at det nye bygget overgår transformasjonsscenarioet etter bare 13-16 år. Forfatterne peker derfor på at rehabiliteringsscenariot på "Victorian Terrace" er mer konkurransedyktig sammenlignet med kapelltransformasjonen på grunn av et større fokus på forbedret energieffektivitet og et lavere klimagassutslipp fra starten av (i år 0). For Capel-transformasjonen førte den dårlige tilstanden til kapellet og behov for strukturelle endringer til mye høyere bundne utslipp.

De anslåtte resultatene for klimagassutslipp for 2030 og 2050 fra de to casestudiene er presentert i figur 5.4. Den viser potensialet for rehabilitering gjennom scenarioet for "Victorian Terrace", siden dette scenarioet oppnår de største reduksjonene for klimagassutslippsmålene i 2030 og 2050. For Chapel-transformasjonsprosjektet ble det funnet at den nye bygningen var den beste løsningen, og at det er denne som gjør det mulig å oppnå 2030- og 2050-målene. Resultatene for klimagassutslipp i "base case"-scenarioet er betydelig høyere for begge casestudier og for å nå de politiske målene, noe som til beslutningstakere gir en indikasjon om at det å fortsette å drifte bygninger med nåværende tilstand og standard ikke er det mest gunstige.

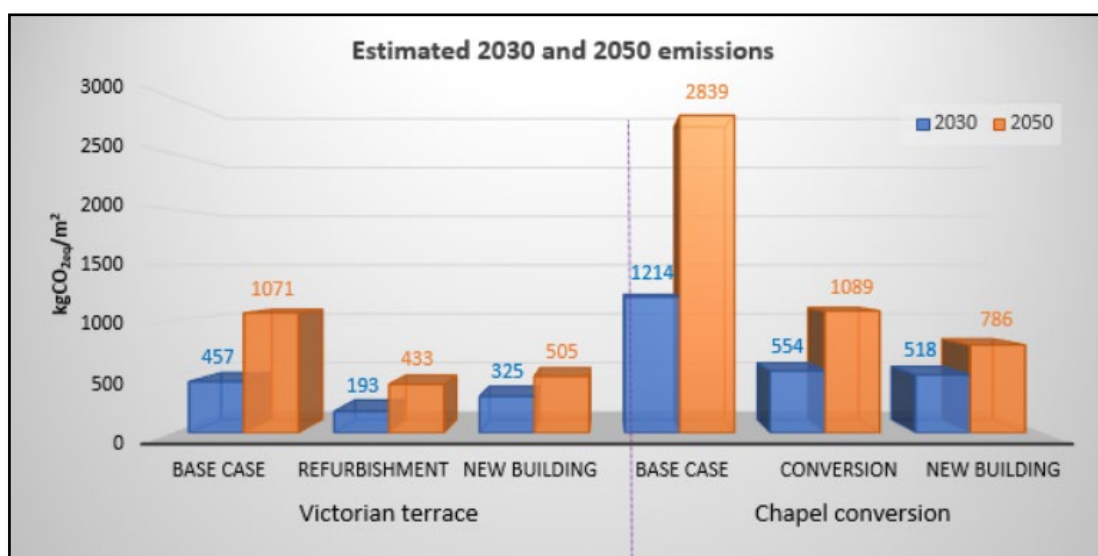


Figure 5.4 Estimert klimagassutslipp i 2030 and 2050 for de to casestudiene ( Duffy et al 2019)

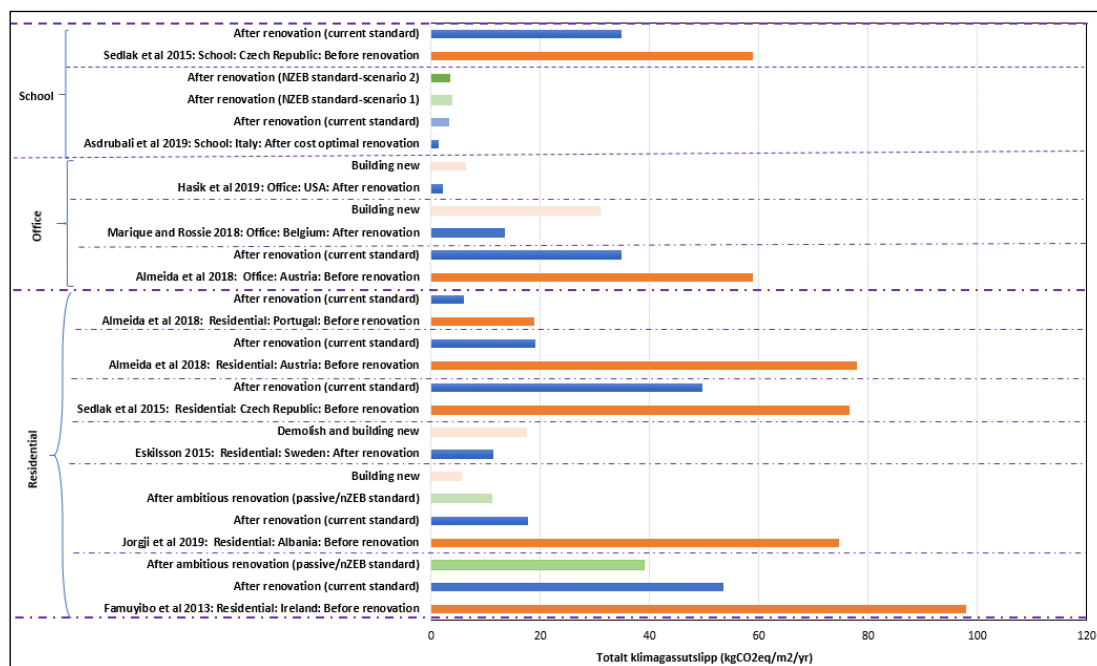
Til sammen estimeres det at de to oppgraderingsscenariene i casestudiene til sammen sparer 266 tonn karbon sammenlignet med "base case"-scenarioene, og disse scenarioene anses som verre enn både nybygg- og oppgraderingsscenariene. Forfatterne legger derfor vekt på behovet for energioppgraderinger for historiske bygninger, slik at energieffektiviteten øker og at de da kan konkurrere med nye bygninger når det kommer til klimagassutslipp over livssyklusen.

Forfatterne påpeker at "Victorian Terrace"-rehabiliteringen er mer representativ for rehabiliteringsprosjekter av historiske bygninger enn Chapel-transformasjonsprosjektet, som er en relativt uvanlig gjenbruk av et kapell med betydelige bevarings- og reparasjonsarbeider.

Det legges videre vekt på begrensningen i studien når det kommer til det lave antallet undersøkte casestudier, og at det er behov for flere studier for å bekrefte og styrke konklusjonene. LCA-resultatenes følsomhet for antagelser når det gjelder konstruksjonsvalg og utslipp knyttet til riving er også noe som burde evalueres videre. Også de bundne utslippene fra nybyggscenarioet er følsomme for data knyttet til utslipp fra rivning, og forfatterne foreslo videre forskning på dette området på grunn av usikkerhet og begrenset tilgjengelig data.

#### ***Hovedfunn fra andre internasjonale studier***

Figur 5.5 viser oppsummeringen av LCA-resultater fra et utvalg casestudier fra internasjonale studier hvor LCA-resultatene var transparente. Hensikten er ikke å gjøre en komparativ analyse mellom resultatene, men å vise resultatene for miljøbelastningen fra de undersøkte studiene.



Figur 5.5. Oppsummering av LCA-resultater fra et utvalg casestudier fra internasjonale studier

Figur 5.5 viser at det generelt sett er betydelige utslippsreduksjoner (opptil 70 %) i scenarioene etter oppgradering sammenliknet med før oppgradering. Videre er det betydelige reduksjoner sammenliknet med scenarioer hvor man vurderer å bygge nye bygninger. Det er allikevel utfordrende med sammenlikninger mellom ulike casestudier, siden det er svært ulike scenarioer som er vurdert i de ulike studiene. De følgende underkapitlene presenterer noen funn fra den gjennomførte casestudien.

### 5.2.1 Miljøkonsekvenser av rehabiliteringstiltak – bidrag fra bunden energi

Eskilsson (2015) viser at klimagassutslippene fra energibruk i driftsfasen under rehabilitering av en svensk flerfamiliebolig utgjør 97 % av de totale utslippene. De bundne utslippene utgjør på den andre siden omtrent 60 % av de totale klimagassutslippene for riving og nybygging. I dette scenarioet var det relativt høye bundne miljøpåvirkningene (særlig fra betong), og relativt lave utslipp fra energibruk i drift, fra bruk av fjernvarme hovedsakelig basert på fornybare kilder, avfall og overskuddsvarme. De påpekte at rehabilitering av den eksisterende bygningen hadde minst klimapåvirkning fra et livssyklusperspektiv sammenlignet med å rive og bygge en ny bygning. De la også vekt på at det vil ta omtrent 126 år før den nye bygningen hadde like lavt kumulativt klimagassutslipp som den rehabiliterte bygningen. De påpeker at det i andre studier er klimagassutslippet knyttet til energikilden som gir mye større påvirkning fra driftsfasen, og som kan gi andre konklusjoner. De diskuterer avhengigheten av energikildene for energibruk i drift og de antatte utslippsfaktorene.

Almeida et al. (2018) har brukt metodikken utviklet av "Annex 56" og analyserer betydningen av bundet energi og bundne klimagassutslipp for å evaluere kostnadseffektiviteten av rehabiliteringstiltak for å oppnå nZEB. Resultater fra seks casestudier for seks forskjellige europeiske land viser at energibesparelser i driftsfasen for energirelaterte tiltak er høyere enn den ekstra bundne energien og de bundne utslippene under rehabiliteringen. De påpeker at å inkludere bundet energi og bundne utslipp i beregningene resulterte i en betydelig reduksjon (2–32 %) av den potensielle kostnadsbesparelsen når det gjelder klimagassutslipp, NRPE og TPE. For land der alle rehabiliteringstiltakene var beregnet som kostnadseffektive (for eksempel i casestudiene fra Østerrike, Portugal og Spania), hevder de, vil det å inkludere bundet energi og bundne karbonutslipp senke den oppnåelige reduksjonen til omtrent 2–15 % i klimagassutslipp, NRPE, TPE. I tillegg diskuterte de at det blir en økning i bundet energi når

andelen fornybar energi øker gjennom rehabiliteringstiltakene (for eksempel for nZEB-ambisjoner). Bundet energi er ikke betydelig i scenarioet hvor kostnader skal minimeres. Funnene fra LCA-studien i "Annex 56" (Lasvaux et al., 2017), viser at andelen bundet energi og bundne utslipp er mye mer betydningsfull (sammenliknet med energibruk i driftsfasen) i land og casestudier som har et mer effektivt varmesystem før rehabilitering, der hvor utslippene i driftsfasen før rehabilitering er lite. Et eksempel på dette var for Sverige, hvor fjernvarme ble brukt, med over 80 % fornybar energi. Utslipet fra driftsfasen er mer betydelig for land og casestudier der mer ineffektive systemer med høy miljøpåvirkning var på plass før rehabilitering, som for eksempel i den portugisiske casestudien som hadde en oljekjel før rehabilitering.

For en energieffektiv oppgradering av irske boligmassen viste Famuyibo et al. (2013) en potensiell energibesparelse i driftsfasen på 44 % ved oppgradering til dagens nasjonale standard og 82 % for oppgradering til passivhusstandard sammenliknet med basisscenarioet. De diskuterte videre viktigheten av å vurdere tiltak for å redusere bundne utslipp ved oppgradering og vedlikehold siden disse potensielt kan øke ettersom bygningen blir mer energieffektiv. De understreket også viktigheten av en helhetlig tilnærming og utvidelse av systemgrensene under evaluering av rehabilitering av boligmassen.

Hasik et al. (2019) viser 53–75 % reduksjon i miljøpåvirkningen ved rehabilitering av en kontorbygning sammenliknet med et nybyggscenario. Gjenbruk av bæresystem og deler av bygningskroppen, som ofte har lengre levetid enn 50–60 år, har stor betydning for å redusere miljøpåvirkningen. Det er utfordrende å finne et godt referansebygningsscenario. De understreker viktigheten av å ha en database med tidligere gjennomførte prosjekter for å kunne sammenlikne og finne standard referanseverdier.

## **5.2.2 Betydningen av oppføring og riving av bygninger**

Jorgji et al. (2019) viser hvordan forskjellige tilnærminger i livssyklusanalysene gir resultater som understøtter ulike (motstridende) beslutninger. Statistiske analyser favoriserer nybyggings-scenarioer (fordi utslippene reduseres i driftsfasen), mens om man tar inn statistiske usikkerheter i analysen, i form av Monte Carlo-simuleringer i en tilnærming basert på sannsynlighetsregning (probabilistisk LCA), kommer oppgraderingsløsninger ut som fordelaktige. Jorgji et al. (2019) ser på probabilistisk LCA som en mulighet for å utvide dagens statistiske tilnærming ved å vurdere ulike usikkerheter for de forskjellige rehabiliteringstiltakene. Metodikken kan enkelt tilpasses ulike økonomiske og miljømessige forhold. Selv om oppgraderingstiltak kan forbedre bygningens energieffektivitet, er det ikke sikkert at oppgradering alene er fordelaktig for framtiden: De løser kanskje ikke andre faktorer som sårbarheter i bærestrukturen. Dette kan gi behov for større ombygging under rehabiliteringen. Slik ombygging er ikke en optimal miljømessig og økonomisk løsning, siden det kan ta lang tid og det er snakk om store investeringer og store mengder avfall til deponi fra riving av forrige bygning. Derfor er det viktig å vurdere innovative teknologiske alternativer ved rehabilitering, som kan forlenge bygningens levetid og forbedre hele strukturelle og energiprestasjoner.

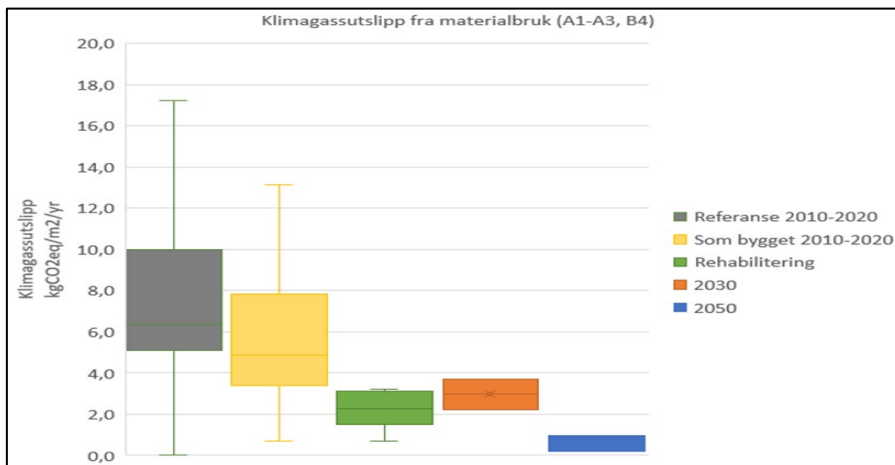
## **5.3 Sammenlikning av LCA-resultater**

### **5.3.1 Scenarioanalyse**

#### **Eksisterende studier**

Figur 5.6 viser et sammendrag av resultatene samlet i Wiik et al. (2020, under utgivelse), hvor LCA-resultatene fra over 120 norske bygninger for A1-A3, B4 ble analysert. "Som bygget 2010-2020" viser til den statistiske analysen av resultatene for alle bygninger (nye og eksisterende) som ble rapportert da bygningen var ferdigstilt (som kalles "som bygget"-resultatene). "Rehabilitering" viser til den statistiske analysen av resultatene fra alle de 13 eksisterende bygninger som ble oppgradert. Vurderingen er gjort kun for klimagassutslipp og for produksjonsfasen (A1-A3) og utskiftingsfasen (B4). 2030-scenarioet er basert på

scenarioene fra UNEP "emission gap report" som peker på at vi må redusere utslippene med 7,6 % per år fra 2020 til 2030 for å nå 1,5 °C-målet og 2,7 % per år for å nå 2 °C-målet, som henholdsvis angir den høyeste og laveste verdien i figur 5.6. For 2050-scenariot var de gjennomsnittlige utslippene beregnet for henholdsvis et reduksjonsscenario på 80 % (høyeste verdi) og 95 % (laveste verdi).

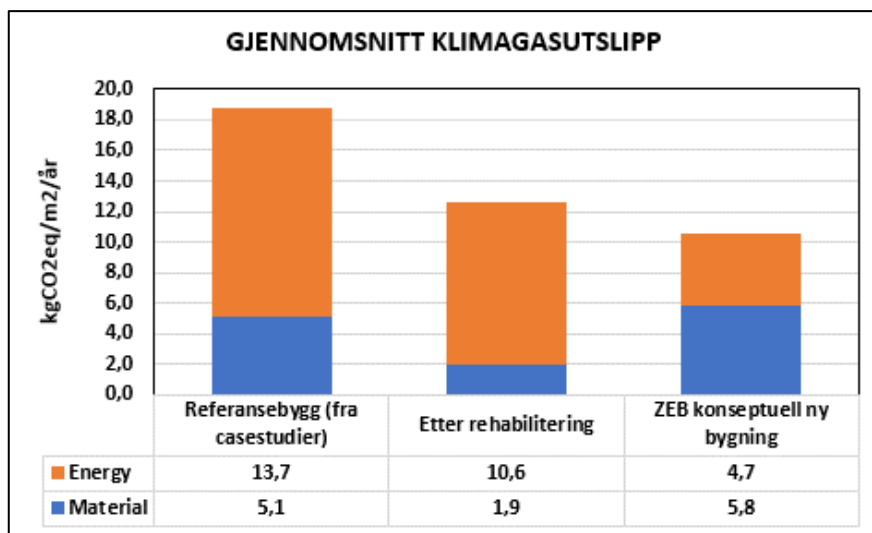


Figur 5.6. Resultater fra måling av klimagassutslipp. Kilde: Wiik et al. (2020, under utgivelse)

Resultatene viser at oppgraderingen av eksisterende bygninger gjorde det mulig å redusere klimagassutslippene med i gjennomsnitt 2,3 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>/år. Det er interessant å merke seg at oppgraderingsstrategiene er i tråd med 2030-målet, men at nye bygninger trenger å implementere flere strategier for å kutte utslipp og tette gapet til eksisterende bygninger. For å nå målene for 2050 trengs det flere tiltak for å redusere utslippene for både nye og eksisterende bygninger. For eksisterende bygninger er dette gapet mindre, og det ligger derfor et potensial i den eksisterende bygningsmassen for å nå 2050-målene. Den forenklede analysen tar ikke hensyn til at det også trengs nybygging de neste tiårene, men poengterer godt at oppgradering er et bedre alternativ enn å rive og bygge nytt, så langt det er mulig.

### **Funn fra denne studien**

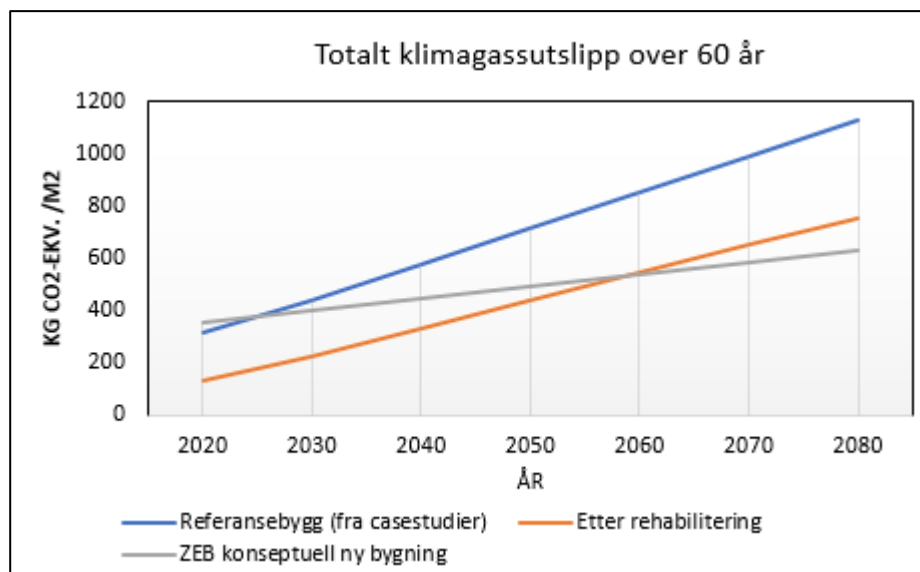
Figur 5.7 presenterer resultatene for gjennomsnittlig klimagassutslipp (i kg CO<sub>2</sub>ekv/m<sup>2</sup>/år) fra 12 norske casestudier. For sammenlikning med et nybyggscenario benyttes "ZEB konseptuell ny bygning", et gjennomsnittlig utslipp for de to konseptuelle casestudiene (en bolig og en kontorbygning) som ble utviklet av det norske ZEB-senteret i 2013.



Figur 5.7. Gjennomsnitt av klimagassutslippsresultater fra norske casestudier (i kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/år) for utslipp fra materialbruk (fase A1-A3) og energibruk i drift (fase B6). "Referansebygg (fra casestudier)" angir det gjennomsnittlige klimagassutslippet for referansebyggene fra de 12 casestudiene i Norge. "Etter rehabilitering" angir det gjennomsnittlige klimagassutslippet for de eksisterende bygningene etter rehabilitering fra de 12 casestudiene i Norge. "ZEB konseptuell ny bygning" er gjennomsnittet for de to konseptuelle casestudiene som ble utviklet av det norske ZEB-senteret i 2013, og brukes for å sammenlikne med et nybyggscenario.

Figur 5.7 illustrerer godt potensialet som ligger i rehabiliterte bygninger for å kunne oppnå reduksjonsmålene i 2030 og 2050. Sammenlikner man med ZEB-nybygg- og referansebyggscenarioet, ser man at klimagassutslippene fra energibruk i drift for nye bygninger er lavere enn for "etter rehabilitering"-scenarioet. Dette gjør at også de totale utslippene noe lavere over livsløpet for ZEB konseptuell ny bygning (10,5 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år) sammenliknet med etter rehabilitering (12,6 kg CO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>/år). Det er imidlertid en stor reduksjon i klimagassutslipp for materialbruk for "etter rehabilitering"-scenarioet, med en tredel av utslippet sammenliknet med en ny bygning. Det gjør at det gjennomsnittlige utslippet for referansebygningene fra casestudiene totalt sett er større over livsløpet enn for "etter rehabilitering".

Sett over referanseperioden på 60 år, ser vi at utslippene er ganske like for ZEB-nybygget og for gjennomsnittet for de eksisterende bygningene "etter rehabilitering". Figur 5.8 illustrerer det generelle poenget i et nybyggscenario vs. et rehabiliteringsscenario, hvor vi ser at en ny bygning vil ha et høyt utslipp før idriftsettelse på grunn av materialbruk. Om man inkluderer utslippene knyttet til transport av materialer og byggeplassaktivitetene (fase A4-5), ville dette utslippet før idriftsettelse av bygningen vært enda større. Vår analyse inkluderer imidlertid kun utslipp fra materialbruk (fase A1-A3) og energibruk i drift (fase B6). Lavere utslipp i driftsfasen gjør at de totale utslippene på sikt kan bli lavere (som for ZEB-scenarioet), men vi ser at det er ganske høye reduksjoner for energibruk i en ny bygning som må til for at den nye bygningen skal komme bedre ut innen 2030 og 2050 enn den rehabiliterte bygningen. I vår overordnede analyse ser vi at den nye konseptuelle ZEB-bygningen har lavere akkumulert utslipp først mot slutten av levetiden på 60 år. Slike scenarioer burde allikevel analyseres nærmere i hvert enkelt case.



Figur 5.8. Akkumulert klimagassutslipp de neste 60 årene for hvert av de tre scenarioene i denne analysen. Alle utslipp knyttet til materialbruk er allokert til bygningsåret 2020, mens energibruk i driftsfasen er likt fordelt over de neste 60 årene.

Siden kurven for "etter rehabilitering" er basert på et gjennomsnitt av de norske casestudiene, som har forskjellige tilnærminger, tar den ikke hensyn til endringer i energimiksen fram mot 2050. Det antas at de årlige energiutslippene er like over 60 år (som oppgitt i figur 5.5). Levetidsantakelsen på 60 år er også generell for alle scenarioene. Analysen tar bare for seg utslippsverdiene for materialbruk og energibruk slik som det er oppgitt i de undersøkte casestudiene, og mangelfulle data for utslipp for andre viktige deler av livssyklusen gjør at det kun er disse fasene av livssyklusen som er tatt med.

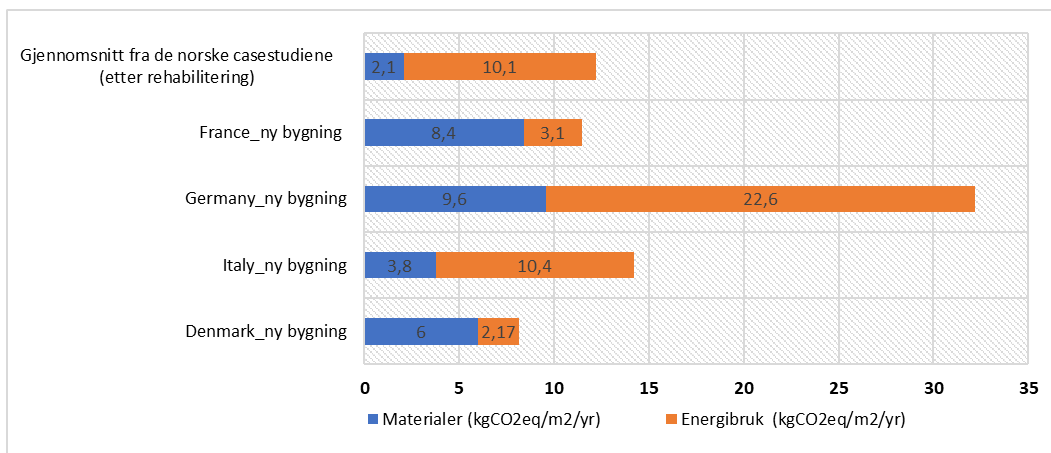
Funnene fra "Historic England"-rapporten fremhever at energieffektiv oppgradering av historiske bygninger er nødvendig for å kunne oppnå ytelser og et nivå som ligner nye bygninger. Eksisterende forskrifter, som kun vurderer klimagassutslipp i driftsfasen, gir en ulempe for historiske bygninger og rehabilitering av disse når det gjelder vurdering av karbonutslipp. Hvis bundne utslipp utelates fra LCA-studiene, ville de totale utslippene fra nye bygninger være undervurderte med nesten 30%. En sensitivitetsanalyse av referanseperioder indikerer at den kortere 60-årige referanseperioden best fremhever fordelene (for klimagassutslipp) ved historisk bygningsrehabilitering; denne perioden samsvarer også godt det som vurderes i standard byggprosjektering. Det ble funnet at rehabilitering av rekkehusene i "Victorian Terrace" oppnådde de beste reduksjonene i årene 2030 og 2050 av de undersøkte alternativene, og den var i tillegg også best vurdert best økonomisk.

Videre studier utover denne enkle analysen bør se på hvordan utslippsmålene i 2030 og 2050 kan brukes i slik scenarioanalyse. I arbeidet vårt med casestudiene er det ikke mange nok som har data på utslipp før rehabiliteringen ble gjennomført. På et enkeltbyggningsnivå ville det vært interessant å kunne bruke slik "før rehabiliteringsdata" for å analysere og sammenlikne ulike rehabiliteringsscenarioer for å nå utslippsmål i 2030 og 2050, for eksempel 40 % i 2030 og 95 % i 2050 sammenliknet med før rehabiliteringen. Her kan man også sammenlikne med ytelsen for et nybyggscenario. I slike scenarioanalyser av spesifikke enkeltbygninger bør man se nærmere på hvordan endringer i energimiksen fram mot 2050 påvirker og forandrer analysen. Videre er det viktig å se mer på forskjellene for ulike bygningstyper, hvor bygningstypen ikke er tatt i betraktning i den generelle analysen vår. Det er også behov for flere studier av 2030- og 2050-målene i scenarioanalyser av rehabilitering og utslipp fra bygningsmassen som en helhet, men det ligger på siden av tematikken i denne studien, som er på enkeltbyggningsnivå.

### 5.3.2 Referanseverdier i LCA-sammenheng (Benchmarking)

LCA-referanseverdier kan utvikles ved bruk av enten "top-down"-tilnærming, hvor referansen baseres på politiske mål ved bruk av statistiske data, eller en "bottom up"-tilnærming, som er bruken av referansebygninger (Hollberg et al., 2019). Tilnærmingene kan også blandes når referansekonstruksjoner og statistiske data brukes sammen (Schlegl et al., 2019). Referanseverdiene presenteres ofte ved bruk av 1) grenseverdier, som angir minimum tillatte verdier, 2) referanseverdier tar utgangspunkt i nåværende tekniske standard ("business-as-usual" eller dagens "state-of-art"), eller 3) målrettede verdier som tar i bruk beste-praksisverdier som kan framskrives til å være oppnåelige i et mellomlangt eller langsiktig perspektiv (Hollberg et al., 2019).

Figur 5.9 oppsummerer referanseverdier fra forskjellige land sammenliknet med gjennomsnitt fra de norske casestudiene. Resultatene viser at det er lavere materialutslipp fra de norske casestudiene med rehabilitering sammenliknet med referanseverdiene for nye bygninger fra de andre landene. Utslippene fra energibruk er imidlertid større for de rehabiliterte casebygningene fra Norge sammenliknet med referanseverdiene fra Danmark og Frankrike. Det må presiseres at funn fra den norske casestudien er basert på et begrenset antall, som gjør en sammenliknende analyse utfordrende.



Figur 5.9. Referansemålingsverdier (benchmarking) av klimagassutslipp fra forskjellige land

Selv om referanseverdiene fra andre land er for nybygg, oppsummerer de på en god måte utfordringene med ulike tilnærminger for forskjellige land og utfordringene knyttet til referansebygninger. Bakgrunnsdataene som ble brukt i hver studie, er oppsummert i vedlegg 4.

## 6. Drøfting av funn

Det følgende kapitlet er forfatterens refleksjoner fra arbeidet med studien, og diskuterer særlig funnene i kapittel 4 og 5. Det pekes til relevante referanser som støtte i diskusjonen. Det utgjør grunnlaget for konklusjonene fra arbeidet. For kortfattede konklusjoner og anbefalinger vises det til kapittel 7.

### 6.1 Oppgraderingstiltak gir store utslippsreduksjoner

Tradisjonelt har restaurering eller oppgradering av eldre bygninger ikke vært prioritert av politikere, byggherrer eller bygningsutviklere i det profesjonelle byggemarkedet, enda slike arbeider har et potensial for økt energieffektivitet og reduksjon av klimagassutslipp. I segmentet for næringsbygninger har i stedet restaurering eller oppgradering av eksisterende bygninger ofte blitt sett som lite miljøvennlig og dyrt på grunn av tekniske, funksjonelle og økonomiske begrensninger (Flyen et al., 2020 under utgivelse; Höfler et al., 2017).

Resultatene fra metaanalysen viser de potensielle miljømessige gevinstene ved oppgradering av eksisterende bygninger. Miljøpåvirkningen fra eksisterende bygninger er opptil halvparten av den fra nye bygninger (Moncaster et al., 2019). Vi ser at reduksjonene varierer mye fra case til case. Også den internasjonale litteraturgjennomgangen styrker dette, hvor størrelsen av miljøgevinstene av rehabilitering og tilpasset gjenbruk av den eksisterende bygningsmassen varierer (fra 4 til 75 %), og at dette avhenger av forskjellige casespesifikke forhold. Metaanalysen i kapittel 5.3 viser videre at oppgradering av eksisterende bygningsmasse er måten å gå fram på om vi ønsker å nå nasjonale klimaambisjoner (framfor riving og nybygging). De høye utslippene knyttet til oppføringen av en ny bygning i dag vil bidra til å øke utslippene, og gapet mellom de faktiske utslippene og klimaambisjonene fram mot 2030 og 2050 vil øke. Studier viser at det vil ta for lang tid før fordelene av de årlige reduserte utslippene knyttet til energibruk i drift av en ny bygning tar igjen de høye utslippene knyttet til oppføring av nye bygninger (i figur 5.6 kun illustrert ved utslippene knyttet til materialbruk). Flere funn i litteraturen støtter dette, hvor rehabilitering vil være gunstig på kort og mellomlang sikt (< 30 år) (Meijer & Kara, 2012) og at det kan ta fra 10 til 80 år før et nybygg utlikner klimagassutslippet som kom i den initiale byggeprosessen (Preservation Green Lab, 2011). Også for Statens hus i Vadsø fant man at det ville ta minst 22 år før dette punktet ble nådd, selv om man tok for seg det mest optimistiske scenarioet. Funnene fra en sensitivitetsanalyse for "Victorian Terrace"-casestudien fra "Historic England"-rapporten fremhevet at den kortere (60-årige) referanseperioden best fremhever fordelene (for klimagassutslipp) ved historisk bygningsrehabilitering. Denne perioden samsvarer også godt det som vurderes i standard byggprosjektering. Dersom det er mulig, vil derfor gjenbruk av bygningsmassen være å foretrekke framfor riving og nybygging for å nå nasjonale klimamål.

Vi ser fra de norske casestudiene at klimagassutslippene knyttet til materialbruk i oppgraderte eksisterende bygninger er omtrent en tredel av klimagassutslippene knyttet til materialer i nye bygninger. Den eksisterende bygningsmassen representerer et stort uutnyttet potensial for gjenbruk, samt resirkulering av bygninger, bygningskomponenter og -materialer. Sirkulær bruk vil bidra til å spare knappe råstoffressurser og redusere klimagassutslipp knyttet til karbonintensive produksjonsprosesser (som sement, stål og glass). Kombinasjonen av gode løsninger for miljøvennlige materialvalg, energieffektiviseringstiltak og bruk av fornybare energiressurser er viktig for en kostnadseffektiv oppgradering av bygningsmassen.

Casestudiet fra Vestlia viser at oppgradering med høye ambisjoner om energireduksjon også gir reduserte klimagassutslipp over livsløpet. Det er også i tråd med funn fra internasjonale studier. Oppgradering med lavere energiambisjoner har høyere utslipp over hele levetiden enn det mer omfattende scenarioet (Skaar et al., 2018).

Funnene fra "Victorian Terrace"-casestudien fra "Historic England"-rapporten fremhevet at energieffektiv rehabilitering av historiske bygninger er viktig for å oppnå forestillinger som

ligner nye bygninger. Nivået av inngrep påvirker imidlertid de bundne utslippene, hvor noen rehabiliteringer krever mye material for å oppnå tilfredsstillende energistandard for nye bygninger. Derfor er bruk av lavkarbonmaterialer (som naturlige trevirkeprodukter) eller resirkulering og gjenbruk av materialer med høye bundne utslipp viktig for å oppnå utslippsreduksjon gjennom energioppgradering. Videre fant forfatterne at det er ulemper for eksisterende bygninger i dagens regelverk, som kun fokuserer på klimagassutslipp i driftsfasen. Dette kan føre til en undervurdering av klimagassutslippet fra et nybyggscenario med omtrent 30%. I tillegg ble det lagt vekt på at engangsprosjekter som ikke retter seg mot energieffektivisering og som involverer betydelige inngrep i form av reparasjon, bevaring, og ombygging, vil ha vanskeligheter med å konkurrere med andre alternativer om man kun ser fra perspektivet om klimagassreduksjon.

For å redusere påvirkningen fra eksisterende bygninger og øke miljøvennligheten av rehabiliteringsscenarioet bør flere utslippsreducerende og avbøtende tiltak vurderes i en slik oppgraderingsprosess. Her må det erkjennes at tilgjengelige tiltak framfor alt vil være styrende for hvilke energieffektiviseringstiltak som kan iverksettes. Balson et al. (2014) viser likevel at til tross for utfordringer med vernestatus, kostnader og tidsrammer, er det mulig å få til bærekraftig oppgradering av verneverdige bygninger med høy BREEAM-sertifisering.

### **6.1.1 Utfordringer for energieffektivisering i eksisterende og verneverdige bygninger**

Mange eldre bygninger vil ikke nødvendigvis klare å tilfredsstille plan- og bygningslovens krav til utslippsreduksjon, selv ved omfattende og svært omfattende oppgradering. Det kan ha flere årsaker, for eksempel mulig tap av verneverdier, at konstruksjonene ikke vil tåle endringer i tekniske løsninger eller bruk av moderne materialer. Likevel er det ikke tvil om at man kan gjøre inngrep i varierende grad som ikke vil ha negativ innvirkning på bygningenes tekniske ytelser og/eller verneverdier, og som kan ha positive energieffektiviserende virkninger.

Siden andelen av eksisterende bygninger er stor i forhold til antallet nye, energieffektive bygninger, og et stort antall av de eksisterende bygningene har forholdsmessig lavere energieffektivitet, er det behov for å vurdere virkningen av energieffektiviserende tiltak i eksisterende bygningsmasse. Slike vurderinger må ses i sammenheng med verneverdier, øvrige oppgraderings- og vedlikeholdsbehov, tekniske forhold, endrede komfortkrav samt effekten av tiltakene med hensyn til kostnads- og utslippsbesparelser.

Implementering av energieffektiviseringstiltak – eller bruk av løsninger ment for moderne bygninger – i historiske bygninger vil kunne gi utilsiktede og uønskede konsekvenser (Agbota, 2014). Dette viser at det er viktig å forstå og respektere tidsepoken da bygningen ble oppført, bygningens konstruksjonsprinsipper, materialbruk, og arkitektoniske og historiske verdier (Fouseki & Cassar, 2014; Crockford, 2014). Som beskrevet foran, har nyere forskning vist at selv små endringer i bygningsstruktur kan gi store og positive konsekvenser. Også mindre tiltak vil kunne ha god effekt for å forbedre både energiytelsen til bygningen og komfortnivået sett fra et brukerperspektiv (Godbolt et al., 2018). En klar teknisk utfordring er å møte behovet for bærekraftige og energieffektive løsninger og samtidig respektere og ivareta bygningenes verneverdier (Flyen et al., 2018).

Flyen et al. (2017) konkluderer i en prosjektrapport skrevet for Riksantikvaren at det er lite forskning og annen informasjon som beskriver det grønne fortrinnet til den eksisterende bygningsmassen, og da særlig forskning som omhandler verneverdige og fredede bygninger. Videre beskriver rapporten hvordan slike bygninger må ivaretas spesielt med hensyn til verneverdi, materialvalg og tekniske løsninger ved oppgradering for videre bruk, drift og vedlikehold, og framholder at kulturminner og verneverdige bygninger representerer en stor og bærekraftig ressurs (Flyen et al., 2017).

Pracchi (2014) konkluderer med at de tre nøkkelprobemene for å iverksette strategier for å oppnå økt energiytelse i verneverdige bygninger er 1) utfordringene i å balansere mellom forskjellige behov, 2) begrensninger i verktøy for å gjennomføre effektiviseringsdiagnostikk, og 3) manglende kunnskap om historiske bygninger. Videre framholdes det at det bør utvikles systematiske databaser som gir konkret informasjon om energibruk og oppgraderings-/restaureringshistorikk for den historiske bygningsmassen. Slike databaser kan anvendes til å gjennomføre nøyaktige og meningsfulle simuleringer av energieffektiviseringsinngrep i modeller av bygningene (Pracchi, 2014). Bærekraftige oppgraderingsprosjekter i Storbritannia er ifølge Crockford (2014) for ofte gjennomført på bekostning av andre viktige iboende egenskaper i bygningen. Det har ført til tap av verneverdier, for å oppnå de strenge og ambisiøse politiske målene som tar sikte på å redusere klimagassutslippene (Crockford, 2014).

For vernede bygninger er de mulige utslippsreducerende tiltak spesifikke til de enkelte bygningene. Tiltak som energikildeomlegging er nesten alltid aktuelt, mens mulighetene for tiltak som etterisolering av fasader og utskifting av vinduer kan være begrenset. Både for eksisterende bygninger generelt og verneverdige bygninger spesielt trengs det bedre og mer systematiske metoder for å implementere og evaluere oppgraderingstiltak – det som Pracchi (2014) peker på som effektiviseringsdiagnostikk for oppgradering. Slike sofistikerte tilnærminger vil kunne utløse det fullstendige, bærekraftige potensialet som ligger i den eksisterende bygningsmassen.

### **6.1.2 Øke kunnskapen om de gode oppgraderingstiltakene**

Det er viktig å samle en oversikt over beste praksis, inkludert konkrete erfaringer fra rehabiliteringstiltak, for å beskytte og forbedre de tekniske, miljømessige, sosiale, økonomiske og kulturelle verdiene i den eksisterende bygningsmassen. Ved å utvikle en standard metode for datainnsamling, evaluering og rapportering vil det kunne bli mulig å fylle kunnskapsgapet og bidra til økt informasjonsutveksling mellom de ulike aktørene i byggenæringen. Rehabiliteringspass er (digitale) dokumenter som samler inn informasjon om bygningsfunksjoner og kort- og langsiktig rehabiliteringsplanlegging. Dette gjøres ved å engasjere en rekke interessenter i den tidlige fasen av prosjektene, og det er pågående initiativer for dette i Flandern, Frankrike og Tyskland. Initiativtakerne anbefaler innføring av slike rehabiliteringspass for bygninger over hele EU (Fabbri et al., 2016). Så vidt forfatterne vet, er det ingen nyere praktisk forskning i Norge om evaluering og utvikling av rehabiliteringspass. Ytterligere evaluering av behovet for rehabiliteringspass og formidling av resultatene i sertifiseringssystemer for energi og bygninger er viktig. Videre er det viktig å ta tak i utfordringene knyttet til sertifiseringssystemene (som å inkludere klare forklaringer og begrunnelser av fordeler og ulemper med forskjellige alternative tiltak i EPC-er (Berg & Donarelli, 2019)).

FNs bærekraftsmål er nyttige i arbeidet med å utvikle en framtidsrettet bygg- og anleggsbransje, og evalueringsmetoder bør ta i bruk disse for å fremme gjenbruk av eksisterende bygningsmasse. Per i dag råder det usikkerhet om hvordan bærekraftsmålene kan iverksettes, måles og overvåkes i praksis i byggeprosjektene. Det er pågående initiativer for å knytte bærekraftsmålene til næringsbehov og utforske muligheten til å bruke bærekraftige livssyklusvurderinger som et verktøy for å forenkle implementeringen av bærekraftsmålene (Weidema et al., 2018). Verneverdier er også del av bærekraftsperspektivene, og det er viktig at de kulturelle verdiene i den eksisterende bygningsmassen også blir vurdert og ivaretatt på linje med andre bærekraft-aspekter.

## **6.2 Muligheter og utfordringer i LCA-studier av eksisterende bygninger**

Gjennomgangen viser at det er gjort flest LCA-beregninger for nye og nyere bygninger. Det er gjort få beregninger for eldre bygninger, og enda færre for verneverdige bygninger. Dette er i tråd med tidligere kunnskap. Det er et sterkt fokus på energiøkonomisering og energieffektivisering, og tiltak som fører til dette. Dette noe ensidige fokus viser ikke hele bildet fordi enøktiltak kan gi økt totalt utslipp, noe som vises gjennom livsløpsbetraktningene. Gjennom energieffektiviseringstiltak reduseres mye av energiforbruket i bygningens bruks-/driftsfase, men

utslipp knyttet til produksjon av byggematerialer og -elementer, transport, bygging, utskiftning av eksisterende materialer og elementer samt avhending blir ikke i stor nok grad ivarettatt i beregningsgrunnlaget ved oppgradering av eksisterende bygninger. Det er nettopp dette som blir vurdert gjennom livsløpsbetraktninger, dersom man gjennomfører slike og følger "vugge til grav"-prinsippet.

Ved gjenbruk av bygninger utnyttes bygningens lange levetid samtidig som det kutter klimagassutslipp i form av de bundne utslippene som unngås ved produksjon og installering av nye materialer (Foster, 2020). Eksisterende bygninger har i utgangspunktet et fortrinn framfor nybygg ettersom utslipp forbundet med produksjon av materialer, transport til byggeplassen og oppføring av bygningen allerede er gjort (NS-EN 15978:2011). Det grønne fotavtrykket blir dermed satt til null ved beregning av miljøutslipp fra eksisterende bygninger (Flyen et al., 2017). Det bidrar til at gjenbruk/videreføring av eksisterende bygninger kan være mer bærekraftig enn å bygge nytt. For driftsfasen av eksisterende bygninger ser regnestykket annerledes ut. En nyere bygning vil ha et langt lavere utslipp i driftsfasen forutsatt at det ikke er gjort relativt store, energieffektiviserende tiltak i den eksisterende bygningen. Sett i et livssyklusperspektiv vil den eksisterende bygningen ha et stort grønt fortrinn framfor den nye bygningen selv ved relativt omfattende tiltak for å øke energieffektiviteten.

I de følgende underkapitlene har vi oppsummert noen av hovedutfordringene i LCA-studier av eksisterende bygninger vi har funnet i arbeidet med rapporten.

### **6.2.1 Økt transparens gjennom bruk av LCA-standarder og harmoniserte metoder**

Det er mangel på LCA-studier som følger standard LCA-metodologier for eksisterende bygninger nasjonalt og internasjonalt, noe også Moncaster et al. (2019) finner. Selv om en forenklet LCA ("screening LCA") er nyttig i en tidligfase når kunnskapen er begrenset, bør studien oppdateres gjennom hele prosjektperioden, når mer detaljerte data foreligger, for å vurdere utviklingen og eventuelt mulige tilleggstiltak.

Resultatene fra metaanalysen viser også mangel på konsistente metodiske valg og transparens i de anvendte bakgrunnsdataene, noe som fører til at det er vanskelig å bruke eksisterende studier i en utvidet analyse. Kun et fåtall kan brukes for en kvantitativ analyse. Usikkerhet i bruken av generiske versus produktspesifikke bakgrunnsdata (fra EPD-er) bør beskrives tydelig i alle rapporter. For materialbruk vil bruk av produktspesifikke data resultere i lavere klimagassutslipp sammenliknet med generiske data (Houlihan Wiberg et al., 2015).

LCA-studier skal tydelig beskrive systemgrensen for analysen som følger trinnene i LCA-metoden gitt i standarder, for eksempel EN 15978 og NS 3720. Å ta i bruk harmoniserte beskrivelser som allerede fins i standardene vil øke transparensen mellom de ulike analysene, og man burde inkludere en diskusjon av usikkerheter i valg av systemgrensen (for eksempel konsekvensene av å utelate utslippet fra byggeaktivitetene i A4-A5). Slik ytterligere evaluering av systemgrensen trekkes fram av Hasik et al.: Ved å inkludere modulene A, B og C for de tilførte nye komponentene sammen med modul B av gjenbrukte komponenter (vedlikehold etc. i bruksfasen) når du beregner påvirkningene fra oppgradering, blir det mulig å sammenlikne med et nybyggscenario (Hasik et al., 2019).

De fleste nyere norske LCA-studier beskriver de fysiske systemgrensene og bygningsdelene som er inkludert, i samsvar med NS 3451:2009 Bygningsdelstabellen. Mange benytter det såkalte 2-sifternivået, som betyr at det rapporteres etter elementene som 21 Grunn og fundamenter, 22 Bæresystemer osv. Dette er et viktig premiss for å legge til rette for gode og transparente sammenlikninger. Imidlertid er det heller ikke her en konsistent tolkning av standardene blant ulike LCA-utøvere. Wiik et al. (2018) identifiserte disse utfordringene når de sammenliknet pilotstudier fra forskningssenteret ZEB, hvor man plasserte noen bygnings-elementer under forskjellige bygningsdelskategorier, og dette gjaldt særlig for hvor de plasserte energiproduksjonsteknologier. En tydelig beskrivelse av bygningsdelene og hva som inkluderes

i hver kategori, er derfor viktig for å forstå fordelingen av materialer og utslipp mellom forskjellige bygningsdeler. Følgende bør være med i alle rapporter: en klar definisjon og beskrivelse av ambisjonen og omfanget av oppgraderingsstiltakene og en transparent rapportering av LCA-resultatene. I prosjektene Powerhouse Kjørbo og Vestlia ble ambisjonen, renoveringstiltakene, evaluering av miljøpåvirkning og rapportering gitt etter det norske ZEB-senterets definisjon.

### **6.2.2 Utvidelse av omfanget til LCA-studiene**

Klimagassutslipp er den viktigste indikatoren som vurderes i casestudiene. Dette kan føre til et problemskifte til andre miljøindikatorer, det vil si at det blir høyere miljøbelastning i andre indikatorer enn klimagassutslipp. Wang et al. (2015) nevner potensielle andre viktige miljøpåvirkninger fra bygningsmessige oppgraderingstiltak som menneskelig toksisitet (human toxicity), uttømming av mineraler (mineral depletion), arealbruksendringer (land use change), toksisitet i ferskvann (freshwater toxicity), økotoksisitet på land (terrestrial toxicity) og forsurening av kilder på land og vann (acidification). Flere miljøindikatorer bør vurderes i framtidige studier.

Når studier ikke inkluderer hele livssyklusen og ikke gjør detaljerte studier av det bundne utslippet til bygningen, kan dette undervurdere den fulle betydningen av den miljømessige påvirkningen av selve bygningen. Alle studier, bortsett fra Villa Dammen, Statens Hus Vadsø og Powerhouse Kjørbo, vurderte kun livssyklusstadiene A1-A3 og B6 i beregningene (i tillegg til B4 Transport i drift, som ble vurdert i flere studier, men som ikke ses som relevant for denne rapporten).

Gjennomføringsstadiet (A4-A5), aktivitetene knyttet til oppføringen av bygget, blir ofte neglisjert i LCA-studier. Dette har fått sterkere fokus i byggenæringen siden det kan utgjøre 5–10 % av utslippene fra byer (ca. 7 % av Oslos totale utslipp (SmartCitiesWorld)). Resultatene for Statens hus i Vadsø anslår disse til omtrent 1-4% av de totale utslippene (avhengig av scenario), hvor utslippene reduseres med 60% i rehabiliteringsscenarioet sammenlignet med nybyggscenarioet. De nasjonale tiltakene for å utvikle fossil- og/eller utslippsfrie (Fufa et al. 2019a; 2019b; 2018; Selvig et al., 2017) og avfallsfrie byggeplasser (Halogen, 2019) viser at byggefasen har betydning når man skal nå mål om utslippsreduksjon. For scenarioet hvor bygningen rives og bygges på nytt, kan vurdering av miljøvirkninger fra avhending av den eksisterende bygningen og avhendingen ved slutten av nybyggets levetid være viktig (Marique & Rossi, 2018). For eksempel utgjør utslipp fra avhending av Villa Dammen ca. 20 % av utslippene fra bygging. Lucuik et al. (2010) viser også betydningen av unngåtte miljøpåvirkninger fra riving (ved å bevare en eksisterende historisk bygning) med bruk av utslippsfaktorer for riving per kvadratmeter på 0,08 tonn CO<sub>2eq</sub>/m<sup>2</sup> (GWP) og 0,14 GJ/m<sup>2</sup> (i primærenergi). Ved å dekke hele livssyklusen av bygningen vil man også framheve utslippene i byggefasen (A4-A5), som kan være opptil 10 % av det totale livssyklusutslippet, og i bygningens sluttstadium (C1-C4), som kan være opptil 5 %. Det vil også gjøre det lettere fullt ut å analysere og kommunisere potensialet ved rehabilitering av eksisterende bygninger, med en potensiell oppside på omtrent 15 % reduksjon av utslippene knyttet til byggefasen. Sammen med bruk av forskjellige miljøpåvirkningsindikatorer vil dette bidra til å synliggjøre viktigheten av rehabilitering av bygningen.

### **6.2.3 Begrenset undersøkelse på enkeltbyggningsnivå**

Omfanget av denne studien er begrenset til eksisterende bygninger på enkeltbyggningsnivå. På et slikt mikronivå kan det være utfordrende å oppnå mål for energietterspørsel og utslippsreduksjon med tanke på gjennomføring av energieffektiviseringstiltak, bruk av fornybar energi og utslippsreduserende tiltak på enkeltbygninger (Wiik et al., 2018). Studien fra "Preservation green lab" påpekte at reduksjon i klimagassutslipp ved hjelp av gjenbruk og oppgradering av eksisterende bygning kan være betydelig når resultatene fra enkeltbygninger skaleres over bygningsmassen i en by (Preservation Green Lab, 2011). Å utvide omfanget fra fokus på individuelle bygninger til å omfatte nabolaget (mesonivå) og bynivå (makronivå) kan redusere systemomfattende energibehov og øke tilgjengeligheten og bruken av fornybar energi. Et slikt

perspektiv gjør det mulig å evaluere den totale ytelsen til bygningsmassen heller enn enkeltbygninger.

#### **6.2.4 Levetid**

Levetiden for hele bygningen, bygningskomponenter og materialer har betydelig innvirkning på resultatene. En levetid for bygningen på 50 år har ofte blitt brukt i LCA-beregninger, mens faktiske data fra nåværende bygninger viser at en gjennomsnittlig teknisk levetid på 100 år eller mer ville være mer korrekt (Marsh, 2017). I Norge er det vanlig å bruke en 60 års levetid i LCA-beregninger (NS 3720:2018; Fufa et al., 2017). Marsh (2017) viser at jo lengre levetid på bygningen, jo lavere er miljøpåvirkningen (med mulig reduksjon av miljøbelastning på 29 %, 38 % og 44 % ved å forlenge levetiden fra 50 år til henholdsvis 80, 100 og 120 år. I den virkelige verden blir bygninger revet før de når sin fysiske sluttdato, hovedsakelig på grunn av subjektive oppfatninger og endring i bruk (Palacios-Munoz et al., 2019). Å skape bevissthet rundt dette og å påvirke folks atferd og holdninger til gjenbruk er viktig for å forlenge bruken av eksisterende bygninger.

For studier på eksisterende bygninger brukes også begrepet gjenværende levetid om denne referanseperioden for bygningen, som da er tidsperioden mellom oppgraderingstidspunktet og slutten på levetiden for bygningen. I den norske ZEB-definisjonsrapporten (Fufa et al., 2016) og Annex 56 (Ott et al., 2017) anbefales det å bruke en 60 års referanselevetid for oppgraderte bygninger som gjennomgår omfattende rehabiliterings-/oppgraderingsarbeid.

Når man skal vurdere restlevetiden for materialer i bygninger som skal rehabiliteres, er det også usikkerheter knyttet til hvordan man skal gjennomføre allokeringen av miljøbelastningen for de eksisterende materialene og komponentene som gjenbrukes (Fufa et al., 2017). EN 15978 oppgir at allokeringen av den totale belastningen baseres på prosentandelen av gjenværende levetid for materialene eller komponentene som gjenbrukes. I det norske ZEB-senteret er miljøpåvirkningene for den gjenværende levetiden på de gjenbrukte materialene eller komponentene ekskludert i LCA-beregningen under forutsetning av at disse påvirkningene tilhører bygningens forrige livssyklus (Fufa et al., 2016).

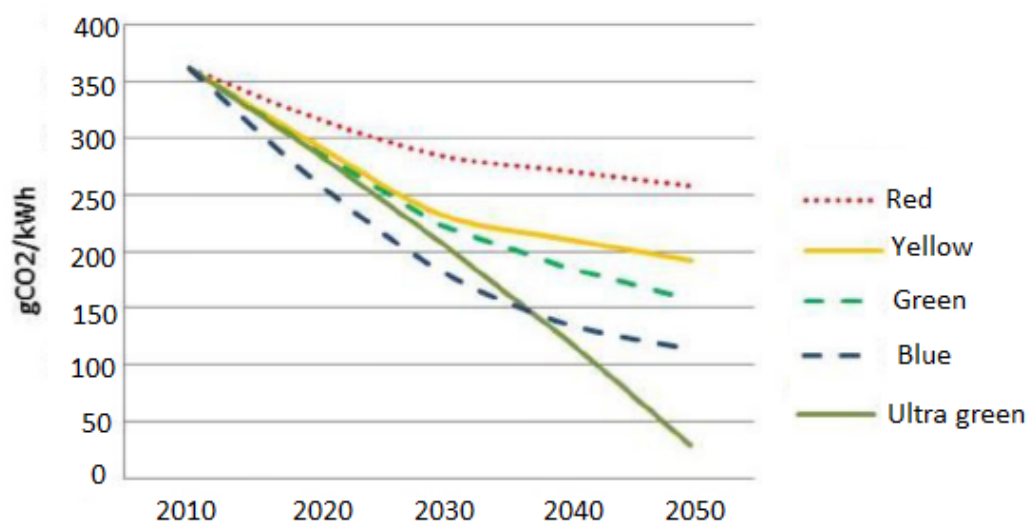
Resultatene i kapittel 5 viste at utskifting av komponenter i bygningene i vesentlig grad bidro til de totale livssyklusutslippene, slik at de estimerte levetidsdataene for materialene og komponentene som tilføres bygningen, spiller en betydelig rolle. Bakgrunnsdataene for å estimere referansetiden for forskjellige konstruksjonsmaterialer varierer mellom forskjellige studier og ulike analyser. I Norge bruker de fleste levetidsdata hentet fra teknisk produktdokumentasjon fra produsenter, EPDer eller fra tekniske godkjenninger utviklet av SINTEF. Imidlertid kan levetiden i det faktiske scenarioet være kortere eller lengre enn det som er gitt i dokumentasjonen, og derfor er det viktig med validering av eksisterende data gjennom eksperimentelle tester (for eksempel "akselerert aldringstester"), numeriske analyser eller gjennom faktisk levetidsdata.

#### **6.2.5 Utslippsfaktorer for ulike energikilder**

På tvers av de gjennomgåtte studiene er det generelt lite gjennomsluktighet og lite diskusjon av usikkerheter i energiutslippsfaktorer. Selv om utslippsfaktoren som brukes til energikilder, i betydelig grad påvirker resultatene av miljøpåvirkningen, er det ingen harmoniserte metoder for valg av utslippsfaktorer som brukes. I casestudiet Stjernehuset borettslag illustreres viktigheten av de ulike utslippsfaktorene for energi. Utskiftingen av en oljefyr gjør at det er mange scenarioer som kommer bedre ut enn å beholde denne utslippsverstingen. Referansebygningen kommer bedre ut enn rehabiliteringsscenarioet (med fjernvarmesystem) som ble valgt i rehabiliteringsprosessen, og det savnes en diskusjon på hvorfor man valgte nettopp fjernvarme, med drøfting av usikkerheten eller bakgrunnsdata for den valgte utslippsfaktoren.

Avhengigheten av ulike utslippsfaktorer og den forskjellige metodikken som ligger bak disse – og da særlig når det kommer til elektrisitet – gjør det generelt sett utfordrende å sammenlikne

energi- og materialutslipp. Dette illustreres godt i eksemplet med Statens bygg i Vadsø, hvor det som avgjør om rehabilitering eller nybygging er gunstigst avhenger av om man velger norsk eller europeisk utslippsfaktor for elektrisitet. I det norske ZEB-senteret er det brukt en gjennomsnittlig elektrisitetsutslippsfaktor på 132 g CO<sub>2ekv</sub>/kWh for strøm fra el-nettet (ZEB-faktoren (Fufa et al., 2016)). Dette er basert på "det ultragrønne scenarioet", med antakelsen om at nordiske og europeiske nett vil være sterkt sammenkoblet og gjelder for en framtidig beregning av karbonintensitet basert på et scenario for det europeiske elektrisitetsnettet som antar en reduksjon på 90 % av klimagassutslippet i 2050 sammenliknet med 2010 (Figur 6.1).



Figur 6.1. Scenarier med gjennomsnittlige spesifikke utslipp fra 2010 til 2050 (fra Graabak et al. (2014)). De fem scenarioene kommer fra to viktige drivere, teknologiutvikling og det offentliges holdninger/handlinger, og er: Rød – en lavteknologisk utvikling og et lavt fokus i befolkningen. Gul – en langsom teknologiutvikling, med positiv offentlig holdning med redusert energibehov og endret atferd hos sluttbruker. Grønn – rask teknologiutvikling og positiv offentlig holdning med mange avanserte teknologier for bruk av fornybare energikilder og redusert energibehov. Blå – rask teknologiutvikling, men lite fokus i befolkningen, med storstilt utvikling av statlige forskrifter og instrumenter. Ultragrønt – høyere energieffektiv teknologisk utvikling, stor økning i transnasjonale overføringskapasiteter og stor økning i kjernekraftkapasitet.

Georges et al. (2015) viste at de bundne utslippene dominerer energiutslippene i driftsfasen når lave CO<sub>2</sub>-faktorer brukes til helelektriske ZEB-bygg, mens høy CO<sub>2</sub>-faktor gir det motsatte. Det betyr at en lavere CO<sub>2</sub>-faktor for elektrisitet i nettet (for eksempel ved bruk av Ultra-Green-scenarioet) vil favorisere reduksjon av bundne utslipp og samtidig legge lavere vekt i den framtidige reduksjonen i driftsfasen. I tillegg vil valg av CO<sub>2</sub>-faktorer også påvirke valget av energibærere. Funnene fra ZEB-pilotprosjekter viser at selv om ZEB-faktoren sannsynligvis ikke favoriserer energiltak på ZEB-er sammenliknet med andre utslippsreducerende tiltak, skapte denne utfordringen også en mulighet for å utvikle og teste nye løsninger i forskningssenterets pilotprosjekter (Andresen et al., 2017).

Det er noe mangelfull rapportering av utslippsfaktorer, som i Ulsholtveien 31 hvor det virker som om utslippsfaktoren for PV-paneler (som dekker 45 % av strømforbruket) er antatt som null. LCA-studien fra det norske ZEB-senteret som ble utført på tre takmonterte PV-systemer for boliger, viser at de bundne utslippene per kWh for de tre forskjellige systemene varierer mellom 30–120 g CO<sub>2eq</sub>/kWh. På den annen side er utslippsfaktoren fra solenergi gitt som 13–190 g CO<sub>2ekv</sub>/kWh i den norske standarden for klimagassutslippsberegning fra bygninger (NS 3720). I Villa Dammen anses vedfyring som utslippsfri. I NS 3720 er imidlertid utslippsfaktoren for biobaserte drivstoff gitt mellom 8,5–130 g CO<sub>2ekv</sub>/kWh. I tillegg til NS 3720 har det norske ZEB-senteret et utvalg av "default"-verdier for ulike energibærere.

Som nevnt vil ulike energikilder påvirke miljøet forskjellig, som kan gi skifter av en type miljøpåvirkning til en annen (for eksempel kjernekraftverk, som er fordelaktig for klimagassutslipp, men gir høyere risiko knyttet til stråling). Det er viktig å ha tilgjengelige datakilder for å kunne gjøre dette for flere energikilder. Videre er det viktig å bli enige om, utvikle og i større grad faktisk ta i bruk referanseutslippsfaktorer fra standarder for å unngå grønnvasking. Derfor er det viktig å gi informasjon om utslippsfaktoren som brukes, og datakilden. Å følge denne metodikken kan bidra til å øke gjennomsiktigheten og gjøre det mulig å replisere resultatene.

#### **6.2.6 Faktisk vs. beregnet energibruk i drift**

Funnene fra casestudiene viser store forskjeller i energibruk mellom faktisk (målt) og estimert/beregnet forbruk. For Grensesvingen 7, Rådhuskvartalet, Stasjonsfjellet og Økernhemmet var forbruket i drift henholdsvis 29 %, 23 %, 46 % og 15–20 % høyere enn beregnet i prosjektert bygg/overlevert bygning. For Villa Dammen så vi at forbruket var lavere enn forventet, og det viser viktigheten av brukeratferden for at energibruken blir så effektiv som forespeilet. Endringer i brukeratferd kan ha en potensielt stor effekt for å redusere miljøbelastningen fra energiforbruk (i tråd med Fouseki & Cassar (2014) og Gram-Hanssen (2018)). I tillegg er det en rekke andre faktorer som spiller inn, hvor for eksempel det framtidige klimaet og andre usikkerheter gjør energiforbruket over livsløpet usikkert.

Usikkerheten i faktisk energibruk, framtidige utslippsfaktorer for elektrisitet og bruken av utslippsfaktorer for energi gjør det vanskelig å sammenlikne de totale utslippene fra energi og utslippene fra materialbruk. Det er viktig å rapportere beregningene av miljøpåvirkningene fra operativ energibruk inkludert importert og eksportert energi etter NS 3720.

### **6.3 Bruk av scenarioer i LCA-studier for eksisterende bygninger**

For å analysere LCA-resultater brukes ofte alternativscenarioer. Denne delen diskuterer bruken av disse i dagens LCA-studier i lys av foregående kapitler, og inkluderer anbefalinger basert på dette arbeidet. Det henvises til referanser hvor dette er relevant.

#### **6.2.1 Referansebygninger**

De fleste av de norske casestudiene sammenlikner utslippsreduksjoner med et nybygg som er representert ved en referansebygning. Det gjør en sammenliknende vurdering av det nye bygningsscenarioet med oppgraderingsscenarioet komplisert. Et optimalisert nybygg ville nok også ha lavere utslipp enn referansebygningen. Referansebygninger utvikles ofte ved å bruke nåværende scenarioer, gjerne ved bruk av generiske data uten å ta hensyn til optimaliserte løsninger og materialvalg. Schlanbusch et al. (2016) påpekte at å sette utslippsreduksjonsmål basert på dårlig valg av bakgrunnsdata kan gi lavere ambisjoner.

Siden de totale klimagassutslippene fra energibruk er høyere enn fra materialer i våre case-studier, er de beste casestudiene (med hensyn til klimagassutslipp) de som reduserer energibruksutslippene mest sammenliknet med referansen, nemlig: Stasjonsfjellet, Ulsholtveien, Rådhuskvartalet, Kjørbo, Grensesvingen 7 og Økernhemmet. Disse reduserer utslippene relatert til energi til halvparten av referansen, noe som også betyr at de kutter utslippene fra det totale materialet og energien til omtrent halvparten. Dette kan antas å være bedre, eller i det minste på linje med, et nytt, optimalisert bygg (også uten å ta hensyn til de lavere utslippene fra rehabiliteringsscenarioet i bygge- og anleggsfasen og avhendingsfasen). I Ulsholtveien ble det oppført et nytt bygg ved siden av den rehabiliterte bygningen, der det optimaliserte nybygget hadde 18 % lavere utslipp per m<sup>2</sup> i løpet av livssyklusen. Muligheten for energiproduksjon favoriserer her det nye, optimaliserte bygget (uten at utslippene fra alle moduler i livssyklusen er inkludert og også muligens utslippene fra tekniske installasjoner som PV-paneler).

Referansescenarioet skal være tydelig beskrevet og definert i komparative vurderinger. Dette kan påvirke beslutninger, også vekk fra miljømessig foretrukne tiltak, og bør diskuteres med forsiktighet i analysene. Bruk av mer realistiske nybyggscenarioer istedenfor konseptuelle

referansebygninger, som inkluderer alle relevante moduler av livssyklusen, kan gi grobunn for flere interessante diskusjoner.

### **6.2.2 Utvikling av nasjonale referanseverdier basert på eksisterende studier**

Hasik et al. (2019) påpeker også utfordringene knyttet til det å utvikle nybyggscenarier for å sammenlikne med et rehabiliteringsscenario, og foreslår derfor en database med tidligere gjennomførte prosjekter for å kunne sammenlikne eller for å utvikle en standard referansebygning.

Slikt arbeid er i gang, men fokuserer mest på data fra nye bygninger siden antallet studier på eksisterende bygninger er begrenset. Resultatene fra den første LCA-referansestudien i Norge er et godt eksempel på dette, hvor bare 13 av 120 innsamlede LCA-studier var for eksisterende bygninger (Wiik et al. 2020, under utgivelse). Videre presenterte bare 2 av de 13 studiene resultatene fra en gammel bygning. IEA EBC-studien viser også liknende funn, hvor det av de 80 evaluerte studiene bare var 11 bygninger som var eksisterende (Moncaster et al., 2019). Slike arbeider er viktig for å samle gode referansestudier og for å komme nærmere reelle referanseverdier. Målet bør derfor være utvikling av et transparent rapporteringssystem som kan brukes av forskjellige merke- og sertifiseringsordninger, og da kreves det en videre utvikling og fokus på harmoniserte LCA-metodologier, og å presse på for mer helhetlige LCA-er av eksisterende bygninger.

Sammenlikningen av referanseverdier fra forskjellige land er utfordrende, hovedsakelig på grunn av forskjeller i bakgrunnsdata og i beregningsmetodikken, som ble påpekt i "round robin"-testen i IEA EBC-studien, hvor flere ulike LCA-eksperter fra ulike land utførte en LCA for samme bygning. Arbeidet for å utvikle harmoniserte metoder, med en tilsvarende økt åpenhet i LCA-resultatene, vil gjøre det mulig å ta mer informerte beslutninger som er tilpasset avgjørelser om rehabilitering og gjenbruk av eksisterende bygninger. Internasjonalt samarbeid for å utvikle LCA-referanseverdier ("benchmarking") vil gjøre det mulig for norsk bygg- og anleggsnæring å undersøke lærdommer fra eksisterende studier fra land som ligger foran på dette området. Statlig støtte vil spille en viktig rolle i å oppmuntre til gjenbruk av eksisterende bygninger, skape bevissthet om miljøbelastninger og -gevinster og det potensielle bidraget de har for å nå nasjonale og internasjonale mål om utslippsreduksjon.

Det å samle oversikt over beste praksis ved å utvikle en standard metode for datainnsamling, evaluering og rapportering vil kunne gjøre det mulig å fylle kunnskapsgapet og bidra til økt informasjonsutveksling mellom de ulike aktørene i byggenæringen. Rehabiliteringspass er (helst digitale) dokumenter som samler inn informasjon om bygningsfunksjoner og kort- og langsiktig rehabiliteringsplanlegging. Informasjonen/dokumentasjonen samles inn gjennom å engasjere en rekke interessenter i den tidlige fasen av prosjektene. Det er foreløpig initiativer i Flandern, Frankrike og Tyskland, og de anbefaler innføring av slike rehabiliteringspass for bygninger over hele EU (Fabbri et al., 2016). Så vidt forfatterne vet, er det ingen nyere praktisk forskning i Norge om evaluering og utvikling av rehabiliteringspass. Ytterligere evaluering av behovet for rehabiliteringspass og formidling av resultatene i sertifiseringssystemer for energi og bygninger er viktig. Det er også viktig å ta tak i utfordringene knyttet til sertifiseringssystemene (som å inkludere klare forklaringer og begrunnelser av fordeler og ulemper med forskjellige alternative tiltak i EPC-er) (Berg & Donarelli, 2019).

### **6.2.3 Potensielle framtidsscenarier**

En analyse av den miljømessige ytelsen til forskjellige oppgraderingsløsninger for å vurdere flere mulige scenarier er viktig. Gjeldende LCA-studier baserer hovedsakelig analysene på scenarier fra dagens beste-praksis eller vurderer framtidige scenarier ved bruk av dagens data. Pesonen et al. (2000) definerer LCA-scenarier som "en beskrivelse av en mulig framtidig situasjon relevant i spesifikke LCA-applikasjoner, basert på spesifikke forutsetninger om fremtiden og som også (når relevant) inkluderer utviklingen fra nåtid til framtid". De delte tilnærmingen i scenarioutviklinger inn i to: "Hva-hvis"-scenarier, som brukes for å få operativ informasjon og for å sammenlikne alternativer i en kjent situasjon med en kortere

tidshorisont. Her settes definerte hypoteser basert på eksisterende data. Den andre tilnærmingen var hjørnesteinsscenarioer, hvor det tilbys strategisk informasjon i en lengre tidshorisont til bruk for planlegging og for å gi retningslinjer for videre spesifikt forskningsarbeid.

## 7 Konklusjoner, begrensninger og framtidig forskning

Prosjektets hovedmål er å etablere et helhetlig bilde av og gi bedre innsikt i den miljømessige betydningen til den eksisterende bygningsmassen. Det er gjort ved å kartlegge hvordan dette er belyst i foreliggende litteratur. De faktiske miljømessige fordelene, ulempene og mulighetene som ligger i oppgradering av eksisterende bygninger, er undersøkt ut fra et livssyklusperspektiv. Dette kapitlet oppsummerer funnene i rapporten i form av noen generelle konklusjoner, og avslutningsvis noen konkrete anbefalinger.

### 7.1 Generelle konklusjoner

Hovedkonklusjonene er:

- 1. Det er et stort uutnyttet potensial for miljøgevinster i den eksisterende bygningsmassen. Dersom det er mulig, burde rehabilitering prioriteres foran riving og oppføring av nye bygninger i tråd med nasjonale og internasjonale klimamål.*
- 2. Ved vurdering av miljøvennlige rehabiliteringstiltak bør de kulturelle og historiske verneverdiene tas med i betraktningen*
- 3. Fullverdige livssyklusanalyser er viktige som beslutningsstøtteverktøy for å finne de gode oppgraderingstiltakene.*

Nedenfor er de tre hovedkonklusjonene utdypet nærmere.

#### 7.1.1 Det er et stort uutnyttet potensial for miljøgevinster i den eksisterende bygningsmassen

Bygg- og anleggssektoren er viktig i arbeidet med å oppnå forpliktelsene i Parisavtalen om klimagassreduksjon og FNs mål for bærekraftig utvikling (SDG). Den eksisterende bygningsmassen representerer et stort uutnyttet potensial for gjen- og ombruk, samt resirkulering av bygningskomponenter og -materialer. Med tanke på at det meste av verdens bygningsmasse i 2050 allerede eksisterer i dag, vil rehabilitering og adaptiv gjenbruk av eksisterende bygninger være et avgjørende bidrag til en bærekraftig framtid. I dag er det lav oppgraderingstakt (med rundt 1–1,4 % i Norge). Denne studien viser at miljøvennlig oppgradering av eksisterende bygninger bør prioriteres framfor riving og oppføring av nye bygninger dersom det er mulig. Slik oppgradering av eksisterende bygninger er i større grad i tråd med ambisjonene i Parisavtalen og i FNs bærekraftmål. Det bør settes tydelige, politiske ambisjoner om å øke rehabiliteringsgraden av eksisterende bygningsmasse i langt høyere grad enn det som er tilfellet i dag. Det tar tiår innen fordelen av lavere årlige utslipp knyttet til energibruk i drift utlikner ulempen med de høye utslippene knyttet til oppføringen av nye bygninger. Funn i litteraturen støtter at rehabilitering av eksisterende bygninger er bedre i 30-årshorisonten mot 2050, hvor det kan ta fra 10 til 80 år før et nybygg utlikner klimagassutslippet som oppsto i byggeprosessen. Dermed kan man, sett fra et miljømessig perspektiv, konkludere med at rehabilitering av eksisterende bygninger vil være miljømessig fordelaktig på kort og mellomlang sikt.

Forskningsfronten viser at det er store potensielle miljømessige gevinster ved oppgradering av eksisterende bygninger sammenliknet med nybygging, fordi utslippene ved rehabilitering utgjør opptil halvparten av utslippene ved nybygging. Reduksjoner i miljøbelastningene avhenger imidlertid av ulike, spesifikke forhold. Reduksjoner i klimagassutslipp ved rehabilitering skyldes hovedsakelig forlengelse av den bundne energien i eksisterende bygninger, ved at eksisterende materialer beholdes og bundne utslipp fra bruk av nye materialer, generering av avfall og bruk av energi under oppføring av nye bygninger unngås. Fra de norske case-studiene ser vi at klimagassutslipp knyttet til materialbruk i oppgraderte eksisterende bygninger kun utgjør rundt en tredjedel av tilsvarende utslipp ved nybygging.

Minimering av materialbruk og energibehov, valg av lokalt tilgjengelige lavkarbonmaterialer, gjennomføring av energieffektiviseringstiltak og bruk av fornybar energi er de viktigste

utslippsreducerende tiltakene som bør vurderes under oppgradering av eksisterende bygninger. Casestudiene viser store variasjoner i klimagassreduksjoner, som naturlig nok avhenger av de utslippsreducerende tiltakene nevnt over. Særlig graden av oppgraderingstiltak kan trekkes fram som viktig – enten det er snakk om en omfattende rehabilitering eller ikke. Som vist i casestudien Vestlia, er den omfattende rehabiliteringen med høy energieffektivitet å foretrekke, helst kombinert med andre teknologiske tiltak som fornybar energiproduksjon. Den eksisterende bygningsmassen har i varierende grad potensial for energieffektivisering, i tråd med alder, materialer, konstruksjoner, verneverdi, vernenivå m.m. Dette demonstrerer tydelig to poeng. For det første, om man kan stille like krav til grad av energieffektivisering til alle bygninger, siden tiltak bør tilpasses den aktuelle bygningstypen og den spesifikke situasjonen og bygningen. Det andre poenget utdypes under kapittel 7.1.3 på neste side: Bundne utslipp tas ikke tilstrekkelig i betraktning når man vurderer oppgradering i dag, og bør analyseres mer kritisk når man vurderer oppgraderings- og nybyggingsscenarioer.

### **7.1.2 Ved vurdering av miljøvennlige rehabiliteringstiltak bør de kulturelle og historiske verneverdiene tas med i betraktningen**

Fra et bærekraftsperspektiv er sosiale faktorer som lokal identitet og bevaring av kulturelle verdier gode grunner til bevaring av fasader, detaljering, materialbruk etc. Dette kan gjøre det vanskelig med en omfattende rehabilitering, men det er ikke dermed sagt at alternativet kun er riving og oppføring av bærekraftige nye bygninger. Beslutningen kan ikke tas ved vurdering av klimagassutslipp alene. Dette er særlig viktig ettersom det ikke er påvist at disse klimagassutslippene er lavere ved nyoppføring enn ved selv lite omfattende rehabiliteringsscenarioer, da studier som inkluderer alle bundne utslipp er en mangelvare. Flere faktorer, som andre miljøkonsekvenser og sosiale aspekter, bør derfor inkluderes i analysene.

Den gjennomgåtte litteraturen påpeker flere utfordringer ved intervensjoner for å oppnå energieffektivisering i verneverdige bygninger. Det er tydeliggjort at balansegangen mellom forskjellige behov, da særlig mellom ivaretagelse av verneverdier og tekniske intervensjoner, er utfordrende og at verneverdige bygninger er spesielt sårbare for moderne tekniske løsninger. Et generelt problem påpekt i mye litteraturen er en gjennomgående mangel på kompetanse om verneverdige bygninger og historisk bygningsmasse.

Det er behov for grundig evaluering av virkningene av oppgraderingstiltak i verneverdig bebyggelse. Maksimalt potensial ved et høyt ambisjonsnivå for verneverdig bebyggelse er ikke nødvendigvis det samme som for nyere eksisterende bebyggelse eller nybygg. Effektiviseringspotensialet i bygningsmassen bør hentes ut gjennom en helhetlig og balansert tilnærming til det faktiske bygningsmiljøet som hver enkelt bygning er en del av. Om beslutningen går mot riving, bør dette være basert på grundige analyser heller enn overfladiske og/eller mangelfulle analyser av kostnader og klimagassutslipp.

### **7.1.3 Fullverdige livssyklusanalyser er viktige som beslutningsstøtteverktøy**

En livssyklustilnærming er sentral for å kunne evaluere bærekraften til eksisterende bygninger mer grundig. Denne studien har avdekket at det fins få LCA-analyser av eksisterende bygninger. I tillegg er det store usikkerheter i de studiene som er gjennomført, på grunn av varierende og ufullstendig metodebruk. For å fylle kunnskapsgapet som ble avdekket i denne studien, vil det i framtiden være viktig å utføre hele livssyklusvurderingen, med en klar beskrivelse av den fysiske systemgrensen (for eksempel beskrivelse av bygningselementer og undersøkt energisystem) og livssyklusstadiene som er vurdert i analysen. Dette er viktig fordi det er den eneste måten å kommunisere de miljømessige og sosiale gevinstene ved rehabilitering: *Det er nettopp her de fleste fordelene ligger.*

En slik analyse blir mer verdifull ved å inkludere flere miljøindikatorer og sosiale/samfunnsmessige aspekter, fordi man da tar hensyn til hele verdispekteret til bygningen. For å evaluere bærekraften til eksisterende bygninger bør man også innarbeide sosial og økonomisk livssyklusvurdering. De fleste prosjekter gjennomfører økonomiske analyser på en eller annen

måte for å evaluere lønnsomheten ved forskjellige valg. Det er imidlertid behov for å innlemme sosiale LCA-studier for å identifisere sosiale "hotspots". Dette er punkter i verdikjeden gjennom livssyklusen til bygningsmassen som i størst grad påvirker samfunnet eller andre sosiale faktorer, og iverksette tiltak for å minimere potensielle negative effekter. Ved bruk av metoder for bærekraftige livssyklusvurderinger vil man kunne gi et klarere bilde av hvordan riving og nybygging versus rehabilitering og gjenbruk av eksisterende bygninger påvirker både miljøet og samfunnet. Dermed tydeliggjøres de iboende verdiene i den eksisterende bygningsmassen i kraft av bundet energi.

Om scenarioer skal benyttes, bør disse være realistiske. Grunnleggende usikkerheter i scenarioene må diskuteres i større grad enn det som gjøres i dag. Analyser som bare tar for seg materialbruk (A1-A3, B4) og energibruk i drift (B6) er ikke tilstrekkelig til å gi et informert beslutningsgrunnlag i et rehabiliterings- versus rivnings- og nybyggingsscenario, og må derfor inkludere utslippene både i byggefasen (A4-A5) og i sluttfasen (C1-C4) for det eksisterende og det nye bygget (henvisningene A, B og C viser til figur 2.4 i kapittel 2.4). Usikkerhetene i energiberegningene må trekkes fram i en slik vurdering. Sett fra et livssyklusperspektiv kan det ikke konkluderes med at enkle (lite omfattende) rehabiliteringsscenarioer er dårligere enn rivings- og nybyggingsscenarier, siden dette er casespesifikt og avhengig av en rekke usikkerheter. Det er likevel en klar konklusjon at tiltak for energieffektivisering og spesielt bruk av fornybare-/lavutslippsenergikilder er særlig viktig når rehabiliteringstiltak skal vurderes. Derfor er det tydeliggjort et behov for videre forskning for å utdype og etablere kunnskapsgrunnlag for beslutninger om riving og nybygg eller bevaring og rehabilitering.

## 7.2 Anbefalinger

Basert på funnene i denne rapporten, er noen av spørsmålene som trenger videre arbeid listet opp nedenfor. Det er behov for:

***Ambisjoner i rehabiliteringsprosjekter må defineres klart:*** En klar definisjon av ambisjonsnivå og omfang på rehabiliteringen bør foreligge i en tidlig fase, med beskrivelse av en helhetlig evaluering av tiltakene og plan for oppfølging gjennom hele prosjektperioden. Dersom det er mulig, bør det settes tydelige mål for så omfattende (miljøvennlig) rehabilitering som mulig, som kan muliggjøre en oppfyllelse av gjeldende energikrav i TEK (byggningsforskriften) som minimum, eller helst tiltak for å oppnå nullutslipps- eller plusshus. Oppfyllelse av slike ambisjoner kan være i strid med verneverdiene i bygningen, og alle tiltak/intervensjoner må derfor vurderes nøye.

***Fullverdige livssyklusanalyser bør brukes som beslutningsstøtteverktøy:*** Det bør i større grad tas i bruk fullverdige livssyklusanalyser for å vurdere bærekraften til rehabiliteringstiltak, tilstanden før og etter rehabilitering og for å ta informerte beslutninger om rehabilitering versus riving og nybygging. Det bør legges til rette for detaljerte og transparente LCA-studier av eksisterende bygninger med klare ambisjoner og omfang på tiltak (for eksempel for rehabiliteringstype og -tiltak, LCA-systemgrenser etter NS 3720, fysiske grenser for bygningen i samsvar med NS 3451). Studiene bør inkludere hele bygningens livssyklus. For en sammenliknende vurdering av rehabilitering versus riving og nybygging bør virkningen fra riving av den eksisterende bygningen inkluderes i virkningene fra hele livssyklusen til det nye bygget. Usikkerheter i energiberegningene og utslippsfaktorene som brukes for energikilder, bør evalueres og diskuteres i rapportene ettersom den har betydelig innvirkning på resultatene (og beslutningene). Bruk av en standard evaluerings- og rapporteringsmetodikk (i samsvar med NS 3720) er viktig for å øke datatilgjengeligheten, sammenliknbarheten og åpenheten i resultatene, og for å kunne evaluere og sammenlikne resultatene i etterkant. Implementering av mer transparente og omfattende livssyklusanalyser i flere prosjekter, og kommunikasjon av disse resultatene gjennom merke- og sertifiseringsordninger, vil i større grad gjøre det mulig for ulike aktører å ta informerte beslutninger.

**Helhetlig tankegang:** I denne studien er omfanget begrenset til LCA-studier av eksisterende bygninger på enkeltbyggnivå. Miljømessige LCA bør kombineres med livssyklus kostnader (LCC) og sosiale livssyklusanalyser (SLCAs) for å få et mer omfattende, bærekraftig perspektiv på eksisterende bygninger. Flere aspekter enn klimagassutslipp, som andre miljøindikatorer, kulturminneverdier og livssyklus kostnader, er viktige for å vurdere verdien av bygningsmassen. Videre omfattende tankegang som utvider omfanget av enkeltbygninger, og vurderer forskjellige bygninger og deres varierende forhold, for å bidra til nedsettelse av nabolag (meso) eller urbane (makronivå). Det bør legges til rette for bredere og mer omfattende analyser for bedre beslutningsstøtte.

**Mulige tiltak for verneverdige bygninger, som ikke går på bekostning av verneverdiene, må vurderes:** Mange historiske bygninger er sårbare for tekniske inngrep på grunn av både tekniske forhold (konstruksjon, materialbruk, teknologi) og av hensyn til de verneverdiene bygningene representerer. Omfattende oppgradering av historiske eller verneverdige bygninger kan derfor være svært krevende. Det er likevel viktig å gå gjennom og vurdere mulige tiltak og intervensjoner som ikke går på bekostning av verneverdiene.

**Innsamling av dokumentasjon av beste praksis bør iverksettes:** Det er viktig å samle dokumentasjon av beste praksis for å få oversikt, inkludert konkrete erfaringer fra rehabiliterings tiltak, for å beskytte og forbedre den eksisterende bygningsmassen. Man bør begynne med innsamling av casestudier fra BREEAM-NOR for BREEAM-sertifiserte bygninger. Dette kan gjøres ved innføring av rehabiliteringspass som en standard dokumentasjonsmetode for å rapportere og evaluere bygningsfunksjoner og kort- og langsiktig rehabiliteringsbehov. Det bør omfatte dokumentasjon av livssyklusvurderinger i alle bygningens livsfaser – fra oppføring til avhending.

**Insentiver og tilskuddsordninger for de omfattende rehabiliteringsprosjektene bør vurderes og etableres:** Miljø- og samfunnsnytt av rehabilitering er vist i flere livssyklusstudier. For å utvikle nye teknologier, materialer og løsninger som effektivt kan iverksettes i eksisterende bygninger uten at dette går ut over kulturelle verdier, er det nødvendig med insentiver. Spesielt trengs et økt kunnskapsnivå om energieffektivisering og innpassing av ny teknologi og innovative løsninger i verneverdige bygninger, hvor det kan være store muligheter for produksjon, lagring og gjenvinning av energi. Insentivene kan være av både økonomisk og lovmessig art, for eksempel tilskuddsordninger som favoriserer gjenbruk og rehabilitering av eksisterende bygningsmasse og politiske ambisjoner om å øke rehabiliteringsgraden av eksisterende bygningsmasse.

**Ta i bruk FNs bærekraftsmål som verktøy i bærekraftig utvikling av bygningsmassen:** Selv om bygg- og anleggssektoren er viktig for å oppnå flere av FNs mål for bærekraftig utvikling (SDG), er det usikkerhet rundt hvordan dette skal iverksettes, måles og overvåkes i praksis. Pågående initiativer bør følges, og tiltak for en framtidig implementering bør være del av alle byggeprosjekter. Verneverdier er også fokusert i bærekraftsperspektivene, og det er viktig at de kulturelle verdiene i den eksisterende bygningsmassen blir vurdert og ivarettatt på linje med de andre bærekraftsaspektene.

## Referanser

- Almeida, M., Ferreira, M., & Barbosa, R. (2018). Relevance of embodied energy and carbon emissions on assessing cost effectiveness in building renovation-Contribution from the analysis of case studies in six European countries. *Buildings*, 8(8).  
*Doi:10.3390/buildings8080103*.
- Almås, A.J., Lisø, K.R., Hygen, H.O., Øyen, C.F. & Thue, J.V. (2011). An approach to impact assessments of buildings in a changing climate. *Building Research & Information*, 39(3), 227-238.
- Agbota, H. (2014). Anticipating the Unintended Consequences of the Decarbonisation of the Historic Built Environment in the UK. *The Historic Environment: Policy & Practice* Volume 5, 2014 - Issue 2: Energy Efficiency and Heritage Values in Historic Buildings
- Amanatidis, G. (2019). *European policies on climate and energy towards 2020, 2030 and 2050*. European Parliament ENVI Committee, Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies (IPLO).
- Andresen, I., Lien, K.M., Berker, T., Sartori, I. & Risholt, B. (2017). *Greenhouse gas balances in Zero Emission Buildings – Electricity conversion factors revisited*. ZEB Project report 37. Trondheim: SINTEF og NTNU
- Asdrubali, F., Ballarini, I., Corrado, V., Evangelisti, L., Grazieschi, G. & Guattari, C. (2019). Energy and environmental payback times for an NZEB retrofit. *Building and Environment*, 147, 461-472.
- Assefa, G. & Ambler, C. (2017). To demolish or not to demolish: Life cycle consideration of repurposing buildings. *Sustainable Cities and Society*, 28, 146-153.
- Balson, K., Summerson, G. & Thorne, A. (2014). *Sustainable refurbishment of heritage buildings – How BREEAM helps to deliver*. Briefing Paper. Watford, UK: BRE Global.
- Berg, F. & Donarelli, A. (2019). Energy performance certificates and historic apartment buildings: A method to encourage user participation and sustainability in the refurbishment process. *The Historic Environment: Policy & Practice*, 10(2), 224-240.
- Berg, F. & Fuglseth, M. (2018). Life cycle assessment and historic buildings: Energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway. *Journal of Architectural Conservation*, 24(2), 152-167.
- BREEAM-NOR, BREEAM. <https://www.breeam.com/>.
- BUILD UP. (2019). *Overview | Energy efficiency in historic buildings: A state of the art*.  
<https://www.buildup.eu/en/news/overview-energy-efficiency-historic-buildings-state-art>.
- Byggemiljø. (2020). *Mindre avfall fra byggenæringen i 2018*.  
<https://www.byggemiljo.no/mindre-avfall-fra-byggenaringen/>
- Bullen Peter, A. (2007). Adaptive reuse and sustainability of commercial buildings. *Facilities*, 25(1/2), 20-31.
- CGRi. (2020). *The circularity gap report 2020*. Circularity Gap Reporting Initiative (CGRi).  
<https://www.circularity-gap.world/2020>.
- Chastas, P., Theodosiou, T. & Bikas, D. (2016). Embodied energy in residential buildings – towards the nearly zero energy building: A literature review. *Building and Environment*, 105, 267-282.
- Chastas, P., Theodosiou, T., Bikas, D. & Kontoleon, K. (2017). Embodied energy and Nearly Zero Energy Buildings: A review in residential buildings. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 554-561.
- CIVITAS. (2018). *Ulsholtveien 31 Klimagassberegning*. Hentet fra:  
[https://www.futurebuilt.no/content/download/13965/file/181218\\_Klimagassrapport\\_Ulsholtveien\\_31\\_Som\\_bygget.pdf](https://www.futurebuilt.no/content/download/13965/file/181218_Klimagassrapport_Ulsholtveien_31_Som_bygget.pdf)
- Context. (2018a). *STJERNEHUSET BORETTSLAG Klimagassregnskap i drift*.  
<https://www.arkitektur.no/stjernehus-borettslag-oppgradering?iid=522197&pid=NAL-EcoProject-Attachments.Native-InnerFile-File>

- Context. (2018a). *RÅDHUSKVARTALET Klimagassregnskap i drift*.  
<https://www.arkitektur.no/radhuskvartalet-i-kristiansand?iid=522215&pid=NAL-EcoProject-Attachments.Native-InnerFile-File>
- Crockford, D. (2014). Sustaining Our Heritage: The Way Forward for Energy-Efficient Historic Housing Stock. *The Historic Environment: Policy & Practice Volume 5, 2014 - Issue 2: Energy Efficiency and Heritage Values in Historic Buildings*. Pages 196-209. Published online: 26 Jun 2014
- Dixit, M.K., Fernández-Solís, J.L., Lavy, S. & Culp, C.H. (2012). Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3730-3743.
- Dodoo, A., Gustavsson, L., & Sathre, R. (2010). Life cycle primary energy implication of retrofitting a wood-framed apartment building to passive house standard. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1152-1160.  
doi:10.1016/j.resconrec.2010.03.010
- Dokka, T.H., Houlihan Wiberg, A., Georges, L., Mellegård, S., Time, B., Haase, M., Maltha, M. & Lien, A.G. (2013a). *A zero emission concept analysis of a single-family house*. ZEB Project Report 9. Trondheim: SINTEF.
- Dokka, T.H., Kristjansdottir, T., Time, B., Mellegård, S., Haase, M. & Tønnesen, J. (2013b). *A zero emission concept analysis of an office building*. ZEB Project Report 8. Trondheim: SINTEF.
- Duffy, A., Nerguti, A., Purcell, C. E, Cox, P. (2019). Historic London. Understanding carbon in the historic environment. Scoping study. CARRIG conservation international.
- Eakin, H., Eriksen, S., Eikeland, P.-O. & Øyen, C. (2011). Public sector reform and governance for adaptation: Implications of New Public Management for adaptive capacity in Mexico and Norway. *Environmental Management*, 47(3), 338-351.
- Enlid, E. & Selvig, E. (2018). *Klimagassnotat for FutureBuilt-prosjekter som benytter BREEAM-NOR*. Prosjektnavn: Grensesvingen 7. Hovedresultater og sammenligning av alternativer.  
<https://www.futurebuilt.no/content/download/5592/52523>
- Eskilsson, P., 2015. *Renovate or –ebuild? - a comparison of the climate impact from renovation compared to demolition and new construction for a multi-dwelling building built in the era of the “Million Programme” using lifecycle assessment*. Institutionen för biologi och miljövetenskap, Göteborgs universitet.
- EU. *EU climate action*. [https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action_en).
- EU. (2008). *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance)*. ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>.
- EU. (2010). *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings*. ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj>.
- EU. (2012). *Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC Text with EEA relevance*. ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>.
- EU. (2018). *Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance)* PE/4/2018/REV/1. ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj>.
- EU (2019). *Clean energy for all Europeans package completed: good for consumers, good for growth and jobs, and good for the planet*. [https://ec.europa.eu/info/news/clean-energy-all-europeans-package-completed-good-consumers-good-growth-and-jobs-and-good-planet-2019-may-22\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/clean-energy-all-europeans-package-completed-good-consumers-good-growth-and-jobs-and-good-planet-2019-may-22_en).
- EU. (2020). *Energy performance of buildings directive*. Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/energy-performance-buildings-directive> [online].

- Fabbri, M., Groote, M.D. & Rapf, O. (2016). *Building renovation passports. Customised roadmaps towards deep renovation and better homes*. Brussel: Buildings Performance Institute Europe (BPIE).
- Famuyibo, A. A., Duffy, A., & Strachan, P. (2013). Achieving a holistic view of the life cycle performance of existing dwellings. *Building and Environment*, 70, 90-101. doi:10.1016/j.buildenv.2013.08.016
- Filho, W. L., Azeiteiro, U., Alves, F., Pace, P., Mifsud, M., Brandli, L., ... & Disterheft, A. (2018). Reinvigorating the sustainable development research agenda: the role of the sustainable development goals (SDG). *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 25(2), 131-142.
- Flyen, A.-C., Flyen, C. & Fufa, S.M. (2020, under utgivelse). Life cycle analyses applied to historic buildings: Introducing socio-cultural values in the calculus of sustainability. Scientific paper accepted to the Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management Conference (REHABEND 2020), September 28<sup>th</sup> to October 1<sup>st</sup>, 2020. Granada, Spain.
- Flyen, C., Flyen, A. C., Mellegård, S. E., Kempton, H. M., Hauge, Å. L., & Berg, F. (2018). *Klimavennlig oppgradering av gamle bygårder i mur. Veileder for eiere og beboere*. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmli/bitstream/handle/11250/2581660/veileder+CulClim+2018.pdf?sequence=1>
- Flyen, C., Flyen, A.C. & Fufa, S.M. (2017). *Miljøvurdering ved oppgradering av verneverdig bebyggelse*. SINTEF Fag 58. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Flyen, C., Flyen, A.C. & Godbolt Å.L. (2015). Climate for change – Urban regeneration in cultural heritage housing. ENHR international conference in Lisbon, Portugal.
- Foster, G. (2020). Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts. *Resources, Conservation and Recycling*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104507>.
- Fouseki, K. & Cassar, M.( 2014). Energy efficiency in heritage buildings – Future challenges and research needs. *The Historic Environment: Policy & Practice*, 5(2), 95-100.
- Frischknecht, R., Balouktsi, M., Lützkendorf, T., Aumann, A., Birgisdottir, H., Ruse, E.G., Hollberg, A., Kuittinen, M., Lavagna, M., Lupišek, A., Passer, A., Peuportier, B., Ramseier, L., Röck, M., Trigaux, D. & Vancso, D. (2019a). Environmental benchmarks for buildings: needs, challenges and solutions – 71st LCA forum, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 18 June 2019. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(12), 2272-2280.
- Frischknecht, R., Birgisdottir, H., Chae, C.U., Lützkendorf, T., Passer, A., Alsema, E., Balouktsi, M., Berg, B., Dowdell, D., García Martínez, A., Habert, G., Hollberg, A., König, H., Lasvaux, S., Llatas, C., Nygaard Rasmussen, F., Peuportier, B., Ramseier, L., Röck, M., Soust Verdaguer, B., Szalay, Z., Bohne, R. A., Bragança, L., Cellura, M., Chau, C. K., Dixit, M., Francart, N., Gomes, V., Huang, L., Longo, S., Lupišek, A., Martel, J., Mateus, R., Ouellet-Plamondon, C., Pomponi, F., Ryklová, P., Trigaux, D. & Yang, W. (2019b). Comparison of the environmental assessment of an identical office building with national methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323, 012037.
- Fuglseth, M. (2016). *Klimagassberegninger Villa Dammen*. Oslo: Asplan Viak.
- Fufa, S.M., Mellegård, S., Wiik, M.K., Flyen, C., Hasle, G., Bach, L., Gonzalez, P., Løe, E. S. & Idsøe, F. (2018). *Utslippsfrie byggeplasser – State of the art. Veileder for innovative anskaffelsesprosesser*. SINTEF Fag 49. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Fufa, S.M., Schlanbusch, R.D., Sørnes, K., Inman, M. & Andresen, I. (2016). *A Norwegian ZEB Definition Guideline*. ZEB Project report no 29. Oslo: SINTEF Academic Press.
- Fufa, S.M., Wiik, M.K. & Andresen, I. (2019a). Estimated and actual construction inventory data in embodied GHG emission calculations for a Norwegian zero emission building (ZEB) construction site. I P. Kaparaju et al. (Red.). *Smart Innovation, Systems and Technologies*. Switzerland: Springer Nature Switzerland.

- Fufa, S. M., Wiik, M.K., Mellegård, S. & Andresen, I. (2019b). Lessons learnt from the design and construction strategies of two Norwegian low emission construction sites. *Eart and Environmental Science*, 352, 012021.
- Fufa, S.M., Wiik, M.K., Schlanbusch, R.D. & Andresen, I. (2017). The influence of estimated service life on the embodied emission of ZEBs when choosing low-carbon building product. *XIV International Conference on Durability of Building Materials and Components*, 2017 29-31 May 2017, Ghent, Belgium.
- Georges, L., Haase, M., Houlihan Wiberg, A., Kristjansdottir, T. & Risholt, B. (2015). Life cycle emissions analysis of two nZEB concepts. *Building Research & Information*, 43(1), 82-93.
- Ghose, A., McLaren, S. J., Dowdell, D., & Phipps, R. (2017). Environmental assessment of deep energy refurbishment for energy efficiency-case study of an office building in New Zealand. *Building and Environment*, 117, 274-287.  
Doi:10.1016/j.buildenv.2017.03.012
- Godbolt, Å.L., Flyen, C. & Hauge, Å.L. (2018). Future resilience of cultural heritage buildings – how do residents make sense of public authorities' sustainability measures? *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 9(1), 18-30.
- Goubran, S., & Cucuzzella, C. (2019). Integrating the Sustainable Development Goals in Building Projects. *Journal of Sustainability Research*.
- Graabak, I., Bakken, B.H. & Feilberg, N. (2014). Zero emission building and conversion factors between electricity consumption and emissions of greenhouse gases in a long term perspective. *Environmental and Climate Technologies*, 13(1).
- Gradeci, K. & Labonnote, N. (2019). On the potential of integrating building information modelling (BIM) for the additive manufacturing (AM) of concrete structures. *Construction Innovation*. <https://doi.org/10.1108/CI-07-2019-0057>.
- Gradeci, K., Labonnote, N., Sivertsen, E. & Time, B. (2019). The use of insurance data in the analysis of surface water flood events – A systematic review. *Journal of Hydrology*, 568, 194-206.
- Gram-Hanssen, K. & Georg, S. (2018). Energy performance gaps: Promises, people, practices. *Building Research & Information*, 46(1), 1-9. DOI: 10.1080/09613218.2017.1356127
- Grytli, E., Andresen, I., Hermstad, K., & Kundsten, W. (2004). *Fiin gammel aargang Energisparing i verneverdige hus*.
- Halogen. (2019). *Avfallsfrie byggeplasser. Bærekraftige byggeplasser gjennom digitalisering og industrialisering av byggebransjen*. Oslo: Halogen AS.
- Hasik, V., Escott, E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B. & Bilec, M.M. (2019). Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. *Building and Environment*, 161, 106218.
- Hagen, V. C (2020). 1152201 Statens hus Vadsø, bygg B. Sammenligning av klimafotavtrykk for rehabilitering av bygg B og et nybygg. 01.04.2020
- HENT (2019). Klimagassregnskap. NHH rehabilitering. 02.12.2019
- Hollberg, A., Lützkendorf, T. & Habert, G. (2019). Top-down or bottom-up? – How environmental benchmarks can support the design process. *Building and Environment*, 153, 148-157.
- Houlihan Wiberg, A., Georges, L., Fufa Mamo, S., Risholt, B. & Stina, G.C. (2015). *A zero emission concept analysis of a single family house: Part 2 sensitivity analysis*. ZEB Project report no 21. Trondheim: SINTEF og NTNU.
- Höfler, K., Maydl, J., Venus, D., Sedlák, J., Struhala, K., Mørck, O.C., Østergaard, I., Thomsen, K.E., Rose, J., Jensen, S.Ø., Zagarella, F., Ferrari, S., Mora, T.d., Romagnoni, P., Kaan, H., Almeida, M., Ferreira, M., Brito, N., Baptista, N., Frago, R., Zubiaga, J.T., Blomsterberg, Å., Citherlet, S. & Périsset, B. (2017). *Shining examples of cost-effective energy and carbon emissions optimization in building renovation (Annex 56)*. International Energy Agency (IEA). Energy in Building and Communities Programme (EBC). Almeida: University of Minho.

- [http://www.iea-annex56.org/Groups/GroupItemID6/Shining%20Examples%20Brochure\\_2nd%20Edition%20\(Annex%2056\).pdf](http://www.iea-annex56.org/Groups/GroupItemID6/Shining%20Examples%20Brochure_2nd%20Edition%20(Annex%2056).pdf).
- Høiby, L. & Sand, H. (2018). Circular economy in the Nordic construction sector. Identification and assessment of potential policy instruments that can accelerate a transition toward a circular economy. *TemaNord*, 2018:517.
- Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L. & Acquaye, A. (2013). Operational vs. embodied emissions in buildings – A review of current trends. *Energy and Buildings*, 66, 232-245.
- ICOMOS Climate Change and Cultural Heritage Working Group. (2019). *The Future of Our Pasts: Engaging Cultural Heritage in Climate Action, July 1 2019*. Paris: ICOMOS.
- IEA EBC (a). *IEA EBC Annex 72 – Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings*. <http://annex72.iea-ebc.org/>.
- IEA EBC (b). *IEA EBC Annex 57 – Evaluation of embodied energy and CO<sub>2eq</sub> for building construction*. <http://www.annex57.org/>.
- IEA EBC (c). *A set of tools developed or adapted to accommodate Annex 56's methodology. International Energy Agency (IEA) Energy in Building and Communities programme (EBC)*. <http://www.iea-annex56.org/index.aspx?MenuID=4&SubMenuID=18>.
- ISO 15686-1. (2011). *Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles and framework*. Geneva: International Organization for standardization.
- ISO, I. (2010). 21931-1: 2010, Sustainability in building construction. Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works. *Part 1: Buildings. International Organization for Standardization*, Geneva.
- Iyer-Raniga, U., & Wong, J. P. C. (2012). Evaluation of whole life cycle assessment for heritage buildings in Australia. *Building and Environment*, 47(1), 138-149. doi:10.1016/j.buildenv.2011.08.001
- Jorgji, O., Di Bari, R., Lenz, K., Gantner, J. & Horn, R. (2019). Analysing the impact of retrofitting and new construction through probabilistic life cycle assessment. A method applied to the environmental-economic payoff value of an intervention case in the Albanian building sector. *Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019: Transition Towards a Net Zero Carbon Built Environment, SBE 2019 Graz*.
- Kaslegard, A.S. (2010). *Climate change and cultural heritage in the Nordic countries*. TemaNord 2010:599. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.
- Klima og miljødepartementet. (2019). *Forskrift om fastsetting av myndighet mv. etter kulturminneloven*. Sist endret FOR-2019-12-13-1747 fra 01.01.2020, FOR-2019-12-13-1749.
- Klima- og miljødepartementet. (2016). *Klima- og miljødepartementets prioriterte forskningsbehov 2016-2021*. Publikasjonskode: T-1552 B. Oslo: Departementet.
- Klima og miljødepartementet. (2001). *Lov om miljøvern på Svalbard (svalbardmiljøloven)*. Sist endret LOV-2019-06-21-54 fra 01.07.2019.
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet. (2019). *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)*. Sist endret LOV-2019-06-21-68 fra 01.01.2020.
- Kristjansdottir, T. F., Good, C. S., Inman, M. R., Schlanbusch, R. D., & Andresen, I. (2016). Embodied greenhouse gas emissions from PV systems in Norwegian residential Zero Emission Pilot Buildings. *Solar Energy*, 133, 155-171.
- Langston, C., Chan, E. H. W., & Yung, E. H. K. (2018). Hybrid Input-Output Analysis of Embodied Carbon and Construction Cost Differences between New-Build and Refurbished Projects. *Sustainability*, 10(9), 3229. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3229>
- Larsen, H.N. (2019). *Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp. En oversikt over klimagassutslipp som kan tilskrives bygg, anlegg og eiendomssektoren (BAE) i Norge*. Oslo: Asplan viak.

- Lasvaux, S., Favre, D., Périsset, B., Mahroua, S. & Citherlet, S. (2017). *Life cycle assessment for cost-effective energy and carbon emissions optimization in building renovation (Annex 56)*. International Energy Agency (IEA) Energy in Building and Communities programme (EBC).
- Lavagna, M., Baldassarri, C., Campioli, A., Giorgi, S., Dalla Valle, A., Castellani, V. & Sala, S. (2018). Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential building stock. *Building and Environment*, 145, 260-275.
- Lendlease. (2017). *Retrofitting old buildings can provide immediate environmental benefits*. <http://www.lendlease.com/better-places/20170317-refitting-old-buildings/>.
- Lucuik, M., Huffman, A., Trusty, W. & Prefasi, A. (2010). The greenest building is the one that is never built: A life-cycle assessment study of embodied effects for historic buildings. *11th International Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings, Buildings XI*, 2010.
- Malmqvist, T., Nehasilova, M., Moncaster, A., Birgisdottir, H., Nygaard Rasmussen, F., Houlihan Wiberg, A. & Potting, J. (2018). Design and construction strategies for reducing embodied impacts from buildings – Case study analysis. *Energy and Buildings*, 166, 35-47.
- Marique, A.-F. & Rossi, B. (2018). Cradle-to-grave life-cycle assessment within the built environment: Comparison between the refurbishment and the complete reconstruction of an office building in Belgium. *Journal of Environmental Management*, 224, 396-405.
- Marsh, R. (2017). Building lifespan: effect on the environmental impact of building components in a Danish perspective. *Architectural Engineering and Design Management*, 13(2), 80-100.
- Meijer, A. & Kara, E.C. (2012). Renovation or rebuild? An LCA case study of three types of houses. BSA 2012. [https://www.academia.edu/5007666/Renovation\\_or\\_rebuild\\_An\\_LCA\\_case\\_study\\_of\\_three\\_types\\_of\\_houses](https://www.academia.edu/5007666/Renovation_or_rebuild_An_LCA_case_study_of_three_types_of_houses)
- Miljøverndepartementet. (2010). *Tilpasning til eit klima i endring*. NOU 2010:10. Oslo: Departementet.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D.G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med*, 6(7), e1000097.
- Moncaster, A.M., Rasmussen, F.N., Malmqvist, T., Houlihan Wiberg, A. & Birgisdottir, H. (2019). Widening understanding of low embodied impact buildings: Results and recommendations from 80 multi-national quantitative and qualitative case studies. *Journal of Cleaner Production*, 235, 378-393.
- NGBC. (2019). *Tenk deg om før du river. Tips for å gjennomføre et vellykket byggeprosjekt uten å rive*. u.s.: Grønn Byggallianse.
- NS 3451(2009). *Bygningsdelstabell*. Standard Norge, Oslo, Norway.
- NS-EN 15643-1. (2010). *Sustainability of construction works - Sustainability assessment of buildings - Part 1: General framework*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- NS-EN 15978. (2011). *Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøprestasjon - Beregningsmetode / Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- NS-EN 16883:2017. (2017). *Conservation of cultural heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic buildings*. Standard Norge, Oslo, Norway.
- NS 3720 (2018). *Metode for klimagassberegninger for bygninger / Method for greenhouse gas calculations for buildings*. Standard Norge, Oslo, Norway.
- Ott, W., Bolliger, R., Ritter, V., Citherlet, S., Lasvaux, S., Favre, D., Périsset, B., Almeida, M.d., Ferreira, M. & Ferrari, S. (2017). *Methodology for cost effective energy and*

- carbon emissions optimization in building renovation (Annex 56). International Energy Agency (IEA) Energy in Building and Communities programme (EBC).
- Palacios-Munoz, B., Peuportier, B., Gracia-Villa, L., & López-Mesa, B. (2019). Sustainability assessment of refurbishment vs. new constructions by means of LCA and durability-based estimations of buildings lifespans: A new approach. *Building and Environment*, 160, 106203. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106203>
- Pesonen, H.-L., Ekvall, T., Fleischer, G., Huppes, G., Jahn, C., Klos, Z.S., Rebitzer, G., Sonnemann, G.W., Tintinelli, A., Weidema, B.P. & Wenzel, H. (2000). Framework for scenario development in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 5(1), 21.
- Petticrew, M. & Roberts, H. (2008). *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. Malden, Mass.: Blackwell.
- Pombo, O., Rivela, B. & Neila, J. (2016). The challenge of sustainable building renovation: assessment of current criteria and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, 123, 88-100.
- Powerhouse. (u.å.). *Powerhouse Kjørbo*.  
<https://www.powerhouse.no/en/prosjekter/powerhouse-kjorbo/>.
- Pracchi, V. (2014). Historic Building and Energy Efficiency. *The Historic Environment*. Vol. 5, No 2, July 2014., pp. 210-225
- Preservation Green Lab. (2011). *The greenest building: Quantifying the environmental value of building reuse*. [https://living-future.org/wp-content/uploads/2016/11/The\\_Greenest\\_Building.pdf](https://living-future.org/wp-content/uploads/2016/11/The_Greenest_Building.pdf).
- QSR. (u.å.). *NVivo qualitative data analysis software. Version 12* [online].
- Ramirez-Villegas, R., Eriksson, O. & Olofsson, T. (2019). Life cycle assessment of building renovation measures – trade-off between building materials and energy. *Energies*, 12(3).
- Rodrigues, C. and Freire, F. 2017. Building retrofit addressing occupancy: An integrated cost and environmental life-cycle analysis. *Energy and Buildings*, 140, 388-398.
- Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., Handa, C., Kheshgi, H., Kobayashi, S., Kriegler, E., Mundaca, L., Séférian, R. and Vilarinho, M. V. (2018). Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Röck, M., Saade, M.R.M., Balouktsi, M., Rasmussen, F.N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., Habert, G., Lützkendorf, T. & Passer, A. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258, 114107.
- Rønningen, O. (2018). *Stjernehus borettslag, Kristiansand. Klimagassregnskap*.  
<https://www.arkitektur.no/stjernehus-borettslag-oppgradering?iid=430389&pid=NAL-EcoProject-Attachments.Native-InnerFile-File>
- Sartori, I., Sandberg, N.H. & Brattebø, H. (2016). Dynamic building stock modelling: General algorithm and exemplification for Norway. *Energy and Buildings*, 132, 13-25.
- Sandberg, N.H. (2017). *Dynamic modelling of national dwelling stocks. Understanding phenomena of historical observed energy demand and future estimated energy savings in the Norwegian dwelling stock* (Doktoravhandling). Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.

- Schlegl, F., Gantner, J., Traunspurger, R., Albrecht, S. and Leistner, P. 2019. LCA of buildings in Germany: Proposal for a future benchmark based on existing databases. *Energy and Buildings*, 194, 342-350.
- Schlanbusch, R.D., Fufa, S.M., Häkkinenb, T., Varesb, S., Birgisdottirc, H. & Ylménd, P. (2016). Experiences with LCA in the Nordic building industry – challenges, needs and solutions. *Energy Procedia*, 96, 82-93.
- Selvig, E., Kjendseth Wiik, M. & Sørensen, Å.L. (2017). *Campus Evenstad – Jakten på nullutslippsbygget ZEB-COM*. Oslo: Statsbygg.
- SINTEF. (2016). 473.003 Energieffektive bygninger. Begreper og definisjoner. *Byggforskserien*. Oslo: SINTEF
- Skaar, C., Elvebakk, K. & Skeie, K.S. (2018). *Klimafotspor fra byggematerialer ved ambisiøs oppgradering av boligblokker*. SINTEF Notat 27. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Skeie, K., Lien, A. G., Skaar, C., Olsen, E., Skippervik, R., Iversen, B. I., & Westermann, P. K. (2018). Rehabilitering av borettslag til nesten nullenerginivå. En mulighetsstudie for Boligbyggelaget TOBB. *SINTEF Notat*.
- SmartCitiesWorld. (2019). *Cities commit to 'clean construction' to cut building emissions by up to 44 per cent*. News 09.10.2019.  
<https://www.smartcitiesworld.net/news/news/cities-commit-to-clean-construction-to-cut-building-emissions-by-up-to-44-per-cent--4665>.
- SSB. (2019a). *Mindre til materialgjennvinning*. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/mindre-til-materialgjennvinning>.
- SSB. (2019b). *Liten endring i utslipp av klimagasser*. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/liten-endring-i-utslipp-av-klimagasser>.
- SSB. (2018a). *Avfall fra byggeaktivitet*. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/avfbygganl>.
- SSB. (2018b). *Utslipp av klimagasser fra norsk territorium. 2018*. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/faktaside/miljo#blokk-2>.
- Svensson, A., Haugen, A., Kalbakk, T. E., & Gåsbak, J. (2012). *Energieffektivisering i eksisterende bygninger. Energisparingens konsekvenser på kulturhistorisk verdifulle bygg*. Versjon 3.
- Sørensen, Å.L., Andresen, I., Walnum, H., Alonso, M.J., Fufa, S.M., Jenssen, B., Rådstoga, O., Hegli, T. & Fjeldheim, H. (2017). *Pilot building Powerhouse Kjørbo. As built report*. ZEB Project report no. 38. Trondheim: SINTEF og NTNU.
- Thyholt & Lystad, 2016 *Klimagassnotat for FutureBuilt-prosjekter som benytter BREEAM-NOR* Prosjektnavn: *Powerhouse Kjørbo Hovedresultater og sammenligning av alternativer*. <https://www.futurebuilt.no/content/download/7478/64208>
- Ulvan, V.S. & Reenaas. (2019). *Innledende klimagassberegninger Bergen rådhus*. Rambøll.
- UN. (a). *Sustainable Development Goals*. <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs/>  
<https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>. “The content of this publication has not been approved by the United Nations and does not reflect the views of the United Nations or its officials or Member States”
- Undervisningsbygg. (2018). *Stasjonsfjellet skole Klimagassberegning*.  
<https://www.futurebuilt.no/content/download/13968/94583>
- UNEP. (2019a). *Emissions Gap Report 2019. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi*. <https://www.unenvironment.org/emissionsgap>.
- UNEP. (2019b). *Lessons from a decade of emissions gap assessments. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi*.  
<https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-10-year-summary>
- UNEP. (2019c). *2019 Global Status Report for buildings and Construction. Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. United Nations Environment Programme (UNEP)*.  
<https://www.unenvironment.org/resources/publication/2019-global-status-report-buildings-and-construction-sector>.

- UNEP. (2019d). *Emissions Gap Report 2019. Executive summary. United Nations Environment Programme (UNEP)*. <https://unepdtu.org/publications/emissions-gap-report-2019-executive-summary/>.
- Vilches, A., Garcia-Martinez, A. & Sanchez-Montañes, B. (2017). Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. *Energy and Buildings*, 135, 286-301.
- Wang, Q., Laurenti, R. and Holmberg, S. (2015). A novel hybrid methodology to evaluate sustainable retrofitting in existing Swedish residential buildings. *Sustainable Cities and Society*, 16(C), 24-38.
- Wastiels, L., Janssen, A., Decuyper, R., & Vrijders, J. (2016). *DEMOLITION VERSUS DEEP RENOVATION OF RESIDENTIAL BUILDINGS: CASE STUDY WITH ENVIRONMENTAL AND FINANCIAL EVALUATION OF DIFFERENT CONSTRUCTION SCENARIOS*.
- Weidema, B., Goedkoop, M. and Mieras, E. (2018). Making the SDGs relevant to business Existing knowledge on the linking of SDGs to business needs and the role of LCA in meeting the needs and filling the gaps. *PRé Sustainability & 2.-0 LCA consultants*.
- Wiik, M.K., Fufa, S.M., Kristjansdottir, T. & Andresen, I. (2018). Lessons learnt from embodied GHG emission calculations in zero emission buildings (ZEBs) from the Norwegian ZEB research centre. *Energy and Buildings*, 165, 25-34.
- Wiik, M.K., Selvig, E., Fuglseth, M., Lausset, C., Resch, E., Andresen, I., Brattebø, H. & Hahn, U. (2020, under utgivelse). GHG emission requirements and benchmark values for Norwegian buildings. Scientific paper accepted to the World sustainable built environment conference (BEYOND 2020), June 9-11, 2020. Gothenburg, Sweden.
- Wiik, M.K., Sørensen, Å.L., Selvig, E., Cervenka, Z., Fufa, S.M. & Andresen, I. (2017). *ZEB Pilot Campus Evenstad. Administration and educational building. As-built report*. ZEB Project report no 36. Trondheim: SINTEF og NTNU.
- Wrålsen, B., O'Born, R. & Skaar, C. (2018). Life cycle assessment of an ambitious renovation of a Norwegian apartment building to nZEB standard. *Energy and Buildings*, 177, 197-206.
- Zumsteg, J.M., Cooper, J.S. & Noon, M.S. (2012). Systematic review checklist. A standardized technique for assessing and reporting reviews of life cycle assessment data. *Journal of Industrial Ecology*, 16(s1), S12-S21.

## Vedlegg 1: Nøkkelord

### 1.1 Norske søkeord brukt I Google Scholar

Intitle:Livssyklusanalyse AND bygning AND renovering  
intitle:livsløpsanalyse AND bygning AND renovering  
intitle:klimagassregnskap AND bygning AND renovering  
intitle:Livssyklusanalyse AND bygg AND renovering  
intitle:livsløpsanalyse AND bygg AND renovering  
intitle:klimagassregnskap AND bygg AND renovering  
Intitle:Livssyklusanalyse AND boliger AND renovering  
intitle:livsløpsanalyse AND boliger AND renovering  
intitle:klimagassregnskap AND boliger AND renovering  
intitle:Livssyklusanalyse AND vernede bygninger AND renovering  
intitle:livsløpsanalyse AND vernede bygninger AND renovering  
intitle:klimagassregnskap AND vernede bygninger AND renovering  
Intitle:Livssyklusanalyse AND kulturminne AND renovering  
intitle:livsløpsanalyse AND kulturminne AND renovering  
intitle:klimagassregnskap AND kulturminne AND renovering  
Intitle:Livssyklusanalyse AND bygning AND rehabilitering  
intitle:livsløpsanalyse AND bygning AND rehabilitering  
intitle:klimagassregnskap AND bygning AND rehabilitering  
intitle:Livssyklusanalyse AND bygg AND rehabilitering  
intitle:livsløpsanalyse AND bygg AND rehabilitering  
intitle:klimagassregnskap AND bygg AND rehabilitering  
Intitle:Livssyklusanalyse AND boliger AND rehabilitering  
intitle:livsløpsanalyse AND boliger AND rehabilitering  
intitle:klimagassregnskap AND boliger AND rehabilitering  
intitle:Livssyklusanalyse AND vernede bygninger AND rehabilitering  
intitle:livsløpsanalyse AND vernede bygninger AND rehabilitering  
intitle:klimagassregnskap AND vernede bygninger AND rehabilitering  
Intitle:Livssyklusanalyse AND kulturminne AND rehabilitering  
intitle:livsløpsanalyse AND kulturminne AND rehabilitering  
intitle:klimagassregnskap AND kulturminne AND rehabilitering  
Intitle:Livssyklusanalyse AND bygning AND ombygging  
intitle:livsløpsanalyse AND bygning AND ombygging  
intitle:klimagassregnskap AND bygning AND ombygging  
intitle:Livssyklusanalyse AND bygg AND ombygging  
intitle:livsløpsanalyse AND bygg AND ombygging  
intitle:klimagassregnskap AND bygg AND ombygging  
Intitle:Livssyklusanalyse AND boliger AND ombygging  
intitle:livsløpsanalyse AND boliger AND ombygging  
intitle:klimagassregnskap AND boliger AND ombygging  
intitle:Livssyklusanalyse AND vernede bygninger AND ombygging  
intitle:livsløpsanalyse AND vernede bygninger AND ombygging  
intitle:klimagassregnskap AND vernede bygninger AND ombygging  
Intitle:Livssyklusanalyse AND kulturminne AND ombygging  
intitle:livsløpsanalyse AND kulturminne AND ombygging  
intitle:klimagassregnskap AND kulturminne AND ombygging  
Intitle:Livssyklusanalyse AND bygning AND oppgradering  
intitle:livsløpsanalyse AND bygning AND oppgradering  
intitle:klimagassregnskap AND bygning AND oppgradering  
intitle:Livssyklusanalyse AND bygg AND oppgradering  
intitle:livsløpsanalyse AND bygg AND oppgradering

intitle:klimagassregnskap AND bygg AND oppgradering  
Intitle:Livssyklusanalyse AND boliger AND oppgradering  
intitle:livsløpsanalyse AND boliger AND oppgradering  
intitle:klimagassregnskap AND boliger AND oppgradering  
intitle:Livssyklusanalyse AND vernede bygninger AND oppgradering  
intitle:livsløpsanalyse AND vernede bygninger AND oppgradering  
intitle:klimagassregnskap AND vernede bygninger AND oppgradering  
Intitle:Livssyklusanalyse AND kulturminne AND oppgradering  
intitle:livsløpsanalyse AND kulturminne AND oppgradering  
intitle:klimagassregnskap AND kulturminne AND oppgradering  
Intitle:Livssyklusanalyse AND bygning AND bevaring  
intitle:livsløpsanalyse AND bygning AND bevaring  
intitle:klimagassregnskap AND bygning AND bevaring  
intitle:Livssyklusanalyse AND bygg AND bevaring  
intitle:livsløpsanalyse AND bygg AND bevaring  
intitle:klimagassregnskap AND bygg AND bevaring  
Intitle:Livssyklusanalyse AND boliger AND bevaring  
intitle:livsløpsanalyse AND boliger AND bevaring  
intitle:klimagassregnskap AND boliger AND bevaring  
intitle:Livssyklusanalyse AND vernede bygninger AND bevaring  
intitle:livsløpsanalyse AND vernede bygninger AND bevaring  
intitle:klimagassregnskap AND vernede bygninger AND bevaring  
Intitle:Livssyklusanalyse AND kulturminne AND bevaring  
intitle:livsløpsanalyse AND kulturminne AND bevaring  
intitle:klimagassregnskap AND kulturminne AND bevaring  
Intitle:Livssyklusanalyse AND bygning AND restaurering  
intitle:livsløpsanalyse AND bygning AND restaurering  
intitle:klimagassregnskap AND bygning AND restaurering  
intitle:Livssyklusanalyse AND bygg AND restaurering  
intitle:livsløpsanalyse AND bygg AND restaurering  
intitle:klimagassregnskap AND bygg AND restaurering  
Intitle:Livssyklusanalyse AND boliger AND restaurering  
intitle:livsløpsanalyse AND boliger AND restaurering  
intitle:klimagassregnskap AND boliger AND restaurering  
intitle:Livssyklusanalyse AND vernede bygninger AND restaurering  
intitle:livsløpsanalyse AND vernede bygninger AND restaurering  
intitle:klimagassregnskap AND vernede bygninger AND restaurering  
Intitle:Livssyklusanalyse AND kulturminne AND restaurering  
intitle:livsløpsanalyse AND kulturminne AND restaurering  
intitle:klimagassregnskap AND kulturminne AND restaurering

## 1.2 Svenske søkeord brukt i Google Scholar

Intitle:Livscykelanalys AND byggnad AND renovering  
Intitle:LCA AND byggnad AND renovering  
Intitle:Livscykelanalys AND bostad AND renovering  
Intitle:LCA AND bostad AND renovering  
Intitle:Livscykelanalys AND bostäder AND renovering  
Intitle:LCA AND bostäder AND renovering  
Intitle:Livscykelanalys AND bostadshus AND renovering  
Intitle:LCA AND bostadshus AND renovering  
Intitle:Livscykelanalys AND kulturminne AND renovering  
Intitle:LCA AND kulturminne AND renovering

Intitle:Livscykelanalys AND byggnad AND återställande  
Intitle:LCA AND byggnad AND återställande  
Intitle:Livscykelanalys AND bostad AND återställande  
Intitle:LCA AND bostad AND återställande  
Intitle:Livscykelanalys AND bostäder AND återställande  
Intitle:LCA AND bostäder AND återställande  
Intitle:Livscykelanalys AND bostadshus AND återställande  
Intitle:LCA AND bostadshus AND återställande

Intitle:Livscykelanalys AND kulturminne AND återställande  
Intitle:LCA AND kulturminne AND återställande  
Intitle:Livscykelanalys AND byggnad AND restaurering  
Intitle:LCA AND byggnad AND restaurering  
Intitle:Livscykelanalys AND bostad AND restaurering  
Intitle:LCA AND bostad AND restaurering  
Intitle:Livscykelanalys AND bostäder AND restaurering  
Intitle:LCA AND bostäder AND restaurering  
Intitle:Livscykelanalys AND bostadshus AND restaurering  
Intitle:LCA AND bostadshus AND restaurering  
Intitle:Livscykelanalys AND kulturminne AND restaurering  
Intitle:LCA AND kulturminne AND restaurering

Intitle:Livscykelanalys AND byggnad AND ombygging  
Intitle:LCA AND byggnad AND ombygging  
Intitle:Livscykelanalys AND bostad AND ombygging  
Intitle:LCA AND bostad AND ombygging  
Intitle:Livscykelanalys AND bostäder AND ombygging  
Intitle:LCA AND bostäder AND ombygging  
Intitle:Livscykelanalys AND bostadshus AND ombygging  
Intitle:LCA AND bostadshus AND ombygging  
Intitle:Livscykelanalys AND kulturminne AND ombygging  
Intitle:LCA AND kulturminne AND ombygging

Intitle:Livscykelanalys AND byggnad AND uppgradering  
Intitle:LCA AND byggnad AND uppgradering  
Intitle:Livscykelanalys AND bostad AND uppgradering  
Intitle:LCA AND bostad AND uppgradering  
Intitle:Livscykelanalys AND bostäder AND uppgradering  
Intitle:LCA AND bostäder AND uppgradering  
Intitle:Livscykelanalys AND bostadshus AND uppgradering  
Intitle:LCA AND bostadshus AND uppgradering  
Intitle:Livscykelanalys AND kulturminne AND uppgradering  
Intitle:LCA AND kulturminne AND uppgradering

Intitle:Livscykelanalys AND byggnad AND bevarande  
Intitle:LCA AND byggnad AND bevarande  
Intitle:Livscykelanalys AND bostad AND bevarande  
Intitle:LCA AND bostad AND bevarande  
Intitle:Livscykelanalys AND bostäder AND bevarande  
Intitle:LCA AND bostäder AND bevarande  
Intitle:Livscykelanalys AND bostadshus AND bevarande  
Intitle:LCA AND bostadshus AND bevarande  
Intitle:Livscykelanalys AND kulturminne AND bevarande  
Intitle:LCA AND kulturminne AND bevarande

Intitle:Livscykelanalys AND byggnad AND restaurering  
Intitle:LCA AND byggnad AND restaurering  
Intitle:Livscykelanalys AND bostad AND restaurering  
Intitle:LCA AND bostad AND restaurering  
Intitle:Livscykelanalys AND bostäder AND restaurering  
Intitle:LCA AND bostäder AND restaurering  
Intitle:Livscykelanalys AND bostadshus AND restaurering  
Intitle:LCA AND bostadshus AND restaurering  
Intitle:Livscykelanalys AND kulturminne AND restaurering  
Intitle:LCA AND kulturminne AND restaurering

### 1.3 Danske søkeord brukt i Google Scholar

intitle:livscyklusanalyse AND byggnad AND renovering  
intitle:LCA AND byggnad AND renovering  
intitle:livscyklusanalyse AND bolig AND renovering  
intitle:LCA AND bolig AND renovering  
intitle:livscyklusanalyse AND bevaringsværdig byggnad AND renovering  
intitle:LCA AND bevaringsværdig byggnad AND renovering  
intitle:livscyklusanalyse AND kulturminne AND renovering  
intitle:LCA AND kulturminne AND renovering  
intitle:livscyklusanalyse AND byggnad AND restaurering  
intitle:LCA AND byggnad AND restaurering  
intitle:livscyklusanalyse AND bolig AND restaurering  
intitle:LCA AND bolig AND restaurering  
intitle:livscyklusanalyse AND bevaringsværdig byggnad AND restaurering  
intitle:LCA AND bevaringsværdig byggnad AND restaurering  
intitle:livscyklusanalyse AND kulturminne AND restaurering  
intitle:LCA AND kulturminne AND restaurering  
intitle:livscyklusanalyse AND byggnad AND retrofitting  
intitle:LCA AND byggnad AND retrofitting  
intitle:livscyklusanalyse AND bolig AND retrofitting  
intitle:LCA AND bolig AND retrofitting  
intitle:livscyklusanalyse AND bevaringsværdig byggnad AND retrofitting  
intitle:LCA AND bevaringsværdig byggnad AND retrofitting  
intitle:livscyklusanalyse AND kulturminne AND retrofitting  
intitle:LCA AND kulturminne AND retrofitting  
intitle:livscyklusanalyse AND byggnad AND opgradering  
intitle:LCA AND byggnad AND opgradering  
intitle:livscyklusanalyse AND bolig AND opgradering  
intitle:LCA AND bolig AND opgradering  
intitle:livscyklusanalyse AND bevaringsværdig byggnad AND opgradering  
intitle:LCA AND bevaringsværdig byggnad AND opgradering  
intitle:livscyklusanalyse AND kulturminne AND opgradering  
intitle:LCA AND kulturminne AND opgradering  
intitle:livscyklusanalyse AND byggnad AND konservering  
intitle:LCA AND byggnad AND konservering  
intitle:livscyklusanalyse AND bolig AND konservering  
intitle:LCA AND bolig AND konservering  
intitle:livscyklusanalyse AND bevaringsværdig byggnad AND konservering  
intitle:LCA AND bevaringsværdig byggnad AND konservering  
intitle:livscyklusanalyse AND kulturminne AND konservering  
intitle:LCA AND kulturminne AND konservering  
intitle:livscyklusanalyse AND byggnad AND restaurering  
intitle:LCA AND byggnad AND restaurering  
intitle:livscyklusanalyse AND bolig AND restaurering  
intitle:LCA AND bolig AND restaurering  
intitle:livscyklusanalyse AND bevaringsværdig byggnad AND restaurering  
intitle:LCA AND bevaringsværdig byggnad AND restaurering  
intitle:livscyklusanalyse AND kulturminne AND restaurering  
intitle:LCA AND kulturminne AND restaurering  
intitle:livscyklusanalyse AND hus AND renovering  
intitle:LCA AND hus AND renovering

intitle:livscyklusanalyse AND hus AND restaurering  
 intitle:LCA AND hu2 AND restaurering  
 intitle:livscyklusanalyse AND hus AND retrofitting  
 intitle:LCA AND hus AND retrofitting  
 intitle:livscyklusanalyse AND hus AND opgradering  
 intitle:LCA AND hus AND opgradering  
 intitle:livscyklusanalyse AND hus AND opgradering  
 intitle:LCA AND hus AND opgradering  
 intitle:LCA AND hus AND konservering  
 intitle:livscyklusanalyse AND hus AND restaurering  
 intitle:LCA AND hus AND restaurering  
 intitle:livscyklusanalyse AND boligbygning AND renovering  
 intitle:LCA AND boligbygning AND renovering  
 intitle:livscyklusanalyse AND boligbygning AND restaurering  
 intitle:LCA AND hus AND restaurering  
 intitle:livscyklusanalyse AND boligbygning AND retrofitting  
 intitle:LCA AND boligbygning AND retrofitting  
 intitle:livscyklusanalyse AND boligbygning AND opgradering  
 intitle:LCA AND boligbygning AND opgradering  
 intitle:livscyklusanalyse AND boligbygning AND opgradering  
 intitle:LCA AND boligbygning AND opgradering  
 intitle:LCA AND boligbygning AND konservering  
 intitle:livscyklusanalyse AND boligbygning AND restaurering  
 intitle:LCA AND boligbygning AND restaurering  
 intitle:livscyklusanalyse AND bostadshus AND renovering  
 intitle:LCA AND bostadshus AND renovering  
 intitle:livscyklusanalyse AND bostadshus AND restaurering  
 intitle:LCA AND hu2 AND restaurering  
 intitle:livscyklusanalyse AND bostadshus AND retrofitting  
 intitle:LCA AND bostadshus AND retrofitting  
 intitle:livscyklusanalyse AND bostadshus AND opgradering  
 intitle:LCA AND bostadshus AND opgradering  
 intitle:livscyklusanalyse AND bostadshus AND opgradering  
 intitle:LCA AND bostadshus AND opgradering  
 intitle:LCA AND bostadshus AND konservering  
 intitle:livscyklusanalyse AND bostadshus AND restaurering  
 intitle:LCA AND bostadshus AND restaurering

intitle:livscyklusanalyse AND kulturminde AND renovering  
 intitle:LCA AND kulturminde AND renovering  
 intitle:livscyklusanalyse AND kulturminde AND restaurering  
 intitle:LCA AND hus AND restaurering  
 intitle:livscyklusanalyse AND kulturminde AND retrofitting  
 intitle:LCA AND kulturminde AND retrofitting  
 intitle:livscyklusanalyse AND kulturminde AND opgradering  
 intitle:LCA AND kulturminde AND opgradering  
 intitle:livscyklusanalyse AND kulturminde AND opgradering  
 intitle:LCA AND kulturminde AND opgradering  
 intitle:LCA AND kulturminde AND konservering  
 intitle:livscyklusanalyse AND kulturminde AND restaurering  
 intitle:LCA AND kulturminde AND restaurering  
 intitle:livscyklusanalyse AND fredet AND renovering  
 intitle:LCA AND fredet AND renovering  
 intitle:livscyklusanalyse AND fredet AND restaurering  
 intitle:LCA AND hu2 AND restaurering  
 intitle:livscyklusanalyse AND fredet AND retrofitting  
 intitle:LCA AND fredet AND retrofitting  
 intitle:livscyklusanalyse AND fredet AND opgradering  
 intitle:LCA AND fredet AND opgradering  
 intitle:livscyklusanalyse AND fredet AND opgradering  
 intitle:LCA AND fredet AND opgradering  
 intitle:LCA AND fredet AND konservering  
 intitle:livscyklusanalyse AND fredet AND restaurering  
 intitle:LCA AND fredet AND restaurering

## Vedlegg 2: Valgte referanser for den systematiske litteraturstudien

Fra totalt 137 studier funnet i Scopus, Web of science and Engineering village, ble følgende 83 valgt

1. Adamczyk, J., & Dylewski, R. (2017). Changes in heat transfer coefficients in Poland and their impact on energy demand – an environmental and economic assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 530-538. Doi:10.1016/j.rser.2017.04.091
2. Afshari, A., Nikolopoulou, C., & Martin, M. (2014). Life-cycle analysis of building retrofits at the urban scale-a case study in United Arab Emirates. *Sustainability (Switzerland)*, 6(1), 453-473. Doi:10.3390/su6010453
3. Almeida, M., Barbosa, R., & Malheiro, R. (2019). Effect of environmental assessment on primary energy of modular prefabricated panel for building renovation in Portugal. Paper presented at the SBE 2019 Brussels – BAMB-CIRCPATH: Buildings as Material Banks – A Pathway For A Circular Future.
4. Almeida, M., Ferreira, M., & Barbosa, R. (2018). Relevance of embodied energy and carbon emissions on assessing cost effectiveness in building renovation-Contribution from the analysis of case studies in six European countries. *Buildings*, 8(8). Doi:10.3390/buildings8080103
5. Almeida, M., Mateus, R., Ferreira, M., & Rodrigues, A. (2016). Life-cycle costs and impacts on energy-related building renovation assessments. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 7(3-4), 206-213. Doi:10.1080/2093761X.2017.1302837
6. Alsema, E. A., Anink, D., Meijer, A., Straub, A., & Donze, G. (2016). Integration of Energy and Material Performance of Buildings: I=E+M. Paper presented at the SBE16 Tallinn and Helsinki Conference; Build Green and Renovate Deep, 2016, October 5, 2016 – October 7, 2016, Tallinn, Estonia.
7. Asdrubali, F., Ballarini, I., Corrado, V., Evangelisti, L., Grazieschi, G., & Guattari, C. (2019). Energy and environmental payback times for an NZEB retrofit. *Building and Environment*, 147, 461-472. Doi:10.1016/j.buildenv.2018.10.047
8. Beccali, M., Cellura, M., Fontana, M., Longo, S., & Mistretta, M. (2013). Energy retrofit of a single-family house: Life cycle net energy saving and environmental benefits. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 283-293. Doi:10.1016/j.rser.2013.05.040
9. Berg, F., & Fuglseth, M. (2018). Life cycle assessment and historic buildings: Energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway. *Journal of Architectural Conservation*, 24(2), 152-167. Doi:10.1080/13556207.2018.1493664
10. Biswas, K., Shrestha, S. S., Bhandari, M. S., & Desjarlais, A. O. (2016). Insulation materials for commercial buildings in North America: An assessment of lifetime energy and environmental impacts. *Energy and Buildings*, 112, 256-269. Doi:10.1016/j.enbuild.2015.12.013
11. Blengini, G. A., & Di Carlo, T. (2010). Energy-saving policies and low-energy residential buildings: An LCA case study to support decision makers in piedmont (Italy). *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(7), 652-665. Doi:10.1007/s11367-010-0190-5
12. Bottino-Leone, D., Larcher, M., Herrera-Avellanosa, D., Haas, F., & Troi, A. (2019). Evaluation of natural-based internal insulation systems in historic buildings through a holistic approach. *Energy*, 181, 521-531. Doi:10.1016/j.energy.2019.05.139
13. Bras, A., & Gomes, V. (2015). LCA implementation in the selection of thermal enhanced mortars for energetic rehabilitation of school buildings. *Energy and Buildings*, 92, 1-9. Doi:10.1016/j.enbuild.2015.01.007
14. Brecheisen, T., & Theis, T. (2013). The Chicago Center for Green Technology: Life-cycle assessment of a brownfield redevelopment project. *Environmental Research Letters*, 8(1). Doi:10.1088/1748-9326/8/1/015038

15. Bu, S., Shen, G., Anumba, C. J., Wong, A. K. D., & Liang, X. (2015). Literature review of green retrofit design for commercial buildings with BIM implication. *Smart and Sustainable Built Environment*, 4(2), 188-214. Doi:10.1108/SASBE-08-2014-0043
16. Cetiner, I., & Edis, E. (2014). An environmental and economic sustainability assessment method for the retrofitting of residential buildings. *Energy and Buildings*, 74, 132-140. Doi:10.1016/j.enbuild.2014.01.020
17. Conci, M., Konstantinou, T., van den Dobbelsteen, A., & Schneider, J. (2019). Trade-off between the economic and environmental impact of different decarbonisation strategies for residential buildings. *Building and Environment*, 155, 137-144. Doi:10.1016/j.buildenv.2019.03.051
18. Dernie, D., & Gaspari, J. (2015). Building Envelope Over-Cladding: Impact on Energy Balance and Microclimate. *Buildings*, 5(2), 715-735. Doi:10.3390/buildings5020715
19. Dodoo, A., Gustavsson, L., & Sathre, R. (2010). Life cycle primary energy implication of retrofitting a wood-framed apartment building to passive house standard. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1152-1160. Doi:10.1016/j.resconrec.2010.03.010
20. Famuyibo, A. A., Duffy, A., & Strachan, P. (2013). Achieving a holistic view of the life cycle performance of existing dwellings. *Building and Environment*, 70, 90-101. Doi:10.1016/j.buildenv.2013.08.016
21. Finnegan, S., Jones, C., & Sharples, S. (2018). The embodied CO<sub>2</sub>e of sustainable energy technologies used in buildings: A review article. *Energy and Buildings*, 181, 50-61. Doi:10.1016/j.enbuild.2018.09.037
22. Forster, A. M., Carter, K., Banfill, P. F. G., & Kayan, B. (2011). Green maintenance for historic masonry buildings: an emerging concept. *Building Research and Information*, 39(6), 654-664. Doi:10.1080/09613218.2011.621345
23. Franzoni, E., Volpi, L., Bonoli, A., Spinelli, R., & Gabrielli, R. (2018). *The environmental impact of cleaning materials and technologies in heritage buildings conservation*. *Energy and Buildings*, 165, 92-105. Doi:10.1016/j.enbuild.2018.01.051
24. Fregonara, E., Giordano, R., Ferrando, D. G., & Pattono, S. (2017). Economic-environmental indicators to support investment decisions: A focus on the buildings' end-of-life stage. *Buildings*, 7(3). Doi:10.3390/buildings7030065
25. Galimshina, A., Hollberg, A., Moustapha, M., Sudret, B., Favre, D., Padey, P., . . . Habert, G. (2019). Probabilistic LCA and LCC to identify robust and reliable renovation strategies. Paper presented at the Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019: Transition Towards a Net Zero Carbon Built Environment, SBE 2019 Graz, September 11, 2019 – September 14, 2019, Rechbauerstrasse 12, Graz, Austria.
26. Garavaglia, E., Basso, N., & Sgambi, L. (2018). Probabilistic life-cycle assessment and rehabilitation strategies for deteriorating structures: a case study. *International Journal of Architectural Heritage*, 12(6), 981-996. Doi:10.1080/15583058.2018.1431727
27. Garcia-Perez, S., Sierra-Perez, J., & Boschmonart-Rives, J. (2018). Environmental assessment at the urban level combining LCA-GIS methodologies: A case study of energy retrofits in the Barcelona metropolitan area. *Building and Environment*, 134, 191-204. Doi:10.1016/j.buildenv.2018.01.041
28. Ghose, A., McLaren, S. J., Dowdell, D., & Phipps, R. (2017). Environmental assessment of deep energy refurbishment for energy efficiency-case study of an office building in New Zealand. *Building and Environment*, 117, 274-287. Doi:10.1016/j.buildenv.2017.03.012
29. Hasik, V., Escott, E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B., & Bilec, M. M. (2019). Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. *Building and Environment*, 161. Doi:10.1016/j.buildenv.2019.106218
30. Horvath, S. E., & Szalay, Z. (2012). Decision-making case study for retrofit of high-rise concrete buildings based on life cycle assessment scenarios. In A. Ventura & C. DeLaRoche (Eds.), *International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction: Civil Engineering and Buildings* (Vol. 86, pp. 116-124).

31. Hrabovszky-Horváth, S., & Szalay, Z. (2014). Environmental assessment of a precast concrete building stock in a time perspective. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(11), 2797-2804. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84930221636&partnerID=40&md5=094f8c56319bff0c38da7aa9a8de95f2>
32. Hu, M. (2017). Balance between energy conservation and environmental impact: Life-cycle energy analysis and life-cycle environmental impact analysis. *Energy and Buildings*, 140, 131-139. Doi:10.1016/j.enbuild.2017.01.076
33. Hu, M. (2019). Cost-effective options for the renovation of an existing education building toward the nearly net-zero energy goal-life-cycle cost analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 11(8). Doi:10.3390/su11082444
34. Iyer-Raniga, U., & Wong, J. P. C. (2012). Evaluation of whole life cycle assessment for heritage buildings in Australia. *Building and Environment*, 47(1), 138-149. Doi:10.1016/j.buildenv.2011.08.001
35. Jorgji, O., Di Bari, R., Lenz, K., Gantner, J., & Horn, R. (2019). *Analysing the impact of retrofitting and new construction through probabilistic life cycle assessment. A method applied to the environmental-economic payoff value of an intervention case in the Albanian building sector. Paper presented at the Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019: Transition Towards a Net Zero Carbon Built Environment, SBE 2019 Graz.*
36. Judson, P., & Iyer-Raniga, U. (2010). Reinterpreting the value of built heritage for sustainable development.
37. Karoglou, M., Kyvelou, S. S., Boukouvalas, C., Theofani, C., Bakolas, A., Krokida, M., & Moropoulou, A. (2019). Towards a preservation-sustainability nexus: Applying LCA to reduce the environmental footprint of modern built heritage. *Sustainability (Switzerland)*, 11(21). Doi:10.3390/su11216147
38. Kmet'kova, J., & Krajcik, M. (2015). Energy efficient retrofit and life cycle assessment of an apartment building. In M. Perino (Ed.), 6<sup>th</sup> International Building Physics Conference (Vol. 78, pp. 3186-3191).
39. Kofoworola, O. F., & Gheewala, S. H. (2009). Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand. *Energy and Buildings*, 41(10), 1076-1083. Doi:10.1016/j.enbuild.2009.06.002
40. Lessard, Y., Anand, C., Blanchet, P., Frenette, C., & Amor, B. (2018). LEED v4: Where Are We Now? Critical Assessment through the LCA of an Office Building Using a Low Impact Energy Consumption Mix. *Journal of Industrial Ecology*, 22(5), 1105-1116. Doi:10.1111/jiec.12647
41. Lucuik, M., Huffman, A., Trusty, W., & Prefasi, A. (2010). The greenest building is the one that is never built: A life-cycle assessment study of embodied effects for historic buildings. Paper presented at the 11<sup>th</sup> International Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings, Buildings XI.
42. Mangan, S. D., & Oral, G. K. (2015). *A study on life cycle assessment of energy retrofit strategies for residential buildings in Turkey. Paper presented at the 6<sup>th</sup> International Building Physics Conference, IBPC 2015, June 14, 2015 – June 17, 2015, Torino, Italy.*
43. Marique, A. F., & Rossi, B. (2018). Cradle-to-grave life-cycle assessment within the built environment: Comparison between the refurbishment and the complete reconstruction of an office building in Belgium. *Journal of Environmental Management*, 224, 396-405. Doi:10.1016/j.jenvman.2018.02.055
44. Mateus, R., Silva, S. M., & de Almeida, M. G. (2019). *Environmental and cost life cycle analysis of the impact of using solar systems in energy renovation of Southern European single-family buildings. Renewable Energy*, 82-92. Doi:10.1016/j.renene.2018.04.036
45. Menna, C., Caruso, M. C., Asprone, D., & Prota, A. (2016). Environmental sustainability assessment of structural retrofit of masonry buildings based on LCA. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 1-10. Doi:10.1080/19648189.2016.1232663

46. Moncaster, A. M., Rasmussen, F. N., Malmqvist, T., Houlihan Wiberg, A., & Birgisdottir, H. (2019). Widening understanding of low embodied impact buildings: Results and recommendations from 80 multi-national quantitative and qualitative case studies. *Journal of Cleaner Production*, 235, 378-393. Doi:10.1016/j.jclepro.2019.06.233
47. Moschetti, R., & Brattebo, H. (2017). Combining life cycle environmental and economic assessments in building energy renovation projects. *Energies*, 10(11). Doi:10.3390/en10111851
48. Munarim, U., & Ghisi, E. (2016). Environmental feasibility of heritage buildings rehabilitation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 235-249. Doi:10.1016/j.rser.2015.12.334
49. Napolano, L., Menna, C., Asprone, D., Prota, A., & Manfredi, G. (2015). LCA-based study on structural retrofit options for masonry buildings. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(1), 23-35. Doi:10.1007/s11367-014-0807-1
50. Napolano, L., Menna, C., Asprone, D., Prota, A., & Manfredi, G. (2015). Life cycle environmental impact of different replacement options for a typical old flat roof. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(5), 694-708. Doi:10.1007/s11367-015-0852-4
51. Osterbring, M., Mata, E., Thuvander, L., & Wallbaum, H. (2019). Explorative life-cycle assessment of renovating existing urban housing-stocks. *Building and Environment*, 165. Doi:10.1016/j.buildenv.2019.106391
52. Palacios-Jaimes, G. Y., Martín-Ramos, P., Rey-Martínez, F. J., & Fernández-Coppel, I. A. (2017). Transformation of a University Lecture Hall in Valladolid (Spain) into a NZEB: LCA of a BIPV System Integrated in Its Façade. *International Journal of Photoenergy*, 2017. Doi:10.1155/2017/2478761
53. Pedinotti-Castelle, M., Astudillo, M. F., Pineau, P. O., & Amor, B. (2019). Is the environmental opportunity of retrofitting the residential sector worth the life cycle cost? A consequential assessment of a typical house in Quebec. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 428-439. Doi:10.1016/j.rser.2018.11.021
54. Pittau, F., Habert, G., & Iannaccone, G. (2019). A Life-Cycle Approach to Building Energy Retrofitting: Bio-Based Technologies for Sustainable Urban Regeneration. Paper presented at the Central Europe towards Sustainable Building 2019, CESB 2019, July 2, 2019 – July 4, 2019, Prague, Czech republic.
55. Pittau, F., Iannaccone, G., Lumia, G., & Habert, G. (2019). Towards a model for circular renovation of the existing building stock: A preliminary study on the potential for CO2 reduction of bio-based insulation materials. Paper presented at the Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019: Transition Towards a Net Zero Carbon Built Environment, SBE 2019 Graz.
56. Pittau, F., Lumia, G., Heeren, N., Iannaccone, G., & Habert, G. (2019). Retrofit as a carbon sink: The carbon storage potentials of the EU housing stock. *Journal of Cleaner Production*, 214, 365-376. Doi:10.1016/j.jclepro.2018.12.304
57. Pombo, O., Allacker, K., Rivela, B., & Neila, J. (2016). Sustainability assessment of energy saving measures: A multi-criteria approach for residential buildings retrofitting – A case study of the Spanish housing stock. *Energy and Buildings*, 116, 384-394. Doi:10.1016/j.enbuild.2016.01.019
58. Pombo, O., Rivela, B., & Neila, J. (2016). The challenge of sustainable building renovation: Assessment of current criteria and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, 123, 88-100. Doi:10.1016/j.jclepro.2015.06.137
59. Pomponi, F., & D'Amico, B. (2017). Holistic study of a timber double skin I: Whole life carbon emissions and structural optimisation. *Building and Environment*, 124, 42-56. doi:10.1016/j.buildenv.2017.07.046

60. Pomponi, F., Piroozfar, P. A. E., Southall, R., Ashton, P., Pirozfar, P., & Farr, E. R. P. (2015). Life cycle energy and carbon assessment of double skin facades for office refurbishments. *Energy and Buildings*, 109, 143-156. doi:10.1016/j.enbuild.2015.09.051
61. Ramirez-Villegas, R., Eriksson, O., & Olofsson, T. (2019). Life cycle assessment of building renovation measures–trade-off between building materials and energy. *Energies*, 12(3). doi:10.3390/en12030344
62. Raposo, C., Rodrigues, F., & Rodrigues, H. (2019). BIM-based LCA assessment of seismic strengthening solutions for reinforced concrete precast industrial buildings. *Innovative Infrastructure Solutions*, 4(1). doi:10.1007/s41062-019-0239-7
63. Rocchi, L., Kadziński, M., Menconi, M. E., Grohmann, D., Miebs, G., Paolotti, L., & Boggia, A. (2018). Sustainability evaluation of retrofitting solutions for rural buildings through life cycle approach and multi-criteria analysis. *Energy and Buildings*, 173, 281-290. doi:10.1016/j.enbuild.2018.05.032
64. Rodrigues, C., & Freire, F. (2017). Adaptive reuse of buildings: Eco-efficiency assessment of retrofit strategies for alternative uses of an historic building. *Journal of Cleaner Production*, 157, 94-105. doi:10.1016/j.jclepro.2017.04.104
65. Rodrigues, C., & Freire, F. (2017). Building retrofit addressing occupancy: An integrated cost and environmental life-cycle analysis. *Energy and Buildings*, 140, 388-398. doi:10.1016/j.enbuild.2017.01.084
66. Rodrigues, C., & Freire, F. (2017). Environmental impact trade-offs in building envelope retrofit strategies. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(4), 557-570. doi:10.1007/s11367-016-1064-2
67. Ronholt, J., Malabi Eberhardt, L. C., Birkved, M., Birgisdottir, H., & Bey, N. (2019). Tracing the environmental impact origin within the existing building portfolio of prevailing building typologies. Paper presented at the 1st Nordic Conference on Zero Emission and Plus Energy Buildings, ZEB+ 2019.
68. Saynajoki, A., Heinonen, J., & Junnila, S. (2012). A scenario analysis of the life cycle greenhouse gas emissions of a new residential area. *Environmental Research Letters*, 7(3). doi:10.1088/1748-9326/7/3/034037
69. Scognamiglio, C. (2018). LCA and LCC Analysis for the Programming of Sustainable Interventions on Building Heritage. In Bo-Ricerche E Progetti Per Il Territorio La Città E L'Architettura, 9(13), 94-103. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000454452600010
70. Sharif, S. A., & Hammad, A. (2019). Developing surrogate ANN for selecting near-optimal building energy renovation methods considering energy consumption, LCC and LCA. *Journal of Building Engineering*, 25. doi:10.1016/j.jobe.2019.100790
71. Sharif, S. A., & Hammad, A. (2019). Simulation-Based Multi-Objective Optimization of institutional building renovation considering energy consumption, Life-Cycle Cost and Life-Cycle Assessment. *Journal of Building Engineering*, 21, 429-445. doi:10.1016/j.jobe.2018.11.006
72. Tadeu, S., Rodrigues, C., Tadeu, A., Freire, F., & Simões, N. (2015). Energy retrofit of historic buildings: Environmental assessment of cost-optimal solutions. *Journal of Building Engineering*, 4, 167-176. doi:10.1016/j.jobe.2015.09.009
73. Tagliabue, L. C., Di Giuda, G. M., Villa, V., De Angelis, E., & Ciribini, A. L. C. (2018). *Techno-economical analysis based on a parametric computational evaluation for decision process on envelope technologies and configurations evaluation for decision process of envelope technologies and configurations*. *Energy and Buildings*, 158, 736-749. doi:10.1016/j.enbuild.2017.10.004
74. Tian, Y., Zhao, Q., & Jian, G. (2011). Study on the life-cycle carbon emission and energy-efficiency management of the large-scale public building in Hangzhou, China. Paper presented at the 2011 International Conference on Computer and Management, CAMAN 2011, Wuhan.

75. Uzilaityte, L., & Martinaitis, V. (2010). Search for optimal solution of public building renovation in terms of life cycle. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 18(2), 102-110. doi:10.3846/jee.2010.12
76. Vitiello, U., Salzano, A., Asprone, D., Di Ludovico, M., & Prota, A. (2016). Life-cycle assessment of seismic retrofit strategies applied to existing building structures. *Sustainability (Switzerland)*, 8(12). doi:10.3390/su8121275
77. Wang, Q., Laurenti, R., & Holmberg, S. (2015). *A novel hybrid methodology to evaluate sustainable retrofitting in existing Swedish residential buildings. Sustainable Cities and Societies* 16(C), 24-38. doi:10.1016/j.scs.2015.02.002
78. Wang, Q., Ploski, A., Song, X., & Holmberg, S. (2016). Ventilation heat recovery jointed low-temperature heating in re-tr-fitting - An investigation of energy conservation, environmental impacts and indoor air quality in Swedish multifamily houses. *Energy and Buildings*, 121, 250-264. doi:10.1016/j.enbuild.2016.02.050
79. Wastiels, L., Janssen, A., Decuypere, R., & Vrijders, J. (2016). *DEMOLITION VERSUS DEEP RENOVATION OF RESIDENTIAL BUILDINGS: CASE STUDY WITH ENVIRONMENTAL AND FINANCIAL EVALUATION OF DIFFERENT CONSTRUCTION SCENARIOS*.
80. Wijnants, L., Allacker, K., & De Troyer, F. (2016). Environmental and Financial Life Cycle Assessment of 'Open-renovation-systems': Methodology and Case Study. Paper presented at the SBE16 Tallinn and Helsinki Conference; Build Green and Renovate Deep, 2016, October–5, 2016 - October 7, 2016, Tallinn, Estonia.
81. Wralsen, B., O'Born, R., & Skaar, C. (2018). *Life cycle assessment of an ambitious renovation of a Norwegian apartment building to nZEB standard. Energy and Buildings*, 177, 197-206. doi:10.1016/j.enbuild.2018.07.036
82. Zabalza Bribian, I., Aranda Usón, A., & Scarpellini, S. (2009). Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44(12), 2510-2520. doi:10.1016/j.buildenv.2009.05.001
83. Zhang, W., Tan, S., Lei, Y., & Wang, S. (2014). Life cycle assessment of a single-family residential building in Canada: A case study. *Building Simulation*, 7(4), 429-438. doi:10.1007/s12273-013-0159-y

I tillegg ble de følgende 12 studiene inkludert i den systematiske gjennomgangen/studien etter en såkalt snowballing tilnærming.

84. Assefa, G., & Ambler, C. (2017). To demolish or not to demolish: Life cycle consideration of repurposing buildings. *Sustainable Cities and Society*, 28, 146-153. doi:https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.011
85. Eskilsson, P., 2015. Renovate or –ebuild? - a comparison of the climate impact from renovation compared to demolition and new construction for a multi-dwelling building built in the era of the “Million Programme” using lifecycle assessment. Institutionen för biologi och miljövetenskap, Göteborgs universitet.
86. Langston, C., Chan, E. H. W., & Yung, E. H. K. (2018). Hybrid Input-Output Analysis of Embodied Carbon and Construction Cost Differences between New-Build and Refurbished Projects. *Sustainability*, 10(9), 3229. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3229>
87. Lasvaux, S., Favre, D., Périsset, B., Bony, J., Hildbrand, C., & Citherlet, S. (2015). Life Cycle Assessment of Energy Related Building Renovation: Methodology and Case Study. *Energy Procedia*, 78, 3496-3501. doi:https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.132
88. Lupíšek, A., Vaculíková, M., Manlík, Š., Hodková, J. and Růžička, J. 2015. Design Strategies for Low Embodied Carbon and Low Embodied Energy Buildings: Principles and Examples. *Energy Procedia*, 83, 147-156.

89. Meijer, A. and Kara, E. C., (2012). Renovation or rebuild? An LCA case study of three types of houses In: Amoêda, R., et al. eds. *Proceedings of the 1st International Conference on Building Sustainability Assessment*. Barcelos: Green Lines Institute for Sustainable Development, 595-602.
90. Palacios-Munoz, B., Peuportier, B., Gracia-Villa, L., & López-Mesa, B. (2019). Sustainability assessment of refurbishment vs. new constructions by means of LCA and durability-based estimations of buildings lifespans: A new approach. *Building and Environment*, 160, 106203. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106203>
91. Preservation Green Lab. (2011). The Greenest Building : Quantifying the Environmental Value of Building Reuse. [https://living-future.org/wp-content/uploads/2016/11/The\\_Greenest\\_Building.pdf](https://living-future.org/wp-content/uploads/2016/11/The_Greenest_Building.pdf). Retrieved from
92. Thibodeau, C., Bataille, A., & Sié, M. (2019). Building rehabilitation life cycle assessment methodology—state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 408-422. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.037>
93. Tomasetta, C., Zucchella, A., & Ferrari, A. M. (2017). THE LIFE CYCLE SUSTAINABILITY ASSESSMENT APPROACH APPLIED TO TANGIBLE CULTURAL HERITAGE CONSERVATION \_ Developing a support instrument for Cultural Heritage Management within a Circular Economy and Life Cycle Thinking.
94. Vilches, A., Garcia-Martinez, A., & Sanchez-Montañes, B. (2017). Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. *Energy and Buildings*, 135, 286-301. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042>
95. Weiler, V., Harter, H., & Eicker, U. (2017). Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment. *Energy and Buildings*, 134, 319-328. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.004>

### **Vedlegg 3: Ekskluderte litteraturstudier fra søkeresultater i Scopus, web of science and engineering village**

#### **26 studier ble ekskludert på grunn av manglende tilgjengelighet til full tekst**

Av totalt 136 identifiserte studier gjennom de akademiske databasene Scopus, Web of science og Engineering village ble 26 studier ekskludert på grunn av manglende tilgjengelighet til fulltekst versjoner av publikasjonene, og ble vurdert som ikke relevante i tråd med ekskluderingskriteriene i studien.

1. Afshari, A., Nikolopoulou, C. and Martin, M., Development of a demand-side marginal cost of carbon abatement curve for the emirate of abu dhabi. ed. 2014 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development, ICUE 2014, 2014 Pattaya.
2. Anon., 2013a. 2nd International Conference on Green Building, Materials and Civil Engineering, GBMCE 2013. 3rd International Conference on Green Building, Materials and Civil Engineering, GBMCE 2013.
3. Anon. 2013b. Standard Practice for Minimum Criteria for Comparing Whole Building Life Cycle Assessments for Use with Building Codes and Rating Systems.
4. Anon. 2014. 5th KKU International Engineering Conference 2014, KKU-IENC 2014. Advanced Materials Research, 931-932, CP; et al; Lighting and Equipment; MITR PHOL; SC - Strong Crete; TCEB.
5. Anon. 2016. Standard Practice for Minimum Criteria for Comparing Whole Building Life Cycle Assessments for Use with Building Codes, Standards, and Rating Systems.
6. Augenbroe, G. and Brown, J., Sustainable buildings: Targets and measurements. ed. Computing and Systems Technology Division 2014 - Core Programming Area at the 2014 AIChE Annual Meeting, 2014, 88-102.
7. Bakhshi, A. A. and DeMonsabert, S. M., A GIS methodology for estimating the carbon footprint in municipal water and wastewater in Fairfax County, Virginia. ed. World Energy Engineering Congress, WEEC 2008, October 1, 2008 - October 3, 2008, 2008 Washington, DC, United states: World Energy Engineering Congress, WEEC 2008, 2121-2128.
8. Borkovskaya, V. G., Environmental and economic model life cycle of buildings based on the concept of "green building". ed. 2013 *International Conference on Materials Science and Mechanical Engineering, ICMSME 2013, October 27, 2013 - October 28, 2013*, 2014 Kuala Lumpur, Malaysia: Applied Mechanics and Materials, 287-290.
9. Costanzo, E. and Neri, P., 2004. Certification of building eco-compatibility and durability: Application to new and existing buildings. In: Marchettini, N., et al. eds. Third International Conference on Urban Regeneration and Sustainability, THE SUSTAINABLE CITY III. Siena, 203-210.
10. Cravero, J., Feraille, A., Versini, P. A., Caron, J. F., Tchiguirinskaia, I. and Baverel, O., Sustainable design of vegetated structures: Building freshness. ed. Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019: Transition Towards a Net Zero Carbon Built Environment, SBE 2019 Graz, September 11, 2019 - September 14, 2019, 2019 Rechbauerstrasse 12, Graz, Austria: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, BAUIMASSIVI; Beckhoff; et al.; Klima- und Energiefonds; Marienhutte; Wienerberger.

11. Fortuna, S., Neri, P. and Peron, F., Social and energy redevelopment of an old building. ed. Building Simulation Applications, BSA 2013 - 1st IBPSA Italy Conference, January 30, 2013 - February 1, 2013, 2013 Bozen-Bolzano, Italy: Building Simulation Application, 95-103.
12. Dimoudi, A. and Zoras, S., 2015. The role of buildings in energy systems. *Energy Performance of Buildings: Energy Efficiency and Built Environment in Temperate Climates*. Springer International Publishing, 37-62.
13. Dumitrescu, L., Barbuta, M. and Pescaru, R.-A., Sustainability indicators for education buildings. case study. ed. 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference and EXPO, SGEM 2013, June 16, 2013 - June 22, 2013, 2013 Albena, Bulgaria: International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 457-463.
14. Gardels, D., Stansbury, J., Killion, S., Zhang, T., Neal, J., Alahmad, M., Berryman, C., Lau, S., Li, H., Schwer, A., Shi, J. and Shen, Z., Economic input-output life cycle assessment of water reuse strategies in residential buildings. ed. World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability - Proceedings of the 2011 World Environmental and Water Resources Congress, 2011: World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability - Proceedings of the 2011 World Environmental and Water Resources Congress, 1652-1662.
15. Zimmermann, T., Krawtschuk, A., Strauss, A. and Wendner, R., Extreme value statistics for the life-cycle assessment of masonry arch bridges. ed. 6th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2012, July 8, 2012 - July 12, 2012, 2012 Stresa, Lake Maggiore, Italy: Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability - Proceedings of the Sixth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, 941-947.
16. Shaikh, S., Soomro, N., Razaque, F., Soomro, S., Shaikh, N. and Abid, G., Analysis of illumination lamps performance by retrofit at university building. ed. 1st International Conference on Emerging Technologies in Computing, iCETiC 2018, August 23, 2018 - August 24, 2018, 2018 London, United kingdom: Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST, 137-152.
17. Sanchez, B. and Haas, C., Methodology for improving the net environmental impacts of new buildings through product recovery management. ed. 6th CSCE-CRC International Construction Specialty Conference 2017 - Held as Part of the Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference and General Meeting 2017, 2017, 1030-1039.
18. Ho, S. K. and Leung, W., Life Cycle Energy Analysis software tool for sustainable building design. ed. World Energy Engineering Congress 2007, 2007 Atlanta, GA, 905-912.
19. Ren, Z. and Li, X., A review of carbon accounting models for urban building sector. ed. 8th International Symposium on Heating, Ventilation, and Air Conditioning, ISHVAC 2013, October 19, 2013 - October 21, 2013, 2014 Xi'an, China: Lecture Notes in Electrical Engineering, 617-624.
20. Perisset, B., Lasvaux, S., Hildbrand, C., Favre, D. and Citherlet, S., 2016. ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF BUILDING RENOVATION: APPLICATION TO RESIDENTIAL BUILDINGS HEATED WITH ELECTRICITY IN SWITZERLAND.
21. Ongpeng, J. M. C., Pilien, V., Del Rosario, A., Dizon, A. M., Aviso, K. B. and Tan, R. R., Structural column retrofitting of school building using ferrocement composites in vigan, ilocos sur, Philippines. ed. 6th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2018, 2019, 2309-2313.
22. Mühlbach, A. K., Strohbach, M. W. and Wilken, T., 2019. A spatially explicit life cycle assessment tool for residential buildings in lower saxony: Development and sample application. *Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management*. Springer, 103-113.

23. Means, S. J. and Cocke, D. W., Structure as aesthetic in sustainable design case study. ed. Structures Congress 2013: Bridging Your Passion with Your Profession, 2013 Pittsburgh, PA, 2779-2788.
24. Kayan, B. A., Forster, A. M. and Banfill, P. F. G. 2016. Green Maintenance for historic masonry buildings: an option appraisal approach. Smart and Sustainable Built Environment, 5(2), 143-164.
25. Kwiatkowski, J., Piasecki, M. and Panek, A., Simplified methods of building environmental assessment in Poland. ed. CESB 2010 Prague - Central Europe towards Sustainable Building 'From Theory to Practice', 2010 Prague, 1-8.
26. Inyim, P. and Zhu, Y., A framework for integrated analysis of building designs using a life-cycle assessment and energy simulation. ed. 2013 International Conference on Construction and Real Estate Management: Construction and Operation in the Context of Sustainability, ICCREM 2013, October 10, 2013 - October 11, 2013, 2013 Karlsruhe, Germany: ICCREM 2013: Construction and Operation in the Context of Sustainability - Proceedings of the 2013 International Conference on Construction and Real Estate Management, 316-327.

#### **4 studier ble vurdert som relevante gjennom lesning av sammendragene, ble likevel ekskludert på grunn av manglende tilgjengelighet til full tekst.**

27. Zhou, Y. and Gong, G. 2011. Exergy analysis combined with LCA for building envelope energy efficiency retrofit. International Journal of Exergy, 8(4), 379-391.
28. Uzsilaityte, L. and Martinaitis, V., Impact of the implementation of energy saving measures on the life cycle energy consumption of the building. ed. 7th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2008, May 22, 2008 - May 23, 2008, 2008 Vilnius, Lithuania: 7th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2008 - Conference Proceedings, 875-881.
29. Sanchez, B. and Haas, C., Methodology for improving the net environmental impacts of new buildings through product recovery management. ed. 6th CSCE-CRC International Construction Specialty Conference 2017 - Held as Part of the Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference and General Meeting 2017, 2017, 1030-1039.
30. Sivaraman, D. 2011. An integrated life cycle assessment model: Energy and greenhouse gas performance of residential heritage buildings, and the influence of retrofit strategies in the state of Victoria in Australia.

#### **23 studier ble vurdert og ekskludert iht. ekskluderingskriteriene i studien.**

1. Zhao, J., Wu, Y. and Zhu, N. 2009. Check and evaluation system on heat metering and energy efficiency retrofit of existing residential buildings in northern heating areas of china based on multi-index comprehensive evaluation method. Energy Policy, 37(6), 2124-2130.
2. Zevenbergen, C., Veerbeek, W., Gersonius, B., Thepen, J. and Van Herk, S. 2008. Adapting to climate change: Using urban renewal in managing long-term flood risk. International Conference on Flood Recovery, Innovation and Response, FRIAR 2008, 118, 221-233.
3. Zabalza Bribian, I., Valero Capilla, A. and Aranda Uson, A. 2011. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. Building and Environment, 46(5), 1133-1140.

4. Ye, S. Y., Hsu, M. F., Chang, W. S. and Chen, J. L., Life cycle assessment of timber components in Taiwan traditional temples. ed. 12th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, EASEC12, 2011 Hong Kong, 2683-2691.
5. Shuai, Y., Wei, W., Xue, H. and Feng, G., Development of estimating system on the wall materials of China. ed. 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC 2017, October 19, 2017 - October 22, 2017, 2017 Jinan, China: Procedia Engineering, 2698-2703.
6. Shi, D., Gao, Y., Guo, R., Levinson, R., Sun, Z. and Li, B. 2019. Life cycle assessment of white roof and sedum-tray garden roof for office buildings in China. *Sustainable Cities and Society*, 46.
7. Seduikyte, L., Grazuleviciute-Vileniske, I., Mantas, D., Fokaides, P. A. and Kylili, A., Evaluation of heritage buildings using environmental and life cycle approaches. ed. 7th Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management, REHABEND 2018, 2018, 1600-1608.
8. Kylili, A. and Fokaides, P. A. 2017. Policy trends for the sustainability assessment of construction materials: A review. *Sustainable Cities and Society*, 35, 280-288.
9. Kumanayake, R. and Luo, H., Development of an Automated Tool for Buildings' Sustainability Assessment in Early Design Stage. ed. Creative Construction Conference, CCC 2017, June 19, 2017 - June 22, 2017, 2017 Primosten, Croatia: Procedia Engineering, 903-910.
10. Korentz, J. and Nowogońska, B., Assessment of the life cycle of masonry walls in residential buildings. ed. 3rd Scientific Conference Environmental Challenges in Civil Engineering, ECCE 2018, 2018.
11. Kalbusch, A. and Ghisi, E. 2016. Comparative life-cycle assessment of ordinary and water-saving taps. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4585-4593.
12. Jie, P. F., Zhang, F. H., Fang, Z., Wang, H. B. and Zhao, Y. F. 2018. Optimizing the insulation thickness of walls and roofs of existing buildings based on primary energy consumption, global cost and pollutant emissions. *Energy*, 159, 1132-1147.
13. Huang, Y., Niu, J. L. and Chung, T. M. 2012. Energy and carbon emission payback analysis for energy-efficient retrofitting in buildings-Overhang shading option. *Energy and Buildings*, 44, 94-103.
14. Huang, Y., Duan, H., Dong, D., Song, Q., Zuo, J. and Jiang, W. 2019. How to evaluate the efforts on reducing CO2 emissions for megacities? Public building practices in Shenzhen city. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 427-434.
15. Curran, M., De Souza, D. M., Anton, A., Teixeira, R. F. M., Michelsen, O., Vidal-Legaz, B., Sala, S. and Mila I Canals, L. 2016. How Well Does LCA Model Land Use Impacts on Biodiversity? - A Comparison with Approaches from Ecology and Conservation. *Environmental Science and Technology*, 50(6), 2782-2795.
16. Chau, C. K., Xu, J. M., Leung, T. M. and Ng, W. Y. 2017. Evaluation of the impacts of end-of-life management strategies for deconstruction of a high-rise concrete framed office building. *Applied Energy*, 185, 1595-1603.
17. Carbonaro, C., Tedesco, S., Thiebat, F., Fantucci, S., Serra, V. and Dutto, M., Development of vegetal based thermal plasters with low environmental impact: Optimization process through an integrated approach. ed. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015, 2015, 967-972.

18. Broniewicz, M. 2018. Refurbishment, strengthening, and durability of existing building structures. *Ekonomia I Srodowisko-Economics and Environment*, 4(67), 36-48.
19. Astiaso Garcia, D., Di Matteo, U. and Cumo, F. 2015. Selecting eco-friendly thermal systems for the "Vittoriale Degli Italiani" historic museum building. *Sustainability (Switzerland)*, 7(9), 12615-12633.
20. Ng, W. Y. and Chau, C. K., New Life of the Building Materials-Recycle, Reuse and Recovery. ed. 7th International Conference on Applied Energy, ICAE 2015, 2015, 2884-2891.
21. Saez de Guinoa, A., Zambrana-Vasquez, D., Alcalde, A., Corradini, M. and Zabalza-Bribian, I. 2017. Environmental assessment of a nano-technological aerogel-based panel for building insulation. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1404-1415.
22. Beucker, S., Bergesen, J. D. and Gibon, T. 2016. Building Energy Management Systems: Global Potentials and Environmental Implications of Deployment. *Journal of Industrial Ecology*, 20(2), 223-233.
23. Marino, C., Minichiello, F. and Bahnfleth, W. 2015. The influence of surface finishes on the energy demand of HVAC systems for existing buildings. *Energy and Buildings*, 95, 70-79.

## Vedlegg 4: Bakgrunnsdata for referanseverdier i LCA-sammenheng (Benchmarking)

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |       |          |             |        |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------|-------------|--------|
| Country                | Denmark                                                                                                                                                                                                                                                                                | Italy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |          |             |        |
| References             | Rasmussen et al 2019                                                                                                                                                                                                                                                                   | Rasmussen et al 2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |       |          |             |        |
| Background             |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |       |          |             |        |
| Reference study period | 120                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       |          |             |        |
| Building typology      | 7 residential buildings (3 multifamily and 4 terraced houses)                                                                                                                                                                                                                          | 28 residential buildings (3 single family and 25 multifamily)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |       |          |             |        |
| New/existing           | New, constructed between 2014-2018                                                                                                                                                                                                                                                     | New, constructed between 2015-2017                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |       |          |             |        |
| Life cycle stages      | A1-A3; B4 (no replacement if the expected service life of replaced material exceeds the remaining SL of the building by 2/3 and no replacement for the last 10 years of a building service life); B6 (dynamic energy scenario with increased use of renewable energy 2015-2050); C3-C4 | A1-A3; A4 (assuming transport by lorry for distance of 50km for inert materials and 300km for additional materials); A5 (2% of A1-A3 impact); B4 (no replacement if the expected service life of replaced material exceeds the remaining SL of the building by 2/3 and no replacement for the last 10 years of a building service life); B6 (static energy scenario based on Italian grid mix from Ecoinvent database); B7 (portable water consumption of bathrooms, kitchen and irrigation); C2 (assuming transport by lorry for distance of 20km for inert and non-hazardous waste and 250km for hazardous waste); C3-C4 |       |          |             |        |
| Standards              | ISO 14040-44, EN15978                                                                                                                                                                                                                                                                  | ISO 14040-44, EN15978                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |          |             |        |
| Databases              | Ökobau 2016 (rmany database)                                                                                                                                                                                                                                                           | Ecoinvent 3.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |       |          |             |        |
| Tools                  | LCABbygg 3.2                                                                                                                                                                                                                                                                           | Excel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |          |             |        |
|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |       |          |             |        |
| Benchmark values       | Embodied                                                                                                                                                                                                                                                                               | Operational                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Total | Embodied | Operational | Total  |
| GWP (kgCO2eq/m2/yr)    | 6.00                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2.17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 8.2   | 3.8      | 10.4        | 13.8   |
| AP (kgSO2eq/m2/yr)     | 0.018                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0.008                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0.023 | 0.0189   | 0.0455      | 0.0656 |
| PEtot (MJ/m2/yr)       | 85.1                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 53.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 132   | 62.7     | 207         | 279    |

|                            |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Country/region             | DE                                                                                                          | FR                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| References                 | Schlegl et al 2019                                                                                          | Lasvaux et al 2017                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Background                 |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Reference study period     | 50                                                                                                          | 50                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Building typology          | 22 office buildings                                                                                         | 40 low energy buildings (with 3 single family and 25 multifamily)                                                                                                                                                                                                   |
| New/existing               | New, constructed between 2014-2018                                                                          | New, constructed 2012                                                                                                                                                                                                                                               |
| Declared life cycle stages | A1-A3; B4; B6 (including heating, ventilation and cooling, without user's electricity demand); C3, C4, D    | A1-A3; A4 - A5; B2; B4; B6 (energy consumption from heating, DHW, lighting, ventilation, and auxiliaries and emission factors for electricity from the grid, natural gas, pellets, on-site renewable energy production from Ecoinvent V2); B7; C2-C4                |
| Declared building elements | Excavation, foundation, external wall, interior wall, ceiling, roof, component, other, technical facilities | External works, foundation, structural element (walls, slab), roof, interior wall, windows and joinery work, interior finishes, HVAC, sanitary facilities, electricity and communication network, Safety equipment, lighting, lifts, on-site electricity generation |
| Environmental indicators   | GWP and 9 other indicators*                                                                                 | GWP, AP, PEnr, WC, non-hazardous and inert waste (NHIW), Radioactive waste (RW)                                                                                                                                                                                     |
| Standards                  | DIN EN15978                                                                                                 | NF EN15978                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Databases                  | OKOBAU:DAT                                                                                                  | INIES EPD (for building products); PEP EPD (for technical equipment) Ecoinvent v2 (for other building products and technical equipment)                                                                                                                             |

| Country/region                                | DE       |             |       | FR       |             |                         |
|-----------------------------------------------|----------|-------------|-------|----------|-------------|-------------------------|
| Tools                                         | -        |             |       | Excel    |             |                         |
|                                               |          |             |       |          |             |                         |
| Benchmark values (median)                     | Embodied | Operational | Total | Embodied | Operational | Baseline (median value) |
| GWP (kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> /yr) | 9,6      | 22,6        | 32,2  | 8,4      | 3,1         | 11,5                    |
| AP (kgSO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> /yr)  | -        | -           | -     | 0,043    | 0,010       | 0,053                   |
| PE <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> /yr)    | -        | -           | -     | 37,0     | 52,1        | 89,1                    |
| NHIW (kg)                                     |          |             |       | 35,4     | 0,3         | 35,7                    |

\* Ozone Depletion Potential (ODP); Photochemical Ozone Creation Potential (POCP); Acidification Potential (AP); Eutrophication Potential (EP); Non-renewable primary energy demand (PE<sub>ne</sub>); Total primary energy demand (PE<sub>ges</sub>); Abiotic Depletion Potential for Elements (ADPE); Abiotic Depletion Potential of fossil Fuels (ADPF); Water consumption (WF)

# Grønt er ikke bare en farge: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede

I tråd med Parisavtalen og FNs bærekraftsmål har Norge som ambisjon å bli et lavutslippssamfunn innen 2050. Det meste av verdens bygningsmasse i 2050 eksisterer allerede i dag. Derfor vil rehabilitering og adaptiv gjenbruk av eksisterende bygninger være et avgjørende bidrag til en bærekraftig framtid.

Denne rapporten har som mål å gi et helhetlig bilde av den miljømessige betydningen av gjenbruk av eksisterende bygninger.

Vi har gjort en systematisk kartlegging og metaanalyse av livssyklusanalyser ved rehabilitering og oppgradering av eksisterende bygninger. På bakgrunn av dette har vi evaluert:

- Hva er forskningsfronten på området “eksisterende bygningers miljømessige betydning”?
- Hva er den oppnådde miljøytelsen til den eksisterende bygningsmassen ved oppgradering/rehabilitering sammenliknet med riving og nybygging?

Rapporten er utarbeidet på oppdrag av Riksantikvaren.