

Bygningskultur og Klima



**Undersøgelser af eksisterende viden
om livscyklusvurderinger og bevaringsværdier**

Bygningskultur og Klima

Undersøgelser af eksisterende viden om livscyklusvurderinger og bevaringsværdier

Forfattere:

Steffen Petersen, Lektor, Aarhus Universitet
Jacob Daugaard Buhl, Forskningsassistent, Aarhus Universitet
Louise Østergaard Pedersen, Rådgiver ved MOE A/S
Birgitte Tanderup Eybye, Adjunkt, Arkitektskolen Aarhus
Henriette Ejstrup Andersen, Post.doc, Arkitektskolen Aarhus
Mette Boisen Lyhne, Videnskabelig assistent, Arkitektskolen Aarhus
Mogens A. Morgen, Professor, Arkitektskolen Aarhus,
Nina Ventzel Riis, Adjunkt, Arkitektskolen Aarhus [projektleder]

Undersøgelsen er udført ud fra et kommissorium skrevet af Realdania ved projektchef Thomas Brogren. Publikationen er gennemlæst af eksterne fagfæller med det formål at kontrollere beregninger, data og metodiske beskrivelser. Fagfællerne repræsenterer både ingeniørfaget og arkitektfaget og er gennemført af Freja Nygaard Rasmussen, Ingeniør og post.doc ved BUILD, AAU og Grith Bech-Nielsen, Arkitekt, Ph.d. og Centerchef ved Teknologisk Institut.

Foto:

Alle fotos i publikationen er taget af Helene Høyer Mikkelsen

Publikation er korrekturlæst af Culturebites

Omslag og grafisk tilrettelæggelse:

Christel Franke
Sat med Italian Plate No2 Expanded

Aarhus, september 2021

ISBN: 978-87-93360-29-7



ARKITEKTSKOLEN AARHUS









Forord

Vi har en fælles opgave med at mindske den markante del af Danmarks CO₂ udledning, der kommer fra byggeriet og den eksisterende bygningsmasse. Realdania har igangsat indsatsen Bygningskultur og klima, der skal skabe forståelse for, at levende bygningskultur, hvor bygninger vedligeholdes og udvikles, kan være en del af løsningen. Men for at finde ud af hvordan det bedst gøres, er der behov for mere viden. Et behov som understreges af resultater fra Realdanias Kulturarvsanalyse, hvor kun 25% svarer, at historiske steder er vigtige i forhold til klima og bæredygtighed.

Nyere undersøgelser peger på, at det kan være bedre for klimaet at bevare end at rive ned og bygge nyt. Med indsatsen ønsker vi at undersøge, om det også er muligt at reducere eksisterende bygningers klimabelastning og samtidig fastholde eller styrke de kulturelle og kulturhistoriske kvaliteter, der gør bygningerne til en del af Danmarks levende bygningskultur.

Med hjælp fra livscyklusanalyser kan vi opnå bedre forståelse af sammenhængende mellem klimabelastning til henholdsvis byggeprocesser og drift – og ikke mindst af betydningen af lang levetid, holdbarhed og af at minimere omfanget af ombygninger. Men disse sammenhænge er komplekse, og for at vi kan blive klogere, kræver det, at flere forskellige fagligheder kombineres.

Der skal arbejdes nuanceret og evidensbaseret med de enkelte konkrete bygninger for at skabe reelle CO₂-besparelser. Derfor har vi i Realdania bedt et tværfagligt hold af forskere om at kortlægge den eksisterende viden og pege på, hvor der mangler ny viden. Forskerne har kigget nærmere på forholdet mellem klimabelastning og bevaringsværdi for boliger fra 1930-74. Denne snævert afgrænsede periode er valgt, fordi der er mange af den type bygninger i Danmark – bygninger som samtidig står over for en snarlig renovering – og fordi arbejdet med at føre de bevaringsværdige modernistiske boligbebyggelser ind i en ny tid måske kan lære os noget nyt om forholdet mellem bevaringsværdier, fremtidssikring og klimabelastning.

Dette er baggrunden for, at vi ser et behov for at undersøge og teste forskellige strategier for bevaring og udvikling af vores bygningskultur for at finde ud af, hvordan de kan bidrage til at mindske klimabelastningen. Denne analyse er første skridt på vejen.

Rigtig god læselyst

Thomas Brogren
Projektchef, Realdania



Læsevejledning

Bygningsskultur og Klima – Undersøgelser af eksisterende viden om livscyklusvurderinger og bevaringsværdier er udarbejdet af forskere fra Aarhus Universitet og Arkitektskolen Aarhus. Projektgruppen består af ingeniører og restaureringsarkitekter med baggrunde inden for forskning i henholdsvis livscyklusvurderinger og bygningsskultur. I publikationen forenes de to fagligheder med en intention om at afdække bygningsskulturens potentiale for at bidrage til en reduktion af klimabelastningen.

Publikationen behandler krydsfeltet mellem LCA og bevaring, og der vil derfor være forhold omkring de separate emner, der ikke behandles i publikationen, men som vil kunne uddybes i andre publikationer omhandlende enten LCA eller bevaring. Publikationen sigter ikke efter at få bygningsskulturen til at yde bedst muligt i et LCA-perspektiv, men i stedet efter at finde ud af, hvor og hvordan bygningsskulturen kan bidrage til at mindske klimabelastningen, samtidig med at bevaringsværdier fastholdes eller styrkes.

Publikationen er ikke tænkt som et opslagsværk, og det anbefales at læse kapitlerne i kronologisk rækkefølge. Dog kan der opnås et indblik i publikationens indhold og konklusioner ved at læse kapitel 1 og 6.

- **Kapitel 1** indeholder baggrundsmateriale for publikationens tilblivelse, herunder intentioner og formål, samt en grundlæggende introduktion til de to fagligheder, der udgør publikationens fokusområde – LCA og bygningsskultur.
- **Kapitel 2** rummer et litteraturstudie med henblik på at belyse, hvad der findes af eksisterende viden inden for krydsfeltet mellem LCA og bygningsskultur.
- **Kapitel 3** belyser de faktiske forhold for bygningssbestanden [etageboligbebyggelser 1930-1974] samt energiforbrug for både bevaringsværdige og ikke bevaringsværdige etageboligbebyggelser.
- **Kapitel 4** præsenterer afgrænsede livscyklusvurderinger [LCA] af CO₂-belastningen for velkendte energirenoverings tiltag, og hvordan tiltagene potentielt påvirker bygningers bevaringsværdier.
- **Kapitel 5** beskriver 4 fiktive casestudier med henblik på at opstille nogle konkrete eksempler på, hvordan bevaringsværdigt byggeri kan reducere sin CO₂-belastning ved brug af tiltagene beskrevet i kapitel 4.
- **Kapitel 6** rummer opsamling og konklusioner samt refleksioner over og perspektivering af publikationens indhold.



Indhold

Forord.....	5
Læsevejledning.....	6
Kapitel 1 UNDERSØGELSEN – Introduktion og baggrund	10
Indledning.....	10
Formål.....	10
Målgruppe.....	10
Baggrund og afgrænsning	11
Introduktion til publikationens tværfaglige afsæt.....	11
Kapitel 2 LITTERATURSTUDIE	15
Indledning.....	15
Metode	15
Planlægning.....	16
Gennemførelse	17
Ekstrahering af viden fra publikationer	18
Litteraturstudiets resultater	19
Konklusion på litteraturstudie.....	24
Kapitel 3 BYGNINGSBESTANDEN	25
Indledning og Formål	25
Bygningsbestanden i tal	25
Om- og tilbygninger	27



Bevaringsværdige etageboligbebyggelser – vurdering og overblik	27
Udvælgelse af case-kommune	30
Bevaringsværdier 1930-1974	30
Fordeling af bevaringsværdige etageboligbebyggelser	31
Opvarmningsform	32
Energidata.....	32
Delkonklusion	34
Kapitel 4 RENOVERING AF BEVARINGSVÆRDIGE ETAGEBOLIGBEBYGGELSER.....	35
Indledning.....	35
Historisk udvikling af energi- og indeklimakrav til nybyggeri	35
Klimaforandringerne indvirkning på Bygningsreglementet.....	38
Energikrav i forbindelse med renovering.....	38
Opdeling af bygningsbestanden – byggeteknik og stilperioder	39
Renoveringstiltag, der reducerer bygningers CO ₂ -belastning	40
Bevaringsværdier og renoveringstiltag, der reducerer CO ₂ -belastning.....	43
Vurdering af miljømæssige konsekvenser.....	44
Formidling af analyseresultater	49
Renoveringstiltag – Bevaringsværdier, CO ₂ , energi-økonomi og indeklima.	49
Delkonklusion	74
Kapitel 5 CASESTUDIER	76
Indledning.....	76



Cases.....	80
CASE 1: Engelsborgvej 25	82
CASE 2: Skelhøjvej 1	88
CASE 3: Skelhøjvej 18.....	94
CASE 4: Lehwaldsvej 3	100
Delkonklusion	107
KAPITEL 6 Afrunding.....	108
Opsamling og konklusioner	108
Refleksioner og fremtidsperspektiver	110
Bibliografi	112
BILAG 1	117
SØGESTRATEGIER.....	119
BILAG 2.....	120
REFLEKSIONER OVER DATABASER.....	120
BILAG 3.....	121
SCREENINGSSKEMA	121
BILAG 4.....	122
MEKANISK VENTILATION MED VARMEGENVINDING	122
LCA-LEVETIDER UNDER 50 ÅR	125



Kapitel 1

UNDERSØGELSEN

– Introduktion og baggrund

Indledning

Den internationale politiske dagsorden om at mindske CO₂-belastningen¹ globalt har skabt behov for at danne et overblik over, hvordan bygningskulturen i Danmark kan bidrage til at understøtte en udvikling, der belaster klimaregnskabet mindst muligt, uden at bygningernes bevaringsværdier forringes eller går tabt. Nyere undersøgelser peger på, at det kan være gavnligt for klimaet at renovere og bevare frem for at rive ned og bygge nyt [Rambøll, 2020]. Hvis det er tilfældet, er spørgsmålet, hvorvidt det er muligt at reducere CO₂-belastningen fra den eksisterende bygningsmasse og samtidig fastholde – eller styrke – de kulturelle og særegne karakteristika, der gør bygningerne til en del af den danske bygningskultur.

Diskussionen omkring bygningskulturens bidrag til at mindske klimabelastningen må derfor nødvendigvis tage sit udgangspunkt i både tekniske og æstetiske forhold og inkludere analyser af kvantitative data såvel som diskussioner omkring udpegning af kvaliteter, værdisætning og forvaltning af bevaringsværdier i bygningskulturen. Bygningskultur og Klima – undersøgelser af eksisterende viden og tiltag er et tværfagligt projekt udført af ingeniører og arkitekter fra henholdsvis Aarhus Universitet og Arkitektskolen Aarhus og er netop et forsøg på at favne analyser og vurderinger af datasæt og kvalitative vurderinger af bevaringsværdier i diskussionen om bygningskultur og klima.

Publikationen lægger ud med en detaljeret kortlægning af den eksisterende videnskabelige litteratur inden for krydsfeltet mellem miljømæssige livscyklusvurderinger og bevaring af bygningskultur. Publikationen bidrager dermed med et overblik over eksisterende viden, men indkredser også områder, hvor der er behov for yderligere undersøgelser. Dernæst kortlægges det, hvorvidt bevaringsværdige etageejendomme bygget i 1930-1974 har en ekstraordinært høj klimabelastning i forhold til etageejendomme fra samme periode, der ikke er erklæret bevaringsværdige. Denne analyse følges op med beregninger af klimabelastningen af forskellige renoveringstiltag, som dernæst indgår i en række casestudier, der danner grundlag for en diskussion af krydsfeltet mellem CO₂-reducerende tiltag og bevaring, samt hvorvidt der kan opnås en lavere klimabelastning ved renovering frem for etablering af nybyggeri.

Det er ønsket, at publikationen med sine analyser og diskussioner bidrager konstruktivt til debatten om, hvilken rolle bevaringsværdigt byggeri bør indtage i forbindelse med byggesektorens nødvendige reduktion af CO₂-udledning.

Formål

Publikationen har til formål at undersøge, hvilken rolle bevaringsværdigt byggeri spiller i den eksisterende bygningsmasses klimabelastning, og til at belyse spørgsmålet er der i projektet foretaget undersøgelser af eksisterende viden på området samt af forskellige energibesparende indgreb i bygningsmassen.

Det undersøges i rapporten, hvorvidt bevaringsværdige bygninger udgør en større klimabelastning end ikke-bevaringsværdigt byggeri, og desuden vurderes det, hvordan klimabelastningen fra de bevaringsværdige bygninger kan reduceres – uden at dette sker på bekostning af bygningernes bevaringsværdier.

I det gældende bygningsreglement er bevaringsværdige bygninger undtaget fra renoveringskravene, hvis en udmøntning af kravene er i strid med bygningernes bevaringsværdier. Indeværende publikation har dog til hensigt at undersøge, om det er muligt at udføre tiltag i bevaringsværdigt byggeri, som både reducerer klimabelastningen og samtidig fastholder eller styrker bevaringsværdierne.

Resultatet af projektet er ikke en metode, men der lægges op til videre arbejde med metodeudvikling i spændet mellem forskningsområderne bygningskultur og livscyklusanalyser.

Målgruppe

Det er hensigten, at publikationen skal kvalificere debatten blandt professionelle aktører om forholdet mellem klimabelastningen fra eksisterende byggeri og bygningskultur. Rådgivende ingeniører og arkitekter, der arbejder med bevaring af bygningskultur, er derfor den oplagte målgruppe for publikationen. Publikationen vil også være interessant for visse byggepolitiske beslutningstagere i stat og kommune. Derudover vil publikationen kunne bruges i forbindelse med undervisning af både

¹ I denne publikation anvendes begrebet 'CO₂-belastning' som et forenklet udtryk for CO₂-ækvivalent belastning. CO₂-ækvivalenter betyder, at andre klimagas-emissioner end CO₂ (fx metan eller lattergas) er inkluderet ved at omregne dem til den klimabelastning, de svarer til målt i CO₂. For eksempel svarer klimabelastningen fra et kg metan til klimabelastningen fra -25 kg CO₂.

ingeniør-, konstruktør- og arkitektstuderende som et eksempel på en kompleks tværfaglig problemstilling inden for byggeriet.

Baggrund og afgrænsning

Det er politisk vedtaget såvel internationalt som nationalt, at klimabelastningen i samfundet som helhed skal reduceres markant. Eksisterende byggeri i Danmark vil grundet dets høje energiforbrug til opvarmning udgøre en klimabelastning, der typisk vil være større end klimabelastningen fra nybyggeri. Dog vil renovering af eksisterende byggeri ofte være et mindre klimabelastende alternativ end at rive ned og bygge nyt. Det sidste forhold er en særlig udfordring i forhold til bevaring af eksisterende bygningskultur; hvor langt kan man gå med renoveringstiltag, der reducerer bygningens CO₂-belastning, uden at gå på kompromis med arkitektonisk bevaringsværdighed?

Undersøgelsen, der rapporteres i denne publikation, fokuserer på etageboligbyggeri med bevaringsværdier fra perioden 1930-74.

Det er begrundet i, at:

- en stor del af boligmassen i Danmark stammer fra den periode
- boligbyggeri fra denne periode typisk har et højt energiforbrug til opvarmning
- der skal udføres mange renoveringer på disse bygninger i de kommende år grundet udtjente bygningsdele

Desuden er denne del af bygningsbestanden karakteriseret ved, at:

- der fra 1930 skete store ændringer i byggeteknik og -skik
- den er opført før og efter 1961, hvor de første mindstekrav til varmeisolering kom med det første landsdækkende bygningsreglement, men før stramningerne grundet oliekriserne i 1973 og 1979.
- det er forholdsvis nyt at skulle beskrive bevaringsværdier for denne gruppe bygninger

Publikationen placerer sig i feltet mellem en kvalitativ forvaltning af bygningskulturen og et ønske om at tage ansvar for at bidrage positivt til samfundets klimamål ved nedbringelse af CO₂-udledningen. Målet er at undersøge, om disse to målsætninger kan bidrage gensidigt med løft af bygningskulturen på begge parametre.

I den forbindelse er det værd at henlede opmærksomheden på, at bygningskulturen udgøres af en meget forskelligartet bestand, hvor alsidighed netop er en af kvaliteterne. Den består af komplekse og unikke enheder i mangeartede materialekombinationer, som ofte har en lang levetid. Derfor kan bygningerne sjældent behandles ens, når det gælder ombygninger, vedligehold, renovering og restaurering. Undersøgelsens tværfaglige udgangspunkt og koblingen af forvaltning af bygningskulturelle værdier med beregninger af CO₂-udledning er rammen for alle følgende kapitler, og det er en nødvendighed at have denne afgrænsning med i læsningen af undersøgelsen, da netop denne kobling er udgangspunktet for undersøgelsen.

Introduktion til publikationens tværfaglige afsæt

I publikationen optræder en række faglige kernebegreber og -metoder. Disse præsenteres kort herunder, hvorefter de i publikationen anvendes uden yderligere forklaring.

Bygningskultur

Begrebet bygningskultur udspringer, som det ligger i ordet, af en kultur. Begrebet kommer af det latinske cultura, som blandt andet kan betyde pasning, plejning, bearbejdning eller forædling. Bygningskulturen kan således beskrives som noget, der har udviklet sig gennem lang tid, hvor traditioner omkring det at bygge løbende er blevet forædlet såvel teknisk som æstetisk. Bygningskulturen kan være af høj eller lav kvalitet, og meget byggeri besidder ikke arkitektoniske kvaliteter, hvorfor man i arbejdet med bevaring og udvikling af bygningskulturen må være klar til at tage stilling til, hvilke bygninger der har kvalitet, og hvilke der ikke har. Til at foretage denne sortering findes der i Danmark forskellige værdisætningsmetoder, som kan tages i brug, når der skal tages stilling til, hvilke værdier i bygningskulturen der skal bevares og bygges videre på. Der er tale om at selekttere i bygningsmassen og finde frem til de bygninger, der ud fra en række udvalgte kriterier vurderes som værdifulde, og som vi ønsker skal bestå ind i fremtiden.

På et overordnet plan inddeler man bygningsbevaringen i Danmark i tre kategorier, som forvaltes af tre forskellige instanser på et henholdsvis internationalt, nationalt og lokalt niveau. På det internationale niveau har vi verdensarven. Det er FN-organet UNESCO, som gennem verdensarvskonventionen har forpligtiget de lande, der har tilsluttet sig, til at sikre den verdensarv, som efter definitionen besidder universelle værdier, som er umistelige for menneskehed. Danmark og Grønland har p.t. 10 steder på verdensarvslisten, der for øjeblikket rummer 1 121 steder på verdensplan.



På nationalt niveau har vi Danmarks fredede bygninger, som administreres af Slots- og Kulturstyrelsen. Der er cirka 9.000 fredede bygninger i Danmark, og de administreres efter bygningsfredningsloven, som går tilbage til 1918. Når en bygning er fredet, så gælder det hele bygningen. Det vil sige, at for en fredet bygning skal der søges om tilladelse til både indvendige og udvendige ændringer hos Slots- og Kulturstyrelsen.

På lokalt niveau er de bygninger, som dette projekt omhandler, de bevaringsværdige bygninger. De administreres af landets kommuner, som hver især udpeger bevaringsværdige bygninger inden for deres egen geografiske afgrænsning. I særlige tilfælde kan Slots- og Kulturstyrelsen udpege en bygning som bevaringsværdig. De bevaringsværdige bygninger reguleres efter planloven (og i mindre grad efter museumsloven), og den giver kommunen ret til at stille krav til bygningens udvendige dele ved ombygninger.

Værdisætning og udpegning af bygningskultur

UNESCO har udarbejdet retningslinjer for, hvordan man tilskriver værdier og udpeger verdensarven. Slots- og Kulturstyrelsen har tilsvarende en metode, der blev udarbejdet i forbindelse med gennemgangen af landets fredede bygninger i 2010-16. Metoden hedder Vurdering af Fredningsværdier (VAF) og benyttes til at værdisætte fredede bygninger. I VAF konkluderes de bærende fredningsværdier som essensen og summen af bygningernes miljømæssige-, kulturhistoriske- og arkitektoniske værdier. VAF er således en måde at beskrive den enkelte bygningens særlige og umistelige værdier.

SAVE-metoden (Survey of Architectural Values in the Environment) er den mest anvendte metode i kommunalt regi i forbindelse med kortlægning og udpegning af bevaringsværdige bygninger. På grundlag af SAVE-metoden kan en kommune optage bevaringsværdige bygninger i en lokalplan eller i kommuneplanen. SAVE-vurderinger giver politikere og embedsmænd overblik over de arkitektoniske, kulturhistoriske og miljømæssige kvaliteter som baggrund for deres beslutninger om bygnings- og by-transformationer.

Det er en indbygget præmis ved arbejdet med bygningskulturen – også i forbindelse med klimaindsatsen – at den må tage udgangspunkt i de omfattede bygningers bærende frednings- eller bevaringsværdier. Men i den forbindelse er det vigtigt at understrege, at bygningskulturen er en del af et levende samfund, der er i kontinuerlig udvikling. Der findes ikke en fredet eller bevaringsværdig bygning i Danmark, der ikke er blevet ombygget og udviklet igennem tiden. Således står der i bygningsfredningslovens §1 stk. 2, at: "Ved lovens administration skal der lægges vægt på, at de bygninger, der værnes, får en hensigtsmæssig funktion, der under hensynstagen til bygningernes særlige karakter tjener til deres opretholdelse på længere sigt". Det handler om, at bygningerne har det bedst med at blive anvendt, svarende til bonmot'et beskyttelse gennem benyttelse. Bygningerne skal bruges og være en del af en levende bygningskultur². Men hele præmissen med de fredede og bevaringsværdige bygninger er, at enhver bygningsændring skal ske med udgangspunkt i og forståelse for bygningernes bevaringsværdier, som er fastlagt ved hjælp af ovennævnte værdisætningsmetoder. Således også med eventuelle bygningsændringer i forbindelse med renoveringstiltag, der reducerer CO₂-belastningen. De skal udføres, uden at bevaringsværdierne forringes eller går tabt.

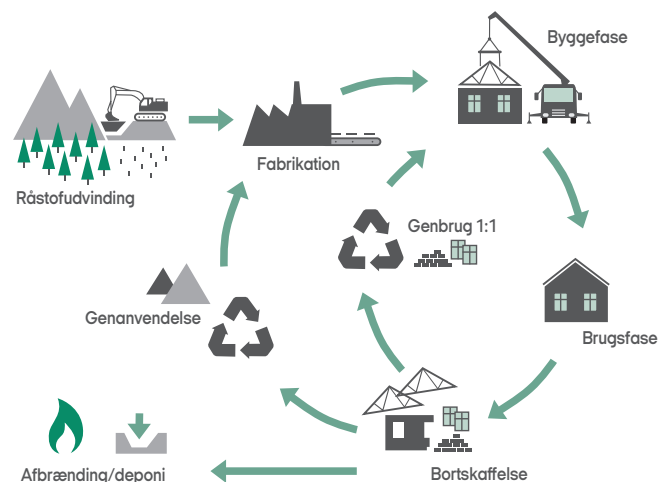
Renovering

I publikationen anvendes begrebet renovering om alle typer af arkitektoniske bygningsindgreb, vel vidende, at typer og grader af bygningsindgreb varierer, og at der inden for bygningskultur- og bevaringsfeltet findes et præcist og udbygget vokabularium, der med enkelte og præcise begreber henviser til, hvilken type indgreb der er tale om i en given situation. I publikationen er denne differentiering fravalgt for at holde fokus på krydsfeltet mellem bevaringsværdier og LCA ved alle typer og grader af bygningsindgreb. For yderligere viden om begrebsanvendelse inden for forskellige typer indgreb i bygningskulturen henvises til Johannes Exners beskrivelser af sammenhængen mellem defekt og behandling og vigtigheden af at formulere indgreb i bygningen præcist og forståeligt [Exner, 2007].

² Med udgangspunkt i Realdanias formål om at fremme en levende bygningskultur [Birk Jørgensen, et al., 2019], omhandler publikationen genstandsfeltet arkitektonisk kulturarv. I henhold til bygningsfredningsloven værnes der bedst om den bevaringsværdige bygningskultur gennem kontinuerlig brug og opretholdelsen af en hensigtsmæssig funktion under hensyntagen til bygningernes særlige karakter. At holde bygningskulturen levende gennem udvikling kræver forståelse for de værdier, der eksisterer i bygningerne, og det anses som værende en specialiseret niche inden for byggefaget at forstå og håndtere værdierne i bygningskulturen. Det er derfor af stor vigtighed, at den bæredygtige omstilling også bygger på viden om og eksempler på en levende bygningskultur og dens særlige karakter, muligheder og krav, så de mange kvadratmeter, der er udpeget som bevaringsværdige, også kan bidrage til at mindske klimabelastningen og være inspirerende eksempler på effekten af holdbarhed og lang levetid.

Bygningers livscyklus

Bygningers primære formål er at tilvejebringe et sundt, komfortabelt og rumligt funktionelt miljø til udfoldelse af menneskelig aktivitet. Bygninger gennemløber en livscyklus (figur 1), hvor naturressourcer udvindes og bearbejdes til byggematerialer (fx metal, tegl, glas) og -komponenter (fx vinduer). Disse transporteres til byggepladsen og sammensættes til den ønskede bygning, der i løbet af sin brugstid har brug for termisk energi (varme eller køling) og elektrisk energi for at opfylde sit primære formål. Med tiden vil der være behov for at vedligeholde, reparere eller udskifte visse byggematerialer og -komponenter, så bygningen fortsat kan fungere og/eller opretholde sine bevaringsværdier. Nogle bygninger bliver til sidst – af forskellige årsager – revet ned. Nogle byggematerialer og -komponenter kan genbruges i deres eksisterende form, mens andre byggematerialer (fx metal, tegl, glas) genanvendes til nye produkter. Er genbrug eller genanvendelse ikke muligt, kan der blive tale om bortskaffelse ved fx afbrænding eller deponi.



Figur 1. Illustration af de faser, der indgår i en livscyklusvurdering. Summen af miljøpåvirkningerne fra faserne udgør miljøprofilen.

Anvendelsen af materialer og energi over bygningens livscyklus belaster Jordens økosystemer. Dette er ikke nødvendigvis et problem; Jordens økosystem har en vis bæreevne, der kan defineres som den maksimale vedvarende intervention, som et naturligt system kan modstå, uden at der opstår negative ændringer i dets struktur eller funktion, der er svære eller umulige at genoprette. Grænseværdierne for denne bæreevne er etableret på et rimeligt solidt videnskabeligt grundlag. Men hvordan vurderer man, hvorvidt en bygning overskrider disse grænseværdier og overbelaster Jordens økosystem?

Livscyklusvurdering

Belastningen fra en bygning på Jordens økosystemer kan vurderes gennem en såkaldt livscyklusvurdering, hvor belastningerne fra alle faser vist i figur 1 indgår. I daglig tale kaldes det ofte en 'LCA', som er en forkortelse af 'Life-Cycle Assessment' (livscyklusvurdering). LCA er en internationalt standardiseret metode, der munder ud i en vurdering af produkters – fx bygningers – potentielle effekter på forskellige aspekter af Jordens økosystem, se figur 2. Disse effekter kan holdes op imod grænseværdier for Jordens bæreevne for at undersøge, hvorvidt en bygning overbelaster Jordens økosystem. Sammenligning med de absolutte grænseværdier er dog ikke standardpraksis i dag; i forskellige certificeringssystemer som fx DGNB [Green Building Council Denmark, 2020] udregnes en CO₂-belastning (carbon footprint på engelsk) for en bygning, og der afgives point ud fra grænseværdier, der er relative i forhold til en 'best practice'. Det vil sige, at hvis bygningens belastning på Jordens økosystem er relativt bedre end 'best practice', udløser det certificeringspoint. I denne publikation beregnes CO₂-belastningen af forskellige renoveringstiltag uden at forholde belastningen til et referencesystem.

CO₂-belastning fra eksisterende byggeri – en særlig LCA-udfordring

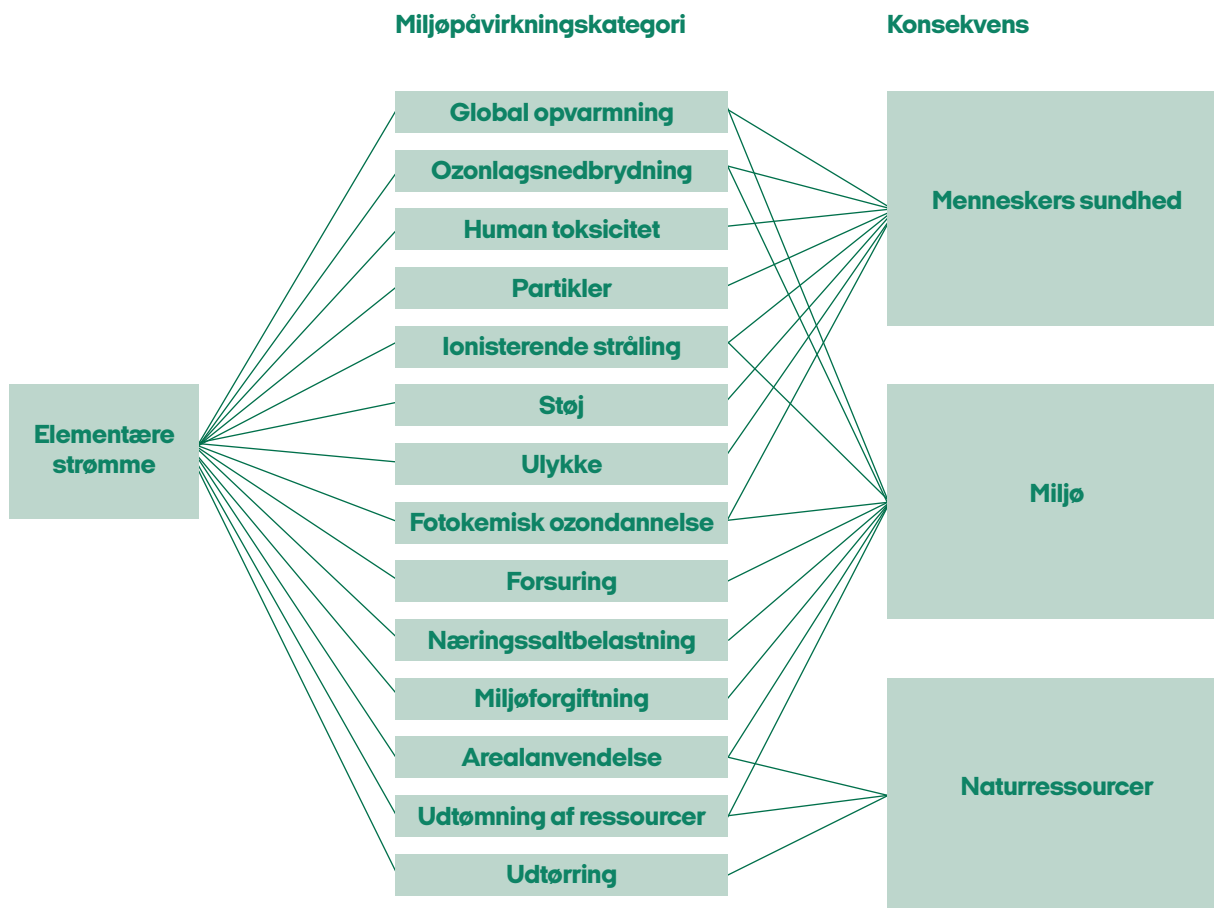
Eksisterende byggeri er en igangværende belastning af Jordens økosystem. Belastningen fra livscyklusfaserne op til den igangværende driftsfase er sket, og det er derfor – ud over en nysgerrighed over for historiske forhold i byggeriet – ikke en belastning, der kan begrænses. Belastningen fra den igangværende driftsfase kan derimod begrænses, og renoveringstiltag, der kan nedbringe driftsfasens belastning, er derfor interessante, så længe belastningen fra tilførte byggematerialer og -komponenter, samt evt. bortskaffelse af eksisterende byggemateriale og -komponenter, ikke overstiger reduktionen af belastningen fra driftsfasen over tiltagets levetid. Dertil kommer, at tiltag, der

³ Definition af 'Earth carrying capacity' frit oversat fra [Bjørn, 2015]



reducerer CO₂-belastningen fra eksisterende byggeri, ofte kræver en skærpet opmærksomhed på andre forhold end LCA, fx fugttechniske forhold og eksisterende arkitektoniske kvaliteter. Korrekt udførte renoveringer af eksisterende byggeri kan

desuden være en god økonomisk forretning og medføre forbedringer af bygningers primære formål: At være et sundt, komfortabelt og rumligt funktionelt miljø til udfoldelse af menneskelig aktivitet.



⁴ Se ISO 14040 og ISO 14044, og [European Union, 1995-2021] for detaljer.



Kapitel 2

LITTERATURSTUDIE

Indledning

Kapitlet har til formål at belyse, hvad der findes af eksisterende viden om genstandsfeltet livscyklusvurderinger og bevaringsværdige bygninger, gennem et litteraturstudie, der på systematisk vis kortlægger og analyserer litteratur, hvor de to fagligheder kobles. Kapitlet introducerer indledningsvist til litteraturstudiets metode, 'Systematic Literature Review' (SLR). Herefter følger en afrapportering af faserne i SLR.

Metode

Der findes forskellige metoder til litteraturstudier, og valget af metode afhænger af undersøgelsens formål og faglige sigte [Grant & Booth, 2009]. Denne publikation lægger vægt på, at litteraturstudiet udføres på en reproducerbar og transparent måde, og derfor vælges SLR som metode. SLR er udviklet til at identificere, evaluere og opsummere state-of-the-art inden for et givent felt. Tranfield, Denyer og Smart [Tranfield, et al., 2003] skriver følgende om det systematiske litteraturstudie:

“Systematic reviews differ from traditional narrative reviews by adopting a replicable, scientific and transparent process, in other words a detailed technology that aims to minimize bias through exhaustive literature searches of published and unpublished studies and by providing an audit trail of the reviewer’s decisions, procedures and conclusions”.

SLR bliver blandt andet anvendt i andre litteraturstudier med genstandsfeltet bevaringsværdier og LCA, blandt andre Fufa, Venås og Flyen [Fufa, et al., 2020] og Rønholt et al. [Rønholt, et al., 2019]. Desuden er SLR en veletableret fremgangsmåde inden for fagområderne medicin, økologi og Software Engineering [Zumsteg, et al., 2012]. I henhold til [NHS Centre for Reviews and Dissemination, 2001] består det systematiske litteraturstudie af tre stadier, som hver indeles i 9 faser [tabel 1].

Trin I - Planlægning	Trin II - Gennemførelse	Trin III - Rapportering
Fase 0 Identifikation af behovet	Fase 3 Identifikationsfasen	Fase 8 Anbefalinger
Fase 1 Forberedelse af undersøgelsen	Fase 4 Udvælgelse af studier	Fase 9 Videreformidling
Fase 2 Undersøgelsesprotokol	Fase 5 Kvalitetsvurdering	
	Fase 6 Ekstrahering af viden	
	Fase 7 Datafremstilling	

Tabel 1. Trin og faser i et systematisk litteraturstudie. Inspireret af visualisering fra [NHS Centre for Reviews and Dissemination, 2001].



Planlægning

Undersøgelsen af publikationens genstandsfelt beskrevet i kapitel 1 tager udgangspunkt i en afdækning af den eksisterende viden på området. Litteraturstudiet operationaliseres med følgende forskningsspørgsmål:

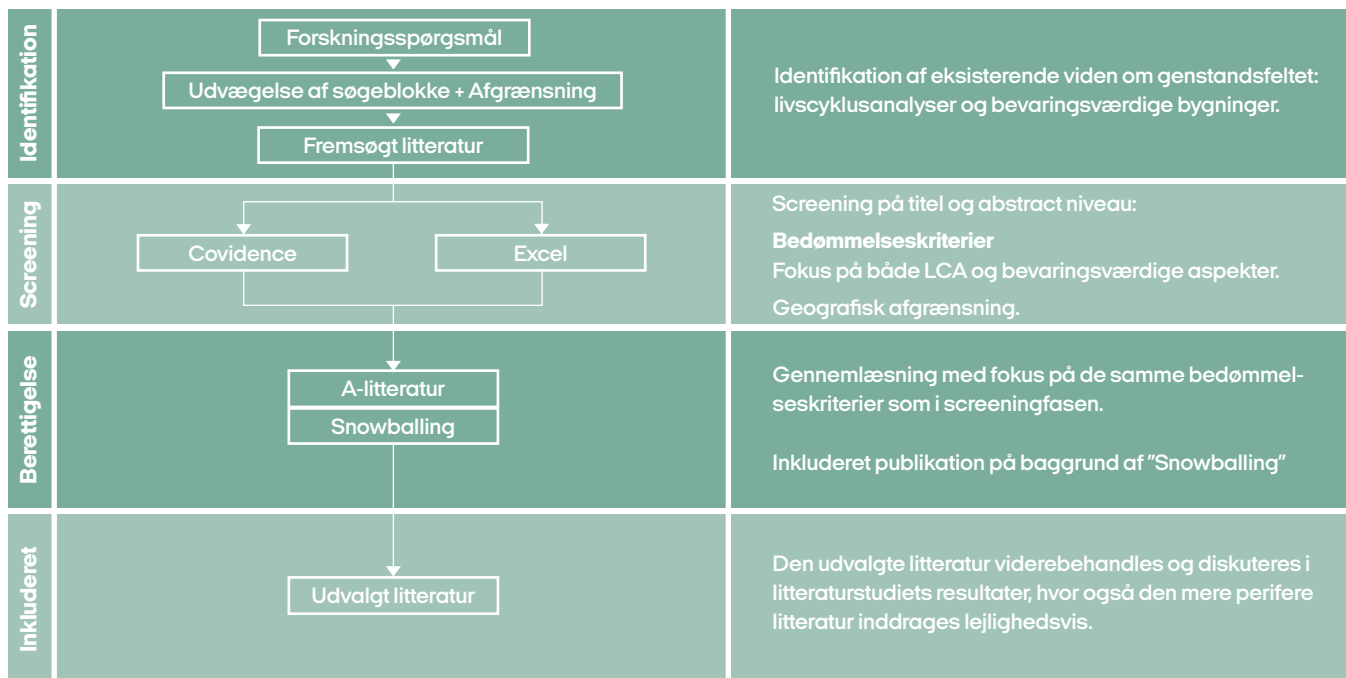
Hvilken viden findes der om bevaringsværdige bygninger, deres komponenter og byggematerialer sammenholdt med nye byggematerialers CO₂-ækvivalenter i et livscyklusperspektiv?

Litteraturstudiet er foretaget ud fra en sproglig og geografisk afgrænsning, der inkluderer studier foretaget i Danmark, Norge, Sverige og England, da en række randbetingelser og forhold i disse lande er nogenlunde ensartede, hvilket kan gøre studierne mere sammenlignelige.

Protokollen for udvælgelse af relevant litteratur er illustreret i figur 4. Først blev der med udgangspunkt i forskningsspørgsmålet defineret søgeblokke, der blev brugt til at identificere litteratur i relevante databaser. Efter identifikation af litteratur blev relevans

af hver enkelt publikation screenet ud fra første trin i "Standardized Technique for Assessing and Reporting Reviews of Life Cycle Assessment Data" [STARR-LCA], det vil sige en vurdering af relevans ud fra titel, nøgleord og resumé. En publikation vurderes relevant for forskningsspørgsmålet, hvis den omhandler alle følgende tre tematikker: 1) bevaringsværdier knyttet til bygninger, 2) livscyklusvurderinger og 3) udspiller sig i en geografisk kontekst svarende til den sproglige og geografiske afgrænsning. I den efterfølgende fase – berettigelse – blev den udvalgte litteratur fra screeningen gennemlæst og bedømt i forhold til relevans for genstandsfeltet. Gennemlæsningen gav anledning til supplerende litteratursøgninger med en såkaldt Snowball Approach [Wohlin, 2014], hvor udvalgte forfattere, referencer, rapporter eller andet forskningsmateriale, som er identificeret i forbindelse med litteraturstudiet, blev gransket yderligere.

På baggrund af den inkluderede litteratur er der foretaget en videns-ekstrahering, som danner grundlag for litteraturstudiets resultater.



Figur 1. Illustration af den overordnede fremgangsmåde for det systematiske litteraturstudie.



Gennemførelse

Identifikationsfasen [se figur 4] fremkom med 1290 resultater. Fejlkilder i denne fase var, som beskrevet i bilag 1, en uens opbygning af søgemaskinerne, hvilket var en væsentlig kilde til, at forskellige resultater vil kunne fremkomme på trods af tilstræbt reproducerbarhed. Det kan også diskuteres, hvorvidt oversættelserne af temaordene er præcise, da projektdeltagerne alle har dansk som førstesprog og derfor ikke nødvendigvis har det rette kendskab til fagterminerne i de involverede sprog. Det bemærkes dog, at den identificerede litteratur generelt var veludstyret med nøgleord, der gik på tværs af sprogene, så fx en engelsk søgeblok alligevel fandt publikationer på originalsprogene. Af andre fejlkilder bør nævnes den uens måde, hvorpå søgeresultaterne kunne eksporteres til screeningsfasen. Generelt gælder det, at resultaterne ikke er bedre end, hvad materialernes titler, nøgleord og resuméer berettiger til, hvilket betyder, at artikler indeholdende relevant materiale kan være uidentificeret.

Forskningslitteratur inden for byggeri er ikke samlet i én database som fx medicin. Ifølge bibliotekar Kirsten Klausen, AU Library, er byggeri et af de fagområder, som er dårligst organiseret i forhold til sammenfletning af videnskabelig litteratur⁵. Det betyder helt konkret, at databaser med relevant materiale kan være fravalgt i søgestrategien, da det af tidsmæssige årsager ikke er muligt at undersøge alle databaser. Ligeledes er forskningen begrænset til de databaser, som Aarhus Universitet og Arkitektskolen Aarhus giver adgang til; se bilag 2 for yderligere refleksioner herom.

Screeningen af den identificerede litteratur foregik på tværs af Excel og screeningsprogrammet Covidence. Identificeret litteratur blev vurderet i Covidence ud fra titel, nøgleord og abstract med 'yes', 'maybe' eller 'no'. Alle identificerede publikationer blev screenet af to parter. Ved uoverensstemmelse blev publikationen screenet af en tredje part, hvis screeningsresultat var bestemmende for det endelige udfald. I Excel blev hver publikation screenet med A [yes], B [maybe] eller C [no] af minimum to parter. Publikationer med to A'er gik direkte videre til gennemlæsning. Publikationer med to C'er/no blev frasortet. Publikationer med vurderingen B/maybe eller blandede vurderinger blev genvurderet ud fra resuméet af en tredje part.

Screeningen ledte til identifikation af 101 relevante publikationer til nærmere vurdering af berettigelse. I forhold til studiets metode tages der forbehold for, at det kan være vanskeligt at vurdere relevansen af en publikation ud fra titel, nøgleord og resumé, fx hvis der anvendes synonymer til temaordene, eller hvis nøgleord og resuméer er upræcise. Behandlingen på tværs af Excel og Covidence blev forsøgt gennemført ensartet, men der tages forbehold for manuelle fejl.

De udvalgte publikationer blev herefter gennemlæst og kommenteret i forhold til et vurderingsskema (se bilag 3), hvori der indgår et kort resumé af artiklen, en vurdering af, hvordan publikationen forholder sig til emnerne LCA, bygningsarbejder og bevaringsværdier, samt en afsluttende vurdering med kategoriseringen A, B og C i overensstemmelse med screeningsmetoden anvendt i den foregående fase. A-publikationer blev betragtet som kernestudier, mens C-publikationer blev sorteret fra. I denne fase fastholdtes nogle publikationer som A/B- eller B-litteratur. Dette er litteratur, som beskæftiger sig perifert eller indirekte med forskningsspørgsmålet med fx mindre kommentarer, teoretiske eller konkrete diskussioner, der relaterer sig til enten LCA eller bevaringsværdier, men som i et begrænset omfang kan være relevante at inddrage. Hvis det under gennemlæsningen viste sig, at publikationen befandt sig uden for genstandsfeltet, fx ved at falde uden for den geografiske afgrænsning, blev den vurderet som C-litteratur, og der blev ikke udfyldt et review-skema.

Vurderingen af de udvalgte publikationer resulterede i syv studier, der blev bedømt som A-litteratur. Disse publikationer viderebehandles i ekstraheringen og diskuteres i litteraturstudiets resultater. Derudover blev der identificeret 22 publikationer i kategorien A/B og 21 B-litteratur-publikationer. Denne litteratur er inddraget lejlighedsvist i publikationen.

⁵ Møde med Kirsten Klausen, bibliotekar ved AU Library, om litteraturstudiet d. 19.02.2021.



Ekstrahering af viden fra publikationer

Ekstrahering af viden fra A-kategoriserede publikationer er foretaget ved at nedbryde indholdet af review-skemaerne i stikord og hovedpointer under følgende overskrifter: bygningstype, bevaringsværdier, LCA, bygningsarbejder, konklusioner, andet.

LCA er i ekstraheringsarket delt op i LCA- værktøjer og LCA-faser/referenceperioder for at skabe et tydeligere overblik over litteraturens forskellige tilgange (se figur 5 for eksempel). Kategorien værdisætningsmetode er tilføjet for at skabe overblik over anvendte fremgangsmåder til vurdering af bevaringsværdier.

Titel	Yair Schwart, Rokia Raslan, Dejan Mumovic (2016), Implementing multi objective genetic algorithm for life cycle carbon footprint and life cycle cost minimisation: A building refurbishment case study, Energy and Buildings Vol. 61, pp 81-87
Bygningstype	Sheffield (England), Etagebolig, 1950'erne
Bevaringsværdier	Særlig arkitektonisk eller historisk interesse. Betonkonstruktion er vægtet.
Værdisætningsmetode	"Grade II listed Building"
Værktøjer	LCA, LCC, MOGA
LCA- faser/referenceperioder	Database: Tidligere studier Betragtningperiode: 60 år Faser: A1-A5, B2, B6, C3 Miljøpåvirkninger: GWP Energiforbrug: EnergyPlus Energimix: Fjernvarme + naturgas
Bygningsarbejder	Klimaskærmsisolering med eller uden facadesten, kuldebrosisolering og vinduesareal for forskellige orienteringer
Konklusioner	Resultater viser, at brugen af MOGA (Multi objective genetic algorithm) har potentialet til at reducere renoveringens CO ₂ -aftryk og nuværdi. Generelt fremhæver LCA-beregningerne vigtigheden af at minimere kuldebroer og af valg af varmesystem. Resultaterne indikerer, at renovering af bygninger med et meget vedvarende energimix ikke altid er den indlejrede CO ₂ -investering værd, fordi tilbagebetalingstiden bliver for lang [56-58 år].
Andet	Den originale renoveringsstrategi giver anledning til et øget CO ₂ -aftryk over en 60-årig periode, hvilket understreger, at alle renoveringstiltag ikke nødvendigvis bidrager positivt til det samlede CO ₂ -aftryk. Tidligere studier viser, at den indlejrede energi står for 2-39% af den samlede energi, mens tallene for lavenergibygninger er 9-46%.

Figur 5. Eksempel på udtræk

Litteraturstudiets resultater

Litteraturstudiet opsummeret

Litteratursøgningen resulterede i syv A-publikationer (se figur 6), som blev vurderet til at være relevante for forskningsfeltet, dog ofte med hovedvægten enten på LCA eller bevaringsværdier og sjældent på koblingen mellem de to felter, som er publikationens kerneområde. Litteraturstudiet viser, at særligt norske institutioner som SINTEF, Riksarkivaren og NIKU gør sig bemærket med konkrete undersøgelser af bevaringsværdige bygninger, der underlægges en LCA-beregning i forbindelse med ombygninger (Fufa, et al., 2020). Ligeledes med undersøgelser af metodeudvik-

ling i spændet mellem bevaringsværdier og LCA-beregninger (Flyen, et al., 2019). 22 publikationer blev vurderet til at beskæftige sig med forskningsfeltet i væsentlig grad, dog uden at omhandle alle delelementer af forskningsspørgsmålet. Disse udgivelser berører blandt andet forskellige aspekter af metodeudvikling både inden for LCA og screening af bevaringsværdier, men også energirenovering og konkrete eksempler på bygningsarbejder.

De syv A-publikationer består af videnskabelige artikler og rapporter samt en enkelt temaudgivelse fra en af byggeriets interesser:

- **Berg, F. (2016). Using the life cycle analysis approach for decision and policy support concerning built cultural heritage: Norwegian case studies. EECHB-2016 Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings, 68–74. https://www.eechb.eu/wp-content/uploads/2016/12/Proceedings_EECHB.pdf**
Konferenceartiklen, der tager afsæt i et casestudie, viser, at tilføje nye materialer i forbindelse med energirenovering overhaler eksisterende [historiske] bygningers høje energiforbrug i CO₂-udledning, hvorfor man kan argumentere for, at historiske bygninger ikke altid bør energirenoveres. Artiklen peger også på, at LCA ikke i sig selv indikerer, hvor bæredygtig en bygning er. Studiet understreger behovet for at integrere LCA-tilgangen i beslutningsprocessen, fx når der skal tages stilling til eftermontering af energiforbedrende tiltag.
- **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. <https://doi.org/10.1080/13556207.2018.1493664>**
Dette norske LCA-studie har analyseret en historisk bolig fra 1930'erne, hvor et renoveringsscenario og et nybyg-scenario er sammenlignet med den eksisterende bygning. Over en 60-årig betragtningsperiode viser resultaterne, at det tager lidt over 50 år, før CO₂-aftrykket bliver mindre ved nybyg-scenariet på grund af den indlejrede CO₂ ved nybyg.

Studiet understreger, at materialeforbrug og beboernes adfærd har en signifikant indflydelse på CO₂-aftrykket. Hvis det faktisk målte energiforbrug benyttes som sammenligningsgrundlag, vil nybyg-scenariet give anledning til en højere CO₂-udledning over den 60-årige periode i forhold til renoverings-scenariet. Undersøgelsen indikerer, at renovering af historiske bygninger kan minimere livscyklus-CO₂-aftrykket på lige fod med eller bedre end opførelse af nye bygninger.

- **Duffy, A., Nerguti, A., Purcell, C. E., & Cox, P. (2019). Understanding Carbon In Historic Environment: Scoping Study: Final Report (s. 78). Historic England. <https://historicengland.org.uk/content/docs/research/understanding-carbon-in-historic-environment/>**
Denne rapport er et engelsk studie af historiske bygningers livscyklus, hvor både driftsenergi og indlejret energi tages i betragtning. Formålet er at identificere anvendelige metoder og redskaber til at bedømme historiske bygninger med og at vurdere to casestudies hermed. Studiet viser, at renovering af et "End-of-Terrace Victorian House" godt kan svare sig i et CO₂-perspektiv, mens transformationen af et kapel til bolig ikke kan svare sig i forhold til at bygge nyt. Derudover peger det på, at lovgivninger, der udelukkende håndterer driftsenergi, er misvisende i forhold til total CO₂-udledning, når det kommer til nedrivning og nybyg, og at renovering af eksisterende bygninger er mindre miljøbelastende.



- Flyen, C., Flyen, A. C., & Fufa, S. M. (2019). Miljøvurdering ved oppgradering av verneverdig bebyggelse (s. 28). SINTEF akademisk forlag. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2617626/Fag%2b58.pdf?sequence=2&isAllowed=y>**

Rapporten er en undersøgelse af, hvorledes ældre og bevaringsværdige bygninger kan blive vurderet i forbindelse med renovering. Der tages udgangspunkt i kendte redskaber som LCA, BREEAM og EPD. Rapporten konkluderer, at EPD-metodikken er et gavnligt udgangspunkt som beslutningsgrundlag i forbindelse med renovering og restaureringer. Endvidere peger rapporten på problematikker vedrørende EPD'er i Norge og internationalt.
- Fufa, S. M., Venås, C., & Flyen, C. (2020). Grønt er ikke bare en farve: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede (s. 71). SINTEFF. https://www.sintefbok.no/book/index/1268/groent_er_ikke_bare_en_farve_baerekraftige_bygninger_eksisterer_allerede**

Rapporten indeholder en undersøgelse af miljømæssige fordele, ulemper og muligheder for opgradering af eksisterende bygninger ud fra et livscyklusperspektiv. Rapporten italesætter problemer ift. LCA, såsom manglende transparens i beregningerne og udeladelse af visse faser. Rapporten konkluderer, at der er et uudnyttet potentiale for miljøgevinst i den eksisterende bygningsmasse [hvis muligt bør renovering prioriteres frem for nedrivning og nybyg], at kulturelle og historiske værdier bør indgå i vurderingen af rehabiliteringstiltag, og at fyldestgørende livscyklusvurderinger er vigtige som beslutningsværktøj.
- Yair Schwart, Rokia Raslan, Dejan Mumovic (2016), Implementing multi objective genetic algorithm for life cycle carbon footprint and life cycle cost minimisation: A building refurbishment case study, Energy and Buildings Vol. 61, pp 81-87**

Dette studie undersøger en bevaringsværdig etagebygning fra 1950'erne gennem LCA og LCC-analyser over en

60-årig periode. Forskellige energirenoveringstiltag er undersøgt med "Multi objective genetic algorithm" (MOGA). Resultater viser, at MOGA har potentialer til at reducere renoveringens CO₂-aftryk og nuværdi⁶. Generelt fremhæver LCA-beregningerne vigtigheden af at minimere kuldebroer og af valg af varmesystem. Renovering af eksisterende bygninger betragtes som en væsentlig og effektiv metode til at minimere miljøpåvirkningerne, men der mangler ressourcer og kompetencer til at træffe de rigtige designvalg i de tidlige projektfaser. Resultaterne viser også, at renovering af bygninger med et meget vedvarende energimix ikke altid er den indlejrede CO₂-investering værd, fordi tilbagebetalingstiden bliver for lang.

- Strunge Jensen A/S & Realea A/S. (2009). Energirenovering i fredede bygninger: Afdækning af muligheder for implementering af energibesparende tiltag i fredede bygninger med afsæt i det fredede bygningskompleks Fæstningens Materialgård : eksempelprojekt : midtvejsrapport (s. 46). Realea. https://slks.dk/fileadmin/user_upload/kulturarv/publikationer/emneopdelt/bygninger/energirenovering/energirenovering_rapport.pdf**

Rapporten sætter fokus på CO₂-besparelser og bevaringsværdier samt indeklimaforhold i forbindelse med renovering af et større fredet bygningskompleks. Gennem fire arbejdsgruppevurderinger bedømmes forskellige energitiltag i forhold til deres indflydelse på fredningsværdier og effekt på energiforbruget. Rapporten anbefaler en prioritering af elmæssige energibesparelser i kontormiljøer pga. direkte energibesparelser ved opvarmning og indirekte som følge af et reduceret kølebehov om sommeren. Herudover viser projektet, at det er muligt både at opnå en CO₂-besparelse og forbedre indeklimaet uden at gå på kompromis med de vigtige fredningsværdier.

Figur 6.

⁶ Nuværdien er udtryk for, hvor mange penge der skal sættes til side i dag for at kunne betale alle nutidige og fremtidige omkostninger over hele bygningens levetid.

Generelle konklusioner

Litteraturstudiet indikerer et manglende tværfagligt samarbejde inden for forskningsfeltet. I identifikationsfasen blev der fundet mange udgivelser vedrørende eksisterende byggeri og LCA, men ikke LCA i kombination med bevaringsværdier eller arkitektonisk kvalitet generelt. Ud af i alt 1290 fremsøgte publikationer er kun 7 vurderet at befinde sig inden for det undersøgte forskningsområde, hvilket indikerer, at her er et videnshul.

Generelt peger A-litteraturen på, at CO₂-aftrykket ved renovering af eksisterende bygninger er lavere sammenlignet med nybyggeri, fordi den indlejrede CO₂-investering ved nybyg ikke kan betale sig tilbage med reduceret CO₂-udslip i driftsfasen. Et højere CO₂-udslip i driftsfasen for historiske bygninger i forhold til nybyggeri kan således ikke nødvendigvis bruges som et argument for at nedrive disse bygninger; ombygninger og energirenovering af historiske bygninger kan være et alternativ til nye lavenergibygninger [Fufa, et al., 2020], [Berg & Fuglseth, 2018], [Berg, 2016].

Flere af de identificerede studier indikerer, at bevaringsværdier og arkitektonisk kvalitet diskuteres i sammenhæng med en livscyklusbetragtning, men at det ikke eftervises gennem en LCA-analyse [Loli & Bertolin, 2018]. Huuhka og Vestergaard [Huuhka & Vestergaard, 2019] diskuterer muligheden for at udarbejde et metoderedskab til værdisætning af bevaringsværdier, som også tager afsæt i LCA-værktøjet, dog bliver den teoretiske ramme ikke udfoldet. Flyen et al. [Flyen, et al., 2019] tager afsæt i samme diskussion og peger på, at Environmental Product Declarations [EPD]⁷ i kombination med LCA kan være rammesættende for en indledende værdisætningsmetode i forbindelse med istandsættelse og restaurering af bevaringsværdige bygninger, men efterprøver ikke en egentlig metode eller fremgangsmåde herfor.

I relation til litteraturens manglende samspil mellem LCA og bevaringsværdier eller arkitektonisk kvalitet generelt tolkes det som en konsekvens af manglende tværfagligt samarbejde mellem relevante forsknings- og vidensinstitutioner inden for fagområderne. I samme kontekst bør det bemærkes, at der ikke findes en national forsknings- og vidensdatabase målrettet

arkitektur og byggeri, hvilket gør, at institutionerne kan have svært ved at finde relevante studier og referencer. Nærværende litteraturstudie er udført ved en gennemøgning af formodet relevante institutioners forskningsartikeldatabaser. Ved denne metodik kan udpegningen af databaser blive individbåren og fagbaseret, hvorved der opstår risiko for, at anden relevant viden ikke belyses i lignende undersøgelser [Unnerbäck, 2002].

I forhold til forskningsspørgsmålet og de dertil udvalgte søgeord beskæftiger den fremsøgte litteratur sig primært med klimaspækket af bygningernes påvirkning, men man bør have in mente, at bygningernes påvirkning ikke alene begrænses hertil. Det er derfor essentielt, at der også kigges på andre typer af påvirkninger af fx miljø, økonomi og sociale forhold for at sikre et helhedsorienteret billede. Ydermere skal det nævnes, at LCA-resultaterne i publikationerne repræsenterer et øjeblikbillede, som er udtryk for viden og dataadgang på undersøgelsestidspunktet, hvilket er væsentligt at understrege, da LCA i disse år er et område under kraftig udvikling. Ligeledes kan bevaringsværdier i den udpegede publikation også anskues som et billede på, hvorledes samfundet vurderer en særlig byggeskik eller historisk periode omkring vurderingstidspunktet. Billedet herpå kan ændre sig over tid, hvilket de bevaringsværdige bygninger måske særligt er udsat for, da netop disse bygninger er decentralt administreret på kommunalt niveau til forskel fra fx fredningslovgivningen, som er administreret på centralt statsligt niveau.

Bevaringsværdier

I den litteratur, som nærværende studie har fundet relevant, er der generelt en mangel på metodeklarhed i forhold til, hvorledes bevaringsværdier eller arkitektonisk kvalitet defineres og håndteres. Dette på trods af, at der i en skandinavisk kontekst eksisterer flere velfunderede redskaber til netop dette: SAVE [DK], DIVE [NO] og til dels Kulturhistorisk værdering av bebyggelse [SE]. Loli & Bertolin fremhæver denne problematik ved at pege på, at hvis gængse renoveringsløsninger anvendes på historiske bygninger uden kendskab til deres bevaringsværdier, vil det øge risikoen for at miste værdierne i de historiske bygninger [Loli & Bertolin, 2018]. I litteraturstudiet udført af Fufa et al. i 2020 konkluderes det, at en miljøvenlig renovering af eksisterende bygninger bør prioriteres snarere end nedrivning og opførelse af nye bygninger. Fufa et al. peger på, at kulturelle og historiske bevaringsværdier bør tages i betragtning

⁷ EPD'er er en ISO-standard, der har til formål at kvantificere et produkts miljø- og klimaaftryk i en livscyklus.



ved vurdering af miljøvenlige renoveringstiltag, mens der ikke opstilles nogen konkret metodisk tilgang til dette. Flyen et al. peger i 2019 på en sådan metodisk tilgang med udgangspunkt i EPD'erne. Flyen diskuterer, hvorledes EPD'erne kan anvendes som retningsgivende redskaber i de tidlige faser af renoveringsprojekter. EPD'erne kan eksempelvis inddrages i de indledende diskussioner af renoveringsprojekter, således at relevante materialer kan sammenstilles med bevaringsværdige bygningers historiske materialer, byggetekniske forudsætninger og håndværksmæssige særegenheder, før der udføres tegningsmateriale og konkrete LCA-beregninger [Flyen, et al., 2019]. Denne tanke er forfulgt i CINARKs Byggeriets Materialepyramide fra 2019, som er en sammenstilling af et udsnit af det industrialiserede byggeris materialer [CINARK, 2019]. Redskabet er et diskussionsskabende værktøj, der med sin grafiske sammenstilling giver mulighed for hurtige æstetiske og klimamæssige sammenligninger og diskussioner i projekternes indledende faser. Denne tilgang kan bidrage med indledende diskussioner, mens LCA-undersøgelserne skal udgøre det endelige beslutningsgrundlag.

I konteksten af EPD'er peges der på et systematisk problem. I forbindelse med renovering af bevaringsværdige bygninger er en bevaring af originals substans, det vil sige oprindelige materialer, håndværk, arkitekturdele, patina og bygningsarkæologiske spor ofte af væsentlig betydning for, at bevaringsværdierne fastholdes og bevares [Exner, 2007]. Dette kræver materialekendskab og viden om fabrikmetsmetoder fra den specifikke tidsperiode, hvor bygningen er tegnet og opført. Flyen et al. peger på, at der findes få eller ingen EPD'er af historiske materialer og heller ikke af mindre producenter og nicheprodukter, hvilket kan give en skævrindning af, hvilke produkter der anvendes og tages udgangspunkt i, i de indledende projektfaser såvel som i de konkrete LCA-beregninger. Generelt mangler der i denne forbindelse en inklusion af konstruktionsmetoder, såvel som en istandsættelse versus udskiftning af bygningskomponenter. I en dansk kontekst knytter bygningers bevaringsværdier sig til facaderne, når det gælder kategorien bevaringsværdige bygninger, hvilket betyder, at der også er en niveauforskel i forhold til, hvorledes interiør og eksteriør vurderes og behandles.

LCA-metode

Den identificerede litteratur viser, at LCA-beregninger på eksisterende bygninger bliver udført med forskellige metodetilgange. Det ikke-ækvivalente sammenligningsgrundlag skabes ved eksempelvis uens inklusion af moduler/faser og forskellige

definitioner af betragtningsperioder. Dette har konsekvenser for, hvorledes materialers indlejrede emissioner og driftsemissionerne vægtes i forhold til hinanden. Den manglende konsensus om LCA-metodetilgangen i litteraturen støttes af Fufa et al., som også peger på et behov for transparente og fyldestgørende LCA-beregninger [Fufa, et al., 2020]. Rasmussen og Birgisdóttir fremhæver også, at en strømlinet LCA-metodetilgang for renovering ikke eksisterer [Rasmussen & Birgisdóttir, 2016]. Konsekvensen kan være, at gode løsninger påvist i ét studie ikke kan overføres til en anden metodisk kontekst.

Litteraturstudiet understreger et behov for en mere ensartet metodebeskrivelse ved LCA-studier på eksisterende bygninger, som fx også forholder sig til detaljeringsgraden af, hvilke materialer der skal indgå i LCA, og hvordan de skal indgå. I dansk kontekst findes branchevejledningen i LCA ved renovering fra 2016 [Worm, et al., 2016], som sigter mod at skabe fælles retningslinjer for LCA på bygningsrenoveringer. For at holde disse retningslinjer opdaterede og relevante er der behov for løbende tilpasninger i takt med, at ny viden opstår, da størstedelen af publikationerne inden for forskningsfeltet er udgivet i løbet af de seneste ti år.

I den fremsøgte litteratur fremgår det ikke altid klart, hvilken oprindelse miljødata for materialerne har, hvilket er en tendens, der også observeres af Birgisdóttir et al. [Birgisdóttir, et al., 2017]. Den primære anvendte miljødatabase i den fremsøgte litteratur er Ecoinvent [ecoinvent, 2021], men studierne forholder sig sjældent til den usikkerhed, der er forbundet med valg af miljødata. Et studie fra 2016 udført af Laslaux, Haber, Peuportier og Chevalier har dog vist signifikante afvigelser mellem specifikke og generiske miljødata [Laslaux, et al., 2015]. Generelt viser litteraturstudiet, at LCA-resultaterne bliver fremstillet uden usikkerhed på trods af de usikkerheder, der er forbundet med miljødata, betragtningsperioder, driftsenergi med videre. Vigtigheden af dette emne er illustreret eksempelvis i studiet udført af Berg og Fuglseth, hvor benyttelse af det faktisk målte energiforbrug ændrede konklusionen fra, at nybyg giver det mindste samlede CO₂-aftryk, til, at nybyg-scenariet giver anledning til et 10% højere CO₂-aftryk over en 60-årig periode i forhold til renoveringsscenariet [Berg & Fuglseth, 2018]. Brugeradfærd og -præferencer bør derfor inkluderes som en usikkerhed for at tage forbehold for rebound-effekten⁸. Generelt kan det konkluderes, at der er behov for usikkerhedsanalyser i forbindelse med LCA-beregninger for ikke at risikere en skævrindning af resultaterne med forkerte konklusioner til følge.

I krydsfeltet mellem LCA og bevaring viser litteraturstudiet, at miljøkonsekvenserne i forbindelse med vedligeholdelse [behandles i modul B2 i LCA-faserne] sjældent er en del af LCA-undersøgelserne på bevaringsværdige bygninger, på trods af at bygningerne ud fra et social-kulturelt perspektiv er blevet erklæret som objekter af særlig interesse, som derfor bør vedligeholdes og ikke nedbrydes. Et større fokus på vedligeholdelsesaspektet kunne derfor være relevant ved betragtning af bevaringsværdige bygninger. Herudover mangler der en diskussion om varigheden af referenceperioden for LCA-beregninger på bevaringsværdige bygninger, da den gennemgåede litteratur viser forskellige valg af betragtningsperiode. Den danske branchevejledning i LCA ved renovering og den danske frivillige bæredygtighedsklasse anbefaler en betragtningsperiode på 50 år, men nævner ikke nogen overvejelser i forhold til bevaringsværdige bygninger. Et dansk studie udført af Rasmussen, Zimmermann, Kanafani, Andersen & Birgisdóttir i 2020 [Rasmussen, et al., 2020] har undersøgt effekterne af og argumenterne for en kortere betragtningsperiode på 11 bygninger med en levetid på henholdsvis 50, 80, 100 og 120 år. Resultaterne viser ingen bemærkelsesværdig forskel i rangeringen mellem bygninger på deres CO₂-aftryk, og forholdet mellem den bedste og den dårligste bygning forbliver nogenlunde det samme. Studiet argumenterer for en betragtningsperiode på 50 år for at minimere usikkerheden og for, at et resultat på årsbasis ved længere betragtningsperioder indebærer et grundlæggende etisk spørgsmål om tildeling af miljøbelastninger til fremtidige generationer [Rasmussen, et al., 2020]. Studiet tager udgangspunkt i nybyg-scenarier, men bringer aktuelle overvejelser på banen, som også er relevante ved valg af betragtningsperiode i forbindelse med renovering af bevaringsværdige bygninger.

I B-litteraturen findes flere studier, som peger på, at renovering af eksisterende bygninger overvejende har et mindre CO₂-aftryk end at lade bygningerne stå, som de er, eller at nedrive og bygge nyt, men studierne omhandler ikke, hvilken indvirkning de undersøgte energirenoveringstiltag vil have på bygningens bevaringsværdi [Sørensen & Mattson, 2020], [Rasmussen & Birgisdóttir, 2015]. Fælles for disse udgivelser er, at der generelt arbejdes indirekte og ikke-metodisk med bevaringsværdier og arkitektonisk kvalitet.

Bygningsarbejder

De dominerende bygningsarbejder, som har været repræsenteret i den fremsøgte litteratur, er 'standardtilgange' til energirenoveringer af tag, facader, fundamenter, forsyningsform og installationer. På tværs af studierne varierer det dog, hvilke renoveringstiltag og hvilken renoveringsgrad der er mest hensigtsmæssige i et LCA-perspektiv [Wrålsen, et al., 2018], [Schwartz, et al., 2016], [Villegas, et al., 2019].

I situationer med en mindre andel af vedvarende energi i det samlede energimix⁸ end typisk observeret i de nordiske lande indikerer litteraturen dog, at de fleste standardrenoveringstiltag, eksempelvis efterisolering af klimaskærmen eller udskiftning af vinduer, vil kunne nedbringe bygningens CO₂-aftryk, hvilket skyldes, at driftsaftrykket i disse situationer bliver den dominerende faktor i forhold til den indlejrede CO₂¹⁰. Den nyeste litteratur for de nordiske lande, hvor der er en højere andel af vedvarende energi i det samlede energimix, indikerer, at renovering af den nuværende energiineffektive bygningsmasse giver anledning til et samlet lavere CO₂-aftryk sammenlignet med nedrivning og opførelse af en ny lavenergi-bygning. Sørensen og Mattson samt Säynäjoki, Heinonen, & Junnila fremhæver, at den ekstra indlejrede CO₂, der er forbundet med nybyggeri, ikke bliver tilbagebetalt på trods af lavere CO₂-emission i driftsfasen, mens resultaterne understreger, at der skal ske en energirenovering af bygningen, før det i forhold til CO₂-udledningen kan betale sig [Sørensen & Mattson, 2020], [Säynäjoki, et al., 2012]. Dette understreger kompleksiteten og vigtigheden af de analyser, hvor transparens er essentiel for at sikre, at modtageren kan vurdere konklusionernes relevans.

Et norsk LCA- og LCC-studie med analyser af syv forskellige renoveringsløsninger af forsyningssystemet i forbindelse med renovering af et enfamiliehus fra 1960'erne viser, at den omfattende energirenovering med meget indlejret CO₂ giver det mindste CO₂-aftryk efter 50 år med et nordisk energimix [0.17 kg CO₂eq/kWh], men den højeste nuværdi [Moschetti & Brattembø, 2017]. Endvidere viser studiet, at hvis energimixet udskiftes med norske tal [0.025 kg CO₂eq/kWh], giver en mindre omfattende renovering det mindste CO₂-aftryk, fordi indflydelsen fra

⁸ Rebound-effekten argumenterer for, at en del af gevinsten ved en energirenovering bliver omsat til højere komfort i stedet for en lavere varmeregning.

⁹ Udtrykket "energimix" henviser til kombinationen af de forskellige primære energikilder, der bruges til at dække energibehov i et givet geografisk område. Disse primære energikilder bruges fx til at generere strøm og til opvarmning af vores bygninger.

¹⁰ Et vedvarende energimix er udtryk for, at energiforsyningen består af en høj grad af vedvarende energi.



driftsfasen minimeres [Moschetti & Brattebø, 2017]. Dette illustrerer vigtigheden af at betragte CO₂-emissioner i et livscyklusperspektiv og med lokale energimix.

Litteraturstudiet indikerer, at energirenoveringer skal afstemmes efter de konkrete forhold for at sikre en CO₂-besparelse set over hele bygningens levetid. Desuden vil standardløsninger ikke nødvendigvis være de mest miljø- og klimavenlige tiltag i det konkrete tilfælde; Duffy et al. illustrerer denne udfordring, hvor renovering af et "End-of-Terrace Victorian House" godt kan svare sig i et CO₂-perspektiv, mens transformationen af et kapel til bolig ikke kan svare sig i forhold til at bygge nyt [Duffy, et al., 2019]. Renoveringen af huset er repræsentativ for ca. 1 mio. etageboliger, mens transformationen af kapellet ikke er en typisk case. Det peger på, at indsatsen for energioptimering bør øges de steder, hvor der er størst gevinst. Endvidere kunne det tyde på, at der mangler viden om klimabelastninger i forhold til funktionsændringer og transformationer af den eksisterende bygningsmasse.

På baggrund af den fremsøgte litteratur er der ikke en entydig anbefaling af, hvilke renoveringstiltag der er efterlevelsseværdige i forhold til at minimere klimapåvirkningen. Der er dog indikationer på, at materialevalg, fx i forbindelse med efterisoleringsring, med fordel kan tage udgangspunkt i træbaserede isoleringsprodukter [Shadrama, et al., 2020] [Piccardo, et al., 2020].

Konklusion på litteraturstudie

Litteraturstudiet har kortlagt eksisterende viden om forholdet mellem bygningskultur og klimapåvirkning i et livscyklusperspektiv. Der kan drages følgende overordnede konklusioner:

- Eksisterende viden på området er sparsom og består primært af casestudier og overordnede betragtninger om forholdet.
- Der findes studier, som peger på, at renovering af eksisterende bygninger overvejende har et mindre CO₂-aftryk end at lade bygningerne stå, som de er, eller at nedrive og bygge nyt, men studierne omhandler ikke, hvilken indvirkning de undersøgte energirenoveringstiltag vil have på bygningens bevaringsværdi.
- Enkelte studier inddrager livscyklusomkostninger i betragtningen af renoveringstiltag og deres indvirkning på bevaringsværdier samt de økonomiske betragtninger.
- LCA beror ofte på forskellige baggrundsdata, både for energimix og produktionsforhold, og derfor kan konklusioner

fra et studie i et bestemt land ikke umiddelbart overføres til andre lande uden en bearbejdning af data, der potentielt kan ændre konklusionerne.

Ud fra helhedsindtrykket af de få, men udmærkede studier peges der på følgende områder, hvor viden er mangelfuld, og på, hvilke forsknings- og udviklingsmæssige tiltag der dermed er behov for:

- Sparsomt vidensgrundlag om bygningskulturens potentiale i forhold til klimapåvirkning – Behov for flere tværfaglige analyser af, hvordan bygningskulturen kan bidrage til reduktion af klimapåvirkninger [både casestudier og studier af mere generaliserende karakter]
- Manglende konsensus om, hvordan LCA bør gennemføres i forbindelse med renovering og ombygning af eksisterende byggeri – Udvikling og udbredelse af en ensartet tilgang til LCA i forbindelse med bygningsrenovering, der også medtager og illustrerer usikkerhed i data.
- Manglende tværfaglig platform – Udvikling af værdisætnings- og analyseværktøj til tværfaglig evaluering af bygningers bevaringsværdier og klimapåvirkning
- Manglende LCA-datagrundlag – Udarbejdelse af EPD'er for historiske materialer, produkter fra mindre producenter, nicheprodukter etc.
- Manglende viden om den reelle klimabelastning for brugsfasen – Der er brug for mere forskning i fastsættelse af nuværende klimabelastning og den reelle effekt af renoveringstiltag for bevaringsværdige bygningers driftsfasen.

Kapitel 3

BYGNINGSBESTANDEN

Indledning og Formål

Kapitlet har til formål at undersøge forhold om bygningsbestanden, og om energiforbruget i henholdsvis de bevaringsværdige og ikke-bevaringsværdige etageboligbebyggelser for den udvalgte periode adskiller sig signifikant fra hinanden og dermed giver anledning til at anbefale et skærpet fokus på reduktion af energiforbruget for enten den ene eller den anden bygningskategori.

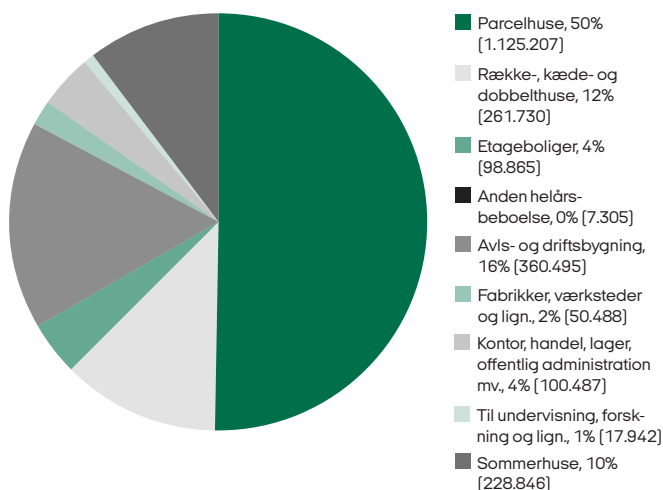
Bygningsbestanden i tal

I kapitlet beskrives etageboligbebyggelser¹¹ opført i perioden 1930-1974 på baggrund af data fra Bygnings- og Boligregistret (BBR) og data fra databasen Fredede og Bevaringsværdige Bygninger (FBB), dels for hele Danmark og dels for Lyngby-Taarbæk Kommune, der i publikationen er udvalgt som case-kommune. Indledningsvis beskrives den danske bygningsbestand generelt, det vil sige ud over perioden 1930-1974 med data fra Danmarks Statistik.

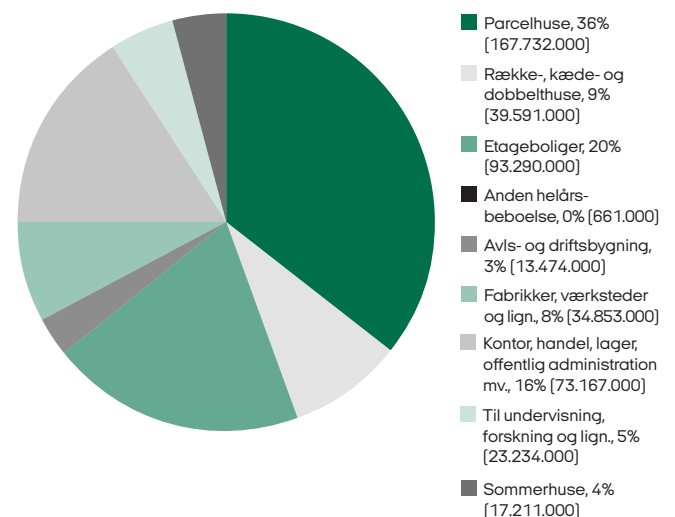
Data fra Danmarks Statistik

Figur 7 viser det totale antal og areal for de primære bygningstypologier i Danmark ifølge Danmarks Statistik [2021]. Der er 1 125 207 parcelhuse¹² med et samlet etageareal på ca. 168 mio. kvadratmeter, svarende til henholdsvis 50% og 36% ud af de primære typologier, hvilket gør parcelhuse til den største typologi i både i antal og areal. Etageboligbebyggelser¹³ udgør 98 865 i antal, og ca. 93 mio. kvadratmeter, eller henholdsvis 4% og 20% ud af de primære typologier. Etageboligbebyggelser er dermed arealmæssigt den andenstørste typologi, hvilket indikerer et væsentligt potentiale for netop denne typologi til at bidrage til nedbringelse af byggeriets samlede CO₂-aftryk; 20% af Danmarks CO₂-udledning i dag kommer fra driftsenergiforbruget i vores bygninger [Nielsen, et al., 2020].

Antal



Areal



Figur 7. Procentfordeling af antal og areal for de primære bygningstypologier i Danmark. Tal fra Danmarks Statistik.

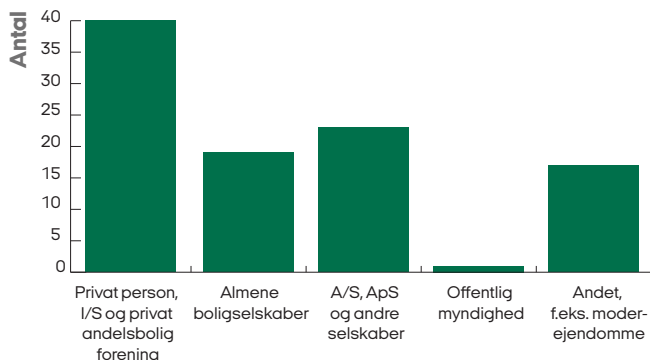
¹¹ Gennem publikationen bruges begrebet etageboligbebyggelser om bebyggelser med to etager eller mere og med vandret lejlighedsskel.

¹² BBR kode 120-123: 120 Fritliggende enfamiliehus, 121 Sammenbygget enfamiliehus, 122 Fritliggende enfamiliehus i tæt-lav bebyggelse.

¹³ BBR kode 140: Etagebolig-bygning, flerfamiliehus eller to-familiehus.



Ejerforholdene for de 98 965 etageboligbebyggelser kan observeres i figur 8. De primære ejerforhold er forskellige afarter af privat ejendom, herunder privatpersoner, interesseselskaber (I/S) og private andelsboligforeninger (ca. 40%), forskellige typer af selskaber (ca. 23%), og den almene boligsektor (ca. 19%). Den resterende andel er andre former for ejerforhold fx moderejendomme eller offentlige myndigheder. Publikationens undersøgelser henvender sig således til en bred vifte af bygningsejere.



Figur 8. Procentfordeling af ejerforholdene for samtlige etageboliger. Tal fra Danmarks Statistik.

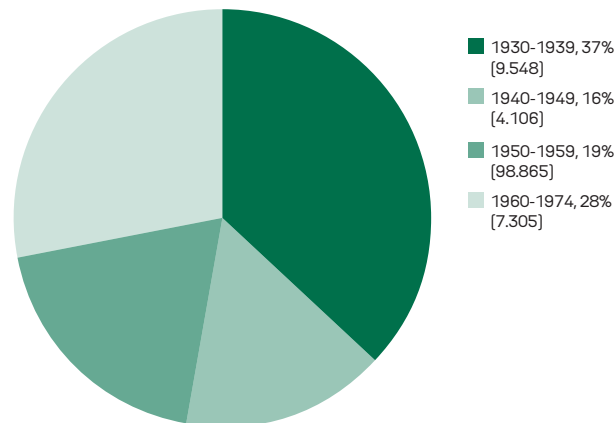
Data fra BBR og FBB - etageboligbebyggelser fra 1930-1974

Indledningsvis er antallet af etageboligbebyggelser fra Danmarks Statistik sammenlignet med det tilsvarende tal fra BBR¹⁴ for bygninger opført i perioden 1930-1974. Danmarks Statistik angiver 31 701 etageboligbebyggelser, mens BBR angiver 31 716 i anvendelseskode 140. Tallene viser en acceptabel overensstemmelse mellem de to datasæt. I det videre arbejde benyttes BBR-data.

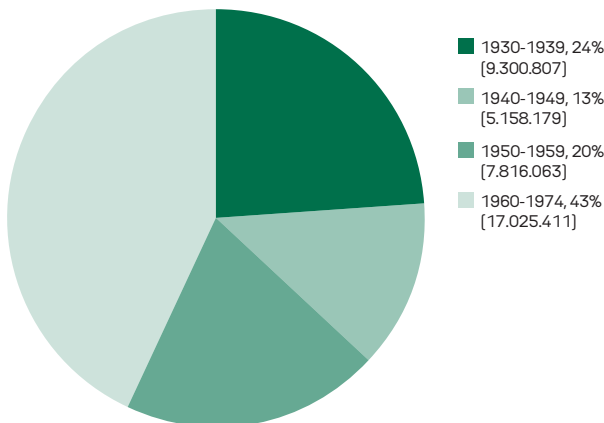
BBR's definition af etageboliger [anvendelseskode 140] omfatter både såkaldte etagebolig-bygninger, flerfamiliehuse og tofamiliehuse. Denne publikation beskæftiger sig alene med etageboligbebyggelser – dvs. boligbebyggelser i to etager eller derover og med vandret lejlighedsskel – og derfor frasorteres flerfamiliehuse og tofamiliehuse i BBR-data ved at filtrere de bygninger, som har mindre end to etager, fra. Denne sortering er behæftet med en vis usikkerhed, som vurderes acceptabel i sammenhængen. Sorteringen efterlader os med 25 563 etageboligbebyggelser.

Figur 9 viser udviklingen i antal og areal af etageboligbebyggelser opført i publikationens referenceperiode. I figuren ses der et

Antal fordeling



Areal fordeling



Figur 9. Procentfordeling af antal og areal for etageboligbebyggelserne. Tal fra BBR.

¹⁴ BBR-dataene stammer fra en udtræk lavet til AU i juni 2019.



markant fald i antallet af opførte etageboligbebyggelser i perioden, hvor Anden Verdenskrig fandt sted. I 1950'erne er antallet af bebyggelser også mindre end i 1930'erne, mens de enkelte etageboligbebyggelser blev markant større op igennem 1960'erne og 1970'erne, hvor montagebyggeriet holdt sit indtog. Fra 1960-1974 blev der opført ca. 17 mio. m² etageboliger, hvilket svarer til 76% af arealet opført i den 30-årige periode forinden og 43% af det samlede areal opført i referenceperioden [1930-1974]. Arealerne er beregnet ved at summere bolig- og erhvervsarealerne fra BBR, fordi visse etageboligbebyggelser også indeholder erhvervsarealer. I det videre arbejde er summen af bolig- og erhvervsarealerne brugt som et udtryk for det opvarmede etageareal for etageboligbebyggelserne.

Om- og tilbygninger

Ud af de 25 563 etageboligbebyggelser er 7 711 blevet ombygget eller tilbygget ifølge BBR. Om- og tilbygning bør registreres i BBR, hvis følgende gør sig gældende:

”Ved væsentlige om- og/eller tilbygninger forstås sådanne, hvor værdien af forbedringerne udgør mindst 15 pct. af bygningsværdien inden forbedringernes gennemførelse. En ejendom vil blive udtaget til årsomvurdering, hvis forbedringerne udgør mindst 5 pct. af ejendomsværdien før forbedringernes gennemførelse, dog mindst 25.000 kr.”¹⁵

Det er dog uvist, i hvilket omfang registreringen sker i praksis. I det videre arbejde er de 7 711 registrerede om- og/eller tilbyggede etageboligbebyggelser derfor ikke frasorteret, da denne frasortering vurderes at være behæftet med for stor usikkerhed.

Bevaringsværdige etageboligbebyggelser – vurdering og overblik

I det følgende ses der på bevaringsværdige etageboligbebyggelser. Her skal det nævnes, at der kan være foretaget renoveringer, forud for at bygningen blev udpeget som bevaringsværdig,

og at renoveringstiltagene dermed er medtaget i vurderingen af den samlede bevaringsværdi. Renovering kan også have fundet sted efter udpegningen, hvilket i så fald kan have konsekvenser for bevaringsværdierne – uden at dette er registreret eller har ændret den oplyste bevaringsværdi.

Bevaringsværdige bygninger udpeges af den enkelte kommune med udgangspunkt i bygningens bevaringsværdier. Dette sker ved hjælp af SAVE-metoden. SAVE er en sammenskrivning af ”Survey of Architectural Values in the Environment”. Bevaringsværdierne hænger sammen med bygningens arkitektur og historie:

- Er bygningen et godt eksempel på periodens arkitektur eller på en særlig byggeskik?
- Er bygningstypen eller bygningens form sjælden?
- Har bygningen dannet forbillede for andre bygninger?
- Står bygningen intakt?
- Er udskiftninger og ombygninger tilpasset bygningens udtryk?
- Er bygningen betydningsfuld i gadebilledet eller i landskabet?






Metoden har fem vurderingsparametre: Arkitektonisk værdi, kulturhistorisk værdi, miljømæssig værdi, originalitet og tilstand. Vurderingen resulterer i en karakter mellem 1 og 9 (se figur 10), hvor karakteren 1-3 regnes for en høj bevaringsværdi, 4-6 for middel bevaringsværdi og 7-9 for lav bevaringsværdi¹⁶. De bevaringsværdige bygninger kan ses i Slots- og Kulturstyrelsens database over fredede og bevaringsværdige bygninger [FBB].

At en bygning er erklæret bevaringsværdig, har betydning for, hvor meget ejeren må ændre på husets ydre, mens husets indre ikke er omfattet af udpegningen – som ved en fredning. Da der i denne rapport fokuseres på bevaringsværdige bygninger og ikke på fredede bygninger, behandles udelukkende bygningernes ydre bevaringsværdier. Når der sker ændringer med bygningen gennem fx ombygning, kan karaktererne ændre sig, og der kan opstå behov for at korrigere bevaringsværdien. En bygning kan ved en god tilbageføring eller renovering opnå en højere karakter end ved den oprindelige vurdering. [Kulturstyrelsen, U.D.]

¹⁵ [BBR, 2021].

¹⁶ [Didriksen, et al., 2011]



	Fredet bygning
	Bevaringsværdig bygning Udpeget i kommuneplan, lokalplan eller af Kulturarvsstyrelsen
	SAVE-værdi 1. Høj bevaringsvurdering Retsvirkningen er ikke oplyst til FBB.
	SAVE-værdi 2. Høj bevaringsvurdering Retsvirkningen er ikke oplyst til FBB.
	SAVE-værdi 3. Høj bevaringsvurdering Retsvirkningen er ikke oplyst til FBB.
	SAVE-værdi 4. Middel bevaringsvurdering Retsvirkningen er ikke oplyst til FBB.
	SAVE-værdi 5. Middel bevaringsvurdering Retsvirkningen er ikke oplyst til FBB.
	SAVE-værdi 6. Middel bevaringsvurdering Retsvirkningen er ikke oplyst til FBB.
	SAVE-værdi 7. Lav bevaringsvurdering Retsvirkningen er ikke oplyst til FBB.
	SAVE-værdi 8. Lav bevaringsvurdering Retsvirkningen er ikke oplyst til FBB.
	SAVE-værdi 9. Lav bevaringsvurdering Retsvirkningen er ikke oplyst til FBB.
	Bygning uden selvstændig SAVE-værdi Del af SAVE-sag, men der er uregelmæssigheder i registreringen .
	Bygningen er ikke fredet og ikke bevaringsvurderet.

BEVARINGSVÆRDI 1

Bygninger med den højeste værdi 1 vil som oftest være fredede bygninger eller folkekirker. Særligt værdifulde bygninger kan dog godt have bevaringsværdi 1 uden at være fredede.

BEVARINGSVÆRDI 2-4

Bygningerne med værdierne 2-4 er de bygninger, som i kraft af deres arkitektur, kulturhistorie og håndværksmæssige udførelse er fremtrædende eksempler inden for deres slags.

BEVARINGSVÆRDI 5-6

Bygninger med bevaringsværdierne 5-6 er jævne, pæne bygninger, hvor utilpassede udskiftninger og ombygninger trækker ned i karakteren.

BEVARINGSVÆRDI 7-9

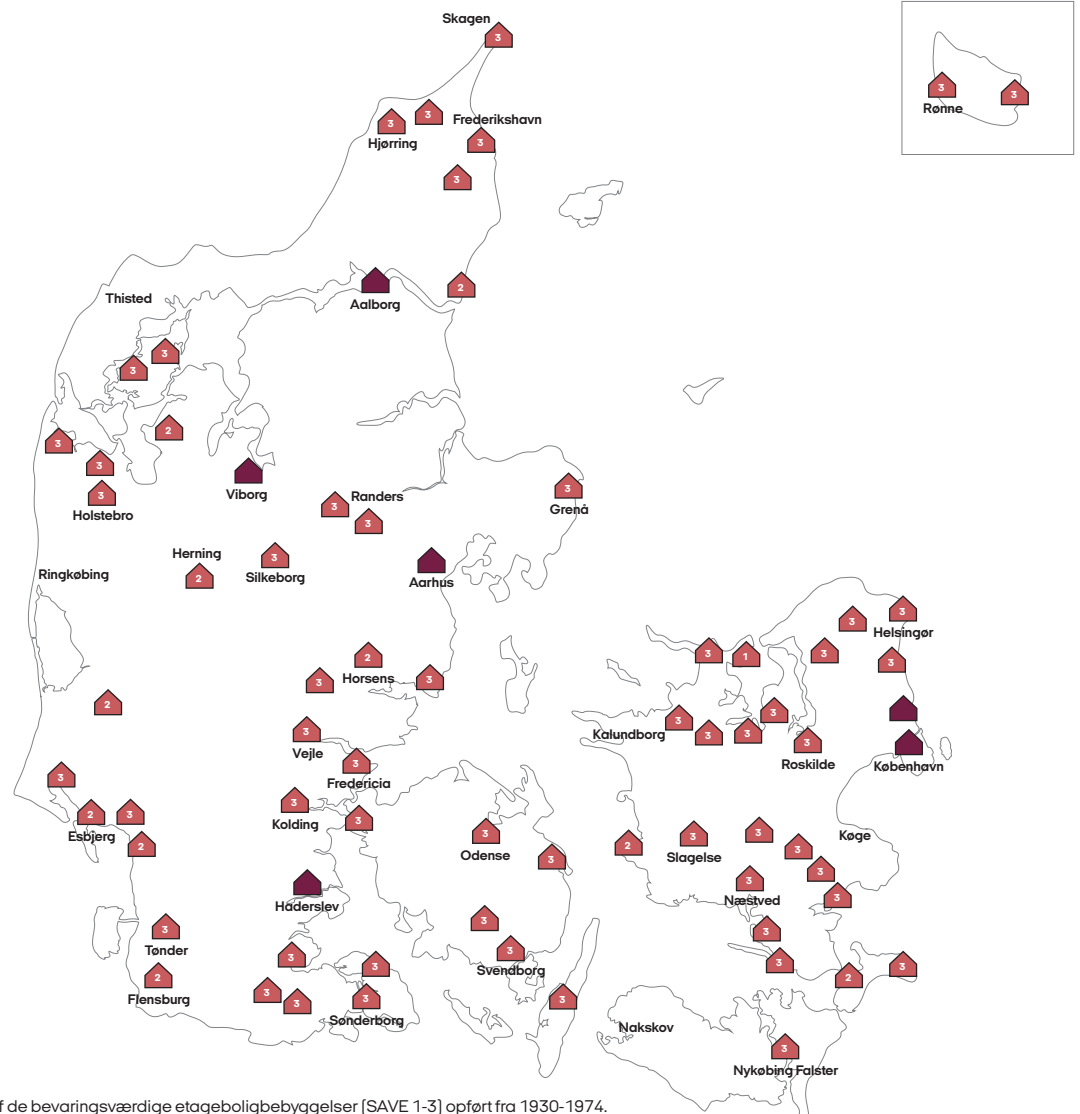
Bygninger med bevaringsværdierne 7-9 er ofte bygninger uden arkitektonisk udtryk eller uden historisk betydning. Det kan også være bygninger, som er så ombyggede, eller som har så mange udskiftninger, at de har mistet deres oprindelighed.

Figur 10.

I det følgende undersøges etageboligbebyggelser med høj bevaringsværdi [1-3], da det som udgangspunkt er bygninger, som er tildelt denne værdi, der karakteriseres som bevaringsværdige i kommunernes praksis.

For at lokalisere de bevaringsværdige etageboligbebyggelser i

BBR-dataene har Slots- og Kulturstyrelsen været behjælpelige med adgang til databasen FBB, hvorfra der er lavet et dataudtræk af etageboliger [BBR kode 140] opført i perioden 1930-1974 med en SAVE-vurdering 1-3. Udtrækket resulterede i 1.190 bevaringsværdige etageboligbebyggelser. Den geografiske beliggenhed af disse bygninger er visualiseret i figur 11.



Figur 11. Geografisk beliggenhed af de bevaringsværdige etageboligbebyggelser [SAVE 1-3] opført fra 1930-1974.



For at kunne indhente information om areal, opvarmningsform, energiforbrug med videre for de bevaringsværdige etageboligbebyggelser er FBB-data sammenkædet med BBR-data. Normalt kan bygnings-ID fra BBR benyttes til at sammenflette data på bygningsniveau, men da FBB-dataene ikke indeholder denne oplysning, er følgende fire kategorier i stedet benyttet til at sammenkæde de to datasæt: Postnummer, opførelsesår, ejendomsnummer og bygningsnummer. På denne måde var muligt at sammenkæde 1 148 af de bevaringsværdige bygninger med BBR-data, mens de resterende 42 bygninger blev frasorteret. De 1 148 bevaringsværdige etageboligbebyggelser fra 1930-1974 er herefter reduceret til 1 080 bygninger, da 68 af bygningerne ikke er etageboligbebyggelse, dvs. har mindre end to etager.

Arbejdet med FBB-data er forbundet med usikkerheder, da ikke alle kommuner har indrapporteret alle deres bevaringsværdige bygninger til FBB. Desuden har flere kommuner på nuværende tidspunkt kun SAVE-vurderet få af deres bygninger opført efter 1940; data fra FBB viser, at 685 ud af 1 080 bygninger er opført i perioden 1930-1939, mens de resterende 395 bygninger er opført i 1940-1974. Dette indikerer, at der er et stort mørketal, som er vigtigt at have in mente i den videre analyse.

Udvælgelse af case-kommune

Geografisk afgrænsning er en væsentlig faktor, når der skal trækkes data ud om bevaringsværdige bygninger, idet der er stor forskel på, hvor langt kommunerne er med udpegningen af de bevaringsværdige bygninger samt indberetningen til FBB. Udfordringen er, at der mangler et væsentligt datagrundlag, før der kan gives et fyldestgørende overblik over bevaringsværdige bygninger på landsplan.

Da projektet tager udgangspunkt i data fra FBB og BBR, er det kun muligt at sige noget om de bevaringsværdige bygninger, som er udpeget og indberettet til FBB af de enkelte kommuner. Det bør nævnes, at der findes mange potentielt bevaringsværdige bygninger, som endnu ikke er udpeget af kommunerne, og mange udpegede bevaringsværdige bygninger, som fremgår af den enkelte kommuneplan, men som ikke er indberettet til FBB.

For at sikre et fuldendt datagrundlag og en afgrænsning af opgaven arbejder projektet, ud over de generelle landsdækkende data, med data fra en udvalgt kommune, som er opdateret på området med bevaringsværdige bygninger, hvilket vil sige, at den

både har SAVE-registreret og udpeget bevaringsværdige bygninger og indberettet disse til FBB. Det har i udvælgelsen været en essentiel faktor, at kommunen har udpeget bevaringsværdige bygninger opført i hele den pågældende periode [1930-1974].

Et udtræk fra FBB, der viser antallet af bevaringsværdige etageboligbebyggelser fordelt på alle Danmarks 98 kommuner og opførelsesårtier, viser, at Københavns Kommune og Lyngby-Tårnbæk Kommune er de eneste kommuner i landet med registrerede bevaringsværdige etageboligbebyggelser fra alle fire pågældende årtier (hvor 1960'erne og 1970'erne i undersøgelsen ses som én sammenhængende periode).

Bevaringsværdier 1930-1974

Fredede bygninger i Danmark varetages gennem et statsligt system, hvorimod bevaringsværdige bygninger varetages lokalt i kommunerne under et system, hvor lovgivningen er utilstrækkelig. Det betyder blandt andet, at de varetages meget forskelligt af landets kommuner, som gennem planloven har det administrative ansvar for dem. Kommunernes forskelligartede tilgang til bevaringsområdet blev meget tydelig med kommunalreformen i 2007, hvor mange kommuner blev lagt sammen, og forskellene trådte tydeligt frem.

Med hensyn til nyere tids bygningskultur, som denne publikation omhandler, ligger der et stort arbejde forude med hensyn til udpegnings- og registrering. Myndighederne har aldrig rigtig fået taget ordentligt fat på en strategi for bevaring (og fredning) af velfærdssamfundets bygningskultur, og med den 50-års-grænse, der ligger for fredninger i bygningsfredningsloven, er det forholdsvis nyt overhovedet at tale om bevaringsværdier i nyere bygninger.

En af de udfordringer, som man har set i øjnene, er, at velfærdssamfundets bygningskultur – i modsætning til tidligere tiders bygningskultur – udgør meget store enheder, som frednings- og bevaringssystemet ikke er gearret til. Et eksempel herpå er, at der ligger et fredningsforslag hos myndighederne på den meget store almene boligbebyggelse Bellahøj, som indtil videre er 'sat på hold'.

SAVE-systemet blev udviklet i Planstyrelsen fra 1987 som en frivillig kommunevis kortlægning af bevaringsværdier i bygninger og bymiljøer. Frem til 2007 blev der på grundlag heraf udarbejdet

en række kommuneatlas over bevaringsværdier i byer og bygninger, som indeholder beskrivelser af en kommunes vigtigste kulturmiljøer og/eller alle enkeltbygninger opført før 1940. Visse kommuner har nu påbegyndt en værdisætning af nyere tids bygninger, men SAVE-systemets skelnen ved 1940 har medvirket til det manglende fokus på nyere tids bygningskultur. BBR-databasen viser også tydeligt, at et meget stort antal bygninger opført efter 1940 ikke er blevet vurderet.

Fordeling af bevaringsværdige etageboligbebyggelser

De bevaringsværdige etageboligbebyggelser (SAVE 1-3) på landsplan udgør 4% af det samlede antal af etageboligbebyggelser i perioden 1930-1974 og 6% af arealet. Hvis perioden 1930-1939 i stedet betragtes, udgør de bevaringsværdige etageboligbebyggelser (SAVE 1-3) 7% af antallet af etageboligbebyggelser og 14% af arealet. For Lyngby-Taarbæk Kommune udgør de bevaringsværdige etageboligbebyggelser (SAVE 1-3) i perioden 1930-1974 10% af antallet og 11% af arealet.

Der er således en tendens til, at Lyngby-Taarbæk Kommune har udpeget flere bevaringsværdige etageboligbebyggelser fra perioden efter 1940 end lands gennemsnittet, hvilket indikerer, at de har SAVE-registreret og indberettet alle deres bygninger fra referenceperioden. Københavns Kommune følger den nationale tendens på dette punkt, idet der her er udpeget 266 bevarings-

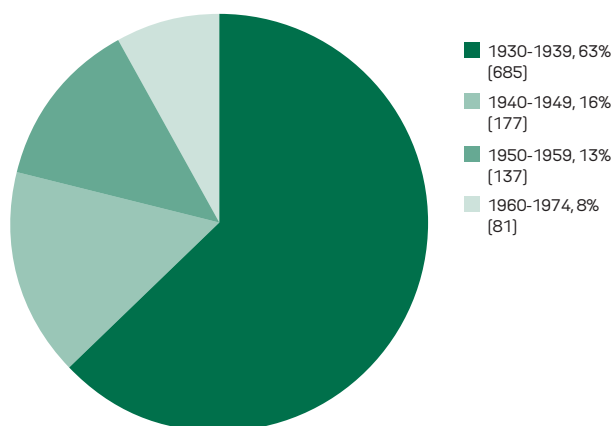
værdige etageboligbebyggelser opført i perioden mellem 1930-1939, mens der samlet set kun er udpeget 223 etageboligbebyggelser opført i hele perioden mellem 1940-1974.

Det bemærkes, at de bevaringsværdige etageboligbebyggelser arealmæssigt udgør en større procentdel end antal, hvilket indikerer, at det ofte er de større enheder, som bliver vurderet bevaringsværdige.

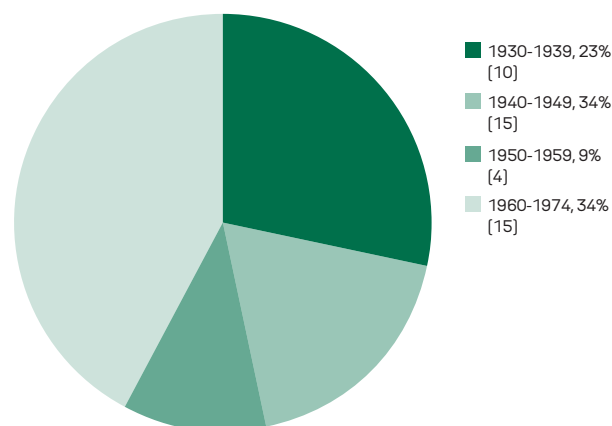
Lyngby-Taarbæk Kommune udvælges som case-kommune for det følgende arbejde i denne rapport. Kommunens grundige arbejde med udpegnings af bevaringsværdige etageboligbebyggelser vil alt andet lige være et mere retvisende datagrundlag end de mangelfulde data på landsplan for perioden 1930-1974, når energiforbruget til opvarmning for de bevaringsværdige og de ikke-bevaringsværdige bygninger skal sammenlignes.

Lyngby-Taarbæk Kommune har 44 bevaringsværdige etageboligbebyggelser fra perioden 1930-1974, vurderet til en samlet SAVE-værdi mellem 1 og 3, hvilket svarer til SAVE-vejledningens kategorisering 'høj bevaringsværdi'.

Antal bevaringsværdige etageboligbebyggelser



Antal bevaringsværdige etageboligbebyggelser Lyngby-Taarbæk



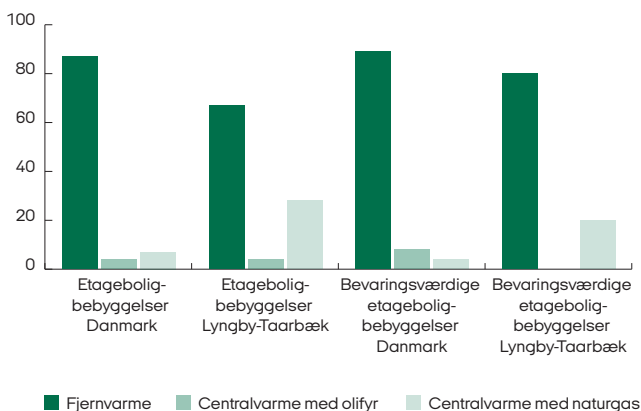
Figur 12. Antal bevaringsværdige (SAVE 1-3) etageboligbebyggelser for hele Danmark og for Lyngby-Taarbæk Kommune.



Opvarmningsform

Den primære opvarmningsform på tværs af alle bygningstypologierne i Danmark er fjernvarme efterfulgt af naturgas og olie. Etageboligbebyggelser opført fra 1930-1974 er ingen undtagelse, idet det af figur 13 fremgår at 87% af bygningerne er opvarmet med fjernvarme. De resterende er opvarmet med naturgas (7%), olie (4%) eller anden opvarmningsform (1%). Lyngby-Taarbæk Kommune skiller sig ud ved at benytte mere naturgas end landsgennemsnittet. Her er 67% opvarmet med fjernvarme, 28% med naturgas og 4% med olie.

Opvarmningsform [%]



Figur 13. Procentfordeling af de tre primære opvarmningsformer i Danmark. Etageboligbebyggelser Danmark: Alle etageboligbebyggelser i Danmark fra perioden 1930-1974, Etageboligbebyggelser Lyngby-Taarbæk: Alle etageboligbebyggelser i Lyngby-Taarbæk fra perioden 1930-1974, Bevaringsværdige etageboligbebyggelser Danmark: Bevaringsværdige [SAVE 1-3] etageboligbebyggelser i Danmark fra perioden 1930-1974, Bevaringsværdige etageboligbebyggelser Lyngby-Taarbæk: Bevaringsværdige [SAVE 1-3] etageboligbebyggelser i Lyngby-Taarbæk fra perioden 1930-1974.

Energidata

Målt energiforbrug fra BBR er blevet analyseret for at undersøge, hvorvidt bevaringsværdige bygninger står for en særlig stor klimabelastning i forhold til de ikke-bevaringsværdige bygninger. BBR-data¹⁷ indeholder 592 564 etageboligbebyggelser opført i perioden 1930-1974 med et registreret energiforbrug på bygningsniveau¹⁸.

En række datasæt er frasorteret af en række forskellige årsager (se tabel 1).

Årsag til frasortering	Antal (andel)
Energiforbrug på bygningsniveau	592 564 (100%)
Måleperioden afviger mere end 2% (en uge for meget eller for lidt) fra et helt år	349 004 (58,9%)
Energiforbruget er relateret til el-forbruget	18 500 (3,1%)
Konvertering til kWh er ikke muligt	64 759 (10,9%)
Energiforbruget er nul	351 (0,06%)
Gengangere (flere energiforbrug har det samme bygnings-ID) Energiforbrug med en måleperiode tættest på et år bibeholdes	142 169 (24,0%)
Under 2 etager	3 737 (0,6%)
Ekstremt lavt [<5 kWh/m ² /år]*	149 (0,03%)
Ekstremt højt [>300 kWh/m ² /år]*	864 (0,1%)
Resterende energidata	
	13 031 (2,2%)

*De ekstreme energiforbrug er fjernet fra datasættet, før energiforbrugene er graddagskorrigeret.

¹⁷ BBR-dataet strammer fra en udtræk foretaget af Daniel Brottmann Sørensen [BBR og OIS] fra Registerforvaltning og sendt til forskere på Aarhus Universitet i marts 2021.

¹⁸ Hvor energiforbruget er koblet op på et bygnings-ID.

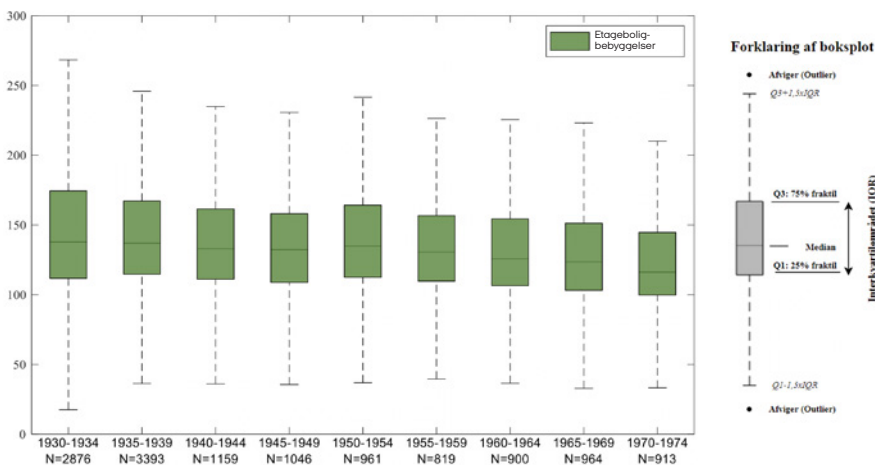
De resterende 13 031 energiforbrug er konverteret til kWh. I den forbindelse har vi antaget, at 1 liter olie svarer til 10 kWh, og at 1 m³ gas svarer til 11 kWh [VEB, 2010 (revideret 2019)]. Desuden er energiforbruget målt i vidt forskellige perioder i løbet af de sidste 11 år [2009-2020]. For at kunne sammenligne energiforbrugene er disse graddagskorrigeret i forhold til et normalår med graddage fra Teknologisk Institut [TI] [Teknologisk Institut, 2021]. Graddage er et udtryk for omfanget af varmebehov for et bestemt år og afhænger af vejret det pågældende år.

Den del af varmemeforbruget, der går til varmt brugsvand, det såkaldte graddagsuafhængige forbrug (GUF), skal ikke korrigeres for vejrforhold, da det antages, at dette ikke varierer med vejret fra år til år. Kun rumopvarmningsforbruget, det såkaldte graddagsafhængige forbrug (GAF), skal graddagskorrigeres. De tilgængelige energidata fra BBR er det samlede varmemeforbrug (GAF+GUF), hvor forholdet mellem GAF og GUF er ukendt. For at separere GAF og GUF er der antaget et forbrug af varmt brugsvand på 250 l/m²/år, hvilket er et typisk middelforbrug for boliger, som blandt andet også benyttes i forbindelse med energirammeberegninger. Derudover antages en nyttevirkning på 0,515, hvilket udtrykker forholdet mellem den energi, der går til opvarmning af varmt brugsvand alene, og det samlede energiforbrug til varmt brugsvand inklusive alle tab i brugsvandsystemet [Bøhm, et al., 2009]. Dette giver et energiforbrug til varmt brugsvand på 28,3 kWh/m²/år, hvilket forudsættes for alle etageboligbebyggelser.

Visse måleperioder følger ikke kalenderåret, idet de oplyste måleperioder fra BBR starter på forskellige tidspunkter af året. Fx kunne energiforbruget være målt fra maj 2016 til maj 2017. For de steder, hvor måleperioden ikke følger et kalenderår, benyttes det kalenderår, hvor størstedelen af måleperioden har fundet sted, til at graddagskorrigerer rumopvarmningsforbruget (GAF). Herefter adderes det graddagskorrigerede forbrug med energiforbruget til varmt brugsvand. Figur 14 viser det graddagskorrigerede energiforbrug som funktion af opførelsesperioder, hvor det kan observeres, at energiforbruget for forskellige opførelsesperioder ikke afviger signifikant fra hinanden; kun en svag nedadgående tendens og en lidt mindre spredning i data over tid kan observeres. Betragtes alle energiforbrugene [13 031] for etageboligbebyggelser opført i perioden 1930-1974, svarer én standardafvigelse til 54,7 kWh/m²/år, dvs. ca. ± 40% i forhold til medianen, hvilket illustrerer usikkerheden forbundet med energiforbrugene.

Ud af de 13 031 graddagskorrigerede energiforbrug for etageboligbebyggelser opført i perioden 1930-1974 er 522 energiforbrug tilknyttet til bevaringsværdige bygninger. Figur 15 viser fordelingen af energiforbruget for de bevaringsværdige etageboligbebyggelser og de øvrige etageboligbebyggelser for forskellige opførelsesperioder. De relativt få SAVE-vurderinger for etageboligbebyggelser opført efter 1940 i forhold til perioderne før 1940 er ikke et udtryk for, at der ikke er særligt mange bevaringsværdige bygninger efter 1940, men – som tidligere nævnt – et udtryk for manglende SAVE-vurderinger for

Energiforbrug [kWh/m²/år]



Figur 14. Energiforbrug [kWh/m²/år] for etageboligbebyggelser i forskellige opførelsesperioder.



byggeri fra efter 1940. Det betyder, at det kun er rimeligt at sammenligne energiforbrugene for bygninger opført i 1930-1939. For denne periode er forskellen i gennemsnit for energiforbrugene marginale og ikke statistisk signifikante. Der er således ikke noget i data, der tyder på, at bevaringsværdige etageboligbebyggelser skulle have et signifikant anderledes energiforbrug end de øvrige etageboligbebyggelser. De 435 bevaringsværdige etageboligbebyggelser opført i 1930-1939 har et samlet energiforbrug på 95,7 GW/år sammenlignet med de 5 843 ikke-bevaringsværdige etageboligbebyggelser, som har et samlet energiforbrug på 649,9 GW/år for samme periode. De bevaringsværdige bygninger udgør derfor 12,8% af det samlede energiforbrug for de 6 269 etageboligbebyggelser opført i 1930-1939.

Delkonklusion

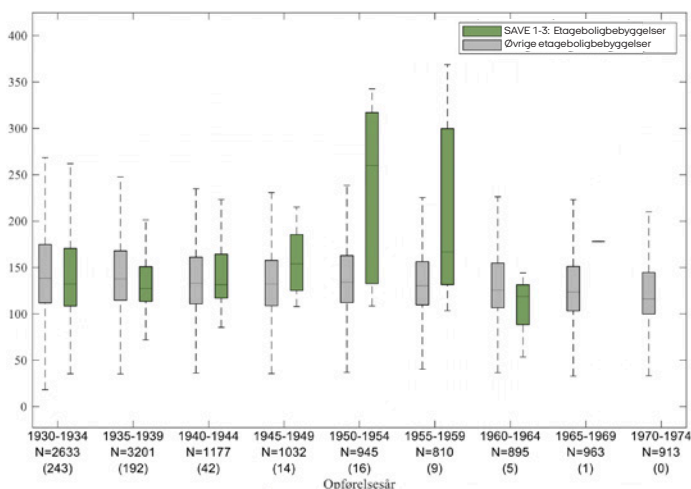
Da det tyder på, at energiforbruget i henholdsvis de bevaringsværdige og de ikke-bevaringsværdige bygninger ikke adskiller sig fra hinanden, giver det ikke anledning til at anbefale et skærpet fokus på reduktion af energiforbruget for enten den ene eller den anden bygningskategori. Desuden står de bevaringsværdige bygninger i datasættet kun for 12,8% af det samlede energiforbrug for etageboligbebyggelser opført mellem 1930-1939, hvilket er den periode, hvor datagrundlag er mest validt. Der kan dermed argumenteres for, at en renoveringsind-

sats på de ikke-bevaringsværdige etageboligbebyggelser, der udgør langt størstedelen, bør gå forud for renovering af de relativt få bevaringsværdige etageboligbebyggelser, da man for denne bygningskategori alt andet lige vil kunne udføre mere vidtgående energirenoveringer – fx udvendig efterisolering – uden at det går ud over bygningskulturen.

At energiforbruget er stort set ens for henholdsvis bevaringsværdige og ikke-bevaringsværdige bygninger, kunne samtidig tyde på, at de bevaringsværdige bygninger er energirenoveret i samme grad som de ikke-bevaringsværdige bygninger. Dette kan tolkes som, at de restriktioner, der følger med en bevaringsværdig bygning, ikke nødvendigvis reducerer mulighederne for energirenovering. Det skal dog påpeges, at bygningerne kan være udpeget som bevaringsværdige sent i deres levetid, og at store renoveringer kan være foretaget forud for dette tidspunkt, hvormed de medfølgende bevaringshensyn er kommet til senere end renoveringen. En anden årsag kan være, at mere vidtgående energirenoveringer på ikke-bevaringsværdige bygninger ikke er rentable, og at der derfor udføres de samme energirenoverings tiltag uafhængigt af bevaringsværdighed.

En udfordring i arbejdet med indholdet af dette kapitel har været, at datagrundlaget er ufuldendt i forhold til de bevaringsværdige bygninger i Danmark, fordi ikke alle kommuner har udpeget eller indberettet bevaringsværdige bygninger. Flere kommuner har deres eget system til formålet og har derfor ikke indberettet oplysningerne til FBB. Det betyder, at databasen langt fra kan give et fyldestgørende overblik over de bevaringsværdige bygninger, og dermed er det ikke muligt at opgøre de bevaringsværdige bygningers samlede energiforbrug på landsplan.

Energiforbrug (kWh/m²/år)



Figur 15. Boksplot af energiforbrug [kWh/m²/år] på baggrund af opførelsesåret for de bevaringsværdige (SAVE 1-3) etageboligbebyggelser og de øvrige etageboligbebyggelser. N=2633 [243]: 2633 ikke bevaringsværdige etageboligbebyggelser og 243 bevaringsværdige bygninger.

Kapitel 4

Renovering af bevaringsværdige etageboligbebyggelser

Indledning

Dette kapitel præsenterer afgrænsede livscyklusvurderinger (LCA) af CO₂-belastningen for velkendte energirenoveringstiltag, og hvordan tiltagene potentielt påvirker bygningsens bevaringsværdier.

Kapitlet indledes med en historisk gennemgang af, hvordan det danske samfund i stadig stigende grad stiller skærpede krav til energi- og indeklimateforhold i byggeriet – krav, der først for nylig er blevet skærpet grundet hensyn til klimaforandringer. Formålet med gennemgangen er at tilvejebringe en forståelse for, hvorfor eksisterende byggeri (der muligvis skal renoveres) er bygget, som det er, hvordan det eksisterende byggeri afspejler en udvikling af samfundets prioriteter, og for at illustrere den drivkraft, Bygningsreglementet er for udviklingen af nyere dansk byggeri og renovering af det eksisterende. Dernæst opdeles og beskrives bygningsbestanden for publikationens bygningstype og periode (etageboligbebyggelse fra 1930-1974) i byggetekniske og arkitektoniske perioder for at kunne foretage en rimelig kvalificering af tiltagernes effekt på bevaringsværdigheden og klimabelastningen. Efterfølgende beskrives det, hvordan tiltagene er blevet analyseret i forhold til deres CO₂-belastning, energi-økonomi og betydning for indeklimate, inden analyseresultaterne formidles.

Intentionen med de præsenterede LCA af renoveringstiltag er at tilvejebringe et tværfagligt grundlag for en diskussion om bygningskulturens klimaindsats i forhold til bevaringsværdier – ikke en facitliste for indsatsen.

Historisk udvikling af energi- og indeklimatekrav til nybyggeri

At den danske stat stiller minimumskrav til energi og indeklimate i nybyggeri, er stadig relativt nyt, og langt den største andel af den eksisterende bygningsmasse er opført med meget lave eller ingen krav til fx varmeisolering [Kristensen & Petersen, 2021] [Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2021]. I dette afsnit kortlægges den historiske udvikling af energi- og indeklimatekrav til byggeriet for at synliggøre, hvor langt den eksisterende bygningsmasse er fra at leve op til nutidens standarder – standarder, der er opsat ud fra en anerkendelse af, at der skal dæmmes op for hastigheden i klimaforandringerne.

Figur 16 er en oversigt over udviklingen af energi- og indeklimate-relaterede krav til nybyggeri i det danske Bygningsreglement, startende fra det første landsdækkende Bygningsreglement "Bygningsreglement for købstæderne og landet af 1. marts 1961" og op til i dag. Oversigten er baseret på dokumenter, der kan findes på www.bygningsreglementet.dk [Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2021]. Den øvrige tekst i dette afsnit understøtter figuren med forklaringer på, hvorfor kravene er skærpet over tid, og herunder, hvordan forskelligartede globale kriser har påvirket udviklingen af kravene i Bygningsreglementet til der, hvor de er i dag.

Tiden op til det første Bygningsreglement

Fra 1850 og op gennem starten af 1900-tallet var bygge Lovgivningen med hensyn til udførelse, materialevalg og konstruktioner beskrevet i meget overordnede termer og var hovedsageligt rettet mod at undgå branddannelse og -spredning. Bestemmelserne blev suppleret med publikationer fra en række instanser, fx Dansk Ingeniørforenings Normer [fra starten af 1900-tallet], Brandtekniske standarder [fra 1926], Dansk Standardiseringsråds standarder [fra 1924] og anvisninger fra Statens Byggeforskningsinstitut [fra 1948] [BYG-ERFA, u.d.]. Kendsgerningen er, at frem til 1960'erne var udformningen af dansk byggeri styret af arkitektonisk tradition med rod i de klassiske håndværkstraditioner, og lovgivningen havde sit hovedfokus på bybilledet, bygningskonstruktion og håndtering af materialer, mens bygningernes energimæssige ydeevne og indeklimate ikke var underlagt regulering [Munch-Petersen & Ejstrup, 2017].

Udviklingen af energikrav i Bygningsreglementet

I BR61¹⁹ blev der for første gang indført et mindstekrav til varmeisolering i form af et k-værdi-krav [senere U-værdi-krav] til visse konstruktionsdele – svarende til ca. 50 mm isolering i ydervæg/tag. Desuden blev der stillet krav om, at vinduer skulle have 2-lags-glas med mindst 12 mm mellemrum. I det efterfølgende BR66 blev der for første gang indført et decideret varmeisoleringskrav til vinduer. I BR72 blev k-værdierne revideret til U-værdier²⁰, men der skete ikke en reel skærpelse af kravene. Mindstekravene til varmeisolering i bygninger blev dog betydeligt skærpet som reaktion på oliekriserne i 1970'erne for at mindske Danmarks afhængighed af olieimporten fra Mellemøsten [Farbøl, et al., u.d.]; derfor blev der i BR77[79] indført skærpede krav til varmeisolering af klimaskærmen, og der blev indført en

¹⁹ BR står for "Bygningsreglement" mens tallet angiver året, hvor det trådte i kraft [BR61 = Bygningsreglementet fra 1961]

²⁰ K-værdi [kcal/(m²·h·°C)], U-værdi [W/(m²·K)]



begrænsning af vinduesarealer på 15% af bygningens bruttoetageareal. Årsagen til et loft over vinduesarealet vurderes at være en erkendelse af, at vinduer var – og er – klimaskærmens 'svageste punkt' i forhold til varmetab, og en begrænsning af vinduesarealet er derfor et effektivt greb til at minimere varmetab. Samtidig blev begrebet 'varmetabsramme' indført, således at større glasarealer var en mulighed, hvis man kunne kompensere det øgede varmetab ved at øge varmeisoleringen af andre bygningsdele. Dermed kunne kravet i Bygningsreglementet dokumenteres ved enten at følge kravene for U-værdier for hver enkelt konstruktionsdel, eller ved brug af varmetabsrammen. Det bemærkes, at især vinduesarealkravet i BR77[79] har påvirket bygningers arkitektoniske udtryk i en periode, hvor bygninger typisk er karakteriseret ved dybe planbygninger og/eller små facadevinduer [Hansen, 2007].

I BR82 blev energikravene ikke skærpet, men der blev indført et luftskiftekrav på 0,5 gange i timen for hele boligenheden (se efterfølgende afsnit om Udvikling af indeklimakrav i Bygningsreglementet).

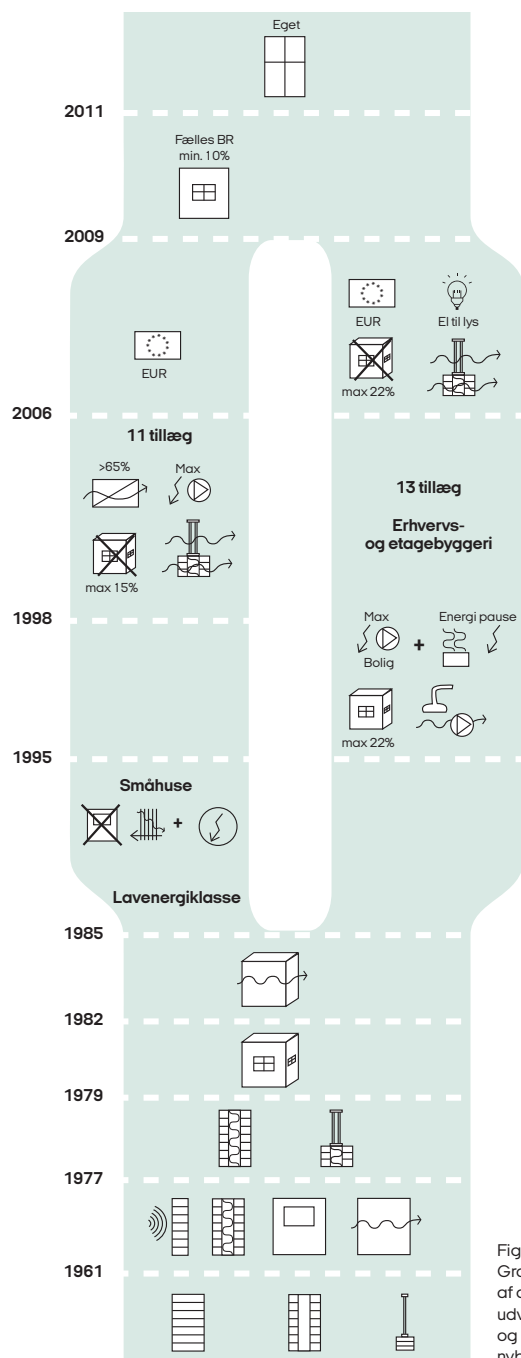
I 1985 blev et særligt Bygningsreglement BR85 indført for såkaldte småhuse, det vil sige huse med én bolig. Her blev U-værdi-kravet for ydervægge skærpet en smule. Desuden blev det også muligt at eftervise overholdelse af Bygningsreglementets krav ved beregning af nettoenergibehov til opvarmning og ventilation. BR85 introducerede også en såkaldt lavenergiklasse, som havde en energiramme på 50% af standardkravet. I 1995 blev der oprettet et særligt Bygningsreglement for erhvervs- og etagebyggeri, BR95, det vil sige et reglement gældende for alt byggeri, der ikke var omfattet af BR85.

I forbindelse med BR95 blev U-værdi-kravene på konstruktionsniveau skærpet væsentligt. Desuden blev der i forbindelse med en varmetabsramme og energiramme indført mindstekrav til varmeisolering for at undgå gener grundet kolde indvendige overflader med høj risiko for kondensdannelse. Begrænsning af vinduesarealer steg fra 15% til 22% af bygningens bruttoetageareal. Energirammekravet blev differentieret afhængigt af bygningstype [bolig eller 'andre'], og der blev i perioden op til det næste bygningsreglement løbende indført tillæg til reglementet med nye del-regler i forhold til energirammebetragtningen. Bygningsreglementet for småhuse blev revideret i 1998 [BR98], og her blev kapitlet med titlen 'Varmeisolering' udskiftet med et kapitel om 'Energiforbrug'. Dermed udgik U-værdi-kravene på konstruktionsniveau samt varmetabsrammen som en mulighed

for at eftervise overholdelse af Bygningsreglementets krav; overholdelse af en energiramme var nu eneste gældende krav.

Dog skulle en række bikrav også overholdes, herunder de samme mindstekrav til varmeisolering som i BR85, et nyindført mindstekrav til kuldebroer, maksimum infiltration (utætheder i klimaskærmen) og et maksimalt dimensionerende transmissionskoefficient eksklusive vinduer og døre. De sidste to bikrav blev indført i 2006 som tillæg. At overholdelse af energirammen nu var eneste gældende krav, betød, at der ikke længere var nogen begrænsning af vinduesarealer for småhuse. Dermed blev størrelsen af et passende vinduesareal delvist et spørgsmål om at balancere varmetab med udnyttelse af passiv solvarme i energirammebetragtningen [Rohde, et al., 2019]. I 2006 ratificerede de to gældende Bygningsreglementer reglerne opsat i European Performance of Buildings Directive [EPBD] [Europa-Parlamentets og Rådets direktiv, 2002]. Energirammebegrebet blev udvidet til at inkludere varmt brugsvand, elforbrug til køling, pumper og andet, samt elforbrug til belysning for al ikke-beboelse. Desuden kunne vedvarende energi produceret på matriklen modregnes i energirammen. EPBD foreskrev, at energirammen skulle strammes med 25% hvert 5. år. Derfor indeholdt tillægget fra 2006 også kriterier for overholdelse af energirammerne for såkaldt lavenergiklasse 1 og 2.

I starten af 2009 blev de to Bygningsreglementer slået sammen til ét Bygningsreglement [BR08]. Siden da er Bygningsreglementet blevet revideret i 2010 [BR10], 2016 [BR15] og 2018 [BR18]. I BR10 blev mindstekravet til vinduers varmeisolering erstattet af et energibalancekrav [Eref], og generelt er kravene til infiltration, varmetab gennem klimaskærm, elforbrug til lufttransport og effektiviteten af varmegenvinding løbende blevet strammet i takt med skærpelse af energirammen.



Figur 16. Grafisk fremstilling af den historiske udvikling af energi- og indeklimakrav til nybyggeri.

Udvikling af indeklimakrav i Bygningsreglementet

Før BR61 var indeklima ikke et begreb, som byggeslovgivningen forholdt sig til. Der var et krav om mulighed for åbning af vinduer i lejligheder, men det var begrundet med redningsåbninger ved brand.

Ved indførelsen af BR61 kom der en række forskellige indeklima-relaterede krav – dog uden at de blev fremført ved brug af ordet 'indeklima'. Der var et krav til minimumsstørrelser af åbninger til det fri for at opnå et såkaldt 'nødvendigt friskluftskifte' i bestemte rum, samt et krav om oplukkelige vinduer i alle opholdsrum. Der blev indført et minimums-vindueskarmlysningsareal på 10% – et krav, der stadig håndhæves i dag i en revideret udgave. Nabostøj var også en tematik, der fik opsat krav i det første Bygningsreglement – krav, som er skærpet og udvidet i senere reglementer.

I BR82 blev kravet til ventilation i boliger specificeret ved indførelse af et krav om mulighed for et luftskifte på 0,5 gange i timen for hele boligenheden. Kravet blev ikke indført af hensyn til brugernes luftkvalitet eller komfort, men for at undgå konstruktionsnedbrydende fugtskader på bygningen på grund af en forøget lufttætning som afledt konsekvens af en øget mængde isolering.

Bevidsthed om sundhedsskadelige afgangninger fra byggematerialer observeres første gang i BR88 i form af et grænsekraft for formaldehyd.

Begrebet 'indeklima' fik sit eget kapitel for første gang i BR95, som gjaldt for erhvervs- og etagebyggeri og i reglementet for småhuse i BR98. Indeklimakravene i BR95/BR98 og i de efterfølgende reglementer er udtrykt med en generel sætning: "Bygninger skal opføres, så der under normal brug af bygningerne kan opretholdes et sundheds- og sikkerhedsmæssigt tilfredsstillende indeklima", og der henvises i vejledningstekster til forskellige anvisninger, og der angives forskellige bud på, hvordan kravet kan dokumenteres overholdt.

Som reaktion på nogle konkrete tilfælde af overtemperaturer i lavenergibyggeri blev der i en revision af BR10 fra 2011 indført et krav om, at temperaturen i boliger ikke måtte overskride 26 °C med mere end 100 timer pr. år og 27 °C med mere end 25 timer pr. år. Dette krav viste sig ikke at være fornuftigt [Petersen, et al., 2014], og det blev fjernet i BR15. I stedet blev vejledningsteksten til førnævnte indeklimakrav udvidet med en passage om, hvordan kravet kan dokumenteres for boliger.



Klimaforandringernes indvirkning på Bygningsreglementet

Miljøbelastningen fra byggeriet – især i forhold til klimaforandringer – har historisk set været domineret af energiforbruget i driftsfasen, da energiproduktionen primært har været baseret på fossile brændsler [Röck, et al., 2020]. Energiforbruget til drift er dog faldende, jo nyere bygningen er, grundet løbende skærpelse af krav til varmeisolering [Kristensen & Petersen, 2021]. De første skærpelser af krav til varmeisolering var ikke af hensyn til miljøet, men af hensyn til samfundsøkonomien, der led nød under oliekriserne [Farbøl, et al., u.d.]. Først med indførelsen af det europæiske direktiv om bygningers drift i 2006, som var en konsekvens af Kyotoaftalen fra 1997, blev der stillet skærpede krav til bygningers energiforbrug i driftsfasen med begrundelse i miljøforhold [Europa-Parlamentets og Rådets direktiv, 2002].

Overholdelse af Bygningsreglementets kontinuerligt skærpede energikrav betyder, at der anvendes en stigende mængde materialer i byggeriet. Overholdelse af kravene i BR66 krævede ca. 70 mm isoleringsmateriale i gennemsnit for klimaskærmen, mens niveaueet er ~180 mm i BR98/BR08 og ~350 mm i BR18 [Munch-Petersen & Ejstrup, 2017]. Produktion, bearbejdning mv. af disse materialer afstedkommer en betragtelig miljøbelastning, som på nuværende tidspunkt ikke reguleres gennem bygningsreglementet.

Den 5. marts 2021 blev der indgået en politisk aftale om en "National strategi for bæredygtigt byggeri", hvori der indgår en

ramme på 12 kg CO₂-ækv/m²/år for nybyggeri over 1000 m² i 2023, som skærpes til 10,5 kg CO₂-ækv/m²/år i 2025 [Indenrigs og boligministeriet, 2021]. Kravet gælder for en livscyklusbetragtning af byggeriet, og dermed bliver miljøbelastningen grundet materialeforbrug for første gang reguleret gennem bygningsreglementet. Aftalen indeholder desuden CO₂-krav til Den Frivillige Bæredygtighedsklasse²¹, som lyder på 8 kg CO₂-ækv/m²/år for nybyggeri i 2023 og herefter skærpes på 2. år med 1 kg CO₂-ækv/m²/år. Aftalen omfatter ikke krav til renovering af det eksisterende byggeri.

Energikrav i forbindelse med renovering

Gennemgangen af Bygningsreglementet i foregående afsnit bevidner, at Danmark over tid har skærpet kravene til energiforbrug og indeklimate i nye bygninger. Parallelt hermed har Bygningsreglementet også indført skærpede krav i forbindelse med ombygning og renovering samt undtagelser herfra. Bygningsreglementet indeholder i dag således en række randbetingelser for bygningskulturens klimaindsats, som kortlægges i det følgende.

Jævnfør BR18 §274-282 skal energibesparende tiltag i dag udføres i forbindelse med en renovering, hvis de er rentable og ikke medfører risiko for fugtskader. Energikravene kan overholdes ved at opfylde mindstekravene til klimaskærmen, §279, for alle de berørte bygningsdele eller ved at overholde en energiramme, som opfylder en af renoveringsklasserne §§280-282 (se tabel 2).

U-værdi Ydervæg	U-værdi Terrændæk	U-værdi Tagkonstruktion	Energikrav Vindue* [E _{ref}]	Renoveringsklasse 1**	Renoveringsklasse 2**
0.18 [W/(m ² K)]	0.1 [W/(m ² K)]	0.12 [W/(m ² K)]	0.1 [kWh/m ² pr. år]	52.5+1650/OEA [kWh/m ² pr. år]	70+2200/OEA [kWh/m ² pr. år]

Tabel 2. Udvalgte energikrav i forbindelse med ombygning og renovering. OEA: Opvarmet etageareal.

*Ved udskitning af vinduer og døre skal de ventilationskrav, der var gældende på tidspunktet for bygningens opførelse, som minimum være overholdt.

**Energiramme (behovet for tilført energi skal dog mindst reduceres med 30 kWh/m² pr. år).

²¹ Den Frivillige Bæredygtighedsklasse skal generelt fremme bæredygtigt byggeri i Danmark gennem 9 fokusområder. 1) Livscyklusanalyse, 2) ressourceanvendelse på byggepladsen, 3) totaløkonomisk analyse, 4) drifts- og vedligeholdelsesplan, 5) dokumentation af problematiske stoffer, 6) afgangning af indeklimaet, 7) detaljeret dagslysberregning, 8) støj fra ventilationssystemer i boliger og 9) rumakustik i boliger.

Det bemærkes, at de bevaringsværdige bygninger er omfattet af §278 og derfor undtaget for ombygnings-/renoveringskravene i § 274-282, hvis en udmøntning af kravene er i strid med bygningernes bevaringsværdier. For bevaringsværdige bygninger er det kommunen, der vurderer, om de energimæssige tiltag efter §274-282 er i strid med bygningens arkitektoniske eller kulturhistoriske værdier.

Opdeling af bygningsbestanden – byggeteknik og stilperioder

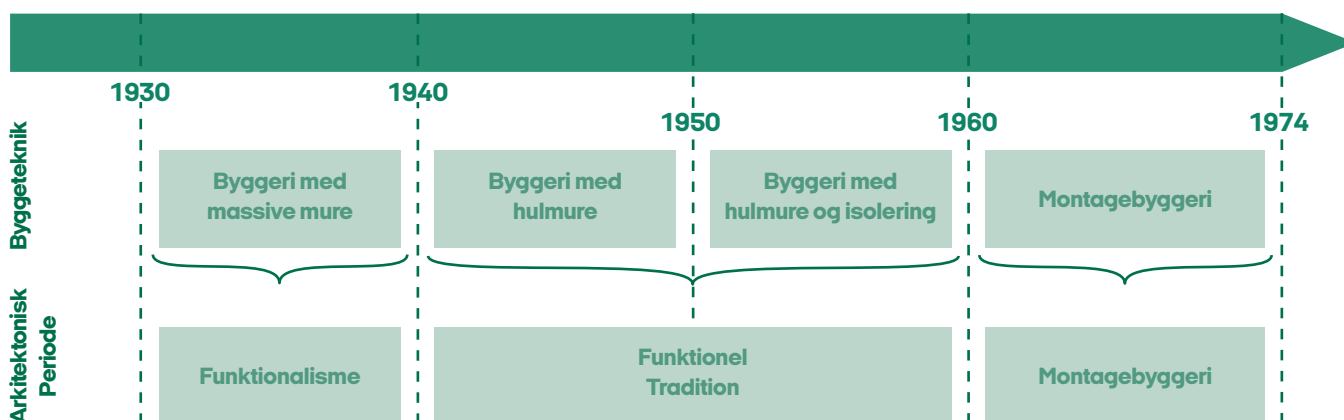
Effekten af et renoveringstiltag på CO₂-belastningen fra eksisterende byggeri afhænger i høj grad af bygningernes nuværende energitekniske egenskaber, men bygningens nuværende byggetekniske stand har også betydning for bygningens bevaringsværdier. For at kunne foretage en rimelig kvalificering af tiltagens effekt på bevaringsværdien og klimabelastningen opdeles bygningsbestanden for publikationens bygningstype og periode [etageboligbebyggelse fra 1930-1974] derfor i byggetekniske og arkitektoniske perioder.

Figur 17 viser fire typiske byggetekniske principper anvendt over tre arkitekturperioder. Inddelingen i byggetekniske principper er inspireret af [Wittchen & Kragh, 2012]. Typologierne er defineret med inspiration fra Klimatilpasning af ældre almene etagebebyggelser [Dannemand Frost, et al., 2014]. Typologiernes byggetekniske karakterer tager sit afsæt i de byggeskikke og

traditioner, som udspringer fra den teknologiske udvikling inden for fx materiale og produktion [Beim, 2004]. I det følgende beskrives de tre arkitekturperioder og deres byggetekniske karaktertræk. Det bemærkes, at perioderne og deres byggeteknik i praksis vil forekomme i mange variationer, fx vil materialer og konstruktive principper, som først bliver almindelige og hyppige i én periode, også kunne findes i tidligere perioder.

Funktionalisme 1930-1939

Funktionalismen udsprung af modernistiske internationale strømninger, som for en række danske arkitekter blev udgangspunktet for en inspiration tolket ind i en dansk håndværkstradition [Smidt & Iversen, 2003]. Byggeri fra den funktionalistiske periode er præget af muret byggeri i brændt tegl og med kalkmørtel- eller cementfuger. Fremherskende er de massiv murede ydervægge opført på et in situ-støbt betonfundament [Engelmark, 2013]. Vinduer er relativt store og var i deres udgangspunkt typisk et-lags glasruder kittet fast i smalle træ- eller jernrammer uden væsentlig profilering [Pasternak & Blomsterberg, 2021], og i visse tilfælde kunne de være opdelt i flere rammer, fx med gående overvinduer og et fast undervindue. For perioden er det ikke uset, at dobbeltlags-ventilationsvinduer, også kendt som russervinduer eller Gentofto-vinduer, eller koblede rammer blev anvendt. Etagedæk består typisk af træbjælkelag, mens jernbjælker kan være anvendt ved særlige steder med særlig stor belastning. Bærende indvendige skillevægge består af tegl, mens bræddevægge er anvendt som øvrige skillevægge.



Figur 17. Publikationens inddeling af referenceperioden i årstal, arkitektoniske perioder og byggeteknik



Tagkonstruktionen kan enten være inspireret af den internationale funktionalisme og være præget af flade tage eller af det mere regionale udtryk, hvor velkendt byggeteknik fortsættes, og der typisk ses blankt murværk og tage med hældning beklædt med pap eller tegl [Brüel, 2014].

Funktionel tradition 1940-1959

Den funktionelle tradition ligner på mange måder den funktionalistiske periode i sin materialeholdning med den undtagelse, at flere nye konstruktionstyper og materialer hyppigere er anvendt. Det arkitektoniske udtryk afsøger i højere grad en stram tolkning af et traditionel formsprog som fx saddeltag, mens 'nye' elementer som karnapper og altaner i stigende grad bliver anvendt [Historiske Huse, 2021]. Fuldmurede ydervægge er stadig at finde i denne periode, mens hulmurskonstruktioner nu også anvendes jævnlige. Isolering i hulmuren kan optræde, måske særligt i bebyggelser fra 1961 og frem, hvor Bygningsreglementet begyndte at stille minimumskrav svarende til ca. 50 mm mineraluldsisolering [Jf. afsnittet Udvikling af energikrav i Bygningsreglementet]. Til fundamenter er beton stadig det mest anvendte materiale. Tagkonstruktionen er teglhængt saddeltag, mens beklædningsstyper som tagpap, eternitskifer eller -plader er hyppigt anvendt, særligt ved tagkonstruktioner med meget lave hældninger. Pladevægge begynder at supplere bræddewæggene som indvendige skillevægge, mens bærende elementer stadig er tegl [Engelmark, 2013]. Vinduestyperne består typisk af store trærammekonstruktioner eller jernrammer, hvor det var særligt nødvendigt, eksempelvis ved hjørnevinduer.

Montagebyggeri 1960-1974

I denne periode blev den industrielle masseproduktion af blandt andet betonelementer for alvor udrullet. Det krævede typisk brug af kraner på byggepladserne, hvor man hejsede elementer ind på den tiltænkte plads. Af samme årsag benævnes en del af denne arkitektur 'kransorsbyggeri'. Byggeri fra perioden er derfor kendetegnet ved hyppig brug af jernbetonelementer i facaderne, mens pladematerialer af forskellig karakter, fx fibercement, er anvendt som beklædning. Indvendige skillevægge er pladebeklædte træskeletter eller betonelementer [Engelmark, 2013]. Vinduerne vil typisk være de første generationer af termoglas. Isolering kan forekomme og vil typisk bestå af 70-90 mm mineraluld i henhold til det daværende bygningsreglement.

Renoveringstiltag, der reducerer bygningens CO₂-belastning

De undersøgte renoveringstiltag fremgår af tabel 3. Konstruktionsopbygningerne og ventilationsprincippet, som anses for repræsentative for det byggetekniske princip for de fire perioder, er markeret med grå og udgør referencesituationer for beregning af klimaeffekter. Valg af tiltag er inspireret af løsninger foreslået af E-Save [Dahl & Simonsen, 2015] og Spareenergi.dk [Energistyrelsen, 2020] tilsat forfatterens egne erfaringer. De udvalgte tiltag er ikke udtømmende, men anses for at være tilstrækkelige til at påbegynde en diskussion om, hvordan bevaringsværdige bygninger kan reducere deres CO₂-belastning. Hvis et tiltag i tabel 3 er markeret med x ud for en periode, betyder det, at dette tiltag er undersøgt i forhold til referencesituationen; fx er indvendig efterisolering (forsatsvæg) af ydervæggen undersøgt med udgangspunkt i tre perioders referencesituationer.

Indledningsvist er klimaeffekten ved at ændre forsyningsformen fra naturgas til fjernvarme undersøgt, da forskellen i emissionsfaktorer ved de to forsyningsformer [Bolig og planstyrelsen, 2020] indikerer et betydeligt potentiale for CO₂-besparelse ved denne konvertering. I undersøgelsen af tiltagene i tabel 3 antages fjernvarme som forsyningsform, hvilket også er den dominerende forsyningsform for de bevaringsværdige etageboligbebyggelser [se tabel 3, kapitel 3].

For ydervæggen undersøges tiltagene indvendig efterisolering, udvendig efterisolering og hulmursisolering. Indvendig efterisolering er særligt interessant i forhold til de bevaringsværdige bygninger, da beskyttelsen af de bevaringsværdige bygninger i Danmark begrænser sig til bygningernes eksteriør; bygningsarbejder, der udelukkende foregår i interiøret, er ikke omfattet af lovgivningen. Indvendig efterisolering er dog ikke uproblematisk, idet det kræver særlig opmærksomhed på ændrede hygrotermiske forhold for at undgå fugtrelaterede skader og gener.

Herudover vil indvendig efterisolering reducere boligens nettokvadratmeter. Dog kan indvendig efterisolering føre til flere brugbare kvadratmeter, da møbler nu kan stilles ud til væggen med minimal risiko for skimmelvækst og gener grundet kolde vægge [træk og kuldestråling] [Odgaard, et al., 2018]. I denne publikation er tre forskellige løsninger til indvendig efterisolering undersøgt: 1) Diffusionsåbent system, hvor fugt kan transportere sig igennem konstruktionen, 2) Forsatsvæg med dampspærre, 3) Forsatsvæg med dampspærre samt aktiv affugtning i hulrum. De tre løsninger baserer sig på forskellige strategier til håndtering af

hygrotermiske forhold, se evt. [Jensen, 2019] [Møller & Jørgensen, 2018] [Petersen, 2019] for yderligere detaljer. Udvendig efterisolering som tiltag er typisk mere hygrotermisk forsvarligt end indvendig efterisolering og reducerer ikke boligens nettokvadratmeter, men til gengæld vil bygningens bevaringsværdier typisk udviskes. Tiltaget er alligevel medtaget for at undersøge styrkeforholdet i de kompromisser, der skal indgås i forbindelse med bygningskulturens klimaindsats. Hulmursisolering er også undersøgt, da løsningen er fugt-, indeklima-, kvadratmeter- og bevaringsmæssigt interessant, men dens klimaeffekt begrænses af hulmurens dybde, der definerer isoleringstykkelsen.

For tagkonstruktionen er efterisolering oven på det eksisterende etagedæk undersøgt. Her er det forudsat, at det eksisterende etagedæk vender mod et uopvarmet tagrum, hvor der umiddelbart er plads til den ekstra isolering uden nævneværdige ekstraanlæg. En komplet udskiftning af konstruktionen er ikke undersøgt, da dette ofte giver anledning til at konvertere det uopvarmede tagrum til beboelsesareal, hvilket komplicerer undersøgelsen ud over rammerne for denne publikation.

Herudover er efterisolering nedefra af etagedækket mod uopvarmet kælder undersøgt som et tiltag. Begge tiltag kræver fokus på håndtering af de ændrede hygrotermiske forhold. I forhold til vinduerne er en forsatsløsning samt udskiftning til nye 2-lags- eller 3-lags-vinduer undersøgt i forhold til de tre originale vinduesløsninger. Forsatsløsningen er inkluderet som et forsøg på at reducere nettovarmetabet for det eksisterende vindue mod at tilføre en mindre mængde indvendigt, hvilket er en løsning, der ikke umiddelbart vil påvirke bygningens bevaringsværdier. Udskiftning til nye 2-lags eller 3-lags vinduer er medtaget, fordi det er et typisk renoveringstiltag, der har stor indvirkning på både klimabelastningen og bevaringsværdierne. Herudover vurderes det interessant at belyse, om det klimamæssigt kan svare sig at vælge et 3-lags- frem for et 2-lags-vindue, da Bygningsreglementets krav til Eref ved vinduesudskiftning vanskeliggør brugen af 2-lags vinduer.

Etablering af mekanisk ventilation med varmegenvinding er undersøgt, fordi det kan forbedre indeklimaet i forbindelse med renoveringer. Et dansk renoveringsstudie har eksempelvis vist, at beboertilfredsheden i forhold til luftkvalitet steg fra 18% til 78% tilfredse beboere efter etablering af mekanisk ventilation med varmegenvinding. Andelen af beboere, der oplevede problemer med støj fra tekniske installationer, steg dog også fra 9% til 35% [Larsen, et al., 2019]. Dette understreger behovet for en holistisk tilgang, når eksisterende bygninger renoveres, således at løsningen af et problem ikke afføder et nyt problem. Herudover er det interessant at belyse effekten af, at den teoretiske energibesparelse ved mekanisk ventilation ofte ikke holder, fordi ventilationsmængden ofte er mindre i det eksisterende byggeri end den, der antages i beregningerne [Afshari, et al., 2020]. Det bør påpeges, at en øget ventilationsmængde – fx ved etablering af mekanisk ventilation – kan være hygrotermisk gavnligt, da flere af tiltagene vil tætnes bygningen, dvs. mindske infiltrationen og ændre de hygrotermiske forhold. Både en central og en decentral ventilationsløsning er inkluderet i analysen, da det er to af de mest anvendte mekaniske ventilationsprincipper i boligbyggeri.

Bilag 4 viser de anvendte skitsetegninger af føringsveje og materiale-mængder til bestemmelse af materialeforbrug. Det bemærkes, at tidligere studier har vist store forskelle i mængder og indlejrede miljøpåvirkninger [Rodriguez, et al., 2020]. Resultaterne i denne publikation må derfor ikke betragtes som en facitliste.

Klimaeffekten af renoveringstiltagene i tabel 3 undersøges hver for sig og angives pr. kvadratmeter opvarmet etageareal for ventilation, mens de øvrige tiltag angives pr. kvadratmeter klimaskærm. Dette er gjort for at gøre analysen generel og uafhængig af udvalgte bygningskonfigurationer. Der er ikke undersøgt kombinationer af renoveringstiltag, fx udvendig efterisolering, nye 3-lags vinduer og decentral mekanisk ventilation med varmegenvinding, da dette vil være bygnings-specifikt og vil komplicere analysen²² ud over rammerne for denne publikation.

²² En besparelse plus en anden besparelse giver ikke summen af de to besparelser på grund af bygningsfysik [Crown, et al., 1993]. Et sensitivitetstudie [Galimshina, et al., 2020] af forskellige renoveringsløsninger i et miljømæssigt og økonomisk perspektiv viser, hvordan risikoen for en ineffektiv renoveringsløsning ved at tilføje flere renoveringsløsninger stiger – både i forhold til et miljømæssigt og et økonomisk perspektiv.



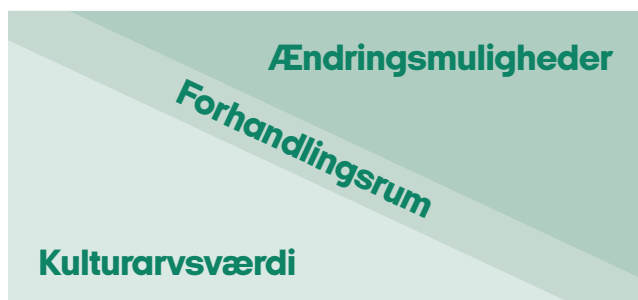
Bygningsdel		Periode				Kommentar
		1930-1939	1940-1949	1950-1959	1960-1974	
Ydervæg		Massiv teglvæg	Teglvæg med hulmur	Teglvæg med isolering	Beton sandwich-element med isolering	
	Indvendig efterisolering, diffusionsåbent system	X		X	X	Isoleringstykkelser er varieret fra 50-500 mm [10 scenarier].
	Indvendig efterisolering, forsatsvæg	X		X	X	
	Indvendig efterisolering, forsatsvæg + aktiv affugtning	X		X	X	
	Udvendig efterisolering	X		X	X	
	Hulmursisolering, [mineraluld/papiruld/EPS]		X			Forskellige isoleringstyper er undersøgt.
Tag		Tegltag, uopvarmet tagrum, brandhæmmende lerdække		Tegltag, uopvarmet tagrum, isolering	Varmt tag med tagpap	
	Efterisolering	X	X	X	X	Isoleringstykkelser er varieret fra 50-500 mm [10 scenarier]
Etagedæk mod uopvarmet kælder		Træbjælker, brandhæmmende lerdække		Hulstendæk	Beton-huldæk	
	Efterisolering [nedefra]	X	X	X	X	Isoleringstykkelser er varieret fra 50-500 mm [10 scenarier]
Vinduer		1-lags	2-lags koblede vinduer		2-lags termorude	
	Forsatsrude	X	X	X	X	
	Nyt 2-lags-vindue	X	X	X	X	
	Nyt 3-lags-vindue	X	X	X	X	
Ventilation		2-lags koblede vinduer			Mekanisk udsugning	
	Mekanisk ventilation VGV [central]	X	X	X	X	Tre forskellige referencer er undersøgt: 0,5 h ⁻¹ , 0,15 h ⁻¹ eller en daglig udluftning i fyringssæsonen
	Mekanisk ventilation VGV [decentral]	X	X	X	X	

Tabel 3. Oversigt over undersøgte renoveringstiltag der potentielt reducerer CO₂-belastning. De grå felter markerer referencesituationen for hver periode. De enkelte tiltag er undersøgt for perioden, hvis der er vist et x ud for tiltaget.

Bevaringsværdier og renoveringstiltag, der reducerer CO₂-belastning

En bygning bliver erklæret bevaringsværdig med udgangspunkt i, hvorvidt den er et fremtrædende eksempel på typologi, arkitektur, kulturhistorie eller håndværksmæssig udførelse i en given kommune [Kulturministeriet, 2021]. En bygning, der er udpeget som bevaringsværdig i henhold til bygningsfredningslovens §17, kræver tilladelse fra kommunalbestyrelsen ved ønske om at nedrive, ombygge eller på anden måde ændre bygningens eksteriør [Kulturministeriet, 2018]. Det vil sige, at der for hver byggesag bliver foretaget en konkret vurdering i forhold til, hvorledes eventuelle bygningsindgreb bevarer, understøtter, er i samspil med eller modstrider bygningens særegenhed, arkitektoniske ide og udtryk, kulturhistorie og byggetekniske forudsætninger, som er knyttet til bygningens facade. Da de bevaringsværdige bygninger ikke er standardiseret eller ens i forhold til udførelse, kulturhistorie og udtryk, kræver bygningsarbejder derfor en konkret vurdering i hver enkelt sag. Med udgangspunkt i lovgivningens skelnen mellem interiør og eksteriør er det dog muligt at lave generelle antagelser om, i hvilken grad et givent bygningsindgreb vil have indvirkning på bygningens bevaringsværdier. Dertil kommer de indgreb, der placerer sig i et forhandlingsrum mellem bevaringsværdier og ændringsmuligheder [Dahl & Simonsen, 2015].

Figur 18 illustrerer, hvordan mange bevaringsværdier giver en lille eller ingen ændringsmulighed, og tilsvarende, hvordan få bevaringsværdier giver store ændringsmuligheder i bevaringsværdige bygninger. I forhold til energirenoveringer er udpegede bevaringsværdige bygninger undtaget fra at efterkomme energikravene i Bygningsreglementets §274-282, hvis arbejderne er i strid med de udpegede værdier [Ref.: BR 18 §278]. Som



Figur 18. Forhandlingsrummet ligger omkring proportionalaksen mellem ændringsmuligheder og bevaringsværdi, inspiration fra E-SAVE [Dahl & Simonsen, 2015].

nævnt foretages der derfor altid en individuel konkret vurdering, når der ansøges om bygningsarbejder på en bevaringsværdig bygning. I denne proces er der mulighed for at indlede en dialog om indgreb og bevaring i forhold til de ønskede renoveringstiltag. Figuren viser, at der for hver bygning, uanset hvor den placerer sig på skalaen, altid vil være et forhandlingsrum, hvor bygningens værdier kan diskuteres og vurderes i forhold til de medfølgende fordele og ulemper, som det ønskede indgreb måtte have på bygningen [Dahl & Simonsen, 2015].

Da bevaringsværdier knytter sig til bygningens eksteriør, kan det formodes, at et klimarenoveringstiltag som fx udvendig facadeisolering vil være umuligt at gennemføre, uden at bygningens bærende bevaringsværdier bliver ændret væsentligt. Det vil sige, at originalsubstansen defineret som håndværksmæssig og byggeteknisk udførelse, arkitektonisk idé og udtryk, samt kulturhistoriske spor og patina ændres, hvorved bygningen mister sin bevaringsværdi. Isolering af eventuelt hulrum i en eksisterende hulmur vil medføre et mindre indgreb i facaden, som det vil være muligt at reetablere uden at miste bevaringsværdier. Vinduer, som typisk også er af bærende karakter for bevaringsværdierne vil – afhængigt af bygningstypologien – kunne placeres i et forhandlingsrum. Oprindelige vinduer vil almindeligvis være en af bygningens bærende bevaringsværdier, men for perioden kan det tænkes, at vinduernes byggetekniske udgangspunkt giver mulighed for, at der inden for vinduets konstruktion er mulighed for et forhandlingsrum, hvor energioptimerende løsninger kan indtænkes i den eksisterende konstruktion.

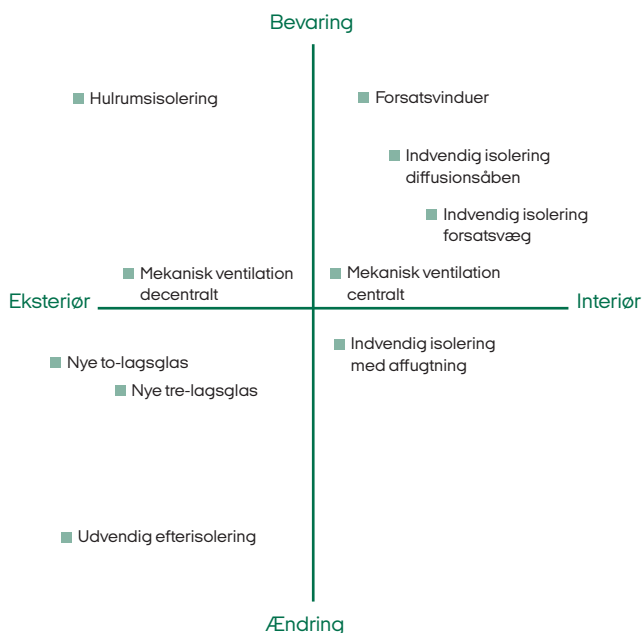
I forhold til de indvendige tiltag, der som udgangspunkt vil kunne gennemføres uden påvirkning af facadernes bevaringsværdier, kan der stadig forekomme eksempler, fx etablering af ventilationsanlæg, hvor gennembrydninger af facader og tag er nødvendige. Disse indgreb vil også placere sig i forhandlingsrummet mellem ændringer og bevaring, da det i nogle bygninger vil være muligt, mens det i andre bygninger vil udgøre et større indgreb i facadernes bevaringsværdier. Der kan fx være ventiler, hætter, riste med videre, som vil ændre bygningens udtryk. Dog er det for publikationens udvalgte periode ikke utænkeligt, at der allerede er etableret facadegennembrydninger som en del af den oprindelige arkitektur og byggeteknik, og i de tilfælde vil de kunne anvendes til formålet.

Hvad angår indvendige arbejder, som ikke har konsekvenser for facaderne, fx indvendig efterisolering, forsatsvinduer og efterisolering af etagedæk, vil disse typisk kunne etableres, uden at



bevaringsværdierne påvirkes. Dog er det vigtigt at pointere, at disse typer af tiltag kan have indirekte konsekvenser for bygningens bevaringsværdier, fx ved skader, hvor nye byggeteknikker og materialer ikke er anvendt korrekt eller ikke er udvalgt med forståelse for bygningens eksisterende forhold.

Figur 19 illustrerer, hvorledes klimareoveringstiltagene i tabel 3 generelt placerer sig i forholdet mellem bevaring og ændring i bygningens interiør og eksteriør. Tiltagene er indplaceret således, at de arbejder, der umiddelbart vurderes at kunne gennemføres, uden at bygningens bevaringsværdier kompromiteres, placeres ovenover den vandrette linje, mens tiltag, der vurderes at skabe for store ændringer af bevaringsværdierne, placeres under linjen. Omkring den vandrette linje findes forhandlingsrummet, se figur 18; jo tættere et tiltag er placeret på den vandrette linje, des større forhandlingsrum vil der være for det pågældende tiltag. Der er i denne figur ingen tiltag indplaceret i feltet interiør/ændring, da dette ikke er relevant for de bevaringsværdige bygninger, men ville kunne finde anvendelse i forbindelse med de fredede bygninger.



Figur 19. Klimareoveringstiltagenes placering i forhold til deres antagede indvirkning på hvorledes en given bygnings bevaringsværdier vil være beskrevet.

Vurdering af miljømæssige konsekvenser

Livscyklusvurderinger (LCA) er, som beskrevet i kapitel 1, en metode til vurdering af miljøbelastningen i byggeriets faser "fra vugge til grav/vugge", det vil sige fra udvinding af råstofferne til fremstilling af byggematerialer over byggeprocessen, brugsfasen og nedrivningen til bortskaffelse eller genanvendelse af byggematerialerne. LCA af renoveringstiltag er derfor relevant til at vurdere, hvorvidt et renoveringstiltag fører til en minimering af bygningens samlede miljøbelastning over byggeriets levetid.

Beregningsmetode og forudsætninger

LCA-beregningerne i denne publikation er udført med udgangspunkt i Bygningsreglementets frivillige bæredygtighedsklasse (FBK) (Bolig- og Planstyrelsen, 2020) og dertil hørende metodebeskrivelse samt "Branchevejledning i LCA ved renovering" (Worm, et al., 2016). LCA-beregningerne er udført i programmet LCAByg 5 (version 5.1.0.9) (BUILD, 2021). Til beregningerne er der anvendt generiske miljødata fra den tyske database Ökobaudat (ÖKOBAUDAT, 2020) for alle materialer involveret i et renoveringstiltag. Generiske miljødata er udvalgt, så der er bedst mulig overensstemmelse i forhold til byggevarens funktionalitet og ydeevne.

Systemafgrænsning

En bygnings livscyklus opdeles som ofte i moduler i henhold til EN 15978 [European Committee for Standardization (CEN), 2012], men i en dansk kontekst medtages belastningen fra alle moduler ikke på nuværende tidspunkt. Analysen i denne publikation følger LCA-tilgangen beskrevet i FBK – med undtagelse af afgrænsningen for, hvilke materialer der medtages. Her benyttes detaljeringniveau 2 fra "Branchevejledning i LCA ved renovering" (Worm, et al., 2016) i stedet. Niveau 2 inkluderer alle materialer, som berøres i forbindelse med renoveringen – det vil sige både de materialer, som fjernes og tilføjes. I henhold til "Branchevejledning i LCA ved renovering" kan Niveau 2 benyttes til dokumentation af renoveringers miljøpåvirkninger og renoveringers miljømæssige tilbagebetalingstid. Systemafgrænsningen er visualiseret i tabel 4, mens metodevalg for de enkelte faser er beskrevet i figur 21.



Der gøres opmærksom på, at selvom renovering [B5] foregår i brugsfasen, så betyder det nye materialeforbrug, at nye livscyklusser inkluderes i beregningerne [se figur 20]. For de materialer, der bliver installeret i en renovering [B5], vil der knytte

sig både en produktfase [A1-A5], en brugsfase [B1-B5 med tilhørende genopretning, fx udskiftning] samt en bortskaffelsesfase [C1-C4] og en eventuel indtræden i et nyt produktsystem [D].

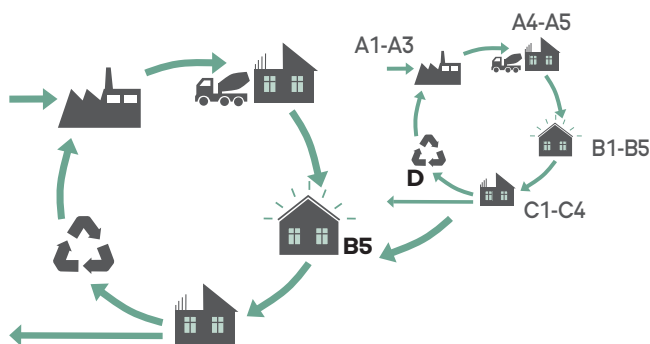
Livscyklusfaser		Produkt					Bygge-proces		Brug							Endt levetid				Uden for systemgrænse
		A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D		
Modul		Råmaterialer	Transport	Produktion	Transport	Opførelse/montering	Brug	Vedligeholdelse	Reparation	Udskiftning	Renovering	Energiforbrug til drift	Vandforbrug til drift	Nedtagning/nedrivning	Transport	Affaldsbehandling	Bortskaffelse	Potentiale for genvindelse, genvinding og genbrug		
Eksisterende bygning												X								
Renovering	Nye materialer og drift	X	X	X	X	X				X		X				X	X	[X]		
	Nedrevne materialer															X	X	[X]		

Tabel 4. Systemafgrænsning i forhold til, hvilke moduler der inddrages i LCA-renoveringsscenariene.



Ifølge CEN/TC 350-standarderne skal B5 kun medtages i et nybyggeris samlede LCA, hvis renoveringsindgrebet er planlagt i forbindelse med bygningens opførelse. Denne publikation omhandler beregningerne af eksisterende bygninger, hvorfra der ikke foreligger nogen tidligere LCA.

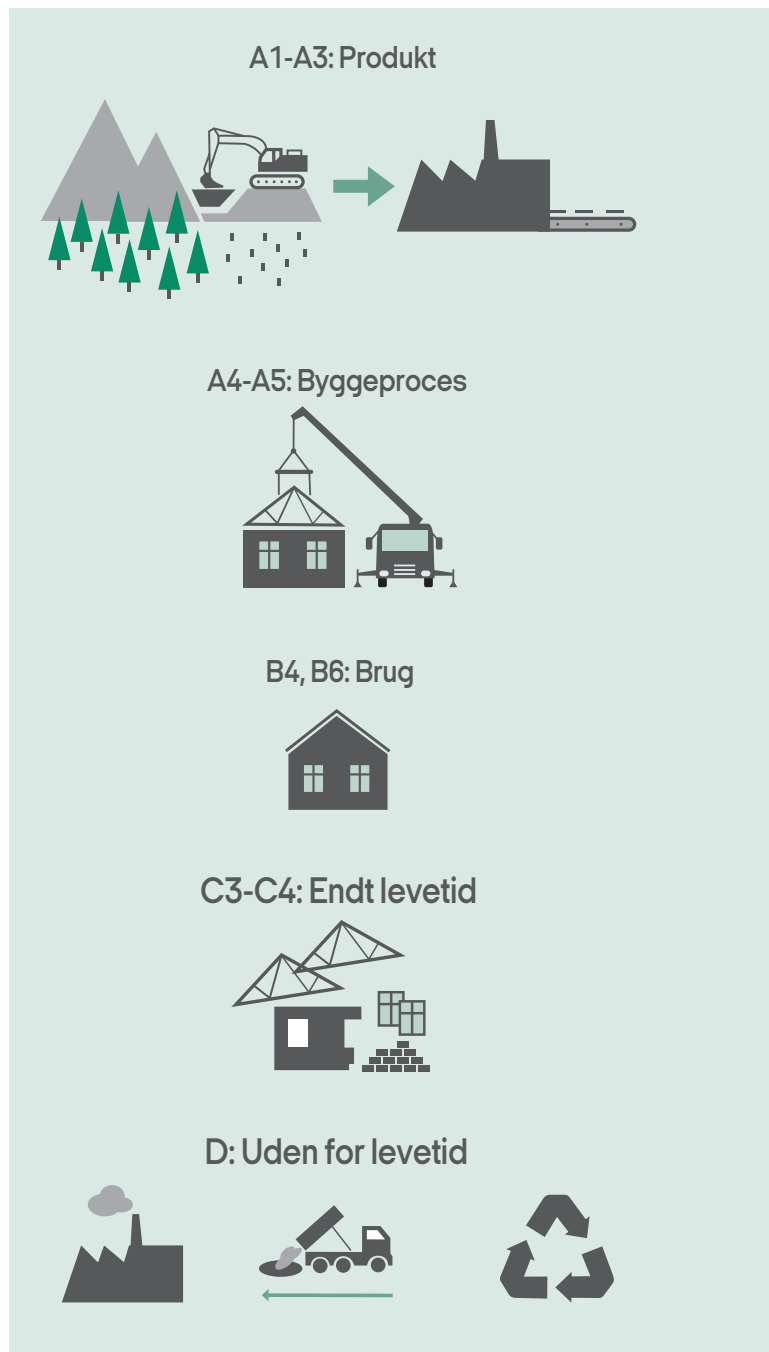
Det betyder, at renoveringsindgrebet bliver rapporteret som nedrivning af eksisterende materialer [C3-C4], produktion af nye materialer [A1-A5], udskiftninger i den efterfølgende brugsfase [B4], samt processerne ved endt levetid [C3-C4]. Det kan ikke udelukkes, at nogle af resultaterne forskyder sig, hvis der på et tidspunkt opstår et datagrundlag for inddragelse af de resterende livscyklusfaser.



Figur 20. Illustration af, at et procesmodul som B5 [renovering] involverer yderligere livscyklusser for de materialer, der introduceres og forbruges.

Referenceenhed

Den europæiske standard EN 15978 [European Committee for Standardization [CEN], 2012] angiver en række miljøpåvirkningskategorier og ressourceindikatorer som resultater for en livscyklusanalyse. I denne publikation fokuseres der på klimapåvirkning, og derfor evalueres tiltagene alene på miljøpåvirkningskategorien for den potentielle globale opvarmning af jordens overfladetemperatur på grund af øget koncentration af drivhusgasser i atmosfæren – den såkaldte drivhuseffekt [Global Warming Potential]. Påvirkningen kaldes i denne publikation "CO₂-belastning" med enheden [kg CO₂-ækv./m²/år], hvor kvadratmeter for efterisolerings- og vinduestiltagens vedkommende refererer til klimaskærmens overfladeareal, mens ventilationstiltagene og forsynings tiltaget refererer til opvarmet etageareal. De øvrige miljøpåvirkningskategorier og ressourceindikatorer i EN 15978 bør dog også analyseres og inddrages





Modul A1-A3 beskriver processerne relateret til produktfasen, herunder udvinding af råstoffer og brug af sekundære materialer, transport til fabrikken samt fremstilling af den færdige byggevarer eller det præfabrikerede system. Som beskrevet i afsnittet "Beregningsmetode og forudsætninger" er der for faserne A1-A3 anvendt generiske miljødata.

Modul A4 indeholder transport af byggevarer til byggeplads. Transport af personer og materiel er ikke omfattet af modulet. Transport på og fra byggepladsen indgår i modul A5.

I nærværende projekt er både transportform og -afstand for alle byggevarer en ukendt faktor, som først kan dokumenteres, når projektet er udført. Dog er der estimeret et bidrag fra modul A4 jævnfør metodebeskrivelserne i den frivillige bæredygtighedsklasse. For alle byggevarer er der anvendt transportformen "Standard lastbil <26 t" samt en transportafstand på 500 km.

Modul A5 omfatter både klimapåvirkninger fra energiforbrug, transport og materialsplid i forbindelse med byggeprocessen. Ligesom for modul A4 er disse bidrag ukendte for nærværende projekt. Som estimat er der tillagt 10% spild til alle byggevarer. Splid omfatter både produktion, transport og affaldsbehandling af byggevarerne og er således summen af A1-A3, A4 og C3-C4.

I livscyklusanalysen forekommer udskiftning af materialer, som har en kortere levetid end betragtningsperioden. En udskiftning vedrører både affaldsbehandling af den eksisterende byggevarer samt produkt- og byggefasen af den nye byggevarer og er derfor summen af modulerne A1-A5 og C3-C4. Levetiderne er bestemt jævnfør SBI 2013:30, Appendiks G – Faktiske middellevetider for bygningsdele. Bilag 4 lister alle materialer med en levetid på under 50 år.

Energibesparelse for de forskellige tiltag i kapitel 4 estimeres ud fra en graddagsbetragtning, som omregnes til en CO₂-belastning ved brug af fremskrevne emissionsfaktorer fra FBK.

Modulerne C3 og C4 beskriver scenarier, der vil ske ved enden af bygningens betragtningsperiode og omfatter derfor affaldsbehandling, herunder forberedelse til genbrug, genanvendelse og eventuel bortskaffelse af byggevarerne. EoL-scenarierne bygger på standard-scenarierne defineret i LCAByg.

Modul D angiver potentialet for genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse af byggevarer efter endt levetid. Der er tale om bidraget fra byggevarer, som udskiftes i løbet af betragtningsperioden, samt bidraget ved nedrivning af bygningen. Jævnfør metoden i FBK er resultatet for tiltagets/bygningens klimabelastning angivet eksklusivt bidraget fra modul D.

I kapitel 5 tages der udgangspunkt i det målte opvarmningsforbrug for de udvalgte case-bygninger.

Varmeforsyning

CO₂-belastning [drift,B6]
= Varmeforbrug
· [CO₂-emissionsfaktor {naturgas}
- CO₂-emissionsfaktor {fjernvarme}]

Ydervæg, etagedæk og tagkonstruktion

Varmebesparelse $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ år}} \right)$
= $(U_{\text{værdi}}^{\text{efter}} - U_{\text{værdi}}^{\text{før}}) \cdot 2906 \text{ (graddage)}$
 $\cdot 24 \text{ (timer pr.døgn)} / 1000 \text{ (Watt til KiloWatt)} \cdot B_{\text{faktor}}$

El-forbrug $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ år}} \right)$

= Oplyst for indvendig efterisolering, forsatsvæg med aktiv affugtning, ellers 0

CO₂-belastning [drift,B6]
= Varmebesparelse · CO₂-emissionsfaktor {fjernvarme}
+ Elforbrug · CO₂-emissionsfaktor {EI}

Vinduer

Varmebesparelse $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ år}} \right)$ = $E_{\text{ref}}^{\text{før}} - E_{\text{ref}}^{\text{efter}}$

El-forbrug $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ år}} \right)$

CO₂-belastning [drift,B6]
= Varmebesparelse · CO₂-emissionsfaktor {fjernvarme}

Ventilation

Varmebesparelse $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ år}} \right)$ = Forsimplet beregning*

El-forbrug $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ år}} \right)$ = SELværdi** · Grundluftskifte · 8760 timer/år

CO₂-belastning [drift,B6]
= Varmebesparelse · CO₂-emissionsfaktor {fjernvarme}
+ Elforbrug · CO₂-emissionsfaktor {EI}

* Den foresimplede beregning af varmebesparelsen ved etablering af mekanisk ventilation med varmegenvinding bygger på en konstant indetemperatur på 21° og en varmegenvindingsgrad på 85%. På baggrund af disse to antagelser samt timeværdierne for udetemperaturen i DRY2013 er varmebesparelsen beregnet. Timer, hvor udetemperaturen overstiger de 21°, er ikke medtaget.

**For den centrale løsning antages en SEL-værdi på 1200 J/m³, og for den decentrale løsning antages en SEL-værdi på 800 J/m³.



ved beslutningstagning, men dette ligger uden for rammerne for denne publikation.

Jævnfør metoden i den frivillige bæredygtighedsklasse i BR18 skal livscyklusberegningerne udføres over en betragtningsperiode på 50 år. Der er ikke tale om bygningens reelle forventede levetid, men om en standard betragtningsperiode for at sikre sammenlignelighed mellem forskellige projekter. En anden betragtningsperiode vil påvirke forholdet mellem klimabelastningen fra driftsfasen og materialerne, og dermed også den samlede CO₂-belastning på grund af andre udskiftninger og ændringer i miljøbelastningen fra energiproduktion over tid. Analyser af andre betragtningsperioder ligger uden for rammerne for denne publikation. Alle resultater er i denne publikation angivet med referenceenheden kg CO₂-ækv./m²/år for klimapåvirkningen evalueret over en betragtningsperiode på 50 år.

Håndtering af usikkerhed

Litteraturstudiet i kapitel 2 peger på et behov for at inddrage et hensyn til den usikkerhed, der er forbundet med LCA-betragtninger, fx længden af referenceperioden, præcision af miljødata, varierende vejrforhold, brugeradfærd, osv. I denne publikation er det indlejrede CO₂-aftryk derfor tillagt en usikkerhed på ± 30%, hvilket er inspireret af usikkerhedsfaktoren på 1,3 ved benyttelse af generiske materialedata i DGNB-systemet [Green Building Council Denmark, 2020]. Driftsbesparelsen er tillagt en usikkerhed på ± 40%, hvilket ca. svarer til én standardafvigelse i varmeenergiforbrug for alle etageboligbebyggelser opført i perioden 1930-1974 [se Kapitel 3].

Denne usikkerhed skal ses som et udtryk for den forskel, der kan være mellem bygningers energiforbrug fra samme periode, blandt andet på grund af brugeradfærd. Usikkerheden dækker ikke over eventuel rebound-effekt, fremtidige vejrforhold med videre, som også bør tillægges; dette ligger uden for rammerne for denne publikation.

Maksimal investeringspris

– Vurdering af energi-økonomisk rentabilitet

I denne publikation vurderes renoveringstiltagens energi-økonomiske rentabilitet ved beregning af en simpel tilbagebetaling. Den anvendte metode baserer sig på en beregning af den

maksimale investeringspris for tiltaget, som fremkommer ved at omskrive formlen for rentabilitetskravet i forbindelse med energirenoveringer jf. BR18:

$$\frac{\text{årlig besparelse [kr/m}^2\text{]} * \text{levetid [år]}}{\text{investering [kr/m}^2\text{]}} > 1,33$$

Ved at indsætte den årlige besparelse²³ i kroner samt levetiden af renoveringstiltaget fås den maksimale investering, renoveringstiltaget må koste pr. kvadratmeter for at være energi-økonomisk rentabelt. Kvadratmeter refererer til samme arealer som beskrevet for LCA-betragtningen. Faktoren 1,33 tager højde for både alternativ forrentning af investeringen og udvikling i priser over tid. Forsyningspriserne til udregning af årlig besparelse er fra LCCbyg (se tabel 5), mens de anvendte levetider for tiltagene stammer fra BR18 kap. 4.0 under vejledninger for Energiforbrug (§ 250 - § 298). Levetiderne ved beregning af den maksimale investeringspris bygger på syv overordnede kategorier. Fx har kategorien "efterisolering af bygning" en levetid på 40 år. Det bemærkes, at de overordnede levetidskategorier for en rentabilitetsberegning ikke nødvendigvis har de samme levetider, som der anvendes i livscyklusvurderingerne.

Fjernvarme	Naturgas	Olie	Elektricitet
0,52 kr./kWh	0,65 kr./kWh	1,11 kr./kWh	1,77 kr./kWh

Beregningen af den maksimale investeringspris kan bruges som en indikator for, om renoveringstiltaget giver energi-økonomisk mening at gennemføre: Er tiltaget realistisk at gennemføre for den angivne pris pr. kvadratmeter? Den maksimale investering kan for visse tiltag være negativ, hvilket betyder, at tiltaget koster flere penge i energiforbrug, end det sparer. Dette kan fx være tilfældet, hvis tiltaget bruger elektricitet for at spare varme (mekanisk ventilation med varmegenvinding), eller ved efterisoleringstiltag, der har elforbrug til lufttransport som en del af den fugt tekniske løsning.

²³ Energibesparelsen er tillagt en usikkerhed på ± 40% ligesom LCA-beregningerne.

En energi-økonomisk betragtning bør udvides til en reel totaløkonomisk betragtning, hvor blandt andet såkaldte "non-energy benefits" indgår, men dette ligger uden for rammerne for denne publikation.

Indeklima - Vurdering af indeklimatiske påvirkninger

For hvert enkelt renoveringstiltag foretages der en overordnet vurdering af, hvordan tiltaget typisk vil påvirke bygnings indeklima, det vil sige forhold vedrørende termisk komfort, luftkvalitet, lys og lyd. Der findes flere forskellige indeklimavurderingsværktøjer, fx IK-kompas [Larsen, et al., 2021], som kan benyttes til at vurdere potentialet for at et godt indeklima. I denne publikation gøres der ikke forsøg på at kvantificere effekten, men der gives blot en indikation af, hvilke indeklimaforhold der kan påvirkes –enten positivt eller negativt.

Formidling af analyseresultater

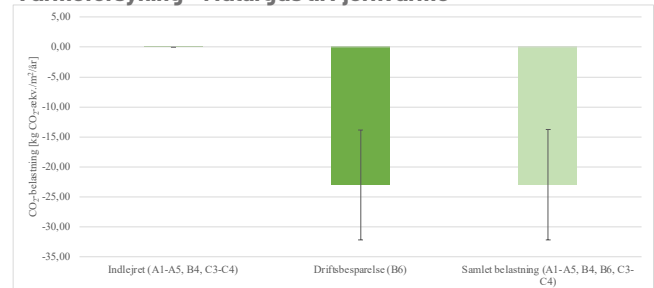
For hvert af de analyserede tiltag [se tabel 3] vil CO₂-belastning, bevaringsværdier, energi-økonomi og indeklima blive belyst, dog med primært fokus på tiltagets indflydelse på CO₂-belastningen og bevaringsværdierne. Usikkerhederne i forbindelse med beregning af CO₂-belastningen er illustreret med "haler" [whiskers] på de enkelte søjler i graferne. Visse tiltag er, som nævnt i tabel 3, sammenlignet en-til-en, fx et 2-lags-vindue eller et 3-lags-vindue, mens effekten af efterisoleringstilpasningerne [bortset fra opfyldning af hulmur] er undersøgt i intervaller af 50 mm [fra 50 mm op til 500 mm] for at illustrere, hvordan den samlede CO₂-belastning påvirkes ved inddragelse af både CO₂-belastning i driftsfasen og den indlejrede CO₂-belastning. Den efterisoleringstykkel, som medfører, at U-værdi-kravet i BR 18 ved renovering overholdes, er markeret med [*] på LCA-graferne, mens den efterisoleringstykkel, der giver den største samlede CO₂-besparelse uden usikkerheder, er markeret med [**]. Ved aflæsning på LCA-graferne med flere efterisoleringsniveauer bemærkes det, at også ekstreme efterisoleringstykkelser kan give anledning til CO₂-besparelser i forhold til den originale konstruktion, men at tiltaget med den mindste samlede CO₂-belastning over 50 år befinder sig ved den mest negative samlede CO₂-belastning [markeret med **].

Renoveringstiltag – Bevaringsværdier, CO₂, energi-økonomi og indeklima.

I det efterfølgende beskrives det, hvordan renoveringstiltagene listet i tabel 3 potentielt kan påvirke bevaringsværdier, CO₂-belastning, energi-økonomi og indeklima.

Teknik	Varmeforsyning
Tiltag	Skift fra naturgas til fjernvarme
	Original Tiltag
Naturgas	Fjernvarme

Varmeforsyning – Naturgas til Fjernvarme



CO₂ belastning

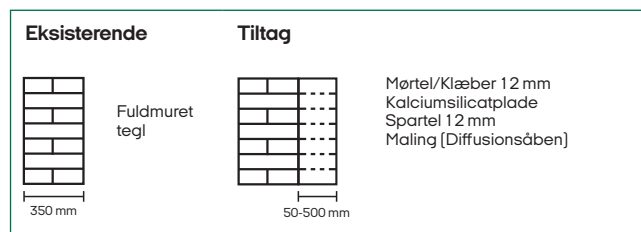
Der kan opnås en betydelig reduktion i CO₂-belastning ved at skifte varmforsyning fra naturgas til fjernvarme, hvilket skyldes en lavere emissionsfaktor for fjernvarme, og at den indlejrede CO₂ udgør en minimal andel af den samlede CO₂-belastning. At usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, understreger robustheden af denne konvertering.

Bevaringsværdier	Varmeforsyning
Maksimal investeringspris	Skift fra naturgas til fjernvarme
Indeklima	Ikke nogen indvirkning på indeklimaet

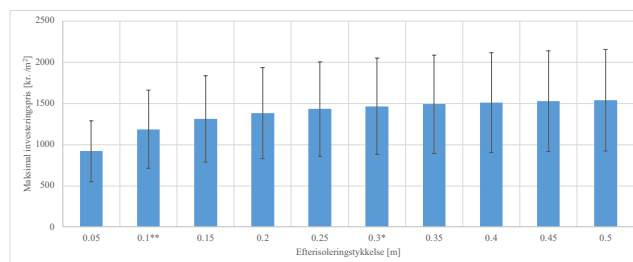


Byggeteknik for perioden 1930-1939

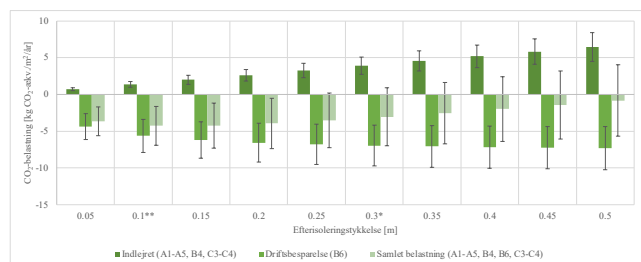
Bygningssdel	Ydervæg
Periode	1930-1939
Tiltag	Indvendig efterisolering, diffusionsåbent system



Indvendig efterisolering (diffusionsåbent system) – 1930-1939



Indvendig efterisolering (diffusionsåbent system) – 1930-1939



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,1 m. Inklusive usikkerhed er CO₂-belastningen kun negativ i intervallet 0,05-0,2 m. Derefter er det usikkert, om CO₂-besparelsen fra driftsfasen kan kompensere for den ekstra indlejrede CO₂-belastning. Ud fra CO₂-belastningen er det ikke formålstjenligt at efterisolere til overholdelse af U-værdi-kravet i BR18.

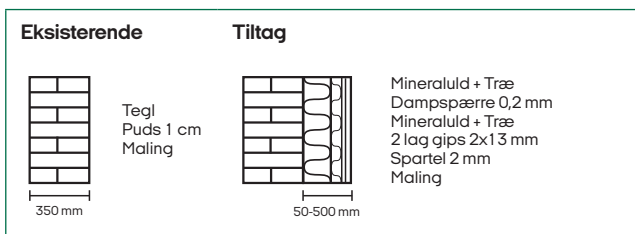
Bevaringsværdier	Ingen påvirkning
-------------------------	------------------

* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

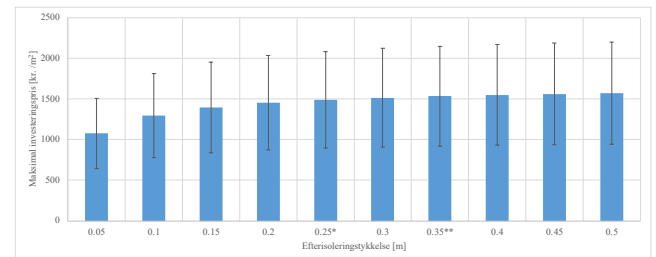
**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

- | | |
|------------------|---|
| Indeklima | <ul style="list-style-type: none"> • Opmærksomhed på øget risiko for skimmel og fugtskader • Overfladetemperaturen hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter • Ændring af dagslyshold |
|------------------|---|

Bygningsdel	Ydervæg
Periode	1930-1939
Tiltag	Indvendig efterisolering, forsatsvæg



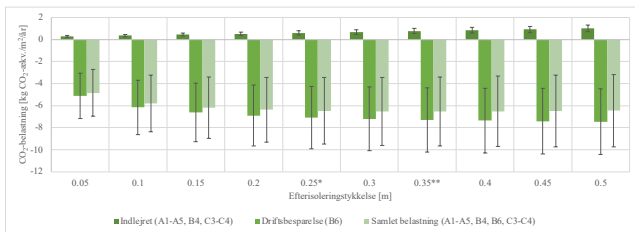
Indvendig efterisolering (forsatsvæg) – 1930-1939



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

Indvendig efterisolering (forsatsvæg) – 1930-1939



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,35 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR 18 (0,25 m). Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,25 m. For alle isoleringstykkelser gælder det, at usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget.

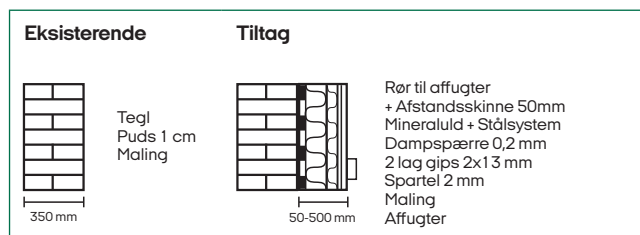
Bevaringsværdier	Ingen påvirkning
-------------------------	------------------

Indeklima

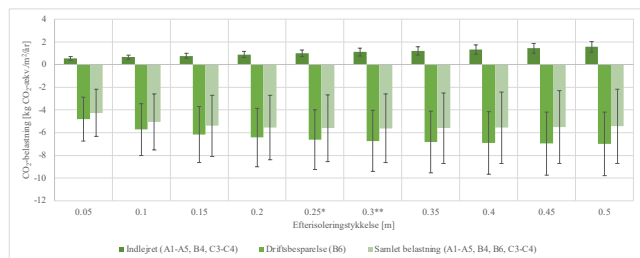
- Opmærksomhed på øget risiko for skimmel og fugtskader
- Overfladetemperaturen hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter
- Ændring af dagslysforhold



Bygningsdel	Ydervæg
Periode	1930-1939
Tiltag	Indvendig efterisolering, forsatsvæg + aktiv affugtning El-forbrug til affugtning: 6,62 kWh/m ² /år (en affugter pr. 13,5 m ² ydervæg)



Indvendig efterisolering (forsatsvæg + aktiv affugtning) – 1930-1939



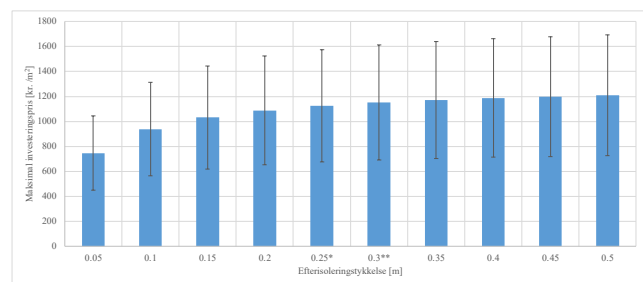
* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,35 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR18 (0,25 m). Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,25 m. For alle isoleringstykkelser gælder det, at usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget.

Bevaringsværdier	Ingen påvirkning, når affugtningen foregår indvendigt.
-------------------------	--

Indvendig efterisolering (forsatsvæg + aktiv affugtning) – 1930-1939s

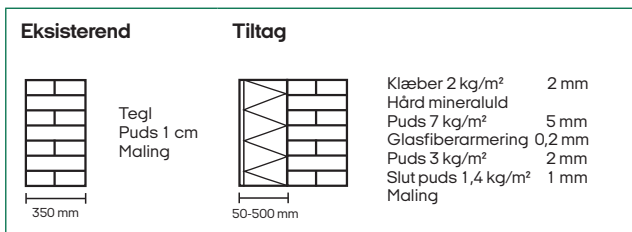


* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

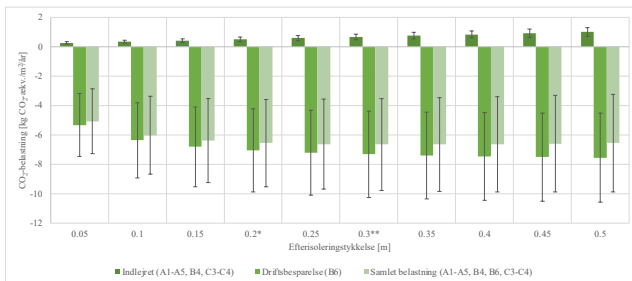
**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

- Indeklima**
- Løsningen minimerer risiko for fugtrelaterede gener
 - Overfladetemperaturen hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter
 - Ændring af dagslysforhold

Bygningsdel	Ydervæg
Periode	1930-1939
Tiltag	Udvendig efterisolering



Indvendig efterisolering (udvendig efterisolering) - 1930-1939



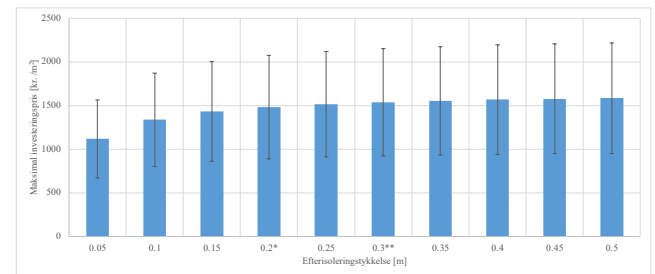
* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,3 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR18 [0,2 m]. Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,2 m. For alle isoleringstykkelser gælder det, at usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget.

Bevaringsværdier	Væsentlige ændringer af bygningens historiske materialer, geometri, håndværksmæssige og arkitektoniske detaljer og kulturhistoriske spor.
-------------------------	---

Indvendig efterisolering (udvendig efterisolering) - 1930-1939



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

- | | |
|------------------|---|
| Indeklima | <ul style="list-style-type: none"> • Ændring af dagslysforhold • Overfladetemperaturen hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter |
|------------------|---|



Byggeteknik for perioden 1940-1949

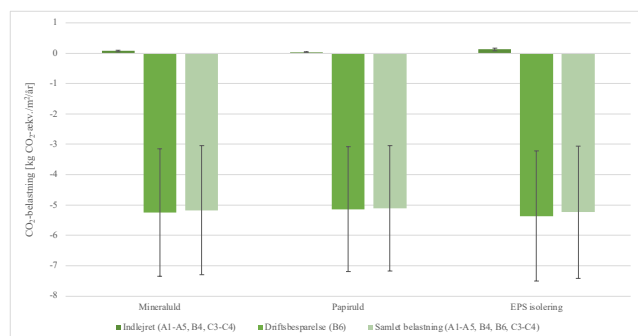
Bygningssdel	Ydervæg
Periode	1940-1949
Tiltag	Hulmursisolering (mineraluld / papiruld / EPS) Antaget varmeledningsevner [mineraluld: 0,04 W/(m·K), papiruld: 0,0425 W/(m·K) og EPS: 0,0375 W/(m·K)]

Eksisterende	Tiltag
<p>Tegl Hulmur Tegl Puds 1 cm Maling</p> <p>108 50 108</p>	<p>Løs mineraluld eller Løs papiruld eller Løs polystyren</p> <p>108 50 108</p>

Bevaringsværdier	Ved etablering påvirkes facaden punktvis, men det formodes, at den kan reetableres uden tab af originals substans i sådan en grad, at det vil kompromittere bevaringsværdierne.
Maksimal investeringspris	Mineraluld: 1104 ± 442 kr./m ² Papiruld: 1081 ± 432 kr./m ² EPS: 1128 ± 451 kr./m ²

Indeklima	• Overfladetemperaturen hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter
------------------	--

Hulmursisolering (mineraluld / papiruld / EPS) – 1940-1949



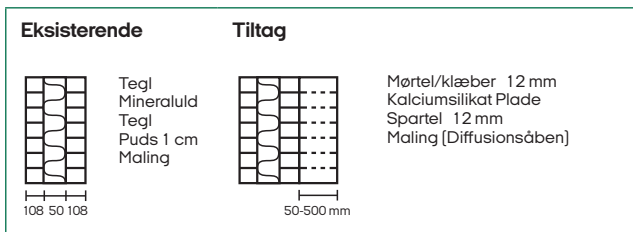
* Den efterisoleringstykkel, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkel, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

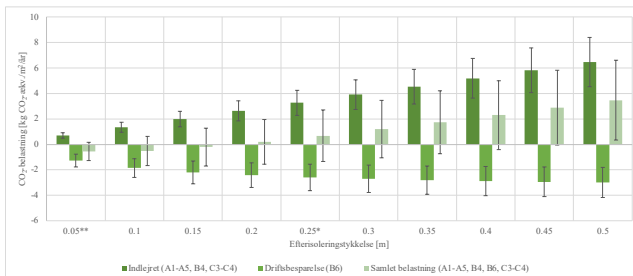
Der er en betydelig reduktion af CO₂-belastningen ved alle tre hulmursisoleringstyper. Den indlejrede CO₂-belastning udgør en minimal andel af den samlede CO₂-belastning. Uden usikkerheder giver EPS-isolering den laveste CO₂-belastning på trods af en højere indlejret CO₂-belastning, da EPS har en lavere varmeledningsevne end mineraluld og papiruld. Forskellene mellem CO₂-belastningerne er dog marginale, og ved andre isoleringstykkelser vil andre tendenser kunne observeres.

Byggeteknik for perioden 1950-1959

Bygningsdel	Ydervæg
Periode	1950-1959
Tiltag	Indvendig efterisolering, diffusionsåbent system



Indvendig efterisolering (diffusionsåbent system) – 1950-1959

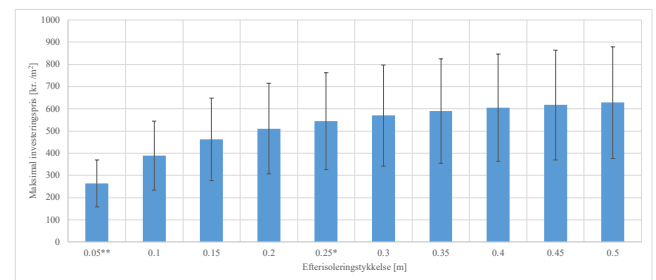


- * Den efterisoleringstykkelser, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.
- **Den efterisoleringstykkelser, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelser på -0,05 m. Inklusive usikkerhed er der ingen tykkelse med negativ CO₂-belastning. Det er derfor usikkert, om CO₂-besparelsen fra driftsfasen kan kompensere for den ekstra indlejrede CO₂-belastning. Ud fra CO₂-belastningen er det ikke formålstjenligt at efterisolere til overholdelse af U-værdi-kravet i BR18.

Bevaringsværdier	Ingen påvirkning
-------------------------	------------------

Indvendig efterisolering (diffusionsåbent system) – 1950-1959



- * Den efterisoleringstykkelser, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.
- **Den efterisoleringstykkelser, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

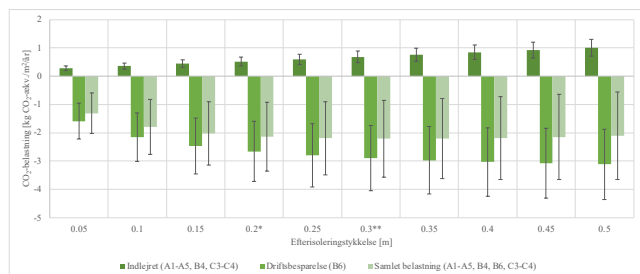
- Indeklima**
- Opmærksomhed på skimmel og fugtskader, da dugpunktet flyttes
 - Overfladetemperaturen hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter
 - Ændring af dagslysforhold



Bygningsdel	Ydervæg
Periode	1950-1959
Tiltag	Indvendig efterisolering, forsatsvæg

Eksisterende	Tiltag
<p>Tegl Mineraluld Tegl Puds 1 cm Maling</p>	<p>Mineraluld + Træg Dampspærre 0,2 mm Mineraluld + Træg 2 lag gips 2x13 mm Spartel 2 mm Maling</p>

Indvendig efterisolering (forsatsvæg) – 1950-1959



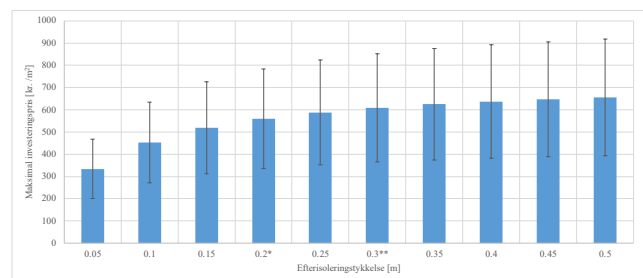
* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,3 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR18 [0,2 m]. Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,2 m. For alle isoleringstykkelser gælder det, at usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget.

Bevaringsværdier	Ingen påvirkning
-------------------------	------------------

Indvendig efterisolering (forsatsvæg) – 1950-1959



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

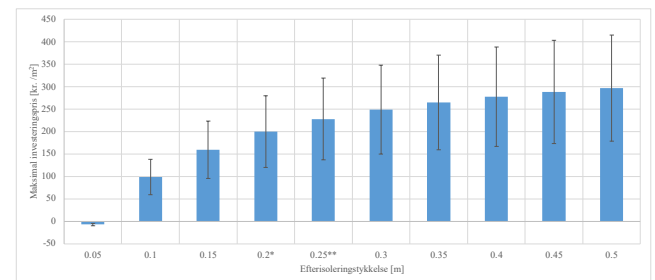
Indeklima

- Opmærksomhed på skimmel og fugtskader, da dugpunktet flyttes
- Overfladetemperaturen hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter
- Ændring af dagslysforhold

Bygningsdel	Ydervæg
Periode	1950-1959
Tiltag	Indvendig efterisolering, forsatsvæg + aktiv affugtning El-forbrug til affugtning: 6,62 kWh/m ² /år (en affugter pr. 13,5 m ² ydervæg)

Eksisterende	Tiltag
<p>Tegl Mineraluld Tegl Puds 1 cm Maling</p>	<p>Rør til affugter + Afstandsskinne 50 mm Mineraluld + Stålsystem Dampspærre 0,2 mm 2 lag gips 2x13 mm Spartel 2 mm Maling Affugter</p>

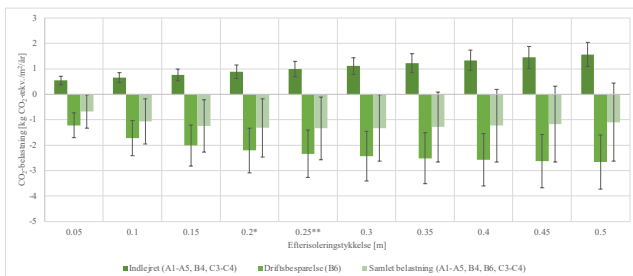
Indvendig efterisolering (forsatsvæg + aktiv affugtning) - 1950-1959



* Den efterisoleringstykkelser, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelser, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

Indvendig efterisolering (forsatsvæg + aktiv affugtning) - 1950-1959



* Den efterisoleringstykkelser, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelser, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelser på 0,25 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR 18 (0,20 m). Inklusiv usikkerhed er CO₂-belastningen negativ i intervallet 0,05-0,3 m, og derefter er det usikkert, om CO₂-besparelsen fra driftsfasen kan kompensere for den ekstra indlejrede CO₂-belastning. Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,15 m.

- Indeklima**
- Overfladetemperaturer hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter
 - Ændring af dagslysforhold

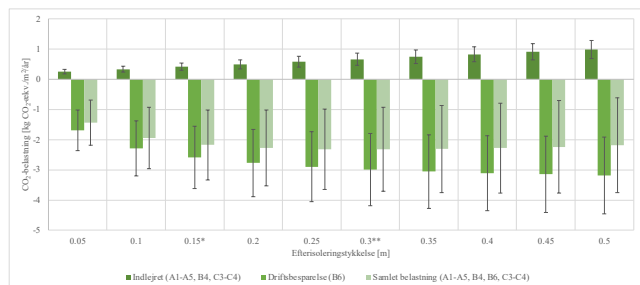
Bevaringsværdier	Ingen påvirkning, når affugtningen foregår indvendigt.
-------------------------	--



Bygningstype	Ydervæg
Periode	1950-1959
Tiltag	Udvendig efterisolering

Eksisterende	Tiltag
<p>Tegl Mineraluld Tegl Puds 1 cm Maling</p> <p>108 50 108</p>	<p>Klæber 3 kg/m² 2 mm Hård mineraluld Puds 7 kg/m² 5 mm Glasfiberarmering 0,2 mm Puds 3 kg/m² 2 mm Slutpuds 1,4 kg/m² 1 mm Maling</p> <p>50-500 mm</p>

Indvendig efterisolering (udvendig efterisolering) – 1950-1959



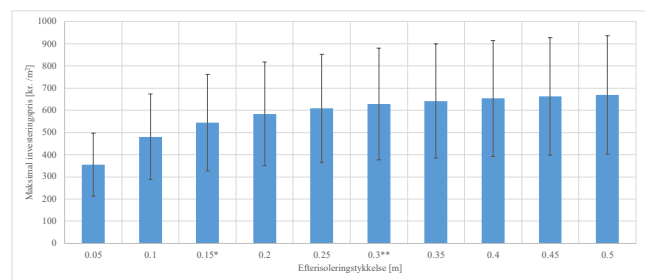
* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,3 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR18 (0,15 m). For alle isoleringstykkelser gælder det, at usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget. Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,2 m.

Bevaringsværdier	Væsentlige ændringer af bygningens historiske materialer, geometri, håndværksmæssige og arkitektoniske detaljer og kulturhistoriske spor.
-------------------------	---

Indvendig efterisolering (udvendig efterisolering) – 1950-1959



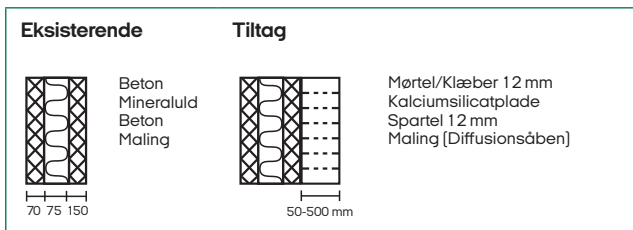
* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

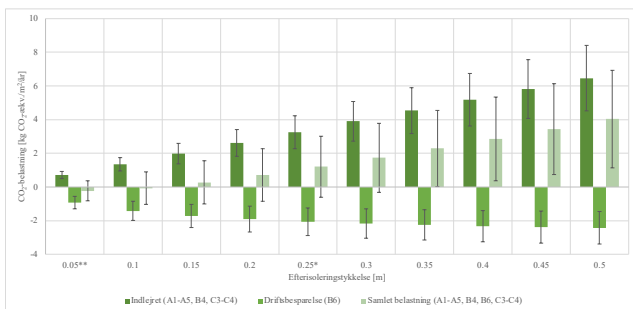
- | | |
|------------------|---|
| Indeklima | <ul style="list-style-type: none"> • Ændring af dagslysforhold • Overfladetemperaturen hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter |
|------------------|---|

Byggeteknik for perioden 1960-1974

Bygningsdel	Ydervæg
Periode	1960-1974
Tiltag	Indvendig efterisolering, diffusionsåbent system



Indvendig efterisolering (diffusionsåbent system) – 1960-1974



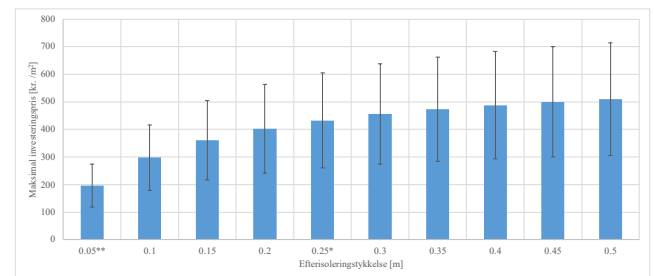
* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på -0,05 m. Inklusive usikkerhed er der ingen tykkelse med negativ CO₂-belastning. Det er derfor usikkert, om CO₂-besparelsen fra driftsfasen kan kompensere for den ekstra indlejrede CO₂-belastning. Ud fra CO₂-belastningen er det ikke formålstjenligt at efterisolere til overholdelse af U-værdi-kravet i BR18.

Bevaringsværdier	Ingen påvirkning
-------------------------	------------------

Indvendig efterisolering (diffusionsåbent system) – 1960-1974



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

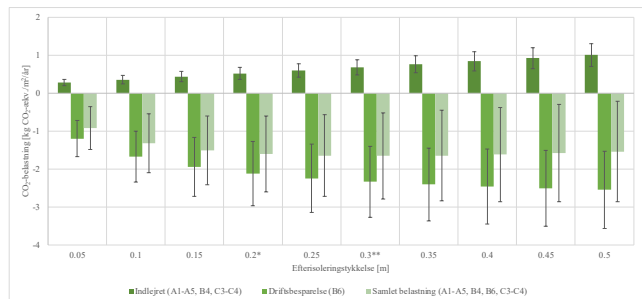
- Indeklima**
- Opmærksomhed på skimmel og fugtskader, da dugpunktet flyttes
 - Overfladetemperaturen hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter
 - Ændring af dagslysforhold



Bygningsdel	Ydervæg
Periode	1960-1974
Tiltag	Indvendig efterisolering, forsatsvæg

Eksisterende	Tiltag
<p>Beton Mineraluld Beton Maling</p> <p>70 75 150</p>	<p>Mineraluld + Træ Dampspærre 0,2 mm Mineraluld + Træ 2 lag gips 2x13 mm Spartel 2 mm Maling</p> <p>50-500 mm</p>

Indvendig efterisolering (forsatsvæg) – 1960-1974



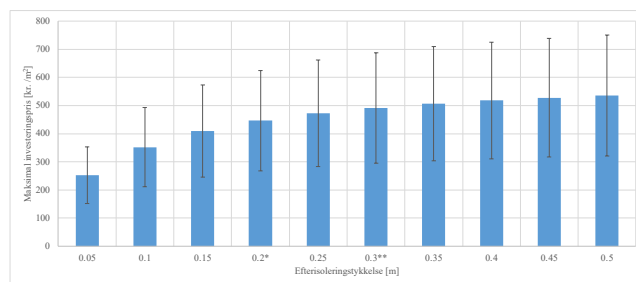
* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,3 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR18 [0,2 m]. Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,15 m. For alle isoleringstykkelser gælder det, at usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget.

Bevaringsværdier	Ingen påvirkning
-------------------------	------------------

Indvendig efterisolering (forsatsvæg) – 1960-1974



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

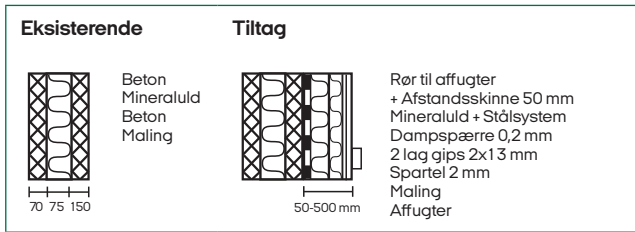
**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

Indeklima

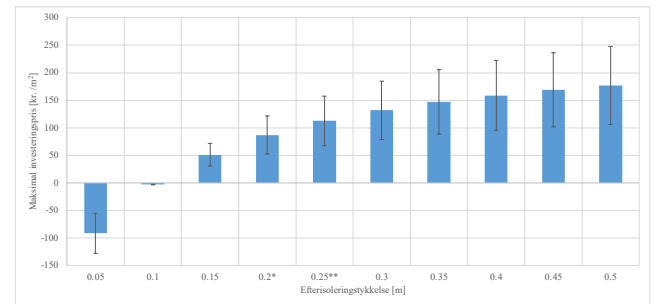
- Opmærksomhed på skimmel og fugtskader, da dugpunktet flyttes
- Overfladetemperaturen hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter
- Ændring af dagslysforhold



Bygningsdel	Ydervæg
Periode	1960-1974
Tiltag	Indvendig efterisolering, forsatsvæg + aktiv affugtning El-forbrug til affugtning: 6,62 kWh/m ² /år (en affugter pr. 13,5 m ² ydervæg)



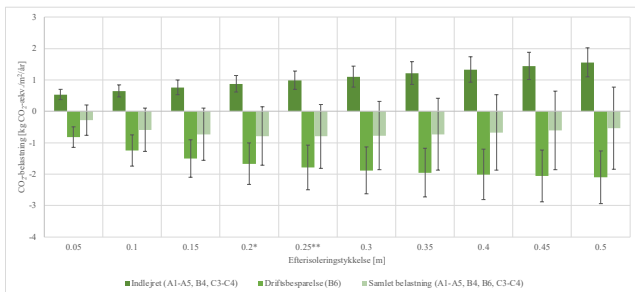
Indvendig efterisolering (forsatsvæg + aktiv affugtning) - 1960-1974



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

Indvendig efterisolering (forsatsvæg + aktiv affugtning) - 1960-1974



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,25 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdikravet i BR18 (0,20 m). Inklusiv usikkerhed er der ingen tykkelse med negativ CO₂-belastning. Det er derfor usikkert, om CO₂-besparelsen fra driftsfasen kan kompensere for den ekstra indlejrede CO₂-belastning.

Indeklima

- Overfladetemperaturen hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter
- Ændring af dagslysforhold

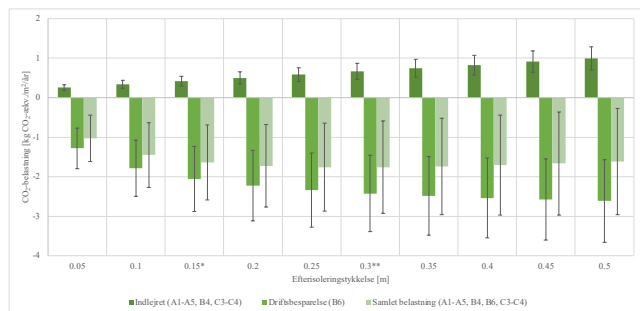
Bevaringsværdier	Ingen påvirkning, når affugtningen foregår indvendigt.
-------------------------	--



Bygningssdel	Ydervæg
Periode	1960-1974
Tiltag	Udvendig efterisolering

Eksisterende	Tiltag
<p>Beton Mineraluld Beton Maling</p> <p>70 75 150</p>	<p>Klæber 3 kg/m² 2 mm Hård mineraluld Puds 7 kg/m² 5 mm Glasfiberarmering 0,2 mm Puds 3 kg/m² 2 mm Slutpuds 1,4 kg/m² 1 mm Maling</p> <p>50-500 mm</p>

Indvendig efterisolering (udvendig efterisolering) – 1960-1974



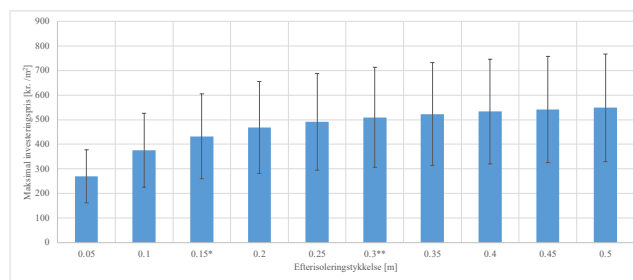
* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,3 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR18 [0,15 m]. Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,15 m. For alle isoleringstykkelser gælder det, at usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget.

Bevaringsværdier	Væsentlige ændringer af bygningens historiske materialer, geometri, håndværksmæssige og arkitektoniske detaljer og kulturhistoriske spor.
-------------------------	---

Indvendig efterisolering (udvendig efterisolering) – 1960-1974

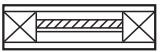
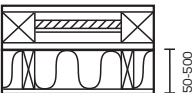


* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

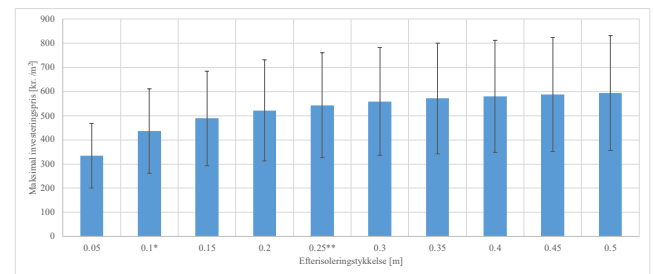
**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

- Indeklima**
- Dybere placering af vinduerne i vinduesåbningerne
 - Overfladetemperaturen hæves → flere brugbare vægoverflader og gulvkvadratmeter
 - Ændring af dagslysforhold

Bygningsdel	Etagedæk
Periode	1930-1949
Tiltag	Efterisolering [nedefra]

Eksisterende	Tiltag
 <p>Brædder 3 cm Bjælker 20x20 cm Luftrum 5 cm Lerdække 5 cm Brædder 2,5 cm</p>	 <p>Luftrum 7,5 cm Brædder 2 cm Rør (væv) Puds Maling</p> <p>Dampspærre 0,2 mm Mineraluld + Træ [10%] Gips 2 lag 2x13 mm Spartel og Maling</p> <p>50-500</p>

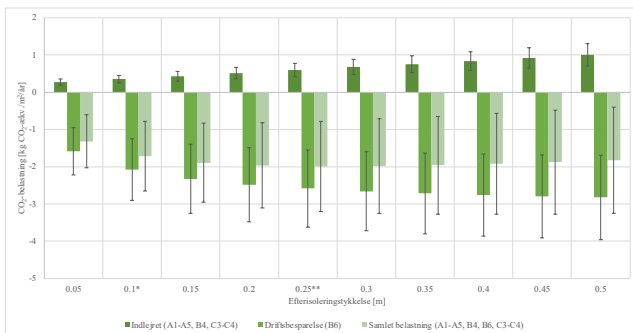
Etagedæk (efterisolering [nedefra]) - 1930-1949



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

Etagedæk (efterisolering [nedefra]) - 1930-1949



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,25 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR18 (0,10 m). Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,15 m. For alle isoleringstykkelser gælder det, at usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget på trods af et reduceret varmetab til den uopvarmede kælder [b-faktor på 0,7].

Indeklima

- Risiko for fugtrelaterede gener i den uopvarmede kælder pga. ændrede temperaturforhold
- Overfladetemperaturen hæves → ikke så fodkoldt

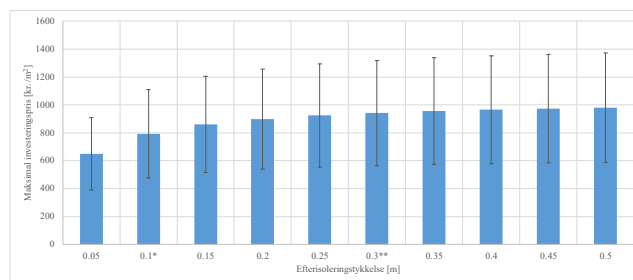
Bevaringsværdier	Ingen påvirkning
-------------------------	------------------



Bygningssdel	Etagedæk
Periode	1950-1959
Tiltag	Efterisolering (nedefra)

Eksisterende	Tiltag
<p>Brædder 3 cm Luft + strøer 7 cm Hulstendæk 20 cm Maling</p>	<p>Dampspærre 0,2 mm Mineraluld + Træ (10%) Gips 2 lag 2x13 mm Spartel og Maling</p>

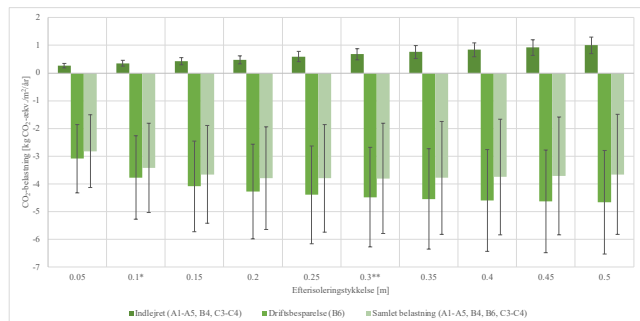
Etagedæk (efterisolering (nedefra)) – 1950-1959



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

Etagedæk (efterisolering (nedefra)) – 1950-1959



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,30 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR18 (0,10 m). Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,2 m. For alle isoleringstykkelser gælder det, at usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget på trods af et reduceret varmetab til den uopvarmede kælder [b-faktor på 0,7].

Bevaringsværdier	Ingen påvirkning
-------------------------	------------------

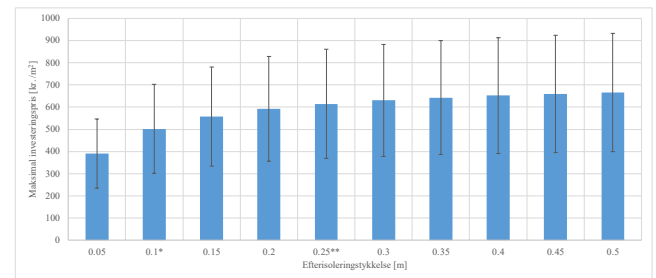
Indeklima

- Risiko for fugtrelaterede gener i den uopvarmede kælder pga. ændrede temperaturforhold
- Overfladetemperaturen hæves → ikke så fodkoldt

Bygningssdel	Etagedæk
Periode	1960-1974
Tiltag	Efterisolering [nedefra]

Eksisterende	Tiltag
<p>Brædder 3 cm Luft + strøer 7 cm Huldæk 20 cm Maling</p>	<p>Dampspærre 0,2 mm Mineraluld + Træ [10%] Gips 2 lag 2x13 mm Spartel og Maling</p>

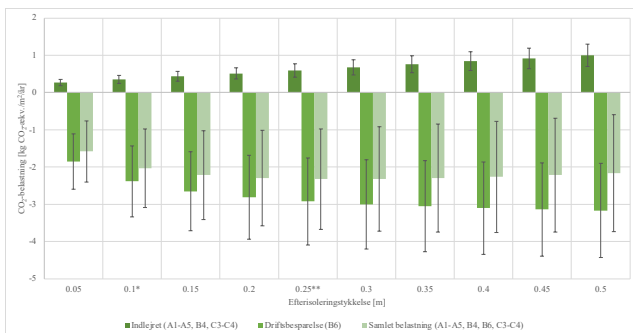
Etagedæk (efterisolering [nedefra]) – 1960-1974



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

Etagedæk (efterisolering [nedefra]) – 1960-1974



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

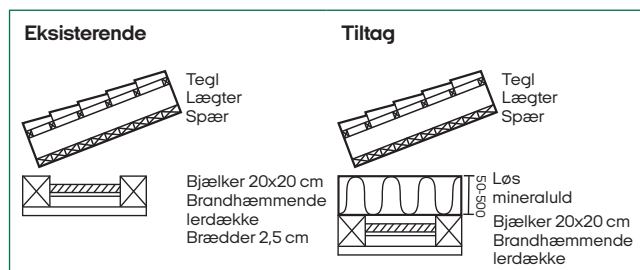
Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,25 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR18 (0,10 m). Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,2 m. For alle isoleringstykkelser gælder det, at usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget på trods af et reduceret varmetab til den uopvarmede kælder [b-faktor på 0,7]. Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,2 m.

Bevaringsværdier	Ingen påvirkning
-------------------------	------------------

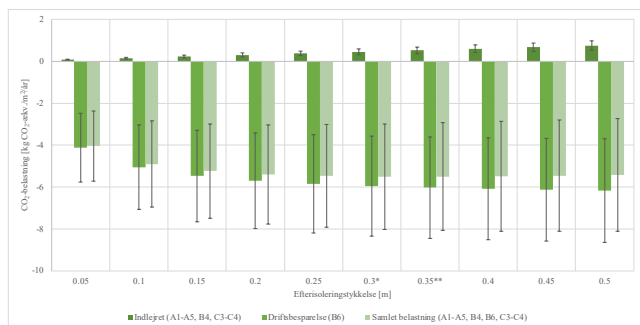
- Indeklima**
- Risiko for fugtrelaterede gener i den uopvarmede kælder pga. ændrede temperaturforhold
 - Overfladetemperaturen hæves → ikke så fodkoldt



Bygningsdel	Tagkonstruktion
Periode	1930-1949
Tiltag	Efterisolering



Tagkonstruktion (efterisolering) – 1930-1949



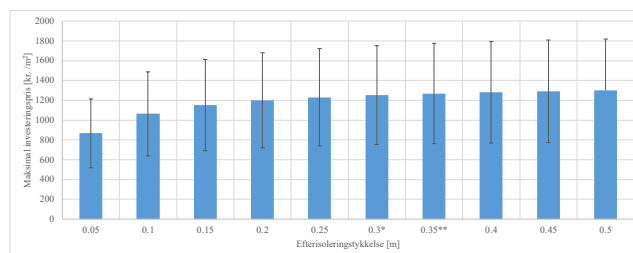
* Den efterisoleringstykkel, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkel, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkel på 0,35 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR 18 (0,30 m). Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,25 m. For alle isoleringstykkelser gælder det, at usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget.

Bevaringsværdier	Ingen påvirkning
-------------------------	------------------

Tagkonstruktion (efterisolering) – 1930-1949



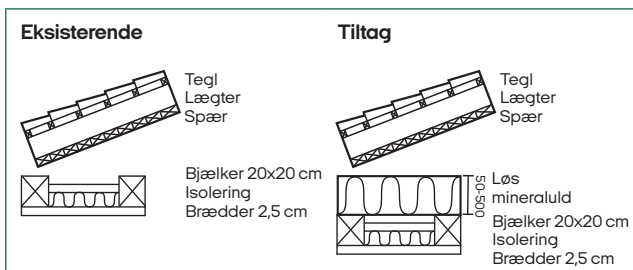
* Den efterisoleringstykkel, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkel, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

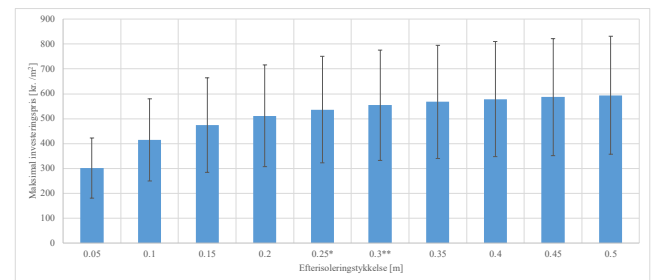
Indeklima

- Fugtrelaterede skader i det uopvarmede tagrum pga. nye temperaturforhold kan påvirke indeklimaet
- Overfladetemperaturen hæves → mindre træk

Bygningsdel	Tagkonstruktion
Periode	1950-1959
Tiltag	Efterisolering



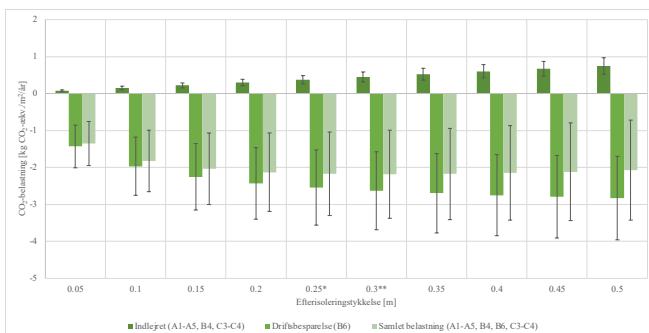
Tagkonstruktion (efterisolering) – 1950-1959



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

Tagkonstruktion (efterisolering) – 1950-1959



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,30 m, hvilket er mere isolering, end der skal til for at overholde U-værdi-kravet i BR18 (0,25 m). Dog gør yderpunktet for usikkerhed, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,2 m. For alle isoleringstykkelser gælder det, at usikkerhederne ikke gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget.

Bevaringsværdier	Ingen påvirkning
-------------------------	------------------

Indeklima

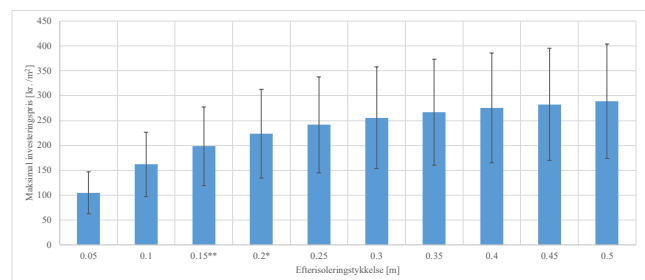
- Fugtrelaterede skader i det uopvarmede tagrum pga. nye temperaturforhold kan påvirke indeklimaet
- Overfladetemperaturen hæves → mindre træk



Bygningssdel	Tagkonstruktion
Periode	1960-1974
Tiltag	Efterisolering

Eksisterende	Tiltag
<p>2 x Tagpap 130 mm Polystyrer 75 mm Letbeton 200 mm Huldæk</p>	<p>2 lag tagpap EPS ISO</p>

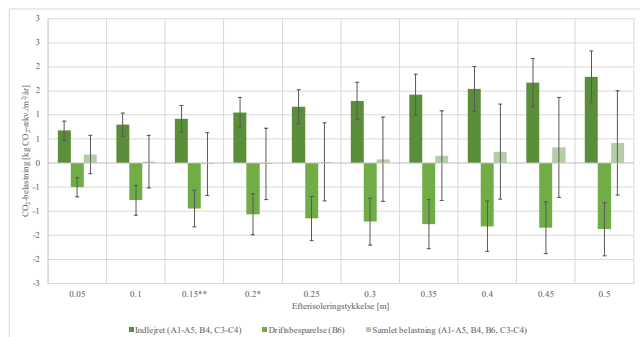
Tagkonstruktion (efterisolering) – 1960-1974



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder

Tagkonstruktion (efterisolering) – 1960-1974



* Den efterisoleringstykkelse, der kræves for at overholde Bygningsreglementets U-værdi-krav.

**Den efterisoleringstykkelse, der giver den mindste samlede CO₂-belastning eksklusive usikkerheder.

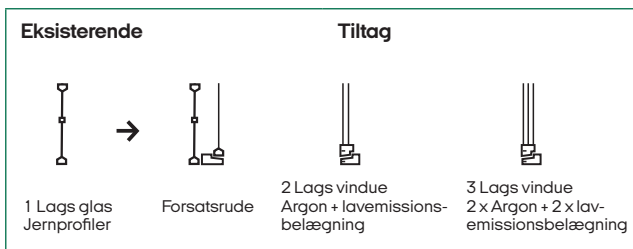
Den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse på 0,15 m, som kun marginalt bidrager til den samlede CO₂-besparelse. Inklusive usikkerhed er der ingen tykkelse med negativ CO₂-belastning. Det er derfor usikkert, om CO₂-besparelsen fra driftsfasen kan kompensere for den ekstra indlejrede CO₂-belastning. Ud fra CO₂-belastningen er det ikke formålstjenligt at efterisolere til overholdelse af U-værdi-kravet i BR18.

Bevaringsværdier	Ved taghævning ændres bygningens geometri, hvilket kan påvirke bevaringsværdierne.
-------------------------	--

Indeklima

- Fugtrelaterede skader i det uopvarmede tagrum pga. nye temperaturforhold kan påvirke indeklimaet
- Overfladetemperaturen hæves → mindre træk

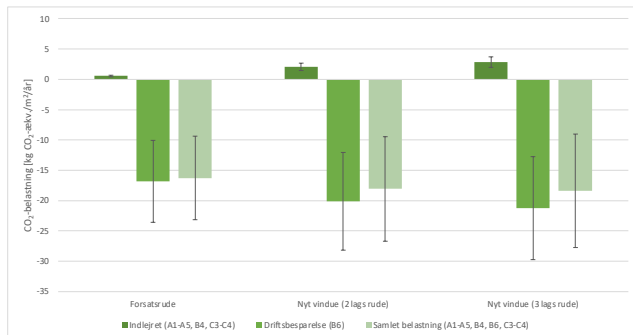
Bygningsdel	Vinduer
Periode	1930-1939
Tiltag	Forsatsrude / nyt 2-lags-vindue / nyt 3-lags-vindue



Der er en betydelig reduktion af CO₂-belastningen ved alle tre vinduestyper. Den indlejrede CO₂-belastning udgør en lille andel af den samlede CO₂-belastning. Uden usikkerheder giver 3-lags-vinduet den laveste CO₂-belastning på trods af en højere indlejret CO₂-belastning. Forskellen mellem forsatsløsningen, 2-lags- og 3-lags-vinduerne er dog marginal, og yderpunktet for usikkerheden gør, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at skifte til nye vinduer.

Bevaringsværdier	Ved indgreb i eksisterende vindueskonstruktioner kan der være væsentlige ændringer af bygningsens bevaringsværdier
Maksimal investeringspris	Forsatsløsning: 2655 ± 1062 kr./m ² Nyt 2-lags-vindue: 3170 ± 1268 kr./m ² Nyt 3-lags-vindue: 3351 ± 1341 kr./m ²

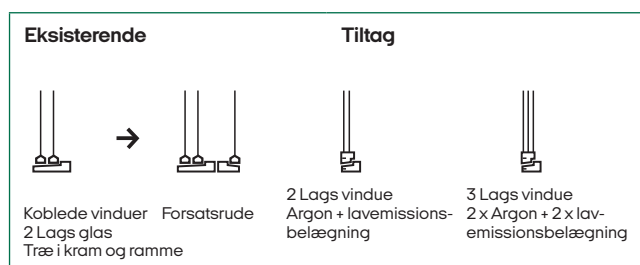
Vinduer – 1930-1939



Indeklima	<ul style="list-style-type: none"> • Reduceret dagslys • Støjreduktion • Øget tæthed → mindre træk • Øget tæthed → dårligere ventilation • Overfladetemperaturen hæves → færre timer med indvendig kondensdannelse • Overfladetemperaturen hæves → mindre kuldestråling
------------------	---



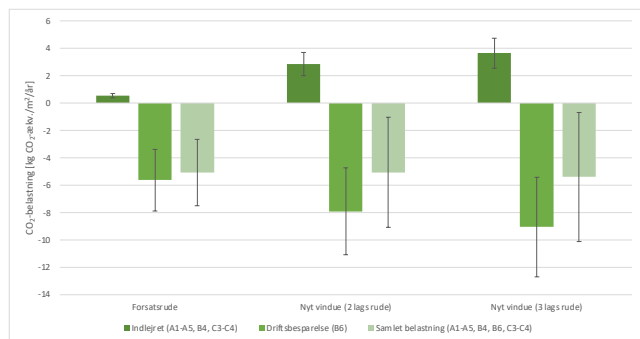
Bygningsdel	Vinduer
Periode	1940-1959
Tiltag	Forsatsrude / nyt 2-lags-vindue / nyt 3-lags-vindue



Der er en betydelig reduktion af CO₂-belastningen ved alle tre vinduestyper. Den indlejrede CO₂-belastning udgør en anseelig andel af den samlede CO₂-belastning. Uden usikkerheder giver 3-lags-vinduet den laveste CO₂-belastning på trods af en højere indlejret CO₂-belastning. Forskellen mellem forsatsløsningen, 2-lags- og 3-lags-vinduerne er dog marginal, og yderpunktet for usikkerhed gør, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at skifte til nye vinduer.

Bevaringsværdier	Ved indgreb i eksisterende vindueskonstruktioner kan der opstå væsentlige ændringer af bygningens bevaringsværdier
Maksimal investeringspris	Forsatsløsning: 887 ± 355 kr./m ² Nyt 2-lags-vindue: 1248 ± 499 kr./m ² Nyt 3-lags-vindue: 1429 ± 572 kr./m ²

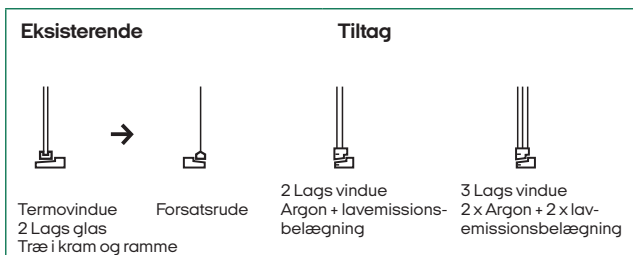
Vinduer - 1940-1959



Indeklima	<ul style="list-style-type: none"> • Reduceret dagslys • Støjreduktion • Øget tæthed → mindre træk • Øget tæthed → dårligere ventilation • Overfladetemperaturen hæves → færre timer med indvendig kondensdannelse • Overfladetemperaturen hæves → mindre kuldestråling
------------------	---

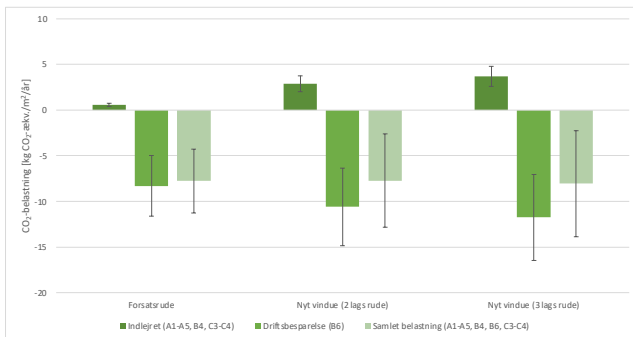
Bygningsdel	Vinduer
Periode	1960-1974
Tiltag	Forsatsrude / nyt 2-lags-vindue / nyt 3-lags-vindue

Der er en betydelig reduktion af CO₂-belastningen ved alle tre vinduestyper. Den indlejrede CO₂-belastning udgør en anseelig andel af den samlede CO₂-belastning. Uden usikkerheder giver 3-lags-vinduet den laveste CO₂-belastning på trods af en højere indlejret CO₂-belastning. Forskellen mellem 2-lags-og 3-lags-vinduerne er dog marginal.



Bevaringsværdier	Ved indgreb i eksisterende vindueskonstruktioner kan der opstå væsentlige ændringer af bygningens bevaringsværdier
Maksimal investeringspris	Forsatsløsning: 1523 ± 609 kr./m ² Nyt 2-lags-vindue: 1672 ± 669 kr./m ² Nyt 3-lags-vindue: 1853 ± 741 kr./m ²

Vinduer - 1960-1974

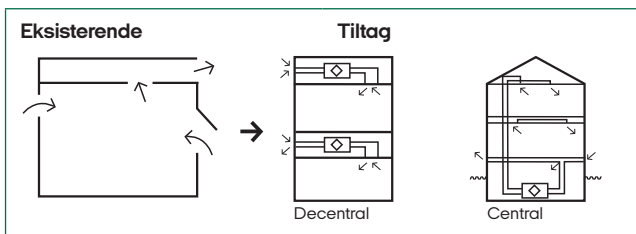


Indeklima

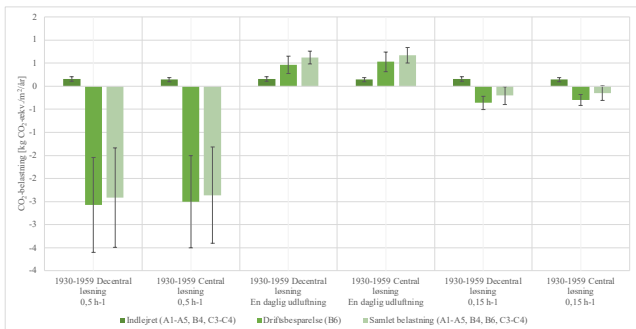
- Reduceret dagslys
- Støjreduktion
- Øget tæthed → mindre træk
- Øget tæthed → dårligere ventilation
- Overfladetemperaturen hæves → færre timer med indvendig kondensdannelse
- Overfladetemperaturen hæves → mindre kuldestråling



Bygningssdel	Ventilation
Periode	1930-1959
Tiltag	Mekanisk ventilation med varmegenvinding - Central / Decentral



Ventilation – 1930-1959



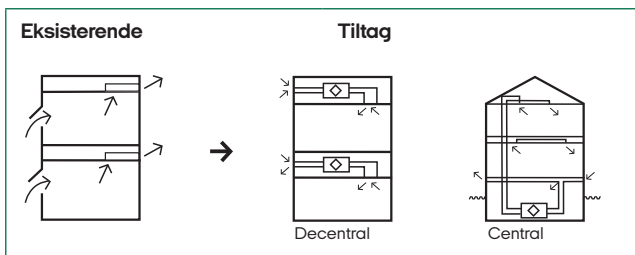
Der er en reduktion af CO₂-belastningen forbundet med at etablere mekanisk ventilation med varmegenvinding (både central og decentral løsning), hvis der antages et konstant luftskifte på 0,5 h⁻¹ både før og efter etablering af mekanisk ventilation. Det skyldes, at CO₂-reduktionen ved varmegenvinding overstiger CO₂-belastningen grundet ventilationsanlæggets elforbrug til lufttransport og anlæggets indlejrede CO₂-belastning. I virkeligheden er luftskiftet i eksisterende boliger ofte mindre end 0,5 h⁻¹ og afhængigt af beboernes udluftningsvaner [Afshari, et al., 2020]. Dette forhold er undersøgt ved at etablere mekanisk ventilation med varmegenvinding på 0,5 h⁻¹ i to referencescenarier: 1) en daglig udluftning i fyringssæsonen, 2) et konstant luftskifte på 0,15 h⁻¹. Ved referencescenario 1 opnås der ikke en reduktion i CO₂-belastningen, da CO₂-belastningen stiger grundet øget ventilationsvarmetab (til trods for varmegenvinding) og et elforbrug til lufttransport, samt indlejret CO₂-belastning. For referencescenarie 2 kan der opnås en reduktion i CO₂-belastning, men det er ikke entydigt, når usikkerhederne tages i betragtning. Den decentrale løsning fører til den mindste middel-CO₂-belastning på tværs af referencescenarierne på trods af en lidt højere indlejret CO₂-belastning (skabt af et større materialeforbruget på lejlighedsniveau) for den decentrale løsning, hvilket skyldes et lavere elforbrug til lufttransport ved den decentrale løsning.

Bevaringsværdier	Hvis arbejdet kræver etablering af ventiler i facade/tag, kan der opstå væsentlige ændringer af bygningens bevaringsværdier.	
Maksimal investeringspris	Decentral løsning 0,5 h ⁻¹ : 229 ± 91 kr./m ² En daglig udluftning: -91 ± 36 kr./m ² 0,15 h ⁻¹ : -4 ± 1 kr./m ²	Central løsning 0,5 h ⁻¹ : 201 ± 80 kr./m ² En daglig udluftning: -119 ± 47 kr./m ² 0,15 h ⁻¹ : -32 ± 13 kr./m ²

Indeklima	<ul style="list-style-type: none"> • Forbedret atmosfærisk indeklima • Risiko for teknisk støj • Mindre risiko for træk ved ventilation i fyringssæsonen • Øget luftskifte → mindre risiko for fugtrelaterede skader
------------------	--

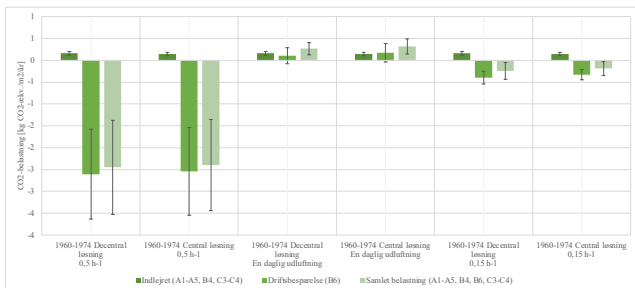
Bygningsdel	Ventilation
Periode	1960-1974
Tiltag	Mekanisk ventilation med varmegenvinding - Central / Decentral

Data viser de samme tendenser som for etablering af mekanisk ventilation for perioden 1930-1959. CO₂-besparelsen for driftsdelen stiger dog marginalt som konsekvens af, at det oprindelige elforbrug til den mekaniske udsugning erstattes af et nyt balanceret ventilationssystem.



Bevaringsværdier	Hvis arbejdet kræver etablering af ventiler i facade/tag, kan der opstå væsentlige ændringer af bygningens bevaringsværdier.	
Maksimal investeringspris	Decentral løsning 0,5 h ⁻¹ : 244 ± 97 kr./m ² En daglig udluftning: -42 ± 17 kr./m ² 0,15 h ⁻¹ : 11 ± 5 kr./m ²	Central løsning 0,5 h ⁻¹ : 216 ± 86 kr./m ² En daglig udluftning: -70 ± 28 kr./m ² 0,15 h ⁻¹ : -17 ± 7 kr./m ²

Ventilation – 1960-1974



Indeklima	<ul style="list-style-type: none"> • Forbedret atmosfærisk indeklima • Risiko for teknisk støj • Mindre risiko for træk ved ventilation i fyringssæsonen • Øget luftskifte → mindre risiko for fugtrelaterede skader
------------------	--



Delkonklusion

Den afgrænsede LCA af de udvalgte renoveringstiltag indikerer, at flere tiltag med stor sandsynlighed kan reducere CO₂-belastningen fra etageboligbebyggelser opført i 1930-1974. Resultatet afhænger dog af den konkrete situation og bygning, da det ikke er alle tiltag, der er CO₂-mæssigt fornuftige. Samtidig er der tiltag, der er problematiske i forhold til bygningens bevaringsværdier. Følgende fokuserer på de overordnede konklusioner, der kan drages om CO₂-belastning og bevaringsværdier:

Konvertering af varmforsyning

- Konvertering af varmforsyningsform fra naturgas til fjernvarme kan bidrage til en betragtelig reduktion af CO₂-belastningen. I praksis forudsætter det, at konverteringen er teknisk mulig, ligesom den økonomiske rentabilitet skal vurderes.
- Renoveringstiltag, der reducerer energiforbruget i driftsfasen, vil have en større CO₂-reduktion for bygninger forsynet med naturgas i forhold til fjernvarme pga. en højere CO₂-emission pr. kWh for naturgas. Hvis bygningen derfor er forsynet med naturgas, vil de fleste renoveringstiltag, der reducerer energiforbruget, derfor give anledning til en CO₂-besparelse.

Efterisolering af ydervægge

- Ved gradvis tilførsel af efterisolering enten indvendigt eller udvendigt på en ydervæg er der et vendepunkt i balancen mellem den indlejrede CO₂-belastning og driftsfasens CO₂-belastning, som retfærdiggør en LCA-betragtning af tiltaget, inden der tages en beslutning.
- Udvendig efterisolering af ydervægge giver den største absolutte reduktion i CO₂-belastning af de undersøgte tiltag for ydervægge. Tiltaget vil dog kompromittere bygningens bevaringsværdier.
- Den isoleringstykkelse, der giver den marginalt største reduktion af CO₂-belastning (uden betragtning af usikkerheder) for udvendig efterisolering er større end den mængde isolering, som U-værdi-kravet i BR18 kræver. Desuden viser ingen af de undersøgte isoleringstykkelser for udvendig efterisolering, at usikkerhederne gør CO₂-belastningen positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget.
- Indvendig efterisolering med forsatsvæg og korrekt udført dampspærre giver den største absolutte reduktion i CO₂-belastning uanset opbygningen af den eksisterende væg sammenlignet med de øvrige to indvendige efterisolering-løsninger: diffusionsåben isolering og aktivt ventileret hulrum mellem forsatsvæg og eksisterende ydervæg. De to sidstnævnte indvendige efterisolering-løsninger har dog nogle fugtmæssige fordele.
- For fuldmurede ydervægge [1930-1939] har alle de undersøgte tiltag et balancepunkt, hvor tiltaget med stor sandsynlighed vil reducere CO₂-belastningen. For den diffusionsåbne indvendige efterisolering-løsning kan der ved højere isoleringstykkelse observeres en positiv CO₂-belastning, hvis usikkerhederne betragtes. Det betyder, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end 0,2 m i dette tilfælde, hvilket er lavere end U-værdi-kravet i BR18 på grund af yderpunktet for usikkerheden.
- For vægge med isoleret hulrum på mindst 50 mm [1950 og frem] er det tvivlsomt, om CO₂-belastningen kan reduceres med diffusionsåben isolering grundet løsningens høje indlejrede CO₂-belastning. Effekten af løsningen med aktivt ventileret hulrum mellem forsatsvæg og eksisterende ydervæg er også reduceret væsentligt, på grund af at CO₂-driftsbesparelsen ikke i samme grad kan kompensere for den introducerede indlejrede CO₂-belastning. Dette understreger igen behovet for at lave LCA-beregninger af den konkrete situation.
- For de indvendige efterisolering-løsninger med den laveste CO₂-belastning gælder det, at isoleringstykkelsen for en forsatsvæg er højere, end hvad Bygningsreglementet kræver. For diffusionsåben isolering er tykkelsen lavere, end hvad Bygningsreglementet kræver, mens det for løsningen med aktivt ventileret hulrum gælder, at tykkelsen balancerer omkring Bygningsreglementets krav.
- Isolering af eksisterende hulrum med EPS-isolering giver den marginalt laveste CO₂-belastning (uden betragtning af usikkerheder) på trods af en højere indlejret CO₂-belastning, da EPS har en antaget lavere varmeledningsevne end mineraluld og papiruld. Denne konklusion vil dog ændre sig for større hulrum og/eller ved anvendelse af andre kilder for indlejret CO₂-belastning for isoleringsmaterialet, hvilket usikkerhederne også indikerer, hvorfor det kræver en mere konkret vurdering for at fastlægge den CO₂-mæssigt bedste løsning.



Efterisolering af tag

- For vandret efterisolering i tagrum kan det observeres, at den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse, der er højere, end hvad Bygningsreglementet kræver. Dog gør yderpunktet for usikkerheden, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere mere end kravet i Bygningsreglementet. Usikkerhederne taget i betragtning for de undersøgte tiltag bliver CO₂-belastningen aldrig positiv, hvilket understreger robustheden af tiltaget.
- For vandret udvendig efterisolering af flade tage [1960-1974] er det usikkert, om CO₂-besparelsen fra driftsfasen kan kompensere for den indlejrede CO₂-belastning. Ud fra CO₂-belastningen er det derfor ikke formålstjenligt at efterisolere til overholdelse af U-værdi-kravet i BR18.
- Ingen eller minimal effekt på bevaringsværdier

Efterisolering af gulv mod kælder

- For alle undersøgte tiltag gælder det, at den samlede CO₂-belastning uden usikkerheder er lavest ved en efterisoleringstykkelse, der er højere, end hvad bygningsreglementet kræver. Dog indikerer yderpunktet for usikkerheden, at det ikke nødvendigvis kan anbefales at efterisolere meget mere [maks. 5-10 cm mere] end kravet i Bygningsreglementet.
- Robustheden af tiltaget understreges ved, at CO₂-belastningen aldrig bliver positiv, på trods af de introducerede usikkerheder.
- Ingen effekt på bevaringsværdier

Vinduer

- Der er en betydelig reduktion af CO₂-belastningen ved alle tre undersøgte vinduestyper i forhold til de undersøgte udgangspunkter på grund af en betragtelig reduktion af CO₂-belastning i driftsfasen.
- Uden usikkerheder giver 3-lags-vinduet den laveste CO₂-belastning på trods af en højere indlejret CO₂-belastning. Dette forhold kan dog ændre sig ved anvendelse af andre kilder for indlejret CO₂-belastning, hvilket usikkerhederne også indikerer. Forskellen mellem forsatsløsningen, 2-lags- og 3-lags-vinduerne er dog marginal i de fleste tilfælde, og for de to sidste perioder [1950-1959 og 1960-1974] indikerer yderpunkterne, at forsatsløsningen kunne være en CO₂-mæssigt fornuftig løsning.
- Usikkerhederne taget i betragtning for de undersøgte tiltag bliver CO₂-belastningen aldrig positiv, hvilket understreger robustheden ved at gøre noget ved de undersøgte vinduer.
- Ved indgreb i eksisterende vindueskonstruktioner kan der være væsentlige ændringer af bygningens bevaringsværdier.

Mekanisk ventilation

- Reduktion af CO₂-belastninger ved implementering af mekanisk ventilation med varmegenvinding afhænger af luftskiftet i den eksisterende bygning. Antages et luftskifte på 0,5 h⁻¹ både før og efter etablering af mekanisk ventilation, er der en betydelig reduktion af CO₂-belastningen. Er luftskiftet lavt i den eksisterende bygning, og der etableres mekanisk ventilation med et luftskifte 0,5 h⁻¹, vil reduktionen i CO₂-belastning grundet varmegenvinding blive overgået af CO₂-belastningen fra elforbrug til lufttransport og indlejret CO₂-belastning.
- Uden usikkerheder bidrager den decentrale ventilationsløsning til den største reduktion af CO₂-belastning i forhold til den centrale løsning. Dette skyldes det reducerede elforbrug til ventilator drift for den decentrale løsning, der overkompenserer for den decentrale løsnings lidt højere indlejrede CO₂-belastning. Hvis usikkerhederne betragtes, kan det ikke fastlægges med sikkerhed, hvilken af de to ventilationsløsninger der CO₂-mæssigt er anbefalingsværdig.



Kapitel 5

Casestudier

Indledning

Formålet med de fiktive casestudier beskrevet i dette kapitel er at opstille nogle konkrete eksempler på, hvordan bevaringsværdigt byggeri kan reducere sin CO₂-belastning²⁴ ved brug af tiltagene beskrevet i kapitel 4, og undersøge, hvorvidt disse renoveringer er klimamæssigt en mindre belastning i forhold til at bygge nyt.

Udvælgelsesproces

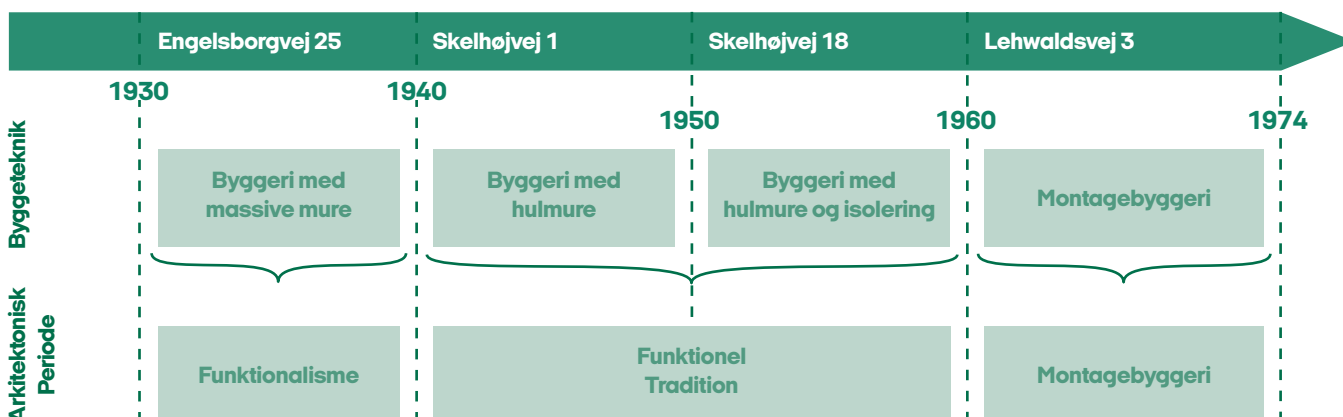
Fire repræsentative etageboligbebyggelser fra Lyngby-Taarbæk Kommune – en fra hver af de udvalgte arkitektoniske/byggetekniske perioder (se kapitel 3) – er udvalgt som cases. Udvælgelsen af de fire cases er sket på baggrund af følgende kriterier:

- Bygningen skal være en etageboligbebyggelse opført mellem 1930 og 1974
- Bygningen skal ligge i Lyngby-Taarbæk Kommune
- Bygningen skal være SAVE-vurderet og udpeget med en bevaringsværdi af kommunen
- Bygningen skal være registreret i FBB-databasen
- Byggeteknikken skal stemme overens med oversigten over de udvalgte arkitektoniske/byggetekniske perioder
- Der skal være et helt års varmemeforbrugsdata (+/- en uge) tilgængelige for bygningen

I alt 15 bygninger ud af 44 etageboligbebyggelser i Lyngby-Taarbæk kommune med 'høj bevaringsværdi' (SAVE 1-3) havde et års varmemeforbrug i datasættet beskrevet i kapitel 3. Særligt de sidste to perioder (1950-1959 og 1960-1974) havde et begrænset datagrundlag for varmemeforbruget, hvilket begrænsede antallet af mulige cases inden for SAVE kategorierne 1-3. Efter en nærmere undersøgelse og besigtigelse af disse etageboligbebyggelser kunne det dog konstateres, at ingen af disse levede op til samtlige udvælgelseskriterier.

Det var derimod muligt at identificere fire bygninger fra kategorien 'middel bevaringsvurdering' (SAVE 4-6), der alle levede op til udvælgelseskriterierne. Disse blev derfor udvalgt som cases, selv om de ikke stemmer overens med publikationens ønske om fokus på bygninger med 'høj bevaringsværdi'. De fire cases ligger alle i Lyngby-Taarbæk Kommune og har en SAVE bevaringsværdi på 4 eller 5.

Udvælgelsen blandt alle "SAVE 4-6" bygninger i Lyngby-Taarbæk Kommune skete ud fra vurderinger af oprindeligt tegningsmateriale fra kommunens byggesagsarkiv, FBB-databasen over fredede og bevaringsværdige bygninger, energirapporter, fotomateriale og besigtigelse. Bygningerne uden data fra et års varmemeforbrug blev først frasorteret. Derefter er det vurderet, om



²⁴ Bygningernes nuværende CO₂-aftryk er kun baseret på modul B6 – drift.

bygningerne lever op til den definerede arkitektoniske periodeinddeling og tilsvarende byggeteknik. Slutteligt er det undersøgt gennem byggesagsarkivet, energirapporter og besigtigelse, om bygningerne i forvejen var energirenoveret i en sådan grad, at det blev vurderet uhensigtsmæssigt at energioptimere yderligere. I det efterfølgende bliver de fire cases behandlet, som var de i kategorien 'høj bevaringsværdi' [SAVE 1-3].

Varmeforbrug

For de fire udvalgte etageboligbyggerier er det graddagekorrigerede varmeforbrug undersøgt i forhold til varmeforbruget for de øvrige etageboligbyggerier opført på landsplan²⁵ i perioden 1930-1974 [se figur 21]. Skelhøjvej 18 skiller sig ud med et meget højt varmeforbrug på 300 kWh/m²/år, hvilket bekræftes af data i bygningens energimærkningsrapport²⁶. Det høje varmeforbrug er på trods af, at Skelhøjvej 18 har etableret solfanger og varmepumpe, har hulmursisoleret, skiftet til 2-lags energiruder og er efterisoleret mod uopvarmet tagrum. Ifølge energimærkningsrapporten var jordvarmeanlægget ikke i fuld drift [ikke færdiggjort] i opgørelsesperioden, men data kunne også indikere, at bygningens varmeanlæg muligvis ikke er hensigtsmæssigt indreguleret. De øvrige tre case-bygninger har et energiforbrug over medianen, hvoraf to



Figur 21. Boksplot af det graddagekorrigerede energiforbrug (13031 bygninger). Energiforbruget for de fire udvalgte case-bygninger er markeret med en mørkegrøn.

befinder sig inden for 1. kvartil, og en befinder sig i de øvre 25% af datasættet. Disse graddagekorrigerede energiforbrug er brugt til at beregne bygningernes nuværende CO₂-belastning.

Renoveringstiltag

Besigtigelse af bygningerne viste, at flere af etageboligerne allerede havde undergået forskellige energirenoveringer. Eksempelvis er flere loft- og tagkonstruktioner blev efterisoleret, og de fleste originale vinduer er erstattet med nyere vinduer. Dermed har bygningerne et andet udgangspunkt for beregning af CO₂-belastning i driftsfasen end udgangspunkterne anvendt i kapitel 4. LCA-beregningerne præsenteret i dette kapitel tager udgangspunkt i bygningernes nuværende byggetekniske stand, som er identificeret på baggrund af oplysninger fra energimærkningsrapporter og fra byggesagsarkivet. Konstruktionsarealer er opgjort ud fra tegningsmateriale fra byggesagsarkivet.

Med afsæt i renoveringstiltagene beskrevet i kapitel 4 udvælges tiltag til hver af de udvalgte bygninger, der forbedrer eller som minimum bibeholder bygningens bevaringsværdier. I beskrivelserne af de fire bygninger gives der også anbefalinger til tiltag, der kan styrke de arkitektoniske bevaringsværdier. Disse tiltag er udelukkende arkitektonisk begrundede og giver ikke nødvendigvis anledning til en reduktion i CO₂-belastning. I det efterfølgende behandles kun de tiltag, der også giver anledning til en reduktion i CO₂-belastning uden at forringe de arkitektoniske bevaringsværdier.

De udvalgte tiltags økonomi og eventuelle effekt på indeklima er ikke kommenteret i dette kapitel; der henvises til kapitel 4 for generelle vurderinger heraf. Fænomener såsom rebound-effekt²⁷ og fremtidige vejrforhold behandles heller ikke, selv om disse fænomener kan påvirke valget og omfanget af forskellige renoveringstiltag; dette ligger uden for rammerne for denne publikation.

Renoveringstiltagets reduktion af CO₂-belastningen er beregnet og opgjort som beskrevet i kapitel 4. Dog er usikkerhed for bygningernes CO₂-belastning i driftsfasen ikke medtaget, da beregningerne i dette kapitel tager udgangspunkt i faktisk målt energiforbrug for den enkelte bygning. Når flere renoveringstil-

²⁵ For de etageboligbebyggelser, hvor der er tilstrækkeligt varmedata, se kapitel 3 for yderligere information.

²⁶ Energiforbruget fra BBR for alle fire case-bygninger har en maksimal afvigelse på 11% i forhold til det oplyste energiforbrug fra energimærkningsrapporterne.

²⁷ Rebound-effekt er betegnelsen for, at en del af energibesparelsen ved en energirenovering bliver omsat til højere komfort i stedet for en lavere energiregning.



tag, der påvirker energiforbrug i driftsfasen, kombineres, antages det, at den samlede energibesparelse reduceres med 97,5% for hvert ekstra tiltag, der tilføjes. De resterende 2,5% er tillagt som usikkerhed [\pm] i forhold til den nye reference. Renoveringstiltagernes reduktion af CO₂-belastning vil herefter blive skaleret op på bygningsniveau ved at multiplicere med konstruktionsarealerne og fordeles ud pr. kvadratmeter opvarmet etageareal [kg CO₂/m² pr. år]. Denne reduktion fratrækkes bygningens nuværende CO₂-belastning i driftsfasen²⁸.

Klimabelastning fra nybyggeri

For at undersøge, hvorvidt renovering af case-bygningerne har en lavere klimabelastning end etablering af nybyggeri, sammenlignes klimabelastningen før og efter en renovering med klimabelastningen for nybyggeri. Resultaterne af klimabelastningen fra nybyggeri baserer sig på en rapport fra BUILD [Tozan, et al., 2021], hvor klimabelastningen for 60 bygninger, herunder 11 etageboliger, er angivet over en 50-årig referenceperiode. Klimabelastningen for produktion af byggematerialer [A1-A3], udskiftninger [B4], samt affaldsbehandling og bortskaffelse efter endt levetid [C3-C4] angives i rapporten under "Bygningsdele", mens klimabelastningen grundet driftsenergi [B6] opgøres ved at omregne resultatet fra energirammeberegningen i Be15 og Be18 til CO₂-ækvivalenter – i rapporten kaldet "drift". At basere klimabelastningen fra driftsfasen på et energiforbrug fra energirammeberegningen giver imidlertid ikke nødvendigvis et retvisende billede, da energirammeberegningen ikke er et udtryk for bygningens faktiske energiforbrug og dermed ikke et udtryk for bygningens faktiske klimabelastning fra driftsfasen. Forskellen mellem beregnet og faktisk energiforbrug er et udbredt og velkendt fænomen²⁹, det ligger uden for rammerne for denne publikation at behandle dette fænomen nærmere.

For at opnå et mere retvisende billede af, hvad der faktisk kan forventes af klimabelastning fra nybyggeriets driftsfasen, anvendes

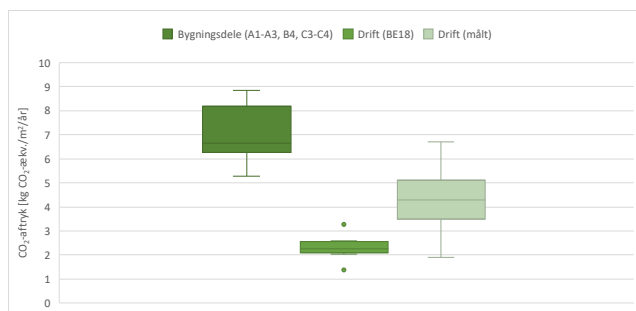
des data fra Kristensen og Petersen [Kristensen & Petersen, 2021], hvor der er analyseret på faktisk energiforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand for i alt 45 343 fjernvarmeforsyede bygninger fra AffaldVarme i Aarhus i løbet af året 2018. De nyeste etageboligbebyggelser i datasættet er bygget i 2016 og 2017, og energiforbruget for disse anvendes i nærværende publikation som et udtryk for det forventede faktiske energiforbrug for fremtidige nybyggede etageboligbebyggelser. Det målte energiforbrug til rumopvarmning graddøgnskorrigeres med det vejrdata, der benyttes i Be18-beregninger [DRY 2013], for at skabe et rimeligt sammenligningsgrundlag [GDDRY=2906, GD2018=2468]. I korrektionen antages det, at energiforbruget til varmt brugsvand er 16,3 kWh/m² pr. år, svarende til standardforudsætningen om opvarmning af 250 liter vand pr. m² om året. Forfatterne har ikke kendskab til eksistensen af et datagrundlag for faktisk elforbrug til drift. Derfor antages det, at nye etageboligbebyggelser har balanceret mekanisk ventilation med et konstant luftskifte på 0,3 l/s pr. m² alle årets timer med et elforbrug på 900 J/m³, samt et elforbrug til pumper i varmfordelingssystemet på 0,2 kWh/m² pr. år. Der er ikke medtaget nogen egenproduktion af el fra fx solceller. Energiforbruget til varme og el omregnes til CO₂-ækvivalenter ved brug af emissionsfaktorerne for fjernvarme og el [COWI, 2020] over en 50-årig referenceperiode.

Figur 22 viser CO₂-belastningen for henholdsvis "Bygningsdele", "Drift [Be18]", og "Drift [målt]". CO₂-belastningen fra "Bygningsdele" og "Drift [Be18]" er data for de 11 undersøgte etagebygninger fra BUILD [Tozan, et al., 2021]. Desuden har to af bygningerne solceller, hvilket trækker medianen for "Bygningsdele" op og medianen for "Drift [Be18]" ned. Variationen i "Drift [målt]" er et udtryk for varierende varmforsyelse til trods for, at bygningerne antages at overholde samme energiramme. Variationen er primært et udtryk for forskellighed i bygningernes udførelsesmæssige kvalitet og i, hvordan de anvendes af brugerne.

²⁸ Dette forbrug er et udtryk for bygningens opvarmnings- og varmt brugsvandsforbrug, mens der ses bort fra el-forbruget til pumper.

²⁹ Fænomenet er kendt under det internationale begreb "performance gap".

CO₂-belastning for nyere etageboligbebyggelser



Figur 22. CO₂-aftrykket for nyere etageboligbebyggelser for henholdsvis den indlejrede CO₂ [bygningssdele] og drifts CO₂'en. De første to boksplots [Bygningssdele og Drift [Be18]] bygger på data fra BUILD [Tozan, et al., 2021], mens det sidste boksplot er baseret på målt fjernvarmeforbrug for nyere etageboligbebyggelser.

Figur 22 viser, at medianen for "Drift [målt]" er næsten dobbelt så stor som for "Drift [Be18]". Derfor introducerer man en meget stor fejl i LCA-beregningerne hvis man anvender energirammeberegninger som et udtryk for faktisk energiforbrug³⁰, og risikerer at skævvride sammenligningen af CO₂-belastning for renovering og nybyggeri med fejlpositioneringer til følge. CO₂-belastningen fra "Bygningssdele" lader dog til stadig at være den største bidrager til den samlede CO₂-belastning.

I de videre analyser vises den samlede CO₂-belastning for "Bygningssdele" og henholdsvis "Drift [Be18]" og "Drift [målt]" sammen med den eksisterende bygnings CO₂-belastning før og efter renovering. "Efter renovering" angives både med og uden LCA-modul A4-A5 for at kunne sammenligne direkte med nybyggeri, som under "Bygningssdele" indeholder modulerne A1-A3, B4 og C3-C4.

³⁰ Hensigten med en energirammeberegning er at sammenligne forskellige bygningers energipræstation uafhængigt af brugerpræferencer og -adfærd samt geografisk placering. Beregningen er derfor ikke et udtryk for bygningens faktiske energiforbrug i drift.

Cases





MIL PIPERS V.F.

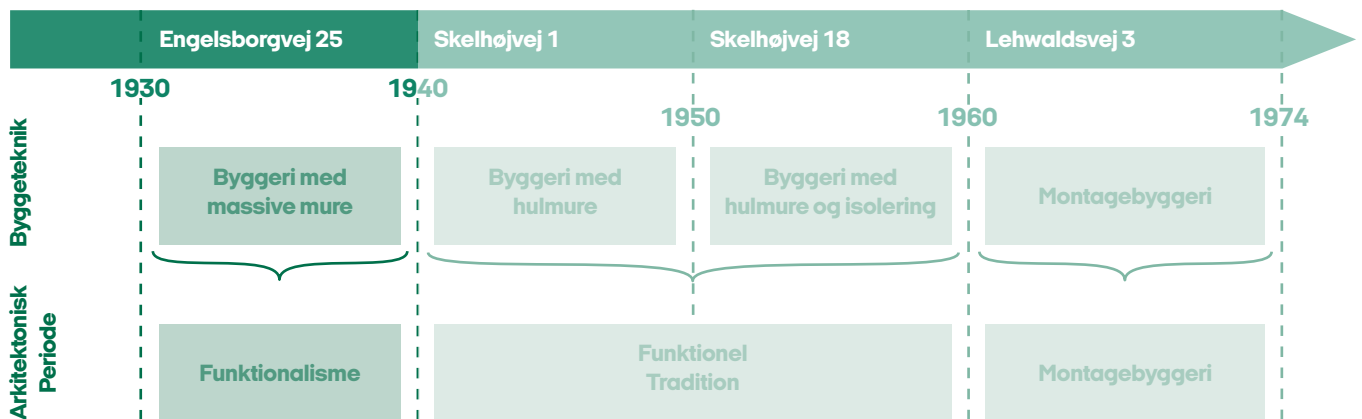


EMIL PIPERS VEJ



Case 1

Engelsborgvej 25





CASE 1: Engelsborgvej 25

Adresse: Engelsborgvej 25, 2800 Kongens Lyngby
Opførelsesår: 1935
Arkitekt: Blytman og Seehuusen Arkitekter
Arkitektonisk periode: Funktionalisme
Konstruktionstype: Grundmuret teglstensbygning uden hulmur
Bevaringsværdi: 5
SAVE-vurdering fra: 1. juni 1999
Ejerforhold: Ejerlejligheder
Antal lejligheder: 31
Opvarmet bygningsareal: 3093 m²
Antal etager: 3
Energimærke: E (Energimærkningsrapport gyldig fra 8. december 2015 til 8. december 2022)
Opvarmingsform: Naturgas
Graddagekorrigeret energiforbrug fra BBR:
 178,4 kWh/m²/år [måleperiode: 30-04-2015 til 29-04-2016]
Ventilation: Naturlig + brugerstyret udsugning fra bad og køkken

Beskrivelse

Engelsborgvej 25 er en U-formet bebyggelse i tre etager, der udgør afslutningen af et bebyggelsesforløb, hvor bygningens langsides følger Engelsborgvej, mens de to fløje løber langs Buddingevej og Emil Pipers Vej. I det ene hjørne af bygningen (mod Buddingevej og Engelsborgvej) ligger en markise- og gardinforretning med butiksfacade.

Bebyggelsen er opført med grundmur i gule tegl og teglhængt, halvmet tag med lille hældning. Bygningens hjørner i gadefacaden er opført med krumning, hvor der er placeret to aflange pudsede altaner. Siden opførelsen er der til havesiden monteret altaner, ligesom der er tilføjet to franske altaner i gavlene.

Vinduer og dørpartier er til gadesiden fremhævet med fremtrukne indramninger i lysere tegl end resten af murværket. Under taget har murværket standerskifte, men kun vinduerne til havesiden har murede stik. Vinduerne mod gadesiden har jernoverligger, hvilket er typisk for perioden. Der er i den seneste tid udskiftet en række overligger over vinduerne til gadesiden.

Vinduerne er i 1988 udskiftet til plastvinduer med to-lags termoruder. Yderdørene er ligeledes skiftet til aluminiums-døre. Fra såvel gadesiden som gårdsiden er der fem indgangspartier. Over indgangspartierne i gården findes højformat-vinduer i to etagers højde, og på hver side af disse findes flere runde udluftningsrør.

Arkitektonisk værdi

Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 5

Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering vurderer, at bygningen er af beskeden karakter.

Kommentar:

Bygningens arkitektoniske værdier knytter sig til de oprindelige arkitektoniske elementer, som understøtter den oprindelige funktionalistiske stil. De bærende arkitektoniske værdier udgøres her af det blanke murværk med murede stik og standerskifte, de fremtrukne indramninger omkring døre og vinduer, højformatsvinduerne over indgangspartierne i gården, de krumme facader med altaner, det oprindelige tegltag med lav hældning og de mange grater over facadekrumningen.

Kulturhistorisk værdi

Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 5

Den kulturhistoriske værdi er ikke begrundet i Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering.

Kommentar:

Bygningens kulturhistoriske værdi kommer til udtryk i det lave tag, de afrundede bygningshjørner og de oprindelige pudsede altaner, som alle er elementer, der er karakteristiske for tidens byggeskik, og som indskriver bygningen i dens arkitekturhistoriske periode. Desuden er de brede vinduespartier et tydeligt udtryk for tidens nye byggeteknik med jernoverligger, der tillod større spænd i facaden og dermed bredere vinduesåbninger.

Miljømæssig værdi

Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 5

Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering beskriver bygningen som en del af et kvarter med etagebebyggelse, som markerer et vejkrøds.

Kommentar:

Bebyggelsens miljømæssige værdi knytter sig til dens skala, som med sine tre etager og lave tagrejsning er tilpasset kvarterets øvrige bygninger. Den miljømæssige værdi er desuden bundet op på bygningens rolle som afslutning på de to stokbebyggelser syd for Engelsborgvej 25 og som markant bebyggelse i krydset mellem Buddingevej og Engelsborgvej, hvor bygningens krumme facader følger gadeforløbet og understreger dette.



Originalitet
<p>Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 3 Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering påpeger, at bygningens vinduer og døre er udskiftet med nye.</p> <p>Kommentar: Bygningen har en høj originalitetsværdi, som blandt andet beror på det originale murværk og det originale tegltag, mens de nyere alu-døre og vinduer i plastmateriale trækker den samlede originalitetsværdi ned.</p>
Tilstand
<p>Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 4 Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering vurderer, at bygningen har en god tilstand, men at malingen på altanerne skaller.</p> <p>Kommentar: Bygningens tilstand er overordnet god, men enkelte steder er der tæring på undersiden af altaner og omkring indgangspartier, hvor puds og mørtel er mangelfuld, og malingen skaller af. Også skorstenen har defekte fuger, og nogle tagsten ligger ujævnt. Flere af de fremtrukne indramninger omkring vinduerne til gadesiden er tærede og er derfor blevet forsynet med en zink-inddækning på toppen. Det skal nævnes, at besigtigelsen i forbindelse med SAVE-vurderingen fandt sted i 1999, hvorfor forholdene kan have ændret sig væsentligt siden, og vurderingen måske havde været en anden i dag.</p>
Anbefalinger – bevaringsværdier
<p>Det anbefales at udskifte eksisterende vinduer til nye med samme opdeling, men med tyndere vinduesrammer i træ. De nuværende vinduer har samme opdeling som de oprindelige, men er udført i plast og har meget brede vinduesrammer, som fremstår klodsede og fjerner fokus fra bevaringsværdier som de fremtrukne vinduesindramninger. Det samme gælder for dørene, og en udskiftning af alle døre og vinduer vurderes derfor at kunne højne den arkitektoniske værdi betragteligt.</p> <p>Af æstetiske og arkitektoniske hensyn, der vil gavne bevaringsværdierne, anbefales det endvidere at udskifte plasttagrender og -nedløbsrør til tagrender og nedløbsrør i zink. Denne udskiftning påvirker kun CO₂-regnskabet negativt og bør CO₂-mæssigt derfor først ske, når den tekniske levetid³¹ udløber.</p>

Renovering af Engelsborgvej 25

Periode	1930-1939	
Bygning	Engelsborgvej 25	
	Udgangspunkt	Tiltag
Varmeforsyning	Naturgas	Udskiftning til fjernvarme
Tag	Som referencen for perioden + 125 mm byggeskum	Byggeskum fjernes Efterisolering: 350 mm mineraluld (løs)
Ydervæg	Massiv tegl som referencen for perioden	Efterisolering nedefra: 250 mm mineraluld mod uopvarmet kælder
Vinduer	2-lags plastik-termoruder	Udskiftning til 3-lags-rude med ramme/karm i træ
Ventilation	Naturligt ventileret samt brugerstyret udsugning fra bad og køkken	Mekanisk ventilation [central] Et grundluftskifte på 0,15h ⁻¹ før renovering

³¹ Teknisk levetid afhænger af materialekvalitet, udformning og design, udførelse, påvirkninger indendørs og udendørs, brugsforhold, vedligehold mv.



På Engelsborgvej 25 udskiftes varmforsyningen fra naturgas til fjernvarme³² på grund af det signifikante potentiale for reduktion i CO₂-belastning, der blev identificeret i det generiske eksempel i kapitel 4. Af figur 23 kan det observeres, at overgangen fra naturgas til fjernvarme er et markant tiltag for at reducere CO₂-belastningen. Forskellen mellem de to "Efter renovering" scenarier er marginal, fordi den indlejrede CO₂ for renoveringstiltagene udgør en mindre andel af den samlede CO₂-belastning.

I loftkonstruktionen mod det uopvarmede tagrum fjernes 125 mm eksisterende byggeskum, jævnfør energimærkningsrapporten, hvorefter der efterisoleres med 350 mm løs mineraluld, hvilket er den tykkelse, der bidrager til den største reduktion af CO₂-belastning [uden usikkerheder]. Logikken bag at fjerne byggeskummet beror på den høje varmeledningsevne ved byggeskummet samt på, at der ofte er begrænset plads ved tagfoden til at efterisolere. Af figur 24 kan det observeres, at efterisolering af loftet mod det uopvarmede tagrum giver en reduktion af CO₂-belastning, som dog er mindre end de fleste andre tiltag, fordi det eksisterende udgangspunktet med 125 mm byggeskum allerede har begrænset varmetabet.

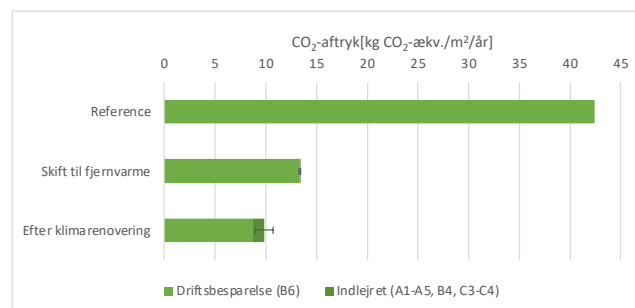
Den indvendige efterisoleringsløsning – forsatsvæg 350 mm mineraluld – er valgt, fordi den gav den største reduktion i CO₂-belastning uden at forringe bygningsfacadens bevaringsværdier [kapitel 4]. Dette tiltag bidrager med den største reduktion i CO₂-belastning pr. kvadratmeter opvarmet etageareal, hvis der ses bort fra udskiftning af varmforsyning.

For etagedækket mod uopvarmet kælder er der efterisoleret med 250 mm mineraluld, hvilket bidrager med en reduktion af CO₂-belastning på 0,5 kg CO₂-ækv./m²/år. Det skal bemærkes, at dette tiltag sænker loftshøjden uhensigtsmæssigt meget.

De nuværende plastik-termovinduer udskiftes til nye 3-lags trævinduer, hvilket er i overensstemmelse med vurderingen af bevaringsværdierne, hvor det fremgår, at de nuværende plastik-termovinduer svækker bygningens overordnede bevaringsværdi, og at en udskiftning af disse til vinduer med smalle trærammer vil styrke det samlede arkitektoniske udtryk. Udskiftning af termovinduerne til 3-lags-vinduer bidrager til en betydelig reduktion i CO₂-belastningen.

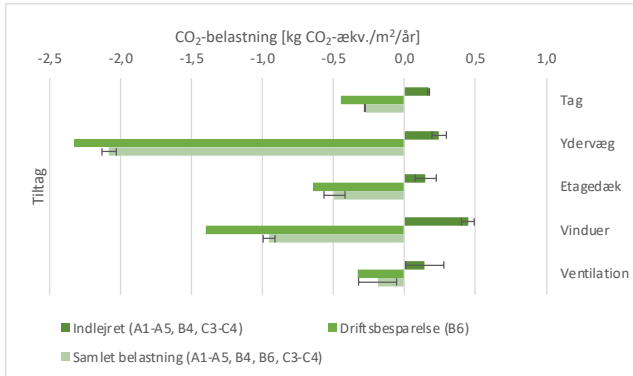
For ventilationen er den centrale mekaniske ventilationsløsning med varmegenvinding valgt på trods af en større reduktion af CO₂-belastning for den decentrale løsning [se kapitel 4]. Dette er alligevel gjort, fordi det vurderes at have mindre indvirkning på bygningens bevaringsværdi, da det i det tilfælde kun er nødvendigt at bryde klimaskærmen to steder for indtag og afkast. Til gengæld kræver den centrale løsning plads til føring af ventilationskanalerne, hvilket kan betyde, at den decentrale løsning er den eneste praktisk mulige løsning.

Figur 25 viser, at den samlede reduktion af CO₂-belastning [uden usikkerheder] grundet renoveringstiltagene er marginalt højere end for "Nybyggeri [Drift Be 18]", men den er lavere for den mere realistiske CO₂-belastning "Nybyggeri [Drift målt]". Inklusive usikkerheder er det dog uklart, om renovering eller nybyggeri har den laveste CO₂-belastning.

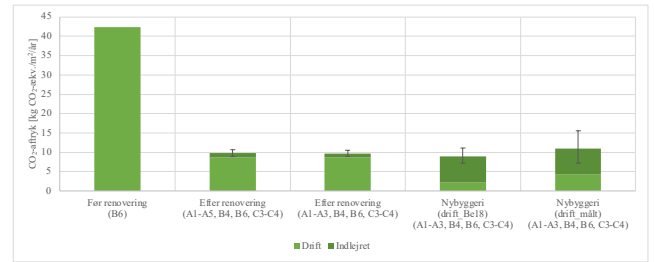


Figur 23. CO₂-aftryk for Engelsborgvej 25. Reference = CO₂-aftryk før renovering, Efter Renovering = CO₂-aftryk, efter at de udvalgte tiltag er implementeret.

³² Det fremgår desuden på Lyngby-Taarbæk kommunes hjemmeside, at kommunen løbende arbejder med at udbrede fjernvarme til flere områder, så selvom eksempelvis Engelsborgvej 25 ikke nødvendigvis kan få fjernvarme på nuværende tidspunkt, så kan det give mening i fremtiden.



Figur 24. CO₂-belastning [indlejret, drift og samlet] for de undersøgte tiltag [ikke skiftet fra naturgas til fjernvarme (se figur 23)] for Engelsborgvej 25.



Figur 25. Sammenligning af CO₂-aftrykket for Engelsborgvej 25 med nybyggeri for forskellige scenarier.





TIL
SALG

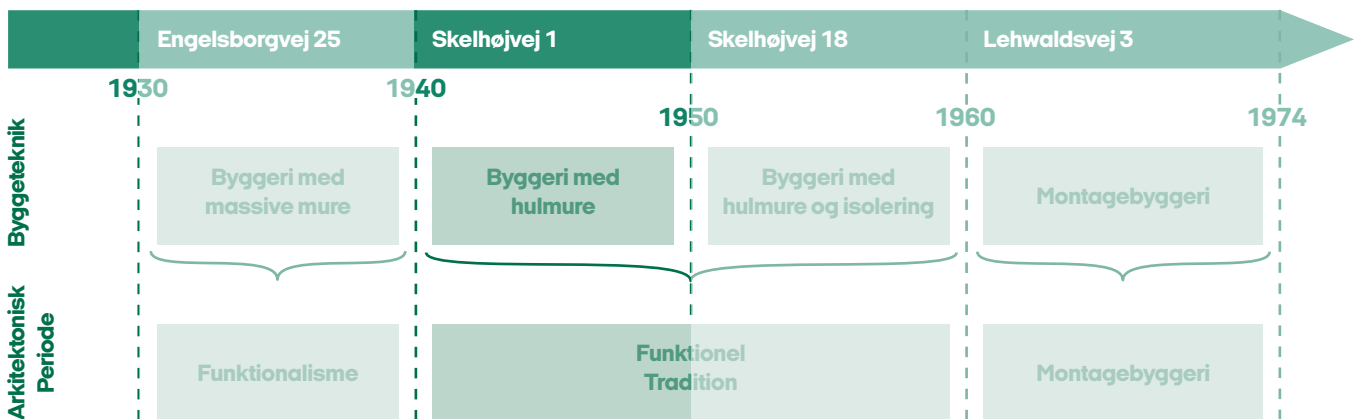
4493 1844

danbolig



Case 2

Skelhøjvej 1





CASE 2: Skelhøjvej 1

Adresse: Skelhøjvej 1, 2800 Kongens Lyngby
Opførelsesår: 1948
Arkitekt: Valdemar Jørgensen
Arkitektonisk periode: Funktional tradition
Konstruktionsstype: Grundmuret teglstensbygning med hulmur
Bevaringsværdi: 5
SAVE-vurdering fra: 20. juli 2009
Ejerforhold: Ejerlejligheder
Antal lejligheder: 12
Opvarmet bygningsareal: 808 m²
Antal etager: 2
Energimærke: E (Energimærkningsrapport gyldig fra 22. juli 2014 til 22. juli 2021)
Opvarmingsform: Fjernvarme
Graddagekorrigeret energiforbrug fra BBR: 148,5 kWh/m²/år [måleperiode: 31-12-2016 til 30-12-2017]
Ventilation: Naturlig + brugerstyret udsugning fra bad og køkken

Beskrivelse

Skelhøjvej 1 er en stokbebyggelse i to etager, som ligger på hjørnet mellem Skelhøjvej og Skeltoftevej. Det er den forreste af i alt fire lignende stokbebyggelser på Skelhøjvejs nordlige side. De fire bygninger er opført nogenlunde samtidig og er ens i materialer og udtryk. De omgives af grønne fællesarealer, og der er adgang til husenes indgange via et stisystem.

Bebyggelsen er fuldmuret i gule tegl med hulmur og har saddehtag med udhæng beklædt med cementtagsten. Typisk for perioden er tagudhænget med de synlige vertikalt afskårne tagspær. På taget findes to oprindelige skorstene samt flere nyere ventilationshætter.

Facaderne er i blankt murværk og har murede stik over vinduer og dørpartier. Huset har generelt kun få detaljer, men de tre indgangspartier har fremtrukne indramninger i røde tegl. På hver side af indgangspartierne sidder runde udluftningsrør.

Vinduerne er hvidmalede trævinduer i to og tre fag med lavenergigruder fra 2009, og dørene i opgangene er ligeledes i træ med termoruder.

Arkitektonisk værdi

Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 5

Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering beskriver bygningen som en simpel gulstens etagebygning med rødt tegltag og brune trævinduer.

Kommentar:

De arkitektoniske værdier i Skelhøjvej 1 knytter sig til den simple, murede arkitektur, som er karakteristisk for bygninger opført i den funktionelle tradition. I dette tilfælde kommer det særligt til udtryk i det blanke murværk, de murede stik og de enkle fremtrukne indramninger omkring dørpartierne, som er den eneste detaljering. Den arkitektoniske værdi ligger endvidere i bygningens symmetriske udtryk og vinduernes rytmiske placering i facaden.

Kulturhistorisk værdi

Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 5

Den kulturhistoriske værdi er ikke begrundet i Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering.

Kommentar:

Bygningens kulturhistoriske værdi udgøres af de elementer, som er karakteristiske for tidens byggeskik og indskriver bygningen i dens arkitekturhistoriske stilart, i dette tilfælde den funktionelle traditions enkle fortolkning af det traditionelle formsprog i det murede hus med saddehtag. Derudover kommer den kulturhistoriske værdi til udtryk i bebyggelsesplanen med stokbebyggelser, som gør op med den tidligere traditionelle karréstruktur med en for- og bagside.

Miljømæssig værdi

Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 4

Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering beskriver, hvordan bygningen indskriver sig i en bebyggelse med 4 ens stokke med gavlfacade mod gaden.

Kommentar:

Bebyggelsens miljømæssige værdi hænger sammen med forholdet til kvarterets øvrige bygninger, der tilsammen udgør en ensartet bebyggelse med en klar serialitet. De fire stokbebyggelser på Skelhøjvejs nordside hænger ikke blot sammen arkitektonisk, men deler også grønne udendørs arealer og udgør således en bebygget helhed.



Originalitet
Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 3 Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering vurderer, at Skelhøjvej 1 fremstår originalt.
Kommentar: Bygningen har en høj grad af originalitet, hvilket kommer til udtryk i det originale murværk med murede detaljer og den oprindelige vinduesplacering. Vinduerne er nyere, men passer i udformning og materialer til det eksisterende byggeri.
Tilstand
Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 4 Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering vurderer, at bygningen har en rimelig tilstand.
Kommentar: Bygningen vurderes i dag at have en overordnet god tilstand, men taget er af ældre dato, og vindskederne trænger til vedligehold. Besigtigelsen i forbindelse med SAVE-vurderingen fandt sted i 2009, og det er muligt, at der er foretaget flere renoveringstiltag siden, hvorfor vurderingen måske havde været en anden i dag.
Anbefalinger – bevaringsværdier
Det anbefales, at der skiftes til røde vingetegl, når der skal skiftes tag næste gang. Bygninger fra denne periode er typisk opført med tegltag, og dette tiltag vil derfor højne autenticiteten.
Desuden anbefales det, af arkitektoniske og æstetiske grunde, i samme ombæring at udskifte plasttagrender og -nedløbsrør til tagrender og nedløbsrør i zink, hvilket vil styrke bevaringsværdierne. Disse udskiftninger påvirker kun CO ₂ -regnskabet negativt og bør CO ₂ -mæssigt derfor først ske, når den tekniske levetid udløber.

Renovering af Skelhøjvej 1

Periode	1940-1949	
Bygning	Skelhøjvej 1	
	Udgangspunkt	Tiltag
Varmeforsyning	Fjernvarme ³³	
Tag	Som referencen for perioden + 200 mm mineraluld	Efterisolering: 150 mm mineraluld [løs]
Ydervæg	Tegl med hulmur – hhv. 15 mm og 50 mm hulrum	Hulmursisolering med polystyren [løs] – hhv. 15 mm og 50 mm
Etagedæk	Bjælkelag og pudsede lofter som referencen for perioden	Efterisolering nedefra: 250 mm mineraluld mod uopvarmet kælder
Vinduer	Generelt nyere 2-lags lavenergiruder samt termoruder i opgange	
Ventilation	Naturligt ventileret samt brugerstyret udsugning fra bad og køkken	Mekanisk ventilation [central] Et grundluftskifte på 0,15h ⁻¹ før renovering

³³ I forbindelse med gennemgangen af Skelhøjvej 1 blev det observeret, at bygningen – ifølge BBR fra 2019 – skulle være forsynet med fjernvarme, mens energimærkerapporten fra 2014 erklærede naturgas, men anbefalede et skift til fjernvarme. Ifølge hjemmesiden dingeo.dk er bygningen opvarmet med fjernvarme fra Vestforbrænding Glostrup I/S, hvilket er antaget i nærværende arbejde.



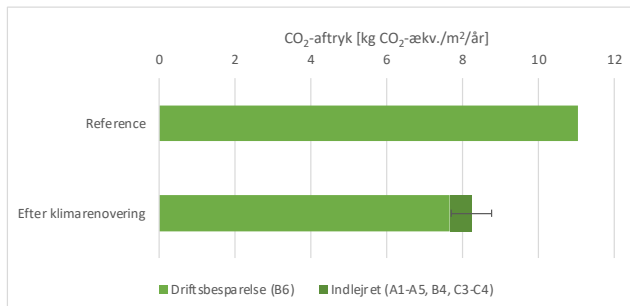
For Skelhøjvej 1 er varmeforsyningen tidligere skiftet til fjernvarme, og bygningens CO₂-belastning før renovering ligger derfor allerede inden for usikkerheden for nybyggeri [figur 26].

En alternativ vinduesløsning er ikke undersøgt, fordi CO₂-belastningerne fra kapitel 4 indikerer, at det CO₂-mæssigt ikke vil være hensigtsmæssigt at udskifte de nyere 2-lags energiruder. Af figur 27 kan det observeres, at efterisolering af loftet mod det uopvarmede tagrum giver en reduktion af CO₂-belastning, men da der allerede er 200 mm eksisterende isolering, er reduktionen af CO₂-belastning begrænset.

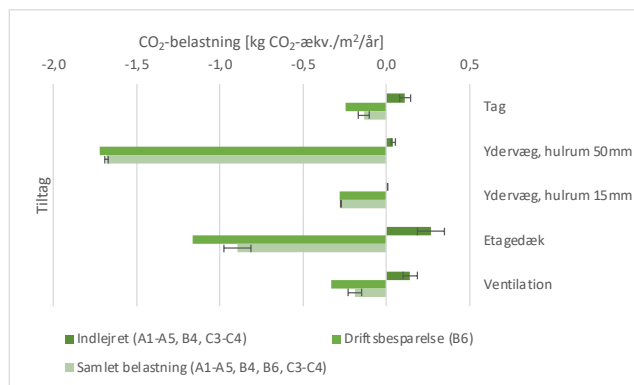
Etablering af mekanisk ventilation med varmegenvinding bidrager også med en reduktion i CO₂-belastning, men som beskrevet i kapitel 4 afhænger størrelsen på den egentlige reduktion meget af eksisterende ventilationsforhold og udluftningsvaner.

Hulmursisolering (50 mm) og efterisolering af etagedækket mod uopvarmet kælder er store bidragydere til reduktion af CO₂-belastningen. Forskellen mellem reduktion af CO₂-belastning for "ydervæg, hulrum 50 mm" og "ydervæg, hulrum 15 mm" skyldes, ud over forskellen i isoleringstykkelser, at bygningen har mere ydervægsareal med et hulrum på 50 mm end 15 mm. Dette viser effekten af, at tiltaget kan implementeres på et større areal for at opnå en markant samlet reduktion i CO₂-belastning pr. opvarmet etageareal.

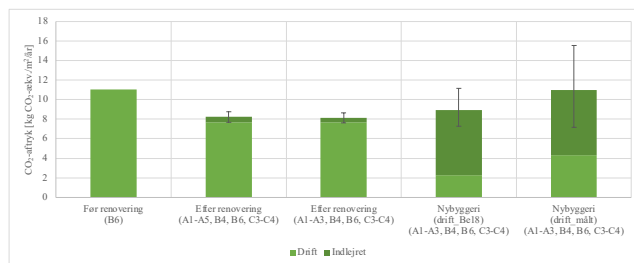
Figur 28 viser, at efter renoveringen er CO₂-belastningen uden usikkerheder lavere end CO₂-belastningen for begge opgørelser for nybyggeri. Med usikkerheder er det dog uklart, om renovering eller nybyggeri har den laveste CO₂-belastning.



Figur 26. CO₂-aftryk for Skelhøjvej 1. Reference = CO₂-aftryk før renovering, Efter renovering = CO₂-aftryk, efter at de udvalgte tiltag er implementeret.



Figur 27. CO₂-belastning [indlejr et, drift og samlet] for de undersøgte tiltag for Skelhøjvej 1.



Figur 28. Sammenligning af CO₂-aftrykket for Skelhøjvej 1 med nybyggeri for forskellige scenarier.

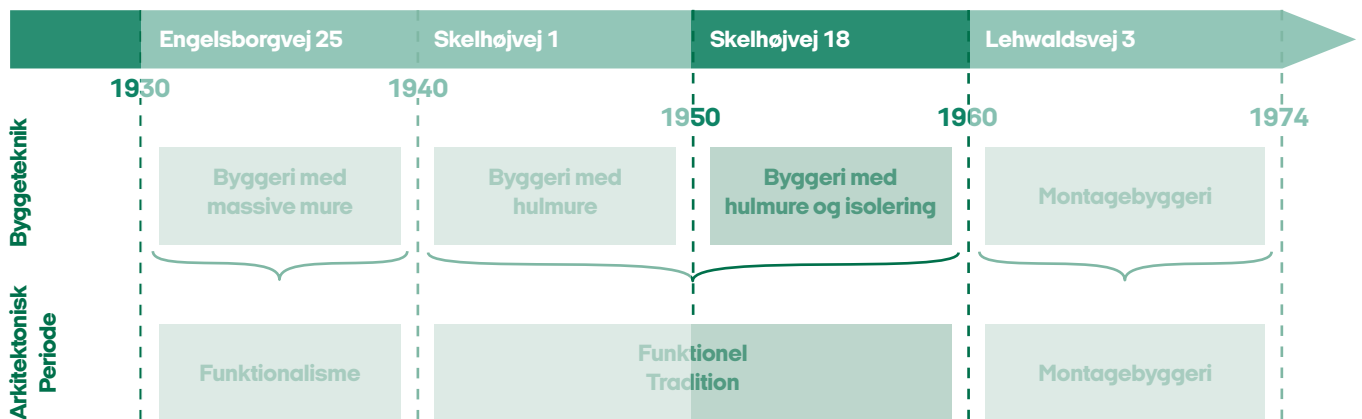






Case 3

Skelhøjvej 18





CASE 3: Skelhøjvej 18

Adresse: Skelhøjvej 18, 2800 Kongens Lyngby

Opførelsesår: 1951

Arkitekt: Rüttgers og Ormstrup

Arkitektonisk periode: Funktional tradition

Konstruktionstype: Grundmuret teglstensbygning med isoleret hulmur

Bevaringsværdi: 5

SAVE-vurdering fra: 20. juli 2009

Ejerforhold: Andelsboligforening

Antal lejligheder: 16

Opvarmet bygningsareal: 1148 m²

Antal etager: 2

Energimærke: C [Energimærkningsrapport gyldig fra 30. april 2020 til 30. april 2030]

Opvarmningsform: Fjernvarme + supplerende forsyning

Graddagekorrigeret energiforbrug fra BBR:

300,5 kWh/m²/år [måleperiode: 31-12-2018 til 31-12-2019]

Ventilation: Naturlig + brugerstyret udsugning fra bad og køkken

Beskrivelse

Skelhøjvej 18 er en stokbebyggelse i to etager, som ligger som den midterste af fem stokbebyggelser på sydsiden af Skelhøjvej. De fem bygninger er opført i den samme periode og har overvejende samme udtryk og materialer. De omgives af grønne fællesarealer, og der er adgang til husenes indgange via et stisystem.

Bebyggelsen er fuldmuret i gule tegl med isoleret hulmur og har saddeltag beklædt med cementtagsten. Typisk for perioden er tagudhængen med de synlige vertikalt afskårne tagspær. Længs tagryggen står en række ventilationshætter.

Facaderne er i blankt murværk og har murede stik over vinduer og dørparker. Kælderetagen er udvendigt efterisoleret med et lag mineraluld beklædt med et tyndt lag puds.

Huset har fire indgangspartier, som er fremhævet med murede vanger, der bærer en betonbaldakin. Hoveddørene er i træ med 1-lags glasruder. Vinduernes trærammer er fra 1980'erne og har fået nye 2-lags energiruder efter 2015. Vinduerne i opgangene har 2-lags termoruder. Mod haven er enkelte af vinduespartierne placeret i facade fremspring i facadens fulde højde. Disse er delvist dækket af altaner i galvaniseret stål, som er monteret på bygningen i 2011. I gavlene findes oprindelige franske altaner med hvidmalede jernrækværk.

Arkitektonisk værdi

Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 5

Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering beskriver bygningen som en simpel gulstens etagebygning med rødt tegltag og brune trævinduer.

Kommentar:

De arkitektoniske værdier i Skelhøjvej 18 knytter sig til den simple, murede arkitektur, som er karakteristisk for bygninger opført i den funktionelle tradition. I dette tilfælde kommer det særligt til udtryk i det blanke murværk og de murede stik, mens den enkle detaljering består i de fremhævede indgangspartier med betonbaldakiner og rundbuede hoveddøre samt facade fremspringene til havesiden. Den arkitektoniske værdi svækkes dog væsentligt af de dominerende altaner, som er monteret på havesiden.

Kulturhistorisk værdi

Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 5

Den kulturhistoriske værdi er ikke begrundet i Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering.

Kommentar:

Bygningens kulturhistoriske værdi udgøres af det traditionelle, enkle formsprog i det murede hus med saddeltag. De få detaljeringer omfatter murede stik over vinduer og døre, som vandt indpas igen under 2. Verdenskrig og i tiden derefter som følge af materialeknapheden og erstattede jernbjælkerne i en periode [Engelmark, 2013].

Derudover kommer den kulturhistoriske værdi til udtryk i bebyggelsesplanen med stokbebyggelser, som gør op med den hidtil traditionelle karréstruktur med en for- og bagside.

Miljømæssig værdi

Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 4

Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering beskriver, hvordan bygningen indskriver sig i en række af ens stokbebyggelser med gavlfacade mod gaden.

Kommentar:

Bebyggelsens miljømæssige værdi hænger sammen med dens placering i forhold til den øvrige stokbebyggelse på Skelhøjvej, som tilsammen udgør en ensartet helhed med en klar serialitet. De fem stokbebyggelser på Skelhøjvejs sydside hænger ikke blot sammen arkitektonisk, men deler også grønne udendørs arealer og udgør således en bebygget helhed.



Originalitet
<p>Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 3 Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering vurderer at Skelhøjvej 1 fremstår originalt.</p> <p>Kommentar: Bygningen har en høj grad af originalitet, hvilket kommer til udtryk i det originale murværk med murede detaljer omkring vinduer og døre samt facadefremspringene på havesiden. Altanerne, vinduerne fra 1980'erne samt tagets cementtagsten svækker dog det originale udtryk i sin helhed.</p>
Tilstand
<p>Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 4 Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering vurderer, at bygningen har en rimelig tilstand.</p> <p>Kommentar: Bygningen vurderes her til at have en overordnet god tilstand, men pudsen på kælderens udvendige efterisolering er mangelfuld, og isoleringsmaterialet er flere steder nedbrudt. Taget er af ældre dato, men ligger jævnt, og vinduer og døre er i god stand. Besigtigelsen i forbindelse med SAVE-vurderingen fandt sted i 2009, og det er muligt, at der er foretaget flere renoveringstiltag siden, hvorfor vurderingen måske havde været en anden i dag.</p>
Anbefalinger – bevaringsværdier
<p>Det anbefales, at der skiftes til røde vingetegl, når der skal skiftes tag næste gang. Bygninger fra denne periode er typisk opført med tegltag, og dette tiltag vil derfor højne autenticiteten.</p> <p>De to stokke vest for Skelhøjvej 18 har tegltag, hvorfor tiltaget også vil styrke de arkitektoniske værdier i bebyggelsen som helhed. Udskiftningen påvirker kun CO₂-regnskabet negativt og bør CO₂-mæssigt derfor først ske, når den tekniske levetid udløber.</p>

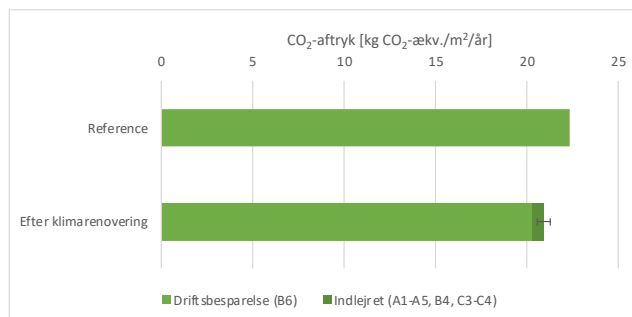
Renovering af Skelhøjvej 18

Periode	1950-1959	
Bygning	Skelhøjvej 18	
	Udgangspunkt	Tiltag
Varmeforsyning	Fjernvarme (+ varmepumpe og solfanger)	
Tag	Som referencen for perioden + 300 mm mineraluld	
Ydervæg	Som referencen for perioden	Indvendig efterisolering: 250 mm [forsatsvæg]
Etagedæk	Som referencen [baumadæk] inkl. 75 mm indblæst skum [dog ikke over pulterrum]	Efterisolering nedefra: Generelt 225 mm mineraluld, dog 300 mm mod pulterrum
Vinduer	Nyere 2-lags energiruder	
Ventilation	Naturligt ventileret samt brugerstyret udsugning fra bad og køkken	Mekanisk ventilation [central] Et grundluftskifte på 0,15h ⁻¹ før renovering

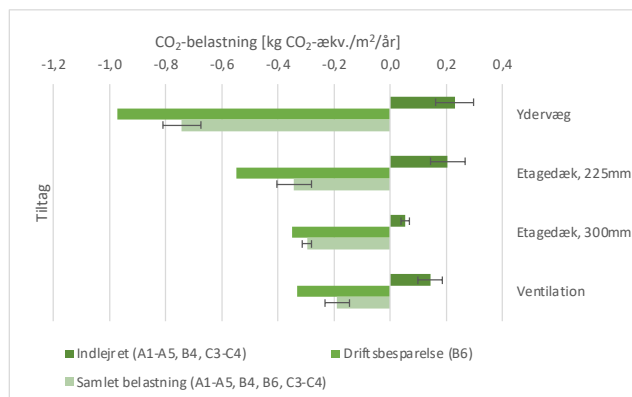


Generelt er CO₂-besparelserne relativt små, fordi Skelhøjvej 18 allerede har fjernvarme og er energirenoveret i et betydeligt omfang. På figur 30 kan det observeres, at den største reduktion i CO₂-belastning pr. opvarmet etageareal opnås ved at efterisolere den eksisterende ydervæg indvendigt, på trods af at bygningen allerede er hulmursisoleret. I forhold til efterisolering af etagedækket mod uopvarmet kælder er CO₂-besparelsen næsten ens for de to tiltag, til trods for et fire gange så stort areal, hvor 225 mm isolering kan benyttes i stedet for 300 mm. Reduktionen i CO₂-belastning er næsten ens alligevel, fordi udgangspunktet er et uisoleret etagedæk over pulterrum.

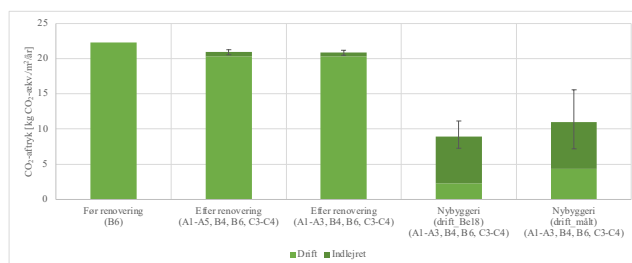
Af figur 31 kan det observeres, at CO₂-belastningen efter renovering stadig er markant højere end CO₂-belastningen for nybyggeri – inklusive usikkerheder. De undersøgte tiltag er dermed ikke nok til at få Skelhøjvej 18 til at yde CO₂-mæssigt lige så godt som nybyggeri. En mere dybdegående undersøgelse af årsagen til det usædvanligt høje energiforbrug, herunder en detaljeret gennemgang af varmeinstallationen, anbefales forud for udførelse af renoveringstiltag.



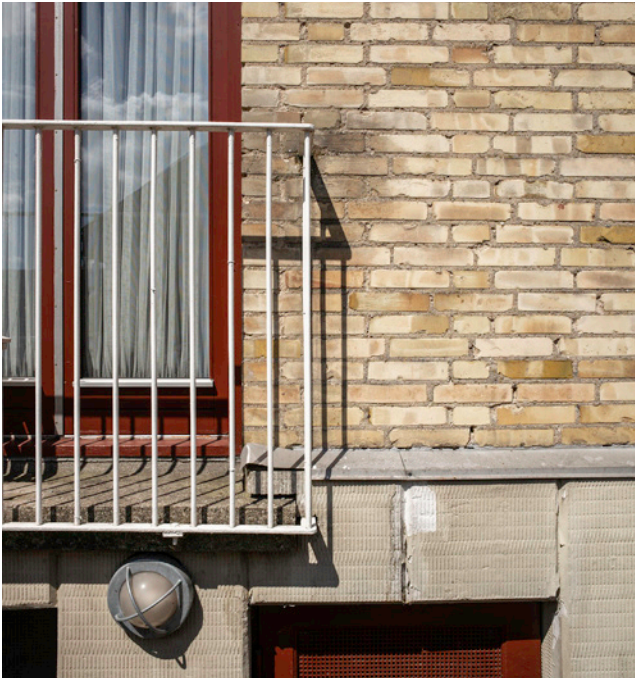
Figur 29. CO₂-aftryk for Skelhøjvej 18. Reference = CO₂-aftryk før renovering, Efter renovering = CO₂-aftryk, efter at de udvalgte tiltag er implementeret.



Figur 30. CO₂-belastning [indlejet, drift og samlet] for de undersøgte tiltag for Skelhøjvej 18.



Figur 31. Sammenligning af CO₂-aftrykket for Skelhøjvej 18 med nybyggeri for forskellige scenarier.

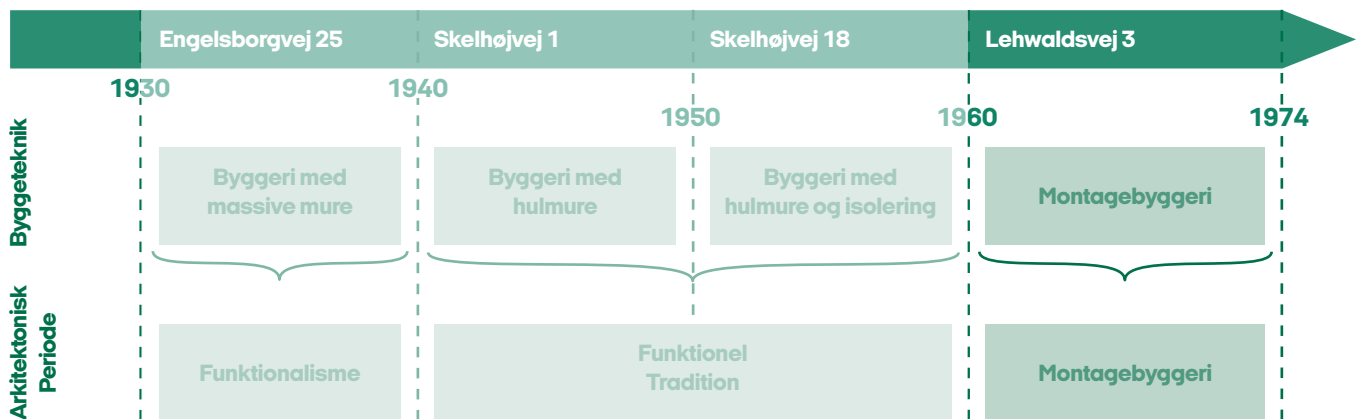






Case 4

Lehwaldsvej 3





CASE 4: Lehwaldsvej 3

Adresse: Lehwaldsvej 3, 2800 Kongens Lyngby
Opførelsesår: 1962
Arkitekt: Ole Hagen
Arkitektonisk periode: Montagebyggeri
Konstruktionsstype: Montagebyggeri udført i beton og tegl
Bevaringsværdi: 4
SAVE-vurdering fra: 20. juli 2009
Ejerforhold: Ejerlejligheder
Antal lejligheder: 105
Opvarmet bygningsareal: 8451 m²
Antal etager: 9
Energimærke: D [Energimærkningsrapport gyldig fra 8. oktober 2015 til 8. oktober 2022]

Beskrivelse

Lehwaldsvej 3 er et højhus fra 1962 opført som montagebyggeri i beton og tegl. Længs Lehwaldsvej løber jernbanen, og på den modsatte side af bygningen er der et grønt fællesareal i tilknytning til bebyggelsen. Bygningen hviler på to rækker in-situ-støbte betonsøjler, mellem hvilke man finder de to opgange, der fører op til de øvre etager. Adgangen til de enkelte lejligheder sker til gadesiden via en svalegang.

Alle etageadskillelser er udført i beton, mens de lodrette lejlighedsskel er udført i tegl. Alt murværk er pudset op og malet hvidt, og til havesiden har lejlighederne indeliggende, pudsede altaner. Gavlene er ligeledes i tegl, men har i 1990 fået monteret 100 mm efterisolering og påført facadeplader udenpå. Taget er udført med meget lav taghældning og har oprindeligt været med bølgepladetag, som blev udskiftet mellem 2010 og 2013. Samtidig blev vinduerne til havesiden skiftet til vinduer med lavenergiruder. Vinduer og døre til altanerne er dog ikke skiftet og skønnes derfor, ligesom de fleste vinduer mod svalegangen, at være de oprindelige koblede vinduer med trærammer. Vinduerne mod svalegangen udgør horisontale vinduesbånd, hvor kun nogle af vinduerne kan åbnes. De, der kan åbnes, er generelt koblede vinduer, mens de, der ikke kan åbnes, er med ét lag glas. Enkelte vinduer på denne side er også skiftet til vinduer med lavenergiruder.

Brystningerne under vinduesbåndene på svalegangene er udført som lette ydervægge.

Arkitektonisk værdi

Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 4

Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering beskriver bygningen som et højhus på in-situ-støbte betonsøjler.

Kommentar:

De arkitektoniske værdier i Lehwaldsvej 3 udgøres eksempelvis af de in-situ-støbte betonsøjler, svalegangene med de massive stålkonstruktioner og de lange vinduesbånd med oprindelige vinduer fra 1962. Disse er alle elementer, der karakteriserer montagebyggeriets industrialiserede og repetitive arbejdsgang, som blev introduceret omkring opførelsestidspunktet. For eksempel er de lange vinduesbånd mod svalegangen et udtryk for kombinationen af en ny byggeteknik samt nye materialer som stål og beton, der gjorde det muligt at etablere en hel række vinduer uden gennemgående murpiller.

Facadebeklædningen på de efterisolerede gavle svækker både montagebyggeriets klare udtryk og er fremmed for det øvrige materialevalg og trækker dermed den samlede arkitektoniske værdi ned.

Kulturhistorisk værdi

Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 5

Den kulturhistoriske værdi er ikke begrundet i Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering.

Kommentar:

Den kulturhistoriske værdi i Lehwaldsvej 3 knytter sig til den nye byggeteknik, som bygningen repræsenterer. Montagebyggeriet vandt frem fra starten af 1960'erne, og Lehwaldsvej fra 1962 er således et tidligt eksempel på denne byggestil, som skyldtes nye materialer og en stigende industrialisering i byggeriet. Denne udvikling betød, at byggematerialerne kunne forarbejdes andetsteds og derefter monteres som færdige elementer. I eksemplet med Lehwaldsvej er de bærende søjler støbt på stedet (in situ), mens de øvrige elementer er monteret efterfølgende. Den stigende industrialisering betød også, at byggerierne blev planlagt med en høj grad af gentagelse, hvilket kommer tydeligt til udtryk i bygningens facader.



Miljømæssig værdi
<p>Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 4 Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering beskriver bygningen som eneste højhus i kvarteret omgivet af åbne pladser og bevoksning.</p> <p>Kommentar: Modsat de øvrige tre cases består den miljømæssige værdi i dette tilfælde i bebyggelsens fremtrædende placering og størrelse, som adskiller sig fra det øvrige byggeri i området, der primært består af boligblokke i 3-4 etager. Som det eneste højhus i området udgør Lehwaldsvej 3 en særpræget bebyggelse, som er synlig på lang afstand, men som på nært hold virker gennemtrængelig på grund af placeringen på søjler.</p>
Originalitet
<p>Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 4 Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering konstaterer, at vinduerne i bygningen er bevaret, mens dørene er udskiftet med nye, som svarer til de oprindelige. Bygningen har desuden bibeholdt sin oprindelige farvesætning.</p> <p>Kommentar: Lehwaldsvej 3 har en høj grad af originalitet, hvilket kommer til udtryk ved, at de oprindelige konstruktioner og materialer overvejende er bibeholdt. De udskiftede vinduer passer i udformning og materialer til det eksisterende byggeri, mens de efterisolerede gavle er et meget dominerende indgreb, som trækker bygningens samlede originalitetsværdi ned.</p>
Tilstand
<p>Lyngby-Taarbæk Kommunes vurdering: 4 Bygningens tilstand er ikke begrundet i Lyngby-Taarbæk Kommunes SAVE-registrering.</p> <p>Kommentar: Bygningen fremstår i dag i overordnet god stand. Selv de originale elementer, som de oprindelige vinduer, er generelt velholdte og i god stand. Besigtigelsen i forbindelse med SAVE-vurderingen fandt sted i 2009, og det er muligt, at der er foretaget flere renoveringstiltag siden, hvorfor vurderingen måske havde været en anden i dag.</p>

Anbefalinger – bevaringsværdier
<p>Det anbefales, at der skiftes til røde vingetegl, når der skal skiftes tag næste gang. Bygninger fra denne periode er typisk opført med tegltag, og dette tiltag vil derfor højne autenticiteten.</p> <p>De to stokke vest for Skelhøjvej 18 har tegltag, hvorfor tiltaget også vil styrke de arkitektoniske værdier i bebyggelsen som helhed. Udskiftningen påvirker kun CO₂-regnskabet negativt og bør CO₂-mæssigt derfor først ske, når den tekniske levetid udløber.</p>

Renovering af Lehwaldsvej 3

Periode	1960-1974	
Bygning	Lehwaldsvej 3	
	Udgangspunkt	Tiltag
Varmeforsyning	Naturgas	Udskiftning til fjernvarme
Tag	Nyere tag inkl. 350 mm isolering	
Ydervæg	Gavle: [100 mm isolering] Lette ydervægge: [100 mm isolering] Øvrige ydervægge: [uisolerede]	Gavle: udvendig efterisolering 200 mm mineraluld Lette ydervægge: indvendig efterisolering 200 mm [forsatsvæg] Øvrige ydervægge: indvendig efterisolering 50 mm
Etagedæk	Som referencen for perioden + 100 mm isolering	Efterisolering nedefra: 200 mm mineraluld
Vinduer	2-lags energiruder (mod have) – dog ikke ved altan (1+1 lags glas), generelt 1-lags glas ved bad og køkken mod gaden	Forsatsløsning til vinduer med 1 lag og 1+1 lag ruder
Ventilation	Naturligt ventileret samt brugerstyret udsugning fra bad og køkken	Mekanisk ventilation [central] Et grundluftskifte på 0,15h ⁻¹ før renovering



Lehwaldsvej 3 skiller sig arkitektonisk ud fra de tre andre bygninger og er på flere måder en mere sammensat bygning med forskellige typer ydervægsopbygninger og vinduestyper samt indeliggende altaner i facaden mod haven. For Lehwaldsvej 3 er tiltaget om at skifte fra naturgas til fjernvarme afgørende for at få reduceret CO₂-belastningen – efter renovering – til et niveau i nærheden af CO₂-belastning for nybyggeri [figur 32]. For at bevare de oprindelige vinduer, hvor de stadig forefindes, er der valgt en forsatsløsning både ved altan [1+1 lags glas] og ved bad og køkken mod gaden [generelt 1-lags glas] som renoveringstiltag. Forsatsløsningerne bidrager til betydelige reduktioner i CO₂-belastning, hvor særligt forsatsløsningen på 1-lags-vinduerne mod gaden bidrager til en markant reduktion – større end for forsatsløsningen mod altanerne, der udgør flere kvadratmeter vindue [figur 33]. Årsagen er det bedre varmetabsmæssige udgangspunkt for vinduerne mod altanerne [1+1 lag glas].

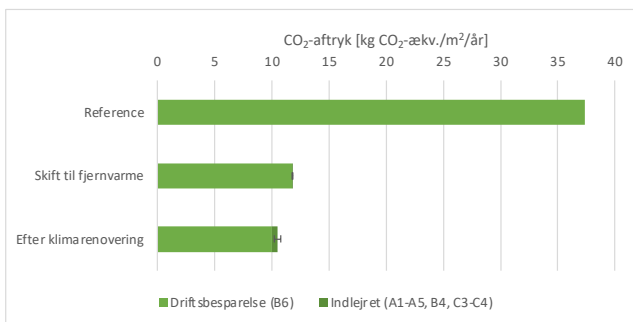
I flere af ejendommens boliger er der massive teglstensydervægge mod naboens altan. Disse ydervægge efterisoleres med 50 mm, da det ikke er muligt at efterisolere mere, uden at efterisoleringen ville dække for noget af vinduet. I forhold til, at der er tale om et relativt lille areal, der efterisoleres, er reduktionen i CO₂-belastning for dette tiltag relativt stor. Dette illustrerer, hvordan en betragtelig reduktion af CO₂-belastningen kan opnås på trods af markant mindre isolering end den CO₂-mæssigt optimale efterisoleringstykkelse [se kapitel 4].

I forhold til den udvendige efterisolering af gavlene er bygningens overordnede bevaringsværdi allerede mindsket som følge af etableringen af de første 100 mm efterisolering, hvorfor yderligere efterisolering i dette tilfælde er acceptabel i et bevaringsmæssigt perspektiv. Konstruktionsprincippet for efterisolering af gavlene bygger på samme opbygning som beskrevet for den første udvendige efterisolering. Reduktionen i CO₂-belastning er begrænset pga. det allerede efterisolerede udgangspunkt.

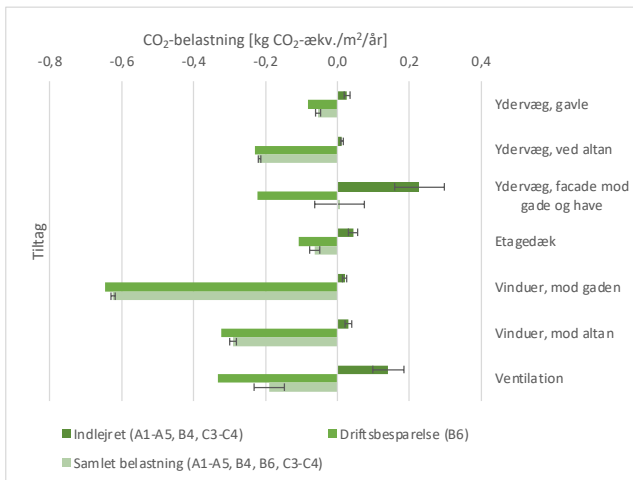
Tiltaget "ydervæg, facade mod gade og have" giver samlet set en forøget CO₂-belastning, da reduktionen af CO₂-belastning i driftsfasen ikke kan retfærdiggøre den indlejrede CO₂. Årsagen er, at der fjernes en eksisterende krydsfinerplade for at efterisolere indvendigt, hvilket ifølge de nuværende regneregler for biogent carbon betyder, at man bliver "straffet" for den indlejrede CO₂ i krydsfinerpladen. Reduktionen af CO₂-belastning i driftsfasen kan ikke kompensere for at fjerne krydsfinerpladen, hvilket betyder, at tiltaget ikke er CO₂-mæssigt fornuftigt, hvis krydsfinerpladen fjernes og ikke genbruges.



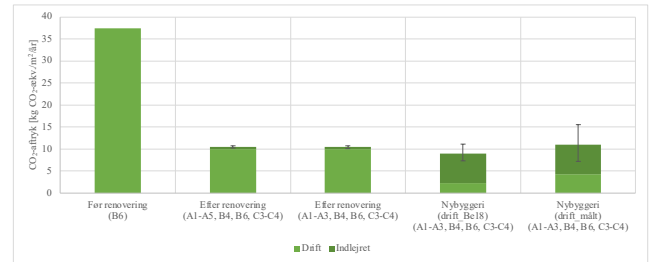
Figur 34 viser, at den samlede reduktion af CO₂-belastningerne (uden usikkerheder) grundet renoveringstiltagene er marginalt højere end for "Nybyggeri [Drift Bø 18]", men den er lavere for den mere realistiske CO₂-belastning "Nybyggeri [Drift målt]". Inklusive usikkerheder er det dog uklart, om renovering eller nybyggeri har den laveste CO₂-belastning.



Figur 32. CO₂-aftryk for Lehwaldsvej 3. Reference = CO₂-aftryk før renovering, Efter renovering = CO₂-aftryk, efter at de udvalgte tiltag er implementeret.



Figur 33. CO₂-belastning [indlejret, drift og samlet] for de undersøgte tiltag (ikke skiftet fra naturgas til fjernvarme [se figur 32]) for Lehwaldsvej 3.



Figur34. Sammenligning af CO₂-aftrykket for Lehwaldsvej 3 med nybyggeri for forskellige scenarier.





Delkonklusion

For tre ud af de fire casestudier var det muligt at reducere CO₂-belastningen til under det realistiske niveau for nybyggeri med en serie renoveringstiltag, der bibeholdt eller styrkede bygningernes bevaringsværdier. Inklusive usikkerheder er det dog uklart, om renovering eller nybyggeri har den laveste CO₂-belastning. Det var ikke muligt for det ene casestudie [Skelhøjvej 18] at opnå en lavere CO₂-belastning ved renovering i forhold til nybyggeri – inklusive usikkerheder – grundet et abnormt højt varmeforbrug, hvis årsag bør kortlægges, inden der foretages overvejelser om renoveringer, der kan reducere CO₂-belastningen.

Det anbefales ikke at bruge energirammeberegninger som udtryk for det faktiske energiforbrug i bygninger, da dette kan lede til den fejlagtige konklusion, at CO₂-belastningen for et nybyggeri er lavere end ved renovering af et eksisterende byggeri – eksklusive usikkerheder. I stedet bør CO₂-belastningen fra driftsfasen enten bero på målt data fra sammenligneligt byggeri/renoveringer eller simuleringer, hvor standardforudsætninger er udskiftet med de realistiske forhold, der gør sig gældende for den konkrete case.

I forhold til de enkelte renoveringstiltag er skiftet fra naturgas til fjernvarme et afgørende tiltag, for at det eksisterende byggeri kommer til at matche CO₂-belastningen for nybyggeri, mens tilvalg og effekten af de øvrige enkelttiltag er situationsbestemt og afgøres af den eksisterende konstruktions opbygning og overfladeareal.

For case 1 og 4 [Engelsborgvej 25 og Lehwaldsvej 3] var der sammenfald mellem tiltag, der kan styrke bygningernes overordnede bevaringsværdi, og tiltag, som reducerer CO₂-belastningen. Dermed viser det sig, at bevaringsværdier og klimaoptimering ikke nødvendigvis er hinandens modsætninger.

Dog blev det også observeret, at ikke alle anbefalinger til tiltag, som kunne styrke case-bygningernes overordnede bevaringsværdi, giver anledning til en reduktion i CO₂-belastning.



Kapitel 6

Afrunding

Opsamling og konklusioner

Følgende kapitel indeholder en opsamling af publikationens fremsøgte viden og konklusioner samt en refleksion over og perspektivering af resultaterne i en faglig, samfundsaktuel kontekst. Konklusionerne er holdt i et kort format for de enkelte kapitler, og refleksionen sætter dem i spil i forhold til en fremtidig håndtering af bygningskulturens medvirken til at nedbringe CO₂-belastningen.

Kapitel 2. Manglende tværfagligt samarbejde inden for forskningsfeltet

Af 1290 fremsøgte publikationer i litteraturstudiet er kun syv vurderet til at befinde sig inden for afgrænsningen af forskningsområdet LCA og bevaringsværdier i bygningskulturen. Det kan konstateres, at publikationerne generelt ikke undersøger, hvilken indvirkning konkrete renoveringstiltag har på bygningernes bevaringsværdier, og at der mangler redskaber, der kan forene LCA-vurderinger og vurderinger af bevaringsværdier i bygningskulturen. Den mængde videnskabelige studier, der rapporterer om LCA i forbindelse med renovering af bygninger i Nordeuropa, indikerer, at renovering af eksisterende bygninger i overvejende grad skaber en mindre CO₂-belastning end alternativer som at lade bygningerne stå, som de er, eller at nedrive og bygge nyt. Det bemærkes, at denne indikation i høj grad afhænger af CO₂-belastningen for den lokale energiforsynings energimix nu og i fremtiden, og det kan derfor ikke umiddelbart overføres til danske forhold. Herudover viser litteraturstudiet, at LCA-resultaterne ofte bliver fremstillet uden usikkerhed på trods af de usikkerheder, der er forbundet med miljødata, betragtningsperioder, driftsenergi med videre.

Litteraturstudiet indikerer, at energirenoveringer skal afstemmes efter den konkrete bygnings forhold for at sikre en reduktion af CO₂-belastningen set over hele bygningens levetid. Således vil standardløsninger ikke nødvendigvis være de mest miljø- og klimavenlige tiltag i det specifikke tilfælde.

Litteraturstudiet identificerer også en række konkrete videnshuller, herunder manglende LCA-datagrundlag og manglende viden inden for særligt tre områder:

- klimabelastning for brugs- og vedligeholdelsesfaserne
- valg af referenceperioder i forbindelse med renovering
- vurdering af bevaringsværdier i sammenhæng med LCA-vurderinger

Dertil kommer en manglende konsensus om, hvordan LCA bør gennemføres i forbindelse med renovering eller ombygning af bevaringsværdige bygninger.

Konklusion: Der er et udpræget behov for flere tværfaglige studier, hvor der udvikles og afprøves metodiske tilgange og fremgangsmåder for renoveringer, der reducerer CO₂-belastningen fra bevaringsværdige bygninger. I denne forbindelse mangler der ligeledes et særligt tværfagligt fokus på den bevaringsfaglige teori og diskussion vedrørende forhandlingsrummet for, hvorledes bevaringsværdier kan fastholdes, understøttes eller reetableres.

Kapitel 3. Energiforbrug for bevaringsværdige etageboligbygninger skiller sig ikke ud

Manglende SAVE-vurderinger af bygninger opført efter 1940 betyder, at der kun er et acceptabelt datagrundlag for at sammenligne energiforbrugene for etageboligbebyggelser opført i 1930-1939. For denne periode udgør antallet af registrerede bevaringsværdige bygninger 7% af den samlede bygningsbestand. Energiforbruget for de bevaringsværdige bygninger i denne periode udgør 12,8% af det samlede energiforbrug for etageboligbebyggelser.

Forskellene i energiforbruget mellem bevaringsværdige og ikke-bevaringsværdige bygninger for denne periode er marginale og ikke statistisk signifikante. Der er således ikke noget i nuværende data, der tyder på, at bevaringsværdige etageboligbebyggelser skulle have et signifikant anderledes energiforbrug end øvrige etageboligbebyggelser fra samme periode. Det sammenlignelige energiforbrug for bevaringsværdige og ikke-bevaringsværdige bygninger kunne tyde på, at de bevaringsværdige bygninger allerede er energirenoverede i samme omfang som de ikke-bevaringsværdige bygninger.

Konklusion: Energiforbruget i henholdsvis bevaringsværdige bygninger og ikke-bevaringsværdige bygninger adskiller sig ikke fra hinanden, og energiforbruget for de bevaringsværdige bygninger udgør kun en mindre andel af bygningerne for perioden. Udpegning og registrering af bevaringsværdige bygninger i Danmark er mangelfuld, hvilket udfordrer en evidensbaseret belysning af data for de bevaringsværdige bygninger på landsplan. De kommuner, der har SAVE-registreret deres bevaringsværdige bygninger, har typisk ingen eller få registreringer af bygninger opført efter 1940.



Kapitel 4. Livscyklusvurderinger sætter nye grænser for energirenoveringstiltag

Publikationens afgrænsede LCA af udvalgte energirenoveringstiltag indikerer, at deres indlejrede CO₂-ækvivalenter, med enkelte undtagelser, kan kompenseres med reduktion af CO₂-belastningen i driftsfasen.

For tiltag, hvor isoleringstykkelse kan skaleres, indfinder den optimale isoleringstykkelse sig ved forskellige isoleringstykkelser afhængigt af isoleringstypen, tiltagets bygningsfysiske koncept, placering, og ikke mindst varmetabet fra den eksisterende bygningskonstruktion. Af samme årsag er det ikke entydigt, hvorvidt Bygningsreglementets mindstekrav til U-værdier i forbindelse med ombygninger også giver den laveste CO₂-belastning. Med andre ord vil man i nogle tilfælde opnå en lavere CO₂-belastning set over bygningens livscyklus ved at isolere mere, end hvad Bygningsreglementet foreskriver, mens der i andre tilfælde bør isoleres mindre.

Udvendig efterisolering af ydervægge giver den største absolutte reduktion i CO₂-belastning sammenlignet med de indvendige efterisoleringssløsninger. Dette tiltag vil dog med overvejende sandsynlighed kompromittere bygningens bevaringsværdier. Tilføjelse af indvendig lav-emissions-forsatsrude eller udskiftning af vinduer er også et tiltag, der leder til betragtelig reduktion i CO₂-belastning, uden at dette svækker bygningernes bevaringsværdier. Publikationen viser, at en række indvendige arbejder, såsom mere energieffektive installationer, efterisolering af etagedæk mod kælder og tagkonstruktion samt indvendig efterisolering af ydervægge kan lede til betragtelige reduktioner i CO₂-belastningen uden at gå på kompromis med bygningernes bevaringsværdier.

Uisolerede hulrum i ydervægge kan med fordel efterisoleres, men materialevalget bør bero på en livscyklusvurdering, da materialet, der leder til den største reduktion af CO₂-belastningen, afhænger af hulrummets tykkelse.

Reduktion af CO₂-belastningen ved implementering af mekanisk ventilation med varmegenvinding afhænger af luftskiftet i den eksisterende bygning. Hvis boligen ventileres naturligt med et luftskifte svarende til Bygningsreglementets minimumskrav (ca. 0,5 gange i timen), vil der være en stor reduktion i CO₂-belastningen. Hvis indførelse af mekanisk ventilation betyder, at boligen går fra et meget lavt luftskifte til minimumskravet i Bygningsreglementet, kan det medføre en forøget CO₂-belast-

ning, men til gengæld vil luftkvaliteten i boligen forbedres og risiko for fugtrelaterede gener mindskes.

Konvertering af varmforsyningsform fra naturgas til fjernvarme kan bidrage til en betragtelig reduktion af CO₂-belastningen. I praksis forudsætter det, at konverteringen er teknisk mulig og økonomisk rentabel.

Der er i forbindelse med publikationens livscyklusanalyser lagt vægt på at illustrere resultater inklusive antagelser om de usikkerheder, der er indbygget i data og beregninger af tiltagernes klimabelastning. Usikkerhederne viser, at man for et bestemt tiltag ikke kan forvente en ensartet reduktion i CO₂-belastningen, da tiltagets effekt påvirkes af usikkerheder i data for den indlejrede CO₂ og vil være afhængig af varmetabet fra den konkrete eksisterende konstruktion.

Konklusion: Den største reduktion af livscyklus-CO₂-belastning fra bevaringsværdige bygninger opnås ikke ved overholdelse af Bygningsreglementets mindstekrav til U-værdi, da effekten af mulige tiltag afhænger af tiltagets bygningsfysiske udgangspunkt og beskaffenheden af den eksisterende bygningskonstruktion. Valg af tiltag bør derfor altid vurderes med en livscyklusanalyse, der tager udgangspunkt i den eksisterende bygningskonkrete forhold, herunder med hensyntagen til bevaringsværdier.

Der er behov for at udvikle og afprøve tilgange og fremgangsmåder for renoveringer, der reducerer CO₂-belastningen fra bevaringsværdige bygninger, med udgangspunkt i den konkrete bygning samt for at inkludere de usikkerheder, der uundgåeligt knytter sig til livscyklusanalysen.



Kapitel 5. Bevaringsværdier og klimaoptimering er ikke nødvendigvis hinandens modsætninger

To af casestudierne indikerer, at det kan være muligt at opnå betragtelige reduktioner i CO₂-belastningen og samtidig styrke bygningernes overordnede bevaringsværdi (case 1 og 4). Dog viste casestudierne, at ikke alle tiltag, som kan styrke en bygningens overordnede bevaringsværdi, vil medføre reduktion i CO₂-belastningen.

Litteraturstudiet i kapitel 2 indikerer, at renovering af eksisterende bygninger i overvejende grad medfører en mindre CO₂-belastning end at lade bygningerne stå, som de er, eller at nedrive og bygge nyt. For tre ud af fire case-bygninger i denne publikation er det også umiddelbart tilfældet, men inddrages usikkerheder i data i betragtningen, er det uklart, hvorvidt renovering eller nybyggeri har den laveste CO₂-belastning. I en enkelt case var det ikke muligt at opnå en lavere CO₂-belastning ved renovering i forhold til nybyggeri – inklusive usikkerheder. Det bemærkes, at beregningerne af renoveringstiltagenes reduktion af CO₂-belastning i driftsfasen beror på forsimplede betragtninger, hvilket kan påvirke resultaterne.

Konklusion: Renovering, der reducerer CO₂-belastningen fra bevaringsværdigt byggeri, er en opgave, hvor casespecifikke tværfaglige analyser er nødvendige for at sikre, at tiltag leder til reduktioner i CO₂-belastningen uden at gå på kompromis med bevaringsværdierne. Hvis en sådan analyse udføres forud for renoveringen, er det i nogle tilfælde muligt at mindske bygningens CO₂-belastning, samtidig med at bygningens bevaringsværdier fastholdes eller styrkes.

Refleksioner og fremtidsperspektiver

Er fremtiden en samlende LCA- og bevaringsvurdering?

Med udgangspunkt i konklusionen om, at energiforbruget for henholdsvis bevaringsværdige og ikke-bevaringsværdige bygninger ikke ser ud til at adskille sig betydeligt fra hinanden, er det oplagt at vurdere de bevaringsværdige bygningers rolle i reduktionen af CO₂-udledningen i et livscyklusperspektiv. Der kan stilles spørgsmålstejn ved, hvordan og hvorfor bevaringsværdige bygninger skal inddrages, og hvad de kan bidrage med. Dertil kan spørges, hvor langt vi skal gå for at gøre en bevaringsværdig bygning acceptabel i forhold til CO₂-udledning.

Publikationens tværfaglige hensigt om dels at beregne den potentielle reduktion af CO₂-belastningen for en række udvalgte renoveringstiltag og dels at vurdere og finde balancen mellem case-bygningernes bevaringsværdier og acceptable renoveringstiltag har resulteret i ovenfor nævnte konklusioner. Konklusionerne giver anledning til en overordnet diskussion af de udførende faglighedens mål samt koblingen og spændet mellem disse. Renoveringer af etageboligbebyggelser kan, ved de rette udvalgte tiltag, medføre en betragtelig reduktion af CO₂-belastningen. Når disse tiltag tænkes udført på bevaringsværdige bygninger, kan der opstå divergerende hensigter, idet der i udpegelsen af bevaringsværdige bygninger ligger et eksplicit ønske om at bevare og styrke værdier i bygningen, hvilket som oftest ikke forbindes med indgreb og udskiftninger af bygningsdele [Didriksen, et al., 2011].

Tiltagene må derfor vurderes, ikke kun ud fra deres potentielle effekt i forhold til reduktion af CO₂-belastning, men også ud fra graden af indgreb og påvirkning af bevaringsværdierne. Når bygningens kultur inddrages i indsatsen for at mindske klimabelastningen, er det derfor uundgåeligt, at det må ske ud fra en faglig metodisk vurdering af, hvilke indgreb der kan foretages, i forhold til at tage udgangspunkt i en specifik bygningens bærende værdier. I denne forbindelse er det vigtigt at påpege, at bygninger med bevaringsværdier ikke nødvendigvis kan yde en lige så stor indsats i reduktion af CO₂-udledning som bygninger uden bevaringsværdier. Dels fordi andelen af registrerede bevaringsværdige etagebebyggelser fra perioden 1930-1974 kun udgør 4% af etageboligbebyggelser fra perioden 1930-1974, og dels for at sikre, at for store indgreb ikke svækker mængden og kvaliteten af historiske og kulturelle værdier i vores fysiske omgivelser. Det bemærkes dog, at betragtningen om mængden af de bevaringsværdige bygninger beror på et ufuldstændigt

datagrundlag, da tilgangen til og omfanget af udpegninger af bevaringsværdige bygninger er meget forskellige fra kommune til kommune.

Tre ud af fire af de udvalgte casestudier i publikationen viser, at det ud fra et LCA-perspektiv kan være mere fordelagtigt at bevare og renovere med respekt for bevaringsværdierne end at rive ned og bygge nyt, når der benyttes målt energiforbrug for etageboligbyggeri fra 1930-1974. Grundet usikkerheder i data er det dog ikke muligt at konkludere, hvorvidt det entydigt forholder sig sådan. I en enkelt case var det CO₂-mæssigt mere fordelagtigt at bygge nyt. Dette giver anledning til en diskussion af værdityper og værditilskrivning i samfundet og mere specifikt i byggebranchen, hvor mange processer i dag bygger på optimering af mekanismer og målbare resultater, der ikke kan redegøre for bygningens kulturelle betydning over tid. Ud over at bevare og renovere i visse tilfælde kan måle sig med nybyggeri – og måske endda ser ud til at stå endnu stærkere, hvis nedrivning medregnes i LCA-beregningerne – så bidrager de bevaringsværdige bygninger med bygningskulturelle værdier til samfundet, der ikke kan måles eller vejes, men som gør en forskel med deres fremtræden, materialitet, tidslighed og autenticitet. Værdier der, inden for kulturarvsfeltet, vurderes uerstattelige og af stor betydning for menneskets identitetsforståelse og væren [ICOMOS, 1994] [ICOMOS, 1964]. En fælles indsats for at bevare bygningskulturen er til gavn for samfundet og styrker identiteten, historien og fællesskabet borgerne imellem. Når bygningskulturen inddrages i indsatsen med at nedbringe CO₂-belastningen, kan der opstå modsatrettede mål, hvor klimarenoeringen og bevaringen af udpegede værdier trækker i hver sin retning i forhold til graden af indgreb. I denne sammenhæng mangler der konkret viden blandt andet om effekten af, hvorledes arkitektoniske kvaliteter og kulturhistoriske værdier bidrager til, at bygninger består gennem tiden, og hvordan disse værdier kan påvirke brugeradfærd i forhold til økonomi og indeklime, samt tendenser vedrørende ombygninger, vedligehold og udpegnings og bevaring af kvalitet i vores fysiske rammer [Kjær Christoffersen, 2007] [Nygaard, 2006]. Det i publikationen nævnte forhandlingsrum vil med fordel kunne udfoldes som en kontekst for diskussioner af indgreb og renoveringsstrategier. En inddragelse af LCA i disse diskussioner vil kunne bidrage med en tværfaglig tilgang til bygningsbevaring og livscyklusvurderinger.

Når faktuelle beregninger og bevaringsværdier skal vurderes for en konkret bygning, er det med de nuværende tilgængelige

metoder ikke muligt at lave en samlet vurdering, der omfatter både bygningskultur og klima. Det tværfaglige fokus er, jævnfør litteraturstudiet, mangelfuldt, hvilket kan bidrage til et manglende fokus på reduktion af CO₂-belastningen i fremtidige renoveringsprojekter. En fælles metodeudvikling mellem LCA og restaureringsfaglige værktøjer vil kunne bidrage til mere detaljerede konstruktionsbeskrivelser i eksisterende bygninger, hvori der kan findes store variationer og sammensætninger opstået over tid. De bevaringsværdige bygninger kunne ligeledes opkvalificere og udvikle viden om materialers levetid og referenceperioder. Med henblik på nærværende studies betragtninger af manglende tværfaglighed samt det faktum, at både SAVE og LCA er værktøjer til vurdering af en bygningens tilstand, peger denne publikation på potentialet for at udvikle en samlet metode med udgangspunkt i den eksisterende bygningens værdier og bygningens fysik i forhold til muligheder for reduktion af CO₂-belastningen i fremtidige renoveringsprojekter. Gennem metodeudvikling målrettet et tværfagligt fokus på bevaringsværdier og LCA vil fremtidige renoveringsprojekter kunne kvalificeres mod en hensigt om bevare og videreudvikling af en levende bygningskultur, der bidrager til arbejdet hen imod at reducere CO₂-belastningen og dermed bidrage til den internationale politiske dagsorden om at mindske klimabelastningen globalt.

I denne publikation har det primære fokus været CO₂-belastningen. Det er dog vigtigt at pointeres, at det endelige valg af tiltag bør bero på en holistisk tilgang, det vil sige, at de sociale, økonomiske og miljømæssige aspekter inddrages i beslutningsgrundlaget. Fx bør beslutninger ikke kun træffes på baggrund af CO₂-belastningen, de øvrige miljøpåvirkningskategorier og ressourceindikatorer bør også inddrages for at sikre, at konklusionerne ikke ændrer sig. Det samme gør sig gældende for parametrene økonomi og indeklime, der er inddraget i publikationen for at gøre modtageren opmærksom på, at de undersøgte tiltag i kapitel 4 også påvirker disse parametre. Det endelige beslutningsgrundlag bør dog suppleres af mere dybdegående analyser af disse aspekter. I forhold til sammenligningen mellem renovering og nybyg bør det også påpeges, at mange ældre ejendomme efter større energirenoeringer stadig er langt fra at være tidssvarende målt på fx luft, lyd og brand. En sammenligning mellem renovering og nybyg 1:1 er derfor ikke nødvendigvis retvisende, medmindre fx støjforholdene opdateres til nuværende standarder, hvilket koster i CO₂-regnskabet. I forhold til bevaringsværdigt byggeri bliver sammenligningsgrundlaget kun udfordret endnu mere. Dette understreger igen kompleksiteten af de relevante analyser, som har mange nuancer.



Bibliografi

Afshari, A. et al., 2020. Hvidbog – Ventilation af eksisterende etageboliger, s.l.: BUILD, Aalborg Universitet.

Anon., u.d. Resultat #223106 - Uncertainty in the Mixed-Unit Input-Output Life Cycle Assessment Model of the US Economy - Cristin. s.l.:s.n.

Anon., u.d. Søk "life cycle assesment" AND preservation' - 7 treff - Cristin. s.l.:s.n.

BBR, 2021. BBR Instruks, 209 Om- eller tilbygningsår. [Online] Available at: <https://instruks.bbr.dk/omellertilbygningssaar/0/30>.

Beim, A., 2004. Tektoniske visioner i arkitektur, Bearbejdet og revideret udgave af Ph.d.: Tectonic Visions in Architecture, Kunstakademiets Arkitektskole 1998. København: Kunstakademiets Arkitektskoles Forlag.

Berg, F., 2016. Using the life cycle analysis approach for decision and policy support concerning built cultural heritage: Norwegian case studies. Belgien, EECHB, p. 68–74.

Berg, F. & Fuglseth, M., 2018. Life cycle assessment and historic buildings: energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway. Journal of Architectural Conservation, 5, Årgang 24, p. 152–167.

Birgisdóttir, H. et al., 2017. IEA EBC annex 57 'evaluation of embodied energy and CO₂eq for building construction. Energy and Buildings, Årgang 154, pp. 72-80.

Birk Jørgensen, M. et al., 2019. Levende Bygningskultur - en essaysamling. 1 red. København: Realdania.

Bjørn, A. o. H. M., 2015. Introducing carrying capacity-based normalisation in LCA: framework and development of references at midpoint level. I: Life Cycle Assess. s.l.:s.n., pp. 1005-1018.

Bolig og planstyrelsen, 2020. Den frivillige bæredygtighedsklasse - Bilag til krav om livscyklusvurdering - Bilag 1: Emissionsfaktorer. [Online]

Available at: <https://baeredygtighedsklasse.dk/5-Krav-og-vejledning/Bilag-til-krav-om-livscyklusvurdering#> [Senest hentet eller vist den 2021].

Bolig- og Planstyrelsen, 2020. Livscyklusvurdering - bygningens

samlede klimapåvirkning. [Online]

Available at: <https://baeredygtighedsklasse.dk/5-Krav-og-vejledning/Livscyklusvurdering---bygningens-samlede-klimapaaevirkning#> [Senest hentet eller vist den 2021].

Brüel, J., 2014. Funkishuset - en bevaringsguide. København: Bygningskultur Danmark.

BUILD, 2021. LCAbyg 5.1.0.9. [Online] Available at: <https://www.lcabyg.dk/>

BYG-ERFA, u.d. Dansk Byggestik. [Online] Available at: <https://danskbyggestik.dk/> [Senest hentet eller vist den 2020].

Bøhm, B., Schrøder, F. & Bergsøe, N. C., 2009. Varmt brugsvand - Måling af forbrug og varmetab fra cirkulationsledninger, s.l.: SBI forlag. SBI Nr. 2009:10.

CINARK, 2019. Materialepyramiden. [Online] Available at: www.materialepyramiden.dk/ [Senest hentet eller vist den 17 06 2021].

Clarivate Analytics, 2021. Web Of Science. [Online] Available at: <https://www.webofknowledge.com>

Clarivate, 2021. Web of Science. [Online] Available at: www.webofknowledge.com [Senest hentet eller vist den 17 06 2021].

COWI, 2020. Opdaterede emissionsfaktorer for el og fjernvarme, s.l.: Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen.

Crown, S., Pate, M. & Shapiro, H., 1993. A method to account for energy conservation measure interactions. ASHRAE Transactions: Research 99, pp. 201-206.

Dahl, T. & Simonsen, G., 2015. E-SAVE, Vejledning til kommunal sagsbehandling af byggesager, s.l.: s.n.

Dahl, T. & Simonsen, G., 2015. VEJLEDNING Til kommunal sagsbehandling af byggesager med energitiltag i bevaringsværdige bygninger. p. 40.

Dannemand Frost, E., Work Havelund, L., Kloppenborg, M. &



- Valdbjørn Rasmussen, T., 2014. Klimatilpasning af ældre almene etagebebyggelser - en vejledning, s.l.: KAB.
- Didriksen, K., Jensen, T., Høj, A. & Stenark, M., 2011. SAVE - Kortlægning og registrering af bymiljøer og bygningers bevaringsværdi. København: Kulturarvsstyrelsen.
- Duffy, A., Nerguti, A., Purcell, C. E. & Cox, P., 2019. Understanding Carbon In Historic Environment: Scoping Study: Final Report, s.l.: s.n.
- ecoinvent, 2021. ecoinvent. [Online]
Available at: <https://www.ecoinvent.org/>
[Senest hentet eller vist den 17 06 2021].
- Elsevier, 2021. Engineering Village. [Online]
Available at: <https://www.engineeringvillage.com/home.url>
- Elsevier, 2021. Engineering Village. [Online]
Available at: www.engineeringvillage.com
[Senest hentet eller vist den 17 06 2021].
- Elsevier, 2021. Scopus. [Online]
Available at: www.scopus.com
[Senest hentet eller vist den 17 06 2021].
- Elseviers, 2021. Scopus. [Online]
Available at: <https://www.scopus.com/home.uri>
- Energistyrelsen, 2020. Energireovering af lejligheder og etageboliger i ejerforeninger, andelsboligforeninger og almene boliger, s.l.: Energistyrelsen.
- Engelmark, J., 2013. Dansk Byggeskik - Etagebyggeriet gennem 150 år, s.l.: Realdania Byg.
- Engelmark, J., 2013. Dansk Byggeskik: Etagebyggeriet gennem 150 år. s.l.: Realdania Byg.
- Europa-Parlamentets og Rådets direktiv, 2002. Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2002/91/EF af 16. december 2002 om bygningers energimæssige ydeevne. [Online]
Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/?uri=celex%3A32002L0091>
- European Commission, 2011. ILCD handbook - International Reference Life Cycle Data System, Luxemburg: EUR 24571 EN.
- European Committee for Standardization [CEN], 2012. EN 15978:2011 - Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method, s.l.: s.n.
- European Union, 1995-2021. <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ilcd.html>. [Online]
Available at: www.
[Senest hentet eller vist den 17 6 2021].
- Exner, j., 2007. Den historiske bygnings væren på liv og død. I: Fortiden for tiden : genbrugskultur og kulturgenbrug i dag. Aarhus: Arkitektskolens forlag, p. 235.
- Farbøl, R., Sørensen, A. E. & Olesen, T. B., u.d. danmarkshistorien, Oliekriserne og deres betydning for dansk økonomi, 1973-1991. [Online]
Available at: <https://danmarkshistorien.dk/leksikon-og-kilder/vis/materiale/oliekriserne-og-deres-betydning-for-dansk-oekonomi-1973-1991/>
[Senest hentet eller vist den 2020].
- Flyen, C., Flyen, A. C. & Fufa, S. M., 2019. Miljøvurdering ved oppgradering av verneverdig bebyggelse, s.l.: s.n.
- Fufa, S. M., Venås, C. & Flyen, C., 2020. Grønt er ikke bare en farge: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede, s.l.: s.n.
- Galimshina, A. et al., 2020. Statistical method to identify robust building renovation choices for environmental and economic performance. Building and Environment, Issue 107143.
- GI - Bedre Boliger og Realdania, u.d. Danske bygningsmodeller. [Online]
Available at: <http://danskebygningmodeller.dk/>
[Senest hentet eller vist den 2021].
- Grant, M. J. & Booth, A., 2009. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. Health Information & Libraries Journal, 6, Årgang 26, p. 91-108.
- Green Building Council Denmark, 2020. DGNB-System Denmark, Bæredygtigheds certificering af Nybyggeri og omfattende renoveringer, s.l.: Green Building Council Denmark.
- Hansen, H. T. R., 2007. SENSITIVITY ANALYSIS as a methodical approach to the development of design strategies for environ-



- mentally sustainable buildings, s.l.: Department of Architecture and Design, Aalborg University.
- Historiske Huse, 2021. Etagehuset i den funktionelle tradition. s.l.:s.n.
- Huuhka, S. & Vestergaard, I., 2019. Building conservation and the circular economy: a theoretical consideration. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 10[1], pp. 29-40.
- Høj, A. & Stenak, M., 2011. SAVE - Kortlægning og registrering af bymiljøer og bygningers bevaringsværdi. København: Kulturarvsstyrelsen.
- ICOMOS, 1964. Venedig: ICOMOS.
- ICOMOS, 1994. The Nara Document on Authenticity. Nara: ICOMOS.
- Indenrigs og boligministeriet, 2021. Ny aftale sikrer bæredygtigt byggeri, s.l.: Indenrigs og boligministeriet.
- Jensen, N. F., 2019. GI slutrapport – Anvendelighed og robusthed af indvendig efterisolering, s.l.: DTU Byg og Anlæg.
- Kjær Christoffersen, L., 2007. Arkitektonisk kvalitet. Aarhus: Arkitektskolen Aarhus.
- Kristensen, M. H. & Petersen, S., 2020. District heating energy efficiency of Danish Building typologies.
- Kristensen, M. H. & Petersen, S., 2021. District heating energy efficiency of Danish building typologies. *Energy & Buildings*, Årgang 231, p. 11602.
- Kulturministeriet, 2018. Bygningsfredningsloven. s.l.:s.n.
- Kulturministeriet, 2021. Hvad er bevaringsværdier?. s.l.:s.n.
- Kulturstyrelsen, S.-. o., U.D.. Fredede og Bevaringsværdige Bygninger. [Online]
Available at: <https://www.kulturarv.dk/fbb/index.htm>
[Senest hentet eller vist den 02 juli 2021].
- Larsen, T. S. et al., 2021. IK-kompas Etageboliger – værktøj til holistisk vurdering af indeklima , s.l.: Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet. BUILD Rapport Nr. 2021:04.
- Larsen, T. S. et al., 2019. Evaluation of Improved Indoor Environmental Quality during Renovation using the new IV20 Tool. Evaluation of Improved Indoor Environmental Quality during Renovation using the new IV20 Tool. I Proceedings of Building Simulation 2019: 16th Conference of IBPSA [s. 2412-2419]. IBPSA. Building Simulation Conference proceedings <https://doi.org/10.26868/2>.
- Laslaux, S., Habert, G., Peuportier, B. & Chevalier, J., 2015. Comparison of generic and product-specific Life Cycle Assessment databases: application to construction materials used in building LCA studies. *The International Journal of life-cycle assessment*, Årgang 22, pp. 1472-1490.
- Loli, A. & Bertolin, C., 2018. Towards Zero-Emission Refurbishment of Historic Buildings: A Literature Review. *Buildings*, 8[2][22].
- Moschetti, R. & Brattebø, H., 2017. Combining Life Cycle Environmental and Economic Assessments in Building Energy Renovation Projects. *energies*, 10[11].
- Munch-Petersen, P. & Ejstrup, H., 2017. The relations between building performance and embedded energy: a new focus on materials. *AMPS, Architecture_MPS*, London, Storbritannien, pp. 66-74.
- Møller, E. B. & Jørgensen, S. B., 2018. Demonstrationsprojekt om indvendig efterisolering i 3B's afdelinger Druehaven 5 og Folehaven 75, s.l.: SBI.
- NHS Centre for Reviews and Dissemination, 2001. Undertaking Systematic Reviews of Research on Effectiveness, s.l.: CRD's Guidance for those Carrying Out or Commissioning Review CRD Report Number 4 [2 Edition].
- Nielsen, M. H., Liborius, T., Weidinger, A. & Lund, H. T., 2020. Regeringens klimapartnerskaber, Anbefalinger til regeringen fra Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren, s.l.: Bygge- og anlægssektoren.
- Nygaard, N., 2006. Arkitektonisk kvalitet. Aarhus: Arkitektskolen Aarhus.
- Odgaard, T., Bjarløv, S. P. & Rode, C., 2018. Interior insulation— Characterisation of the historic, solid masonry building segment and analysis of the heat saving potential by 1d, 2d, and 3d simulation. *Energy and Buildings*, 162[1], pp. 1-11.



- Paez, A., 2017. Gray literature: An important resource in systematic reviews. *Journal of Evidence-based Medicine*, 10(3), pp. 233-240.
- Pasternak, J. & Blomsterberg, I., 2021. Her er hele vinduets historie i Danmark gennem de seneste 120 år. s.l.:s.n.
- Petersen, M., 2019. energiforumdanmark, DTU test og godkender nyt, innovativt system til indvendig isolering. [Online] Available at: <https://www.energiforumdanmark.dk/app-magasin/2019/september-fugt/dtu-tester-og-godkender-nyt-innovativt-system-til-indvendig-isolering/> [Senest hentet eller vist den 2021].
- Petersen, s., Lynge, K. & Lauridsen, P., 2014. Analyse af krav til termisk indelima i BR15, Aarhus: Energistyrelsen.
- Piccardo, C., Dodo, A. & Gustavsson, L., 2020. Retrofitting a building to passive house level: A life cycle carbon balance. *Energy and Buildings*, 15(110135).
- Rambøll, 2020. ANALYSE AF CO₂-UDLEDNING OG TOTALØKONOMI I RENOVERING OG NYBYG, København: Rambøll Management, Consulting A/S.
- Rasmussen, F. N. & Birgisdóttir, H., 2015. Livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer - Miljømæssige konsekvenser belyst via casestudier, s.l.: SBI 2015:29.
- Rasmussen, F. N. & Birgisdóttir, H., 2016. Life Cycle Environmental Impacts from Refurbishment Projects - A Case Study. s.l.:s.n.
- Rasmussen, F. N. et al., 2020. The choice of reference study period in building LCA - case-based analysis and arguments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Årgang 588, pp. 1.06-1.10.
- Rodriguez, B. X. et al., 2020. Mechanical, electrical, plumbing and tenant improvements over the building lifetime: Estimating material quantities and embodied carbon for climate change mitigation. *Energy and Building*, Issue 110324.
- Rohde, L. E. et al., 2019. Historical development of IEQ in Danish dwellings - has energy efficiency requirements inhibited positive IEQ developments?. *Proceedings of Building Simulation 2019: 16th Conference of IBPSA* [s. 2458-2464]. IBPSA. Building Simulation Conference proceedings <https://doi.org/10.26868/25222708.2019.210465>.
- Röck, M. et al., 2020. Embodied GHG emissions of buildings - The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258(114107).
- Rønholt, J. et al., 2019. Tracing the environmental impact origin within the existing building portfolio of prevailing building typologies. *Paper. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, p. 352[1].
- Schwartz, Y., Raslan, R. & Mumovic, D., 2016. Implementing multi objective genetic algorithm for life cycle carbon footprint and life cycle cost minimisation: A building refurbishment case study. *Energy*, Årgang 97, p. 58-68.
- Schwartz, Y., Raslan, R. & Munovic, D., 2016. Implementing multi objective genetic algorithm for life cycle carbon footprint and life cycle cost minimisation: A building refurbishment case study. *Energy*, Årgang 97, pp. 58-68.
- Shadrama, F. et al., 2020. Exploring the trade-off in life cycle energy of building retrofit through optimization. *Applied Energy*, 269(115083).
- Strunge Jensen A/S and Realea A/S, 2009. Energirenovering i fredede bygninger: afdækning af muligheder for implementering af energibesparende tiltag i fredede bygninger med afsæt i det fredede bygningskompleks Fæstningens Materialgård : eksempelprojekt : midtvejsrapport, s.l.: s.n.
- Strunge Jensen A/S and Realea A/S, 2009. Energirenovering i fredede bygninger: afdækning af muligheder for implementering af energibesparende tiltag i fredede bygninger med afsæt i det fredede bygningskompleks Fæstningens Materialgård : eksempelprojekt : midtvejsrapport. s.l.:Realea.
- Säynäjoki, 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):034037.
- Sørensen, L. H. H. & Mattson, M., 2020. Analyse af CO₂-udledning og totaløkonomi i renovering og nybyg, s.l.: Rambøll.
- Teknologisk Institut, 2021. Graddage - Hvad er graddage?.



[Online]

Available at: <https://www.teknologisk.dk/ydelser/graddage/hvad-er-graddage/492,3>

Thorne, R. J. et al., 2019. Using life cycle assessment to inform municipal climate mitigation planning. *Energy Policy*, 6, Volume 129, p. 173–181.

Tozan, B., Jørgensen, E. B. & Birgisdóttir, H., 2021. Klimapåvirkning fra 60 bygninger, Opdaterede værdier baseret på nyere data og danske branche EPD'er, s.l.: BUILD.

Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2021. Historisk bygningsreglementet [BR61 - BR15]. [Online]

Available at: <https://historisk.bygningsreglementet.dk/>

Tranfield, D., Denyer, D. & Smart, P., 2003. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review*. *British Journal of Management*, Årgang Vol 14, p. 207–222.

Unnerbäck, A., 2002. Kulturhistorisk värdering av bebyggelse. Uppsala: Riksantikvarieämbetets forlag.

VEB, 2010 [revideret 2019]. Energiløsning - Konvertering til fjernvarme, s.l.: Videncenter for Energibesparelser i Bygninger.

Villegas, R. R., Eriksson, O. & Olofsson, T., 2019. Life Cycle Assessment of Building Renovation Measures—Trade-off between Building Materials and Energy. *Energies*, 12(3), p. 344.

Wittchen, K. B. & Kragh, J., 2012. Danish building typologies: Participation in the TABULA project. *SBI* Vol. 2012 No. 1.

Wohlin, C., 2014. Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and a Replication in Software Engineering. *EASE '14: Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, pp. 1-10.

Worm, A. S. et al., 2016. Branchevejledning i LCA ved renovering, s.l.: Teknologisk Institut.

Wrålsen, B., O'Born, R. & Skaar, C., 2018. Life cycle assessment of an ambitious renovation of a Norwegian apartment building to nZEB standard. *Energy & Building*, Årgang 177, pp. 197-206.

Zumsteg, J. M., Cooper, J. S. & Noon, M. S., 2012. Systematic Review Checklist. *Journal of Industrial Ecology*, 4, Årgang 16, p. S12–S21.

ÖKOBAUDAT, 2020. ÖKOBAUDAT. [Online]

Available at: <https://www.oekobaudat.de/>
[Senest hentet eller vist den 2021].

Bilag 1

Søgestrategier

Litteraturstudiets søgestrategi er baseret på et udvalg af tema- og søgeord afledt af forskningsspørgsmålet. Den overordnede søgestrategi har været at foretage en bred søgning for at indkredse mest mulig relevant litteratur. Strategien omfatter også et valg af søgemaskiner samt sproglig og geografisk afgrænsning.

Endvidere blev søgestrategien afprøvet og justeret med en række pilotsøgninger, inden den endelige søgning blev iværksat.

Søgeblokke

Litteratursøgningen tager udgangspunkt i tre søgekategorier: bygningstype, indgreb og påvirkning. Temaordene er en fortolkning af nøgleord og -begreber i forskningsspørgsmålet.

Disse temaord danner udgangspunkt for genereringen af en række synonymer og beslægtede søgeord, der tilsammen danner en bruttoliste af ord, som har været basen for de søgeblokke, der er blevet anvendt i den endelige søgning i databaserne (se figur herunder). Efter justering af søgeblokken gennem pilotsøgninger blev bruttolisten oversat til engelsk, svensk og norsk (se figurer herunder). I forhold til de engelske søgeord er ordet CO₂-eq. fravalgt, fordi pilotsøgningerne viste, at dette ord bidrog til mange irrelevante publikationer. Herudover forekommer der sproglige variationer i forbindelse med oversættelserne. For eksempel bliver der på engelsk anvendt flere ord i forbindelse med omdannelse af bygningsmassen, end der anvendes på dansk. Bruttolisterne er derfor udvidet der, hvor det viste sig relevant.

Dansk

Tema	Bygningstype	Indgreb	Påvirkning
boolske Op	AND ->		
O	Bevaringsværdig bygning	renovering	Livscyklusanalyse
R	Historisk bygning	Modernisering	CO ₂ -ækvivalent
I	Bevaringsværdi	transformering	livscyklusvurdering
v	Bevaring	restaurering	LCA
	Eksisterende bygning	rehabilitering	

Engelsk

Tema	Building	Intervention	Impact
boolske Op	AND ->		
O	Preservable building	renovation	life cycle analysis
R	historic building	modernisation	life cycle assessment
I	Preservable value	transformation	LCA
v	existing building	restoration	
	heritage building	refurbishment	
		retrofit rehabilitation	
		conservation	



Svensk

Aspekt/tema	Byggnad	Ingripande	Påverkan
boolske Op	AND ->		
O	Bevarande byggnad	renovering	livscykelanalys
R	historisk byggnad	Modernisering	CO ₂ -ekvivalent
I	kulturhistoriskt värde	transformering	Livscykelberäkning
v	bevarande	restaurering	LCA
	kulturminne	ombyggning	
	Existerande byggnad	uppgradering	

Norsk

Aspekt/tema	Bygning	Intervensjon	Påvirkning
boolske Op	AND ->		
O	kulturminne	renovering	livssyklusanalyse
R	kulturminne	ombyggning	klimafotavtryk
I	kulturminne	transformering	livsløpsanalyse
v	kulturminne	Restorasjon	LCA
	kulturminne	ombyggning	klimagassutslip
	kulturarv	oppgradering	klimagassregnskap



Søgemaskiner og databaser

Kriterier for valg af søgemaskiner til studiet har været, at disse kan identificere videnskabeligt materiale i form af fagfællebedømte artikler, faglige rapporter og "grå litteratur". De valgte søgemaskiner omfatter Web of Science [Clarivate, 2021], Engineering Village [Elsevier, 2021] og Scopus [Elsevier, 2021], som tilsammen giver en bred adgang til forskningsartikler publiceret i internationalt anerkendte videnskabelige tidsskrifter og konferencenserier. Desuden er der foretaget søgninger i følgende danske forskningsdatabaser:

vbv.aau.dk	[Aalborg Universitet]
pure.au.portal	[Aarhus Universitet]
orbit.dtu.dk	[DTU]
adk.elsevier.pure.com	[Forskningsinstitutioner i arkitektur, design og konservering]
https://forskning.ku.dk/soeg/	[Københavns Universitet]
forskning.ruc.dk	[Roskilde Universitet]
portal.findresearcher.sdu.dk	[Syddansk Universitet]

Endvidere er der søgt i de nordiske databaser www.cristin.no og www.swepub.kb.se, som indeholder materiale publiceret af henholdsvis norske og svenske forskningsinstitutioner. Den grå litteratur afdækkes med søgning i Opengrey, Google Scholar, som også ville være en relevant database for grå litteratur, er fravalgt pga. sine søgetekniske begrænsninger, hvor visninger kan ændre sig trods identiske søgninger. Dette strider grundlæggende imod ideen bag SLR, som skal være transparent og kontrollerbart. Derudover er der i litteratursøgningens supplerende metode, Snowball Approach, søgt i:

www.bibliotek.dk	[Danske Biblioteker]
www.trafikstyrelsen.dk/da/	
Generelt/Lister/Publikationsliste	[Trafikstyrelsen]
Publikationer [slks.dk]	[Slots- og Kulturstyrelsen]
https://realdania.dk/viden	[Realdanias publikationer]

Der er søgt på henholdsvis engelsk, dansk, norsk og svensk, som er projektets geografiske afgrænsning. De danske videnskabelige institutioners søgemaskiner, som er faciliteret af

forlaget Elsevier, er alle bygget op på samme måde og kan derfor anvendes nogenlunde ensartet. Det samme gør sig gældende for Web of Science, Engineering Village og Scopus. De øvrige søgemaskiner har individuelle opbygninger. Disse forskelle i søgemaskinernes opbygning har betydet, at det ikke var muligt at anvende ens søgeblokke på alle søgemaskiner. Søgeblokkene er derfor tilpasset til de specifikke søgemaskiner for at målrette søgningerne bedst muligt. Se bilag 2 for refleksioner over de anvendte søgedatabaser.

Søgeresultater fra Web of Science, Engineering Village, Scopus, Bibliotek.dk og SwePub blev eksporteret til Covidence, som er software designet til at udføre systematiske reviews, hvor fremsøgte resultater kan uploades og screenes af flere parter. Søgeresultater fra de øvrige databaser blev eksporteret til Excel, fordi eksportmulighederne ikke var egnede til viderebehandling i Covidence. Herudover er resultater fra Cristin, Realdania, Trafikstyrelsen og Kulturstyrelsen manuelt indtastet i Excel, da disse databaser ikke har eksportmuligheder.

Covidence og Excelarket har dannet udgangspunkt for screeningen af de enkelte teksters relevans.

³⁴ Grå litteratur kan indeholde relevante eksempler og casestudier. Den grå litteratur kan bidrage konstruktivt til SLR i forhold til at opnå et nuanceret billede af fokusområdet, fordi den minimerer tendensen til primært at fokusere på positive forskningsresultater [Paez, 2017]. Derudover antages det, at der inden for forskningsområdet kan være megen latent viden i den udførende del af byggebranchen, som muligvis er udgivet i andre formater end fagfællebedømte fora.



Bilag 2

Refleksioner over databaser

Herunder fremgår en række refleksioner, som blev identificeret i forbindelse med brugen af de forskellige databaser.

Database	Refleksioner
Web of Science, Engineering Village og Scopus	I forbindelse med litteratursøgningen på de tre internationale litteraturdatabaser Web of Science, Engineering Village og Scopus blev det i "pilot-søgningen" erfaret, at det var nødvendigt at tilføje alle de tematiske søgeblokke for at konkretisere søgningen. De tre databaser har alle lettilgængelig og velbeskrevet information om opbygning af søgestrengene, desuden er udtræk i forskellige filformater muligt, således at litteraturen fra de forskellige databaser nemt kan organiseres.
ADK, AAU, AU, KU, RUC, SDU og DTU forskningsdatabaser [Elsevier]	<p>Alle forskningsdatabaserne er alle understøttet af Elsevier (pure) og har derfor samme søgefunktioner. Databaserne kan ikke tage to søgestreng, hvorfor emneordsafsøgningen i disse databaser er gjort under temaord "bygningstype" i kombination med hvert enkelte temaord i kategorien "påvirkning". Samme fremgangsmåde er derefter brugt på søgestrengen med temaord fra "indgreb" i kombination med hvert enkelt søgeord fra temaord-kategorien "påvirkning". På AAU's database måtte der foretages en yderligere justering, da BUILD og SBI, som har lavet omfattende forskning på LCA og bygninger, er indlejret heri. For at optimere søgningen i forhold til eksisterende bygninger og ikke nybyggeri, måtte søgeordet 'building' tages ud af søgestrengen. Søgningerne er foretaget på dansk og engelsk.</p> <p>I databaserne DTU, RUC og SDU er der søgt med to temaord, 'påvirkning' og 'indgreb' eller 'bygningstype' i kombination med 'building', da søgningerne ellers gav et stort antal irrelevante hits.</p> <p>På trods af at alle databaserne leveres af Elsevier, og søgningerne i DTU, RUC og SDU blev foretaget på præcis samme måde, bemærkes det, at søgningerne i RUC gav et langt større antal (irrelevante) hits end de to øvrige databaser.</p> <p>For alle søgninger gælder, at søgeresultaterne er eksporteret til Excel.</p>
Bibliotek.dk	På bibliotek.dk er søgestrengen igen tilpasset databasen i henhold til beskrevne anbefalinger på hjemmesiden. Søgningen er foretaget på både dansk og engelsk, men er tilpasset individuelt for at fremsøge relevant materiale. Et overordnet udtræk er ikke muligt, udtrækket foregår ved individuel udvælgelse af relevant materiale, hvorefter et udtræk til referenceværktøjer er muligt.
Realdania	I forbindelse med litteratursøgningen hos Realdania har det været nødvendigt at tilpasse søgestrengen for at fremsøge relevante publikationer, dog var information om opbygning af søgestreng ikke umiddelbart tilgængelig. I forhold til databasens størrelse er alle søgeord derfor brugt individuelt, hvorefter relevante publikationer er udvalgt og udtrukket manuelt, da et udtræk af de fremsøgte publikationer til referenceværktøjer, for eksempel EndNote, ikke var muligt.
Opengrey.eu	Databasen kan tage flere søgestreng, hvorfor søgningen her er gjort med to temaord i kombination. Databasen indeholder abstracts og keywords på originalt sprog og på engelsk, hvilket forårsager flere gengangere af hits på grund af sproglige variationer. Særligt har temaordene i kategorien 'påvirkning' mange variationer på originalt sprog og på engelsk. Søgningerne er foretaget på dansk og engelsk.
Swepub.kb.se	Databasen kan tage flere søgestreng, hvorfor søgningen her er gjort med to temaord i kombination. Søgningerne er foretaget på svensk og engelsk.
Cristin.no	På norsk er der søgt på to temaord i kombination; 'påvirkning' og 'bygningstype'. På engelsk er der ligeledes søgt på tre temaord i kombination, eksempelvis 'påvirkning', 'building' og 'indgreb' samt 'påvirkning' og 'bygningstype', idet 'building' har reduceret mængden af irrelevante hits. Det er ikke muligt at lave udtræk af søgningerne til referenceværktøjer eller Excel, hvorfor resultaterne er indtastet manuelt i Excelark og derefter screenet.



Bilag 3

Screeningsskema

Navn, navn (År), titel, udgiver

Lokation for case:

Læst/vurderet af:

Resumé
...
Bevaringsværdi (arkitektobisk værdi, kulturhistorisk værdi, byggeteknik, tilstand, metode for værdisætning)
...
LCA (livstid, referenceperiode, moduler, faser, eksisterende materiale, nye materialer, hvilket miljøpåvirkning påvirkes)
...
Bygningsarbejder (tiltag udført, tiltag beregnet, erfaringer)
...
Andet (guldkorn, betænkninger, forfattere, rapporter, metoder)
...
Kategorisering (hvid, grå, lysegrå, mørkegrå)
...
Vurdering af relevans
...



Bilag 4

Mekanisk ventilation med varmegenvinding

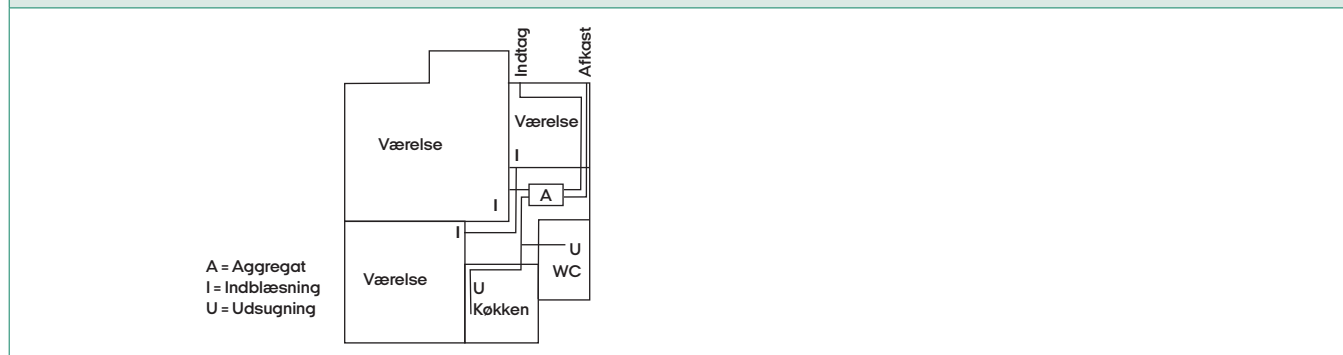
Mekanisk ventilation med varmegenvinding – Decentral løsning

Beskrivelse: Aggregatet placeres i entréen (over nedhægtloft) af lejligheden, hvorfra kanalerne fordeles og afgrenes til de enkelte rum. Der indblæses i de tre værelser og udsuges fra badeværelse og køkken. Ventilationsløsningen tager udgangspunkt i en lejlighed på 80 m².

Komponenter	Dimension	Materiemængder [kg pr. lejlighed]				
		Galvaniseret stålplade	Plastik	Mineraluld	Polyeten	Aggregat
Indtag rist	Ø160	0,3				
Afkast rist	Ø160	0,3				
Aggregat	130 m ³ /h					41,0
Indblæsningsventil	Ø100		0,8			
Udsugningsventil	Ø100		0,6			
Lyddæmper	Ø160	19,3		5,5		
Lyddæmper	Ø100	2,8		2,1	0,1	
Kanal*	Ø160	36,8				
Kanal*	Ø100	11,9				
Isolering	Ø160			15,2		
SUM pr. lejlighed		71,3	1,4	22,8	0,1	41,0

*Kanalængder ganges med 1,3 for at tage højde for bøjninger, nipler og reduktioner mv.

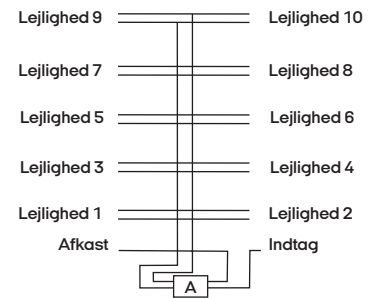
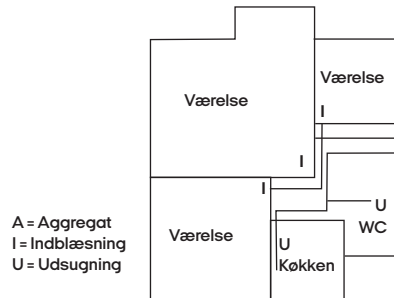
Føringsveje skitse – Decentral løsning





Mekanisk ventilation med varmegenvinding – Central løsning						
Beskrivelse: Aggregatet placeres i kælderen, hvorfra kanalerne fordeles og afgrenses til de enkelte lejligheder via skakte. Samme fordelingsprincip i lejlighederne som ved den decentrale løsning. Ventilationsløsningen tager udgangspunkt i 10 lejligheder på 80 m ² .						
Komponenter	Dimension	Materiemængder [kg for 10 lejligheder]				
		Galvaniseret stålplade	Plastik	Mineraluld	Polyeten	Aggregat
Indtag rist	Ø315	1.1				
Afkast rist	Ø315	1.1				
Aggregat	1300 m ³ /h					265.0
Lyddæmper	Ø315	86.4		9.2		
Kanal*	Ø315	232.8				
Kanal*	Ø250	21.0				
Kanal*	Ø200	36.7				
Isolering	Ø315			83.1		
SUM for 10 lejligheder		379.1	0.0	92.4	0.0	265.0
		Materiemængder [kg pr. lejlighed]				
Indblæsningsventil	Ø100		0.8			
Udsugningsventil	Ø100		0.6			
Lyddæmper	Ø100	2.8		2.1	0.1	
Kanal*	Ø160	36.8				
Kanal*	Ø100	11.9				
Spjæld	Ø160	3.6				
Samlet SUM pr. lejlighed		93.0	1.4	11.3	0.1	26.5

*Kanalængder ganges med 1,1 for at tage højde for bøjninger, nipler og reduktioner mv. på hovedføringsvejene og 1,3 inde i de enkelte lejligheder.

**Føringsveje skitse - Central løsning**



LCA-levetider under 50 år

Vinduer

LCAByg byggevare	Levetid
Glas 3 mm	25
Termorude 2x4 mm, Argonfyldt	25
3-lags-rude	25
Overflade, Vinduesmaling, hvid	15

Varmeforsyning

LCAByg byggevare	Levetid
Fjernvarmeanlæg [20-120 kW]	30
Gaskedel, kondenserende, 20-120 kW	30

Mekanisk ventilation

LCAByg byggevare	Levetid
Ventilationsaggregat m. varmegenvinding	25
Plastplade, transparent, PVC	40

Ydervæg

LCAByg byggevare	Levetid
Overflade, facademaling, akrylmaling	15
Overflade, facademaling, silikat	15
Materialer til affugter [Boksventilation 5000 m ³ /h, Stål (varmgalvaniseret stålplade), Glasfiber-forstærket plast (polyester)]	25

Etagedæk

LCAByg byggevare	Levetid
Overflade, facademaling, akrylmaling	15

Tagkonstruktion

LCAByg byggevare	Levetid
Tagpap, bitumen toplag, skiferbestrøet	20
Tagpap, bitumen undermembran	20

De øvrige anvendte materialer i forbindelse med LCA-beregningerne forudsattes derfor at have en levetid på 50 år eller mere, dvs. at disse materialer ikke udskiftes i løbet af betragtningsperioden på 50 år.

som er projektets geografiske afgrænsning. De danske videnskabelige institutioners søgemaskiner, som er faciliteret af betragtningsperioden på 50 år.



