



BygherrePartner ApS
CVR 41232234

EFTERISOLERING

miljømæssige konsekvenser ved overholdelse af BR18
krav til renovering og ombygning af ydervæg og tag

Rapport, 2021



EFTERISOLERING

miljømæssige konsekvenser ved overholdelse af BR18 krav til reovering og ombygning af ydervæg og tag

Rapport
December, 2021

Udarbejdet af
Mikkel Toke Brivio Volden

Copyright: Reproduction of this publication in whole or in part must include the customary bibliographic citation, including author attribution, report title, etc.

Cover photo: www.tilbud-termografi.dk

Published by: BygherrePartner ApS, CVR 41232234
Lombjergervej 1, 5750 Ringe, Denmark
www.BygherrePartner.dk

English abstract

In the Danish building regulations, BR18, there are specific requirements to the amount of insulation when renovating. The insulation work must always be carried out to the extent that is profitable – from an economic perspective. With an increasing focus on reducing climate impacts from the building sector and the forthcoming requirements to carbon footprint for new buildings from 2023, it is relevant to examine the environmental payback time in relation to carbon footprint for different levels of insulation when the requirements in BR18 are to be met.

The study uses life cycle assessments (LCA) of the insulation work and production of a heat source to assess the environmental consequences and to determine the payback time in relation to carbon footprint. LCA is also used to calculate environmental impacts associated with the production and supply of heat based on dynamic energy scenarios for electricity and district heating (projections from the Danish Energy Agency).

The results clearly show that over the entire period of 40 years considered, the requirements in BR18 §279 are always profitable in relation to the carbon footprint. Furthermore it turns out that often the requirements in BR18 are more profitable than the stricter requirements in the low-energy class. The extra savings achieved for the heating demand in the low-energy class cannot pay the higher costs associated with extra insulation work compared to the BR18 requirements. In certain situations, however, an even smaller carbon footprint is obtained by not living up to the requirements of BR18.

The payback time for the insulation work (considering the carbon footprint) varies from 4 years and all the way up to 36 years depending on the construction's existing amount of insulation and type of heat source.

The study works with the same two amounts of existing insulation in all cases which means that the building components live up to the historical requirements in BR61/72 before the renovation. As the amount of existing insulation has a big influence on the payback time, this is a limitation of the study and a prerequisite for all the results.

Dansk abstract

I det danske bygningsreglement, BR18, er der specifikke krav til niveau af efterisolering for forskellige bygningsdele. Efterisoleringsarbejdet skal altid udføres i det omfang det er *rentabelt*, set ud fra et totaløkonomisk perspektiv.

Med et stadigt stigende fokus på at reducere klimabelastningen fra byggesektoren og de kommende CO₂-krav til nybyggeri fra 2023, er det relevant at undersøge netop tilbagebetalingstiden ift. CO₂-aftryk for forskellige niveauer af efterisolering, når kravene i BR18 skal opfyldes.

I studiet anvendes livscyklusvurderinger (LCA) af efterisoleringsarbejdet og produktion af et forsyningsanlæg til at vurdere de miljømæssige konsekvenser og til at bestemme tilbagebetalingstiden ift. CO₂-aftryk. LCA bruges også til at beregne miljøpåvirkninger forbundet med produktion og levering af varme med udgangspunkt i dynamiske energiscenarier for elektricitet og fjernvarme (fremskrivninger fra Energistyrelsen).

Set over hele betragtningsperioden, viser resultaterne entydigt, at kravene i BR18 §279 altid er rentable ift. CO₂-aftrykket. Yderligere viser det sig ofte, at kravene i BR18 er mere rentable end de strengere krav i lavenergiklassen. Den ekstra besparelse der opnås i driften i lavenergiklassen kan ikke betale de højere omkostninger forbundet med ekstra efterisoleringsarbejde ift. BR18 kravene. I visse situationer opnår man dog et endnu mindre CO₂-aftryk ved ikke at leve helt op til kravene i BR18.

Tilbagebetalingstiden for efterisoleringsarbejdet svinger fra 4 år og helt op til 36 år, afhængigt af konstruktionens udgangspunkt og type af varmekilde.

I studiet arbejdes der altid med det samme udgangspunkt for den eksisterende isolering, som betyder at bygningsdelen lever op til de historiske krav i BR61/72 før renoveringen. Udgangspunktet har stor betydning for tilbagebetalingstiden og dette må derfor ses som en begrænsning i studiet og en forudsætning for alle resultaterne.

Indhold

Abstract	ii
Forkortelser	vii
1 Introduktion	1
1.1 Problemformulering	2
1.1.1 LCA studie	2
1.1.2 Målgruppe	2
2 Teori	3
2.1 Efterisolering og renovering af den eksisterende bygningsmasse	3
2.1.1 BR18 energikrav til renovering og ombygning	4
2.2 Livscyklusvurdering	5
2.2.1 Livscyklusfaser i en LCA	5
2.2.2 Formål og Afgrænsning	5
2.2.3 LCA-software og databaser	6
2.2.4 Levetider og betragtningsperiode	8
2.3 Litteratur	8
2.3.1 SBI rapport om miljømæssige konsekvenser ved bygningsrenoveringer	8
2.3.2 Rambøll rapport om CO ₂ -udledning og totaløkonomi ved renovering og nybyg	9
2.3.3 BUILD rapport om klimaeffektiv renovering	10
2.3.4 Øvrig relevant litteratur	12
3 Metode	13
3.1 LCA Metode	15
3.1.1 Funktion, funktionel enhed (FU) og referenceflow	15
3.1.2 Systemgrænser	16
3.1.3 Fuldstændighedskrav	18
3.1.4 LCIA-metode	18
3.1.5 Datagrundlag	18
3.2 Beregning af miljøpåvirkninger i betragtningsperioden – fra efterisolering, drift og forsyningsanlæg	19
3.2.1 Miljøpåvirkninger fra efterisolering	19
3.2.2 U-værdier	21
3.2.3 Miljøpåvirkninger fra produktion af forsyningsanlæg	21
3.2.4 Miljøpåvirkninger fra opvarmning	23
3.3 Datagrundlag for fremskrivninger af energiscenarier	25
3.3.1 Fremskrivning af energimix for elektricitet og fjernvarme	25
4 Resultater og diskussion	26

4.1	Miljøpåvirkninger fra produktion af 1 kWh leveret varme	26
4.1.1	Klimapåvirkninger (<i>GWP</i>)	26
4.1.2	Giftige stoffer for mennesker (<i>HTP_c + HTP_{nc}</i>)	27
4.1.3	Brug af landarealer (<i>LOP</i>)	27
4.1.4	Udvikling i betragtningsperioden for de udvalgte miljøpåvirkningskategorier	28
4.2	Miljøpåvirkninger fra produktion af forsyningsanlæg	29
4.2.1	Beregning af andel fra produktion af forsyningsanlæg, som bidrager til resultaterne	29
4.3	Miljøpåvirkninger fra efterisoleringsarbejde	30
4.3.1	Efterisoleringsarbejde for ydervægge	30
4.3.2	Efterisoleringsarbejde for tag	32
4.4	Resultater for ydervægge	34
4.4.1	Introduktion til resultaterne	34
4.4.2	Bemærkning til resultaterne	35
4.4.3	Resultater for let ydervæg, Y 1.1	35
4.4.4	Resultater for let ydervæg, Y 1.2	40
4.4.5	Resultater for tung ydervæg, Y 2.1	41
4.4.6	Tung ydervæg, Y 2.2	42
4.5	Resultater for Tage	45
4.5.1	Introduktion til resultaterne	45
4.5.2	Bemærkning til resultaterne	45
4.5.3	Resultater for tag T 1 (loftrum)	46
4.5.4	Resultater for tag T 2 (skråvæg)	48
4.6	Diskussion af metodevalg og vurdering af sensitivitet for resultaterne	49
4.6.1	Væsentlige forskelle i metodevalg med BUILD rapport	49
5	Konklusion	51
5.1	Anbefalinger	52
	Litteraturliste	53
	Bilag	55
A	Supplerende resultater for ydervægge	55
A.1	Ydervæg, Y 1.2	55
A.2	Ydervæg, Y 2.1	57
A.3	Ydervæg, Y 2.2	58
B	Supplerende resultater for tage	60
B.1	Tag, T 1	60
B.2	Tag, T 2	61
C	Beregning af U-værdier	63
D	Varmebehov for ydervægge og tage	68
E	Ecoinvent parametre og processer	69

Forkortelser

AP	Forsuring (A cidification P otential)
BR	Det danske B ygning R eglement
BR18	Bygningsreglementet 2018 (aktuelt)
CO2 eq	CO2 ækvivalenter
DfD	Design for adskillelse (D esign for D isassembly)
DGNB	Certificeringsordning for bygninger (D eutsche G esellschaft für N achhaltiges B auen)
DS/EN 15978	Europæisk standard for udførelse af LCA på bygninger
DS/EN 15804	Europæisk standard for miljøvaredeklarationer (EPD) for byggevarer
EoL	Endt levetid (E nd of L ife)
EPD	Miljøvaredeklaration (E nvironmental P roduct D eclaration)
FOSS	F ree and O pen S ource S oftware (se www.itsfoss.com)
FU	Funktionel Enhed (F unctionel U nit)
GWP	Klimaforandringer (G lobal W arming P otential)
$HTP_c + HTP_{nc}$	H uman T oxicity P otential (C ancer / N on C ancer)
ILCD	I nternational L ife C ycle D ata system
IPCC	FN's klimapanel (T he I ntergovernmental P anel on C limate C hange)
ISO 14040	Standard som beskriver principper og struktur for LCA
ISO 14044	Standard som specificerer krav og vejleder for LCA
LCA	Livscyklusvurdering (L ife C ycle A ssessment)
LCI	Livscykluskortlægning (L ife C ycle I nventory analysis)
LCIA	Vurdering af miljøpåvirkninger i livscyklus (L ife C ycle I mpact A ssessment)
LOP	L and O ccupation P otential
OSS	O pen S ource S oftware (se www.opensource.com)
PEtot	P rimærenergiforbrug t otal
PV	P hoto V oltaics
VE	V edvarende E nergi

Kapitel 1

Introduktion

Bæredygtighed er kommet højt på dagsordenen inden for mange områder i samfundet. Dette skyldes især klimakrisen, som forårsager ekstreme vejrphenomener til fare for dyre- og menneskelivet på jorden. FN's klimapanel, IPCC, har i deres nyeste klimareport, "Climate Change 2021 – The Physical Science Basis" (IPCC m.fl. 2021), slået fast, at det er helt entydigt, at klimaforandringerne er menneskeskabte. En af konklusionerne er, at det stadig kan nås at afbøde klimakrisen, men det kræver at udledninger af drivhusgasser i atmosfæren bliver bremset øjeblikkeligt.

Byggesektoren har et enormt ansvar for globale drivhusgasudledninger. 39 % af alle globale drivhusgasudledninger er forbundet til byggesektoren (WorldGBC m.fl. 2019). Udledningerne stammer dels fra selve materialerne til konstruktionen og dels fra driften af bygningen igennem dens levetid. På verdensplan er ca. 70 % af udledningerne forbundet med driftenergi og 30 % direkte forbundet med materialer og konstruktion. Pga. de relativt strenge krav til driftenergi i det danske bygningsreglement (BR18), er fordelingen dog mere lige i Danmark. Det vil sige at materialevalg og konstruktioner har et større ansvar for drivhusgasudledninger og andre miljøpåvirkninger når der bygges energieffektive bygninger, som i Danmark.

Der er dog stor forskel på om der er tale om nybyggeri, som skal leve op til kravene for nybyggeri i BR18, eller en ældre bygning som renoveres eller ombygges. Behovet for tilført energi til drift af bygningen vil typisk fylde en meget større andel i et ældre byggeri, sammenlignet med nybyg, fordi der typisk er dårligere isoleret og dermed et større varmetab.

Renovering af den eksisterende bygningsmasse rummer et stort potentiale til at nedbringe klimaaftrykket fra bygningsdriften i Danmark.

Ved renoveringer er der krav i BR18 til hvad konstruktionen skal leve op til efter renoveringen. Der skelnes mellem tre forskellige situationer:

1. Reparationer
2. **Ombygning** (fokusset i denne rapport)
3. Udskiftning,

hvor *Reparationer* dækker over mindre ændringer, der ikke udløser krav om gennemførelse af energibesparelser.

Ombygning omhandler renovering/ombygning af enkelte bygningsdele og er fokusset i denne rapport. Ved ombygninger skal den renoverede bygningsdel efterisoleres op til kravene i BR18 i det omfang det er rentabelt.

Udskiftning af bygningsdele, som f.eks. en hel tagkonstruktion inkl. tagdækning, spær, isolering og loft, hvor den udskiftede bygningsdel skal leve op til kravene i BR18 §279 med specifikke krav til U-værdier (se Tabel 2.2).

1.1 Problemformulering

Denne rapport betragter *ombygninger* og de miljømæssige omkostninger forbundet med efterisolering af 1 m² ydervæg/tag over en betragtningsperiode på 40 år¹.

Resultaterne er en sum af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet, energibehovet til opvarmning (drift) samt et bidrag fra produktionen af et forsyningsanlæg. De forskellige energikilder som betragtes (fjernvarme, el og biomasse), er baseret på beregninger for miljøaftrykket med udgangspunkt i Energistyrelsens fremskrivninger for el og fjernvarme frem til år 2030. Disse fremskrivninger påvirker miljøpåvirkningerne år for år, eftersom der forventes at være en stigende andel af vedvarende energi i energimixet i fremtiden.

Dette studie svarer på spørgsmålet:

Er kravene til efterisolering i BR18 §279 for ombygning og renovering CO₂-mæssigt rentable ift. den opnåede besparelse til driften, som følge af reduceret varmebehov, set over hele betragtningsperioden på 40 år for rentabilitetsberegninger?

Det diskuteres hvorvidt bygningsreglementet i fremtiden bør beregne rentabiliteten for renoveringer ud fra to parametre:

- **Pris** ud fra gældende metode i BR18 med en rentabilitetsberegning
- **CO₂-aftrykket** for renoveringsarbejde, produktion af forsyningsanlæg samt drift (med dynamiske energiscenarier jf. Energistyrelsens fremskrivninger for elektricitet og fjernvarme),

så at der ikke kun vurderes på hvornår en efterisolering kan betale sig i kroner og øre, men også hvornår den kan betale sig i forhold til besparelser på CO₂-aftrykket.

Dette vil kunne bidrage til at skabe mindre miljøbelastende energirenoveringer og efterisoleringer af den eksisterende bygningsmasse i fremtiden.

1.1.1 LCA studie

Denne rapport udgør et sammenlignende LCA studie. Formålet med resultaterne er at redegøre for eventuelle forskelle i optimum for hhv. totaløkonomisk rentabilitet og CO₂-aftryk i forbindelse med efterisolering af ydervæg og tag i Danmark i 2021.

Beslutningskonteksten er situation C1, da analyserne ikke danner baggrund for beslutninger i hverken en konkret renovering eller et konkret forslag til ændringer i bygningsreglementet.

Resultaterne kan bruges som inspiration til, at der skal være et øget fokus på miljøpåvirkninger i bygningsreglementet i fremtiden.

1.1.2 Målgruppe

Målgruppen er primært folk med interesse i miljøpåvirkninger forbundet med renovering og efterisolering. Ligeledes beslutningstagere inden for det danske bygningsreglement, som kan blive inspireret af studiet til at øge fokus på miljøpåvirkninger i bygningsreglementet i fremtiden.

¹jf. BR18-krav til betragtningsperiode for renovering af ydervæg/tag

Kapitel 2

Teori

2.1 Efterisolering og reovering af den eksisterende bygningsmasse

Denne rapport omhandler *ombygninger* hvor en bygningsdel renoveres eller bygges om. Der er krav i BR18 om at efterisolere *op til* kravene for U-værdier jf. §279 (se Tabel 2.2), men kun i det omfang det er *rentabelt* ud fra en totaløkonomisk betragtning. Hvis efterisolering af en tagkonstruktion, så den opfylder kravene til U-værdi, f.eks. kræver påføring af nye spær og at det af den grund ikke længere er rentabelt, så bortfalder kravet om efterisolering i det omfang det ikke er rentabelt. Definitionen af hvornår arbejdet er rentabelt fremgår af Formel 2.1.

En ad grundende til at der er krav om efterisolering i forbindelse med både *ombygning* og *udskiftning*, er for at optimere energiforbruget på ældre byggerier, så at de opnår et lavere behov til driftenergi (opvarmning).

Energien til bygningsdrift i Danmark er typisk kommet fra fossile kilder som olie, kul og naturgas. I kølvandet på energikrisen i 1973, hvor olie udgjorde 90 % af energiforbruget i Danmark, blev det meget relevant at begrænse energiforbruget i samfundet – heriblandt til bygningsdriften. Dette afspejles også i de historiske krav i Bygningsreglementet, hvor bl.a. kravene til U-værdier for ydervæg og tag blev skærpet markant i årene 1972–1977, se Tabel 2.1.

Version	Tag	Ydervæg (tung)	Ydervæg (let)	
BR61	0.40	1.00	0.60	$[W/m^2 \cdot K]$
BR72	0.45	1.00	0.60	$[W/m^2 \cdot K]$
BR77	0.20	0.40	0.30	$[W/m^2 \cdot K]$
BR85	0.20	0.35	0.30	$[W/m^2 \cdot K]$

Tabel 2.1: Historiske krav til U-værdier i bygningsreglementet for tag og ydervæg

Denne historiske grund til at mindske energiforbruget, fordi landet var afhængigt af olie, er i de seneste år blevet erstattet af stigende udfordringer med klimakrisen og global opvarmning. Det betyder at fokus i dag er flyttet til at begrænse CO₂-aftrykket og udbygning af vedvarende energikilder.

Heldigvis er der sket meget siden 1972 og i dag er en stor del af vores energiforsyning baseret på vedvarende energi. Denne positive udvikling forventes at fortsætte de kommende årtier, således at størstedelen af alt energi stammer fra vedvarende energikilder inden for de næste 10–20 år (Energistyrelsen 2021a).

Udviklingen af vedvarende energi i fremtiden betyder dog, at efterisolering produceret på (delvis) fossil energi i dag, skal fortrænge vedvarende energi til bygningsdrift i fremtiden. Der opnås naturligvis et lavere energibehov når der efterisoleres, men hvor besparelsen tidligere primært var på fossile energikilder (som olie, kul og naturgas) til opvarmning, så er det i dag og især i den nærmeste fremtid en besparelse af vedvarende energi man opnår ved at efterisolere.

Det gør det relevant at undersøge hvorvidt kravene i BR18 til renovering og efterisolering er rentable i en CO₂-mæssig kontekst. Derudover er det vigtigt at tage højde for den udvikling der sker de kommende 10–20 år inden for el- og fjernvarmeproduktion ved brug af Energistyrelsens fremskrivninger og dynamiske energiscenarier.

2.1.1 BR18 energikrav til renovering og ombygning

Kravene i det aktuelle bygningsreglement, BR18, for ombygning og renovering af ydervæg og tag fremgår af Tabel 2.2.

	Tag	Ydervægge	
Krav til U-værdi	0.12	0.18	$[W/m^2 \cdot K]$

Tabel 2.2: Mindstekrav til U-værdier for bygningsdele i BR18 §279

Kravene skal dog kun efterleves i det omfang det er *rentabelt*. Det betyder, at ved efterisoleringsarbejde som f.eks. kræver en større ombygning af ydervæg eller tagkonstruktion og dermed ikke er rentabelt, bortfalder kravene i § 279. Dog er der stadig krav om at efterisolere i det omfang det er rentabelt.

Definitionen af hvornår arbejdet er rentabelt er når følgende sætning er sand:

$$\frac{\text{levetid} \cdot \text{aarlig besparelse}}{\text{investering}} > 1.33 \quad (2.1)$$

Dvs. hvis levetiden gange den årlige besparelse divideret med investeringen er større end 1.33, så skal tiltaget gennemføres. Selvom det i nogle situationer ikke er rentabelt at efterisolere op til kravene i § 279 i BR18, så er der altid krav om at efterisolere i det omfang det kan betale sig (jf. formel 2.1).

Renoveringsklasser

Ved renovering af eksisterende bygninger findes der to renoveringsklasser i bygningsreglementet. Der gælder følgende krav ved anvendelse af renoveringsklasserne for boliger:

- **Renoveringsklasse 2** når det samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand pr. m² opvarmet etageareal ikke overstiger 70,0 kWh/m² pr. år tillagt 2.200 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal
- **Renoveringsklasse 1** når det samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand pr. m² opvarmet etageareal ikke overstiger 52,5 kWh/m² pr. år tillagt 1.650 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal.

2.2 Livscyklusvurdering

En livscyklusvurdering (LCA) beskriver hele et produkt/systems livscyklus – det vil sige helt fra udvinding af råstoffer til efter endt levetid hvor et produkt typisk bliver transporteret til sortering/affaldsbehandling for derefter at blive genanvendt, afbrændt eller deponeret.

En livscyklusvurdering (LCA) består af fire trin:

1. **Formål og afgrænsning** (*goal and scope*)
2. **Kortlægning** (*inventory analysis*)
3. **Vurdering af miljøpåvirkninger** (*impact assessment*)
4. **Fortolkning** (*interpretation*)

En LCA er en iterativ proces hvor det ofte vil være nødvendigt at gentage flere af trinnene.

Der findes to internationale standarder for LCA'er: ISO 14040 2008 som beskriver principper og struktur samt ISO 14044 2008 der specificerer krav og vejleder.

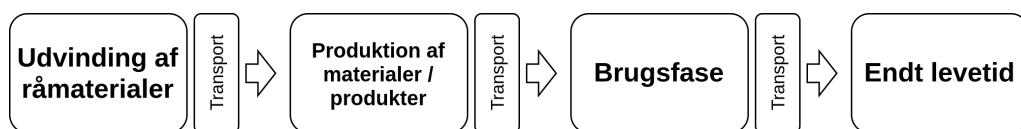
En videreudvikling af disse to standarder, med mere specifikke beskrivelser og vejledninger af kravene til LCA, findes i "International Life Cycle Data system" (ILCD 2010) for større sammenhæng og kvalitetssikring ved anvendelse af LCA. Disse standarder bør altid følges ved udførelse af en LCA-beregning.

Inden for byggesektoren følges normaltvis den europæiske standard DS/EN 15978 2012, som beskriver beregningsmetoden for vurdering miljømæssige kvaliteter inden for byggeri og anlæg, samt DS/EN 15804 2019 der beskriver grundlæggende regler for beregning af byggevarer – heriblandt EPD'er.

Det kan være omfattende at forstå de mange krav til en korrekt LCA-beregning og hvordan den bør udføres. Udover de nævnte standarder for udførelse af en LCA kan "Life Cycle Assessment – Theory and Practice" (Hauschild, Rosenbaum og Olsen 2018) bruges til at sikre, at rigtig metode for god LCA-praksis efterleves.

2.2.1 Livscyklusfaser i en LCA

En LCA vurderer forskellige faser igennem hele livscyklussen for et produkt/system, se Figur 2.1.



Figur 2.1: Livscyklusbetragtning i en LCA, jf. ISO 14040 2008.

2.2.2 Formål og Afgrænsning

En livscyklusvurderings formål og afgrænsning skal defineres klart og skal være i overensstemmelse med den tilsigtede anvendelse. Dette er for at øge gennemsigtigheden af LCA-studiet og samtidig gøre både udøveren og modtageren opmærksom på metodiske valg og afgrænsninger studiet indbefatter.

På grund af livscyklusvurderingens iterative natur kan afgrænsningen skulle justeres undervejs af vurderingen.

ISO 14044 2008 definerer hvilke punkter formål og afgrænsning for rapporten skal indeholde:

1. **Formål** med rapporten. Dette inkluderer den tilsigtede anvendelse af resultaterne, målgruppe og om resultaterne påtænkes at blive anvendt i sammenlignende påstande, beregnet til offentliggørelse

2. **Produktsystemet** som vurderes – inklusiv en beskrivelse af den *funktionelle enhed*
3. **Systemgrænse** som definerer hvilke enhedsprocesser der indgår i LCA'en
4. **Fuldstændighedskrav** som beskriver målet for hvor detaljeret LCA-studiet forventes at være, før at der kan drages konklusioner af resultaterne
5. **LCIA-metode** med beskrivelse af hvilken LCIA-metode som benyttes samt hvilke miljøpåvirkningskategorier som analyseres og fortolkes
6. **Allokeringsmetode** hvor fremgangsmåde ved multi-funktionelle processer beskrives
7. **Datakrav** med beskrivelse af kravene til data samt vurdering af kvaliteten af den benyttede data – herunder hvilke antagelser der er gjort i studiet
8. **Kritisk review** som beskriver hvorvidt dette er nødvendigt. I udgangspunktet skal der altid udføres et kritisk peer-review såfremt resultaterne skal bruges til at træffe beslutninger ud fra

2.2.3 LCA-software og databaser

LCA-beregninger laves normalt i et dedikeret LCA-software. Der findes mange forskellige software-løsninger; både software som er dedikeret til byggebranchen eller andre specifikke brancher, men der findes også software som kan bruges til de fleste produkter og systemer – f.eks. openLCA¹ der er en gratis og open source software (FOSS). Softwaren bruges sammen med en database – f.eks. Ökobaudat² eller Ecoinvent³.

LCIA-metode

LCIA-metoden vælges gennem LCA-softwaren der benyttes til beregningen. LCIA er en vurdering af miljøpåvirkninger i produktets/systemets livscyklus. LCIA-metoden kategoriserer og karakteriserer livscykluspåvirkninger af strømme (*flows*) til og fra miljøet. Derudover definerer LCIA-metoden systemgrænsen for analysen, den funktionelle enhed (volume/masse/formål med objektet der skal vurderes) og specifikke LCIA-metoder som valg af allokeringsmetode.

Miljøpåvirkningskategorier

Der findes en lang række miljøpåvirkningskategorier som kan inkluderes i en LCA. Heraf er den mest kendte og omdiskuterede *klimapåvirkninger*, som opgøres i udledningen af drivhusgasser i *kg CO₂ eq*. Drivhusgasser er således en samlet betegnelse for alle de gasser, som har den samme effekt på atmosfæren og medvirker til global opvarmning. Disse bliver karakteriseret og samlet i en såkaldt midtpoint kategori kaldet *Climate Change* (GWP).

Drivhusgasser medvirker til opvarmning af kloden, hvilket medfører forandringer i økosystemer med bl.a. ekstreme vejrphenomener til følge. Politisk set har denne miljøpåvirkningskategori meget stor fokus, da det generelt er i alle levende væseners interesse, at få bremsede klimaforandringerne inden konsekvenserne bliver uoverskuelige.

Figur 2.2 viser et eksempel på 15 såkaldte *midpoint* kategorier, som er karakteriserede miljøpåvirkningskategorier der alle medvirker til belastning af de tre "areas of protection" eller *endpoint* kategorier. *Endpoint* kategorierne udtrykker tre overordnede systemer som bliver belastet af forskellige karakteriserede miljøpåvirkningskategorier:

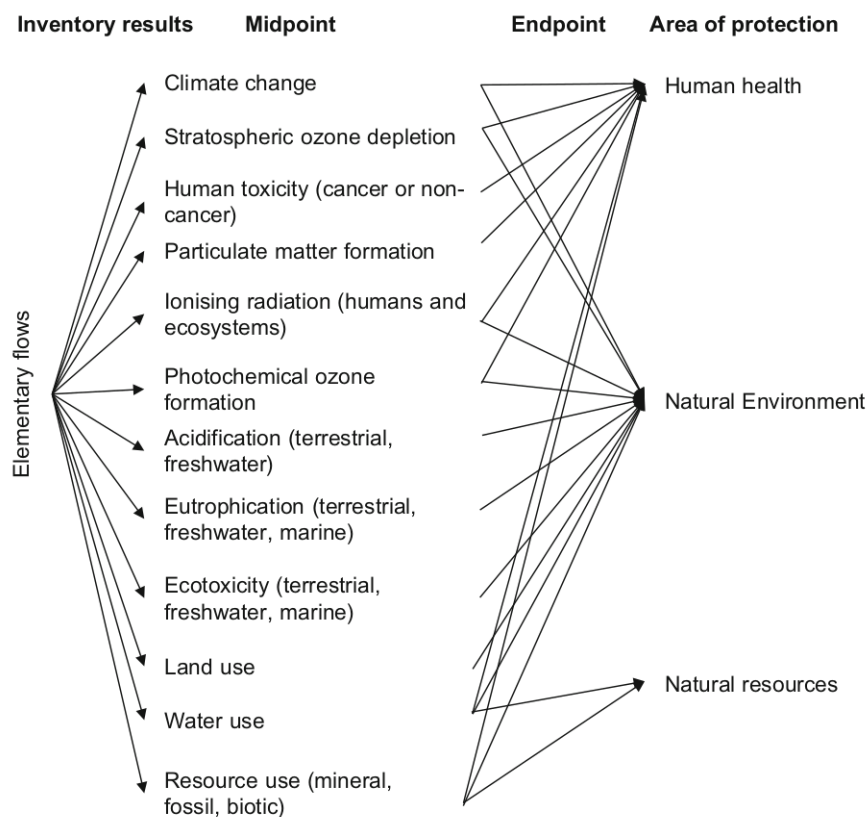
- Menneskers sundhed (*human health*)
- Miljø (*natural environment*)
- Naturressourcer (*natural resources*)

¹www.openlca.org

²Tysk LCI database for byggesektoren, se www.oekobaudat.de

³Omfattende LCI database fra Schweiz, se www.ecoinvent.org

Hver *midpoint* kategori kan medvirke til belastningen af én eller flere *endpoint* kategorier, se Figur 2.2.



Figur 2.2: Sammenhæng mellem 15 udbredte *midpoint* kategorier og de 3 *areas of protection* (credit: Hauschild, Rosenbaum og Olsen 2018)

Det kan være både forvirrende og til tider overflødigt at medtage for mange midpoint kategorier i et LCA studie. Med 6 *midpoint* kategorier kan op til 92 % af variansen beskrives og med blot 2 *midpoint* kategorier kan op til 84 % af variansen beskrives (Steinmann m.fl. 2016). Jo mere af variansen som er beskrevet i et studie, jo mindre er chancen for såkaldt *burden shifting* hvor problemer fra én miljøpåvirkningskategorier flyttes til en anden.

Sammenligning af LCA-resultater

Både valg af database/datakvalitet samt LCIA-metode har stor betydning for resultatet af en LCA-beregning. Derfor er det vigtigt at samme metode er benyttet, hvis forskellige LCA-resultater skal sammenlignes med hinanden. Hvis ikke det er tilfældet kan resultaterne ikke nødvendigvis sammenlignes, da forskellen i valg af metode/database også vil komme til udtryk i form af de kvantificerede miljøpåvirkninger. Det kan skabe grundlag for misvisende sammenligninger og i værste fald fejlagtige konklusioner.

Ensretning i byggebranchen

Netop for at ensrette LCA-beregninger i byggebranchen er der igennem de sidste år udviklet en gratis softwareløsning for LCA i byggebranchen i Danmark, som hedder LCAbyg. Denne softwareløsning tilbyder ikke valgfrihed ift. LCIA-metode og LCA-database som eksempelvis openLCA gør. Data til LCA-beregninger i LCAbyg kan således kun stamme fra enten Ökobau-databasen eller alternativt EPD'er, som indtastes i programmet.

Begrænsningen i LCAbyg ift. database og LCIA-metode er både programmets styrke og svaghed. Styrkerne består i at alle beregninger foretaget i LCAbyg i udgangspunktet kan sammenlignes

direkte med hinanden (eftersom de beror på samme LCIA-metode og samme database), samt et simpelt og relativt simpel brugerflade i programmet. Svagheden består i begrænsningen af valgfrihed omkring LCIA-metode samt valg af data og kvaliteten af denne. Er man uenig i valget af LCIA-metode eller ønsker man at bruge en anden database end Ökobaumat, så er LCAByg således ikke det rigtige software-valg til LCA-beregningen.

2.2.4 Levetider og betragtningsperiode

Levetider for materialer og betragtningsperioden i en LCA kan have stor for resultatet. Materialers levetider afgør hvorvidt der skal medregnes udskiftninger i løbet af betragtningsperioden.

Levetider

I Danmark er der skik for at bruge levetider for materialer som angivet i SBI 2013:30 (Aagaard m.fl. 2013). Hvis en specifik producent angiver en anden forventet levetid af et produkt, kan denne levetid benyttes såfremt det dokumenteres i LCA-beregningen.

Betragtningsperiode

Der er generel skik for i Danmark, og andre Europæiske lande, at benytte en betragtningsperiode på 50 eller 60 år (Teknologisk Institut og Ramboll 2020).

Dette er hovedsageligt for at tage ansvar for de materialer der benyttes i dag, frem for at udskyde problemet til de senere generationer (F. N. Rasmussen m.fl. 2020).

En lang betragtningsperiode tilgodeser således materialer med en lang levetid. En lang levetid for materialer er i sig selv (selvfølgelig) en positiv ting. Udfordringen er, at vi står over for en klimakrise, som kræver at vi bremser udledningen af drivhusgasser øjeblikkeligt (IPCC m.fl. 2021). Med en kortere betragtningsperiode tilgodeser man materialer med lavere miljøpåvirkninger, også selvom de ikke nødvendigvis har en lang levetid på +60 år.

Derudover er en del af LCA-beregningen baseret på antagelser om forskellige scenarier i fremtiden – f.eks. energiscenarier med en udvikling af mere grøn strøm. En længere betragtningsperiode ville medvirke til en større usikkerhed for disse energiscenarier i LCA-beregningen.

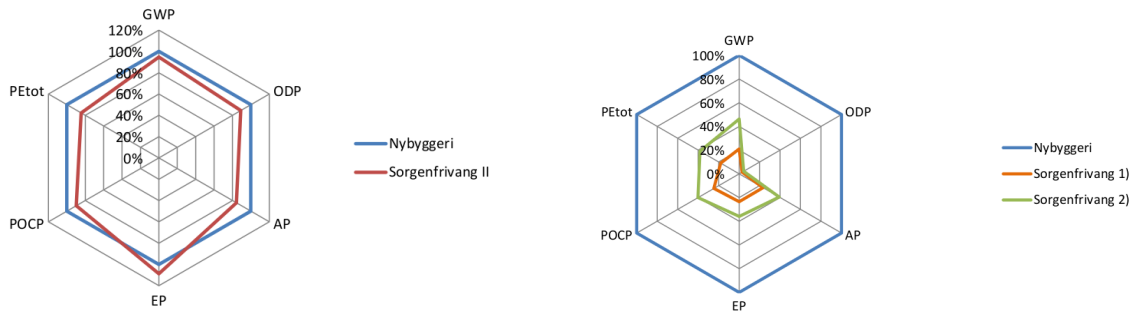
2.3 Litteratur

Der findes allerede relevant litteratur, som belyser miljøpåvirkninger forbundet med renovering og ombygning. Nogle af de, for denne rapport, mest relevante studier er nævnt og beskrevet i de følgende afsnit.

2.3.1 SBI rapport om miljømæssige konsekvenser ved bygningsrenoveringer

Tilbage i 2015 blev rapporten "*Livscyklusvurdering af større bygnings-renoveringer: Miljømæssige konsekvenser belyst via casestudier*" (Freja Nygaard Rasmussen og Birgisdottir 2015) udgivet af SBI. Rapporten belyser netop nogle af de miljømæssige konsekvenser forbundet med renoveringer. Denne rapport understreger bl.a., at der i byggebranchen er en tendens til at have større fokus på de miljømæssige konsekvenser ved nybyg, hvorimod fokus ofte er begrænset til besparelser på driftenergien, når der er tale om renoveringer. Netop denne problematik er vigtig, eftersom renoveringer udgør en væsentlig del af Danmarks samlede aktiviteter i byggebranchen.

Én af konklusionerne i rapporten er, at renoveringer miljømæssigt kan være meget fordelagtige, sammenlignet med nybyg, se Figur 2.3. Dette understreger vigtigheden af et øget fokus på renoveringer og hvordan de bør foretages (materialevalg og isoleringsgrad), hvis miljøpåvirkningerne fra byggebranchen skal reduceres.



(a) Miljøpåvirkninger fra driftsenergien i brugsfasen

(b) Indlejrede miljøpåvirkninger fra materialer

Figur 2.3: Figur 22 og 23 (side 37+38) fra SBI rapporten "Livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer: Miljømæssige konsekvenser belyst via casestudier"

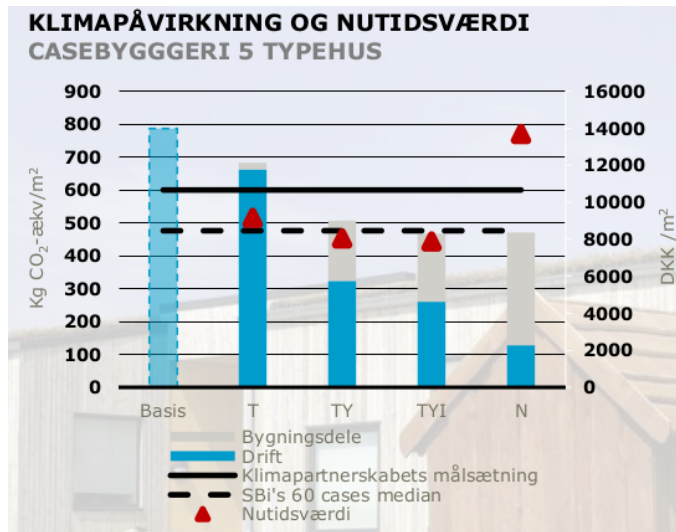
Som det fremgår af Figur 2.3a, så er miljøpåvirkningerne fra selve driften i brugsfasen tæt på hinanden for både nybyg og renovering. Sammenholdes dette med resultatet fra Figur 2.3b, hvor der ses en stor fordel for renovering ift. de indlejrede miljøpåvirkninger i materialerne, så vil der samlet set være en stor fordel i at renovere frem for at bygge nyt.

Dette betyder ifølge rapporten, at den miljømæssige tilbagebetalingstid er på mellem 4 og 18 år afhængigt af casevalg. Dette gælder for miljøpåvirkningskategorierne *GWP*, *AP* og *PEtot*. Tilbagebetalingstiden for renoveringerne er altså væsentligt kortere end selve betragtningsperioden, som i rapporten er på 50 år og konklusionen er derfor, at de betragtede renoveringer tjener sig selv hjem flere gange i løbet af betragtningsperioden.

2.3.2 Rambøll rapport om CO₂-udledning og totaløkonomi ved renovering og nybyg

Rambøll udgav i 2020 rapporten "Analyse af CO₂-udledning og totaløkonomi i renovering og nybyg" (Rambøll 2020), som sammenligner renovering og nybyg i forhold til klimapåvirkninger (*LCA*) og pris (*LCC*). Studiet indbefatter både énfamiliehuse og rækkehuse, men også etageboliger, offentligt byggeri og erhvervsbyggeri.

For énfamiliehuse og rækkehuse er konklusionen i rapporten, at det miljømæssigt er fordelagtigt at renovere – både ift. *LCA* (*GWP*) og *LCC* (nutidsværdi), se Figur 2.4. Af figuren ses det, at renovering **TY** og **TYI** (Tag, Ydervæg, Installationer) har samme klimapåvirkninger som **N** (Nybyg). Til gengæld er nutidsværdien væsentligt lavere.

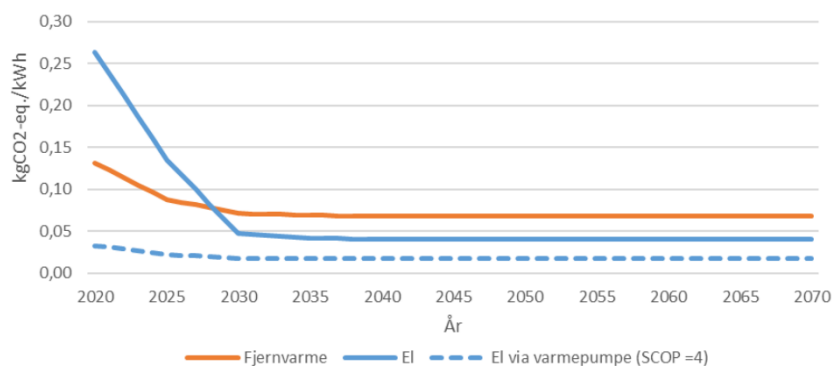


Figur 2.4: Figur 9 (side 12): Klimapåvirkning og nutidsværdi fra Rambøll rapporten "Analyse af CO₂-udledning og totaløkonomi i renovering og nybyg"

En anden vigtig konklusion i rapporten er, at man også kan vurdere på *hvornår* man ønsker at minimere miljøpåvirkningerne – nu eller i slutningen af betragtningsperioden? Her viser det sig, at nybyg er længst tid om at "tilbagebetale" sig selv. Så ønskes en reducere af miljøpåvirkninger her og nu, så er renovering også bedre end nybyg.

2.3.3 BUILD rapport om klimaeffektiv renovering

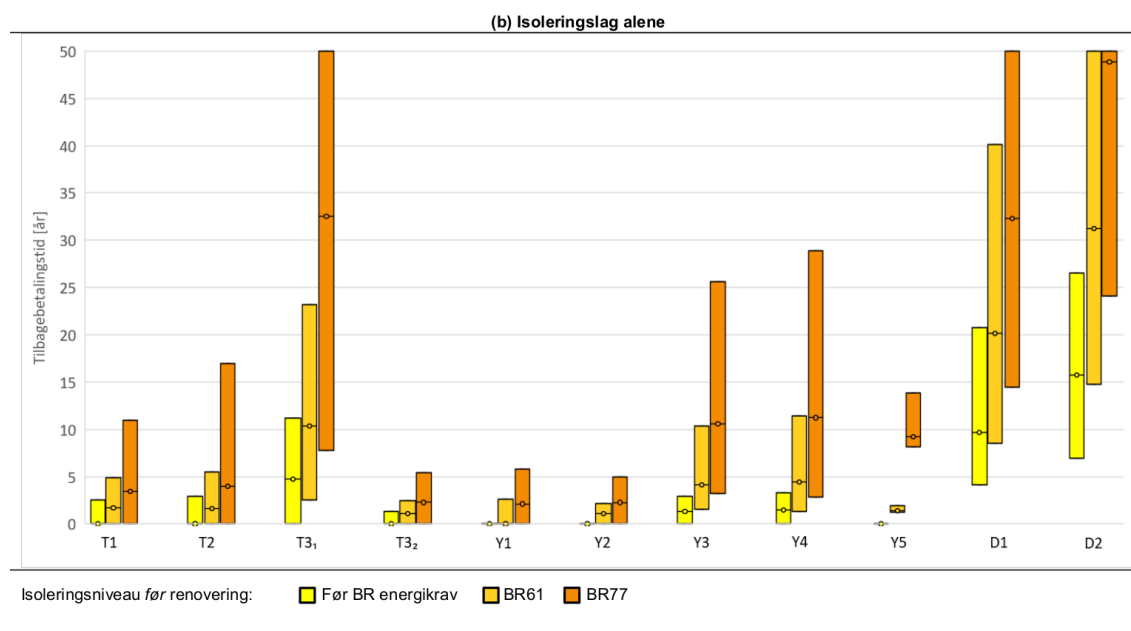
I oktober måned i år (2021), udkom rapporten "KLIMAEFFEKTIV RENOVERING: Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering" (Kanafani m.fl. 2021) som undersøger den miljømæssige balance mellem påvirkningerne fra materialer ved renovering og besparelsen der opnås til driftenergien, med primært fokus på klimabelastning (GWP). Der bruges fremskrivning af energiscenarier for elektricitet og fjernvarme og der betragtes både efterisolering af bygningsdele, udskiftning af vinduer samt opsætning af solceller på eksisterende bebyggelse. Dette gør afsnittet om efterisolering i rapporten meget aktuelt at sammenligne med resultaterne i denne rapport.



Figur 2.5: Figur 2 (side 13): Klimapåvirkning af 1 kWh leveret el og fjernvarme til bygningsdrift fra BUILD rapporten "KLIMAEFFEKTIV RENOVERING: Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering"

Figur 2.5 viser resultatet for produktion af 1 kWh varme fra rapporten. Der er brugt Energi-styrelsens fremskrivning for elektricitet og fjernvarme. Der er i rapporten benyttet de samme værdier som benyttes i FBK og DGNB.

En generel delkonklusion af studiet er, at uanset hvilket isoleringsprodukt der kigges på, så kan efterisoleringen betale sig for både tag og ydervæg – ofte inden for 10-20 år. Resultatet afhænger i høj grad af udgangspunktet og valg af isoleringsprodukt – se Figur 2.6.

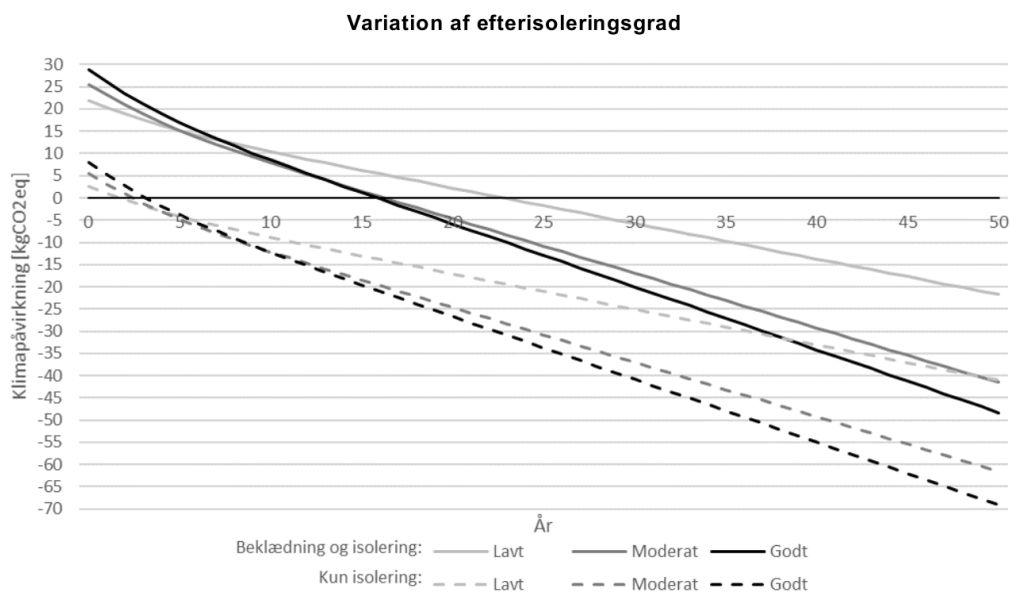


T3₁: Varmt tag med trykfast isolering

T3₂: Koldt, ventileret tag med fleksibel isolering og bjælkelag

Figur 2.6: Figur 8 (side 31): Tilbagebetalingstider af alle isoleringstiltag fra BUILD rapporten "KLIMAEFFEKTIV RENOVERING: Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering"

Forskellen på tilbagebetalingstiden for forskellige niveauer af efterisolering undersøges også – *lavt, moderat og godt*. Her viser det sig bl.a. for efterisolering af tag, at efterisoleringsgraden *godt* har den største besparelse, set over hele betragtningsperioden på 50 år – se Figur 2.7. Alle grader af efterisolering (både beregninger med og uden beklædning) kan betale sig inden for 25 år. I visse tilfælde går der kun 2-3 år før efterisoleringen kan betale sig ift. klimapåvirkninger igennem den besparede energi til drift. Resultaterne på Figur 2.7 er baseret på glasuld $\lambda 30$ isolering og opvarmning med fjernvarme.



Figur 2.7: Figur 22 (side 48): Udvikling af klimapåvirkning for varierende efterisoleringsgrader for "tagisolering T 1" fra BUILD rapporten "KLIMAEFFEKTIV RENOVERING: Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering"

Det konkluderes også at Bygningsreglementets komponentkrav til energibesparelse ved ombygning og ændret anvendelse ligger på et klimamæssigt rentabelt niveau for både tage og ydervægge. Dette gælder især hvis der kigges på isoleringsmaterialerne alene uden at medregne klimapåvirkning til ny/udskiftet beklædning.

Resultaterne viser dog en stor spredning af tilbagebetalingstiden, som indikerer at rentabiliteten kan svinge ift. forskellige energimæssige udgangspunkter samt valget af isoleringstiltag, -type, -niveau og -produkt.

2.3.4 Øvrig relevant litteratur

Det sidste studie, som bør nævnes i forbindelse med denne rapport, er BUILD/SBi rapporten "KLIMAPÅVIRKNING FRA 60 BYGNINGER: Opdaterede værdier baseret på nyere data og danske branche EPD'er" (Tozan, Jørgensen og Birgisdottir 2021), som er en opdateret version af den oprindelige SBi rapport "KLIMAPÅVIRKNING FRA 60 BYGNINGER: Muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger" (Zimmermann m.fl. 2020).

Rapporten har til formål at skabe en datagrundlag for LCA på bygninger, udført i LCAbyg jf. DS/EN 15804 2019, som kan bruges som referenceværdier. Den opdaterede version af rapporten benytter nyere data fra både Ökobau databasen samt branche- og produktspecifikke EPD'er.

Rapporten danner bl.a. en del af grundlaget for de netop fastsatte grænseværdier for CO₂-aftryk for kommende nybyggeri fra 2023 (Socialdemokratiet m.fl. 2021).

Kapitel 3

Metode

Projektet tager udgangspunkt i 6 forskellige scenarier for efterisolering; 4 typer ydervægge og 2 typer tage. Studiet er afgrænset til kun at omhandle:

- Materialerne forbundet med selve **efterisoleringsarbejdet**
- Et bidrag fra produktionen af **forsyningsanlægget**
- Energiforbrug forbundet med opvarmning i betragtningsperioden (**drift**)

Dette skyldes at der betragtes en situation, hvor bygningsdelen som efterisoleres alligevel stod over for en ombygning/renovering (eksempelvis udskiftning af tagbelægning eller beklædning på ydervæg/indervæg). De materialer som alligevel står over for udskiftning, er således udeladt fra analyserne, da de ville indgå i begge renoveringer med/uden efterisolering og dermed udligne hinanden.

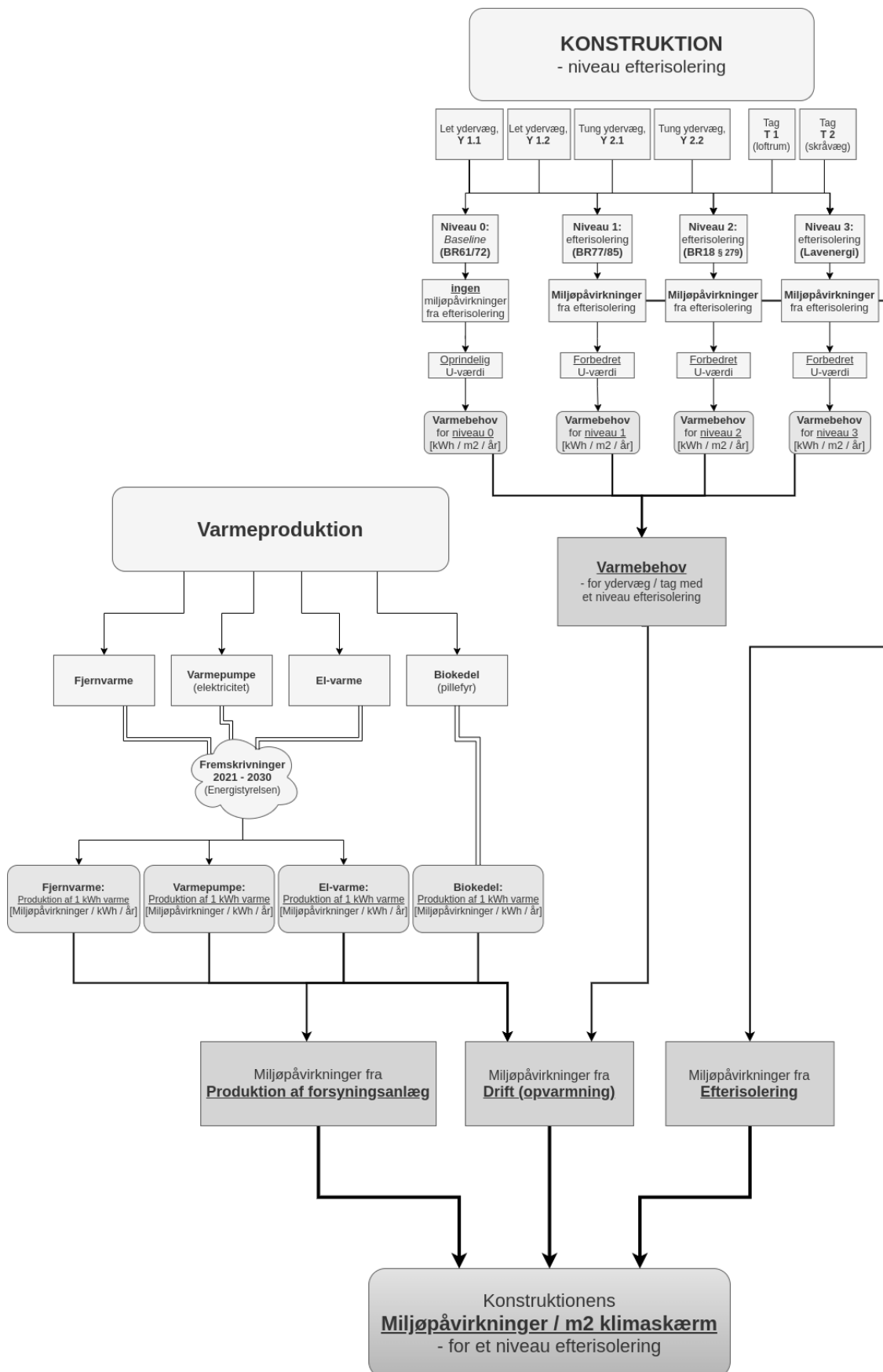
I selve LCA beregningerne inkluderes faserne fra Tabel 3.1.

Faser	Moduler	
Produkt	A1	Råmaterialer
	A2	Transport
	A3	Fremstilling
Brug	B4	Udskiftning
	B6	Energiforbrug til drift
Endt levetid	C3	Affaldsbehandling
	C4	Bortskaffelse

Tabel 3.1: Inkluderede faser i LCA beregningerne

Alle 6 varianter af konstruktioner starter med et udgangspunkt på 0-75 mm isolering alt efter varianten (Tabel 3.4 og 3.5), benævnt *baseline* på Figur 3.1. *Baseline* danner udgangspunktet som de forskellige niveauer af efterisolering kan sammenlignes med ift. miljøpåvirkninger og tilbagebetalingstiden på efterisoleringsarbejdet som resultat af besparelsen på driften til opvarmning i betragtningsperioden. Som det ses på figuren, har *baseline* ingen miljøpåvirkning til efterisolering. De eneste miljøpåvirkninger i dette scenarie er bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget og selve energiforbruget til driften i betragtningsperioden.

Baseline lever for alle konstruktioner op til de historiske krav i BR61/72 og danner således et fælles udgangspunkt – både for tage og ydervægge. De 3 niveauer af efterisolering som betragtes lever op til kravene til varmeisolering for forskellige versioner af Bygningsreglementet – se Figur 3.1 samt Tabel 3.6 og 3.7.



Figur 3.1: Oversigt over afgrænsningen af studiet med de betragtede opvarmingskilder og konstruktionstyper og hvordan bidragene bliver samlet i ét udtryk for et niveau efterisolering [miljøpåvirkninger / m2 klimaskærm]

3.1 LCA Metode

Dette afsnit beskriver den valgte metode for LCA beregningerne i studiet.

3.1.1 Funktion, funktionel enhed (FU) og referenceflow

Funktion

I studiet undersøges der to typer ydervægge (let og tung) med både indvendig og udvendig efterisolering samt to scenarier for tag/loft; én med udnyttet loftrum og skråvægge og én med uudnyttet loftrum og isolering mellem spær på loftet.

For alle scenarier gælder det, at der kigges på 1 m² af konstruktionen i Danmark med en betragtningsperiode på 40 år (følger kravene til betragtningsperiode for rentabilitet for ombygninger/renoveringer i BR18).

Udover selve konstruktionerne med efterisolering betragtes også opvarmningsbehovet samt et bidrag fra produktion af forsyningsanlæg. Der betragtes i alt 4 forskellige typer af forsyningsanlæg (se Afsnit 3.2.3).

Funktionel enhed

Den funktionelle enhed for **ydervægge** er:

- **Efterisolering af 1 m² ydervæg i 2021 med en betragtningsperiode på 40 år i Danmark med en U-værdi på op til 0.11 [W/m² · K]**

Den funktionelle enhed for **tag** er:

- **Efterisolering af 1 m² tag i 2021 med en betragtningsperiode på 40 år i Danmark med en U-værdi på op til 0.11 [W/m² · K]**

Den funktionelle enhed for **loft** er:

- **Efterisolering af 1 m² loft i 2021 med en betragtningsperiode på 40 år i Danmark med en U-værdi på op til 0.10 [W/m² · K]**

U-værdier for de forskellige niveauer af efterisolering fremgår af Tabel 3.6, Kapitel 4.

Den funktionelle enhed for **forsyningsanlæg** er:

- **Produktion og levering af 1 kWh varme pr. år fra 2021 over en periode på 40 år i Danmark**

Varmebehovet pr. år i betragtningsperioden for de forskellige niveauer af efterisolering fremgår af Bilag D.

Referenceflow

Referenceflowet for de forskellige niveauer af efterisolering varierer alt efter type ydervæg/tag, da der indgår forskellige materialer i de forskellige scenarier. Tabel 3.2 giver et samlet overblik over levetider og referenceflow for alle benyttede materialer til LCA beregningerne for efterisolering af ydervægge og tag/loft samt beregninger for produktionen af forsyningsanlæg.

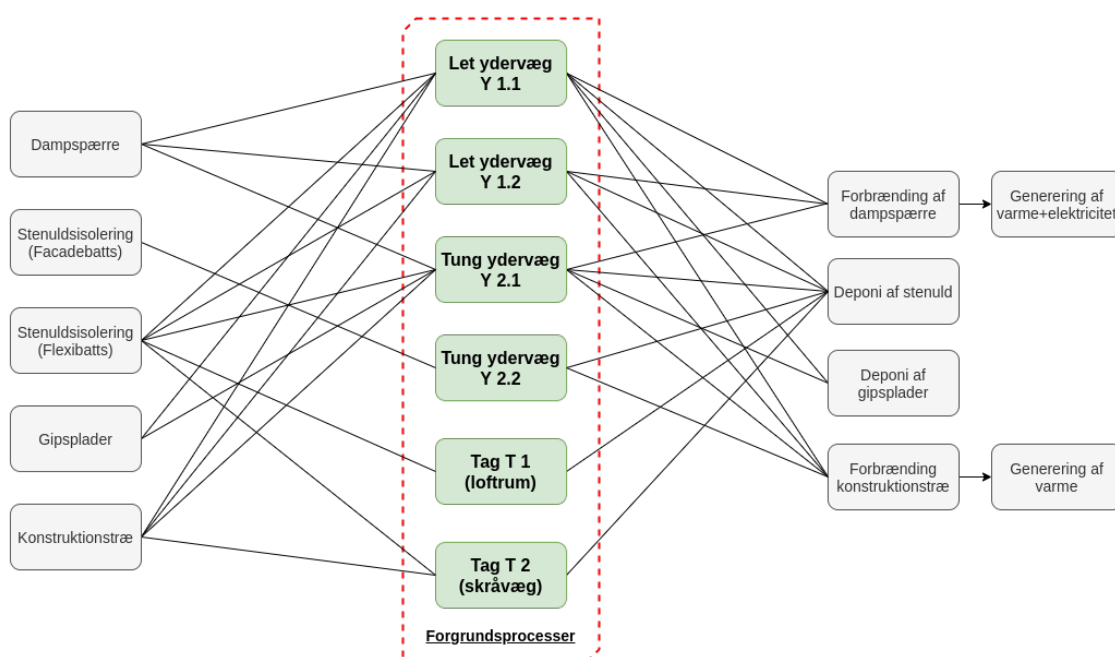
Levetider (år)	Type		
	Ydervægge	Tag/loft	Forsyningsanlæg
Isolering	80	80	-
Konstruktionstræ	120	120	-
Dampspærre	80	80	-
Gipsplader	100	100	-
Forsyningsanlæg	-	-	20
Referenceflow (antal)			
Isolering	1	1	-
Konstruktionstræ	1	1	-
Dampspærre	1	1	-
Gipsplader	1	1	-
Forsyningsanlæg	-	-	2

Tabel 3.2: Levetider og referenceflow som er nødvendige for at opfylde den funktionelle enhed

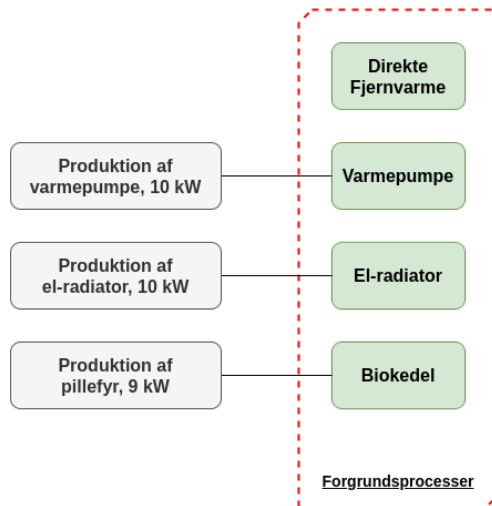
3.1.2 Systemgrænser

Følgende figurer illustrerer systemgrænserne for efterisolering (Figur 3.2), produktion af forsyningsanlæg (Figur 3.3) og drift (Figur 3.4).

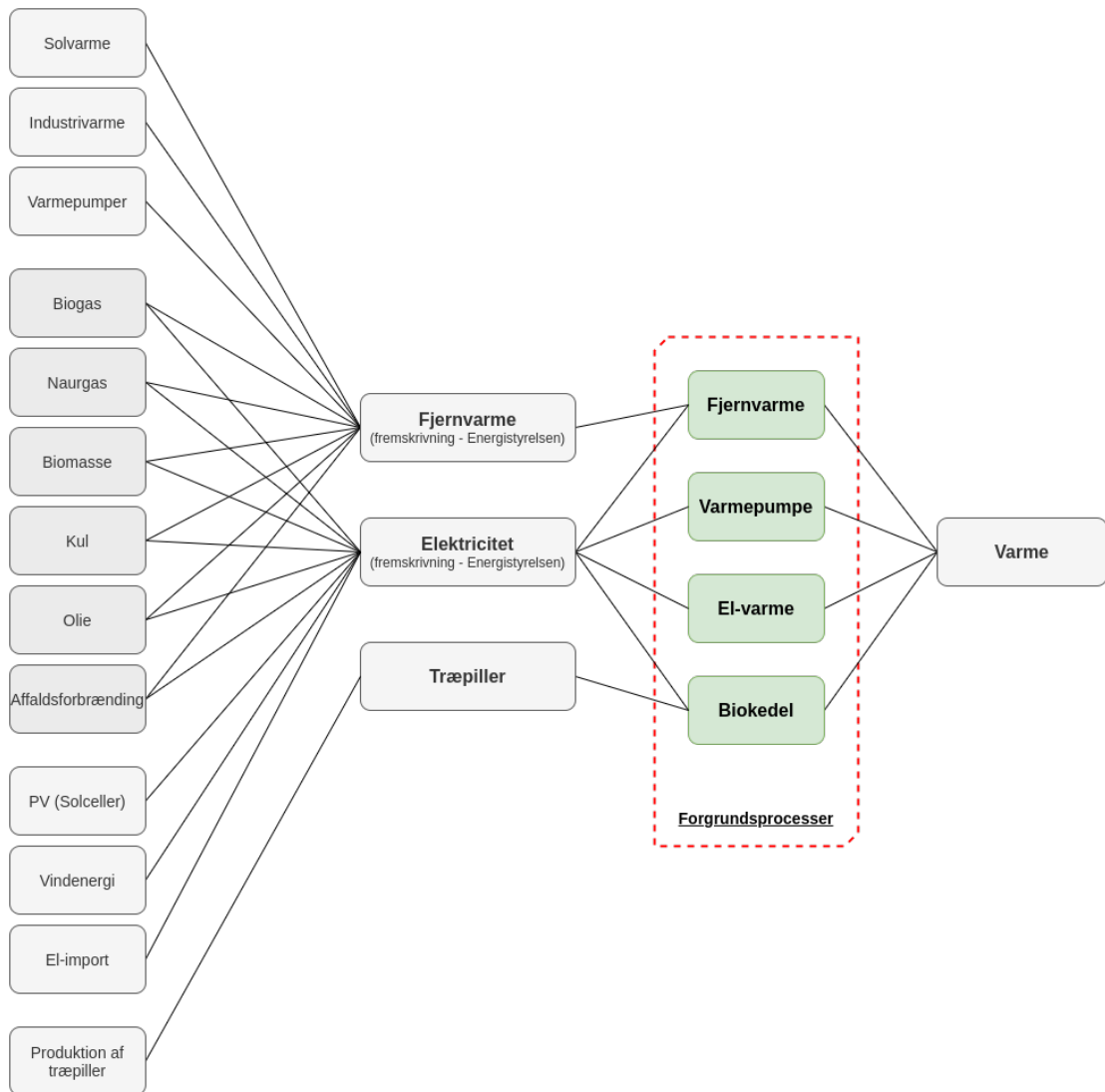
En komplet oversigt over benyttede processer og parametre i ecoinvent til LCA beregningerne fremgår af Bilag E.



Figur 3.2: Systemgrænser for efterisolering



Figur 3.3: Systemgrænser for produktion af **forsyningsanlæg**



Figur 3.4: Systemgrænser for **drift**

3.1.3 Fuldstændighedskrav

Da dette er et sammenlignende LCA-studie er ens processer for alle sammenlignede systemer udeladt af beregningerne (ILCD 2010). Det betyder at studiet er afgrænset til udelukkende at omfatte arbejdet i forbindelse med selve efterisoleringen. Der er undersøgt forskellige niveauer af efterisolering for forskellige ydervægge og tage. Det antages i alle situationer, at der er tale om en ombygning/renovering uanset hvad og at der kan varieres på mængden af efterisolering. Derfor betragtes kun de tilførte materialer i forbindelse med selve efterisoleringen. I nogle tilfælde er det kun isolering, i andre er det både isolering, træskelet, gipsplader og dampspærre (se Tabel 3.4 og 3.5, Kapitel 3.2.1).

3.1.4 LCIA-metode

Studiet benytter LCIA-metoden ReCiPe Midpoint (H).

I et forsøg på at undgå såkaldt *burden shifting*, hvor problemer fra én miljøpåvirkningskategori flyttes til en anden, bliver miljøpåvirkningskategorierne fra Tabel 3.3 betragtet samlet set, med hovedfokus på GWP.

Miljøpåvirkningskategori	Forkortelse	Enhed
Klimaforandringer	<i>GWP</i>	<i>kg CO₂ eq</i>
Giftige stoffer for mennesker	<i>HTP_c + HTP_{nc}</i>	<i>kg 1,4 – DCB</i>
Brug af landareal	<i>LOP</i>	<i>m²a crop eq</i>

Tabel 3.3: Udvalgte miljøpåvirkningskategorier

De tre kategorier i Tabel 3.3 repræsenterer samlet set en bred varians på op til 87.8 % (Steinmann m.fl. 2016) blandt et bredt udvalg af miljøpåvirkningskategorier. Hvis disse tre kategorier betragtes samlet set mindskes risikoen dermed for *burden shifting*.

3.1.5 Datagrundlag

Database og allokeringsmetode

Der er i studiet udelukkende benyttet processer og flows fra databasen ecoinvent 3.6 med cut-off metoden. Cut-off metoden betyder at "forureneren betaler" og den grundlæggende idé med denne allokeringsmetode er, at den primære produktion af et materiale altid er allokeret til den primære bruger af materialet. Hvis et materiale genanvendes, modtager den primære producent ingen kredit for levering af genanvendelige materialer. Dette betyder bl.a., at genbrugsmaterialer kun indeholder miljøpåvirkningerne fra selve genbrugsprocesserne, eftersom de genanvendelige materialer modtages "gratis".

Cut-off allokeringsmetoden bliver også brugt i forbindelse med EPD'er jf. DS/EN 15804 2019.

Fremskrivning af energiproduktion

Til fremskrivning af energiproduktionen er der benyttet Energistyrelsens rapport "Klimastatus- og -fremskrivning" (Energistyrelsen 2021a) med fremskrivninger for energimixet de kommende 10 år for både fjernvarme og elektricitet.

Konstruktionsopbygninger

Valget af konstruktioner til efterisolering og deres opbygning er med inspiration fra BR18-vejledningen "Ofte rentable konstruktioner" (Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen og Videnscenter for Energibesparelser i Bygninger 2021)

3.2 Beregning af miljøpåvirkninger i betragtningsperioden – fra efterisolering, drift og forsyningsanlæg

Pga. de dynamiske energiscenarier for fjernvarme, varmepumpe og el-opvarmning, er miljøpåvirkningerne fra opvarmningen forskellig for hvert år i hele betragtningsperioden. Derfor udregnes udledningen for hvert år separat, hvorefter disse summeres for at udtrykke den samlede udledning for en given efterisoleringsvariant igennem betragtningsperioden på N år:

$$\text{Miljøpåvirkninger}_{\text{samlet}} = \sum_{n=1}^N (EI_n + FA_n + LV_n), \quad (3.1)$$

hvor

- EI_n er bidraget fra **efterisoleringsarbejde** i det n -te år (se Afsnit 3.2.1)
- FA_n er bidraget fra produktion af **forsyningsanlæg** i det n -te år (se Afsnit 3.2.3)
- LV_n er bidraget fra **leveret varme** i det n -te år (se Afsnit 3.2.4)

Det er kun miljøpåvirkningerne fra opvarmningen som er tidsafhængig og dermed forskellige for hvert år i betragtningsperioden (pga. de dynamiske energiscenarier for elektricitet og fjernvarme). Efterisoleringen og forsyningsanlægget er ikke tidsafhængige eftersom det er en udledning som finder sted i forbindelse med produktionen i starten af betragtningsperioden.

For at efterisolere skal der produceres isolering og for at levere varme skal der produceres et forsyningsanlæg (kedel). Både produktionen af isolering og forsyningsanlægget er noget, som sker umiddelbart inden efterisoleringen bliver foretaget. For forsyningsanlægget gælder det dog, at den forventede levetid er 20 år for alle typer, hvilket kræver én udskiftning i løbet af betragtningsperioden.

Energiforbruget til driften (opvarmning) er noget som sker kontinuert gennem hele betragtningsperioden. Eftersom energimixet er i en udvikling med en stigende andel af vedvarende energikilder, og dermed et faldende CO_2 -aftryk igennem de kommende årtier, så vil miljøpåvirkningerne forbundet med bygningsdriften også være faldende i løbet af betragtningsperioden. Netop derfor er det relevant at summere miljøpåvirkningerne fra år til år i betragtningsperioden.

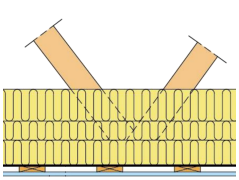
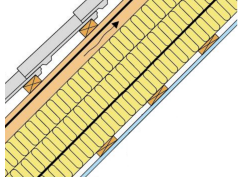
I de følgende afsnit bliver bidragene fra henholdsvis **efterisoleringsarbejde**, **produktion af forsyningsanlæg** og **leveret varme** beskrevet nærmere¹:

3.2.1 Miljøpåvirkninger fra efterisolering

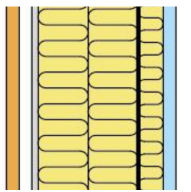
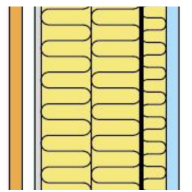
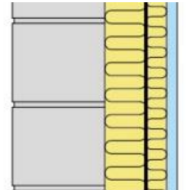
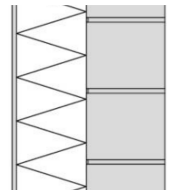
Der foretages en LCA beregning af efterisoleringen for hvert niveau af efterisolering. Der er kun medregnet efterisoleringen og evt. nødvendig skelet/konstruktion for at gøre plads til isolering. Ved indvendig efterisolering er der ligeledes medregnet nye gipsplader, da det vurderes at disse vil blive udskiftet ved indvendig efterisolering.

Tabel 3.4 og 3.5 danner et overblik over de forskellige scenarier for efterisolering samt hvilke materialer der er medtaget i LCA beregningen for efterisolering.

¹For alle beregninger bruges miljøpåvirkningskategorien GWP i $kg CO_2 eq$ som eksempel. Samme fremgangsmåde gælder for HTP og LOP

	T 1 – loftrum	T 2 – skråvæg
		
	Indvendig efterisolering vandret mellem spær direkte oven på eksisterende isolering	Udvendig efterisolering mellem tagspær med påføring af nye spær
Inkluderet i LCA	<ul style="list-style-type: none"> • isolering (flexibatts) 	<ul style="list-style-type: none"> • isolering (flexibatts) • påforede spær
Baseline (BR61/72)	75 mm eksisterende isolering	75 mm eksisterende isolering
U-værdi	0.40 [W/m ² · K]	0.43 [W/m ² · K]
Varianter:	3 niveauer af efterisolering	3 niveauer af efterisolering

Tabel 3.4: Oversigt over inkluderede materialer i LCA for efterisoleringsarbejde samt niveauer af efterisolering for tag/loft (Illustrationer: Træinformation)

	Y 1.1 – let ydervæg	Y 1.2 – let ydervæg	Y 2.1 – tung ydervæg	Y 2.2 – tung ydervæg
				
	Indvendig efterisolering med opsætning af nyt træskelet, dampspærre og gipsplader	Udvendig efterisolering med træskelet til den nye isolering	Indvendig efterisolering med opsætning af nyt træskelet, dampspærre og gipsplader	Udvendig efterisolering med facadeisolering og pudslag direkte på isolering
Inkluderet i LCA	<ul style="list-style-type: none"> • isolering (flexibatts) • træskelet • dampspærre • gipsplader 	<ul style="list-style-type: none"> • dampspærre • isolering (flexibatts) • træskelet 	<ul style="list-style-type: none"> • isolering (flexibatts) • træskelet • dampspærre • gipsplader 	<ul style="list-style-type: none"> • isolering (facadebatts) • puds
Baseline (BR61/72)	60 mm eksisterende isolering	60 mm eksisterende isolering	massiv væg uden isolering	massiv væg uden isolering
U-værdi	0.58 [W/m ² · K]	0.58 [W/m ² · K]	1.01 [W/m ² · K]	1.01 [W/m ² · K]
Varianter	3 niveauer af efterisolering	3 niveauer af efterisolering	2 niveauer af efterisolering	3 niveauer af efterisolering

Tabel 3.5: Oversigt over inkluderede materialer i LCA for efterisoleringsarbejde samt niveauer af efterisolering for ydervægge (Illustrationer: Træinformation)

LCA beregningerne for forskellige tykkelser af efterisolering svarer til bidraget over hele betragtningsperioden inkl. evt. udskiftninger:

$$EI_N = x_N \frac{kg CO_2 eq}{m^2 \cdot N \cdot aar}, \quad (3.2)$$

hvor EI_N er det totale bidrag i hele betragtningsperioden fra efterisoleringen.

Hvis bidraget skal udtrykkes i kg CO₂ eq / år divideres der med hele betragtningsperioden N :

$$EI_n = x_n \frac{\left(\frac{kg \text{ CO}_2 \text{ eq}}{m^2 \cdot N \cdot aar}\right)}{N} = x_n \frac{kg \text{ CO}_2 \text{ eq}}{m^2 \cdot aar}, \quad (3.3)$$

hvor EI_n er bidraget fra efterisoleringen i det n -te år.

3.2.2 U-værdier

Tabel 3.6 og 3.7 viser U-værdierne for forskellige niveauer af efterisolering for de betragtede tage og ydervægge i rapporten.

Ydervæg Y 2.1 er begrænset ved højst at kunne efterisoleres indvendigt med 150 mm isolering pga. fugttechniske forhold.

Efterisolerings-niveau	T 1	T 2	enhed	
Baseline	0.40	0.43	$[W/m^2 \cdot K]$	BR61/72
+110 mm	0.19	0.20	$[W/m^2 \cdot K]$	BR77/85
+250 mm	0.12	0.12	$[W/m^2 \cdot K]$	BR18 (§ 279)
+300 mm	0.10	0.11	$[W/m^2 \cdot K]$	Lavenergi

Tabel 3.6: U-værdi for niveauer af efterisolering for tag T 1 og T 2. Værdier markeret med **fed** er anbefalingerne til den samlede isoleringstykkelse efter efterisolering (minimum og lavenergi) (Videncenter for Energibesparelser i Bygninger 2021). Alle U-værdier er beregnet efter DS 418 (Dansk Standard 2020). Alt isolering, både eksisterende og efterisolering, har en varmeledningsevne på $0.037 [W/m \cdot K]$

Efterisolerings-niveau	Y 1.1	Y 1.2	Y 2.1	Y 2.2	enhed	
Baseline	0.58	0.58	1.01	1.01	$[W/m^2 \cdot K]$	BR61/72
+75 mm	0.29	0.29	0.38	0.33	$[W/m^2 \cdot K]$	BR77/85
+150 mm	–	–	0.19	–	$[W/m^2 \cdot K]$	BR18 (§ 279)
+175 mm	0.18	0.18	–	0.18	$[W/m^2 \cdot K]$	
+300 mm	0.12	0.12	–	0.11	$[W/m^2 \cdot K]$	Lavenergi

Tabel 3.7: U-værdi for niveauer af efterisolering for ydervægge. Værdier markeret med **fed** er anbefalingerne til den samlede isoleringstykkelse efter efterisolering (minimum og lavenergi) (Videncenter for Energibesparelser i Bygninger 2021). Alle U-værdier er beregnet efter DS 418 (Dansk Standard 2020). Alt isolering, både eksisterende og efterisolering, har en varmeledningsevne på $0.037 [W/m \cdot K]$

3.2.3 Miljøpåvirkninger fra produktion af forsyningsanlæg

Produktionen af selve forsyningsanlægget bliver også medregnet i de samlede miljøpåvirkninger. Der betragtes i alt 4 forskellige typer af forsyningsanlæg/varmekilder:

1. Fjernvarme
2. Varmepumpe (luft-vand)
3. El-radiator
4. Biokedel (pillefyrt)

Ved at multiplicere "miljøpåvirkningerne fra produktion af et forsyningsanlæg pr. produceret kWh varme i forsyningsanlæggets levetid" med "varmebehovet for 1 m² ydervæg/tag som lever op til kravene i BR18 §279" findes forsyningsanlæggets bidrag til den samlede miljøpåvirkning:

$$FA_n = FA_{1kWh} \cdot VB_{1m^2} = x_n \frac{kg CO_2 eq}{m^2 \cdot aar}, \quad (3.4)$$

hvor

- FA_{1kWh} er miljøpåvirkningerne fra *produktionen* af et forsyninganlæg pr. produceret kWh varme i forsyninganlæggets levetid (se Afsnit 3.2.3, "Miljøpåvirkninger fra produktion af forsyninganlæg pr. kWh varme i kedlens levetid" og Formel 3.5)
- VB_{1m^2} er varmebehovet for 1 m² bygningsdel som opfylder kravene i BR 18 §279 efter renoveringen (se Afsnit 3.2.4, "Varmebehov for 1 m² komponent" og Tabel 2.2)

Miljøpåvirkninger fra produktion af forsyninganlæg pr. kWh varme i kedlens levetid

Da der kigges på et komponent ydervæg/tag på 1 m², skal kun en andel af miljøpåvirkningerne fra produktionen af forsyninganlægget tælles med. Dette er gjort ved at vurdere forsyninganlæggets samlede produktion af kWh varme i hele dets forventede levetid:

$$FA_{1kWh} = \frac{FA_{total}}{VB_{hus}} = x \frac{kg CO_2 eq}{kWh \cdot aar}, \quad (3.5)$$

hvor

- FA_{total} er den totale miljøpåvirkning fra produktionen af forsyninganlægget pr. år i dets forventede levetid (se Afsnit 3.2.3, "Miljøpåvirkninger fra produktion af forsyningsanlæg (kedel)")
- VB_{hus} er varmebehovet for et hus på 152 m² som lever op til kravene i Renoveringsklasse 1 i BR18 (se Afsnit 3.2.3, "Varmebehov for et énfamiliehus i Renoveringsklasse 1")

Den samlede produktion af varme i forsyninganlæggets levetid er fundet ved at tage udgangspunkt i et hus som opfylder kravene i BR18 til Renoveringsklasse 1, som anses for at være "best-case" for en renovering. Ofte vil energibehovet efter en renovering af bygningsdele være højere.

Miljøpåvirkningerne fra produktionen af selve forsyninganlægget, FA_{total} divideres med varmebehovet, VB_{hus} , for et gennemsnitligt hus i Renoveringsklasse 1 og dermed udtrykkes som CO₂ pr. 1 kWh.

Tages der udgangspunkt i et scenarie, hvor huset har et højere energibehov – f.eks. Renoveringsklasse 2 – vil VB_{hus} vokse og FA_{1kWh} gå mod nul. Med andre ord vil produktionen af selve forsyningsanlægget fylde mindre, jo større varmebehovet er. Derfor er der taget udgangspunkt i Renoveringsklasse 1, således, at produktionen fylder mest muligt – altså "worst-case" for hvor meget produktionen af forsyningsanlægget kan fylde i den samlede miljøpåvirkning fra efterisolering, opvarmning og produktion af forsyningsanlæg.

Miljøpåvirkninger fra produktion af forsyningsanlæg (kedel)

LCA beregningen af forsyningsanlægget er inklusiv 1 udskiftning for alle typer forsyningsanlæg (forventet levetid 20 år). Resultatet divideres med betragtningsperioden N for at blive udtrykt pr. år:

$$FA_{total} = x_n \frac{\left(\frac{kg CO_2 eq}{N}\right)}{N} = x_n \frac{kg CO_2 eq}{aar} \quad (3.6)$$

hvor FA_{total} er de samlede miljøpåvirkninger pr. år forbundet med produktionen af et forsyningsanlæg, inkl. én udskiftning.

Varmebehov for et énfamiliehus i Renoveringsklasse 1

Varmebehovet for et gennemsnitshus, som lever op til kravene i Bygningsreglementet for Renoveringsklasse 1, bestemmes ved:

$$VB_{hus} = E_{R1} \cdot A = 9630 \frac{kWh}{aar}, \quad (3.7)$$

hvor

- E_{R1} er energirammen i Renoveringsklasse 1 (se Afsnit 3.2.3, "Energiramme BR18, Renoveringsklasse 1")
- A er det gennemsnitlige boligareal for énfamiliehuse i perioden 1916-2020 (se Afsnit 3.2.3, "Gennemsnitligt boligareal for énfamiliehuse")

Energiramme BR18, Renoveringsklasse 1

Kravene til renoverede bygninger, som skal opfylde Renoveringsklasse 1, bestemmes i BR 18, § 281: "krav til tilført energi for boliger":

$$E_{R1} = 52.5 \frac{kWh}{m^2 \cdot aar} + \frac{1650}{152} = 63.4 \frac{kWh}{m^2 \cdot aar} \quad (3.8)$$

Gennemsnitligt boligareal for énfamiliehuse

Det gennemsnitlige etageareal for boliger i perioden 1916 til 2020 (Danmarks Statistik 2021) fremgår af Tabel 3.8.

Stuehus	Parcelhus	Række, kæde- og dobbelthus	Gennemsnit	
206	149	102	152	[m ²]

Tabel 3.8: Gennemsnitligt boligareal 1916 – 2020

Arealet bruges til at bestemme energibehovet for et énfamiliehus, med et gennemsnitligt etageareal, som opfylder energirammen i Renoveringsklasse 1.

3.2.4 Miljøpåvirkninger fra opvarmning

miljøpåvirkninger for selve opvarmningen af en udvalgt efterisoleringsvariant findes pr. år, pga. fremskrivninger for både EL og Fjernvarme, vha. følgende udtryk:

$$LV_n = x_n (VP_{1kWh} \cdot VB_{1m^2}) = x_n \frac{kg CO_2 eq}{m^2 \cdot aar}, \quad (3.9)$$

hvor

- LV_n er miljøpåvirkningerne fra leveret varme til opvarmningen af 1 m² ydervæg/tag med et niveau efterisolering i det n -te år
- VP_{1kWh} er miljøpåvirkningerne for produktion af 1 kWh varme fra én af de udvalgte forsyningsanlæg i det n -te år (se Afsnit 3.2.4, "Miljøpåvirkninger fra 1 kWh varme")
- VB_{1m^2} er varmebehovet for 1 m² ydervæg/tag med en bestemt U-værdi (se Afsnit 3.2.4, "Varmebehov for 1 m² komponent")

Miljøpåvirkninger fra 1 kWh varme

Følgende forsyningsanlæg er blevet betragtet til produktion af 1 kWh varme:

1. Fjernvarme
2. Varmepumpe (luft-vand)
3. El-radiator
4. Biokedel (pillefyr)

Produktionen af EL og Fjernvarme tager udgangspunkt i Energistyrelsens hovedrapport om *Klimastatus og Fremskrivning* (Energistyrelsen 2021a) og deres specifikke fremskrivninger for EL og Fjernvarme (Energistyrelsen 2021b), se Tabel 3.9 og 3.10 i kapitel 3.3.

Miljøpåvirkninger fra produktion af 1 kWh varme i et bestemt år fra én af de udvalgte forsyningsanlæg udtrykkes som:

$$VP_{1kWh} = x_n \frac{kg CO_2 eq}{kWh \cdot aar}, \quad (3.10)$$

hvor VP_{1kWh} er miljøpåvirkningerne fra produktionen af 1 kWh varme i det n -te år.

Varmebehov for 1 m² komponent

Varmebehovet for 1 m² ydervæg/tag findes vha. udtrykket:

$$VB_{1m^2} = x \left(\frac{U_{vaerdi} \cdot graddagetallet \cdot 24 timer}{1000} \right), \quad (3.11)$$

hvor

- VB_{1m^2} er varmebehovet for 1 m² ydervæg/tag med et niveau efterisolering (se Bilag D)
- U_{vaerdi} for 1 m² ydervæg/tag med et niveau af efterisolering fremgår af Tabel 3.7/3.6, kapitel 4
- *graddagetallet* er sat til 3765 graddage pr. år og en indetemperatur på 20 °C (Mortensen m.fl. 2018)

Energibesparelse for efterisolering

Energibesparelsen til opvarmning af 1 m² ydervæg/tag med et niveau af efterisolering kan findes vha. følgende udtryk:

$$LV_{besparelse} = \frac{(U_{gammel} - U_{ny}) \cdot graddagetallet \cdot 24 timer}{1000}, \quad (3.12)$$

hvor $LV_{besparelse}$ er besparelsen af leveret varme i kWh pr. m² for et niveau af efterisolering.

3.3 Datagrundlag for fremskrivninger af energiscenarier

Til beregning af miljøpåvirkninger forbundet med produktionen af 1 kWh varme er der benyttet Energistyrelsens fremskrivninger for EL og Fjernvarme (Energistyrelsen 2021a).

Der er regnet med et energitab (nettab og tab på forbrugsside) på 7 % for el og 20 % for fjernvarme (COWI 2020).

3.3.1 Fremskrivning af energimix for elektricitet og fjernvarme

Af Tabel 3.9 og 3.10 fremgår sammensætningen af produktionen af henholdsvis el og fjernvarme (Energistyrelsen 2021b). De resterende 0.5–0.15 % af produktionen stammer fra "øvrig vedvarende energi" og er ikke medregnet.

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Kul	4.99 %	4.75 %	2.35 %	1.88 %	1.69 %	1.48 %	1.01 %	0.70 %	0.00 %	0.00 %
Olie	0.26 %	0.28 %	0.22 %	0.21 %	0.20 %	0.19 %	0.19 %	0.16 %	0.13 %	0.13 %
Naturgas	3.37 %	2.11 %	1.75 %	1.14 %	0.82 %	0.54 %	0.35 %	0.28 %	0.23 %	0.15 %
Biogas	3.60 %	3.42 %	3.30 %	3.06 %	2.83 %	2.57 %	2.35 %	2.21 %	2.12 %	1.98 %
Affald	3.94 %	3.77 %	3.64 %	3.29 %	2.94 %	2.70 %	2.45 %	2.21 %	2.02 %	1.83 %
Biomasse	14.33 %	13.85 %	13.49 %	12.32 %	11.10 %	9.09 %	7.65 %	6.87 %	6.19 %	5.15 %
Vindkraft	50.98 %	54.24 %	54.96 %	56.34 %	58.04 %	65.89 %	71.45 %	70.67 %	69.30 %	67.61 %
PV	5.35 %	8.88 %	12.18 %	15.19 %	16.22 %	17.20 %	18.11 %	19.00 %	19.97 %	20.57 %
El-import	13.13 %	8.65 %	8.06 %	6.52 %	6.11 %	0.28 %	-3.61 %	-2.13 %	0.00 %	2.56 %
Sum	99.95 %	99.95 %	99.95 %	99.95 %	99.96 %	99.96 %	99.96 %	99.96 %	99.96 %	99.96 %

Tabel 3.9: Energistyrelsens fremskrivning af fordelingen af el-produktion fra 2021–2030

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Kul	5.18 %	3.94 %	1.76 %	1.60 %	1.52 %	1.43 %	1.01 %	0.39 %	0.00 %	0.00 %
Olie	0.51 %	0.49 %	0.53 %	0.53 %	0.49 %	0.44 %	0.41 %	0.38 %	0.35 %	0.34 %
Naturgas	5.56 %	3.84 %	3.50 %	2.46 %	1.66 %	1.20 %	0.99 %	0.77 %	0.56 %	0.44 %
Biogas	4.23 %	4.21 %	4.31 %	4.14 %	3.74 %	3.57 %	3.47 %	3.36 %	3.21 %	3.17 %
Affald	2.25 %	22.05 %	21.85 %	20.90 %	19.32 %	18.29 %	17.20 %	16.14 %	14.88 %	13.89 %
Biomasse	50.26 %	50.10 %	51.19 %	49.69 %	47.45 %	44.33 %	42.38 %	41.35 %	40.65 %	38.51 %
Overskudsvarme	3.12 %	3.71 %	3.71 %	3.73 %	3.70 %	3.69 %	3.70 %	3.70 %	3.71 %	3.71 %
Solvarme	1.80 %	1.91 %	2.02 %	2.13 %	2.24 %	2.32 %	2.41 %	2.48 %	2.57 %	2.65 %
Elkedler	1.33 %	0.96 %	0.90 %	0.86 %	0.76 %	0.80 %	0.72 %	0.77 %	0.64 %	0.58 %
Varmepumper	5.61 %	8.66 %	10.10 %	13.82 %	18.98 %	23.77 %	27.56 %	30.51 %	33.28 %	36.59 %
Sum	99.85 %	99.87 %	99.87 %	99.86 %	99.86 %	99.84 %	99.85 %	99.85 %	99.85 %	99.88 %

Tabel 3.10: Energistyrelsens fremskrivning af fordelingen af fjernvarmeproduktion fra 2021–2030

Kapitel 4

Resultater og diskussion

4.1 Miljøpåvirkninger fra produktion af 1 kWh leveret varme

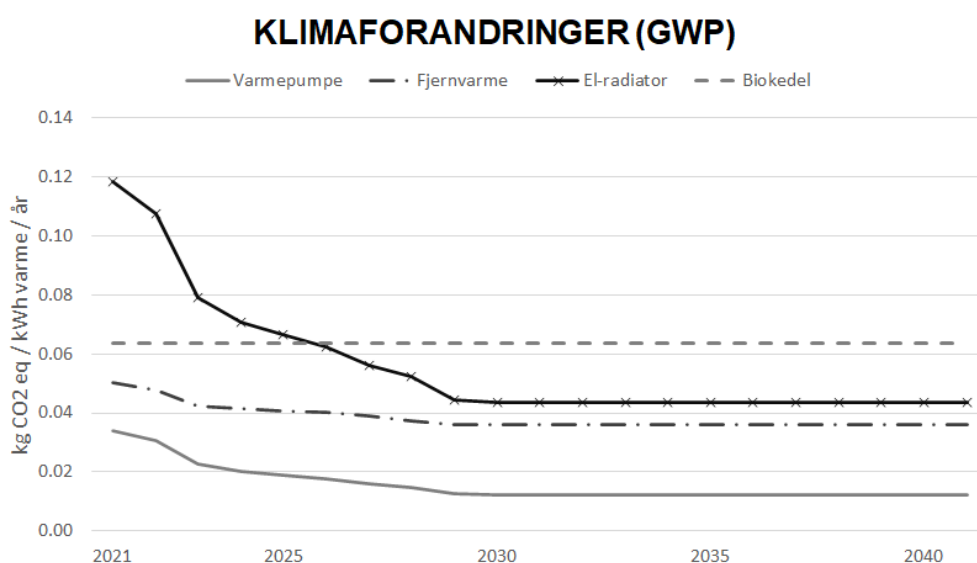
I dette afsnit præsenteres de beregnede miljøpåvirkninger forbundet med produktionen af 1 kWh leveret varme fra de 4 betragtede varmekilder fjernvarme, varmepumpe, el-radiator og biokedel.

Fremskrivninger for fordeling af el- og fjernvarmeproduktion fremgår af Tabel 3.9 og 3.10, kapitel 3.3. Fremskrivningen fra Energistyrelsen betyder, at miljøpåvirkningerne er faldende for produktionen af el og fjernvarme de kommende 10 år. Derefter fremskrives Energistyrelsen ikke længere udviklingen, men forventer, at det opnåede niveau kan opretholdes. Det betyder, at det opnåede niveau i 2030 fastholdes resten af betragtningsperioden.

I de følgende afsnit bliver miljøpåvirkningerne fra de 3 miljøpåvirkningskategorier *GWP*, *HTP* og *LOP* præsenteret:

4.1.1 Klimapåvirkninger (*GWP*)

Figur 4.1 viser fremskrivningen for CO₂-udledning forbundet med produktion af 1 kWh leveret varme fra de 4 forskellige varmekilder, som bliver betragtet.



Figur 4.1: Fremskrivning (Energistyrelsen) af klimaaftrykket fra produktion af 1 kWh leveret varme

I år 2021 har almindelig el-varme det højeste CO₂-aftryk. Dette billede ændrer sig dog hurtigt over de kommende 10 år, og allerede omkring år 2026 vil en biokedel have den højeste udledning af de sammenlignede varmekilder. I år 2030 vil el-varme og fjernvarme have tæt på den samme udledning og varmepumpen vil have det laveste aftryk – hovedsageligt pga. dens effektivitet (SCOP-værdi på 3.5).

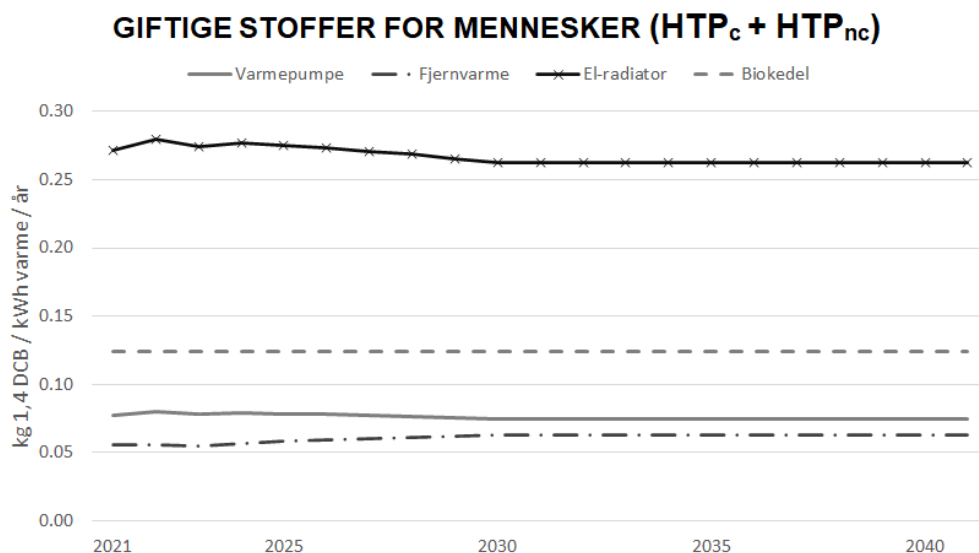
Biokedlen har en konstant udledning over hele betragtningsperioden eftersom der ikke forventes nogen nævneværdig udvikling inden for denne teknologi.

Resultatet viser at der over de kommende 10 år forventes en kraftig reduktion af CO₂-aftrykket fra især produktionen af el, men i høj grad også fjernvarme. Dette hænger sammen med en stigende andel af vedvarende energikilder i produktionen (jf. Tabel 3.9 og 3.10).

4.1.2 Giftige stoffer for mennesker ($HTP_c + HTP_{nc}$)

Giftige stoffer for mennesker (*human toxicity*) omfatter både kræftfremkaldende og ikke-kræftfremkaldende stoffer.

Figur 4.2 viser udledningen af kg 1,4-DCB forbundet med produktionen af 1 kWh leveret varme fra de betragtede varmekilder.



Figur 4.2: Fremskrivning (Energistyrelsen) af giftige stoffer for mennesker fra produktion af 1 kWh leveret varme

Ingen af de 4 varmekilder oplever nogen stor udvikling i løbet af fremskrivningsårene. El-varmen har en lille udvikling men ender i 2030 hvor den startede i år 2021. Varmepumpens udledning falder en smule og fjernvarmen stiger en smule.

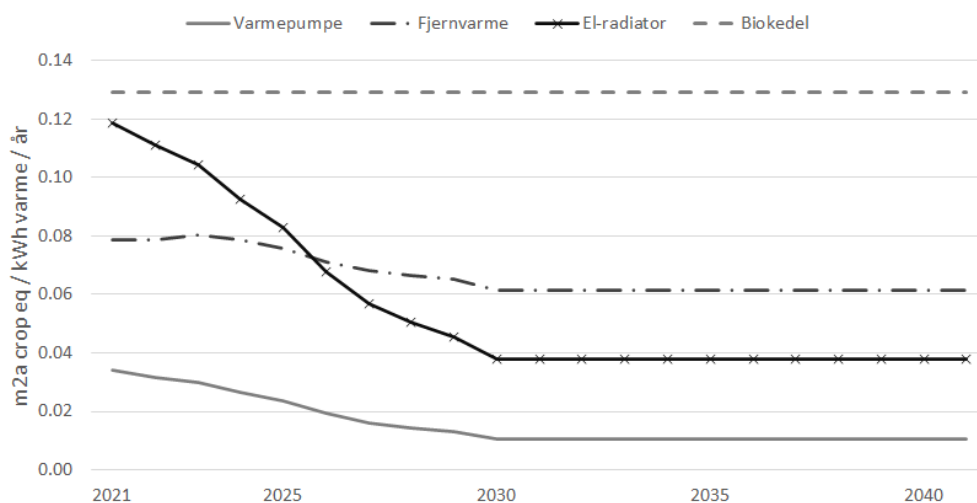
Det vurderes at udviklingen inden for alle 4 varmekilder ikke er betydningsfuld. Det kan således fastslås, at der umiddelbart ikke er tale om en reduktion af CO₂-udledningerne på en bekostning af en større udledning af giftige stoffer for mennesker (ingen *burden shifting*).

4.1.3 Brug af landarealer (LOP)

Den tredje miljøpåvirkningskategori som bliver betragtet er brug af landarealer.

Figur 4.3 viser udviklingen af brug af landarealer fordelt på de 4 betragtede varmekilder.

BRUG AF LANDAREAL (LOP)



Figur 4.3: Fremskrivning (Energistyrelsen) af brug af landarealer fra produktion af 1 kWh leveret varme

Biokedlen har både i begyndelsesåret 2021 og i slutningen af fremskrivningen i år 2030 det højeste forbrug af landarealer. Dette er ikke overraskende eftersom produktionen af træpiller (skov) kræver relativt store arealer.

El-varme, fjernvarme og varmepumpe har alle tre et fald i løbet af fremskrivningen. Især el-varme oplever en reduktion og ender et betydeligt stykke under fjernvarme.

4.1.4 Udvikling i betragtningsperioden for de udvalgte miljøpåvirkningskategorier

Der vurderes på 3 miljøpåvirkningskategorier: *klimapåvirkninger*, *giftige stoffer for mennesker* og *brug af landarealer*, jf. Kapitel 3.1.4.

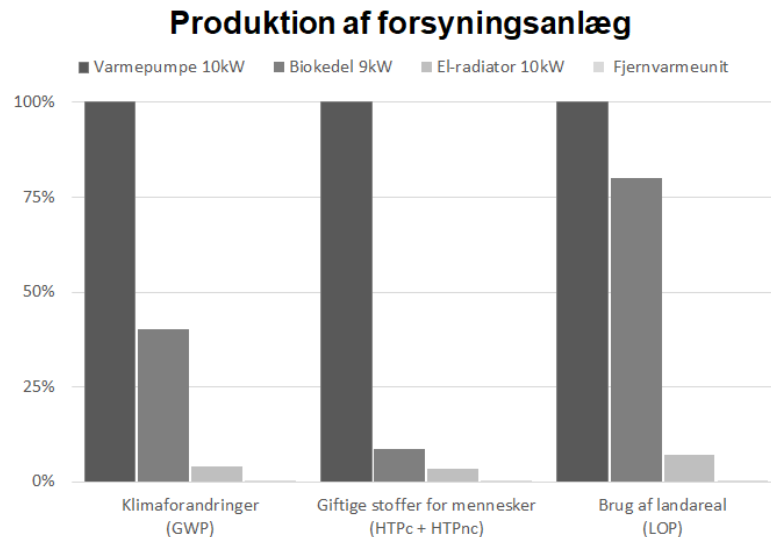
Både *klimapåvirkninger* og *brug af landarealer* falder betydeligt for de tre dynamiske varmekilder i løbet af fremskrivningen. *Giftige stoffer for mennesker* oplever ikke nogen nævneværdig udvikling. Det kan således antages med rimelig sikkerhed, at der ikke er tale om *burden shifting* i forbindelse med at der ses en betydelig reduktion af CO₂-udledningerne for både elektricitet og fjernvarme. Derfor antages det i rapporten, at en reduktion af CO₂-aftryk må ses som en positiv udvikling generelt set.

Energistyrelsens fremskrivninger er baseret på kvalificerede gæt om hvordan energimixet udvikler sig de kommende 10 år. Hvis den egentlige udvikling ser markant anderledes ud, vil dette have en betydelig påvirkning på resultaterne.

Der er regnet med et energitab på 20 % for fjernvarme og 7 % for elektricitet (COWI 2020). Biokedlen har en effektivitetsgrad på 94 %. Der er regnet med en gennemsnitlig SCOP-værdi for varmepumpen på 3.5 jf. Energistyrelsens forventede effektivitet i koldt klima for varmepumper. Hvis den egentlige SCOP-værdi er enten markant lavere eller højere, vil dette have en stor indflydelse på resultaterne for varmepumpen.

4.2 Miljøpåvirkninger fra produktion af forsyningsanlæg

Selve produktionen af forsyningsanlæggene giver også et bidrag til de samlede miljøpåvirkninger. Der regnes med et direkte fjernvarmesystem, hvorfor der *ikke* er noget bidrag fra en fjernvarmeunit. Figur 4.4 viser de indekserede resultater for produktion af de 4 typer af forsyningsanlæg. Alle anlæg regnes med at have en levetid på 20 år – dvs. de kræver én udskiftning i løbet af betragtningsperioden.



Figur 4.4: Indekserede resultater for miljøpåvirkninger fra produktion af forsyningsanlæg

Resultaterne viser, at produktionen af varmepumpen er den mest miljøbelastende for alle tre miljøpåvirkningskategorier. Dette skyldes brugen af mere materiale og flere komponenter i forbindelse med produktionen – især stål, kobber og isolerede slanger har en betydning for aftrykket. Biokedlen udleder mellem 10 % og 80 % ift. varmepumpen over de tre kategorier. El-radiatorer har det mindste miljøaftryk og er samtidig det mest simple af forsyningsanlæggene. Fjernvarmeunit har ingen miljøpåvirkninger, da der regnes med et direkte fjernvarmeanlæg.

Miljøpåvirkningerne fra forsyningsanlæggene, inkl. 1 udskiftning, i løbet af hele betragtningsperioden fremgår af Tabel 4.1.

	Varmepumpe 10kW	Biokedel 9kW	El-radiator 10kW	Fjernvarme- unit	enhed
Klimaaftryk (GWP)	3.27e+03	1.31e+03	1.30e+02	0.00e+00	kg CO ₂ eq
Giftige stoffer for mennesker (HTPc + HTPnc)	2.57e+04	2.23e+03	8.92e+02	0.00e+00	kg 1.4 – DCB
Brug af landareal (LOP)	3.33e+01	2.67e+01	2.36e+00	0.00e+00	m ² a crop eq

Tabel 4.1: Miljøpåvirkninger (total) fra produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og bortskaffelse (C3-C4) af forsyningsanlæg – inkl. 1 udskiftning efter 20 år

4.2.1 Beregning af andel fra produktion af forsyningsanlæg, som bidrager til resultaterne

Det er kun en andel af miljøpåvirkningerne fra produktionen af forsyningsanlægget, som bidrager til resultaterne. Dette skyldes at der kigges på 1 m² konstruktion og ikke en hel bygning. Metoden til at finde bidraget fremgår af Formel 3.5, kapitel 3.2.3.

Metoden til at beregne andelen fra produktionen af forsyningsanlægget, som skal bidrage til resultaterne, har stor betydning for de endelige resultater. Vælges en fundamental anden tilgang/metode, kan det have stor betydning for de endelige resultater.

Udgangspunktet med den valgte metode er baseret på graddøgnsmetoden og et varmebehov fra et hus i Renoveringsklasse 1. På denne måde findes (gennemsnitlige) antal af producerede kWh i varmekildens levetid (for et hus i Renoveringsklasse 1 baseret på graddøgnsmetoden). Derefter multipliceres miljøpåvirkningerne pr. produceret kWh varme fra produktion af forsyningsanlægget med varmebehovet for 1 m² konstruktion, som er isoleret op til minimum-kravene for renovering i BR18 § 279 (se Bilag D).

Dette er en forsimplet måde at regne bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget. En betydelig ændring af bidraget vil påvirke resultaterne og vil have størst betydning for situationer med varmepumpe og ingen betydning for situationer med fjernvarme.

4.3 Miljøpåvirkninger fra efterisoleringsarbejde

Det sidste bidrag til resultaterne kommer fra miljøpåvirkningerne forbundet med selve efterisoleringsarbejdet. De beregnede resultater for ydervægge og tag bliver præsenteret i afsnit 4.3.1 for ydervægge og 4.3.2 for tage:

4.3.1 Efterisoleringsarbejde for ydervægge

Selve efterisoleringsarbejdet efterlader et miljøaftryk. Efterisoleringsarbejdet udføres i begyndelsen af betragtningsperioden (år 2021) og har udledninger forbundet med produktion af materialer (A1-A3), udskiftninger (B4) og i forbindelse med affaldsbehandling ved endt levetid (C3-C4). Figur 4.5, 4.6 og 4.7 viser de samlede miljøpåvirkninger fra forskellige niveauer af efterisolering.

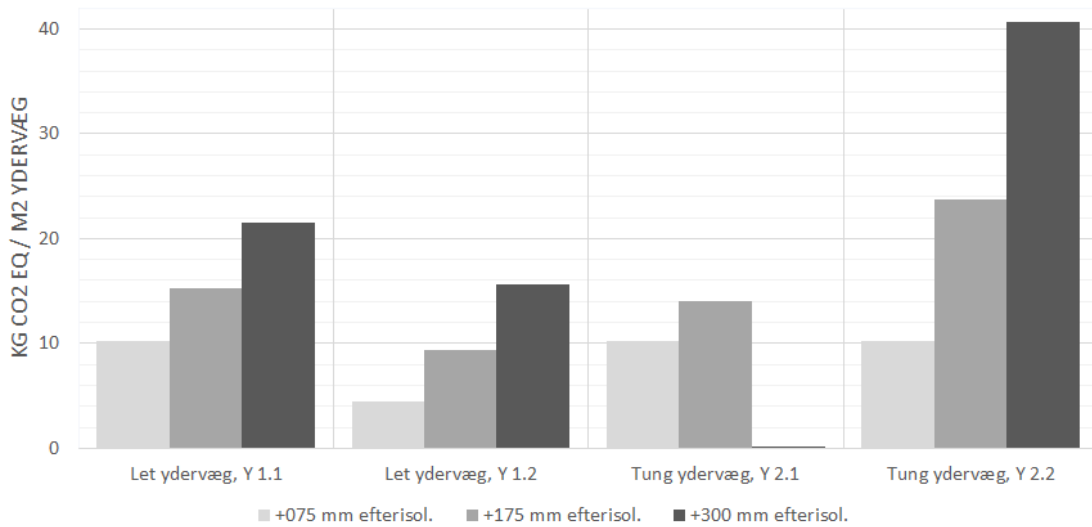
I alle situationer ses der en stigning af miljøpåvirkningerne i takt med at mængden af efterisolering øges. Der kan være store forskelle mellem de forskellige vægtyper – f.eks. er klimaaftrykket fra ydervæg Y 2.2 væsentligt højere end for de øvrige typer. Dette skyldes typen af isolering, hvilket for ydervæg Y 2.2 er *facadebatts* (stenuld), som har en højere densitet end *flexibatts* (stenuld), der er brugt i de øvrige vægtyper. Facadebatts har et højere miljøaftryk grundet deres højere densitet.

Til gengæld har ydervæg Y 2.2 et meget lille brug af landareal sammenlignet med de øvrige vægtyper. Dette skyldes hovedsageligt, at der ikke bruges konstruktionstræ i forbindelse med efterisoleringen af denne væg (eftersom der kan pudses direkte på facadebatts). Konstruktionstræ kræver landarealer til dyrkning af skov¹.

Ydervæg Y 1.2 har lavere miljøpåvirkninger end ydervæg Y 1.1 grundet færre inkluderede materialer i efterisoleringsarbejdet jf. Tabel 3.5.

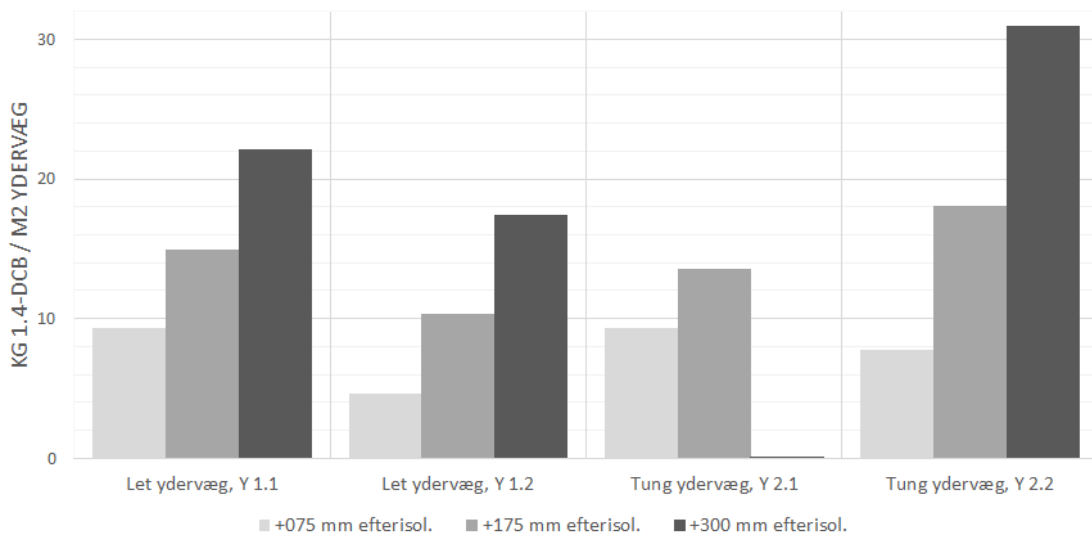
¹se f.eks. PEFC eller FSC

Klimaaftryk (GWP) - for niveauer af efterisolering



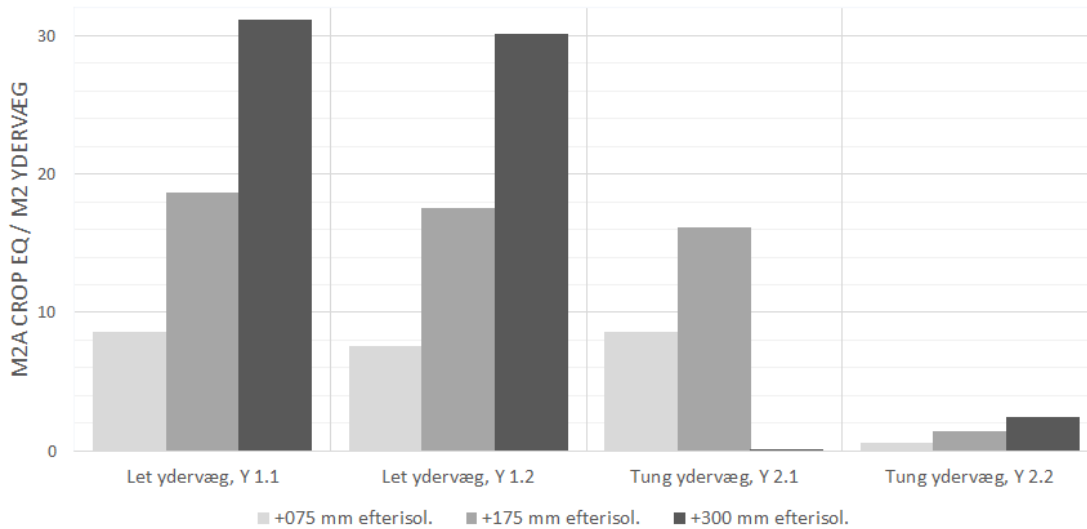
Figur 4.5: Klimaaftryk for forskellige niveauer af efterisolering. Resultaterne viser summen af miljøpåvirkninger fra produktion (A1-A3), udskiftninger (B4) og endt levetid (C3-C4)

Giftige stoffer for mennesker (HTP_c + HTP_{nc}) - for niveauer af efterisolering



Figur 4.6: Udledning af giftige stoffer for mennesker for forskellige niveauer af efterisolering. Resultaterne viser summen af miljøpåvirkninger fra produktion (A1-A3), udskiftninger (B4) og endt levetid (C3-C4)

Brug af landareal (LOP) - for niveauer af efterisolering



Figur 4.7: Brug af landareal for forskellige niveauer af efterisolering. Resultaterne viser summen af miljøpåvirkninger fra produktion (A1-A3), udskiftninger (B4) og endt levetid (C3-C4)

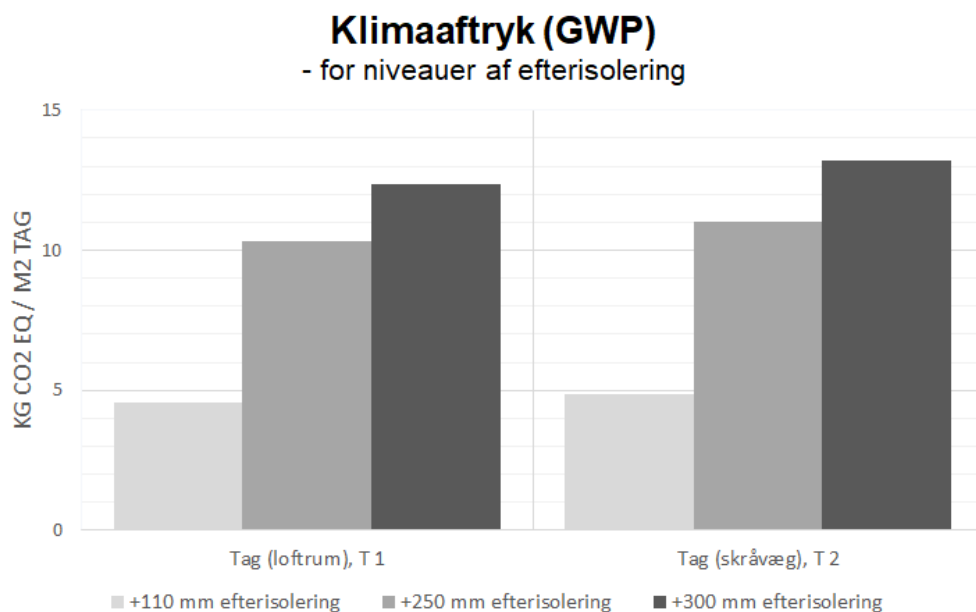
Valg af isoleringsmateriale

Der er kun regnet med stenuldsisolering til efterisoleringen. En anden isoleringstype, som glasuld, EPS, papiruld eller træfiberisolering, vil have en stor betydning for resultaterne. Ligeledes kan en variation af λ -værdien for isoleringen påvirke resultaterne markant.

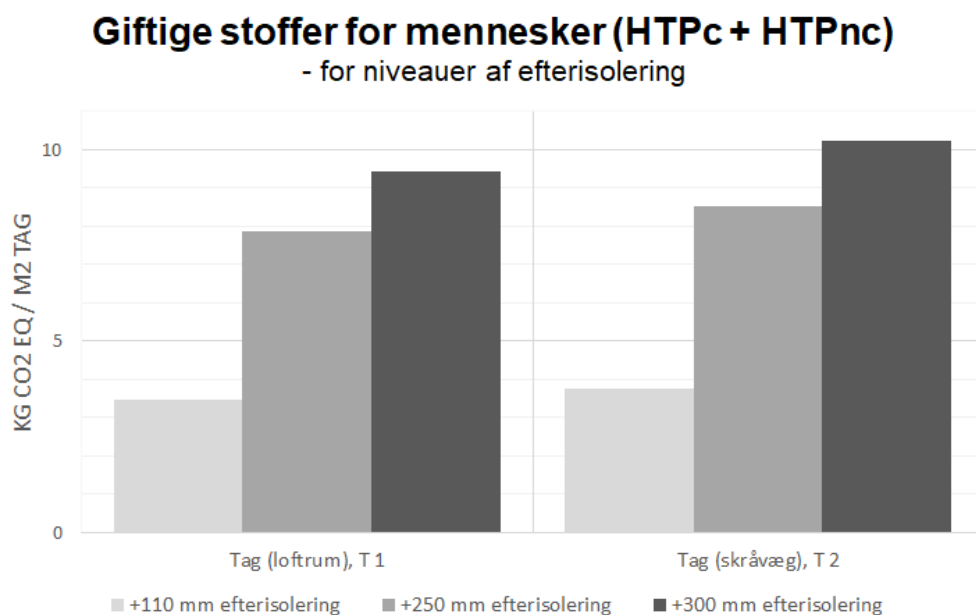
4.3.2 Efterisoleringsarbejde for tag

Efterisoleringsarbejdet for tage udføres i begyndelsen af betragtningsperioden (år 2021) og har udledninger forbundet med produktion af materialer (A1-A3), udskiftninger (B4) og i forbindelse med affaldsbehandling ved endt levetid (C3-C4). Figur 4.8, 4.9 og 4.10 viser de samlede miljøpåvirkninger fra forskellige niveauer af efterisolering.

I alle situationer ses der en stigning af miljøpåvirkningerne i takt med at mængden af efterisolering øges. For både klimaaftrykket (GWP) og udledning af giftige stoffer for mennesker (HTP) ligger tag T 1 og tag T 2 relativt tæt på hinanden – hvor tag T 2 har et smule højere aftryk for begge kategorier. Den store forskel på de to typer tage ses ved brug af landareal hvor tag T 1 har et meget lille aftryk sammenlignet med tag T 2. Dette skyldes hovedsageligt, at der ikke bruges konstrukstræ i forbindelse med efterisoleringen af loftet i tag T 1 (eftersom der isoleres direkte oven på eksisterende isolering på loftrummet). Konstruktionstræet, som bliver brugt til påføring af nye spær på tag T 2, kræver landarealer til dyrkning af skov.

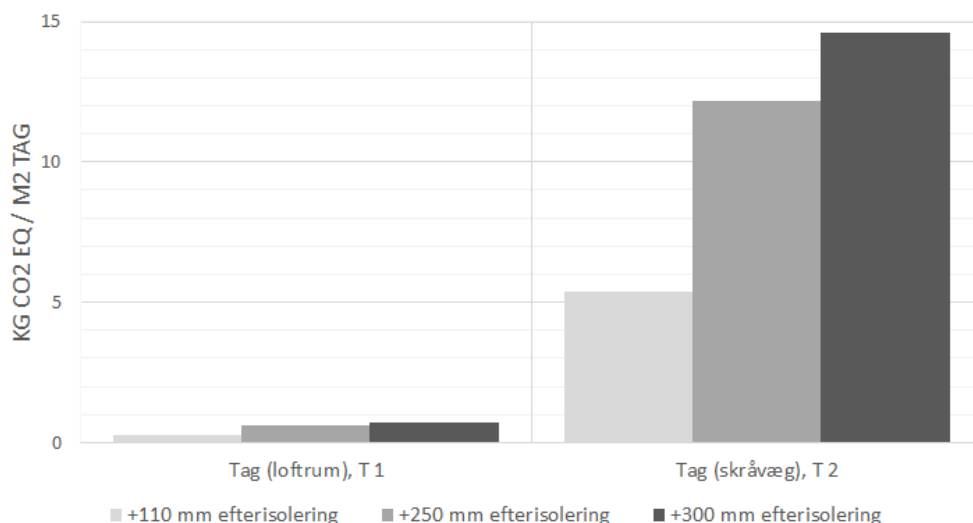


Figur 4.8: Klimaaftryk for forskellige niveauer af efterisolering. Resultaterne viser summen af miljøpåvirkninger fra produktion (A1-A3), udskiftninger (B4) og endt levetid (C3-C4)



Figur 4.9: Udlledning af giftige stoffer for mennesker for forskellige niveauer af efterisolering. Resultaterne viser summen af miljøpåvirkninger fra produktion (A1-A3), udskiftninger (B4) og endt levetid (C3-C4)

Brug af Landareal (LOP) - for niveauer af efterisolering



Figur 4.10: Brug af landareal for forskellige niveauer af efterisolering. Resultaterne viser summen af miljøpåvirkninger fra produktion (A1-A3), udskiftninger (B4) og endt levetid (C3-C4)

Valg af isoleringsmateriale

Der er kun regnet med stenuldsisolering til efterisoleringen. En anden isoleringstype, som glasuld, EPS, papiruld eller træfiberisolering, vil have en stor betydning for resultaterne. Ligeledes kan en variation af λ -værdien for isoleringen påvirke resultaterne markant.

4.4 Resultater for ydervægge

Efter resultaterne for de forskellige bidrag er præsenteret i afsnit 4.1, 4.2 og 4.3, kan bidragene samles for de forskellige typer ydervægge og niveauer af efterisolering.

4.4.1 Introduktion til resultaterne

Efterisolering af ydervægge kan foretages både indvendigt og udvendigt. Generelt anses udvendig efterisolering for at være den forretrukkende løsning pga. fugttekniske forhold. Isoleres der indefra, er det ekstra vigtigt at arbejdet udføres korrekt og generelt anbefales der ikke mere en 150 mm isolering indvendigt på en tung ydervæg.

Der betragtes 2 typer ydervægge, en let og en tung, med både indvendig og udvendig efterisolering – i alt 4 variationer (se Tabel 3.5, kapitel 3.2.1).

Den lette ydervæg med indvendig efterisolering, Y 1.1, er ikke begrænset til 150 mm indvendig efterisolering eftersom der er tale om en let konstruktion med ventileret facade. Der vil dog ofte være en naturlig begrænsning eftersom indvendig efterisolering kræver plads fra opholdsrummet. Ydervæg Y 2.1, som er en tung ydervæg med indvendig efterisolering, er begrænset ved højest at kunne efterisoleres med 150 mm isolering indvendigt (total), for at undgå fugtproblemer i væggen. For en tung ydervæg, er den forretrukkende løsning udvendig efterisolering (ydervæg Y 2.2).

Øges niveauet af efterisolering bidrager det til en forbedret U-værdi. Tabel 3.7 viser U-værdierne for de forskellige niveauer af efterisolering, som bliver betragtet. Beregningerne af U-værdier for ydervægge og niveauer af efterisolering kan ses i Bilag C.

4.4.2 Bemærkning til resultaterne

Jf. Formel 3.1 i kapitel 3.2 er resultaterne i de følgende afsnit en sum af bidrag fra:

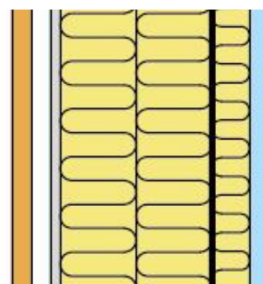
1. **Efterisoleringsarbejde.** Livscyklusvurderingen fra efterisoleringsarbejdet udtrykkes samlet i år 0. Dette indeholder både produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4). Dette er en forsimplet måde at se det på, da en del af udledningerne sker i slutningen af betragtningsperioden
2. **Andel fra produktion af forsyningsanlæg.** Bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget udtrykkes pr. år og er således fordelt ud over hele betragtningsperioden, se Formel 3.4 i kapitel 3.2.3
3. **Leveret varme (drift).** De beregnede udledninger for produktionen af 1 kWh leveret varme (fra Afsnit 4.1) bruges til at beregne miljøaftrykket fra forbruget til drift (B6) for de forskellige niveauer af efterisolering. Forbruget til drift udregnes for hvert år over hele betragtningsperioden på 40 år pga. fremskrivningen for fjernvarme og elektricitet, jf. Formel 3.9 i kapitel 3.2.4

Udvælgelse af resultater

For hver af de 4 ydervægskonstruktioner er der resultater for hver type opvarmingskilde som bliver betragtet. I de følgende afsnit præsenteres kun udvalgte resultater, hvor der primært fokuseres på opvarmning med *fjernvarme* og *varmepumpe*. Resultaterne for de øvrige varmekilder fremgår af Bilag A.

4.4.3 Resultater for let ydervæg, Y 1.1

Ydervæg Y 1.1 er en let ydervæg med indvendig efterisolering. Det antages at der i forbindelse med renovering bliver efterisoleret og opsat ny inderbeklædning. Det betyder at der er inkluderet isolering, træskelet, dampspærre og gipsplader i forbindelse med efterisoleringsarbejdet, se Tabel 3.5. Spartling, filt og maling af gipsplader er ikke inkluderet, da dette arbejde antages at ville være udført alligevel i forbindelse med renoveringen (uanset om der efterisoleres eller ej).



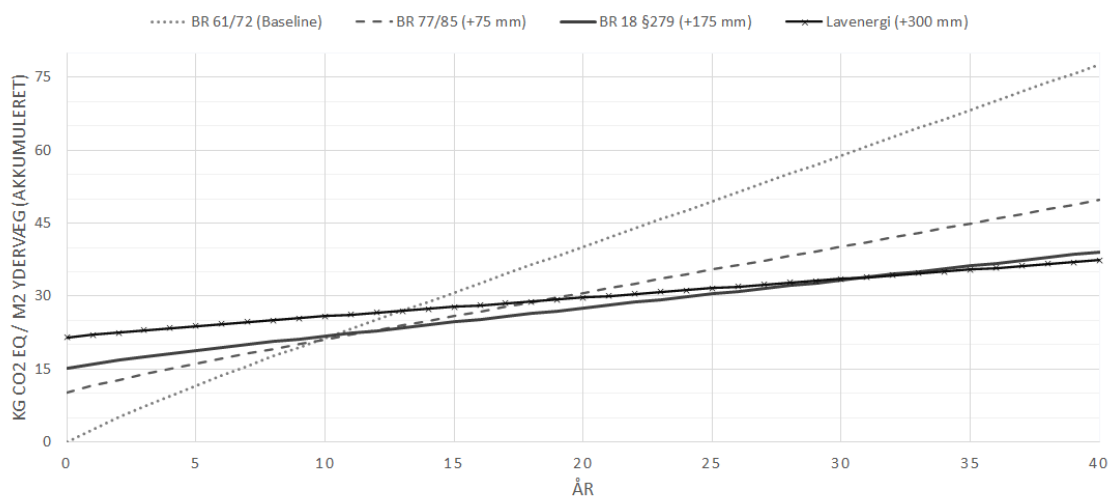
Y 1.1 – let ydervæg

Opvarmning med fjernvarme

Figur 4.11 viser det akkumulerede klimaaftryk for baseline (BR61/72) samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra fjernvarme. De 3 niveauer af efterisolering lever op til kravene i forskellige versioner af Bygningsreglementet.

Efterisoleringsarbejdet ses samlet i år 0, jf. afsnit 4.4.2. Bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget ses i år 1 og år 21 (ikke aktuelt for fjernvarme). Påvirkningerne fra den leverede varme (drift) bliver akkumuleret hvert år i betragtningsperioden.

LET YDERVÆG, Y 1.1 - FJERNVARME



Figur 4.11: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **fjernvarme**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

Tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering er:

- +75 mm: 11 år
- +175 mm: 11 år
- +300 mm: 14 år

Baseline, som svarer til kravene for varmeisolering i BR61/72, indeholder ikke efterisolering og der er således ingen miljøpåvirkninger i år 0. Pga. den dårligere isoleringsevne er energibehovet dog større i løbet af hele betragtningsperioden hvilket medfører at de samlede påvirkninger er størst efter 40 år.

Efterisolering med +75 mm svarer til kravene til varmeisolering i BR77/85, +175 mm svarer til kravene i BR18 §279 og +300 mm svarer til anbefalingerne for lavenergiklasse.

Efterisolering jf. BR77/85 og BR18 har en tilbagebetalingstid på 11 år ift. baseline. Efterisolering jf. lavenergiklassen har en længere tilbagebetalingstid på 14 år ift. baseline. Derimod går der 28 år før lavenergiklassen er bedre end BR18 kravene. De to niveauer af efterisolering ender betragtningsperioden med næsten samme klimaaftryk.

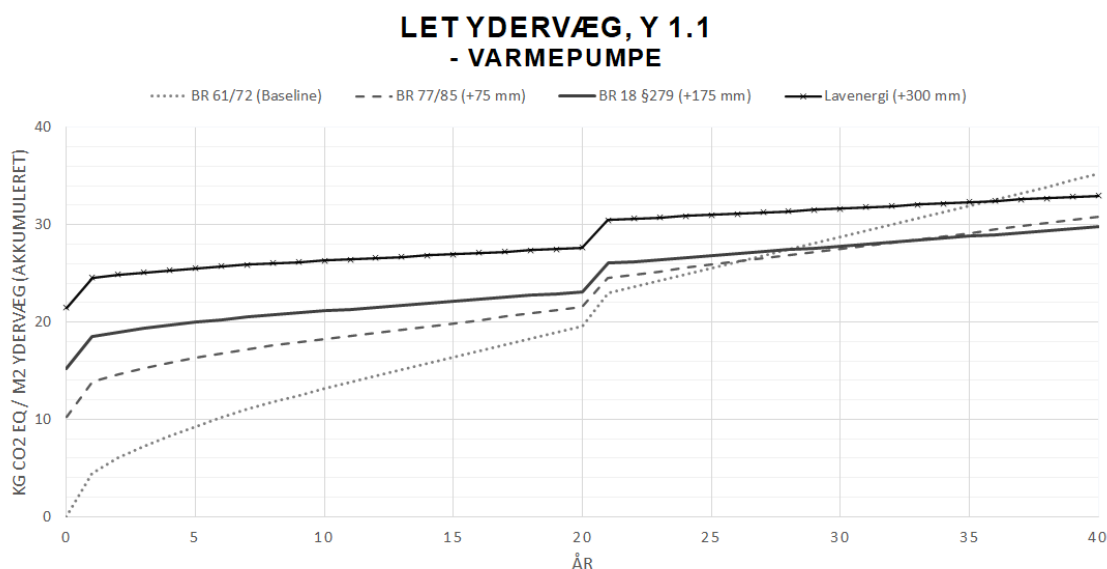
Eftersom efterisolering jf. BR18 kravene klarer sig bedst i de første 28 år af betragtningsperioden, kan man overveje hvornår man ønsker en besparelse af klimaaftrykket – nu eller om 30 år?

Hvis byggebranchen skal medvirke til at opnå diverse delmål om reduktion af klimaaftrykket i Danmark inden for de næste 10-30 år, så kan man argumentere for, at en løsning med et lavere aftryk i den første del af betragtningsperioden er mere attraktiv.

Eftersom der regnes med et *direkte fjernvarmesystem*, ses der ingen bidrag fra produktion af en fjernvarmeunit i år 1 og 21. Hvis der er tale om et indirekte fjernvarmesystem, vil resultatet blive påvirket heraf, eftersom der skal medregnes et bidrag fra produktionen af en fjernvarmeunit.

Opvarmning med varmepumpe

Figur 4.12 viser klimaaftrykket for baseline og de samme 3 niveauer af efterisolering for ydervæg Y 1.1, i en situation med varmepumpe.



Figur 4.12: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra varmepumpe. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

Tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering er:

- +75 mm: 27 år
- +175 mm: 28 år
- +300 mm: 36 år

Pga varmepumpens effektivitet og lavere udledning pr. produceret kWh varme (se Figur 4.1) ses der en længere tilbagebetalingstid for alle tre niveauer af efterisolering, sammenlignet med fjernvarme. Således er tilbagebetalingstiden for +75 mm efterisolering på hele 27 år. Først herefter kan efterisolering med +75 mm og året efter +175 mm betale sig. Der skal gå 36 år før efterisolering med +300 mm kan betale sig.

I slutningen af betragtningsperioden har efterisolering jf. BR18 det laveste klimaaftryk, tæt efterfulgt af BR77/85.

Bidraget fra selve produktionen af varmepumpen i år 1 og år 21 ses tydeligt. Dette understreger vigtigheden af den valgte metode til beregning af bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget (især for varmepumpen). En anden metode for beregningen af bidraget eller anden *størrelse* på varmepumpen, kan således have en afgørende betydning for resultaterne.

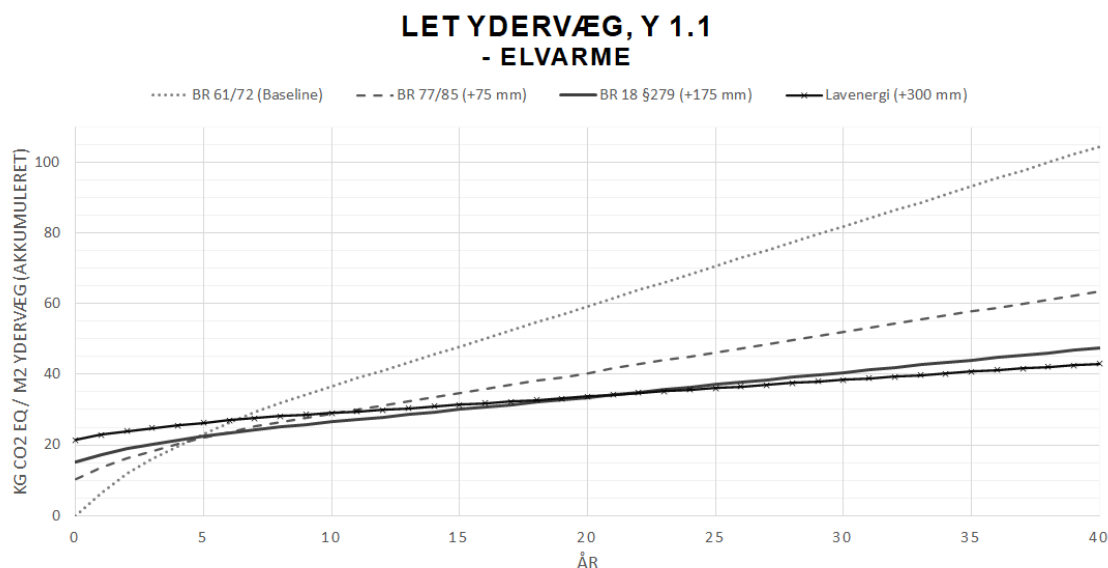
Varmepumpens kapacitet, som har betydning for bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget i år 1 og år 21, er på 10 kW (se Tabel 4.1). For baseline, med det største varmebehov, er det usikkert hvorvidt dette er tilstrækkeligt.

Hvis det antages, at der i stedet var behov for en varmepumpe med større kapacitet, hvorimod 10 kW stadig er tilstrækkeligt i de 3 situationer med efterisolering, ville man se et større bidrag fra

produktionen af varmepumpen. Dette vil have en afgørende betydning for tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering og skal tages med som en forudsætning for resultaterne.

Opvarmning med el-varme

Figur 4.13 viser klimaafttrykket for baseline og de samme 3 niveauer af efterisolering for ydervæg Y 1.1, i en situation med almindelig *elvarme* (el-radiator).



Figur 4.13: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **elvarme**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

Tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering er:

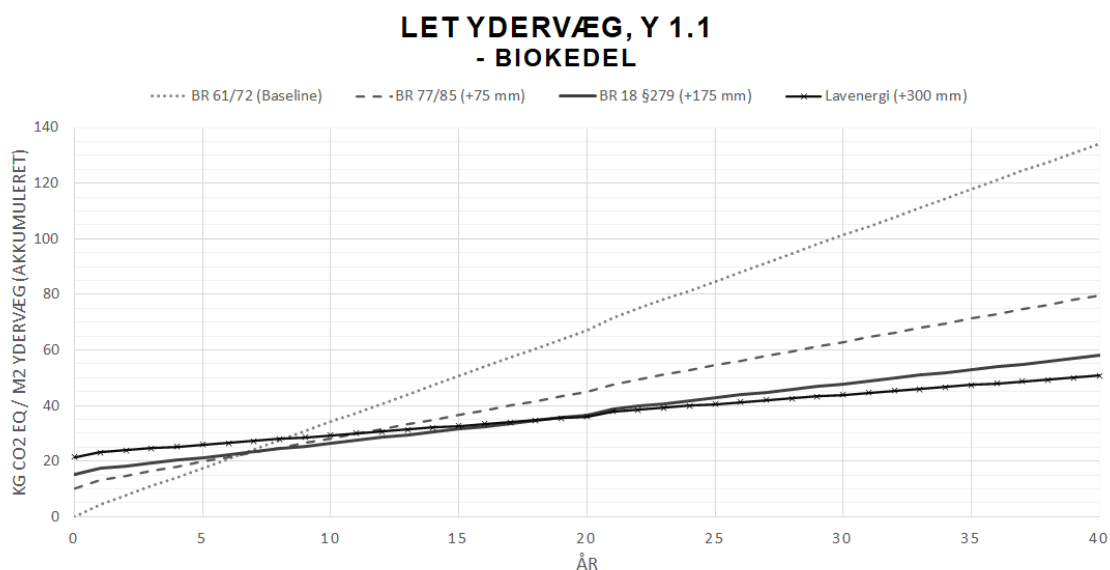
- +75 mm: 5 år
- +175 mm: 5 år
- +300 mm: 7 år

Her tegner sig det samme billede som ved opvarmning med fjernvarme. Efterisolering jf. Lavenergiklassen og BR18 kan bedst betale sig. Dog er tilbagebetalingstiden *under* 10 år for alle tre niveauer af efterisolering. Dette skyldes det højere klimaafttryk forbundet med produktionen af elvarme (jf. Figur 4.1).

Selve produktionen af elradiator har et næsten ubetydeligt bidrag til resultaterne. Dette flugter med resultaterne fra Figur 4.4. Det må derfor konkluderes, at resultaterne ikke vil blive påvirket mærkbart af hverken en ændring i størrelsen på kapaciteten for baseline, eller metoden til beregning af bidraget fra produktionen af elradiatorerne, medmindre denne ændres markant.

Opvarmning med biokedel

Figur 4.14 viser klimaaftrykket for baseline og de samme 3 niveauer af efterisolering for ydervæg Y 1.1, i en situation med *biokedel* (pillefyr).



Figur 4.14: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **biokedel**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

Tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering er:

- +75 mm: 7 år
- +175 mm: 7 år
- +300 mm: 9 år

Produktionen af varme med biokedel er ikke fremskrevet ligesom fjernvarme og elektricitet, da der ikke forventes den samme betydningsfulde udvikling inden for effektiviteten af biokedler eller produktionen af træpiller. Klimaaftrykket forbundet med produktion af varme fra biokedlen er derfor lineært gennem hele betragtningsperioden (se Figur 4.1).

Resultaterne flugter med resultaterne for opvarmning med el-varme. Dog ses der et større bidrag fra produktionen af biokedlen, hvilket flugter med resultaterne på Figur 4.4.

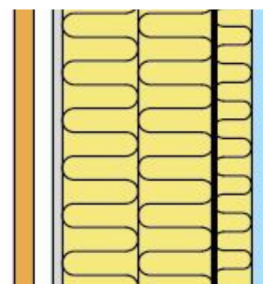
Alle tre niveauer af efterisolering kan betale sig inden for 10 år. De første 19 år af betragtningsperioden kan efterisolering jf. BR18 bedre betale sig ift. lavenergiklassen. Besparelserne ved efterisolering jf. lavenergiklassen sørger dog for, at dette niveau af efterisolering har det laveste klimaaftryk i hele den sidste halvdel af betragtningsperioden.

En del af klimaaftrykket fra opvarmning med biokedel stammer fra produktionen af træpiller. Der indgår bl.a. en tørringsprocess, som bruger energi. En betydningsfuld udvikling/ændring i disse processer i løbet af betragtningsperioden, kan have en indvirkning på resultaterne og gøre miljøpåvirkningerne pr. produceret kWh varme mindre for biokedlen – i stil med udviklingen for el- og fjernvarme. Resultaterne i denne rapport tager ikke højde for en sådan eventuel udvikling og dens eventuelle betydning for resultaterne.

4.4.4 Resultater for let ydervæg, Y 1.2

Ydervæg Y 1.2 er en let ydervæg med udvendig efterisolering. Det antages at der i forbindelse med renovering bliver efterisoleret og påført nyt træskelet. Det betyder at der er inkluderet isolering, træskelet og dampspærre i forbindelse med efterisoleringsarbejdet, se Tabel 3.5.

Vindspærre og yderbeklædning er ikke inkluderet, da dette arbejde antages at ville være udført alligevel i forbindelse med renoveringen (uanset om der efterisoleres eller ej).

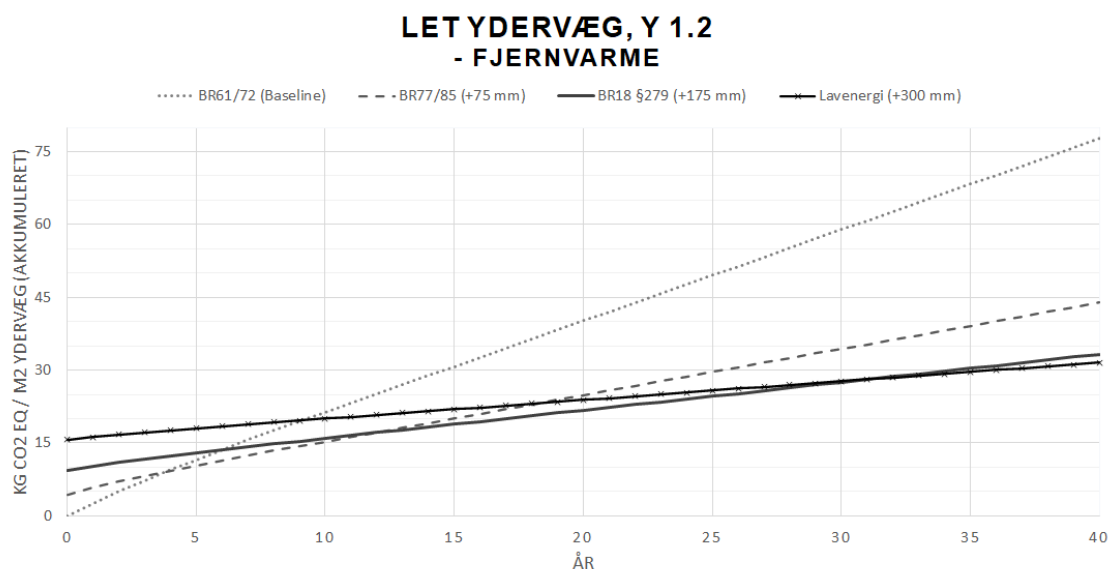


Y 1.2 – let ydervæg

Opvarmning med fjernvarme

Figur 4.15 viser klimaaftrykket for baseline (BR61/72) samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra *fjernvarme*. De 3 niveauer af efterisolering lever op til kravene i forskellige versioner af Bygningsreglementet.

Efterisoleringsarbejdet ses samlet i år 0, jf. afsnit 4.4.2. Bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget ses i år 1 og år 21 (ikke aktuelt for fjernvarme). Påvirkningerne fra den leverede varme (drift) bliver akkumuleret hvert år i betragtningsperioden.



Figur 4.15: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **fjernvarme**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

Tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering er:

- +75 mm: 4 år
- +175 mm: 6 år
- +300 mm: 10 år

Der ses en forbedring af hvornår efterisoleringsarbejdet kan betale sig, sammenlignet med ydervæg Y 1.1 med fjernvarme. Den kortere tilbagebetalingstid skyldes at der er færre materialer

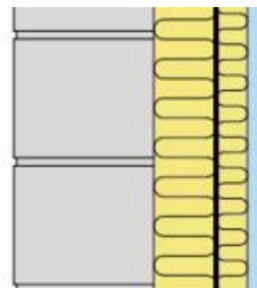
forbundet med efterisoleringsarbejdet ved denne vægtype, jf. Figur 4.5.

Inden for 10 år kan alle tre niveauer af efterisolering betale sig, hvilket betyder at en stor besparelse på klimaaftrykket ses i størstedelen af betragtningsperioden. Der går dog 32 år før at efterisolering jf. lavenergiklassen bedre kan betale sig ift. efterisolering jf. BR18 krav. De to niveauer af efterisolering slutter således betragtningsperioden med næsten samme, akkumulerede klimaaftryk.

Resultaterne bærer præg af, at der er færre miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet sammenlignet med ydervæg Y 1.1. Dette skyldes en antagelse om, at husets klimaskærm står foran en renovering uanset om der efterisoleres eller ej. I en situation hvor klimaskærmen *ikke* står foran en renovering, vil udskiftning af denne også skulle inkluderes i efterisoleringsarbejdet, eftersom det er nødvendigt for at afslutte den nye facade med udvendig isolering. Dette vil, naturligvis, have en stor betydning for resultaterne eftersom man vil se et større bidrag fra efterisoleringsarbejdet i år 0 på graferne, som vil betyde en længere tilbagebetalingstid for niveauerne af efterisolering.

4.4.5 Resultater for tung ydervæg, Y 2.1

Ydervæg Y 2.1 er en tung ydervæg med indvendig efterisolering. Det antages at der i forbindelse med renovering bliver efteriseret og påført nyt træskelet. Det betyder at der er inkluderet isolering, træskelet, dampspærre og gipsplader i forbindelse med efterisoleringsarbejdet, se Tabel 3.5.



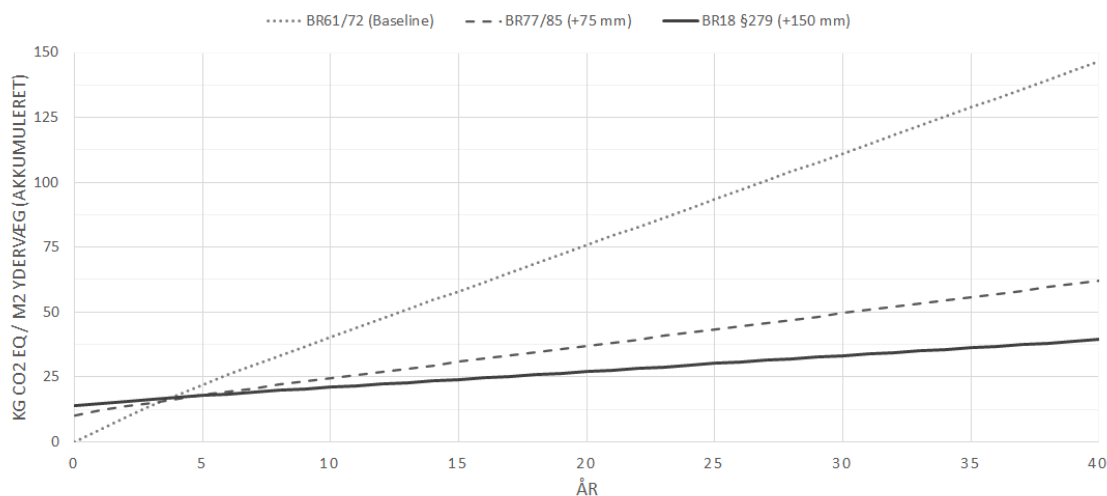
Tung ydervæg, Y 2.1

Opvarmning med fjernvarme

Figur 4.16 viser klimaaftrykket for baseline (BR61/72) samt 2 niveauer af efterisolering med opvarmning fra *fjernvarme*. De 2 niveauer af efterisolering lever op til kravene i forskellige versioner af Bygningsreglementet. For denne vægtype er der en øvre grænse for, hvor meget der efterisoleres indefra, pga. fugttekniske forhold. Derfor er det højeste niveau af efterisolering +150 mm.

Efterisoleringsarbejdet ses samlet i år 0, jf. afsnit 4.4.2. Bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget ses i år 1 og år 21 (ikke aktuelt for fjernvarme). Påvirkningerne fra den leverede varme (drift) bliver akkumuleret hvert år i betragtningsperioden.

TUNG YDERVÆG, Y 2.1 - FJERNVARME



Figur 4.16: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra fjernvarme. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

Tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering er:

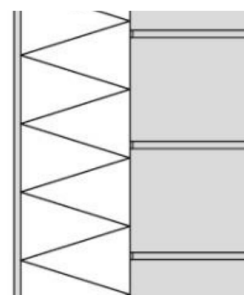
- +75 mm: 4 år
- +150 mm: 4 år

Begge niveauer af efterisolering kan betale sig efter bare 4 år. Dette skyldes, at den eksisterende løsning er en massiv væg uden isolering med en U-værdi på 1.01 (se Tabel 3.7), hvilket svarer til kravene i det historiske BR61 og BR72 for tunge ydervægge (se Tabel 2.1). Efterisolering jf. BR18 krav klarer sig samlet set bedst over hele betragtningsperioden. Derudover er det også bedre end efterisolering jf. BR77/85 efter blot 5 år. Dette på trods af en større udledning i år 0 som følge af et større efterisoleringsarbejde med dobbelt så meget isolering.

Dette betyder, at uanset om fokus er på en reduktion af klimaftrykket på kort eller lang sigt, så er +150 mm efterisolering jf. BR18 den bedste løsning ift. klimaftrykket for ydervæg Y 2.1.

4.4.6 Tung ydervæg, Y 2.2

Ydervæg Y 2.2 er en tung ydervæg med udvendig efterisolering. Det antages at der i forbindelse med renovering bliver efterisolering udvendigt med facadebatts (hvor der kan puds direkte ovenpå efterfølgende), se Tabel 3.5. Puds-arbejdet er ikke inkluderet i beregningerne, da det antages at klimaskærmen skal udskiftes/renoveres alligevel (uanset om der efterisoleres eller ej).

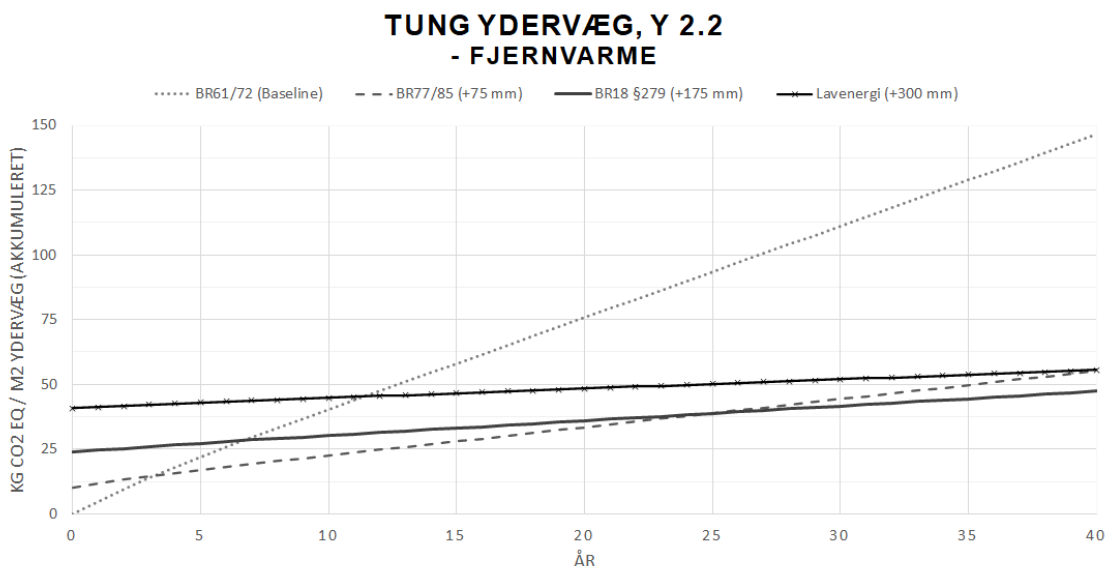


Y 2.2 – tung ydervæg

Opvarmning med fjernvarme

Figur 4.17 viser klimaafttrykket for baseline (BR61/72) samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra fjernvarme. De 3 niveauer af efterisolering lever op til kravene i forskellige versioner af Bygningsreglementet.

Efterisoleringsarbejdet ses samlet i år 0, jf. afsnit 4.4.2. Bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget ses i år 1 og år 21 (ikke aktuelt for fjernvarme). Påvirkningerne fra den leverede varme (drift) bliver akkumuleret hvert år i betragtningsperioden.



Figur 4.17: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra fjernvarme. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

Tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering er:

- +75 mm: 4 år
- +175 mm: 7 år
- +300 mm: 12 år

Resultaterne er her noget anderledes, sammenlignet med Ydervæg Y 2.1. Der ses stadig korte tilbagebetalingstider for alle tre niveauer af efterisolering – især +75 mm og +175 mm som er tilbagebetalt inden for 10 år. Et bemærkelsesværdigt resultat er, at efterisolering jf. BR77/85 er den mindst klimabelastende løsning i mere end halvdelen af betragtningsperioden. Der går 25 år før efterisolering jf. BR18 bedre kan betale sig. Derudover ender BR77/85 og lavenergiklassen med det samme klimaafttryk i slutningen af betragtningsperioden – forskellen værende at lavenergiklassen har haft et, markant, større klimaafttryk i hele den resterende del af betragtningsperioden.

Igen er spørgsmålet om hvornår man ønsker at se en reduktion af klimaafttrykket meget relevant at have med i overvejelserne om hvilket niveau af efterisolering der er at foretrække.

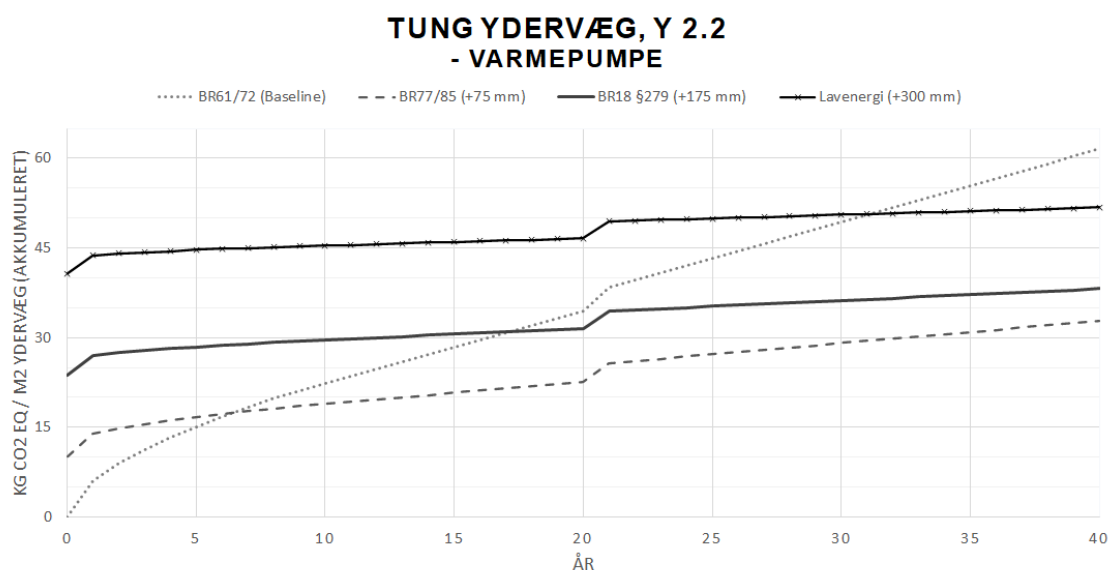
De relativt høje miljøpåvirkninger fra efterisoleringsarbejdet, sammenlignet med eksempelvis ydervæg Y 2.1, skyldes brugen af facadebatts, som har en højere densitet og dermed

miljøpåvirkning, i forhold til flexibatts. Der er benyttet flexibatts for alle øvrige typer af ydervægge og tage.

Valget af facadebatts har således en stor betydning for resultaterne. En løsning hvor der efterisoleres udvendigt med et træskelet og flexibatts vil således give kortere tilbagebetalingstider for niveauerne af efterisolering for denne vægtype.

Opvarmning med varmepumpe

Figur 4.18 viser klimaafttrykket for baseline og de samme 3 niveauer af efterisolering for ydervæg Y 2.2 i en situation med *varmepumpe*.



Figur 4.18: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **varmepumpe**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

Tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering er:

- +75 mm: 7 år
- +175 mm: 18 år
- +300 mm: 32 år

I situationen med varmepumpe er resultaterne langt mere spredte og konklusionen nemmere at drage: der er ingen tvivl om, at efterisolering jf. BR77/85 er mest attraktiv eftersom dette niveau klarer sig bedst igennem hele betragtningsperioden. Tilbagebetalingstiden er ligeledes på under 10 år.

Efterisolering jf. BR18 har en relativt lang tilbagebetalingstid på 18 år, men klarer sig til gengæld markant bedre end baseline i slutningen af betragtningsperioden.

Efterisolering jf. lavenergiklassen er umiddelbart ikke attraktiv i denne situation pga. en meget lang tilbagebetalingstid på 32 år og en mindre markant besparelse ift. baseline i slutningen af betragtningsperioden.

Varmepumpens kapacitet, som har betydning for bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget i år 1 og år 21, er på 10 kW (se Tabel 4.1). For baseline, med det største varmebehov, er det usikkert hvorvidt dette er tilstrækkeligt.

Hvis det antages, at der i stedet var behov for en varmepumpe med større kapacitet, hvorimod 10 kW stadig er tilstrækkeligt i de 3 situationer med efterisolering, ville man se et større bidrag fra produktionen af varmepumpen. Dette kan have en afgørende betydning for tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering.

4.5 Resultater for Tage

4.5.1 Introduktion til resultaterne

Efterisolering af tag eller loft kan foretages både indefra og udefra.

Ved efterisolering af et uudnyttet loftrum er det ofte tilstrækkeligt at efterisolere direkte oven på eksisterende isolering på loftrummet (indvendig efterisolering). Det kan være nødvendigt at anlægge ny gangbro på loftrummet. Efterisolering af skråvægge i et udnyttet tagrum vil som regel gøres udefra, for ikke at optage plads fra opholdsrummet med skråvægge. Dette kræver, i de fleste tilfælde, at der påføres nye spær og at tagbelægningen løftes/udskiftes.

Der betragtes to typer tage, et loftrum (tag T 1) og et tag med skråvægge (tag T 2) – se Tabel 3.4, Kapitel 3.2.1.

Øges niveauet af efterisolering, bidrager det til en forbedret U-værdi af taget. Tabel 3.6 viser U-værdierne for de forskellige niveauer af efterisolering som bliver betragtet. Beregningerne af U-værdier for niveauer af efterisolering kan ses i Bilag C.

4.5.2 Bemærkning til resultaterne

Jf. Formel 3.1 i kapitel 3.2 er resultaterne i de følgende afsnit en sum af bidrag fra:

1. **Efterisoleringsarbejde.** Livscyklusvurderingen fra efterisoleringsarbejdet udtrykkes samlet i år 0. Dette indeholder både produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4). Dette er en forsimplet måde at se det på, da en del af udledningerne sker i slutningen af betragtningsperioden
2. **Andel fra produktion af forsyningsanlæg.** Bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget udtrykkes pr. år og er således fordelt ud over hele betragtningsperioden, se Formel 3.4 i kapitel 3.2.3
3. **Leveret varme (drift).** De beregnede udledninger for produktionen af 1 kWh leveret varme (fra Afsnit 4.1) bruges til at beregne miljøaftrykket fra forbruget til drift (B6) for de forskellige niveauer af efterisolering. Forbruget til drift udregnes for hvert år over hele betragtningsperioden på 40 år pga. fremskrivningen for fjernvarme og elektricitet, jf. Formel 3.9 i kapitel 3.2.4

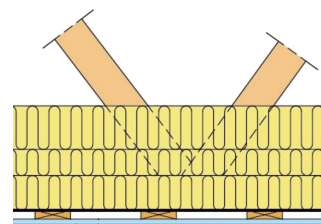
Udvælgelse af resultater

For hver af de 2 tagkonstruktioner er der resultater for hver type opvarmingskilde som bliver betragtet. I de følgende afsnit præsenteres kun udvalgte resultater, hvor der fokuseres på opvarmning med *fjernvarme* og *varmepumpe*.

Resultaterne for de øvrige varmekilder kan ses i Bilag A.

4.5.3 Resultater for tag T 1 (loftrum)

Tag T 1 er et loftrum med mulighed for at efterisolere indvendigt direkte oven på den eksisterende isolering. Det antages at der i forbindelse med efterisoleringen ikke er behov for ekstra arbejde, se Tabel 3.4. Opførelse af en evt. ny gangbro på loftet og evt. særlige forhold omkring skunken er der ikke taget højde for i beregningerne.

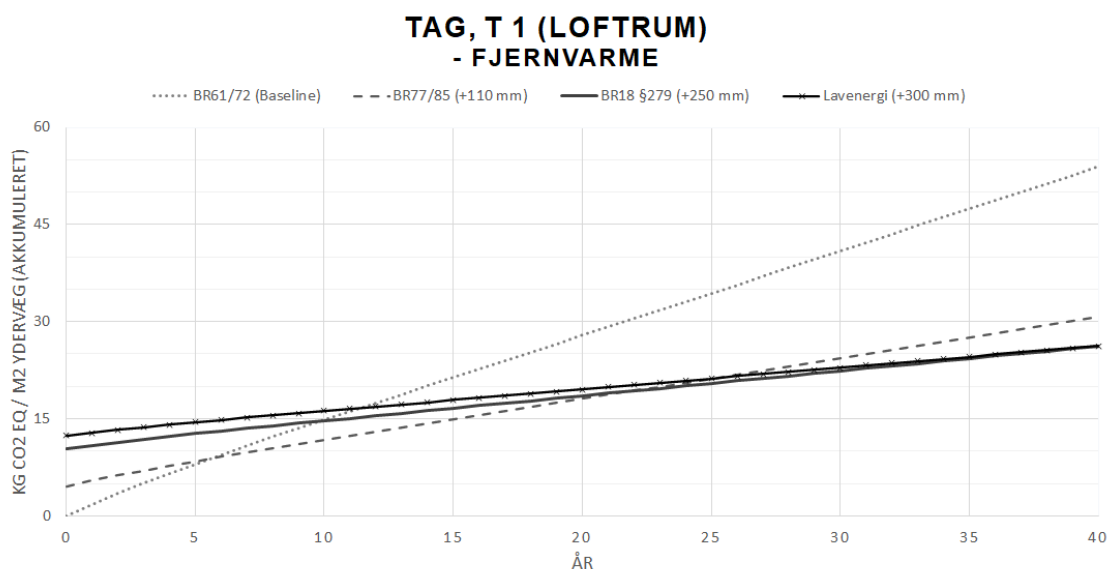


T 1 – loftrum

Opvarmning med fjernvarme

Figur 4.19 viser klimaafttrykket for baseline (BR61/72) samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra fjernvarme. De 3 niveauer af efterisolering lever op til kravene i forskellige versioner af Bygningsreglementet.

Efterisoleringsarbejdet ses samlet i år 0, jf. afsnit 4.4.2. Bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget ses i år 1 og år 21 (ikke aktuelt for fjernvarme). Påvirkningerne fra den leverede varme (drift) bliver akkumuleret hvert år i betragtningsperioden.



Figur 4.19: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra fjernvarme. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

Tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering er:

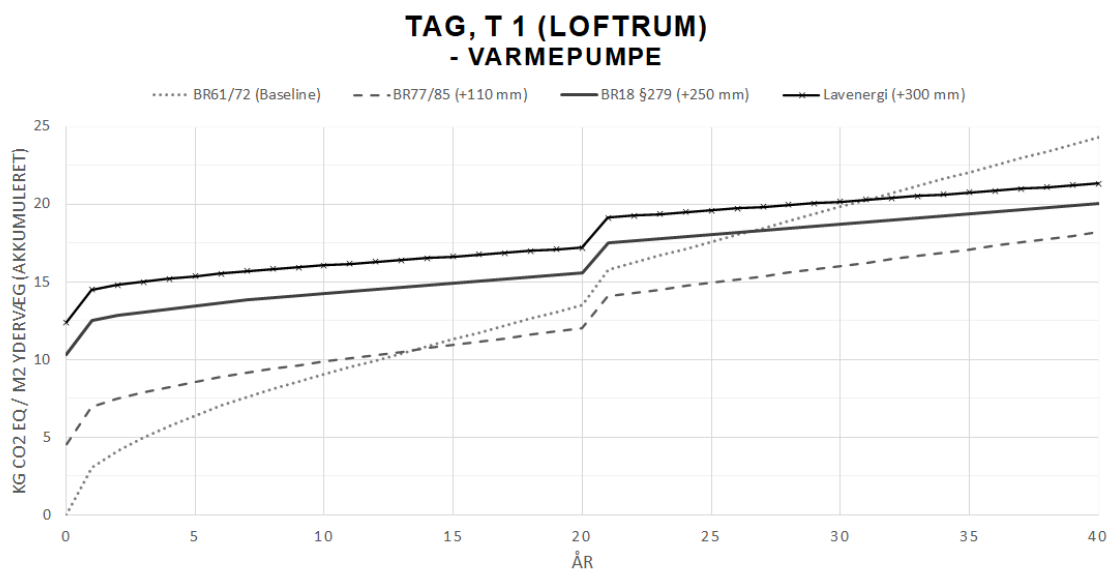
- +110 mm: 6 år
- +250 mm: 10 år
- +300 mm: 12 år

Der er en kort tilbagebetalingstid for alle 3 niveauer af efterisolering – især for +110 mm jf. BR77/85. Dette niveau klarer sig på mange måder rigtig godt i denne konstruktion; udover at have den korteste tilbagebetalingstid ift. baseline, så går der hhv. 23 og 26 år før de to højere niveauer af efterisolering kan betale sig. Dvs. efter mere end halvdelen af betragtningsperioden.

De to højeste niveauer af efterisolering, BR18 og lavenergiklasse, slutter betragtningsperioden med det samme klimaaftryk. Generelt ligger de to niveauer meget tæt igennem hele betragtningsperioden, hvilket skyldes den lille forskel efterisoleringsarbejde, som ses i år 0.

Opvarmning med varmepumpe

Figur 4.20 viser klimaaftrykket for baseline og de samme 3 niveauer af efterisolering for tag T 1 i en situation med *varmepumpe*.



Figur 4.20: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **varmepumpe**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

Tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering er:

- +110 mm: 14 år
- +250 mm: 27 år
- +300 mm: 32 år

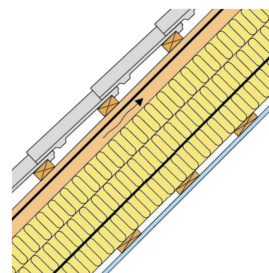
Som det er set i tidligere resultater er der en længere tilbagebetalingstid for alle 3 niveauer af efterisolering med varmepumpe. Især +250 mm og +300 mm med hhv. 27 og 32 år.

Den bedste løsning er efterisolering med blot +110 mm isolering jf. BR77/85 kravene, som har en tilbagebetalingstid på 14 år. Denne løsning har også det laveste klimaaftryk i slutningen af betragtningsperioden, sammenlignet med både baseline og de to højere niveauer af efterisolering.

Også i denne situation kan en evt. nødvendighed af en varmepumpe med større kapacitet for baseline betyde en væsentligt kortere tilbagebetalingstid for alle tre niveauer af efterisolering.

4.5.4 Resultater for tag T 2 (skråvæg)

Tag T 2 er et udnyttet loftrum med skråvægge. Der efterisoleres udvendigt ved påføring af nye spær, for på den måde at gøre plads til efterisoleringen. Der er således inkluderet isolering og spærtræ i beregningerne, se Tabel 3.4. Undertag og tagbelægning er ikke inkluderet i beregningerne, da dette arbejde antages at ville være udført alligevel i forbindelse med renoveringen (uanset om der efterisoleres eller ej).

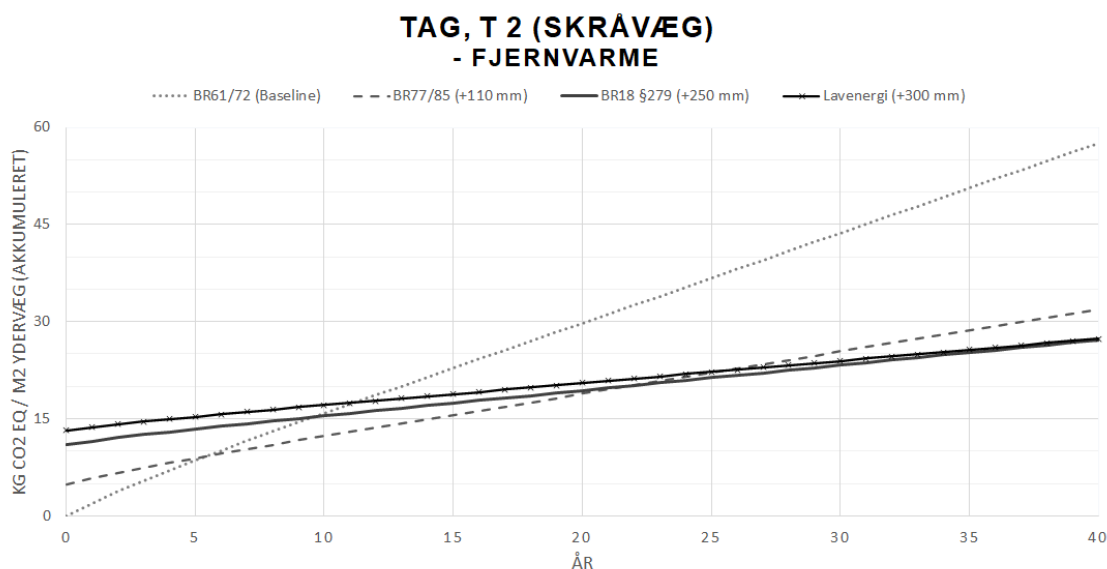


T 2 – skråvæg

Opvarmning med fjernvarme

Figur 4.21 viser klimaaftrykket for baseline (BR61/72) samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra *fjernvarme*. De 3 niveauer af efterisolering lever op til kravene i forskellige versioner af Bygningsreglementet.

Efterisoleringsarbejdet ses samlet i år 0, jf. afsnit 4.4.2. Bidraget fra produktionen af forsyningsanlægget ses i år 1 og år 21 (ikke aktuelt for fjernvarme). Påvirkningerne fra den leverede varme (drift) bliver akkumuleret hvert år i betragtningsperioden.



Figur 4.21: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **fjernvarme**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

Tilbagebetalingstiden for niveauerne af efterisolering er:

- +110 mm: 6 år
- +250 mm: 10 år
- +300 mm: 12 år

Det er ikke overraskende at resultaterne til forveksling ligner tag T 1. Dette skyldes, at den eneste forskel i efterisoleringsarbejdet er spærtræ, som er inkluderet i Tag T 2. Da konstruktionstræ

ikke har en stor klimabelastning, sammenlignet med isoleringen, har dette ikke nævneværdig betydning for resultaterne.

En anden, mindre betydningsfuld, forskel på to tagtyper er U-værdien (se Tabel 3.6), som betyder at tag T 2 har en anelse dårligere U-værdi med samme niveau af efterisolering. Dette skyldes en bedre isolans for stillestående luft på loftrummet ift. overgangsisolansen for det ventilerede hulrum på tag T 1, jf. DS 418 (Dansk Standard 2020). Se også beregninger af U-værdier i Bilag C.

I en situation hvor undertag og tagbelægning ikke skulle udskiftes, uanset om der blev efterisoleret eller ej, så skulle dette arbejde også inkluderes i LCA beregningerne. Dette ville have en stor betydning for bidraget i år 0 og ville medvirke til væsentligt længere tilbagebetalingstider for alle 3 niveauer af efterisolering.

4.6 Diskussion af metodevalg og vurdering af sensitivitet for resultaterne

I dette afsnit diskuteres nogle af metodevalgene, som har en afgørende betydning for resultaterne i studiet. Metodevalgene sammenlignes med de benyttede metoder i BUILD rapporten "*KLIMAEFFEKTIV RENOVERING: Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering*" (Kanafani m.fl. 2021).

4.6.1 Væsentlige forskelle i metodevalg med BUILD rapport

Der sammenlignes kun med den del af BUILD rapporten, som omhandler komponentanalyse af ydervæg og tag. Nogle af de væsentligste forskelle i metodevalg, som har en betydningsfuld effekt på resultaterne, er:

- **Betragtningsperiode:** 50 år i BUILD rapport og 40 år i denne rapport
- **LCI og LCIA metode:** BUILD rapporten benytter EPD'er og generisk data baseret på DS/EN 15804 (DS/EN 15804 2019) i modsætning til denne rapport, som benytter databasen Ecoinvent og ReCiPe midpoint
- **Isoleringsmaterialer:** BUILD rapporten arbejder med en lang række isoleringsprodukter, hvorimod denne rapport kun fokuserer på stenuld med λ -værdi 37
- **Miljøpåvirkningskategorier:** BUILD rapporten fokuserer kun på GWP, hvor denne rapport inkluderer GWP, HTP og LOP
- **Fremskrivning af energiscenarier:** BUILD rapporten benytter de samme fremskrivningsværdier, som benyttes i FBK og DGNB. Denne rapport har benyttet fremskrivning af energimixet fra Energistyrelsen, og derefter beregnet miljøaftrykket ved hjælp af ecoinvent databasen og ReCiPe midpoint LCIA-metoden
- **Varmekilder:** i BUILD rapporten fokuseres der i komponentanalysen af ydervægge og tage kun på opvarmning med fjernvarme. I denne rapport er der inkluderet 4 forskellige varmekilder: fjernvarme, varmepumpe, elvarme (el-radiator) og biokedel
- **Udgangspunkt:** I BUILD rapporten arbejdes der med forskellige udgangspunkter for den eksisterende isolering. I denne rapport er udgangspunktet altid det samme, hvor ydervæggen/taget lever op til de historiske krav i BR61/72

Disse metodevalg kan hver især have en afgørende betydning for resultaterne:

Valget af betragtningsperiode i denne rapport er baseret på betragtningsperioden for rentabilitetsberegningerne i BR18 jf. §279, som er 40 år for både ydervægge og tage. BUILD rapporten benytter en betragtningsperiode på 50 år, som der er skik for i Danmark, og andre europæiske lande, når der laves LCA på bygninger. For visse resultater i denne rapport kan en længere betragtningsperiode betyde en ændring af konklusionerne. Derfor må betragtningsperioden anses for at være relativt betydningsfuld for resultaterne i begge rapporter.

Inklusionen af en lang række isoleringsmaterialer samt forskellige λ -værdier, gør BUILD rapporten meget nuanceret. Dette studie har kun ét isoleringsprodukt med én λ -værdi, hvilket der skal tages højde for i resultaterne. Isoleringsprodukt og λ -værdi har en stor, til tider afgørende, betydning for resultaterne, hvorfor inklusion af så stor varians på dette område som muligt, er at foretrække. En sensitivitetanalyse ville formentlig også vise, at netop isoleringsmateriale, -mængde og λ -værdien, har stor betydning for resultaterne i dette studie, da dette netop er en af konklusionerne for sensitivitetanalysen i BUILD rapporten.

Valget af LCI og LCIA metode kan altid diskuteres og der er fortalere for forskellige metodevalg på dette punkt. I dette studie er LCIA metoden ReCiPe midpoint benyttet, for at have mulighed for at inkludere de 3 miljøpåvirkningskategorier GWP, HTP og LOP. Dette er ikke muligt når der benyttes EPD- og Ökobaudata, som følger DS/EN15804, eftersom hverken HTP eller LOP er inkluderet. Når der i BUILD rapporten kun fokuseres på GWP, øges chancen for at overse u hensigtsmæssige konsekvenser forbundet med resultatet for kun én miljøpåvirkningskategori (*burden shifting*). Jf. rapporten "*How Many Environmental Impact Indicators Are Needed in the Evaluation of Product Life Cycles?*" (Steinmann m.fl. 2016) kan variansen mellem en lang række miljøpåvirkningskategorier dækkes på op til 87 % ved at inkludere netop de 3 miljøpåvirkningskategorier, som er inkluderet i dette studie. Det må derfor ses som en styrke i dette studie, at inkludere flere miljøpåvirkningskategorier, i et forsøg på at dække så bred en varians af miljøpåvirkningskategorier som muligt.

Fremskrivning af energiscenarier og miljøpåvirkninger forbundet med produktion af 1 kWh leveret varme har også en afgørende betydning for resultaterne i begge rapporter. Her ses der en relativt stor forskel mellem BUILD rapporten og dette studie. Især for fjernvarme og el-varme i de første 10 år, frem til år 2030 (se Figur 4.1 og 2.5). Værdierne benyttet i BUILD rapporten er væsentligt højere i de første 10 år af fremskrivningen, sammenlignet med værdierne beregnet i dette studie. Dette kan skyldes brugen af nyere fremskrivning for energimix fra Energistyrelsen i denne rapport, samt forskel i LCI- og LCIA-metode til beregningerne.

Fra 2030, hvor udviklingen stagnerer, ligger værdierne relativt tæt for alle 3 scenarier (fjernvarme, el-varme og varmepumpe), hvilket gør de resterende år af betragtningsperioden mere lige mellem de to rapporter.

BUILD rapporten har kun inkluderet opvarmning fra fjernvarme i komponentanalysen. I dette studie inkluderes 4 varmekilde-scenarier, hvilket viser sig at have en afgørende betydning for resultaterne. Dette er også konklusionen i sensitivitetanalysen for BUILD rapporten, at netop valg af varmekilde har stor, ofte afgørende, indflydelse på resultatet. Det må derfor ses som en styrke i denne rapport, at flere typer varmekilder er inkluderet i beregningerne og analyserne.

I BUILD rapporten, hvor der arbejdes med forskellige udgangspunkter for eksisterende isolering, viser det sig at have en stor betydning for resultaterne; jo bedre udgangspunktet er, jo længere er tilbagebetalingstiden. I denne rapport, hvor der kun arbejdes med ét udgangspunkt, må dette ses som et meget sensitivt parameter. Resultaterne i rapporten er afhængige af udgangspunktet og kan ikke nødvendigvis overføres til andre scenarier med et bedre udgangspunkt – dette ville kræve nye beregninger af tilbagebetalingstiden for de forskellige niveauer af efterisolering.

Kapitel 5

Konklusion

Formålet med studiet var at finde svar på spørgsmålet:

Er kravene til efterisolering i BR18 §279 for ombygning og renovering CO₂-mæssigt rentable ift. den opnåede besparelse til driften, som følge af reduceret varmebehov, set over hele betragtningsperioden på 40 år for rentabilitetsberegninger?

Til at besvare dette blev 6 forskellige scenarier undersøgt; 4 typer ydervægge og 2 typer tage med både indvendig og udvendig efterisolering.

Den bagvedliggende teori og historiske krav i bygningsreglementet blev gennemgået, for at give en forståelse for baggrunden, udgangspunktet og motivationen for at efterisolere eksisterende bygningsmasse. Også de aktuelle krav til efterisolering for renovering og ombygning i BR18 blev præsenteret. Derefter blev begrebet livscyklusvurderinger (LCA) præsenteret for at give en grundlæggende forståelse for valget af denne metode til at besvare spørgsmålet i rapporten.

I metodeafsnittet blev den grundlæggende metode i studiet præsenteret og beskrevet. Metoden begrænsede studiet til at fokusere på 3 bidrag til resultaterne: efterisoleringsarbejdet, produktion af forsyningsanlægget og selve driften til opvarmning. Den valgte metode til udførelse af LCA og de funktionelle enheder for ydervæg, tag og forsyningsanlæg blev præsenteret. Systemgrænserne viste afgrænsningen med data fra databasen ecoinvent og LCIA-metoden ReCiPe midpoint med cut-off. Der blev udvalgt de 3 miljøpåvirkningskategorier GWP, HTP og LOP til at dække en bred varians på op til 87 % blandt en lang række miljøpåvirkningskategorier, for at undgå burden shifting, men samtidig afgrænse studiet så meget som muligt. De dynamiske energiscenarier med fremskrivning af energimixet blev baseret på data fra Energistyrelsen.

Resultaterne for miljøpåvirkninger fra produktion af 1 kWh leveret varme blev præsenteret for de 3 udvalgte miljøpåvirkningskategorier. Det viste sig, at fremskrivningen betyder en væsentlig reduktion for både GWP og LOP for både elektricitet og fjernvarme over de næste 10 år, hvorefter udviklingen stagnerer. HTP oplevede ikke nogen stor udvikling, hverken positivt eller negativt. Det kunne således konkluderes, at en reduktion af CO₂-udledninger ikke skete på bekostning af en stigning i en af de to øvrige miljøpåvirkningskategorier.

Dernæst blev miljøpåvirkninger fra produktion af forsyningsanlægget præsenteret. Der blev regnet med et direkte fjernvarmesystem i studiet. Blandt varmepumpe, elradiator og biokedel viste varmepumpen sig at have det ubetinget største aftryk inden for alle tre miljøpåvirkningskategorier. Miljøaftrykket fra efterisoleringsarbejdet viste en tydelig sammenhæng mellem niveau af efterisolering og miljøpåvirkninger over alle 3 kategorier – dvs. jo højere niveau af efterisolering jo højere miljøpåvirkninger.

De samlede resultater for ydervægge og tage blev præsenteret, med fokus på opvarmning fra fjernvarme og kun for klimaaftrykket.

Resultaterne i studiet blev gennemgået og viste, som svar på problemformuleringen:

- Efterisoleringsarbejdet var altid rentabelt ift. kravene i BR18 – uanset bygningsdel og uanset valg af varmekilde. Tilbagebetalingstiden svingede dog fra ned til 4 år og helt op til 36 år. Den store forskel afhænger i høj grad af udgangspunktet (isolering), varmekilde og størrelsen på bidraget fra efterisoleringsarbejdet

Resultater fra studiet som bør fremhæves:

- For Ydervæg Y 1.1 var tilbagebetalingstiden på mellem 27 og 36 år med varmepumpe. Det blev konkluderet, at den eksisterende løsning havde et lavere klimaaftryk i mere end halvdelen af betragtningsperioden, uanset niveau af efterisolering
- For samme ydervæg med biokedel var tilbagebetalingstiden på mellem 7 og 9 år for alle tre niveauer af efterisolering. Kravene til BR18 og lavenergiklasse fulgte hinanden tæt igennem hele betragtningsperioden, hvor lavenergiklassen sluttede med det laveste aftryk
- For Ydervæg Y 2.2 var tilbagebetalingstiden på mellem 4 og 12 år med fjernvarme grundet ydervæggens dårligere udgangspunkt, da kravene i de historiske BR61/72 var ringere til tunge ydervægge ift. lette. Dette gjorde, at efterisoleringsarbejdet hurtigere var tilbagebetalt. Det viste sig i slutningen af betragtningsperioden, at kravene i BR18 havde det laveste klimaaftryk – både lavere end BR77/85 og lavenergiklassen
- For samme ydervæg med varmepumpe blev resultaterne ændret markant. Her var tilbagebetalingstiden på mellem 7 og hele 32 år. Kravene til BR77/85 var ubetinget det niveau af efterisolering med det laveste klimaaftryk over hele betragtningsperioden. Kravene til BR18 havde en tilbagebetalingstid på 18 år ift. baseline
- For Tag T 1 var tilbagebetalingstiden på mellem 6 og 12 år med fjernvarme. De første 20-25 år havde det laveste niveau af efterisolering det laveste klimaaftryk. I slutningen af betragtningsperioden havde BR18 og lavenergiklassen begge det laveste klimaaftryk

5.1 anbefalinger

I studiet viste det sig, at udgangspunktet (ift. varmeisolering) har stor betydning for tilbagebetalingstiden. Derfor bør man inkludere en bredere varians af udgangspunkter – både dårligere og bedre end det er tilfældet i dette studie.

Derudover er det nødvendigt at undersøge flere typer isoleringsmateriale for at få et mere nuanceret billede på effekten af efterisoleringsarbejdet, som også påvirker tilbagebetalingstiden. Studiet illustrerede også vigtigheden af typen af varmekilde og brugen af dynamiske energiscenarier; det anbefales derfor at inkludere forskellige typer varmekilder med fremskrivninger, da dette havde en afgørende betydning for resultaterne.

Litteraturliste

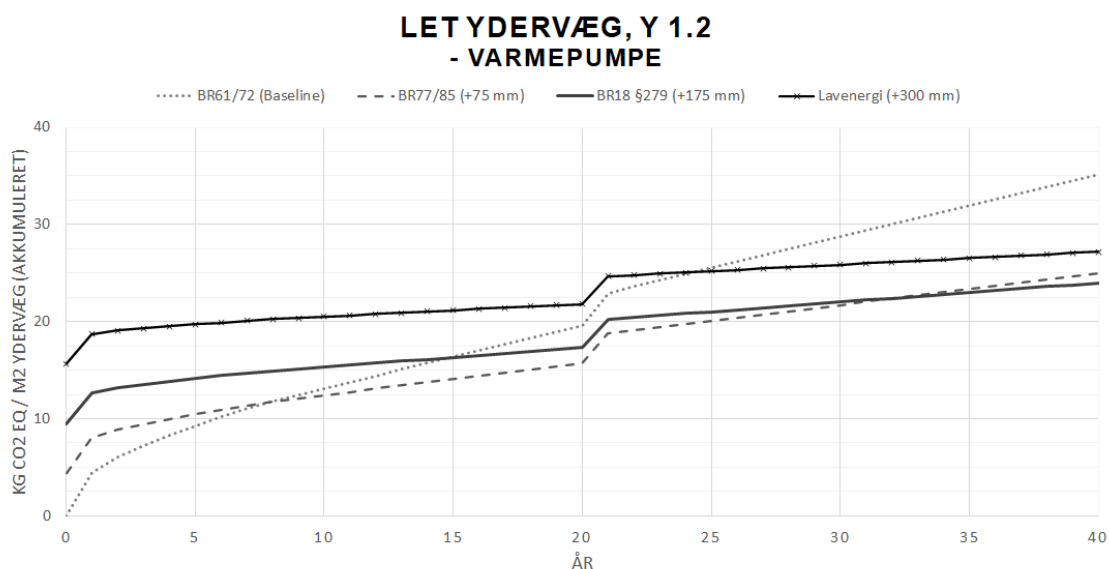
- IPCC m.fl. (2021). „Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change“. I: URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM>.
- WorldGBC m.fl. (2019). „Bringing embodied carbon upfront: Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon“. I: URL: www.worldgbc.org/embodied-carbon.
- Energistyrelsen (2021a). „KLIMASTATUS OG-FREMSKRIVNING“. I: URL: <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/klimastatus-og-fremskrivning>.
- ISO 14040 (2008). „DS/EN ISO 14040:2008 - Miljøledelse, Livscyklusvurdering, Principper og struktur“. I: URL: <https://webshop.ds.dk/da-dk/standard/ds-en-iso-140402008>.
- ISO 14044 (2008). „DS/EN ISO 14044:2008 - Miljøledelse, Livscyklusvurdering, Krav og vejledning“. I: URL: <https://webshop.ds.dk/da-dk/s%c3%b8gning/milj%c3%b8ledelse/ds-en-iso-140442008>.
- ILCD (2010). *European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. First edition. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN: 978-92-79-19092-6. URL: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ilcd.html>.
- DS/EN 15978 (2012). „DS/EN 15978:2012 - Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet - Beregningsmetode“. I: URL: <https://webshop.ds.dk/da-dk/s%c3%b8gning/b%c3%a6redygtighed-og-afgivelsen-af-farlige-stoffer-i-byggeriet/ds-en-159782012>.
- DS/EN 15804 (2019). „DS/EN 15804:2012+A2:2019 - Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg – Miljøvaredeklarationer – Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer“. I: URL: <https://webshop.ds.dk/da-dk/s%c3%b8gning/b%c3%a6redygtighed-og-afgivelsen-af-farlige-stoffer-i-byggeriet/ds-en-158042012-a22019>.
- Hauschild, Michael Zwicky, Ralph K. Rosenbaum og Stig Irving Olsen (sep. 2018). „Life Cycle Assessment - Theory and Practice“. I: *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*, s. 1–1216. DOI: 10.1007/978-3-319-56475-3. URL: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/life-cycle-assessment-theory-and-practice>.
- Steinmann, Zoran J.N. m.fl. (apr. 2016). „How Many Environmental Impact Indicators Are Needed in the Evaluation of Product Life Cycles?“ I: *Environmental Science and Technology* 50.7, s. 3913–3919. DOI: 10.1021/ACS.EST.5B05179.
- Aagaard, Niels-Jørgen m.fl. (2013). „Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi“. I: *SBi*. URL: www.sbi.dk.
- Teknologisk Institut og Ramboll (2020). „Klimavenligt byggeri og LCA: Analyse af udvalgte landes tilgange til klimavenligt byggeri, LCA og samfundsøkonomi – Casekatalog“. I.

- Rasmussen, F. N. m.fl. (nov. 2020). „The choice of reference study period in building LCA – case-based analysis and arguments“. I: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 588.1.06 - 1.10, s. 032029. DOI: 10.1088/1755-1315/588/3/032029. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/588/3/032029>.
- Rasmussen, Freja Nygaard og Harpa Birgisdottir (2015). „Livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer: Miljømæssige konsekvenser belyst via casestudier“. I: *SBI forlag*. URL: <https://vbn.aau.dk/en/publications/livscyklusvurdering-af-st%C3%B8rre-bygningsrenoveringer-milj%C3%B8m%C3%A6ssige-k>.
- Ramboll (2020). „Analyse af CO₂-udledning og totaløkonomi i renovering og nybyg“. I: URL: <https://realdania.dk/publikationer/faglige-publikationer/komparativ-analyse-renovering-og-nybyg>.
- Kanafani, Kai m.fl. (2021). „KLIMAEFFEKTIV RENOVERING: Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering“. I: URL: <https://build.dk/Pages/Klimaeffektiv-renovering.aspx#s=Klimaeffektiv+renovering>.
- Tozan, Buket, Emilie Brisson Jørgensen og Harpa Birgisdottir (2021). „BUILD Rapport 2021:13. KLIMAPÅVIRKNING FRA 60 BYGNINGER: Opdaterede værdier baseret på nyere data og danske branche EPD'er“. I: URL: www.anvisninger.dk.
- Zimmermann, Regitze Kjaer m.fl. (2020). „SBI Rapport 2020:04: KLIMAPÅVIRKNING FRA 60 BYGNINGER: Muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger“. I: Socialdemokratiet m.fl. (mar. 2021). „Aftale om National strategi for bæredygtigt byggeri“. I: URL: <https://im.dk/Media/C/4/Endelig%20aftaletekst%20-%20B%20-%20a6redygtigt%20byggeri%20-%205.%20marts%202021.pdf>.
- Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen og Videnscenter for Energibesparelser i Bygninger (2021). „BR18: Vejledning om ofte rentable konstruktioner“. I: URL: <https://byggningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/BRV/Ofte-rentable-konstruktioner>.
- Videncenter for Energibesparelser i Bygninger (2021). *Energiløsninger - Byggeri og Energi*. URL: <https://byggeriogenergi.dk/om/energiloesninger-oversigt/>.
- Dansk Standard (2020). *DS 418:2011 + Till.1:2020 - Beregning af bygningers varmetab*. URL: <https://webshop.ds.dk/da-dk/s%20c3%20b8gning/termisk-isolering/ds-4182011-till-12020>.
- Danmarks Statistik (2021). „Gennemsnitligt Boligareal 1916-2020“. I: URL: www.statistikbanken.dk/bygv06.
- Energistyrelsen (2021b). „8A KF21 sektornotat - El og fjernvarme“. I: URL: <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/klimastatus-og-fremskrivning>.
- Mortensen, Lone Hedegaard m.fl. (feb. 2018). „Branchevejledning for energiberegninger 2.0“. I: *Clinical Epigenetics*. ISSN: 1868-7075. DOI: 10.2/JQUERY.MIN.JS. URL: <https://vbn.aau.dk/da/publications/branchevejledning-for-energiberegninger-20>.
- COWI (2020). *OPDATEREDE EMISSIONSFAKTORER FOR EL OG FJERNVARME*. Tekn. rap. URL: <https://www.trafikstyrelsen.dk/da/-/media/TBST-DA/Byggeri/Lister/Publikationer/Opdaterede-emissionsfaktorer-for-el-og-fjernvarme.pdf>.

Bilag A

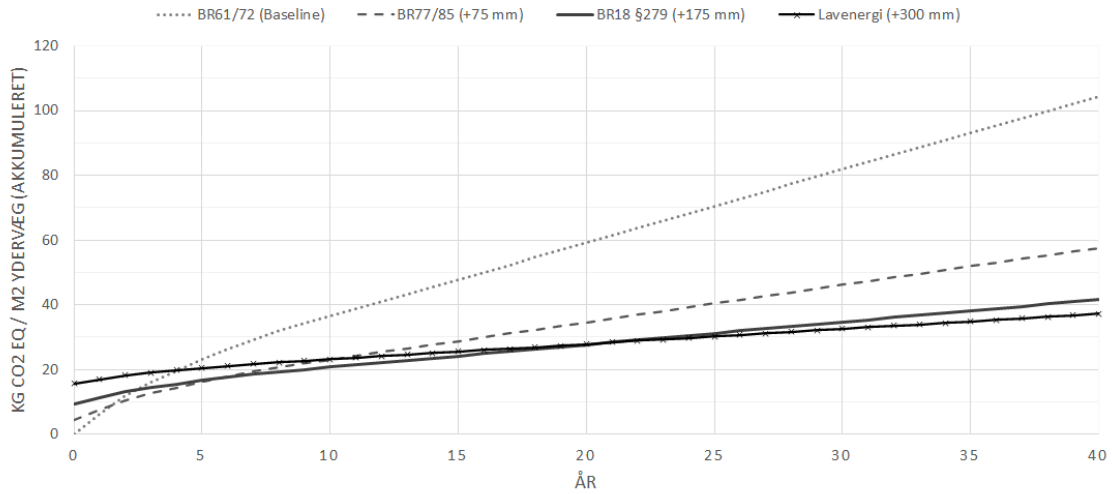
Supplerende resultater for ydervægge

A.1 Ydervæg, Y 1.2



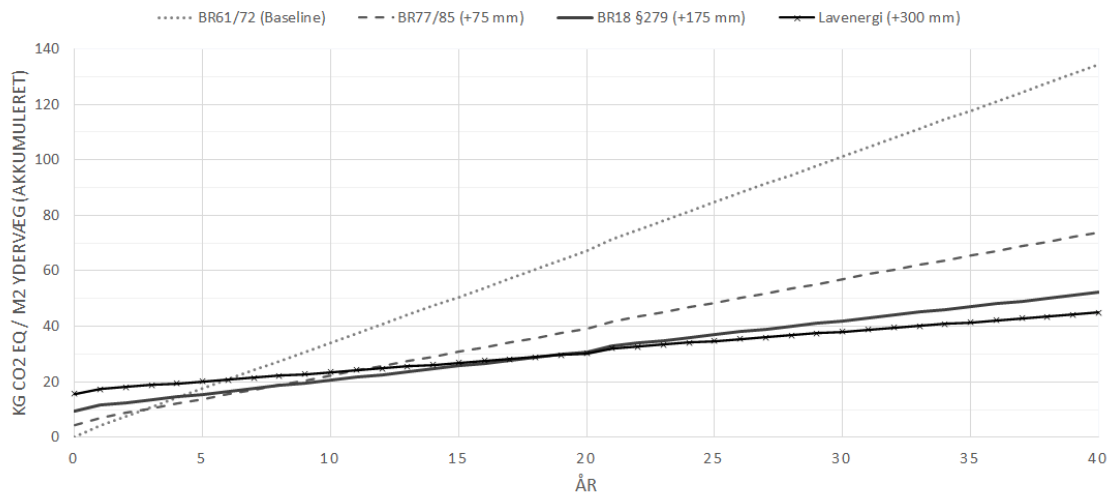
Figur A.1: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **varmepumpe**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

LET YDERVÆG, Y 1.2 - ELVARME



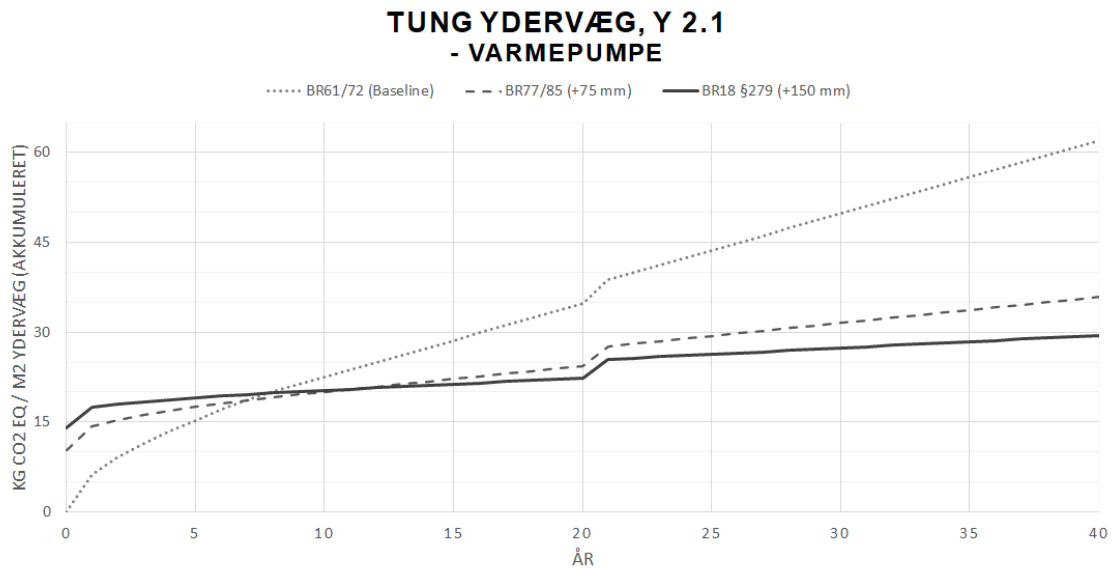
Figur A.2: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **elvarme**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

LET YDERVÆG, Y 1.2 - BIOKEDEL

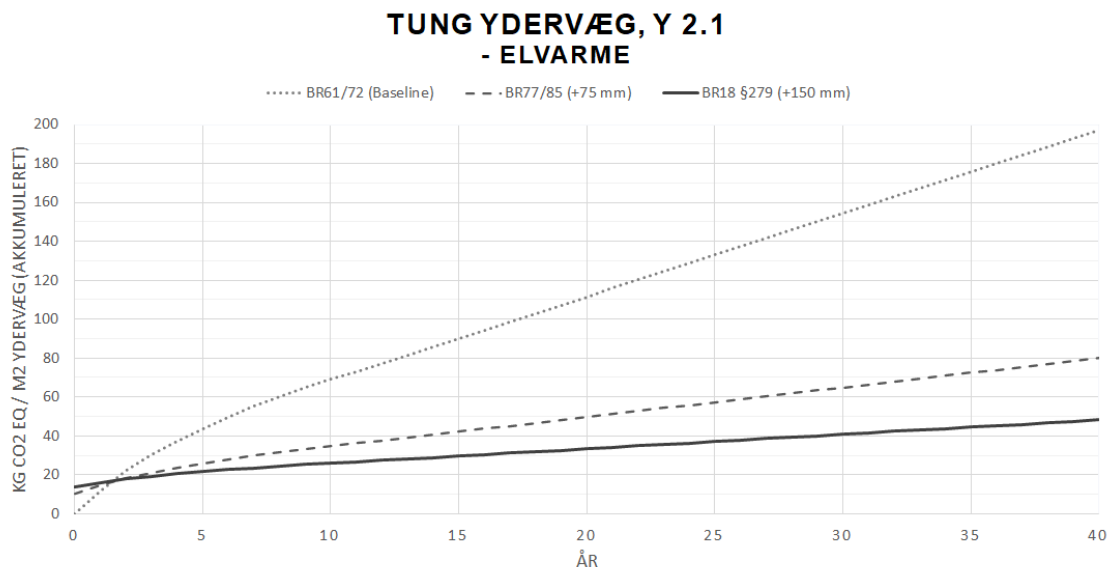


Figur A.3: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **biokedel**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

A.2 Ydervæg, Y 2.1

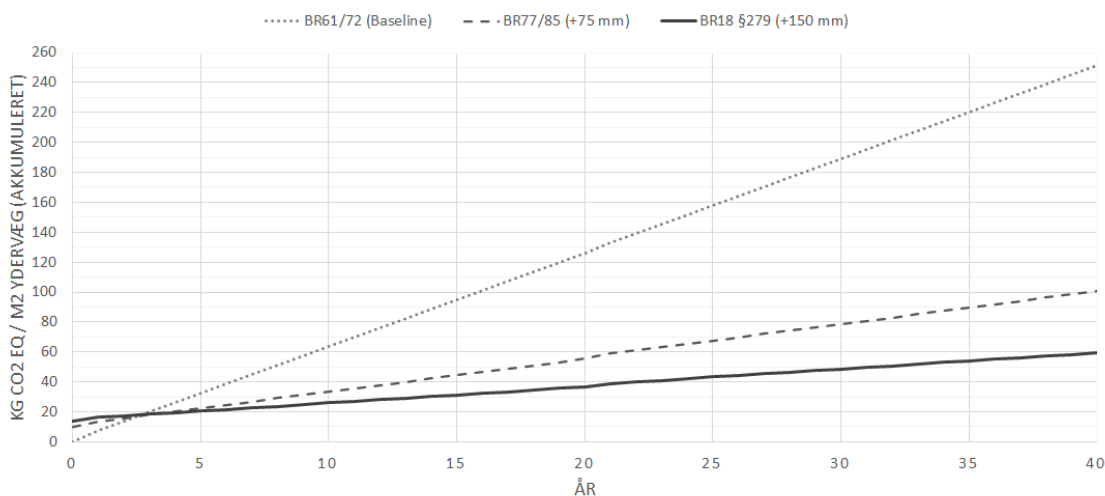


Figur A.4: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 2 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **varmepumpe**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))



Figur A.5: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 2 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **elvarme**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

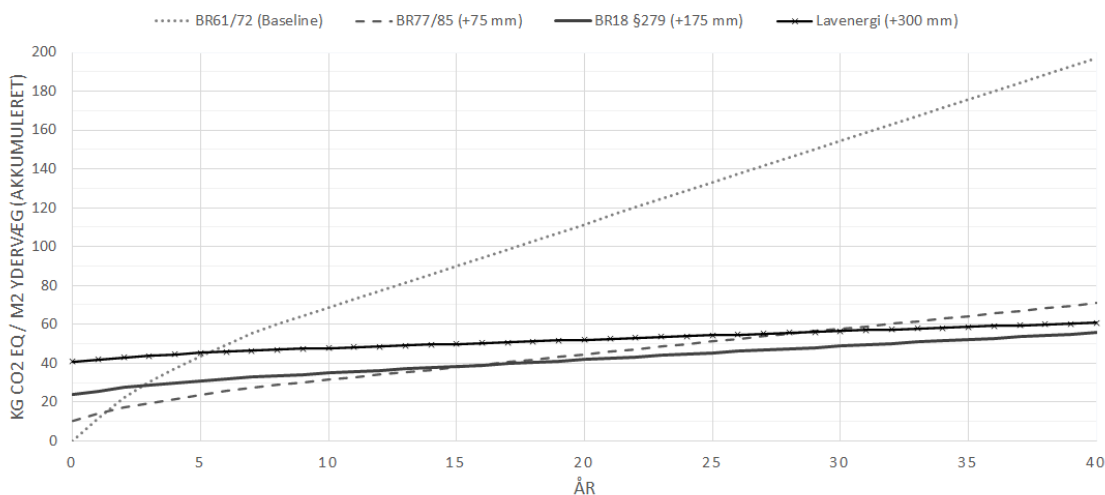
TUNG YDERVÆG, Y 2.1 - ELVARME



Figur A.6: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 2 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **biokedel**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

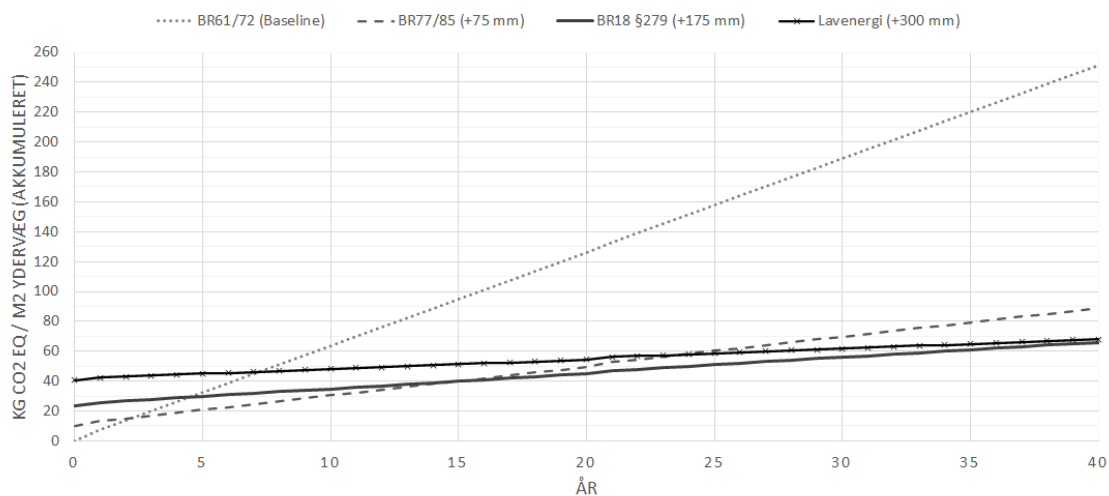
A.3 Ydervæg, Y 2.2

TUNG YDERVÆG, Y 2.2 - ELVARME



Figur A.7: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **elvarme**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

TUNG YDERVÆG, Y 2.2 - BIOKEDEL

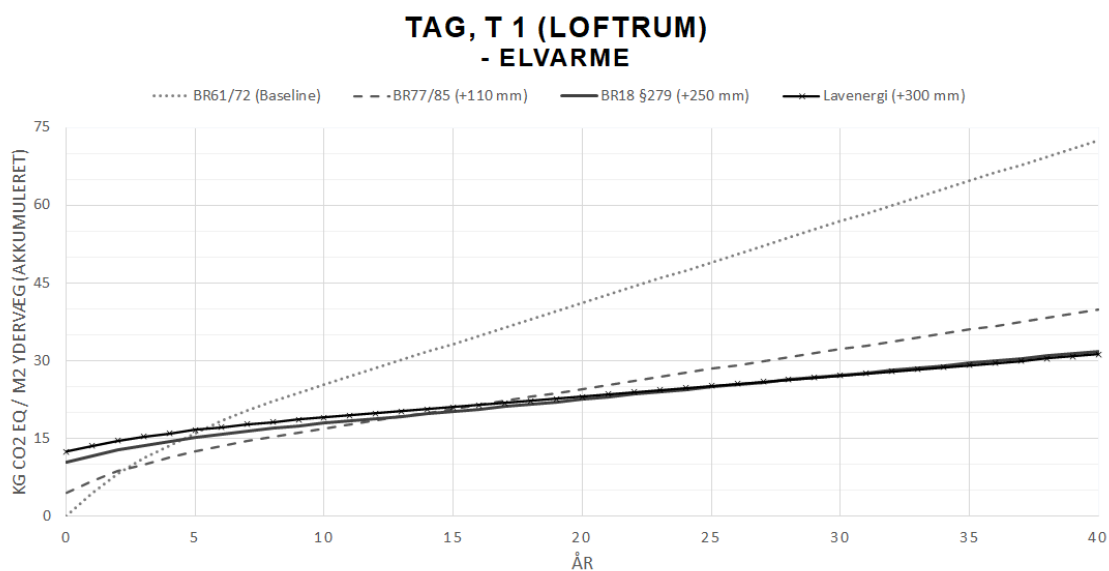


Figur A.8: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **biokedel**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

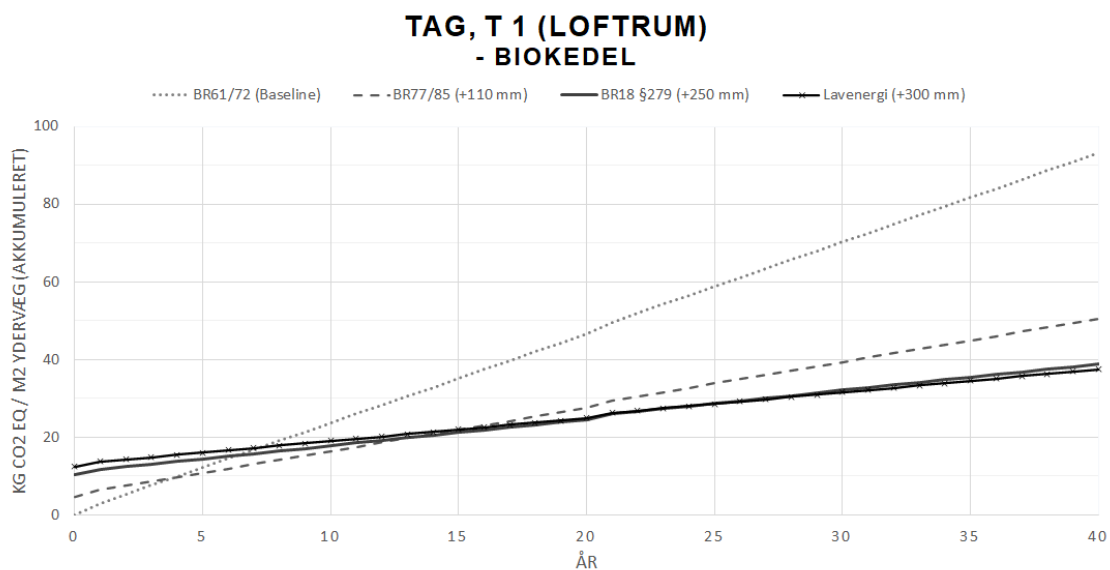
Bilag B

Supplerende resultater for tage

B.1 Tag, T 1

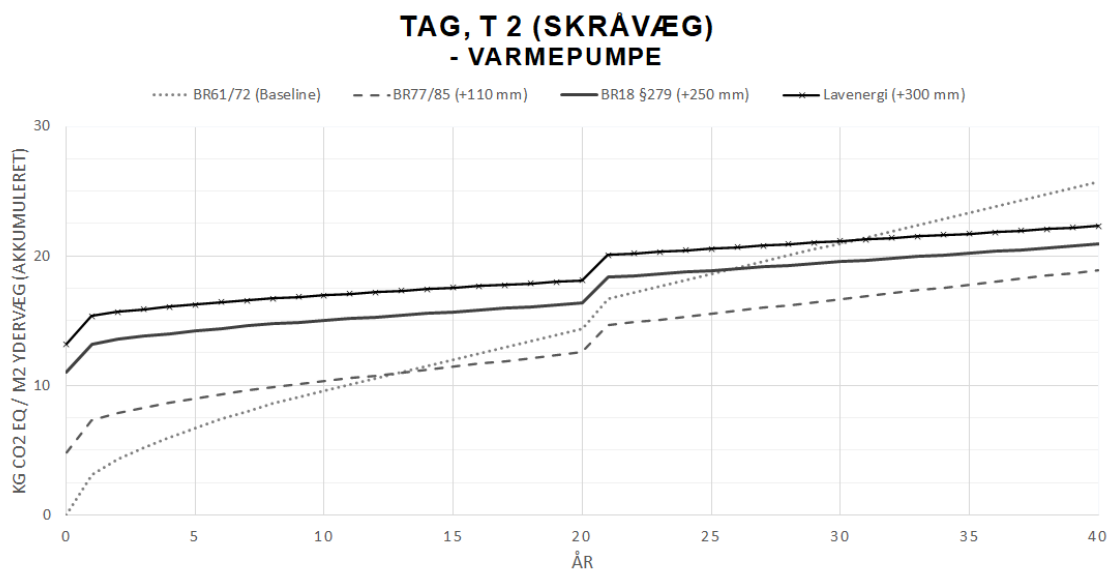


Figur B.1: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **elvarme**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))



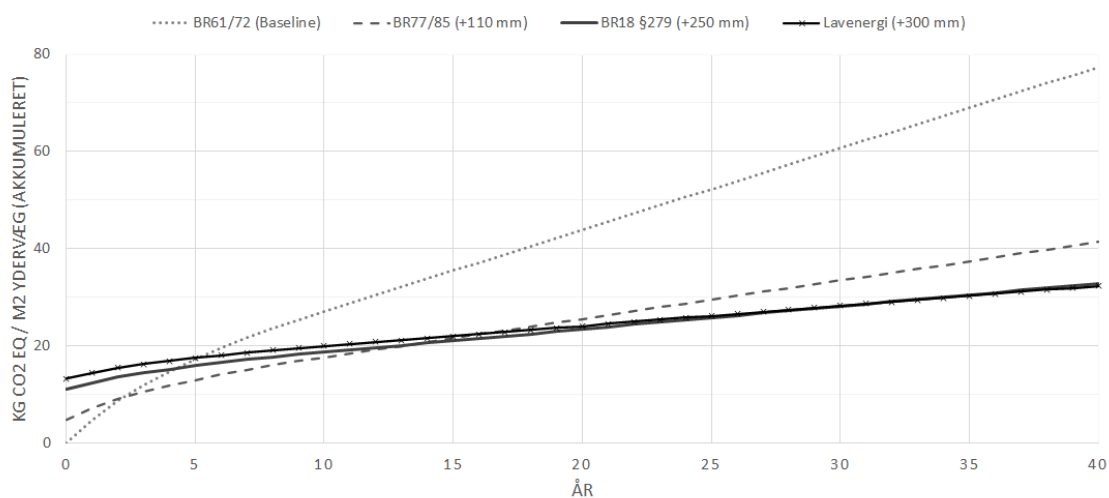
Figur B.2: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **biokedel**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

B.2 Tag, T 2



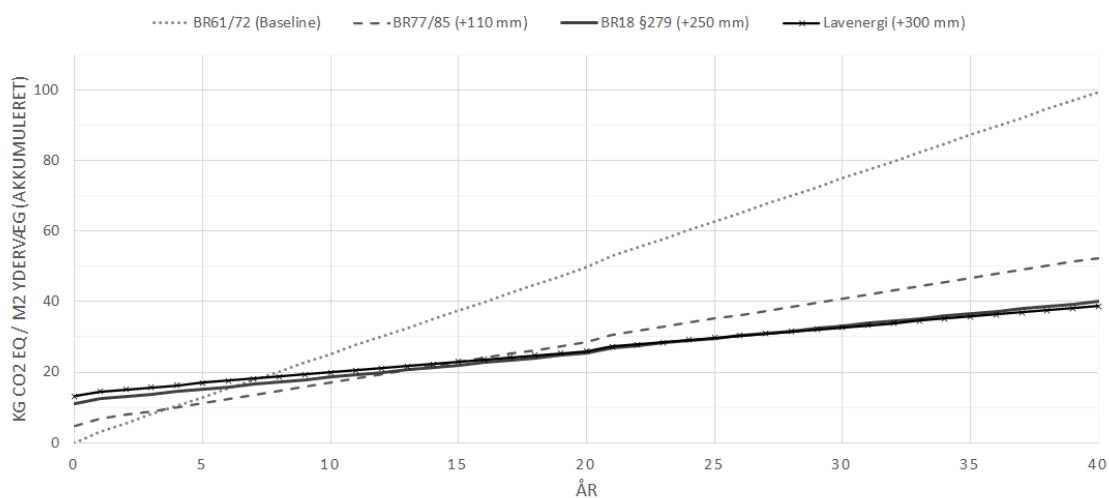
Figur B.3: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **varmepumpe**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

TAG, T 2 (SKRÅVÆG) - ELVARME



Figur B.4: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **elvarme**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

TAG, T 2 (SKRÅVÆG) - BIOKEDEL



Figur B.5: Akkumulerede klimapåvirkninger i hele betragtningsperioden for *baseline* samt 3 niveauer af efterisolering med opvarmning fra **biokedel**. Resultaterne er en sum af bidrag fra **efterisoleringsarbejde**, en andel fra **produktion af forsyningsanlæg** samt **leveret varme** (drift) for hvert år i betragtningsperioden. Resultaterne begynder i år 0 med summen af miljøpåvirkninger forbundet med efterisoleringsarbejdet (produktion (A1-A3), udskiftning (B4) og endt levetid (C3-C4))

Bilag C

Beregning af U-værdier

Let ydervæg				
Baseline				
Bygningsdel	d [m]	λ	R	Kommentar
INDV.				
Overgangsisolans, indv. ydervæg			0.130	
2 lag gipsplader	0.025	0.250	0.100	
Stenuld kl. 37; 45mm trælægter, cc = 0.6 m	0.000	0.045	0.000	
Dampspærre	0.001	-	-	
Stenuld kl. 37; 45mm trælægter, cc = 0.6 m	0.060	0.045	1.342	
Vindspærre	0.009	0.250	0.036	9mm imprægneret gips
Overgangsisolans, ventileret facade			0.130	
Afstandsliste, cc=600 mm	0.022	-	-	22x45 mm
Bræddebeklædning	0.025	-	-	Ubeh. bræddebeklædning
UDV.				
Tykkelse [m]	0.142			
ΣR			1.738	[W/m ² *K]
U-værdi		0.576		[W/m ² *K]
Indvendig efterisolering				
Bygningsdel	d [m]	λ	R	Kommentar
INDV.				
Overgangsisolans, indv. ydervæg			0.130	
2 lag gipsplader	0.025	0.250	0.100	
Stenuld kl. 37; 45mm trælægter, cc = 0.6 m	0.060	0.045	1.342	
Dampspærre	0.001	-	-	
Stenuld kl. 37; 45mm trælægter, cc = 0.6 m	0.075	0.045	1.677	
Vindspærre	0.009	0.250	0.036	9mm imprægneret gips
Overgangsisolans, ventileret facade			0.130	
Afstandsliste, cc=600 mm	0.022	-	-	22x45 mm
Bræddebeklædning	0.025	-	-	Ubeh. bræddebeklædning
UDV.				
Tykkelse [m]	0.217			
ΣR			3.414	[W/m ² *K]
U-værdi		0.293		[W/m ² *K]
Udvendig efterisolering				
Bygningsdel	d [m]	λ	R	Kommentar
INDV.				
Overgangsisolans, indv. ydervæg			0.130	
2 lag gipsplader	0.025	0.250	0.100	
Stenuld kl. 37; 45mm trælægter, cc = 0.6 m	0.060	0.045	1.342	
Dampspærre	0.001	-	-	Dampspærre må ikke sidde her!
Stenuld kl. 37; 45mm trælægter, cc = 0.6 m	0.075	0.045	1.677	
Vindspærre	0.009	0.250	0.036	9mm imprægneret gips
Overgangsisolans ventileret facade			0.130	
Afstandsliste, cc=600 mm	0.022	-	-	22x45 mm
Bræddebeklædning	0.025	-	-	Ubeh. bræddebeklædning
UDV.				

Tykkelse [m]	0.217			
ΣR			3.414	[W/m ² *K]
U-værdi		0.293		[W/m ² *K]
Tung ydervæg				
Baseline				
Bygningsdel	d [m]	λ	R	Kommentar
INDV.				
Overgangsisolans, indv. ydervæg			0.130	
H+H murblok 535, 535 kg/m ³	0.150	0.200	0.750	
Overgangsisolans, Udv.			0.040	
UDV.				
Tykkelse [m]	0.150			
ΣR			0.920	[W/m ² *K]
U-værdi		1.087		[W/m ² *K]
Indvendig efterisolering				
Bygningsdel	d [m]	λ	R	Kommentar
INDV.				
Overgangsisolans, indv. ydervæg			0.130	
2 lag gipsplader	0.025	0.250	0.100	
Stenuld kl. 37, 10 % påføring (træ)	-	-	-	
Dampspærre	0.001	-	-	
Stenuld kl. 37, 10 % træskelet	0.075	0.047	1.586	
H+H murblok 535 535 kg/m ³	0.150	0.200	0.750	
Overgangsisolans Udv.			0.040	
UDV.				
Tykkelse [m]	0.251			
ΣR			2.606	[W/m ² *K]
U-værdi		0.384		[W/m ² *K]
Udvendig efterisolering				
Bygningsdel	d [m]	λ	R	Kommentar
INDV.				
Overgangsisolans, indv. ydervæg			0.130	
H+H murblok 535 535 kg/m ³	0.150	0.200	0.750	
Stenuld kl. 37	0.075	0.037	2.027	
Pudslag	0.010	0.200	0.050	
Overgangsisolans Udv.			0.040	
UDV.				
Tykkelse [m]	0.235			
ΣR			2.997	[W/m ² *K]
U-værdi		0.334		[W/m ² *K]
Tag (loft)				
Baseline				
Bygningsdel	d [m]	λ	R	Kommentar
INDV.				
Overgangsisolans, indv.			0.140	
2 lag gipsplader	0.025	0.250	0.100	
Spredt forskalling	0.025	-	0.160	
Dampspærre	0.001	-	-	
Stenuld kl. 37; mellem 45 mm spær, cc = 1.0 m	0.075	0.042	1.801	

Isolans tagrum og tag			0.300	jf. Tabel 6.5.1, s. 25, DS418: Tagsten på lægter med vindtæt undertag
UDV.				
Tykkelse [m]	0.126			
ΣR			2.501	[W/m*K]
U-værdi		0.400		[W/m ² *K]
Indvendig efterisolering				
Bygningsdel	d [m]	λ	R	Kommentar
INDV.				
Overgangsisolans, indv.			0.140	
2 lag gipsplader	0.025	0.250	0.100	
Spredt forskalling	0.025	-	0.160	
Dampspærre	0.001	-	-	
Stenuld kl. 37; mellem 45 mm spær, cc = 1.0 m	0.075	0.042	1.801	
Stenuld kl. 37; mellem 45 mm spær, cc = 1.0 m	0.110	0.042	2.642	
Tagrum og tag			0.300	jf. Tabel 6.5.1, s. 25, DS418: Tagsten på lægter med vindtæt undertag
UDV.				
Tykkelse [m]	0.236			
ΣR			5.143	[W/m*K]
U-værdi		0.194		[W/m ² *K]
Tag (skråvæg)				
Baseline				
Bygningsdel	d [m]	λ	R	Kommentar
INDV.				
Overgangsisolans, indv.			0.140	
2 lag gipsplader	0.025	0.250	0.100	
Spredt forskalling	0.025	-	0.160	
Dampspærre	0.001	-	-	
Stenuld kl. 37; mellem 45 mm spær, cc = 1.0 m	0.075	0.042	1.801	Oprindelig isolering
Overgangsisolans, udv. for ventileret hulrum			0.140	jf. Afsnit 6.4.3, s. 25, DS418
UDV.				
Tykkelse [m]	0.126			
ΣR			2.341	[W/m*K]
U-værdi		0.427		[W/m ² *K]
Udvendig efterisolering				
Bygningsdel	d [m]	λ	R	Kommentar
INDV.				
Overgangsisolans, indv.			0.140	
2 lag gipsplader	0.025	0.250	0.100	
Spredt forskalling	0.025	-	0.160	
Dampspærre	0.001	-	-	
Stenuld kl. 37; mellem 45 mm spær, cc = 1.0 m	0.075	0.042	1.801	Oprindelig isolering
Stenuld kl. 37; mellem 45 mm spær, cc = 1.0 m	0.110	0.042	2.642	Efterisolering + forhøjet spær

Overgangsisolans, udv. for ventileret hulrum			0.140	jf. Afsnit 6.4.3, s. 25, DS418
UDV.				
Tykkelse [m]	0.236			
ΣR			4.983	[W/m*K]
U-værdi		0.201		[W/m ² *K]

Bilag D

Varmebehov for ydervægge og tage

Y 1.1				
BR version	Beskrivelse	U-værdi	Varmebehov	enhed
BR 61/72	(Baseline)	0.576	52.05	[kWh/m ² /år]
BR 77/85	(+75 mm)	0.293	26.48	[kWh/m ² /år]
BR 18 §279	(+175 mm)	0.177	15.99	[kWh/m ² /år]
Lavenergi	(+300 mm)	0.118	10.66	[kWh/m ² /år]
Y 1.2				
BR version	Beskrivelse	U-værdi	Varmebehov	enhed
BR61/72	(Baseline)	0.576	52.05	[kWh/m ² /år]
BR77/85	(+75 mm)	0.293	26.48	[kWh/m ² /år]
BR18 §279	(+175 mm)	0.177	15.99	[kWh/m ² /år]
Lavenergi	(+300 mm)	0.118	10.66	[kWh/m ² /år]
Y 2.1				
BR version	Beskrivelse	U-værdi	Varmebehov	enhed
BR61/72	(Baseline)	1.087	98.22	[kWh/m ² /år]
BR77/85	(+75 mm)	0.384	34.70	[kWh/m ² /år]
BR18 §279	(+150 mm)	0.188	16.99	[kWh/m ² /år]
Y 2.2				
BR version	Beskrivelse	U-værdi	Varmebehov	enhed
BR61/72	(Baseline)	1.087	98.22	[kWh/m ² /år]
BR77/85	(+75 mm)	0.334	30.18	[kWh/m ² /år]
BR18 §279	(+175 mm)	0.175	15.81	[kWh/m ² /år]
Lavenergi	(+300 mm)	0.110	9.94	[kWh/m ² /år]
T 1				
BR version	Beskrivelse	U-værdi	Varmebehov	enhed
BR61/72	(Baseline)	0.400	36.14	[kWh/m ² /år]
BR77/85	(+110 mm)	0.194	17.53	[kWh/m ² /år]
BR18 §279	(+250 mm)	0.118	10.66	[kWh/m ² /år]
Lavenergi	(+300 mm)	0.103	9.31	[kWh/m ² /år]
T 2				
BR version	Beskrivelse	U-værdi	Varmebehov	enhed
BR61/72	(Baseline)	0.427	38.58	[kWh/m ² /år]
BR77/85	(+110 mm)	0.201	18.16	[kWh/m ² /år]
BR18 §279	(+250 mm)	0.120	10.84	[kWh/m ² /år]
Lavenergi	(+300 mm)	0.105	9.49	[kWh/m ² /år]

Tabel D.1: Varmebehov for ydervægge og tage

Bilag E

Ecoinvent parametre og processer

Parametre	
Process	Parameter
Y 1.1	
Y_1.1_let_indv._A1-A3	gips_13mm_lag
Y_1.1_let_indv._A1-A3	isolering_tykkelse
Y_1.1_let_indv._EOL	gips_13mm_lag
Y_1.1_let_indv._EOL	isolering_tykkelse
Y 1.2	
Y_1.2_let_udv._A1-A3	isolering_tykkelse
Y_1.2_let_udv._EOL	isolering_tykkelse
Y 2.1	
Y_2.1_massiv_indv._A1-A3	Gips_13mm_lag
Y_2.1_massiv_indv._A1-A3	Isolering_tykkelse
Y_2.1_massiv_indv._EOL	Gips_13mm_lag
Y_2.1_massiv_indv._EOL	Isolering_tykkelse
Y 2.2	
Y_2.2_massiv_udv._A1-A3	Isolering_tykkelse
Y_2.2_massiv_udv._EOL	isolering_tykkelse
T 1	
T_1_loft_indv._A1-A3	isolering_tykkelse
T_1_loft_indv._EOL	isolering_tykkelse
T 2	
T_2_tag_udv._A1-A3	isolering_tykkelse
T_2_tag_udv._EOL	isolering_tykkelse
Biokedel	
Biomasse_pillefy_r_statisk	Virkningsgrad
Elektricitet	
Elektricitet_low_voltage	energitab
Elektricitet_low_voltage	PV_multi_share
Elektricitet_low_voltage	PV_single_share
Elektricitet_medium_voltage	Affald_share
Elektricitet_medium_voltage	energitab
Elektricitet_high_voltage	Biogas_share
Elektricitet_high_voltage	Biomasse_share
Elektricitet_high_voltage	Elimport_share
Elektricitet_high_voltage	energitab
Elektricitet_high_voltage	Havvind_share
Elektricitet_high_voltage	Kul_share
Elektricitet_high_voltage	Landvind_share
Elektricitet_high_voltage	Naturgas_share
Elektricitet_high_voltage	Olie_share
Fjernvarme	
Fjernvarme_dynamisk_ES	Affald_share
Fjernvarme_dynamisk_ES	Biogas_share
Fjernvarme_dynamisk_ES	Biomasse_share
Fjernvarme_dynamisk_ES	Elkedler_share
Fjernvarme_dynamisk_ES	energitab
Fjernvarme_dynamisk_ES	Industrivarmer_share
Fjernvarme_dynamisk_ES	Kul_share
Fjernvarme_dynamisk_ES	Naturgas_share
Fjernvarme_dynamisk_ES	Olie_share
Fjernvarme_dynamisk_ES	Solvarmer_share
Fjernvarme_dynamisk_ES	Varmepumper_share

Ydervægge

Y_1.1_A1-A3							
Flow	Amount	Unit	Provider			Description	
extrusion, plastic film	1000*(0.2/1000)	kg	marked for extrusion, plastic film extrusion, plastic film Cutoff, U - GLO			Densitet: 1000 kg / m3. Tykkelse = 0,2 mm	
gypsum plasterboard	10*Gips_13mm_lag	kg	marked for gypsum plasterboard gypsum plasterboard MODIFIED MV Cutoff, U - DK			Densitet: ca. 10 kg/m2 for 13 mm gipsplade	
sawnwood, softwood, dried (u=20%), planed	(isolering_tykkelse/1000) *0.1	m3	marked for sawnwood, softwood, dried (u=20%), planed sawnwood, softwood, dried (u=20%), planed Cutoff, U - RER			Trækonstruktion = 10 % af væggen med isolering inkl. top/bundrem	
stone wool, packed	(isolering_tykkelse/1000)*32*0.9	kg	marked for stone wool, packed stone wool, packed Cutoff, U - GLO			*Mængde fratrukket 10 % som går til træskellet inkl. top/bundrem. Produkt: Rockwool Flexibatts 37. Densitet ~ 32 kg/m3	
Y_1.1_EOL							
Flow	Amount	Unit	Provider			Description	
waste gypsum	10*Gips_13mm_lag	kg	marked for waste gypsum waste gypsum Cutoff, U - Europe without Switzerland			Densitet: ca. 10 kg/m2 for 13 mm gipsplade	
waste mineral wool, for final disposal	(isolering_tykkelse/1000)*32*0.9	kg	marked for waste mineral wool, final disposal waste mineral wool, for final disposal Cutoff, U - Europe without Switzerland			*Mængde fratrukket 10 % som går til træskellet inkl. top/bundrem. Produkt: Rockwool Flexibatts 37. Densitet ~ 32 kg/m3	
waste vapour barrier, flame-retarded	1000*(0.2/1000)	kg	marked for waste vapour barrier, flame-retarded waste vapour barrier, flame-retarded Cutoff, U - ROV			Densitet: 1000 kg / m3. Tykkelse = 0,2 mm	
waste wood, untreated	((isolering_tykkelse/1000) *0.1)*450	kg	heat production, untreated waste wood, at furnace 1000-5000 kW, state-of-the-art 2014 waste wood, untreated Cutoff, U - CH			Densitet = 450 kg/m3 Trækonstruktion = 10 % af væggen med isolering	
Y_1.2_A1-A3							
Flow	Amount	Unit	Provider			Description	
extrusion, plastic film	1000*(0.2/1000)	kg	marked for extrusion, plastic film extrusion, plastic film Cutoff, U - GLO			Densitet: 1000 kg / m3. Tykkelse = 0,2 mm	
sawnwood, softwood, dried (u=20%), planed	(isolering_tykkelse/1000) *0.1	m3	marked for sawnwood, softwood, dried (u=20%), planed sawnwood, softwood, dried (u=20%), planed Cutoff, U - RER			Trækonstruktion = 10 % af væggen med isolering	

stone wool, packed	(isolering_tykkelse/1000)*32*0.9	kg	marked for stone wool, packed stone wool, packed Cutoff, U - GLO	*Mængde fratrukket 10 % som går til træskelletet inkl. top/bundrem. Produkt: Rockwool Flexibatts 37. Densitet ~ 32 kg/m3
Y_12_EOL				
Flow	Amount	Unit	Provider	Description
waste mineral wool, for final disposal	(isolering_tykkelse/1000)*32*0.9	kg	marked for waste mineral wool, final disposal waste mineral wool, for final disposal Cutoff, U - Europe without Switzerland	*Mængde fratrukket 10 % som går til træskelletet inkl. top/bundrem. Produkt: Rockwool Flexibatts 37. Densitet ~ 32 kg/m3
waste vapour barrier, flame-retarded	1000*(0.2/1000)	kg	marked for waste vapour barrier, flame-retarded waste vapour barrier, flame-retarded Cutoff, U - ROW	Densitet: 1000 kg / m3. Tykkelse = 0,2 mm
waste wood, untreated	((isolering_tykkelse/1000)*0.1)*450	kg	heat production, untreated waste wood, at furnace 1000-5000 kW, state-of-the-art 2014 waste wood, untreated Cutoff, U - CH	Densitet = 450 kg/m3 Trækonstruktion = 10 % af væggen med isolering
Y_21_A1-A3				
Flow	Amount	Unit	Provider	Description
extrusion, plastic film	1000*(0.2/1000)	kg	marked for extrusion, plastic film extrusion, plastic film Cutoff, U - GLO	Densitet: 1000 kg / m3. Tykkelse = 0,2 mm
gypsum plasterboard	10*Gips_13mm_lag	kg	marked for gypsum plasterboard gypsum plasterboard MODIFIED MV Cutoff, U - DK	Densitet: ca. 10 kg/m2 for 13 mm gipsplade
sawnwood, softwood, dried (u=20%), planed	(isolering_tykkelse/1000)*0.1	m3	marked for sawnwood, softwood, dried (u=20%), planed sawnwood, softwood, dried (u=20%), planed Cutoff, U - RER	Trækonstruktion = 10 % af væggen med isolering
stone wool, packed	(isolering_tykkelse/1000)*32*0.9	kg	marked for stone wool, packed stone wool, packed Cutoff, U - GLO	*Mængde fratrukket 10 % som går til træskelletet inkl. top/bundrem. Produkt: Rockwool Flexibatts 37. Densitet ~ 32 kg/m3
Y_21_EOL				
Flow	Amount	Unit	Provider	Description

waste gypsum	10*Gips_13mm_lag	kg	markedet for waste gypsum waste gypsum Cutoff, U - Europe without Switzerland	Densitet: ca. 10 kg/m ² for 13 mm gipsplade
waste mineral wool, for final disposal	(isolering_tykkelse/1000)*32*0.9	kg	markedet for waste mineral wool, final disposal waste mineral wool, for final disposal Cutoff, U - Europe without Switzerland	*Mængde fratrukket 10 % som går til træskelletet inkl. top/bundrørn. Produkt: Rockwool Flexibatts 37. Densitet ~ 32 kg/m ³
waste vapour barrier, flame-retarded	1000*(0.2/1000)	kg	markedet for waste vapour barrier, flame-retarded waste vapour barrier, flame-retarded Cutoff, U - ROW	Densitet: 1000 kg / m ³ . Tykkelse = 0,2 mm
waste wood, untreated	((isolering_tykkelse/1000)*0.1)*450	kg	heat production, untreated waste wood, at furnace 1000-5000 kW, state-of-the-art 2014 waste wood, untreated Cutoff, U - CH	Densitet = 450 kg/m ³ Trækonstruktion = 10 % af væggen med isolering
Y_2.2_A1-A3				
Flow	Amount	Unit	Provider	Description
stone wool, packed	(isolering_tykkelse/1000)*100	kg	markedet for stone wool, packed stone wool, packed Cutoff, U - GLO	Produkt: Rockwool Facadebatts, Densitet ~ 100 kg/m ³
Y_2.2_EOL				
Flow	Amount	Unit	Provider	Description
waste mineral wool, for final disposal	(isolering_tykkelse/1000)*100	kg	markedet for waste mineral wool, final disposal waste mineral wool, for final disposal Cutoff, U - Europe without Switzerland	Produkt: Rockwool Facadebatts, Densitet ~ 100 kg/m ³

Tag

T_1_A1-A3				
Flow	Amount	Unit	Provider	Description
stone wool, packed	(isolering_tykkelse/1000)*32*0.95	kg	markedet for stone wool, packed stone wool, packed Cutoff, U - GLO	*Mængde fratrukket 5 % som går til spær. Produkt: Rockwool Flexibatts 37. Densitet ~ 32 kg/m ³
T_1_EOL				
Flow	Amount	Unit	Provider	Description

waste mineral wool, for final disposal	(isolering_tykkelse/1000)*32*0.95	kg	marked for waste mineral wool, final disposal waste mineral wool, for final disposal Cutoff, U - Europe without Switzerland	*Mængde fratrukket 5 % som går til spær. Produkt: Rockwool Flexibatts 37. Densitet ~ 32 kg/m3
T_2_A1-A3				
Flow	Amount	Unit	Provider	Description
sawnwood, beam, softwood, dried (u=20%), planed	(isolering_tykkelse/1000)*0.05	m3	marked for sawnwood, beam, softwood, dried (u=20%), planed sawnwood, beam, softwood, dried (u=20%), planed Cutoff, U - GLO	* Tagkonstruktion = 5% træ *Mængde fratrukket 5 % som går til spær. Produkt: Rockwool Flexibatts 37. Densitet ~ 32 kg/m3
stone wool	(isolering_tykkelse/1000)*32*0.95	kg	marked for stone wool stone wool Cutoff, U - GLO	*Mængde fratrukket 5 % som går til spær. Produkt: Rockwool Flexibatts 37. Densitet ~ 32 kg/m3
T_2_E0L				
Flow	Amount	Unit	Provider	Description
waste mineral wool, for final disposal	(isolering_tykkelse /1000)*32*0.95	kg		*Mængde fratrukket 5 % som går til spær. Produkt: Rockwool Flexibatts 37. Densitet ~ 32 kg/m3
waste wood, untreated	(isolering_tykkelse /1000)*0.05*450	kg		Tagkonstruktion = 5 % træ Træ densitet ~ 450 kg/m3

Energiproduktion

Elektricitet_low_voltage	Amount	Unit	Provider	Description
Flow				
distribution network, electricity, low voltage	8.74E-08	km	marked for distribution network, electricity, low voltage distribution network, electricity, low voltage Cutoff, U - GLO	
electricity, low voltage	pv_single_share	kWh	electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted electricity, low voltage Cutoff, U - DK	
electricity, low voltage	pv_multi_share	kWh	electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted electricity, low voltage Cutoff, U - DK	

Elektricitet_dynamisk_ES	1.0244-pv_multi_share - PV_single_share	KWh	Elektricitet_medium_voltage		Transformation fra "medium to low voltage". Kaldet på resterende strøm fra dynamisk energiscenarie med "medium voltage" i stedet for "markedet"
sulfur hexafluoride, liquid	6.27E-09	kg	market for sulfur hexafluoride, liquid sulfur hexafluoride, liquid Cutoff, S - RER		
Elektricitet_medium_voltage					
Flow	Amount	Unit	Provider		Description
electricity, medium voltage	affald_share	KWh	electricity, from municipal waste incineration to generic market for electricity, medium voltage electricity, medium voltage Cutoff, U - DK		Transformation fra "high to medium voltage". Kaldet på resterende strøm fra dynamisk energiscenarie med "high voltage" i stedet for "markedet"
Elektricitet_dynamisk_ES	1.0055-affald_share	KWh	Elektricitet_high_voltage		
sulfur hexafluoride, liquid	1.13E-07	kg	market for sulfur hexafluoride, liquid sulfur hexafluoride, liquid Cutoff, S - RER		
transmission network, electricity, medium voltage	1.86E-08	km	market for transmission network, electricity, medium voltage transmission network, electricity, medium voltage Cutoff, U - GLO		
Elektricitet_high_voltage					
Flow	Amount	Unit	Provider		Description
electricity, high voltage	biogas_share	KWh	heat and power co-generation, biogas, gas engine electricity, high voltage Cutoff, U - DK		
electricity, high voltage	biomasse_share	KWh	heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 electricity, high voltage Cutoff, U - DK		
electricity, high voltage	kul_share	KWh	heat and power co-generation, hard coal electricity, high voltage Cutoff, U - DK		
electricity, high voltage	landvind_share	KWh	electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore electricity, high voltage Cutoff, U - DK		

	electricity, high voltage	naturgas_share	KWh	heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical electricity, high voltage Cutoff, U - DK		
	electricity, high voltage	havvind_share	KWh	electricity production, wind, 1-3MW turbine, offshore electricity, high voltage Cutoff, U - DK		
	electricity, high voltage	olie_share	KWh	heat and power co-generation, oil electricity, high voltage Cutoff, U - DK		
	electricity, high voltage	elimport_share	KWh	market group for electricity, high voltage electricity, high voltage Cutoff, U - RER		
	transmission network, electricity, high voltage		km	market for transmission network, electricity, high voltage Cutoff, U - GLO		
	transmission network, long-distance		km	market for transmission network, long-distance transmission network, long-distance Cutoff, U - GLO		
Fjernvarme						
Flow	Amount	Unit	Provider	Description		
Elektricitet_dynamisk_ES	elkleder_share	KWh	Elektricitet_low_voltage			
heat, central or small-scale, other than natural gas	biogas_share	KWh	heat and power co-generation, biogas, gas engine heat, central or small-scale, other than natural gas Cutoff, U - DK			
heat, central or small-scale, other than natural gas	varmpumper_share	KWh	heat production, at heat pump 30kW, allocation exergy heat, central or small-scale, other than natural gas DYNAMISK Cutoff, U - Europe without Switzerland			
heat, district or industrial, natural gas	naturgas_share	KWh	heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical heat, district or industrial, natural gas Cutoff, U - DK			
heat, district or industrial, other than natural gas	biomasse_share	KWh	heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 heat, district or industrial, other than natural gas Cutoff, U - DK			
heat, district or industrial, other than natural gas	kul_share	KWh	heat and power co-generation, hard coal heat, district or industrial, other than natural gas Cutoff, U - DK			

heat, district or industrial, other than natural gas	olie_share	KWh	heat and power co-generation, oil heat, district or industrial, other than natural gas Cutoff, U - DK
heat, district or industrial, other than natural gas	affald_share	KWh	heat, from municipal waste incineration to generic market for heat district or industrial, other than natural gas heat, district or industrial, other than natural gas Cutoff, U - DK
heat, district or industrial, other than natural gas	industrivarmer_share	KWh	heat production, propane, at industrial furnace >100KW heat, district or industrial, other than natural gas Cutoff, U - Row
heat, solar+gas, multiple-dwelling, for hot water	solvarmer_share	KWh	heat production, at hot water tank, solar+gas, flat plate, multiple dwelling heat, solar+gas, multiple-dwelling, for hot water Cutoff, U - CH
Biokedel	Amount	Unit	Provider
heat, central or small-scale, other than natural gas		1 kWh	heat production, wood pellet, at furnace 9KW, state-of-the-art 2014 heat, central or small-scale, other than natural gas MODIFIED MV Cutoff, U - Europe without Switzerland

Forsyningsanlæg produktion

Name	Amount	Unit	Product system	Amount	Unit	Description
Elradiator 10KW			electric heater 1kW production electric heater MODIFIED MV Cutoff, S	10	Item(s)	
Fjernvarmeunit 10KW			district heat exchanger production district heat exchanger MV Cutoff, U	1	Item(s)	
Gasfyr 10KW			gas boiler production gas boiler MV Cutoff, U	1	Item(s)	
Oliefyr 10KW			market for oil boiler, 10KW oil boiler, 10KW MV Cutoff, U	1	Item(s)	
Pillefyr 9KW			market for furnace, pellets, 9KW furnace, pellets, 9KW MV Cutoff, U	1	Item(s)	
Varmepumpe 10KW			market for heat pump, brine-water, 10KW heat pump, brine-water, 10KW MV Cutoff, U	1	Item(s)	

Modificerede processer

Name	Amount	Unit	Provider	Description
gypsum plasterboard production gypsum plasterboard MODIFIED MV Cutoff, U				
Flow	Amount	Unit	Provider	
alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical	9.68E-06	kg	market for alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical Cutoff, U - GLO	
electricity, medium voltage	0.0937	kWh	market for electricity, medium voltage electricity, medium voltage Cutoff, U - DK	
folding boxboard/chipboard	0.0484	kg	market for folding boxboard/chipboard folding boxboard/chipboard Cutoff, U - GLO	
glass fibre	1.61E-04	kg	market for glass fibre glass fibre Cutoff, U - GLO	
heat, district or industrial, other than natural gas	1.292	MJ	market for heat, district or industrial, other than natural gas heat, district or industrial, other than natural gas Cutoff, U - Europe without Switzerland	
potato starch	0.0029	kg	market for potato starch potato starch Cutoff, U - GLO	
silicone product	1.29E-04	kg	silicone product production silicone product Cutoff, U - RER	
stucco	0.811	kg	market for stucco stucco Cutoff, U - GLO	
tap water	0.364	kg	market for tap water tap water Cutoff, U - Europe without Switzerland	
Water, unspecified natural origin	1.82E-04	m3		
wooden board factory, organic bonded boards	1.67E-11	Item(s)	wooden board factory construction, organic bonded boards wooden board factory, organic bonded boards Cutoff, U - RER	
Name				
heat production, air-water heat pump 10kW heat, air-water heat pump 10kW DYNAMISK ENERGI Cutoff, U				
Flow	Amount	Unit	Provider	Description

furnace, pellets, 9KW		0	Item(s)	market for furnace, pellets, 9KW furnace, pellets, 9KW Cutoff, U - GLO	Calculated value. Assuming 20 years lifetime, 2000 operational hours per year, 9KW capacity.
wood pellet, measured as dry mass		0.071153333	kg	market for wood pellet wood pellet, measured as dry mass Cutoff, U - RER	Literature value: Original amount (from the source, ecoinvent v2.2) was scaled to the amount of the new reference product using the annual efficiency. Corresponds to a LHV of 18.7 MJ/kg.
Name					
market for gypsum plasterboard gypsum plasterboard MODIFIED MV Cutoff, U					
Flow	Amount		Unit	Provider	Description
gypsum plasterboard		1	kg	gypsum plasterboard production gypsum plasterboard MODIFIED MV Cutoff, U - DK	



BygherrePartner ApS

Rådgivning
Dokumentation
& Certificering

Lombjergervej 1
5750 Ringe
Tlf. 4294 1719

www.BygherrePartner.dk