

# Systemisk *bæredygtighedsvurdering* af isoleringskoncepter i forbindelse med bygningstransformation

Nana Lin Rasmussen og Vania Mahdi

Danmarks Tekniske Universitet

Diplom Bygningsdesign

December 2017

# Forord

Dette diplomafgangsprojekt er skrevet af Nana Lin Rasmusen og Vania Mahdi i forbindelse med afslutningen af diplomingeniøruddannelsen inden for Bygningsdesign ved Danmarks Tekniske Universitet. Udarbejdelsen af projektet er foregået i perioden september 2017 til december 2017.

Arbejdsbyrden for dette projekt svarer til 40 ECTS point og er fordelt ligeligt mellem de to studerende under projektføreløbet.

Vi vil gerne takke vores hovedvejleder Morten Birkved, lektor ved DTU Management, samt medvejleder Lotte Bjerregaard Jensen, lektor ved DTU Byg for motiverende og opklarende vejledningsmøder gennem hele projektføreløbet.

Desuden vil vi gerne rette en stor tak til Kristian Koldtoft fra Saint-Gobain, ISOVER, der har været behjælpelig med oplysninger omkring data på ISOVER RetroWall System, som ligger til grund for en stor del af denne rapporters undersøgelser.

Til sidst vil vi gerne takke vores familie og venner for støtte under projektføreløbet.

Rapporten er udarbejdet af

---

Nana Lin Rasmusen, s141652

---

Vania Mahdi, s134602

# Resume

I denne rapport *Systemisk bæredygtighedsvurdering af isoleringskoncepter i forbindelse med bygningstransformation* undersøges tre renoveringsscenarier af ydervæggene for hermetikfabrikken Union Canning beliggende i Stavanger, Norge.

Union Cannings vestfacade er bevaringsværdig, hvorfor renoveringsscenarierne omhandler indvendig efterisolering.

Hovedformålet for denne rapport er at undersøge, hvorvidt det er fordelagtigt at energirenovere en bygning, der er beliggende i Norge, hvor andelen af vedvarende energi i form af vandkraft er høj.

Det har været målet at betragte undersøgelserne i et holistisk perspektiv, hvor alle tre aspekter af bæredygtighed inkluderes i den samlede vurdering.

Til udførelsen af undersøgelserne er der foretaget dataindsamling i form af møder, telefonsamtaler samt mailkorrespondancer med lektorer og producenter. Yderligere er der foretaget et litteraturstudie af videnskabelige artikler, rapporter og bøger om emnet. Det indsamlede data er herefter behandlet ved at omsætte produktsystemerne til miljøpåvirkninger ved brug af programmet Quantis SUITE 2.0.

De tre undersøgte renoveringsscenarier af ydervæggene er:

- Scenarie 1: Referencescenarie - der foretages ingen renovering
- Scenarie 2: Indvendig efterisolering med mineraluld
- Scenarie 3: Indvendig efterisolering med træfiber

Herudover er en partiel dynamiske udvikling i bortskaffelsesmetoderne af forskellige materialer undersøgt. Denne udvikling har vist sig at have en minimal indvirkning på de samlede miljøpåvirkninger og derfor har udviklingen ingen betydende indvirkning for, hvilket renoveringsscenarie der vælges.

Resultaterne har overordnet set vist, at en energirenovering ved scenarie 2 og 3 er at foretrække frem for scenarie 1, med henblik på den norske energisammensætning. Det ses, at det er energien i brugsfasen, som har den største indvirkning på de samlede miljøpåvirkninger. Den mindste miljøpåvirkning forekommer ved scenarie 3. Forskellen til scenarie 2 er dog minimal.

I forhold til det sociale aspekt er forskellen mellem scenarie 2 og 3 er minimal. Grundet usikkerheden i hvorvidt træfiberisolering danner gode vækstbetingelser for skimmelsporer i RetroWall systemet, vil scenarie 2 have en mindre fordel. Derfor er scenarie 2 ud fra en helhedsbetragtning af alle bæredygtighedsaspekter at foretrække.

# Abstract

In this report *Systemic sustainability assessment of insulation concepts in relation to re-engineering of buildings* three renovation scenarios are investigated for the canning factory Union Canning, located in Stavanger, Norway.

The west facade is worth preserving because of its history, why the renovation scenarios contains internal insulation.

The main purpose of this report is to investigate whether it is worth refurbishing a building located in Norway, where the share/part of renewable energy as hydropower is high. The goal has been to consider the studies in a holistic perspective, where all three aspects of sustainability are included in the overall assessment.

A data collection has been conducted to fulfill the investigations. The collection has been in form of meetings, telephone conversations and mail correspondence with professors and producers. In addition, a literature study of scientific articles, reports and books on the subject has been conducted. The collected data has then been processed by converting the product systems into environmental impacts by using the program Quantis SUITE 2.0.

The three examined renovations scenarios of the outer walls are:

- Scenario 1: Reference scenario - no refurbishment
- Scenario 2: Internal insulation with mineral-wool
- Scenario 3: Internal insulation with wood-fiber

In addition, a partial dynamic development in the methods of disposal of different materials has been investigated. This development has shown to have a minimal impact on the overall environmental impact and therefore has no significant impact on which renovation scenario is chosen.

The results have overall shown that a refurbishment at scenario 2 and 3 is preferable to scenario 1, with a view to the Norwegian energy composition.

The results show that it is the energy in the use phase which has the greatest impact on the overall environmental impacts. Scenario 3 has a less environmental impact than scenario 2, however, this difference is minimal. Compared to the social aspect, the difference between scenario 2 and 3 is also minimal. Due to the uncertainty of whether wood fiber insulation creates good growth conditions for mold spores in the RetroWall System, scenario 2 will have a smaller advantage. In a holistically view scenario 2 is preferable.



# Indhold

## 1. INTRODUKTION

1.1	Indledning.....	11
1.2	Baggrund for case-study.....	12
1.2.1	Vindmøllebakken i Stavanger.....	12
1.2.2	Union Canning.....	13
1.2.3	Helen & Hard.....	13
1.3	Renoveringsscenarierne.....	14
1.4	Norges energisammensætning.....	15
1.5	Problemformulering.....	16

## 2. STATE OF THE ART

2.1	Bæredygtighed.....	21
2.1.1	Miljømæssig bæredygtighed.....	22
2.1.2	Social bæredygtighed.....	23
2.1.3	Økonomisk bæredygtighed.....	23
2.2	Isoleringsmaterialer.....	24
2.2.1	Mineraluld.....	24
2.2.2	Træfiberisolering.....	25
2.3	Energirenovering.....	26
2.3.1	Indvendig isolering.....	26
2.4	ISOVER RetroWall System.....	27
2.5	Hvad viser andre studier?.....	29
2.5.1	Energisammensætningen.....	29
2.5.2	Renoveringsstrategier.....	29
2.5.3	Isoleringsmaterialer.....	30

## 3. METODE

3.1	Dataindsamling.....	35
3.1.1	Bygningens udformning.....	35
3.1.2	Renoveringsscenarierne.....	35
3.1.3	ISOVER RetroWall System.....	36
3.2	Energirammeberegninger – Be15.....	37

3.2.1 Klimaskærm.....	37
Tagkonstruktion.....	38
Terrændæk.....	38
Vinduer .....	38
Ydervægge .....	39
Linjetab.....	39
3.2.2 Ventilation .....	40
3.2.3 Belysning .....	40
3.3 Livscyklusvurdering, LCA .....	41
3.3.1 Fase 1: Goal & scope.....	42
3.3.2 Fase 2: Inventory Analysis .....	43
3.3.3 Fase 3: Impact Assessment.....	44
3.3.3.1 Sammenligning af LCIA metoder .....	47
3.3.4 Fase 4: Intepretation & results .....	48
3.4 Software.....	49
<b>4. RESULTATER</b>	
4.1 Union Canning – nyt designforslag .....	53
4.1.1 Alle scenarier.....	55
4.1.2 Scenarie 1.....	55
4.1.3 Scenarie 2.....	55
4.1.4 Scenarie 3.....	55
4.1.5 Energirammeberegninger .....	56
4.2 Goal & scope .....	57
4.3 Inventory Analysis .....	59
4.3.1 Scenarie 1.....	59
4.3.2 Scenarie 2 og 3 .....	60
4.3.2.1 ISOVER RetroWall System.....	60
4.3.2.2 Materialeantagelser i QS2.0 .....	62
4.3.2.3 Spildprocenter for materialer.....	63
4.3.2.4 Energi.....	63
4.3.2.5 Mandetimer.....	64
4.3.2.6 Transport og afstande .....	65
4.3.2.7 Bortskaffelse .....	66

4.3.3 Inventory skema – Scenarie 2 (mineraluldsisolering) .....	73
4.3.4 Inventory skema – Scenarie 3 (træfiberisolering) .....	74
4.3.5 Følsomhedsanalyse.....	75
4.4 Impact Assessment, LCIA .....	76
4.5 Interpretation & results .....	77
4.5.1 ISOVER RetroWall System – nutidig og fremtidig bortskaffelse .....	79
4.5.2 Livscyklusfaser – nutidig bortskaffelse .....	80
4.5.3 Opførelsesfasen – nutidig bortskaffelse .....	81
4.5.4 Brugsfasen – nutidig bortskaffelse.....	82
4.5.5 Endt levetid – nutidig og fremtidig bortskaffelse .....	83
4.5.6 Fejlkilder .....	85
4.6 Det sociale aspekt.....	86
4.7 Det økonomiske aspekt.....	88
4.7.1 Anlægsomkostninger .....	88
4.7.2 Afledte omkostninger .....	89
4.7.3 Overblik over omkostningerne .....	89
<b>5. DISKUSSION</b>	
5.1 De 3 bæredygtighedsaspekter .....	93
5.1.1 Validitet af LCA resultaterne.....	93
5.1.2 Vurdering af det sociale aspekt .....	95
5.1.3 Vurdering af det økonomiske aspekt .....	97
5.2 Hvordan måles bæredygtige byggerier i dag? .....	99
5.3 Opsummering .....	101
5.4 Konklusion .....	102
<b>6. REFERENCER</b>	
6.1 Referencer .....	107
<b>7. BILAG</b>	
7.1 Bilagsoversigt.....	115





1

# Introduktion



# 1.1 Indledning

Bæredygtighed er et begreb der spiller en større og større rolle inden for byggebranchen i dag. Det var i forbindelse med udgivelsen af FN's rapport *Our Common Future* i 1987 (Brundtlandrapporten), at bæredygtighedsbegrebet blev introduceret for første gang. Den introducerer tre dimensioner af bæredygtighed; det sociale, miljømæssige og økonomiske aspekt. Det er med grundlag i disse tre aspekter, at der i dag bliver skabt mere bæredygtige byggerier [1].

I Europa står byggebranchen for 40% af det samlede energiforbrug, 35% af den samlede CO<sub>2</sub>-udledning samt 40% af det samlede materialeforbrug [2]. Omkring 35% af bygningerne i Europa er over 50 år gamle og ved at forbedre bygningernes energieffektivitet i forbindelse med bygningsrenoveringer, kan det samlede energiforbrug forbedres med 5-6% samtidig med at CO<sub>2</sub>-udledningen vil reduceres med 5% [3].

Ifølge teknologisk Institut vil der i 2050 være brug for 3,5 gange af jordkloden, hvis brugen af ressourcerne i dag bliver ved med at stige i samme grad. Det betyder, at der både inden for renovering og nybyggeri er behov for at indtænke innovative bæredygtige løsninger i designet, for at mindske energiforbruget og CO<sub>2</sub>-udledningen samt spare på jordklodens ressourcer [4]. En overordnet omstilling af

byggeriet er derfor en nødvendighed for samfundets bæredygtighed, hvilket allerede er under udvikling.

Et studie af energi- og miljømæssige fordele ved renoveringer af offentlige bygninger i Europa har vist, at de mest signifikante miljømæssige fordele ved en energirenovering forekommer ved udskiftning til energieffektive vinduer samt en forbedring af isoleringstykkelsen i bygningen [5].

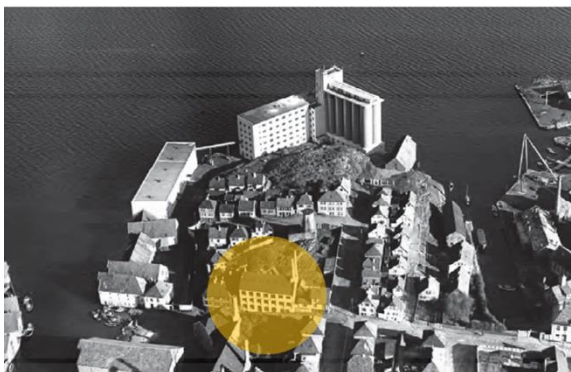
Når ældre bygninger enten skal renoveres eller transformeres til et andet formål, fordi bygningens stand ikke lever op til behovet, vil den mest bæredygtige løsning være at foretrække. Men hvilken løsning er den bedste? I de fleste tilfælde vil en energioptimering i form af efterisolering i bygningens klimaskærm være oplagt, men hvilken rolle spiller det pågældende lands energisammensætning og kan det betale sig at producere nye materialer frem for at bruge ekstra strøm til opvarmning?

Denne rapport vil gennemgå en systematisk bæredygtighedsvurdering af tre forskellige isoleringskoncepter af ydervægge i forbindelse med en bygningstransformation af en gammel hermetikfabrik, Union Canning, beliggende i Stavanger, Norge. Bygningens vestfacade er bevaringsværdig, hvorfor renoveringsscenarierne omhandler indvendig efterisolering.

# 1.2 Baggrund for case-study

## 1.2.1 Vindmøllebakken i Stavanger

Stavanger er den fjerdestørste by beliggende i det sydvestlige Norge, hvor den gamle hermetikfabrik Union Canning Co. A/S er beliggende på Støperigata 6, som denne rapport omhandler. Bygningen er en del af området *Vindmøllebakken* som arkitektfirmaet *Helen & Hard* ejer sammen med entreprenørvirksomheden *Kruse Smith* [6]. Nedenstående figur 1 viser placeringen af Union Canning på Vindmøllebakken i Stavanger øst.



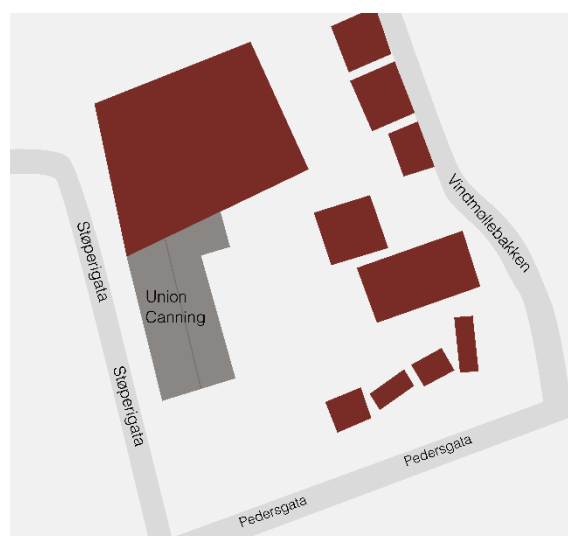
Figur 1 - Placering af Union Canning på Vindmøllebakken [7]

Stavanger øst ligger i forlængelse af Stavanger centrum, og bydelen er igang med en omfattende byudviklingsproces, hvor en realisering af et mangfoldigt byområde skal skabe nye rammer for området, der før var kendt som 'byens baggård'. Området er en videreudvikling af en eksisterende bydel, hvor der vil blive recirkuleret på baggrund af det potentiale og de egenskaber bydelen allerede indeholder.

Der er både boligprojekter og en stor interesse blandt virksomheder, som ønsker kontorer i bydelen, der ses som et upcomming område. Fundamentet er herved lagt, og bydelen der før var kendt som 'byens baggård' vil blive kendt for 'mulighedernes område' [8].

På *Vindmøllebakken* er der i dag beliggende den gamle hermetikfabrik, Union Canning, en lagerbygning og et pop-up hostel. *Helen & Hards* vision for *Vindmøllebakken* er at skabe et bæredygtigt boligområde med et bofællesskab bestående af 34 lejligheder i forskellige størrelser. I bofællesskabet skal beboernes privatliv sikres, samtidig med at rammerne for at skabe et stærkt socialt fællesskab blandt beboerne skal være tilstede. Udover boligområdet skal den gamle hermetikfabrik Union Canning huse *Helen & Hards* nye kontor og den gamle lagerbygning der grænser op til Union Canning rives ned.

Nedenstående figur 2 viser en situationsplan over de eksisterende forhold af Vindmøllebakken.



Figur 2 - Situationsplan over Vindmøllebakken

## 1.2.2 Union Canning

Denne rapport vil omhandle Union Canning, som skal gennemgå en transformation fra en gammel hermetikfabrik til en kontorbygning. Union Canning er beliggende på Størerigata 6 i Stavanger øst og blev bygget i 1912. Fra 1912-1962 har bygningen fungeret som en hermetikfabrik for konservering af sild [9]. Siden da har bygningen været brugt som slikfabrik, forsamlingshus til diverse grupperinger og de seneste år har bygningen stået ubenyttet.

Grundet Union Cannings historie med konservering af sild, er bygningens vestfacade ud mod Støperigata bevaringsværdig.

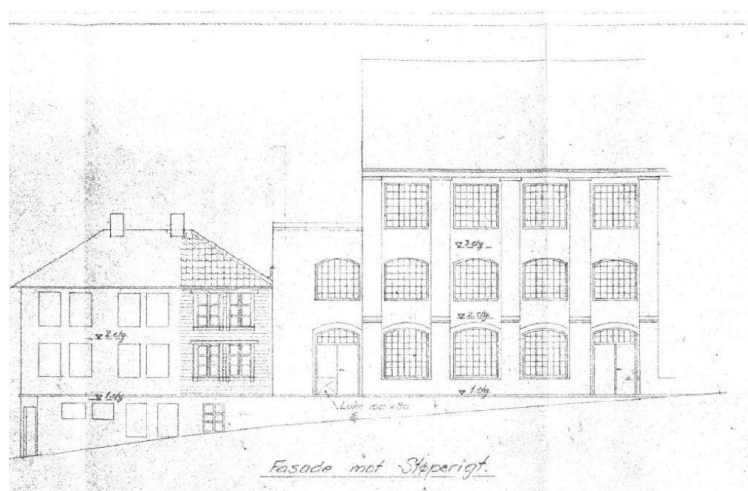
Efter bygningens opførelse i 1912 er vinduerne blevet skiftet ud, og nogle af vinduershullerne er blevet muret helt eller halvt til. *Helen & Hards* vision for bygningen er at bringe dens oprindelige udtryk tilbage med respekt for bygningens historie og med henblik på, at den kan fungere som kontor for deres tegnestue i Stavanger.

Figur 3 viser en oprindelig opstalt af den bevaringsværdige vestfacade mod Støperigata.

## 1.2.3 Helen & Hard

Tegnestuen *Helen & Hard* blev etableret tilbage i 1996 i Stavanger af den norske arkitekt Siv Helene Stangelnd og den østrigske arkitekt Reinhard Kropf. I dag består tegnestuens personale af 31 medarbejder fra 10 forskellige lande. Udover kontoret i Stavanger har *Helen & Hard* også en afdeling i Oslo.

*Helen & Hard* designer projekter af forskellige størrelsesordner; fra mindre familieboliger, kontorer og offentlige bygninger til større masterplans. Deres mål er at engagere kreativt med bæredygtighed i deres designs, men også i selve konceptet og organisationen i designprocessen. Ved at rykke væk fra udelukkende tekniske løsninger skal deres projekter udvikle sig i relation til det fysiske, sociale, kulturelle samt økonomiske aspekt. En af deres kernekompetencer er deres synlige trækonstruktioner, som skal afspejle tankegangen bag kreativt at indtænke bygningens sammensætning og basiselementer af arkitektur; rummelighed og materialer i en synergi under designprocessen. Overordnet set skal *Helen & Hards* arkitektoniske løsninger inspirere mennesker til et bæredygtigt liv [6].



Figur 3 - Oprindelige opstalt af den bevaringsværdige vestfacade mod Støperigata

## 1.3 Renoveringsscenarierne

Der vil i denne rapport undersøges tre forskellige renoveringsscenarier af ydervæggene for Union Canning. Scenarie 1 vil fungere som et referencescenarie, hvor der ikke foretages nogen renovering af ydervæggene. I scenarie 2 og 3 vil der blive foretaget en indvendig efterisolering af ydervæggene med to forskellige isoleringstyper; mineraluldsisolering i scenarie 2 og træfiberisolering i scenarie 3. For alle tre renoveringsscenarier, vil følgende tiltag,

omhandlende en renovering af tagkonstruktionen, terrændækket og vinduerne, være ens.

Tegnestuen *Helen & Hard* ønsker at bringe bygningen tilbage til dets oprindelige udtryk. På baggrund heraf, er designforslaget i dette projekt et forsøg på at imødekomme *Helen & Hards* ønsker, men er ikke et konkret designforslag opstillet af tegnestuen.

## 1.4 Norges energisammensætning

Norge er et land som har gode forhold for udnyttelse af vandkraft og deres elektricitetsproduktion er næsten udelukkende fra vandkraftværker [10]. I 2015 bestod den norske elektricitetsproduktion af 98% vedvarende energi, som næsten udelukkende kommer fra vandkraft, og 2% fossile brændsler. Norges elektricitetsproduktion er derfor meget lidt miljøbelastende, da udledningen af CO<sub>2</sub>-eq er meget lav, som i 2015 var på 17 g/kWh. Trods den grønne elektricitetsproduktion i Norge, så er udledningen af CO<sub>2</sub>-eq for forbrugselektriciteten en del højere, da der sker en udveksling af elektricitet mellem de nordiske lande. I 2015 var importandelen i energisammensætningen af forbrugselektriciteten på 85% [11]. Søkabler mellem europæiske lande gør det muligt at udveksle strøm mellem landene, således udnyttelsen af vedvarende energi på et samlet plan i Europa stiger. I 2014 blev der udlagt et søkabel mellem Danmark og Norge, som har forøget udvekslingen af el, disse to lande imellem, med 70% [12].

Energistyrelsen har lavet en rapport om energistatistik for 2014, over sammensætningen af elektricitetsforbruget i EU-lande og Norge.

I nedenstående tabel 1 sammenlignes energisammensætning af forbrugselektriciteten mellem Norge og Danmark.

	Norge	Danmark
<b>Olie</b>	38%	40%
<b>Naturgas</b>	16%	18%
<b>Kul</b>	2%	15%
<b>A-kraft</b>	0%	0%
<b>Vedvarende energi</b>	44%	27%

*Tabel 1 - Sammenligning af energisammensætning i Danmark og Norge*

Som det ses af tabel 1, så er andelen af den vedvarende energi i Norge en del højere end i Danmark. Ud af de 44% vedvarende energi i Norge, så består 89,2% af vandkraft. Udledningen af CO<sub>2</sub>-eq er på 348,6 g/kWh, hvilket er ca. en faktor 20 højere end ved produktionen. Beregningen herfor kan ses i bilag 01. Til sammenligning med den norske udledning, så består den danske elektricitetssammensætning af en større andel af olie, naturgas og kul, hvilket medfører en højere udledning af CO<sub>2</sub>-eq [10].



# 1.5 Problemformulering

Udgangspunktet for dette projekt er en case introduceret af tegnestuen *Helen & Hard*. Projektets fokus er at transformere en gammel hermetikfabrik, Union Canning, til en kontorbygning, som *Helen & Hard* skal benytte til tegnestue. Bygningens vestfacade er bevaringsværdig, hvorfor denne ønskes bevaret under bygningstransformationen.

Der vil i forbindelse med bygningstransformationen af Union Canning blive undersøgt tre forskellige renoveringsscenarier af ydervæggene:

- Scenarie 1: Referencescenarie - der foretages ingen renovering
- Scenarie 2: Indvendig efterisolering med mineraluld
- Scenarie 3: Indvendig efterisolering med træfiber

Formålet er at undersøge, hvorvidt det ud fra en miljømæssig synsvinkel, er mere fordelagtigt at renovere med henblik på Norges grønne energisammensætning, og i så fald med hvilket isoleringsmateriale.

Med udgangspunkt i en livscyklusvurdering (LCA) vil materialestrømmene for de tre renoveringsscenarier blive kvantificeret, hvorved der vil blive undersøgt hvilken renoveringsstrategi, der er den mest optimale miljømæssigt set. Til dette vil der blive foretaget energirammeberegninger for de tre renoveringsscenarier, som indgår i LCA'en. Der vil yderligere blive foretaget to forskellige bortskaffelsesscenarier for renoveringsscenarie 2 og 3, hvor der ses på en partiel dynamisk udvikling, og hvilken betydning dette har for det endelige valg af en renoveringsstrategi.

Hovedfokus for dette projekt er den miljømæssige del af bæredygtighedsaspektet, men der vil også blive set på den økonomiske og sociale del. Den økonomiske del vil blive inddraget ved at se på de forskellige omkostninger i forbindelse med de tre renoveringsscenarier. Den sociale del vil blive inddraget ift. sygdomsrisici og der vil blive set på hvad andre studier viser omkring dette ved bygningstransformationer og energirenoveringer.

Som en afrunding af denne rapport, vil der blive givet en samlet vurdering af hvilket renoveringsscenarie, der er det mest bæredygtige samlet set.

## Spørgsmål til undersøgelse

- Med henblik på den norske energisammensætning, er det så miljømæssigt fordelagtigt at renovere?
- Hvilket renoveringsscenarie er det mest bæredygtige, set ud fra et miljømæssigt perspektiv?
- Hvilken indflydelse har en partiel dynamisk udvikling i bortskaffelsesmetoderne af byggematerialer om 50 år holdt op imod nu?
- Hvilke omkostninger er der forbundet med de tre renoveringsscenarier?
- Hvilke sociale aspekter er forbundet med de tre renoveringsscenarier?





2

State of the art



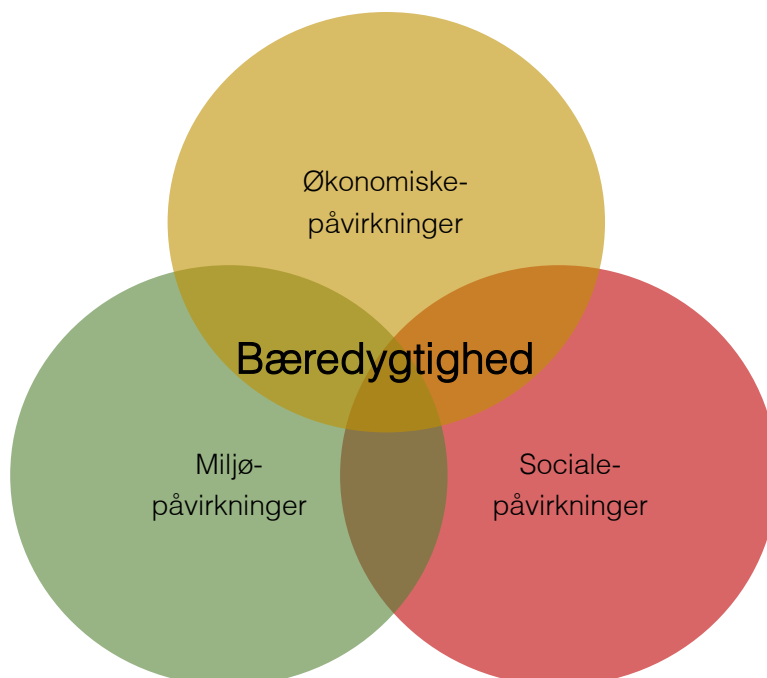
## 2.1 Bæredygtighed

Bæredygtighedsbegrebet blev for første gang anvendt i FN's rapport *Brundtlandrapporten* i 1987, og det er den der, ligger grundlag for forståelsen af bæredygtighed. Det er her de tre dimensioner af bæredygtighed introduceres; det sociale, miljømæssige og økonomiske aspekt. Siden hen er de tre dimensioner blev inkorporeret i EU-standarder, som bl.a. CEN/TC-350 *Sustainability of construction works*, der i den danske udgave kendes som DS/EN 15978:2012 [13].

I dag lever over 50% af verdens befolkning i byer og bymæssige bebyggelser, som både er ressource- og miljøkrævende, hvorfor en bæredygtig udvikling af byggeriet er essentielt [1].

En bæredygtig udvikling handler om at kunne sikre nutidens generationers levestandarder og behov uden bekostning for fremtidige generationers levestandarder og behov [4].

For at sikre bæredygtighed i byggeriet, er det vigtigt at tænke både langsigtet, bredt samt værdiskabende. Det er derfor vigtigt at indtænke de tre dimensioner af bæredygtighed i en helhedsorienteret tilgang ift. byggeriets livscyklus. Det ses dog hyppigt, at det kun er den miljømæssige del, der betragtes, da det er denne dimension, der mest populært forbindes med bæredygtighedsbegrebet [14]. Figur 4 illustrerer sammenhængen mellem de tre dimensioner af bæredygtighed, som vil blive beskrevet nærmere.



Figur 4 - De tre dimensioner af bæredygtighed

## 2.1.1 Miljømæssig bæredygtighed

Den miljømæssige bæredygtighed er den dimension, der er blevet tillagt størst vægt i denne rapport, og kan kvantificeres i form af forskellige miljøpåvirkninger. I praksis kan dette aspekt eksempelvis komme til udtryk i form af certificeringsordninger, der sammenligner bygningers miljømæssige ydeevne [1].

Den miljømæssige bæredygtighed handler om at reducere ressource-, energi- og vandforbruget samt miljøpåvirkninger, som f.eks. udslip af CO<sub>2</sub>-eq, i alle bygningens livscyklusfaser.

Der har været tendens til at forbinde en lavenergibygning med et miljøvenligt byggeri. Dette er ikke nødvendigvis korrekt, da der kan være tilfælde hvor den økonomiske og miljømæssige gevinst i forsøget på at opføre en lavenergibygning, vil overstige den energimæssige besparelse i levetiden [14].

Et eksempel herpå findes i artiklen af J. L. Sohn et al., hvor den optimale isoleringstykkelser i et dansk lavenergihus undersøges. Tidligere har der været stor fokus på kun at se på energien i brugsfasen til opvarmning af bygningen. En optimeret isoleringstykkelser hævdes at kunne findes, ved at holde energien til produktion af isoleringsmaterialet op imod den sparet energi til opvarmning af bygningen i brugsfasen. I dag vil dette anskues anderledes, da der i løbet af de sidste årtier er lagt stor fokus på at optimere energisammensætningen ved at formindske den miljømæssige påvirkning. På baggrund heraf, tager J. L. Sohn et al. i deres studie højde for en dynamisk energisammensætning i bygningens levetid, hvorfra en optimeret isoleringstykkelser kan anskues. På baggrund af

den dynamiske energisammensætning opnås en stagnering i udviklingen af den miljømæssige påvirkning over tiden, i modsætningen til ved en statisk energisammensætning [15].

Studiet viser, at der ved hensyntagen til en dynamisk energisammensætning vil opstå en ekstra miljømæssig påvirkning ved at bevare den samme isoleringstykkelser som ved en statisk energisammensætning. Ved at se på en dynamisk energisammensætning vil der opnås et break-even point for isoleringsmængden ift. udledningen af CO<sub>2</sub>-eq tidligere, end ved at anskue en statisk energisammensætning [15].

Artiklens konklusion er derfor, at super-isolerede bygninger ikke vil være med til at formindske den miljømæssige påvirkning, hvis de er tilkoblet fjernvarmenettet, når der tages højde for en dynamisk energisammensætning [15].

Tendensen til at sættes lighedstegn mellem et lavenergibyggeri og et miljøvenligt byggeri, kan ud fra J. L. Sohn et al. derfor diskuteres om det nødvendigvis er rigtigt. Bygningsreglementets udvikling i kravet til energirammen er fra 1961 til 2020 faldet fra over 300 kWh/m<sup>2</sup> boligareal til under 50 kWh/m<sup>2</sup> boligareal, hvilket også medfører højere isoleringstykkelser [16]. Ud fra J. L. Sohn et al. kan det diskuteres hvorvidt Bygningsreglementets 2020 krav burde tages op til revidering, når der ses på lavenergi-byggerier ud fra et miljømæssigt perspektiv.

I denne rapport vil der blive undersøgt hvorvidt en indvendig efterisolering af ydervæggene kan betale sig miljømæssigt, når bygningen forsynes af Norges energisammensætning. Dette vil foretages ud fra en livscyklusvurdering (LCA).

## 2.1.2 Social bæredygtighed

Den sociale bæredygtighed omhandlende bygninger knytter sig til de sociale rammer for menneskets sundhed og trivsel. Overordnet set kan den sociale bæredygtighed inddeles i tre kategorier; i bygningen, omkring bygningen og i forhold til samfundet.

Den sociale bæredygtighed i bygningen omhandler indeklimaparametre som dagslysforhold, temperaturer, luftkvalitet, akustik, belysning samt støj, for bygningens daglige brugere. Alle disse parametre er målbare. De kan derved kvantificeres ved udførelse af målinger. Andre faktorer som den arkitektoniske udformning og rummeligheden for brugeren er ikke kvantificerbare, da det er subjektive holdninger. Der kan foretages brugerundersøgelser heraf [14].

Den sociale bæredygtighed omkring bygningen omhandler udearealer, grønne områder samt adgangsforhold til bygningen. Disse kan især være vigtige forhold i forbindelse med en kontorbygning, som uden for brugstiden kan gå hen og blive forladt. Hvis forholdene omkring bygningen indbyder til ophold, vil den sociale trivsel for borgere forbedres. Disse forhold er ikke kvantificerbare [14].

Den sociale bæredygtighed i forhold til samfundet omhandler den kontekst bygningen indgår i. Det er vigtigt at inddrage området hvor bygningen er placeret og ikke anskue den som en isoleret enhed. Her kan historien af området samt fredede bygninger eller bevaringsværdige dele af bygninger være vigtige at respektere for at bygningen passer ind i kontekst med området. Disse forhold er heller ikke kvantificerbare, men kan indtænkes tidligt i forbindelse med brugerinddragelse [14].

Denne rapport vil primært omhandle de kvantificerbare aspekter af den sociale

bæredygtighed for brugerne i bygningen samt nogle ikke kvantificerbare aspekter ift. samfundet, da bygningens vestfacade er bevaringsværdig.

## 2.1.3 Økonomisk bæredygtighed

Den økonomiske bæredygtighed handler om at sikre en balance mellem kvalitet og omkostninger. Det gælder om at tænke langsigtet og være helhedsorienteret. En økonomisk kvalitet ved et byggeri kan være, at der er taget højde for, at bygningen senere kan transformeres. For at sikre en økonomisk kvalitet kan der regnes totaløkonomi for bygningen, som inddrager alle livscyklusfaser. Totaløkonomi kan fungere som et beslutningsværktøj til at sikre en langsigtet og økonomisk fornuftig kvalitet af bygningen. Bedre kvalitet og dermed højere anlægsomkostninger i starten af byggeriet kan medføre mindre vedligeholdelse og omkostninger i forbindelse hermed under brugsfasen. Det kan i sidste ende medføre en billigere løsning og en bedre investering på et langsigtet plan frem for en billig løsning i anlægsomkostningerne, som senere bliver dyrere i drift [14].

Økonomiske aspekter ved et byggeri og driften heraf som medtages i en totaløkonomisk betragtning kan være:

- Anlægsomkostninger i form af materialer
- Afledte omkostninger til drift i form af energiforbrug og vedligeholdelse
- Afledte økonomiske gevinster i form af trivsel og sygefravær
- Afledte samfundsøkonomiske gevinster i form af klimamål samt ressourceoptimering

Denne rapport vil behandle anlægsomkostninger samt afledte omkostninger og hvilke konsekvenser de kan have.



## 2.2 Isoleringsmaterialer

Der findes flere forskellige isoleringsmaterialer på markedet, hvoraf de mest almindelige er: mineraluldsisoleringer, oliebaseerede polymer-isoleringer og cellulose-isoleringer. Under mineraluldsisoleringer findes stenuld og glasuld, samt glasskum som er faste blokke eller granulat. Under oliebaseerede polymer-isoleringer findes PIR/PUR (polyurethan), flamingo (EPS), XPS (ekstruderet polystyren) og fenolskum. Under cellulose-isoleringer findes træfiber og papiruld som er cellulose, samt hamp, hamp-kalk-isoleringsblanding, korkisolering og muslingeskaller [17].

Denne rapport vil omhandle mineraluldsisoleringen stenuld samt cellulose-isoleringen træfiber.

### 2.2.1 Mineraluld

Mineraluld er det mest dominerende isoleringsmateriale på det europæiske marked især i Nordeuropa med 57% [15].

Stenuld kan både fås som batts eller granulat til indblæsning, og anvendelsen heraf er ubegrænset til alle typer isoleringsopgaver; loft, gulv, vægge, rør osv. Stenuld bliver fremstillet af nedsmeltning af mineralske materialer og det er et højtisolerende materiale. Det består oftest af en vulkansk bjergart, kalksten samt fenolplast (bakelit) som bindemiddel. Den typiske varmeledningsevne ( $\lambda$ ) for stenuld er mellem 0,030-0,042 W/m·K, som er afhængig af det enkelte produkt samt producent heraf [18].

Der er både fordele og ulemper ved brug af stenuld som isoleringsmateriale, hvilket kan ses i tabel 2. Disse skal man overveje i den enkelte byggesammenhæng, når man vil vælge det mest bæredygtige isoleringsmateriale.

Energiforbruget til produktion af stenuld ligger typisk mellem 15,7 til 22,4 MJ/kg, og er varierende fra forskellige produkter og producenter [17].

Fordele	Ulemper
God isoleringsevne, fra 0,030 W/m·K	Mindre god til efterisolering ved utætheder i klimamembranen
Stenuld kan genanvendes med op til 50% til ny produktion - dog energikrævende	Indeholder formaldehyd og fenol, hvoraf nogle er på EU' liste over problematiske stoffer
God brandresistens - brandklasse A1	Støver meget under arbejde
Ubrændbart	Kan forårsage kløe i huden
Igen brandhæmmende kemikalier	Kan irritere øjnene
Egner sig til hulmursisolering - pga. lav hygroskopi	Lagrer ikke CO <sub>2</sub>
Kan benyttes i terrændæk - trykfast	Ikke biologisk nedbrydeligt
Robust, elastisk og nemt at skære til	Højt energiforbrug til produktion
Pris: i den billige ende	

Tabel 2 - Fordele og ulemper ved mineraluld [17]

## 2.2.2 Træfiberisolering

Træfiberisolering fremstilles af cellulosefibre fra træer. Da træfiber er et organisk materiale og dermed danner gode forhold for skimmeldannelse, kan dette kun anbefales i konstruktioner, hvor der er minimal risiko for kondensdannelse. Materialet kan både optage og afgive fugt og dermed fungere åndbart. Træfiberisolering kan både leveres som måtter og granulat til indblæsning af f.eks. efterisolering [19].

I et CO<sub>2</sub>- og klimaregnskab er træfiber som mange andre træprodukter, god til at binde CO<sub>2</sub> i sammenligning med mineraluldsisolering [19].

Træfiberisolering dæmper eller forsinker den termiske strømning fra ydre- til indersiden af konstruktionen, og har en høj termisk kapacitet på 2100 J/kg·K, hvilket giver isolering mod

varme om sommeren og kulde om vinteren [20].

Træfiberisolering er et organisk materiale som kan nedbrydes naturligt, og medmindre det er forurenet af giftige træbeskyttelsesmidler, kan det også returneres til genbrug eller genanvendelse. I dette projekt er der for træfiberisolering benyttet Gutex soft board som er fremstillet af træflis der forekommer som et biprodukt hos savværkerne [21].

Der er en række fordele og ulemper ved at benytte træfiberisolering, som er listet i nedenstående tabel 3.

Energiforbruget til produktion af træfiberisolering ligger typisk mellem 7,0 – 10,8 MJ/kg, og er varierende fra forskellige produkter og producenter [17].

Fordele	Ulemper
God isoleringsevne, fra 0,036 W/m·K	Brandklasse B, evt. nødvendigt med et brandbeskyttende lag
Biologisk nedbrydeligt	Kan indeholde brandhæmmere (7-15% af materialet) - kan være på EU-kandidatlisten over problematiske stoffer
Høj hygroskopisk evne - kan reducere længerevarende fugtophobning	Nødvendig med en tæt klimamembran, for at mindske fugttransport
Ikke diffusionsåbent	Grundet træfiber er organisk, giver det gode næringsforhold for skimmel og svampe
Giver gode arbejdsforhold ift. støv og irritation/gener	Kan indeholde polyester bindemidler
	Pris: i den dyre ende

Tabel 3 - Fordele og ulemper ved træfiberisolering [17]

## 2.3 Energirenovering

### 2.3.1 Indvendig isolering

Den typiske måde at energirenovere en fredet eller bevaringsværdig bygning i dag, er ved at foretage en indvendig efterisolering. Dette er en kompliceret energirenovering, hvor der er mange forhold der skal tages højde for og det er samtidig vigtigt, at det udføres således de tekniske og arkitektoniske kvaliteter ikke forringes.

I Danmark er de fredede og bevaringsværdige bygninger fritaget fra at opfylde energikravene i Bygningsreglementet, BR15. De bevaringsværdige bygninger er fritaget fra kravene i sådan et omfang, at det termiske indeklima opleves som værende behageligt til den pågældende bygningsfunktion [22]. Kravene i Bygningsreglementet er ift. U-værdier af de forskellige bygningsdele samt linjetab, dagslysforhold og energiforbrug pr. m<sup>2</sup>.

Udførelsen af indvendig efterisolering har en afgørende betydning for effekten heraf, da der nemt kan opstå komplikationer med fugt og skimmelsvamp inde i væggen, hvis udførelsen er mangelfuld. Der kan også nemt opstå kuldebroer ved overgangene ved eksempelvis gulve, lofter og vinduer, hvorfor en korrekt og tæt montering af klimamembranen er essentiel [23]. Endvidere vil den eksisterende vægs

udtørringsbetingelser forringes, fordi varmestrømmen reduceres. En af de måder man sikrer en god indvendig efterisolering, er ved at hindre fugtig luft i at trække ud i konstruktionen og at undgå kuldebroer ved tilstødende inder-vægge og etageadskillelser. Isoleringsmaterialet benyttet i en indvendige efterisolering bør derfor være åndbart [24].

Ved indvendig efterisolering er der stor risiko for at rumluften trænger ud i konstruktionen, hvilket ofte forårsager kondens og derefter skimmel i konstruktionen. Skimmel får primært deres næring fra organiske materialer, og derfor er det vigtigt, at de risici ramte flader ikke består af organisk materiale. Ved murede facader er det en forudsætning for at udføre indvendig efterisolering, at facademuren er vandtæt, f.eks. imprægneret med maling. Herudover er det vigtigt at den murede facade har en rimelig kvalitet, da murværk, som er et meget porøst og dermed vandsugende materiale, kan være udsat for stor risiko ift. frostskafer og sommermodes, som er et typisk fænomen på de sydvendte facader [24].

En udvikling inden for indvendige efterisolering, er ved at tilføje et mekanisk ventileret hulrum.

## 2.4 ISOVER RetroWall System

En løsning på et mekanisk ventileret hulrum ved indvendig efterisolering er et nyt produkt fra ISOVER, Saint-Gobain med navnet *ISOVER RetroWall System*, der for første gang blev introduceret ved byggerimessen BYGGERI'16 i marts 2016 [25]. Systemet er udviklet til energi- og komfortrenovering af bevaringsværdige bygninger, hvor en udvendig efterisolering af bygningen ikke er en mulighed.

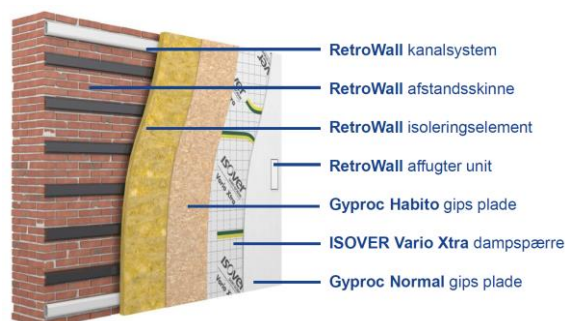
Gamle bygninger, som er fredede eller bevaringsværdige, har oftest massive ydervægge uden hulrum eller isolering. Dette kan medføre en dårlig komfort, da det kan medføre trækgener pga. kuldestråling og en kold vægoverflade, hvorpå der er risiko for kondensdannelse. Den massive væg har en høj U-værdi, hvilket øger varmebehovet.

Ved en traditionel indvendig efterisolering monteres isoleringsmaterialet direkte på den eksisterende mur. Dette medfører en risiko for fugtdannelse, som indesluttet mellem isoleringsmaterialet og ydervæggen, hvorved der er risiko for skimmeldannelse samt råd og svamp i konstruktionen. Der vil som følge heraf dannes et dårligt indeklima og komforten forringes [26].

ISOVER RetroWall System er det eneste produkt på markedet som fjerner fugten mellem den eksisterende ydervæg og efterisoleringen, hvorved risikoen for skimmelsvamp elimineres. Systemet øger derved komforten og indeklimaet ved at varmeisolere og fjerne kuldestrålingen, og er dermed en teknisk og innovativ løsning på problemet af traditionel indvendig efterisolering af fredede og bevaringsværdige bygninger. Den mekaniske ventilering af hulrummet sker ved brug af en affugtningsenhed [27].

RetroWall systemet består af et afstandsskinnesystem i perforeret stål fra Gyproc med en dybde på 25 mm, hvilket udgør tykkelsen af det ventilerede hulrum i konstruktionen. Derudover består RetroWall systemet af et specialfremstillet kanalsystem der udgøres af to vandrette stålkkanaler med huller i, en i toppen og en i bunden af væggen, samt en lodret stålkkanal uden huller i, som forbinder kanalsystemet. Det er heri, at luften, som skal affugte hulrummet, transporteres rundt. I den lodrette kanal er tilsluttet en affugterenhed bestående af to ventilatorer. Uden på skinne- og kanalsystemet påmonteres isoleringen.

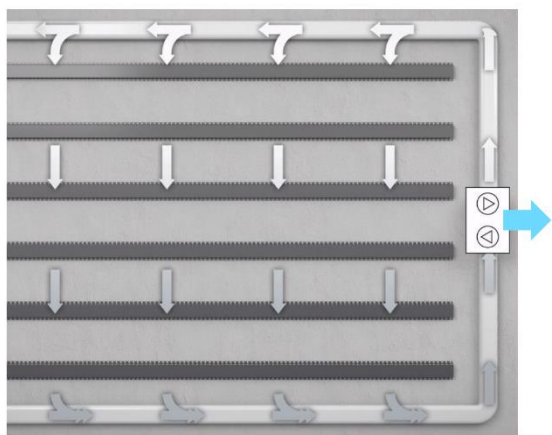
I RetroWall systemet er tiltænkt en ISOVER glasuldsisolering med  $\lambda 30$ , og en tykkelse på 50 mm. Isoleringselementet beklædes med to gipsplader, og en klimamembran herimellem. Opbygningen af systemet er foretaget ud fra SBI anvisninger og er et mål om at opnå en så lav tykkelse som mulig, samtidig med at der opnås en varmeisolering, der forbedrer det termiske indeklima [28]. Den samlede tykkelse for RetroWall systemet er 100 mm. Figur 5 viser en 3D opbygning af ISOVER RetroWall systemet:



Figur 5 - Opbygning af ISOVER RetroWall System

Affugterenheten består af to ventilatorer i plast, som har til formål at skabe luftcirkulation i hulrummet mellem den eksisterende ydervæg og RetroWall systemet. Den aktiveres efter behov af sensorer i væggen der måler på temperatur og relativ fugtighed. Affugterenheden tilfører tør luft fra rummet og cirkulerer den op ad den lodrette kanal, hvorefter et tryk i kanalsystemet vil føre den tørre luft ned langs væggen. Her vil den tørre luft opfugtes og opsamles i den nederste vandrette kanal, hvorefter den bliver cirkuleret videre tilbage til affugterenheden. Den opfugtede luft vil herefter blive ventileret ud i rummet og ny tør luft vil blive ventileret rundt i kanalsystemet [28].

Figur 6 viser princippet for affugtningssystemet og hvordan luften cirkuleres rundt i vægenheden.



Figur 6 - Princippet for affugtning af ISOVER RetroWall System

Det er muligt at foretage ændringer ift. den beskrevne opbygning. Eksempelvis kan de to gipsplader udskiftes med andre beklædnings typer som f.eks. krydsfinerplader. Det er vigtigt at begge pladeelementer består af den samme type materiale, for at undgå at materialerne arbejder mod hinanden. Stålskelettet i systemet kan også udskiftes, hvor der i stedet kunne monteres en træskeletvæg. Problemet ved at opsætte en træskeletvæg er, at fugten vil sætte sig i træet, som er et organisk materiale, og dette vil medføre bedre betingelser for vækst af skimmel end ved stål [28].

Da undersøgelserne for RetroWall systemet er for den nævnte opbygning, vides det ikke hvorvidt effekten af systemet vil være anderledes, hvis systemet opbygges med andre materialer og tykkelser.

## 2.5 Hvad viser andre studier?

I dag kan 40% af den globale opvarmning relateres til byggebranchen [5]. I Danmark er det siden 2008 lykkedes at reducere energiforbruget i nye lavenergibyggerier så meget, at miljøpåvirkningerne fra energiforbruget til drift i bygningens levetid er lig med eller mindre end miljøpåvirkningerne fra produktion af byggematerialerne [29]. Men hvordan er sammenhængen for energirenoveringer? Dette spørgsmål vil blive uddybet i det følgende afsnit, gennem et litteraturstudie af energirenoveringer samt forskellige isoleringsmaterialer.

### 2.5.1 Energisammensætningen

Der er lavet flere studier på globalt plan omkring energirenoveringer, hvor miljøpåvirkningerne af driftsenergien er holdt op imod miljøpåvirkningerne af materialer ved renoveringsprojekter.

Et af disse studier er beskrevet i A. Ghose et al., hvor der ses på miljøpåvirkningerne forbundet med energirenoveringer i New Zealand, for deres nuværende energisammensætning, som hovedsageligt består af kul i dag, holdt op imod en fremtidig energisammensætning hvor andelen af kul er reduceret markant. En standard renovering af en kontorbygning beliggende i Auckland, New Zealand blev brugt som casestudie. Renoveringen omfattede større ændringer i klimaskærmen i form af efterisolering, udskiftning af vinduerne, installation af solafskærmning samt udskiftning af belysnings- og HVAC-systemet [30].

Resultaterne af disse undersøgelser indikerer, at størrelsen af miljøpåvirkningerne er afhængige af hvor energikrævende udvindingen og produktionen af de forskellige

byggematerialer er. Resultaterne viser yderligere at miljøpåvirkningerne formindskes, hvis bygningens har en længere levetid. Miljøpåvirkningerne i levetiden er hovedsageligt forbundet energiforbruget. Studiet viser at den værste miljøpåvirkning for scenariet med den nuværende energisammensætning i New Zealand, hvor andelen af kul er høj [30].

Tages der udgangspunkt i resultaterne i A. Ghose et al., sammenholdt med den norske energisammensætning, hvor andelen af vedvarende energi er høj, er det i denne rapport relevant at undersøge om en energirenovering i Norge kan betale sig ud fra et LCA mæssigt perspektiv [31].

Som det kunne ses i A. Ghose et al., har landets energisammensætning bl.a. stor betydning for om en energirenovering kan betale sig.

### 2.5.2 Renoveringsstrategier

De fleste undersøgelser der er foretaget omkring bygningsrenoveringer og -transformationer omhandler oftest blot en enkelt fase, typisk brugsfasen, hvor fokus ligger i at nedbringe energiforbruget til bygningens drift. Der er kun få studier vedrørende miljøpåvirkninger, hvor alle livscyklusfaserne er taget i betragtning. Da bygninger har en lang levetid, er det derfor vigtigt at tage højde for alle faserne ved en miljøvurdering for at få et helhedsorienteret resultat der er sigende for hele bygningens levetid efter renoveringen. En miljøvurdering der kun fokuserer på energiforbruget for bygningens brugsfase er derfor her utilstrækkelig [5].

I F. Ardente et al. undersøges seks forskellige offentlige bygninger i Europa, der

energirenoveres. Formålet med dette studie er, at foretage miljøvurderinger, hvor der ses på GER (Gross Energy Requirement) ift. energibesparelserne ved renoveringen samt GWP (Global Warming Potential). Tiltag ved en energirenovering vil formindske bygningens energiforbrug i brugsfasen, men det kræver også energi at foretage disse tiltag (GER), og det tager dette studie højde for. De tiltag der foretages for de seks offentlige bygninger i F. Ardente et al. er bl.a. udskiftning af facader, installation af nye HVAC systemer og solpaneler, naturlig ventilation, ny og mere isolering, samt udskiftning af vinduer til lavenergiruder [5].

Studiet i F. Ardente et al. viser, at der for fem ud af de seks undersøgte bygninger forekommer en energibesparelse på ca. 50% for bygningernes energiforbrug til opvarmning i brugsfasen. Denne besparelse forekommer på baggrund af renoveringstiltagene, og det ses, at de mest signifikante miljømæssige fordele fra renoveringstiltagene forekommer ved udskiftning af eksisterende vinduer til lavenergiruder og ved en forbedring af isoleringstykkelsen [5].

Når der foretages en energirenovering af en bygning, hvor der er flere tiltag som udføres samtidig, kan det være svært at se hvilket tiltag der har den største betydning for den samlede energibesparelse. Det første tiltag vil have den største indflydelse, hvorefter yderligere tiltag vil få mindre og mindre betydning for det samlede resultat. Når der i denne rapport foretages energirammeberegninger for de tre renoveringsscenarier, vil de første renoveringstiltag have størst betydning. Herefter vil renoveringstiltaget ved installation af RetroWall systemet i scenarie 2 og 3 ikke have lige så stor ekstra betydning for energirammeberegningerne, som hvis de første renoveringstiltag ikke var foretaget.

Rækkefølgen og antallet af renoveringstiltag ifm. med en energirenovering kan derfor have betydning for det endelige resultat, og det kan være vigtigt at have in mente, når resultaterne for en miljøvurdering analyseres.

### 2.5.3 Isoleringsmaterialer

Et studie af T. Potrča et al. har undersøgt miljøpåvirkningerne for tre forskellige isoleringsmaterialer; EPS (ekspanderet polystyren), mineralulds- og træfiberisolering for ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems). Undersøgelserne omhandler procesmodulerne A1-A3 (*cradle to gate*) i en LCA, der inkluderer råmaterialeudvinding, transport til produktion samt produktion af produktet. Mængderne af isoleringsmaterialerne varierer således vægopbygningerne får den samme U-værdi. ETICS benyttes til at reducere miljøpåvirkningerne i brugsfasen, da de reducerer energiforbruget til opvarmning af bygningen. Ved benyttelse af ETICS, vil den oplagrede energi forøges, da lagringen foregår i materialerne [32].

T. Potrča et al. har benyttet softwaren Gabi 6.0, hvor metoden CML 2001 er anvendt. Studiet viser, at træfiberisoleringen er bedst ift. påvirkningskategorien *Global warming (GWP)*, da der i træet oplagres en del CO<sub>2</sub>. Derfor konkluderer T. Potrča et al., at træfiberisolering er med til at mindske den globale opvarmning set ift. de to andre isoleringsmaterialer. Herudover viser resultaterne, at mineraluld har de højeste påvirkninger i miljøkategorierne *Acidification potential (AP)* og *Eutrophication potential (EP)*. Til sammenligning vil miljøkategorierne AP og EP i CML 2001 metoden have indvirkning på påvirkningskategorien *Ecosystem quality* i IMPACT 2002+ metoden. Ud fra T. Potrča et al. vil træfiberisolering samlet set være at foretrække miljømæssigt [32].







3

Metode



## 3.1 Dataindsamling

Der er foretaget dataindsamling for Union Canning's udformning og mål, renoveringsscenarierne samt ISOVER RetroWall System, som benyttes undervejs i rapporten. I projektføreløbet har der været telefonisk kontakt til forskellige isolerings- og vinduesproducenter, for at tilpasse sig teknisk viden herfor. Herudover har der været en dialog med tidligere studerende, som har arbejdet med Union Canning, for at opnå en større forståelse for bygningen. Denne er foregået over mails, telefonsamtaler og interviews. I det følgende vil dataindsamlingen blive specificeret.

### 3.1.1 Bygningens udformning

Da de oprindelige tegningsmaterialer har været forældet og mangelfulde, er der til kortlægning af bygningens udformning og mål taget udgangspunkt i et tidligere bachelorprojekt omhandlende Union Canning fra 2016 [7]. Der er i forbindelse hermed blevet foretaget manuelle opmålinger af bygningen i Stavanger. Grundet disse målinger er baseret på en nyere bygningsregistrering, anses dette for at være de mest valide data på bygningens udformning, og det er derfor disse, som er benyttet i denne rapport.

Union Canning er beliggende på en bakkeskråning, hvorfor nogle af bygningens vægge er placeret mod jord. Det har været svært at identificere østfacadens udformning ud fra de eksisterende fotos taget i forbindelse med opmålingen af bygningen, hvorfor informationer herfor er fundet i bygningsregistrering fra det tidligere bachelorprojekt [7]. På baggrund af det indsamlede data, er bygningens form kortlagt.

I afsnit '4.1 Union Canning – nyt designforslag' ses opstalter, plan og snit af det nye designforslag, der er udgangspunktet for denne rapport. Målene her tager udgangspunkt i bygningsregistreringen fra 2016.

### 3.1.2 Renoveringsscenarierne

Opbygningen af den indvendige efterisolering af ydervæggene i scenarie 2 og 3, er foretaget med udgangspunkt i dataindsamling fra et tidligere diplomafgangsprojekt omhandlende skimmelanalyser af Union Canning fra 2016 og videre undersøgelser heraf fra 2017 [33] [34]. I rapporterne undersøges skimmelvækst ved forskellige opbygninger af indvendig efterisolering, specifikt for Union Canning. Her konkluderes det, at et ventileret hulrum, med en minimumshastighed på 1 m/s, mellem den eksisterende ydervæg og den indvendige efterisolering er nødvendig, for at undgå at der forekommer problemer i form af fugt og skimmel. Ventilationsformen var dog ikke specificeret i disse rapporter, hvorfor der i forbindelse med denne rapport er taget kontakt til en række specialister inden for området. Der er blandt andet taget kontakt til Søren Peter Bjarløv [35], Toke Rammer Nielsen [36] samt Svend Svendsen [37] fra DTU Byg. På baggrund af den tilegnet viden fra afsnittet '2. State of the art' samt samarbejdet med specialisterne, er der taget udgangspunkt i et helt nyt produkt, RetroWall System. Dette er en mekanisk løsning, som sikrer at lufthastigheden overholdes.

*Helen & Hard* har en vision om at forny sig som en bæredygtig tegnestue og har derfor haft et ønske om at undersøge et traditionelt isoleringsmateriale som mineraluld op imod et alternativt isoleringsmateriale som træfiberisolering.

### 3.1.3 ISOVER RetroWall System

Der er på opfordring af Svend Svendsen fra DTU Byg [37], som har været med til at udvikle RetroWall systemet, taget kontakt til Kristian Koldtoft fra Saint-Goabin, ISOVER. Kristian Koldtoft er projektleder for udviklingen af RetroWall systemet, og er derfor den person, som har størst kendskab til specifikationer på produktet. Dataindsamlingen for RetroWall systemet er derfor foregået i samarbejde med Kristian Koldtoft over telefonsamtaler og mailkorrespondancer. Produktet er stadigvæk under udvikling, hvor der foretages tests og er endnu ikke er kommet på markedet. Grundet patentrettigheder på produktet, så er alt indsamlet data herpå fortrolige og bør behandles derefter [28].

Der er foretaget flere pilotprojekter for RetroWall systemet, hvor det er blevet testet i både større og mindre lokaler. De data der ligger til grund for denne rapport tager udgangspunkt i et pilotprojekt i en lejlighed udført i december 2016, da det var det pilotprojekt Saint-Gobain havde data til rådighed for. Data vedrørende materialemængderne og mandetimerne for pilotprojektet er tilsendt over mails.

Herudover er de forventede priser og levetider for produktet oplyst [28]. Pilotprojektet er for en 10 m<sup>2</sup> væg, hvorfra mængderne er blevet omregnet til pr. m<sup>2</sup>, for at kunne bruge dataene i denne rapport.

Der vil undervejs i rapport blive gjort rede for, hvordan det indsamlede data er blevet brugt.

## 3.2 Energirammeberegninger – Be15

Det er valgt at illustrere varmebehovet i brugsfasen gennem energirammeberegninger. Formålet med energirammeberegningerne er at give et billede af Union Cannings energiforbrug til varme og el. Der er lavet tre bygningsprofiler, ét for hvert scenarie hvor forskellige tiltag undersøges. Be15 er bygget op af forskellige faner, hvori man indtaster de forskellige bygningsspecifikationer. I denne case er det valgt udelukkende at se på klimaskærmen, internt varmetilskud, ventilation og belysning.

Be15 benyttes til at beregne et overslag af bygningens energiforbrug, for at kunne anvende dette i LCA'en under brugsfasen. Derfor er det valgt at opbygge Be15 modellerne forsimplet, således det giver et billede af energibehovet i brugsfasen.

*Helen & Hard* ønsker at bygningen i fremtiden skal benytte et geotermisk anlæg til opvarmning. Det foregår normalt ved, at der pumpes varmt vand op fra 800-3.000 meters dybde gennem en produktionsboring, hvorefter varmen ekstraheres. Det afkølede vand pumpes derefter tilbage til lagene i undergrunden gennem en injektionsboring [38]. Et sådant anlæg kan enten fungere som en varmepumpe til forsyning af én enkelt bygning, eller som et centralt anlæg der forsyner et større område, hvilket fungerer som fjernvarme. Det kunne derfor tænkes, at Union Canning blev forsynet med et centralvarmeanlæg. I Be15 er det endnu ikke muligt at indtaste et geotermisk anlæg. Det er i Be15 beregningerne antaget at det centrale geotermisk anlæg kan sammenlignes med fjernvarme.

Der er valgt en forsimplet version af fjernvarmen, og der er derfor ikke set nærmere på

fjernvarmeveksler, da dette blot vil være et elforbrug som vil blive lagt oven i det samlede regnskab. En afgrænsning har været at se bort fra varmt brugsvand i udregningerne, da dette er et konstant bidrag, hvilket vil være til uanset hvilke ændringer der foretages.

En anden afgrænsning har været at se bort fra elbehovet til at fjerne overtemperatur i bygningen, da det antages at have en minimal indvirkning på det samlede elbehov.

### 3.2.1 Klimaskærm

Hele bygnings etageareal medregnes som værende opvarmet, grundet hele bygningen skal benyttes som kontor. Alle arealer indtastet i Be15 for etage-, væg-, vindues- og tagarealer er beregnet iht. DS 418 [39]. Transmissionskoefficienten (U-værdier) for klimaskærmen er udregnet iht. DS 418, hvor der er fundet specifikke varmeledningsevner ( $\lambda$  værdier). Beregningerne ses i bilag 02.

Kælderen regnes som alm. etageareal, da kun to af bygningens sider ligger under terræn. Opbygningen af tagkonstruktion er valgt på baggrund af de eksisterende forhold og på baggrund af anbefalingerne i BR15 [16].

Etagearealerne i denne rapport er regnet som nettoetagearealer, dette gælder også i Be15 beregningerne.

Da bygningen hovedsageligt består af tegl, ligger den i den tunge ende ift. varmekapacitet. Jævnfør Be15 brugervejledningen vil bygningens varmekapacitet ligge tættest på middel tung, dvs. 120 kWh/m<sup>2</sup>·K [40].

### Tagkonstruktion

Det originale tag er et uisoleret hanebåndstag. Da det antages, at taget er fra bygningens opførelse, er det valgt at totalrenovere taget til en U-værdi på 0,12 W/m<sup>2</sup>·K iht. BR15's anbefalinger til bygningsrenoveringer [41].

### Terrændæk

Det originale terrændæk består af stenskærver og betondæk med en linoleumsbelægning. Det antages, at terrændækket hidtil ikke er renoveret, hvorfor en efterisolering heraf er valgt.

### Vinduer

Der benyttes 3-lags vinduer fra Velfac (200 Energy) [42] på baggrund af en tidligere undersøgelse for hvorvidt 2- eller 3-lags vinduer egner sig bedst til Union Canning. Resultatet viste, at 3-lags vinduer er at foretrække i forhold til varmetransmittansen [43]. Der er valgt

nogle vinduesstørrelser forskellige fra de originale, således det overholder BR15 kravet for at sikre tilstrækkeligt dagslys, hvor glasarealet skal svare til mindst 10% af gulvarealet, forudsat at ruderne har en lystransmittans på mindst 0,75 [41]. I bilag 03 ses udregningerne for vinduernes orientering, størrelser samt glasandel, som er indtastet i Be15. I energirammebegiveningerne ses der bort fra solafskærmninger samt skygger, da det antages at disse er af mindre betydning [43].

I tabel 4 ses opbygning af klimaskærmen og de tilhørende U-værdier, hvor tagkonstruktion, vinduer og terrændækket er renoveret [44]. Beregningerne for U-værdierne kan ses i bilag 02. Denne renovering er gældende for alle scenarierne og her ses det at de kalkulerede U-værdier for disse tiltag også overholder TEK 17 kravene iht. transmissionskoefficienter.

	Opbygningen	Opbygningens U-værdi [W/m <sup>2</sup> ·K]	TEK 17 U-værdi krav [W/m <sup>2</sup> ·K]
<b>Tagkonstruktion</b>	Gipsplader (2 lag) Krydsfiner Klimamembran Hanebåndsspær Isolering Lægter Eternitplader	0,12	0,18
<b>Vinduer</b>	Velfac 2000 Energy med LT 0,75	0,84	1,2
<b>Terrændæk</b>	Bambusgulv Spånplader (undergulv) Trykfast isolering Klimamembran Beton Grus Stenskærver	0,10	0,18

Tabel 4 - Oversigt over opbygningen af klimaskærmen samt de tilhørende U-værdier efter renovering

## Ydervægge

Forskellen i de tre renoveringsscenarier ligger i ydervægsopbygningen, som kan ses i tabel 5 med tilhørende U-værdier. Beregningerne for U-værdierne kan ses i bilag 02. TEK 17 U-værdi krav for ydervægge ligger på 0,22 W/m<sup>2</sup>·K, men da bygningens vestfacade er bevaringsværdig er det ikke en nødvendighed at overholde kravene til transmissionskoefficienten [44].

Hvis kravet skal overholdes, kræves det at isoleringstykkelsen i ydervæggen øges.

I Be15 skelnes der mellem ydervægge mod jord og mod det fri. Som beskrevet tidligere

ligger nogle af ydervæggene for Union Canning under jord, hvilket betyder at de ydervægge som ligger over 2 meter under jord fra oversiden af det færdige gulv, ikke regnes med en dimensionerede udvendig temperatur på -12°C, men med jordtemperatur i dybere lag på 10°C [39].

## Linjetab

I Be15 er indtastet et linjetab på 0,12 W/m·K for fundamenter og 0,03 W/m·K for samling mellem ydervægge og vinduer, yderdøre, iht. DS 418 [39]. Dette er gjort på baggrund af kravene i BR15 kvikguide for 'Ombygning og andre forandringer' [16].

	Opbygningen	Opbygningens U-værdi [W/m <sup>2</sup> ·K]	TEK 17 U-værdi krav [W/m <sup>2</sup> ·K]
<b>Scenarie 1</b>	Teglsten Stenskærver Teglsten Puds	1,05	0,22
<b>Scenarie 2</b>	Krydsfinerplade Klimamembran Krydsfinerplade Mineraluldsisolering, Rockwool Ventileret hulrum <i>Eksisterende ydervæg (scenarie 1)</i>	0,38	0,22
<b>Scenarie 3</b>	Krydsfinerplade Klimamembran Krydsfinerplade Træfiberisolering, Gutex Ventileret hulrum <i>Eksisterende ydervæg (scenarie 1)</i>	0,41	0,22

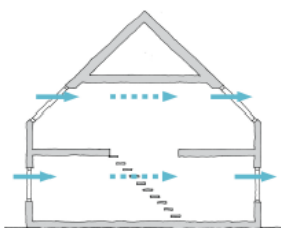
Tabel 5 - Oversigt over ydervægsopbygningerne for de tre renoveringsscenarier samt tilhørende U-værdier



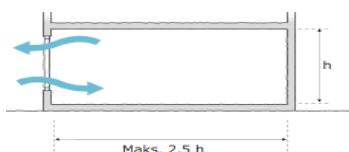
### 3.2.2 Ventilation

Naturlig ventilation er når luften tilføres og fjernes gennem vinduer, døre, udluftningsventiler, revner og sprækker. Det antages, at der kun benyttes naturlig ventilation i Union Canning og at dette er tilstrækkelig jf. BR15 [41].

Ved naturlig ventilation har bygningsudformning, åbningsform og placering af disse, en væsentlig indflydelse på virkemåden. Grundlæggende skelnes der mellem tre forskellige principper for naturlig ventilation; opdriftsventilation, ensidet ventilation og tværventilation. For denne bygningsudformning er der tale om en kombination af ensidet ventilation og tværventilation, som vises i figur 7 og 8, men som minimum vil tværventilation være til stede [45]. Tværventilation kan typisk etableres, når rumdybden er højest 5 gange rumhøjden, hvilket er tilfældet med Union Canning [46].



Figur 7 - Princip for tværventilation



Figur 8 - Princip for ensidet ventilation

For at sikre et acceptabel luftskifte gælder det for tværventilation, at det effektive åbningsareal svarer til 1,5% af etagearealet [46]. Det værste tilfælde er i stueetagen hvor det effektive vinduesareal svarer til 11,22 m<sup>2</sup>, hvor den øverste 0,5 m af vindueshøjden er oplukkelig, hvilket svarer til 14,92% af etagearealet. Da det effektive åbningsareal er større end de 1,5% af etagearealet, kan det proportionale luftskifte for

manuel styring regnes til  $\frac{14,92\%}{1,5\%} \cdot 0,9 \frac{1}{s} =$

$8,95 \frac{1}{s}$  pr. m<sup>2</sup>. Udregningen herfor er regnet ud fra etablering af hybridventilation [46]. Derfor er det tilstrækkeligt med naturligt ventilation i bygningen.

Iht. Be15 brugervejledning kan bygninger regnes som naturligt ventilerede, selv om der er mekanisk udsugning fra f.eks. toiletter, hvis den mekaniske udsugning ikke dominerer det samlede udeluftskifte [40].

Da bygningen skal transformeres til en kontorbygning, kommer den i fremtiden til at tilhøre anvendelsekategori 1 bestemt ud fra BR15, hvor den nødvendige udelufttilførsel for meget lavt forurenede bygninger skal være på 0,5 l/s pr. m<sup>2</sup> [45].

Naturlig ventilation har ikke et elforbrug direkte knyttet til lufttransport og derfor er SEL-værdien herfor 0 [45].

Der er valgt at ventilere hele bygningen med naturligt ventilation, frem for mekanisk ventilation. Dette er valgt på baggrund af *Helen & Hards* ønske om at bringe bygningen tilbage til sit oprindelige form. Hvis bygningen skulle ventileres mekanisk, vil loftshøjden formindskes. Derfor foretrækkes naturlig ventilation, som også giver en større frihed i forhold til brugerregulering, hvilket kunne betyde større tilfredshed ift. oplevelsen af indeklimaet.

### 3.2.3 Belysning

Da bygningen transformeres til et kontorbyggeri, skal BR15 kravet med mindst 300 lux i arbejdszoner med en DF-faktor på 2% i halvdel af rummet overholdes [41]. Styring antages at være automatisk, med en benyttelsesfaktor på 1, da etagerne anses for at være åbne kontorrum.

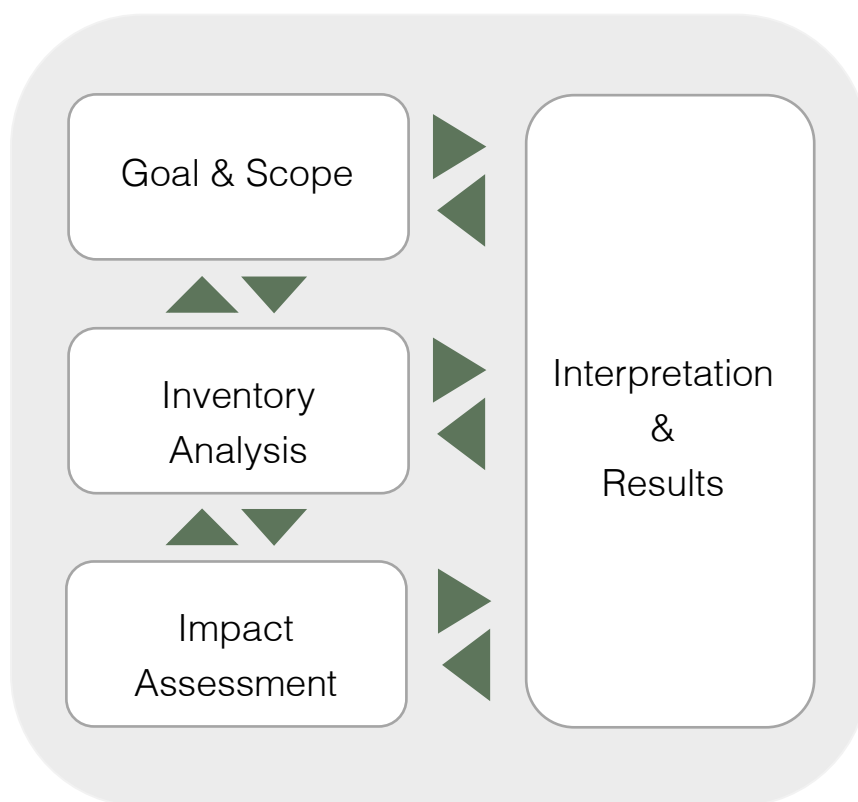
## 3.3 Livscyklusvurdering, LCA

En livscyklusvurdering (*Life Cycle Assessment*, LCA), er et værktøj, der benyttes i forbindelse med en bygnings miljømæssige bæredygtighed. LCA'en kan bruges til at undersøge en bygnings potentielle miljøpåvirkninger og dens ressourceforbrug. En LCA kan benyttes i en tidlig designfase til at vurdere det bedste designforslag set ud fra et miljømæssigt bæredygtighedsperspektiv. En livscyklusvurdering kan også foretages i forbindelse med et allerede opført byggeri, for at certificere bygningen inden for f.eks. DGNB [47]. I denne rapport vil LCA'en blive brugt til at vurdere det

mindst miljøbelastende renoveringsscenarie i forbindelse med bygningstransformationen af Union Canning.

I en LCA bliver de potentielle miljøpåvirkninger og ressourceforbrug gennem hele bygningens levetid, fra vugge til grav, beregnet [47]. Her indgår livscyklusfaser som råmaterialer, produktion, brug og vedligeholdelse, transport, nedrivning og bortskaffelse eller genanvendelse.

Figur 9 viser de fire faser, som indgår i en LCA og gennemgås i det følgende.



Figur 9 - De fire faser i en livscyklusvurdering, LCA

### 3.3.1 Fase 1: Goal & scope

*Goal & scope*, som på dansk kaldes for *Formål og afgrænsning*, er den første fase i en LCA.

Denne fase er essentiel at have fastlagt og veldefineret, når der under *Impact assessment* og *Interpretation & results* analyseres og fortolkes på miljøpåvirkningerne og resultaterne. Denne fase har derfor stor betydning for hele LCA'en [48]. I modsætning til de andre faser, som er meget tekniske, så er denne fase mere beskrivende og definerende, og der ligger en del diskussion til grund for at komme frem til denne [49].

Først defineres formålet (*goal*) med LCA'en og den tilhørende problemstilling. Ifølge ISO 14040 (afsnit 5.2.1.1) er det vigtigt at fastlægge hvad anvendelsen af vurderingen er, hvad baggrunden for vurderingen er, hvem målgruppen for vurderingen er, samt hvordan resultaterne af vurderingen tænkes anvendt. Det kan f.eks. være i en sammenligning mellem to eller flere produkter [50].

Når formålet for LCA'en er defineret, er det vigtigt at få fastlagt afgrænsningerne (*scope*). I en LCA omtales den eller de undersøgte produkter for produktsystemer. Det er essentielt at få afgrænset elementerne, der indgår i disse produktsystemer for at sikre en detaljeringsgrad, der passer til det givne formål. Afgrænsningerne i produktsystemerne, der sammenlignes, er vigtige, da der er mange processer, som kan have indflydelse på resultaterne.

Formålet og afgrænsningerne i en LCA er en iterativ proces, som undervejs i projektforløbet skal tilpasses nye data og drejninger [49] [50].

I en LCA vil det undersøgte produktsystem have en eller flere funktioner. Det kan være primære og sekundære funktioner. Når der sammenlignes flere produktsystemer, er det vigtigt, at de begge har defineret den samme funktion, da det ellers ikke vil være en sammenlignelig undersøgelse der foretages. En præcis og kvalitativ beskrivelse af funktionen er derfor essentielt [48].

Efter funktionen for produktsystemet er defineret, skal der defineres en tilhørende funktionel enhed (FU). En funktionel enhed kvantificerer produktsystemets funktion. Det er essentielt at denne er korrekt defineret og ens, hvis der sammenlignes flere produktsystemer, da den vil have en betydning for resultaterne til slut og hvordan disse analyseres. Til at bestemme den funktionelle enhed, kan knyttes nogle obligatoriske og positionerende egenskaber. De obligatoriske egenskaber er ofte tekniske og grundlæggende for produktsystemets egenskaber, hvor de positionerende egenskaber er egenskaber som er 'nice to have' og de kan være forskellige fra bruger til bruger af produktet [48].

Til den funktionelle enhed knyttes et referenceflow, som er de mængder af input og output, som er nødvendige for at opfylde produktsystemets funktion. Input er materialer, energi samt ressourcer, hvor output er produkter, affald samt emissioner [48]. Referenceflowet defineres som enhed/FU.

I denne rapport vil der blive sammenlignet tre produktsystemer, svarende til de tre ydervægs-scenarier.

### 3.3.2 Fase 2: Inventory Analysis

Når *Goal & scope* fasen er fastlagt, er næste skridt *Inventory analysis* (LCI) fasen, som på dansk kaldes *Kortlægning*. Denne fase omhandler opbygningen af et produktsystem, altså kortlægning af livscyklusfaserne, hvor referenceflowet for produktsystemet undersøges. Til opbyggelsen af produktsystemet kræves der adgang til store mængder data iht. de indgående referenceflows i livscyklusfaserne. *Inventory Analysis* er en kvantitativ beskrivelse af de indgående referenceflows i produktsystemet [49].

Der findes to metoder til at opstille en *Inventory Analysis*; en input-output (I/O) metode og en procesbaseret metode [49].

Input-output (I/O) metoden omhandler en undersøgelse af belastningen for et produkt eller tjeneste på baggrund af det monetære flow. Ud fra det økonomiske data findes en sammenhæng mellem den enkelte efterspørgsel og markedets totale efterspørgsel. Ud fra den samlede efterspørgsel på produktet, kan den totale belastning for produktet findes ved at

multiplisere efterspørgslen med emissionen for produktet [49].

Den procesbaserede metode omhandler det fysiske flow for et produktsystem i hver livscyklusfase. I denne metode tages der udgangspunkt i emissionerne for de enkelte delprocesser i LCA'en. Disse emissioner angives med en mængde ift. den funktionelle enhed. Ved opbygningen af produktsystemet, skal der tages forbehold for de definerede systemafgrænsninger og antagelser, der er taget undervejs, da dette kan have en stor betydning for det endelige resultat [49].

Den mest anvendte metode til at opstille *Inventory Analysis* er den procesbaserede metode, som også er den metode, der vil blive anvendt i denne rapport [49].

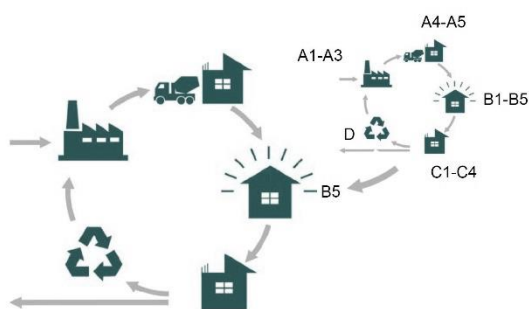
Til den procesbaserede metode inddrages der, ifølge de europæiske CEN/TC-350 standarder, forskellige procesmoduler som knytter sig de forskellige livscyklusfaser [13]. I tabel 6 ses procesmodulerne, som tilknyttes de forskellige livscyklusfaser, samt de procesmoduler, der er benyttet i denne rapport ved bygnings-transformationen af Union Canning

<i>Livscyklusfase</i>	<i>Procesmoduler iht. CEN/TC 350 (DS/EN 15978:2012)</i>	<i>Procesmoduler benyttet i denne rapport</i>
<b>Produktfase</b>	A1 Råmaterialeudvinding A2 Transport A3 Materiale fremstilling	<b>A1 Udvinding af råmaterialer til vægopbygningen</b> <b>A3 Materiale fremstilling</b>
<b>Konstruktionsfase</b>	A4 Transport A5 Konstruktionsopførelse	<b>A4 Transport til Union Canning</b>
<b>Brugsfase</b>	B1 Ibrugtagning B2 Vedligeholdelse B3 Reparation B4 Udskiftning <b>B5 Ombygning</b> B6 Energiforbrug B7 Vandforbrug	<b>B2 Vedligeholdelse af affugtere og krydsfiner</b> <b>B4 Udskiftning af affugterenheder</b> <b>B6 Energi til opvarmning + affugterenheder</b>
<b>Endt levetid</b>	C1 Konstruktionsnedrivning C2 Transport C3 Affaldsbehandling C4 Bortskaffelse	<b>C2 Transport fra Union Canning</b> <b>C4 Deponi og forbrænding af materialer</b>
<b>Næste produktsystem</b>	D Recycling	<b>D Genanvendelse og genbrug af materialer</b>

*Tabel 6 - Procesmoduler der indgår i livscyklusvurderingen*

Ifølge CEN/TC-350 standarderne, omhandlende LCA af bygninger, så foretages der ved en bygningstransformation (procesmodul B5) en ny vurdering af bygningen [13]. I denne rapport under afsnittet '4. Resultater' foretages der kun beregninger for en LCA af selve bygningstransformationen i form af nye scenarier for vægopbygninger for Union Canning.

Ved en bygningstransformation (procesmodul B5) tilføres der nye livscyklusfaser i form af nye procesmoduler til bygningens eksisterende livscyklus. Det er sådan denne LCA opbygges, og dette er vist i nedenstående figur 10 [51].



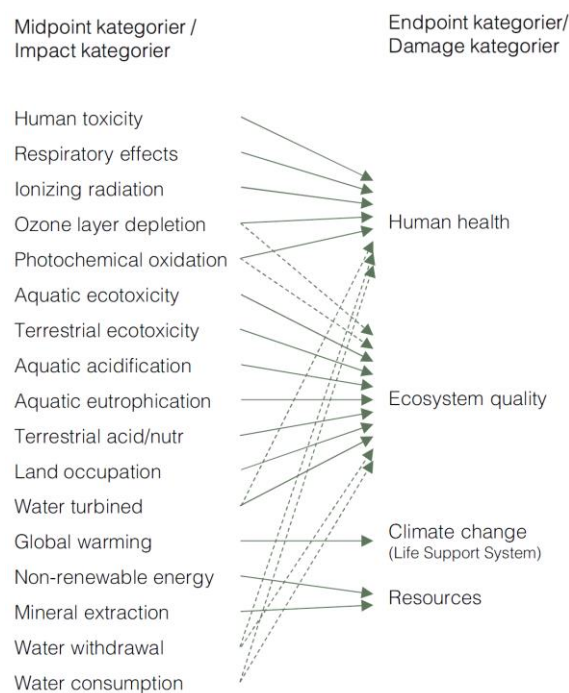
Figur 10 – Procesmodulernes livscyklus

### 3.3.3 Fase 3: Impact Assessment

Efter at have indsamlet den kvantitative data i *Inventory Analysis* (LCI) fasen, kan man begynde på den tredje fase i LCA'en, som er *Impact Assessment* (LCIA). I denne fase fortolkes mængderne og deres emissioner fra LCI fasen [49].

Ifølge ISO 14044 skal resultaterne fra LCI klassificeres i forskellige impact kategorier, også betegnet som midpoint kategorier. Hver midpoint kategori påvirker en eller flere endpoint kategorier [52].

I figur 11 ses hvilke midpoint kategorier fra LCI resultaterne der bidrager til de endelige endpoint kategorier.



Figur 11 - Midpoint og endpoint kategorier, som er inkluderet i IMPACT 2002+ vQ2.2 metoden [53]

Ved hver midpoint kategori foretages der en karakterisering af emissionerne, så de vægtes relativt til en tilhørende midpoint kategori. Eksempelvis vægtes emissionerne fra midpoint kategorien *Global warming* i forhold til CO<sub>2</sub>, hvilket betyder, at de ganges med en midpoint karakteriseringsfaktor så de bliver ækvivalente med CO<sub>2</sub>. For de emissioner der påvirker *Global warming* regnes der med en tidshorisont på 100 år eller 500 år, afhængig af hvilken LCIA metode der benyttes [49].

For at sammenligne de forskellige endpoint kategorier, så foretages der en normalisering heraf. Ved en normalisering udtrykkes en given påvirkning pr. FU relativt til den totale påvirkningskategori. Herefter sættes påvirkningen for det givet produktsystem op imod den samlede påvirkning set på enten globalt, kontinentalt eller lokalt plan [49].

Der findes flere forskellige LCIA metoder, som alle opfylder kravene fra ISO 14044, blandt andet IMPACT 2002+ (Schweiz), ReCiPe (Holland), ILCD (EU) og IMPACT World+ (Canada, USSA, Danmark, Frankrig, Schweiz) [48]. I denne rapport vil der blive benyttet metoden IMPACT 2002+ vQ2.2, da det er den metode der benyttes i QS2.0 [54].

De ændringer der er foretaget i metoden IMPACT 2002+ vQ2.2 er foretaget på baggrund af efterspørgsel blandt virksomheder og i industrien, hvorfor Quantis SUITE så nødvendigheden i at tilpasse deres program. Ændringerne er følgende [54]

1. For endpoint kategorien *Climate change* regnes der nu med en tidshorisont på IPCC 100 år i stedet for 500 år.
2. Der er tilføjet *Water withdrawal*, *Water consumption* og *Water turbined*. Det skal bemærkes at disse ikke er rigtige midpoint kategorier, men det er sådan de er opstillet indtil videre af Quantis SUITE, indtil bedre modeller bliver tilgængelige. I QS2.0 regnes *Water withdrawal* som en endpoint kategori.
3. Emissionerne fra flg. midpoint kategorier er nu tilført endpoint kategorien *Ecosystem quality*; *Aquatic acidification*, *Aquatic eutrophication* og *Water turbined*.
4. Normaliseringsfaktorerne er blevet opdateret.

Ved beregning af normaliseringen i IMPACT 2002+ vQ2.2 ses der på et kontinentalt plan for Europa. Ved en normalisering divideres påvirkning ved endpoint kategori med den tilhørende normaliseringsfaktor. Normaliseringsfaktoren findes ud fra den totale påvirkning ved endpoint kategorien divideret med den totale population i Europa, hvilket kaldes personækvivalenter (PE).

På baggrund af ovenstående, vil der i denne rapport under resultatbehandling af LCA'en for ydervæggene i forbindelse med bygnings-transformationen af Union Canning, blive benyttet følgende endpoint kategorier [54]:



## Human health

Endpoint kategori

Enheden: DALY, hvilket står for *Disability-Adjusted Life Years*.

DALY tager højde for år tabt pga. død eller lavere livskvalitet grundet sygdom. De tabte år regnes for hele Europas befolkning og ikke pr. person. En *Human health* score på 2 DALY's betyder at der er tabt 2 år fordelt over hele Europas befolkning.

Relevans: Ved miljøbelastninger og udledning af kemikalier kan der forekomme en øget toksikologisk effekt for mennesket, hvilket kan påvirke deres helbred.



## Ecosystem quality

Endpoint kategori

Enheden: PDF·m<sup>2</sup>·y, hvilket står for *Potentially Disappeared Fraction of species over a certain amount of m<sup>2</sup> during a certain amount of year*. Denne enhed tager højde for hvor stor en procentdel af plante- og dyrearter der pr. m<sup>2</sup> af hele jordens overflade går tabt pr. år.

Relevans: Ved miljøbelastninger og brug af materialer (f.eks. træ), kan der forekomme en øget toksicitet i jorden, og plante- og dyrearter kan gå tabt.



## Climate change

Endpoint kategori

Enheden: kg CO<sub>2</sub>-eq

Relevans: Udledning af CO<sub>2</sub>-eq i atmosfæren kan medføre temperaturstigninger, hvoraf klimaændringer forekommer.



## Ressources

Endpoint kategori

Enheden: MJ, Megajoule.

Måler den mængde energi der skal til for at udvinde de benyttede ressourcer.

Relevans: Ved brug af ikke fornybare ressourcer udtømmes jordens reserver, hvorfor det er vigtigt at tænke på hvilke ressourcer der benyttes.



## Water withdrawal

Endpoint kategori

Enheden: m<sup>3</sup>

Relevans: Vand er en udtømmelig ressource og her medregnes vandforbrug hvad end det er inddampet, brugt eller udledt igen.

### 3.3.3.1 Sammenligning af LCIA metoder

Der findes forskellige metoder til at udføre LCIA fasen i en LCA. I det følgende gennemgås hvilke forskelle der gør sig gældende for forskellige LCIA metoder ud fra en videnskabelig artikel af M. Owsianiak et al. Her udføres en case-study baseret sammenligning af tre LCIA metoder; IMPACT 2002+, ReciPe 2008 og ILCD 2009. Formålet er at undersøge sammenhængen mellem de tre metoder, og hvilke forskelle der gør sig gældende, med fokus på karakterisering ved midpoint kategorier. LCA'en er udført ved en sammenligning af fire vinduesdesign til boliger [55].

Resultaterne for LCA'en i M. Owsianiak et al. viser sig at være enige med tidligere studier om, at de forskellige LCIA metoder har konvergerende resultater. Det betyder, at placeringen af de forskellige påvirkninger i midpoint kategorierne for de tre LCIA metoder, er i overensstemmelse med hinanden [55].

For *Climate change* er påvirkningerne for ILCD 2009 og ReCiPe 2008 ens. Her er der en forskel på 28% til IMPACT 2002+, der har den laveste påvirkning. Denne forskel skyldes hovedsageligt, at der er en difference på 85% i dækningen af stofferne (substance coverage) og en difference på 15% i tilgangen til karakteriseringen. I IMPACT 2002+ er der regnet med en tidshorisont på 500 år, hvilket giver en lavere påvirkning af de udledte stoffer sammenlignet med en tidshorisont på 100 år, som benyttes i de andre metoder [55].

I M. Owsianiak et al. er der i IMPACT 2002+ metoden ikke benyttet den adapteret version af metoden, som der er i QS2.0. Derfor bliver der i artiklen regnet med en tidshorisont på 500 år frem for 100 år. I QS2.0 vil der derfor forekomme en mindre forskel i rangordenen af påvirkningerne for de forskellige metoder [55].

Generelt set skyldes forskellene i de forskellige LCIA metoder enten:

- Forskellige karakteriseringer, f.eks. tidshorisonter.
- Forskelle i dækning af stoffer, f.eks. er nitrogenoxid den største påvirkning i *photochemical ozone formation* for ILCD 2009, mens den største påvirkning for IMPACT 2002+ er non-methan.
- Fejl ved implementering af karakteriseringsfaktorer i de forskellige modelleringssoftware.

For LCA'er der er sammenlignelige med den i M. Owsianiak et al., hvor der sammenlignes vinduestyper, og hvor energiforbruget i brugsfasen er høj, så forventes de forskellige LCIA metoder, at rangorden påvirkningerne ens [55].

Da denne rapport omhandler en sammenligning af tre forskellige produktsystemer af ydervægsscenarier, hvor energiforbruget også spiller en stor rolle, så forventes det, at de tre undersøgte LCIA metoder i M. Owsianiak et al. vil rangordne påvirkningerne i denne rapport ens som i den pågældende case-study. Man kan derfor godt benytte IMPACT 2002+ vQ2.2 i denne LCA uden forbehold for rangordenen.

De største forskelle i de tre metoder findes i *toxic impacts*, *ionizing relation*, *land use* og *mineral/metal depletion*, hvor IMPACT 2002+ metoden ligger markant lavere end ILCD 2009 og ReCiPe 2008 for *ionizing relation* og *land use*, og højest for *Human toxicity* og *metal depletion*. Når resultaterne i en LCA analyseres er det vigtigt at forholde sig til hvordan karakteriseringer og normaliseringer er implementeret og hvilke konsekvenser det kan have for resultaterne [55].

En anden faktor man skal være opmærksom på når der benyttes IMPACT 2002+ vQ2.2 er, at



*Climate change* behandles som en endpoint kategori med *global warming* som den tilhørende midpoint kategori. I LCIA metoden ReCiPe 2008 behandles *Climate change* som en midpoint-kategori, hvorved de emissioner der bidrager til *global warming* påvirker endpoint kategorier som *Human health* og *Ecosystem quality*. Da emissionerne der bidrager til *global warming* rent faktisk har en indflydelse på *Human health* og *Ecosystem quality*, er måden hvorpå IMPACT 2002+ vQ2.2 behandler resultaterne ikke helt retvisende i forhold til dette. Det er vigtigt at have dette in mente når denne metode benyttes og resultaterne analyseres.

### 3.3.4 Fase 4: Interpretation & results

Den sidste fase i LCA'en er *Interpretation & results*, hvilket er en fortolkning af resultaterne. I denne fase bliver alle resultater fra de foregående tre faser undersøgt og fortolket. På baggrund af disse undersøgelser og fortolkningerne, dannes konklusioner og anbefalinger og

eventuelle fejlkilder og følsomhedsanalyser klarlægges [49].

Da *Interpretation & results* fasen indeholder mange overvejelser, kan man følge følgende fire retningslinjer til at lave grundige overvejelser [49].

1. I livscyklusvurdering skal alle faser gennemgås systematisk, således alle fejlkilder og begrænsninger findes.
2. Resultaterne fundet i de forskellige stadier i livscyklusvurderingen skal analyseres og sammenlignes med hinanden, så den mest belastende fase findes.
3. Resultaterne fra hvert element bør analyseres og sammenlignes med hinanden, med henblik på at finde det mest belastende element.
4. Der bør til sidst undersøges, hvilke elementer der påvirker mest inden for hver endpoint kategori.

## 3.4 Software

Til litteratursøgning er DTU Findit og de yderligere søgedatabaser der er adgang til fra DTU, såsom Science Direct, Web of Science og Scopus benyttet. Disse databaser er benyttet til at foretage specifikke søgninger af videnskabelige artikler og fagbøger.

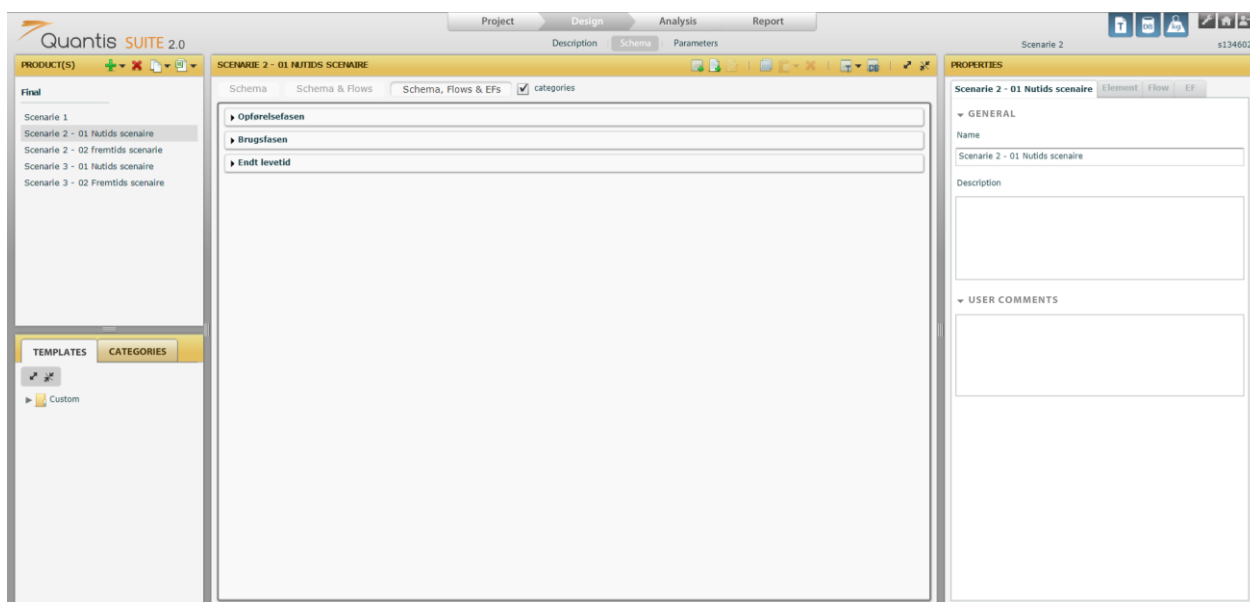
Vidensdelingen er foregået gennem Google Docs og DropBox, hvor Microsoft Word er benyttet til tekstbehandling af den færdige rapport. Til referencehåndtering er Mendeley benyttet gennem et plugin til Microsoft Word. Microsoft Excel er blevet benyttet til datahåndtering samt udregninger.

3D modellen samt tegningsmaterialet er fremstillet i Autodesk programmerne Revit og AutoCAD. Ydermere er Adobe Photoshop og InDesign benyttet til billedredigering.

Til energirammeberegningerne er SBI's simuleringsprogram Be15 benyttet.

Til at omsætte produktsystemerne til miljøpåvirkninger, er det valgt at benytte Quantis SUITE 2.0, fremover refereret til som QS2.0. Dette online tilgængelige program benytter Ecoinvent v2.2 databasen, og bygger på Impact 2002+ vQ2.2 metoden, som er tilpasset af Quantis SUITE. Figur 12 viser LCA'ens elementopbygning i QS2.0.

Programmet QS2.0 er blevet benyttet til at foretage LCA'en, da der i forvejen var stiftet kendskab til dette i forbindelse med DTU-kurset *11968 Optimering, ressourcer og miljø, F16*. Resultaterne fra QS2.0 er senere eksporteret i Excel, hvorfra tabeller og grafer, er opstillet.



Figur 12 – LCA'ernes elementopbygning i QS2.0



4

# Resultater



## 4.1 Union Canning – nyt designforslag

*Helen & Hards* vision med bygningen er at føre den tilbage til dens oprindelig udtryk, men da bygningen samtidig skal transformeres fra en hermetikfabrik til en kontorbygning, er der nogle forbehold der nødvendige at tage for at skabe et godt kontormiljø.

For at imødekomme dette ønske, er de oprindelige vindueshuller, som kan ses på figur 3, ført tilbage. Oprindeligt har der siddet

støbejernsvinduer med sprosser i facaderne, i stil med gammeldags staldvinduer. I denne rapport er det et designvalg at isætte nogle nye moderne vinduer uden sprosser og runding i toppen. De specifikke vinduesstørrelser kan ses i bilag 03.

Nedenstående figurer 13-16 viser opstalter af Union Cannings facader efter transformationen.



Figur 13 - Opstalt af Union Canning, øst



Figur 14 - Opstalt af Union Canning, nord



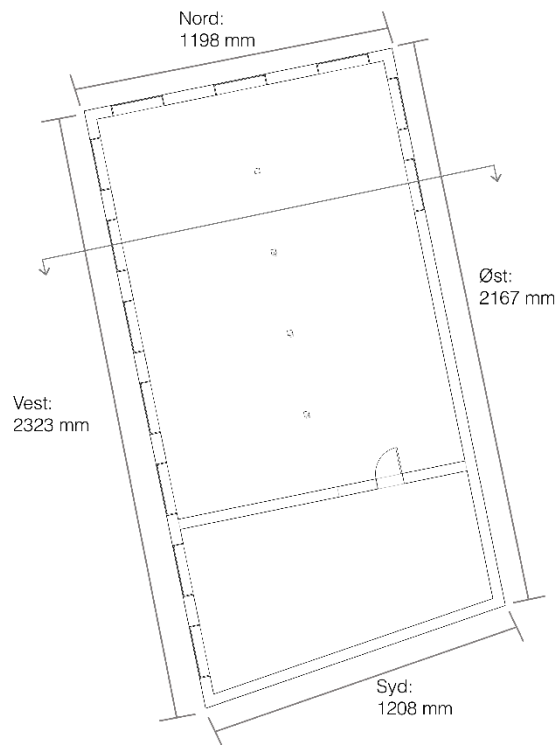
Figur 15 - Opstalt af Union Canning, vest



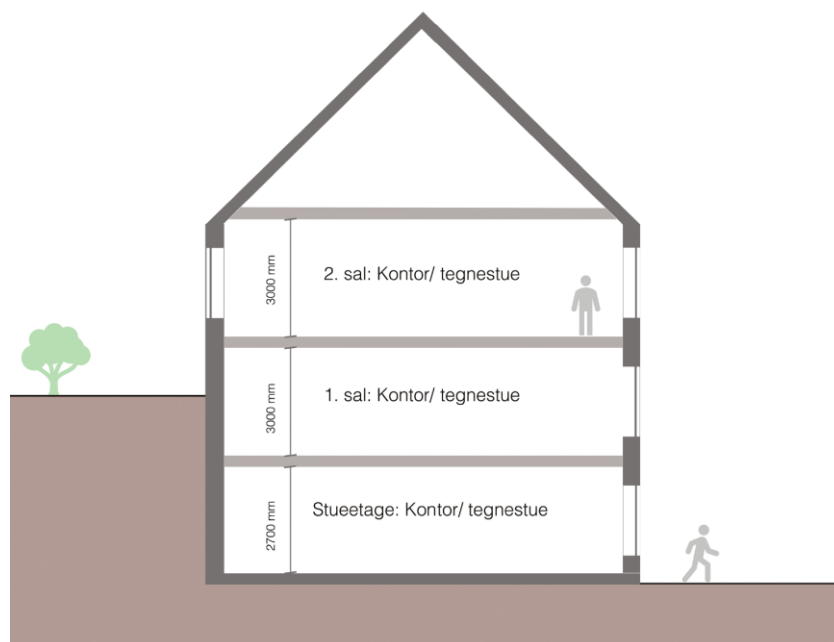
Figur 16 - Opstalt af Union Canning, syd

De overordnede mål af bygningen kan ses på nedenstående plantegning og snit i figur 17 og 18. Der er målt en tykkelse af ydervæggen på 410 mm og der er regnet med en indvendig

etagehøjde på 3.000 mm fra bygningsregistreringen i 2016. Beregning af bygningens arealer, som er benyttet gennem rapporten, kan ses i bilag 04.



Figur 17 - Plantegning af Union Canning



Figur 18 - Snittegning af Union Canning

### 4.1.1 Alle scenarier

Som tidligere nævnt foretages der en renovering af taget, fundamentet samt vinduerne, der vil være gældende for alle tre scenarier.

Opbygningen af de tre renoveringsscenarier af ydervæggen vil gennemgås i det følgende.

### 4.1.2 Scenarie 1

Ydervæggen i scenarie 1 er den oprindelige ydervæg med en tykkelse på 410 mm. U-værdien af ydervæggen er beregnet til 1,05 W/m<sup>2</sup>·K (se bilag 02).

Opbygningen ses i figur 19.

### 4.1.3 Scenarie 2

Ydervæggen i scenarie 2 er den oprindelige ydervæg, hvor der er foretaget en indvendig efterisolering med RetroWall systemet. Her er den samlede vægtykkelse 510 mm. Isoleringsmaterialet er her mineraluld fra Rockwool.

U-værdien af ydervæggen er beregnet til 0,38 W/m<sup>2</sup>·K (se bilag 02).

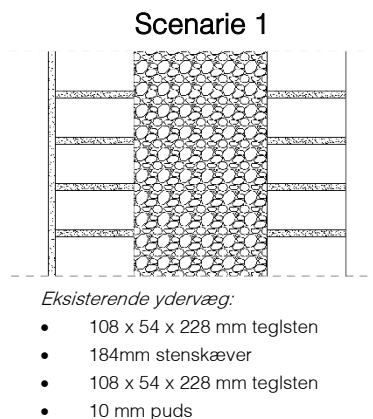
Opbygningen ses i figur 20.

### 4.1.4 Scenarie 3

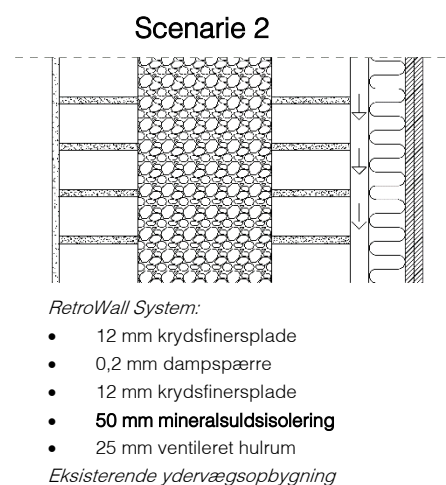
Ydervæggen i scenarie 3 er den oprindelige ydervæg, hvor der er foretaget en indvendig efterisolering med RetroWall systemet. Her er den samlede vægtykkelse 510 mm. Isoleringsmaterialet er her træfiber fra GUTEX.

U-værdien af ydervæggen er beregnet til 0,41 W/m<sup>2</sup>·K (se bilag 02).

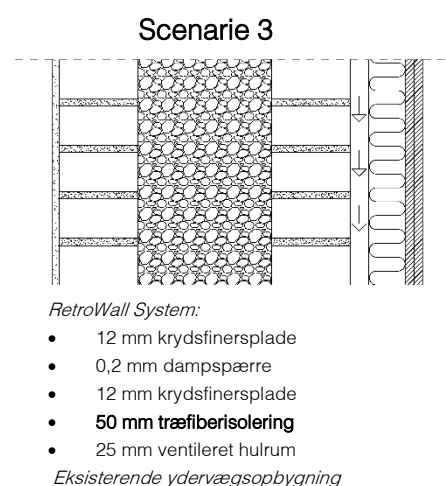
Opbygningen ses i figur 21.



Figur 19 - Opbygning af scenarie 1



Figur 20 - Opbygning af scenarie 2



Figur 21 - Opbygning af scenarie 3



## 4.1.5 Energirammeberegninger

Resultaterne fra energirammeberegningen for de tre scenarier er energiforbruget til opvarmning af bygningen i kWh/m<sup>2</sup> pr. år og kan ses i tabel 7.

Energiramme [kWh/m <sup>2</sup> pr. år]	
Scenarie 1	136
Scenarie 2	100,5
Scenarie 3	101,3

Tabel 7 - Energirammeberegninger for de tre scenarier

Da bygningen ligger i Norge, skal den overholde de norske energirammekrav. Det gældende norske bygningsreglement kaldes *Byggeteknisk forskrift* (TEK17), hvor kravet til energirammen for en kontorbygning er 115

kWh/m<sup>2</sup> pr. år [44]. Der er antaget at de samme forhold for fredede og bevaringsværdige bygninger, som er gældende i Danmark, hvorfor kravet for energirammen ved transformationen ikke behøver at blive overholdt. Det ses til gengæld at kravet for energirammen overholdes i scenarie 2 og 3, hvilket er en indikator for et godt indeklima.

Som nævnt i afsnittet '3.2.1 Klimaskærm' er der regnet med nettoetagearealer i energirammeberegningerne, hvor der normalt regnes med opvarmet etageareal (bruttoetageareal) iflg. Be15 brugervejledningen [40]. Betydningen og forklaringen heraf vil blive gennemgået i afsnit '5.1.1 Validitet af LCA resultaterne'. I det følgende vil nettoetageareal blive omtalt som etageareal.

Model- og resultatrapporter fra Be15 for de tre scenarier kan ses i bilag 05.

## 4.2 Goal & scope

Formålet med denne LCA er, at undersøge de forskellige miljøbelastninger der forekommer ved de tre forskellige reoveringsscenerier af ydervæggene på Union Canning. Herefter kan der foretages en anbefaling for det mest bæredygtige reoveringsscenarie på baggrund af de fundne miljøbelastninger. For at foretage denne anbefaling, skal der indtastes mængder og energiforbrug, som svarer til produktsystemernes referenceflow, og defineres pr. FU. Dette vil blive gennemgået i næste afsnit under *Inventory Analysis* (LCI). Målgruppen for denne LCA er bygherren for Union Canning, som er tegnestuen *Helen & Hard*. Bygherre kan benytte resultaterne til at foretage en helhedsorienteret vurdering til reoveringen af Union Canning. LCA'en der foretages for reoveringsscenarierne af ydervæggene på Union Canning er en sammenligning mellem tre forskellige produktsystemer, hvor reoveringsscenarie 1 vil fungere som et reference-scenarie.

Den funktionelle enhed i denne LCA er pr. m<sup>2</sup> etageareal for hele bygningens levetid på 50 år. Da der i brugsfasen indgår energibehovet for bygningen pr. m<sup>2</sup> etageareal, skal referenceflowet pr. m<sup>2</sup> vægareal omregnes til pr. m<sup>2</sup> etageareal, så disse to enheder gøres sammenlignelige. Dette gøres ved at udregne en væg/gulv ratio, som vil blive uddybet i det følgende afsnit '4.3 Inventory Analysis'.

De obligatoriske egenskaber for de tre reoveringsscenerier er, at et evt. tiltag af ydervæggene skal foretages på bygningens indvendig side, da vestfacaden er bevaringsværdig. Ydermere skal anbefalinger fra Bygningsreglementet samt standarder i forhold til reoveringer tages i betragtning. Slutteligt skal

reparationer og vedligeholdelse af produktsystemerne være muligt.

De positionerende egenskaber for de tre reoveringsscenerier er, at den indvendige side af ydervæggen skal have et æstetisk udtryk, som passer til bygningens oprindelige form der afspejler *Helen & Hards* visioner for bygningen.

### *Afgrænsninger*

Til opbygning af de forskellige livscyklusvurderinger er der foretaget afgrænsninger ift. gennemgående elementer, usikkerheder samt elementer med mindre betydning for resultaterne. Dette er gjort for at opnå en detaljeringsgrad der er passer til formålet.

Da tiltagene omhandlende terrændæk, tagkonstruktion samt vinduer er ens, kan disse undlades i LCA'erne.

Da Union Canning er en ældre bygning, som har tjent mange forskellige formål, antages det at en grundig rengøring samt behandling mod svampe, vil være nødvendig for de eksisterende ydervægge. Dette vil gøre sig gældende for alle reoveringsscenerier, hvorfor der ses bort fra dette i LCA'erne.

I denne LCA er det kun et udpluk af procesmodulerne som er inkluderet i livscyklusfaserne. Denne afgrænsning er foretaget, da nogle af procesmodulerne har en minimal betydning for det samlede resultat. Der er blandt andet ikke taget højde for den energi, der benyttes til at opføre vægsystemet, hvilket svarer til procesmodul *A5 Konstruktionsopførelse* i opførelsesfasen. Ligeledes ses der bort fra energien, der benyttes til nedrivning af vægsystemet i procesmodul *C1 Konstruktionsnedrivning* i livscyklusfase endt levetid. Herudover ses der bort

*B3 Reperation* i brugsfasen, da dette procesmodul ikke er relevant for netop denne LCA, fordi det antages ikke at være en nødvendighed at reparere på systemet i dets levetid. Ydermere vil reparationsbehovet være afhængig af en lang række faktorer, såsom brugeradfærd og klimaforhold, og vil derfor være forbundet med stor usikkerhed, som også ligger til grund for afgrænsningen.

Der er valgt at se bort fra emballage for de forskellige materialer i produktsystemet, da disse ikke er inkluderet for alle materialer i QS2.0. Det vil derfor være nødvendigt selv at opbygge et element for emballagen for de forskellige materialer, hvilket vil skabe en høj usikkerhed. Der er derfor valgt at se bort fra emballagen i de inkluderet procesmoduler.

## 4.3 Inventory Analysis

I det forrige afsnit 'Goal & scope' blev formål og afgrænsninger defineret. På baggrund heraf er det nu muligt at gå videre til den anden fase i LCA'en, *Inventory analysis*, hvor referenceflowene for produktsystemerne i renoveringsscenarie 1, 2 og 3 vil blive gennemgået. I det følgende vil renoveringsscenarierne blive refereret til som scenarie 1, 2 og 3.

### *Væg/gulv ratio*

Den funktionelle enhed i denne LCA er pr. m<sup>2</sup> etageareal for 50 år. Da der i scenarie 2 og 3 opsættes et RetroWall system indvendigt, vil vægtykkelsen være tykkere end scenarie 1 og dermed vil etagearealet for scenarie 2 og 3 også være mindre end scenarie 1. Forskellen i det samlede etageareal er på 19,40 m<sup>2</sup>, svarende til 2,7% for hele Union Canning (se bilag 04). Det er der valgt at tage højde for i LCA'en, da det vil have en indflydelse i energirammeberegningerne, væg/gulv ratioen og resultaterne.

I de nedenstående afsnit '4.3.2 Scenarie 2 og 3' vil materialemængderne for scenarie 2 og 3 pr. FU blive gennemgået. Udregningerne af materialemængderne blev først udregnet pr. m<sup>2</sup> vægareal. For at omregne denne enhed til den funktionelle enhed pr. m<sup>2</sup> etageareal, er der udregnet en væg/gulv ratio. Ved at anvende væg/gulv ratioen er materiale- og energimængderne blevet sammenlignelige.

Ved udregning af væg/gulv ratioen, er det indvendige vægareal (ekskl. vinduer) holdt op imod etagearealet for scenarie 2 og 3. Nedenstående tabel 8 viser sammenhængen heraf og den udregnede væg/gulv ratio:

Scenarie 2 og 3	
Indvendigt vægareal [m <sup>2</sup> ]	414,08
Etageareal [m <sup>2</sup> ]	704,87
Væg/gulv ratio	0,59

Tabel 8 - Udregning af væg/gulv ratio (se bilag 04)

Væg/gulv ratioen tager herved højde for andelen af det indvendige vægareal ift. andelen af etagearealet i den funktionelle enhed.

### 4.3.1 Scenarie 1

Da scenarie 1 fungerer som et referencescenarie, er det kun energiforbruget til at opfylde bygningens samlede energibehov, der er indtastet i QS2.0. Energibehovet i brugsfasen for scenarie 1 er 136 kWh/m<sup>2</sup> etageareal pr. år, hvilket svarer til 6.800 kWh/m<sup>2</sup> etageareal for 50 år, som er det, der er indtastet i QS2.0.

### 4.3.2 Scenarie 2 og 3

Differencen mellem energiforbruget til opvarmning af bygningen i brugsfasen for scenarie 2 og 3 er minimal. Scenarie 2 har et energibehov på 100,5 kWh/m<sup>2</sup> etageareal pr. år, hvilket svarer til 5.065 kWh/m<sup>2</sup> etageareal for 50 år. Scenarie 3 har en anelse højere energiramme på 101,3 kWh/m<sup>2</sup> hvilket svarer til 5.065 kWh/m<sup>2</sup> etageareal for 50 år. Energiforbruget til affugterenhederne er ens for scenarie 2 og 3 og er på 195,41 kWh/m<sup>2</sup> etageareal for 50 år. Alle energimængderne i brugsfasen er i QS2.0 indtastet for 50 år.

I det følgende vil de antagelser, der gør sig gældende for de referenceflows tilhørende scenarie 2 og 3 blive gennemgået. Ydermere vil mandetimer, transportafstande samt to forskellige bortskaffelsesscenarier gennemgås. Det er valgt at gennemgå scenarie 2 og 3 parallelt med hinanden, da de minder relativt meget om hinanden. Undervejs vil der blive gennemgået de forskelle der forekommer for produktsystemerne for scenarie 2 og 3, hvor der til sidst vil blive opsummeret med de tilhørende referenceflows i to inventory skemaer.

#### 4.3.2.1 ISOVER RetroWall System

Da RetroWall systemet endnu ikke er på markedet, er de oplysninger, som ligger til grund for beregningerne i denne LCA, antaget på baggrund af dataindsamlingen i samarbejde med Kristian Koldtoft fra Saint-Gobain Denmark A/S, ISOVER, som beskrevet under afsnittet '3.1.3 ISOVER RetroWall System' [28].

Referenceflowet for produktsystemerne i scenarie 2 og 3 er regnet på baggrund af oplyst data for et pilotprojekt i en lejlighed på Thomas Laubs Gade 9, København Ø. I pilotprojektet er der angivet de forskellige mængder på de forskellige dele, der indgår i RetroWall systemet, samt antal mandetimer til at opføre systemet i lejligheden.

I pilotprojektet er systemet opsat på en 10 m<sup>2</sup> væg, hvoraf 3,3 m<sup>2</sup> udgør vinduesarealer og 6,7 m<sup>2</sup> udgør vægareale. Det er oplyst af Kristian Koldtoft, at 1 affugterenhed kan dække et vægareal på 12-15 m<sup>2</sup> [28]. Der er i dette projekt valgt en gennemsnitsværdi på baggrund heraf, så 1 affugterenhed dækker et vægareal på 13,5 m<sup>2</sup>. Det indvendige samlede vægareal for Union Canning er på 414,08 m<sup>2</sup>, hvilket resulterer i, at der skal bruges 31 affugterenheder for hele bygningen ved opførelsen af RetroWall systemet. Udregningen kan ses i bilag 06.

Ventilatorerne i affugterenhederne har en driftstid på 7 timer om dagen, og en samlet levetid på 40.000 driftstimer, hvilket svarer til en levetid på 15,66 år [28]. Med udgangspunkt i en levetid på 50 år for Union Canning efter bygningstransformationen, skal der bruges 4 affugterenheder pr. vægenhed med et vægareal på 13,5 m<sup>2</sup>, hvoraf 3 af dem skal udskiftes i løbet af brugsfasen. Udregningen kan ses i bilag 06.

Det er oplyst, at 1 affugterenhed har en effekt på 35 W [28]. Dette svarer til et energiforbrug på 3,91 kWh/m<sup>2</sup> etageareal pr. år og 195,41 kWh/m<sup>2</sup> etageareal for 50 år. Udregningen kan ses i bilag 06.

I tabel 9 opsummeres de beskrevne data for affugterenhederne i RetroWall systemet.

### Scenarie 2 og 3

Vægareal pr. affugterenhed	13,5 m <sup>2</sup>
Samlet indvendigt vægareal, Union Canning	414,08 m <sup>2</sup>
Antal affugterenheder ved opførelsen	31 stk.
Antal affugterenheder i levetiden	4 stk.
Antal udskiftninger af affugterenheder pr. enhed	3 stk.
Effekt pr. affugterenhed	35 W
Effekt pr.m <sup>2</sup> etageareal pr. år	3,91 kWh
Effekt pr. m <sup>2</sup> etageareal for 50 år (FU)	195,41 kWh

Tabel 9 - Teknisk data på ISOVER RetroWall System (se bilag 06)

Udover udskiftning af affugterenhederne skal der hvert år udskiftes to filtre, som er monteret ved ventilatorerne, for at vedligeholde RetroWall systemet [28].

Yderligere er der en vedligeholdelse af krydsfinerplader, der hver 10. år skal have en ny oliebehandling med 1 lag, hvilket svarer til 4 gange i løbet af brugsfasen.

Det er kun de ovenstående nævnte elementer i produktsystemerne, som skal vedligeholdes og udskiftes i løbet af brugsfasen, hvor de resterende dele holder hele bygningens levetid på 50 år og behøver ikke vedligeholdelse undervejs.

RetroWall systemet vil i det følgende behandles i fem kategorier; en isoleringsdel, Gyproc skinnævægssystem, vægbeklædning, kanalsystem og affugterenhed, som det fremgår af tabel 10.

I det følgende vil alle indgående elementer i produktsystemerne for scenarie 2 og 3 blive gennemgået mht. antagelser omkring materialer og indtastninger i QS2.0.

### Elementer i RetroWall systemet

Isolering	Scenarie 2, Mineraluldsisolering Scenarie 3, Træfiberisolering <b>Plastik</b> , IsoPigg
Gyproc skinnævægssystem	<b>Stål</b> , Kanaler, profiler <b>Stål</b> , skruer <b>Plastik</b> , Rawplugs
Vægbeklædning	<b>Træ</b> , Krydsfinerplader, 2 stk. <b>Plastik</b> , Klimamembran, Vario X-tra <b>Olie</b> , Oliebehandling med hvid pigment
Kanalsystem	<b>Stål</b> , kanaler <b>Stål</b> , samlemuffer, T-stykke og endebunde
Affugterenhed	<b>Stål</b> , Stålskellet <b>Ventilator</b> , Ventilator, plast, 2 stk. pr. enhed <b>Glasfiber</b> , Filter til affugter, 2 stk. pr. enhed

Tabel 10 – Oversigt over elementerne der indgår i RetroWall systemet for scenarie 2 og 3

#### 4.3.2.2 Materialeantagelser i QS2.0

De materialeantagelser der er foretaget i *inventory analysis* for scenarie 2 og 3 vil blive refereret til med flg. forkortelser. Antagelserne kan ses i bilag 07 og vil senere blive vurderet i en følsomhedsanalyse.

*Forkortelser for antagelser:*

A = antagelse

I = Inventory

S = stål

T = træ

A = affugterenhed

E = energi

S = stål

P = plastik

GF = glasfibre

RW = rockwool

GU = gutex

#### Isolering

Til fastgørelse af isoleringsbattene benyttes der IsoPigg til RetoWall systemet. Det har ikke været muligt at finde specifik information omkring hvilket materiale produktet består af. Det er derfor antaget, at materialet til IsoPigg består af HDPE (hård polyethylen), og derfor er dette antaget i QS2.0 (A\_I\_I\_1).

I de følgende to afsnit beskrives mineraluldsisolering og træfiberisolering, for hhv. scenarie 2 og 3.

- *Scenarie 2 – mineraluldsisolering*

For Rockwools mineraluldsisolering er mængden til indtastning i QS2.0 beregnet ud fra en densitet på 60 kg/m<sup>3</sup> (A\_I\_RW\_1). I QS2.0 er der valgt en mineraluldsisolering fra Rockwool, hvor opbygning er inklusiv en mekanisk pakning af materialet.

- *Scenarie 3 – træfiberisolering*

For træfiberisoleringen er der taget udgangspunkt i produktet Thermoroom fra Gutex, som består af 96% træfiber og 4% Polyurethane resin binder [20].

Det har ikke været muligt at finde et specifikt produkt i QS2.0 som er sammenligneligt med træfiberisolering. Ud fra denne begrænsning, er der i QS2.0 oprettet et nyt element for opbygningen af træfiberisolering. Der er valgt skandinavisk barck chips for de 96% træfibre, da det antages at være sammenligneligt med træfibre (A\_I\_GU\_1). Volumenet er beregnet ud fra Thermorooms densitet på 130 kg/m<sup>3</sup> [20]. De 4% resin binder er indtastet som polyurethane i formen flexible foam (A\_I\_GU\_1).

#### Gyproc skinnevægssystem

I Gyprocs EDP gældende fra 2017 til 2022, er stålprofilerne fremstillet af galvaniseret stål med et zinklag [56]. I QS2.0 findes der ikke et stålmateriale hvor et zinklag er inkluderet. Ud fra denne begrænsning er det valgt at opbygge Gyprocs skinnevægssystem som to separate materialemængder; stål og zinklag.

Stålet er valgt af kvaliteten low-alloyed (RER) (A\_I\_S\_1). Mængden af zinklaget [m<sup>2</sup>] er fundet på baggrund af en gennemsnitlig tykkelse på 0,63 mm for alle stålprofilerne og stålets massefylde. Mængden af zinklag [m<sup>2</sup>] er indtastet i QS2.0 som en tykkelse på 130 um (A\_I\_S\_2).

I skinnevægssystemet indgår også rawplugs, hvilket typisk består af nylon, som er det materiale der er indtastet i QS2.0 [57].

## Vægbeklædning

For krydsfinerpladerne til vægbeklædningen er der i QS2.0 valgt ubehandlet krydsfiner til indendørs brug (A\_I\_T\_1). Mængden herfor er angivet i m<sup>3</sup> som er fundet ud fra en pladestørrelse på 2440 x 1220 x 12mm med en vægt på 15kg [58]. Den hvidpigmenterede oliebehandling er valgt som organic solvent (A\_I\_T\_2).

Klimamembranen Vario X-tra består af Coextruderet polyamid (PA) forstærket af polypropylen [59]. Der er i QS2.0 indtastet polyamid, som materiale for klimamembranen.

## Kanalsystem

For det specialfremstillede kanalsystem gælder samme antagelser omkring ståltype og galvanisering som for Gyproc skinnevægssystem.

## Affugterenhed

Affugterenheden består af et stålskelet, to ventilatorer og to filtre hertil. Ventilatorerne er i QS2.0 angivet som en PSU ventilator, der typisk kan findes i en bærbar PC (A\_I\_A\_1). Denne er antaget at være sammenlignelig med ventilatorerne i affugterenheden. For stålskeletet gælder samme antagelser for ståltypen og galvanisering som for Gyproc skinnevægssystem. I QS2.0 er filtrene i affugterenheden indtastet som glasfiber (A\_I\_A\_2).

## 4.3.2.3 Spildprocenter for materialer

Når der indtastes materialemængder i QS2.0, er det vigtigt også at tage højde for de spildprocenter der er for de forskellige materialer - både i opførelsesfasen, brugsfasen og ved endt levetid. I nedenstående tabel 11 ses de medregnede spildprocenter for de forskellige materialer. Spildprocenterne er hovedsageligt fundet ud fra Gyprocs EPD [56] og SBI rapporten *Miljødata for bygningsdele* [60]. Materiale typer, hvor det ikke har været muligt at finde specifikke spildprocenter for, er spildprocenten antaget på baggrund de mest sammenlignelige materialetyper.

Materialetype	Spildprocent [%]
Isoleringsmateriale	5
IsoPigg	2
Skruer, rawlplugs	2
Gyproc skinnevægssystem	2,6
Krydsfinerplader	5
Klimamembran	2
Oliebehandling	2
Kanalsystem	2,6
Affugterenhed	0
Filtre til affugterenhed	1

Tabel 11 - Spildprocenter for de indgående materialetyper (bilag 09 og 13)

## 4.3.2.4 Energi

I opførelsesfasen samt brugsfasen benyttes der en supply energimix for Norge. I denne sammensætning består størstedelen af energiforsyningen af hydroenergi (98%) [61].

I QS2.0 er energiforbruget til opvarmning og drift af affugterenhederne indtastet som et norsk supply energimix for alle tre scenarier (A\_I\_E\_1).



#### 4.3.2.5 Mandetimer

Antallet af mandetimer det kræver for at installere RetroWall systemet i scenarie 2 og 3 er beregnet ud fra data modtaget omkring det tidligere nævnte pilotprojekt. Det er antaget, at der ikke er forskel i antallet af mandetimer til opsætning af glasuldsisolering (ISOVER), stenuldsisolering (Rockwool) og træfiberisolering (Gutex). Derfor er det samlede antal mandetimer til installation af systemet for scenarie 2 og 3 ens.

Antallet af mandetimer til installation, vedligeholdelse samt nedrivning af systemet vil gennemgås herunder i tre tabeller. I brugsfasen er der taget højde for at affugterenhederne skal udskiftes 3 gange, og krydsfinerpladerne skal vedligeholdes med ny oliebehandling 4 gange. Vedligeholdelsen af affugterenhederne, i form af udskiftning af filtre, er ikke inkluderet. Denne afgrænsning er foretaget ud fra en antagelse om, at brugeren af bygningen selv er i stand til at stå for vedligeholdelsen.

Tabel 12-14 viser antal mandetimer for opførelsesfasen, brugsfasen og for endt levetid pr. m<sup>2</sup> etageareal for 50 år.

Opførelsesfasen	Antal mandetimer
Klargøring: <i>Paneler ned, gulvbrædder op, afdækning</i>	0,826 h
Montage: <i>Opsætning af isolering, Gyproc skinnevægssystem og vægbeklædning</i>	1,770 h
Montage: <i>Opsætning af kanalsystem og affugterenhed</i>	0,236 h
Elarbejde: <i>Tilslutning af affugterenhed</i>	0,177 h
Malerarbejde: <i>Oliering af krydsfinerplader</i>	0,826 h
<b>I alt</b>	<b>3,835 h</b>

Tabel 12 - Mandetimer for opførelsesfasen

Brugsfase	Antal mandetimer
Demontering: <i>Nedtagning af affugterenhed</i>	0,071 h
Elarbejde: <i>Tilslutning af affugterenhed</i>	0,531 h
Malerarbejde: <i>Lapning efter udskiftning af affugterenhed</i>	0,177 h
Malerarbejde: <i>Oliering af krydsfinerplader</i>	1,101 h
<b>I alt</b>	<b>1,880 h</b>

Tabel 13 - Mandetimer for brugsfasen

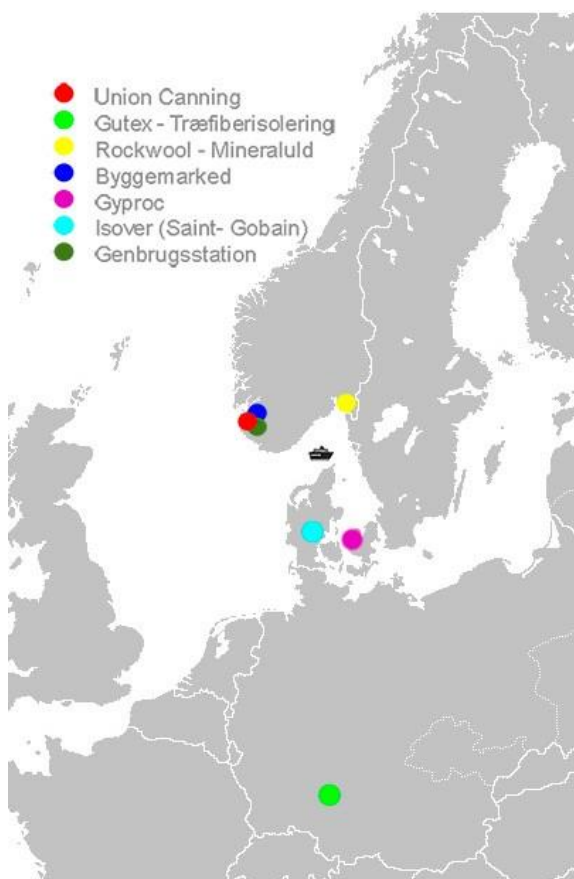
Endt levetid	Antal mandetimer
Demontering: <i>Nedtagning af RetroWall System</i>	0,826 h
<b>I alt</b>	<b>0,826 h</b>

Tabel 14 - Mandetimer for endt levetid

Udregningerne for mandetimer til de tre livscyklusfaser kan ses i bilag 08.

#### 4.3.2.6 Transport og afstande

I livscyklusfaserne; opførelsesfasen, brugsfasen og endt levetid indgår transport, som et procesmodul. I nedenstående figur 22 ses et kort med placeringer af de leverandører samt genbrugsstationen, der er regnet med i denne rapport.



Figur 22 - Kort over transport

I opførelsesfasen og brugsfasen transporteres materialemængderne pr. FU inkl. spildmængder fra forskellige leverandører til Union Canning i Stavanger. Efter opførelsen af RetroWall systemet og udskiftningen i brugsfasen, vil spildmængderne transporteres væk fra Union Canning til genbrugsstationen *Renovasjonen IKS* i Stavanger.

Ved endt levetid vil alle materialemængderne pr. FU blive transporteret fra Union Canning til genbrugsstationen.

#### Isoleringsmaterialer

Isoleringsmaterialerne for scenarie 2 og 3 er forskellige, hvorfor de tilhørende transportafstande også vil være forskellige fra hinanden. I scenarie 2 vil mineraluldsisoleringen transporteres fra Rockwools fabrik i Moss, Norge, og i scenarie 3 vil træfiberisoleringen transporteres fra Gutex's fabrik i Waldshut-Tiengen, Tyskland.

#### Retrowall System

Ses der bort fra isoleringsmaterialerne, så vil de resterende dele i RetroWall systemet være ens for scenarie 2 og 3, hvorfor transportafstandene her vil gælde begge scenarier:

- *ISOVER*

Det specialfremstillede kanalsystem, affugterenhederne, klimamembranen samt IsoPigg transporteres fra ISOVER's fabrik i Vamdrup, Danmark. Heri indgår både lastbil- og færgetransport til Union Canning.

- *Gyproc*

Gyproc's skinnevægsystem samt skruer hertil transporteres fra Gyproc's fabrik i Kalundborg, Danmark. Heri indgår både lastbil- og færgetransport til Union Canning.

- *Byggemarked*

Det er antaget, at skruerne til murværk, rawplugs, krydsfinerplader samt den hvidpigmenteret oliebehandling, transporteres fra det lokale byggemarked *Byggmax* i Stavanger. I brugsfasen vil filtrene ved vedligeholdelse af affugterenhederne også transporteres herfra, hvor de i opførelsesfasen indgår i affugterenheden der transporteres fra ISOVER's fabrik i Vamdrup. Transporten fra Byggmax til Union Canning foregår med lastbil.

## Affaldshåndtering

Det er antaget, at alle spildmængder ved opførelsesfasen og brugsfasen samt alle materiale-mængderne pr. FU ved endt levetid bliver transporteret til den lokale genbrugsstation i Stavanger. Dette gælder for alle valgte bortskaffelsesmetoder, som vil blive beskrevet i det følgende afsnit '4.3.2.7 Bortskaffelse'.

I QS2.0 er der for lastbiltransport indtastet >32t, EURO5 og for skibstransport er der indtastet *freight ship*.

I bilag 09 kan adresserne på de ovenstående beskrevne leverandører samt genbrugsstation med de tilhørende transportafstande og former ses.

### 4.3.2.7 Bortskaffelse

Der er valgt at foretage to forskellige bortskaffelsesscenarier for renoveringsscenarierne; en nutidig- og en fremtidig bortskaffelse. Ved den nutidige bortskaffelse ses der på hvordan byggematerialer bortskaffes i dag og ved den fremtidige bortskaffelse ses der på hvordan byggematerialer tænkes bortskaffet om 50 år ved Union Cannings endte levetid.

Norge er sammen med Østrig, Danmark, Luxembourg og Sverige et af de lande i Europa, som har en af de højeste procenter for genanvendelse og genbrug af byggematerialer. Gennem observationer af bortskaffelse af byggematerialer fra 1996 til 2006, viser en rapport af C. Fischer og M. Werge, en stigning af genbrug og genanvendelse af byggematerialer, og dette tal er stødt stigende for år til år. Siden 2000 er der observeret en årlig stigning på >0,5 procentpoint som en gennemsnitlig betragtning af forskellige byggematerialer [62]. Dette vil i det følgende blive benyttet som et udgangspunkt i antagelserne omkring bortskaffelsesmetoderne for den nutidige og fremtidige bortskaffelse.

I rapporten kan det også ses, hvilke materialer de forskellige europæiske lande har størst kultur og erfaring med at genbrug og genanvende. Stenbaserede byggematerialer er den materialegruppe, som der er størst genanvendelse og genbrug af i Norge, efterfulgt af materialegruppen med træ, glas, metal, plastik og gips [62].

Der findes flere forskellige metoder til opbygning af scenarieudvikling, hvor den benyttede i denne rapport kaldes *Exploratory*. Denne scenarieudvikling beskriver fremtiden ifølge kendte forandringsprocesser og ekstrapolationer fra fortiden [63]. I den fremtidige bortskaffelse er der forsøgt at tage højde for en dynamisk udvikling af energien brugt til omsmelting,

omdannelse, forbrænding samt energikreditering heraf for materialerne. For de materialer hvor det har været muligt at tage højde for den dynamiske udvikling af energisammensætning, er der valgt ren vindenergi i QS2.0 ved eventuelle forarbejdningsprocesser (A\_B\_E\_1). Det har for nogle af processerne ikke været muligt at indtaste ren vindenergi, da QS2.0 allerede har en specifik omsmeltning eller forbrænding tilknyttet nogle af materialerne.

Vindenergi er valgt på baggrund af en formodning om at energimarginalen i fremtiden vil være vindenergi. Dette er antaget for at være en tilstrækkelig tilnærmelse af en repræsentativ bæredygtig energikilde i fremtiden. Grundet vandenergi næsten er fuldt udnyttet på nuværende tidspunkt i Norge, er der i den fremtidige bortskaffelse benyttet vindenergi, da der stadig ligger stort potentiale heri. Der er på denne måde inkluderet en partiel dynamisk udvikling, for at foretage en tilnærmelse af den fremtidige bortskaffelse for udviklingen af genanvendelsesmetoderne og energisammensætningen i fremtiden.

Ift. bortskaffelsesmetoderne vægtes genbrug bedre end genanvendelse i denne rapport, grundet besparelsen i forarbejdning af materialet. Dette hierarkiske billede af bortskaffelsen, er taget i betragtning ved opstillingen af den fremtidige bortskaffelse af materialerne.

Der vil i det følgende blive gennemgået de antagelser der er foretaget omkring den nutidige og fremtidige bortskaffelse af de forskellige materialetyper der indgår i produktsystemerne for scenarie 2 og 3.

## Antagelser

Antagelserne omkring den nutidige og fremtidige bortskaffelse vil blive refereret til med flg. forkortelser. Antagelserne kan ses i bilag 07 og vil senere blive vurderet i en følsomhedsanalyse.

*Forkortelser for antagelser:*

A = antagelse

B = bortskaffelse

E = energi

S = stål

T = træ

P = plastik

G = glasfibre

RW = Rockwool

GU = Gutex

## Stål

*Nutidig bortskaffelse*

For den nutidige bortskaffelse af stål er der taget udgangspunkt i Gyproc's EDP, hvor 95% af stålmassen bliver genanvendt og 5% bliver sendt til deponering (A\_B\_S\_1) [56]. Under bortskaffelsen af stålet, er zinklaget inkluderet i stålmassen (A\_B\_S\_2).

En genanvendelse af stålet inkluderer en omsmeltning, hvorfra der forekommer en materialekreditering af en lavere stål kvalitet sammenlignet med den oprindelige stål kvalitet. Stålkvalitet ved genanvendelse er indtastet som unand low-alloyed (RER) (A\_B\_S\_3). Til omsmeltning af stålet, er der for energiforbruget hertil benyttet en tabelværdi på 2,78 kWh/kg (A\_B\_S\_4) [64].

### *Fremtidig bortskaffelse*

For den fremtidige bortskaffelse er andelen til deponi formindsket fra 5% til 3%, til fordel for genanvendelse.

Med udgangspunkt i den nutidige bortskaffelse, kan det tænkes at der i fremtiden vil være bedre muligheder for genbrug. Ud fra denne forestilling og rapporten af C. Fischer og M. Werge, hvor der estimeres en forbedring af genbrug og genanvendelse på >0,5% pr. år, er det antaget, at en forbedring på 25% i levetiden på 50 år udelukkende går til genbrug. Herudover påpeges det, at Norge fra 1995 til 2006 er blevet bedre til at genbruge og genanvende metal [62]. Grundet stålet er placeret i et beskyttet miljø i RetroWall systemet, er der lagt yderligere 5% til genbrug.

Når andelene adderes, er der 30% genbrug, 67% genanvendelse og 3% deponering af stålet (A\_B\_S\_5).

Ved omsmeltningen for genanvendelsen, vil det om 50 år antageligvis være en bedre stål-kvalitet der kan opnås end i dag. Det er i QS2.0 ikke muligt at vælge en stål-kvalitet der ligger mellem den for materialet i opførelsesfasen og den for materialet ved genanvendelse i den nutidige bortskaffelse. Derfor er der for den fremtidige bortskaffelse valgt samme stål-kvalitet som for den nutidige bortskaffelse ved genanvendelse (A\_B\_S\_3).

Zinklaget er inkluderet i stål-massen på samme måde som for den nutidige bortskaffelse (A\_B\_S\_2). Energiforbruget til omsmeltningen af stålet er valgt til samme værdi som for den nutidige bortskaffelse (A\_B\_S\_4) og indtastet som ren vindenergi (A\_B\_E\_1) [64].

### **Træ**

#### *Nutidig bortskaffelse*

Træbaserede produkter bortskaffes primært ved forbrænding i dag. Der findes et marked for genbrugstræ, men da genbrug kan være svært i praksis, fordi træet skal have en god kvalitet, bliver det i de fleste tilfælde genanvendt til andre formål i stedet. Udtjente træplader med en overfladebehandling genanvendes typisk som et led i produktionen af andre byggematerialer, såsom MDF og spånplader [65].

På baggrund af dette og rapporten af C. Fischer og M. Werge, er det antaget at 25% af træmaterialet genanvendes og 75% af går til forbrænding (A\_B\_T\_1). Ved forbrænding af krydsfinerpladerne indgår massen for oliebehandling i den samlede træmasse, dog er voluminen af olien ikke inkluderet i genanvendelsen, da dette er en afgrænsning i QS2.0 (A\_B\_T\_2). Ved genanvendelsen af træet, er der valgt en materialekreditering i form af træspåner, da dette er mest sandsynligt (A\_B\_T\_3) [65]. Ved energikreditering for forbrænding er benyttet træs brændværdi på 5 kWh/kg [64].

Energien til omdannelse fra krydsfinerplader til træspåner, har ikke været tilgængelig, hvorfor der er lavet en antagelse herom. Det er antaget, at der generelt for byggematerialer, der omdannes til andre produkter, skal bruges 1 liter diesel til maskinerne pr. ton byggematerialer, hvilket svarer til 11,1 kWh pr. ton. Energien til denne proces er i QS2.0 indtastet som 0,0111 kWh/kg krydsfinerplade (A\_B\_T\_4), og er for den nutidige bortskaffelse indtastet en high voltage energi for det norske energimix.

### *Fremtidig bortskaffelse*

For den fremtidige bortskaffelse antages det, at en større procentdel går til genanvendelse end i den nutidige bortskaffelse. I C. Fischer og M. Werge vises der en stigning i andelen af genanvendelse og genbrug af træ fra 1995 til 2006 med en faktor 14,9. Sammenholdt med den gennemsnitlige stigning af genanvendelse og genbrug for byggematerialer på 0,5% pr. år, må det antages, at den for krydsfinerpladerne er højere [62]. Yderligere antages det, at der for den fremtidige bortskaffelse vil være 1% mere genanvendelse pr. år end ved den nutidige bortskaffelse, hvilket giver en stigning på 50%. På baggrund af disse overvejelser, er det antaget at 75% af træet genanvendes og 25% forbrændes (A\_B\_T\_5).

Hvad oliebehandlingen på krydsfinerpladerne angår for genanvendelse og forbrænding, er der antaget de samme forhold som for den nutidige bortskaffelse (A\_B\_T\_2). På samme måde er der også valgt træspåner ved materialekrediteringen for genanvendelse (A\_B\_T\_3). Energiforbruget til omdannelsen er det samme som i den nutidige bortskaffelse (A\_B\_T\_4), og indtastet som ren vindenergi (A\_B\_E\_1).

## **Plastik**

### *Nutidig bortskaffelse*

Der er for den nutidige bortskaffelse for plastik taget udgangspunkt i en rapport fra Plastic Europe, der viser den generelle fordeling af bortskaffelsesmetoderne for plastik. Den viser bl.a. fordelingen i Norge. Da det ikke har været muligt at finde den specifikke fordeling for plastik som byggemateriale, er statistikken for den generelle fordeling i Norge benyttet. For den nutidige bortskaffelse af plastik går 40% til genanvendelse, 56% til forbrænding og 4% til deponering (A\_B\_P\_1) [66].

Ved genanvendelse er det antaget, at alle plasttyper bliver omsmeltet til det samme plastmateriale. I QS2.0 er dette indtastet som en materialekreditering i form af LLDPE, der er en plasttype af ringere kvalitet (A\_B\_P\_2). Ved omsmeltingen til LLDPE er der taget udgangspunkt i tabelværdier for den primære energi ved fremstilling af LDPE på 22,2 kWh/kg, da det ikke var muligt at finde tabelværdier for LLDPE. Det er antaget, at ca. 1/3 af den primære energi, bliver brugt i en omsmeltningsproces. Dette giver et energiforbrug på 7,4 kWh/kg (A\_B\_P\_3), indtastet som high voltage for Norges energimix.

I QS2.0 er valgt *plastic, mixture* for forbrænding og deponering (A\_B\_P\_4). Hvilket antages at være en fyldestgørende betragtning.

Energikrediteringen ved forbrændingen af plasten er indtastet som et gennemsnit for brændværdien af PE og Nylon (PA6) på 10,4 kWh/kg (A\_B\_P\_5), som high voltage for Norges energimix [64].

### *Fremtidig bortskaffelse*

I Norge er genbrug og genanvendelse af plastik forbedret med en faktor 13,5 fra 1995 til 2006, men mængden herfor er minimal [62]. Ud fra rapporten af C. Fischer og M. Werge er det antaget at der vil ske en forbedring på 0,3% ift. genanvendelse pr. år, hvilket for hele levetiden vil være en samlet stigning på 15%, som adderes med genanvendelsesandelen i den nutidige bortskaffelse. Det kan forventes at andelen der går til deponi også er mindre i den fremtidige bortskaffelse, og derfor er der valgt at andelen til deponi formindskes fra 4% til 2%. Herudfra er der for den fremtidige bortskaffelse 55% genanvendelse, 43% forbrænding, og 2% deponering (S\_B\_P\_6).

Samme antagelser som for den nutidige bortskaffelse er gældende for materialekreditering af en ringere plastkvalitet i form af LLDPE (A\_B\_P\_2). Yderligere er forbrændingen og deponeringen af plastmaterialet (A\_B\_P\_4), energiforbruget ved omsmelting (A\_B\_P\_3) og energikreditering ved forbrænding (A\_B\_P\_5), ens med den nutidige bortskaffelse. I den fremtidige bortskaffelse er der benyttet ren vindenergi (A\_B\_E\_1).

## Glasfiber

### *Nutidig bortskaffelse*

Filtrene i affugterenhederne består af glasfiber. I dag bliver glasfiber materiale ved endt levetid enten afbrændt på forbrændingsanlæg eller deponeret. Ved små mængder, vil glasfiber blive sendt til forbrænding, hvor det ikke er muligt at genvinde noget energi ved forbrændingsprocessen, da andelen af ikke-brændbar glasfiber er stor (op i mod 70%) [67].

I QS2.0 er en final disposal for glass sheet valgt, hvor der ikke genvindes noget energi (A\_B\_G\_1). Denne bortskaffelse tager også højde for den andel af ikke-brændbart materiale, der ved forbrænding producerer store mængder af slagge, som herefter sendes til deponi.

### *Fremtidig bortskaffelse*

Den fremtidige bortskaffelse af glasfiber er antaget ens med den nutidige bortskaffelse (A\_B\_G\_1).

## Ventilator

### *Nutidig bortskaffelse*

I QS2.0 er der for ventilatorerne indtastet en bortskaffelse for en bærbar computer, som er det produkt, der mest sammenligneligt med en ventilator. I denne proces tages der både højde for andelen der går til genanvendelse og deponering (A\_B\_V\_1).

### *Fremtidig bortskaffelse*

Den fremtidige bortskaffelse af ventilatorerne er antaget ens med den nutidige bortskaffelse (A\_B\_V\_1).

## Mineraluld (scenarie 2)

### *Nutidig bortskaffelse*

Siden 2012 har Rockwool A/S haft et samarbejde med *RGS Nordic*, som indsamler overskydende isoleringsmateriale fra genbrugsstationer, granulerer det og sender det til Rockwools produktionsfabrikker, hvor det indgår i ny produktion [68].

For den nutidige bortskaffelse af mineraluldsisoleringen er Rockwools EPD (2013-2018) benyttet [69]. I produktion af mineraluldsisolering indgår restprodukter fra andre industrier som f.eks. sanitet, fliser, sandblæsningssand og filterstøv [68]. Andelen af genanvendte materialer i produktion af Rockwools mineraluldsisolering er på 26,2%, hvor andelen af genanvendelse af isoleringsmateriale ved endt levetid er lavere på 2,5% [69]. Udregningen af genanvendelsesprocenter kan ses i bilag 10. Ofte vil stenuldsisolering der ikke genanvendes blive deponeret på genbrugsstationer [70].

Der er for den nutidige bortskaffelse valgt en genanvendelse på 2,5% ud fra Rockwools EPD og de resterende 97,5% deponeres (A\_B\_RW\_1).

Ved genanvendelse af stenuldsisolering sker der en granulering af materialet, så det kan indgå i ny produktion. Da det ikke har været muligt at finde data om energiforbruget hertil, er der antaget et energiforbrug på 10% ift. fremstilling af nyt materiale (A\_B\_RW\_2). Ud fra Rockwools EPD er der til granuleringsprocessen beregnet et energiforbrug på 0,359 kWh/kg [69]. Udregningen af herfor kan ses i bilag 10. Da der ikke findes et materiale i QS2.0 for isoleringsgranulat, er der for materialekrediteringen heraf indtastet en negativ værdi for et nyt Rockwool produkt i stedet (A\_B\_RW\_3).

#### *Fremtidig bortskaffelse*

Rockwool A/S er i dag den førende producent af stenuldsisolering og har et bæredygtigt image [68]. På baggrund af dette er der foretaget antagelser om, hvordan en fremtidig bortskaffelse af stenuld kunne se ud. Da samarbejdet med *RGS Nordic* først startede i 2012 og Rockwools EPD er fra 2013-2018, findes der ingen data på udviklingen af genanvendelsen af stenuldsisoleringen fra Rockwool. Antagelsen for den fremtidige bortskaffelse er besluttet på baggrund af overvejelser og diskussioner, og derfor indeholder denne antagelse en stor usikkerhed. For den fremtidige bortskaffelse er det antaget, at der vil være en udvikling af genanvendelse på 2,5% pr. 10. år, hvilket svarer til en stigning på 12,5% for genanvendelse om 50 år. I den fremtidige bortskaffelse er der derfor regnet med en genanvendelse på 15% og en deponering på 85% (A\_B\_RW\_4). Samme antagelse gør sig gældende for

granuleringsprocessen (A\_B\_RW\_2) og materialekrediteringen (A\_B\_RW\_3) som for den nutidige bortskaffelse.

### **Træfiberisolering (scenarie 3)**

#### *Nutidig bortskaffelse*

Træfiberisolering bliver i dag bortskaffet som almindeligt brændbart affald, hvorfor der er valgt at 100% af materialemængden sendes til forbrænding (A\_B\_GU\_1) [71].

I QS2.0 er der valgt en forbrænding af papir, da det antages at være sammenligneligt med træfiberisolering, idet begge produkter hovedsageligt er baseret på cellulose (A\_B\_GU\_2). Energikreditering ved forbrændingen er i QS2.0 angivet på baggrund af en brændværdi for træ på 5 kWh/kg (A\_B\_GU\_3) [64]. Ydermere er det valgt at lade bindemidlet i træfiberisoleringen, indgå i den samlede træmasse (A\_B\_GU\_4).

#### *Fremtidig bortskaffelse*

På baggrund af stigningen i genanvendelse for krydsfinerplader, som beskrevet tidligere, er der for den fremtidige bortskaffelse af træfiberisolering antaget at der vil være en genanvendelse på 20%. Den lavere genanvendelsesprocent sammenlignet med krydsfinerpladerne er antaget på baggrund af, at pladerne er massive og derfor nemmere at genanvende end træfiberisolering.

Det antages at en yderligere forarbejdningsproces ikke er nødvendig ved genanvendelse, da træfiberisolering allerede er i fiberform. Denne form vil derfor kunne indgå direkte i andre produktionsprocesser, hvorfor genanvendelsen er antaget som genbrug i stedet for. I QS2.0 er de 20% genbrug indtastet



som wood chip og de resterende 80% af træfiberisoleringen sendes til forbrænding (A\_B\_GU\_5).

Antagelserne for forbrænding af træfiberisolering (A\_B\_GU\_2), (A\_B\_GU\_3) og (A\_B\_GU\_4) er de samme som for den nutidige bortskaffelse.

## Opsummering

I nedenstående tabel 15 ses en opsummering af bortskaffelsesmetoderne for den nutidige og fremtidige bortskaffelse af de forskellige materialetyper:

BORTSKAFFELSESMETODER	Nutidig bortskaffelse	Fremtidig bortskaffelse
<b>Stål</b>	95% genanvendelse ( <i>omsmeltning</i> ) 5% deponi	30% genbrug 67% genanvendelse ( <i>omsmeltning</i> ) 3% deponi
<b>Træ</b>	25% genanvendelse ( <i>træspåner</i> ) 75% forbrænding	75% genanvendelse ( <i>træspåner</i> ) 25% forbrænding
<b>Plastik</b>	40% genanvendelse ( <i>omsmeltning</i> ) 56% forbrænding ( <i>energikreditering</i> ) 4% deponi	55% genanvendelse ( <i>omsmeltning</i> ) 43% forbrænding ( <i>energikreditering</i> ) 2% deponi
<b>Glasfibre</b>	100% final disposal	100% final disposal
<b>Ventilator</b>	100% deponi (elektronik)	100% deponi (elektronik)
<b>Rockwool</b>	2,5% genanvendelse ( <i>granuleringsproces</i> ) 97,5% deponi	15% genanvendelse ( <i>granuleringsproces</i> ) 85% deponi
<b>Træfiberisolering</b>	100% forbrænding	20% genbrug 80% forbrænding ( <i>energikreditering</i> )

Tabel 15 - Bortskaffelsesmetoderne for nutidig og fremtidig bortskaffelse

### 4.3.3 Inventory skema – Scenarie 2 (mineraluldsisolering)

I tabel 16 ses et inventory skema for scenarie 2 med mineraluldsisolering. Specifikke beregninger kan ses i bilag 09. Materialemængderne er pr. FU (mængde pr. m<sup>2</sup> etageareal for 50 år).

S2	Inventory skema	Opførelsesfasen	Brugsfasen	Endt levetid
Isolering	Rockwool, Mineraluldsisolering HDPE, IsoPigg	1,863158 kg 0,036122 kg	- -	1,770000 kg 0,035400 kg
	Stål, VAP 25/110 ventileret afstandsprofil Nylon, Rawplug, Ø6 Stål, Skruer til mur 4,0x60 mm Stål, Profil L 12/50 Stål, Hjørnelprofil H 50/50 Stål, T-udveksling T 50-10 Stål, Quick S skrue (QS 76) Stål, Quick STR skrue (QM 25) Zink coating, Zinklag	0,772331 kg 0,020469 kg 0,013245 kg 0,228973 kg 0,139322 kg 0,263501 kg 0,024082 kg 0,017822 kg 0,295071 m2	- - - - - - - - -	0,752250 kg 0,020060 kg 0,013059 kg 0,223020 kg 0,135700 kg 0,256650 kg 0,023353 kg 0,017284 kg 0,287396 m2
Vægbeklædning	Plywood indoor, Krydsfinerplader, 2 stk. Polyamid, Klimamembran, Vario X-tra Organic solvent,oliebehandling med hvid pigment	0,025272 m3 0,048163 kg 0,072245 kg	- - 0,144490 kg	0,024000 m3 0,047200 kg 0,070800 kg
Kanalsystem	Stål, 54x110 uden huller - lodret kanal Stål, 54x110 med huller - vandret kanal Stål, T-stykke - overgang fra lodret til vandret kanal Stål, Samlemuffer - samling af kanaler over 1,2 m Stål, Endeunde - stykke mellem vandret kanal og væg Zink coating, Zinklag	0,184195 kg 0,744345 kg 0,035133 kg 0,046522 kg 0,009207 kg 0,206127 m2	- - - - - -	0,181248 kg 0,724992 kg 0,034220 kg 0,045312 kg 0,008968 kg 0,201140 m2
Affugterenhed	Stål, Stålskelle Zink coating, Zinklag PSU Fan, Ventilator, plast, 2 stk. pr. enhed Glasfiber, Filter til affugter, 2 stk. pr. enhed	0,117388 kg 0,023736 m2 0,013723 kg 0,002814 kg	0,352164 kg 0,071209 m2 0,041169 kg 0,137898 kg	0,117388 kg 0,023736 m2 0,013723 kg 0,002786 kg
Energi	Affugterenhed Energramme	- -	195,41 kWh 5,025 kWh	- -
Transport	Til Union Canning – lastbil Til Union Canning – færge Fra Union Canning – lastbil	2,482001 tkm 0,468945 tkm 0,005998 tkm	0,214174 tkm 0,054642 tkm 0,000054 tkm	- - 0,139087 tkm

Tabel 16 - Inventory skema - scenarie 2 (mineraluldsisolering)

### 4.3.4 Inventory skema – Scenarie 3 (træfiberisolering)

I tabel 17 ses et inventory skema for scenarie 3 med træfiberisolering. Specifikke beregninger kan ses i bilag 09. Materiale mængderne er pr. FU (mængde pr. m<sup>2</sup> etageareal for 50 år).

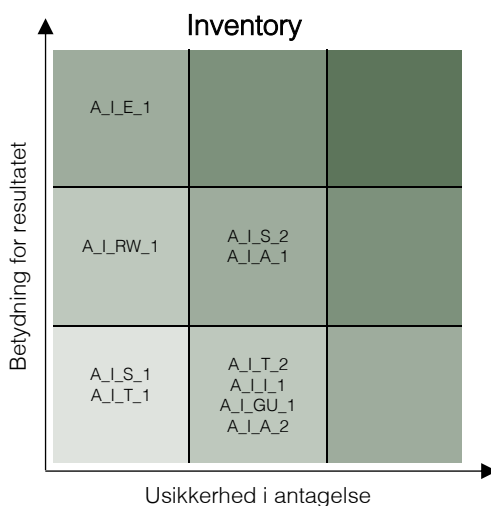
S3	Inventory skema	Opførelsesfasen	Brugsfasen	Endt levetid
Isolering	Træfiberisolering: Wood chip, Træspåner Polyurethane, Resin binder HDPE, IsoPigg	3,875368 kg 0,161474 kg 0,036122 kg	- - -	3,681600 kg 0,153400 kg 0,035400 kg
	Gyproc skinnævægssystem	Stål, VAP 25/110 ventileret afstandsprofil Nylon, Rawplug, Ø6 Stål, Skruer til mur 4,0x60 mm Stål, Profil L 12/50 Stål, Hjørnelprofil H 50/50 Stål, T-udveksling T 50-10 Stål, Quick S skrue (QS 76) Stål, Quick STR skrue (QM 25) Zink coating, Zinklag	- - - - - - - -	0,752250 kg 0,020060 kg 0,013059 kg 0,223020 kg 0,135700 kg 0,256650 kg 0,023353 kg 0,017284 kg 0,287396 m <sup>2</sup>
Vægbeklædning	Plywood indoor, Krydsfinerplader, 2 stk. Polyamid, Klimamembran, Vario X-tra Organic solvent, Oliebehandling med hvid pigment	0,025272 m <sup>3</sup> 0,048163 kg 0,072245 kg	- - 0,144490 kg	0,024000 m <sup>3</sup> 0,047200 kg 0,070800 kg
Kanalsystem	Stål, 54x110 uden huller - lodret kanal Stål, 54x110 med huller - vandret kanal Stål, T-stykke - overgang fra lodret til vandret kanal Stål, Samlemuffer - samling af kanaler over 1,2 m Stål, Endebunde - stykke mellem vandret kanal og væg Zink coating, Zinklag	0,184195 kg 0,744345 kg 0,035133 kg 0,046522 kg 0,009207 kg 0,206127 m <sup>2</sup>	- - - - - -	0,181248 kg 0,724992 kg 0,034220 kg 0,045312 kg 0,008968 kg 0,201140 m <sup>2</sup>
Affugterenhed	Stål, Stålskelle Zink coating, Zinklag PSU Fan, Ventilator, plast, 2 stk. pr. enhed Glasfiber, Filter til affugter, 2 stk. pr. enhed	0,117388 kg 0,023736 m <sup>2</sup> 0,013723 kg 0,002814 kg	0,352164 kg 0,071209 m <sup>2</sup> 0,041169 kg 0,137898 kg	0,117388 kg 0,023736 m <sup>2</sup> 0,013723 kg 0,002786 kg
Energi	Affugterenhed Energi ramme	- -	195,41 kWh 5,065 kWh	- -
Transport	Til Union Canning – lastbil Til Union Canning – færge Fra Union Canning – lastbil	7,754738 tkm 1,017956 tkm 0,007378 tkm	0,214174 tkm 0,054642 tkm 0,000054 tkm	- - 0,165312 tkm

Tabel 17 - Inventory skema – scenarie 3 (træfiberisolering)

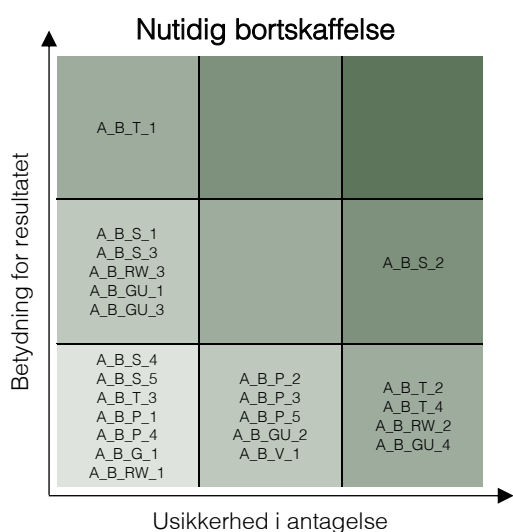
### 4.3.5 Følsomhedsanalyse

I opbygningen af produktsystemerne har det været nødvendigt at foretage nogle antagelser angående materialerne i QS2.0, samt for den nutidige og fremtidige bortskaffelse. Disse antagelser er undervejs blevet refereret til med forkortelser, som også kan ses i bilag 07. Da antagelserne har indflydelse på resultaterne for livscyklusvurderingen, har det været nødvendigt at forholde sig til hvor kritiske de har været. For at vurdere antagelserne, er der opstillet en matrix, der vurderer usikkerheden i

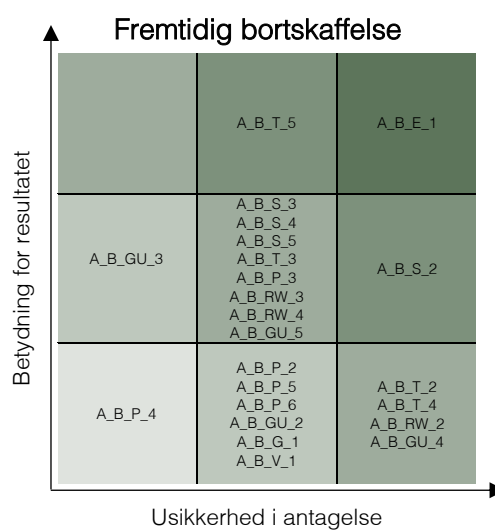
antagelserne ud ad x-aksen og betydningen af antagelserne for resultatet op ad y-aksen. Usikkerheden af antagelserne bygger på hvorvidt der har været konkrete kilder til rådighed eller om de er foretaget på baggrund af kvalificerede bud. De mindst kritiske antagelser vil være placeret mod venstre på x-aksen og nederst på y-aksen. Figur 23 viser følsomhedsmatricen for de generelle antagelser for materialerne i inventory, hvor figur 24 og 25 viser følsomhedsmatricerne for antagelserne forbundet med den nutidige og fremtidige bortskaffelse.



Figur 23 - Følsomhedsmatrix - Inventory fasen



Figur 24 - Følsomhedsmatrix - nutidig bortskaffelse



Figur 25 - Følsomhedsmatrix - fremtidig bortskaffelse

## 4.4 Impact Assessment, LCIA

### Resultater fra QS2.0

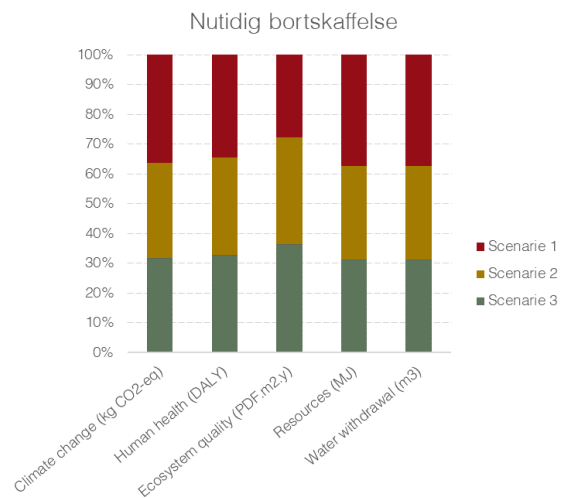
Efter at have indtastet mængderne fra fase 2 *Inventory Analysis* i QS2.0, foretages en komparativ analyse af reoverings-scenarierne for hhv. den nutidige og fremtidige bortskaffelse, som ses i figur 26 og 27.

Miljøbelastningerne for scenarierne er kalkuleret ud fra den udvidede IMPACT 2002+ vQ2.2 metode i QS2.0.

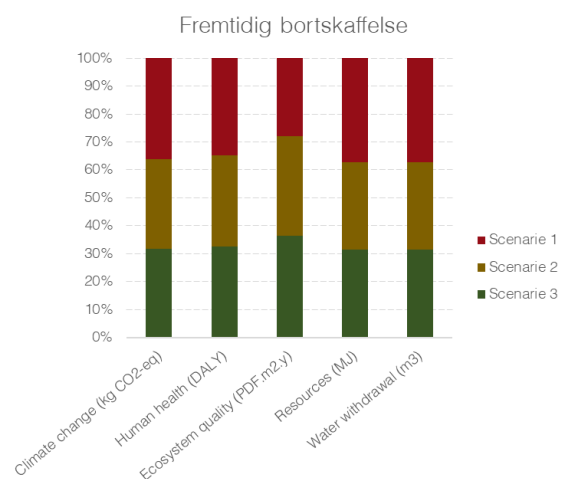
Det ses på figur 26 og 27, at forskellen i den procentvise fordeling mellem scenarie 1, 2 og 3 for den nutidige og fremtidige bortskaffelse er minimal. I scenarie 1 indgår kun energi til opvarmning i brugsfasen, men denne udgør aligsevel den største andel for endpoint kategorierne *Climate change*, *Human health*, *Resources* og *Water withdrawal*, og har derfor stor betydning for de samlede miljøbelastninger i disse endpoint kategori. Det er kun for endpoint kategorien *Ecosystem quality*, at scenarie 1 ikke dominerer i den procentvise fordeling. Dette kan skyldes at der her ikke indgår materialer, som f.eks. træ, der har en stor påvirkning på *Ecosystem quality*.

I fase 4 *Interpretation & results* vil resultaterne blive analyseret med henblik på at finde den mindst miljøbelastende reoveringsstrategi.

Alle resultater fra QS2.0 kan ses i bilag 11.



Figur 26 - Sammenligning af de tre scenarier - nutidig bortskaffelse

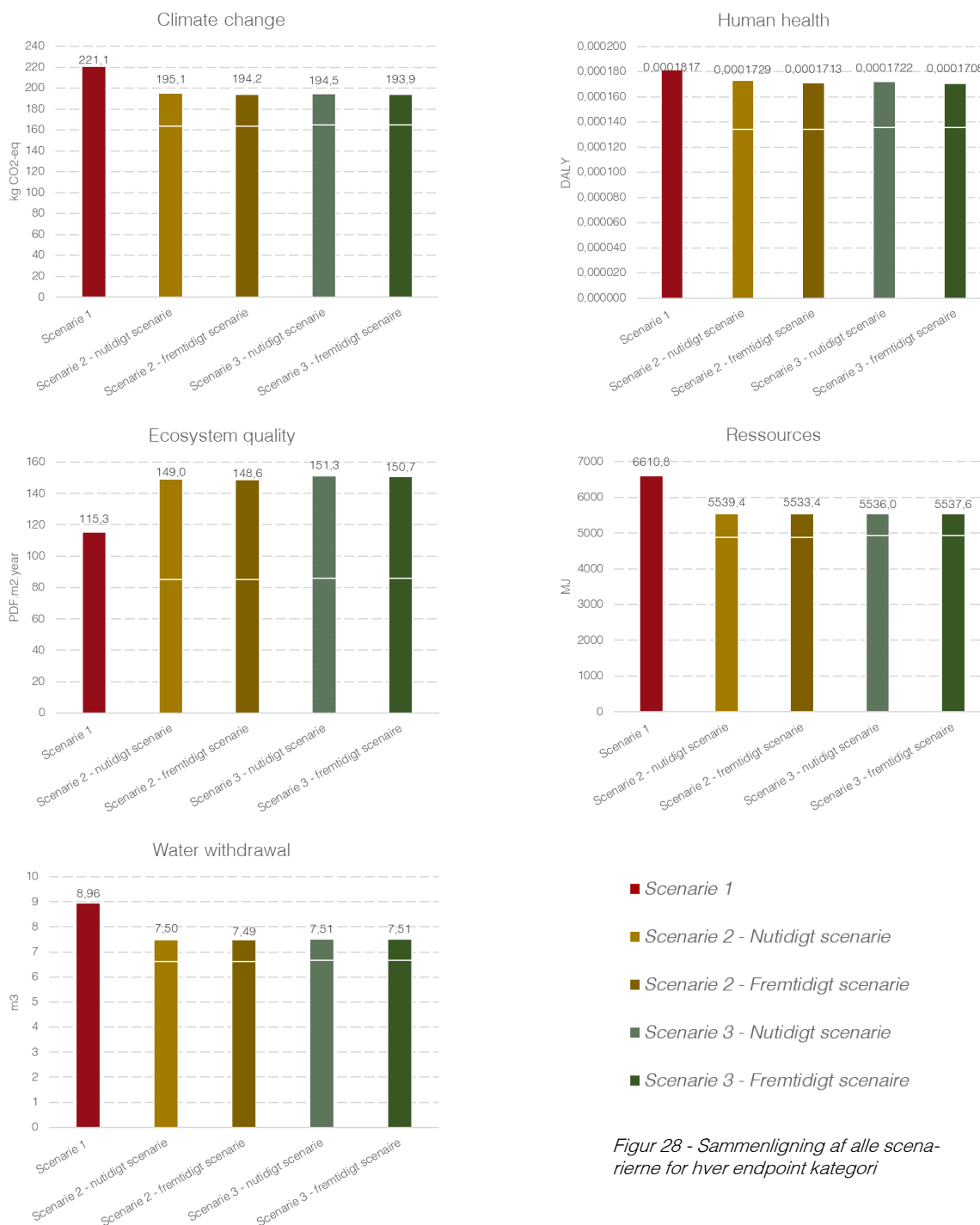


Figur 27 - Sammenligning af de tre scenarier - fremtidig bortskaffelse

# 4.5 Interpretation & results

Den fjerde fase i LCA'en er *Interpretation & results*, og det er her, resultaterne fra QS2.0 analyseres og fortolkes. I figur 26 og 27 var den procentvise fordeling af scenarie 1, 2 og 3 for hhv. den nutidige og fremtidige bortskaffelse

holdt op imod hinanden for de fem endpoint kategorier. I figur 28 ses nu de forskellige scenarier med absolutte tal fordelt på de fem endpoint kategorier.



Figur 28 - Sammenligning af alle scenarierne for hver endpoint kategori

Ud fra figur 28 ses det nu tydeligere, at scenarie 1 har den højeste miljøbelastning i fire ud af de fem endpoint kategorier. Det er især for *Climate change* og *Resources*, at scenarie 1 har en høj påvirkning. Herudover ses det, at forskellen på scenarie 2 og 3, både for den nutidige og fremtidige bortskaffelse, er relativt lille for de samlede miljøbelastninger for alle fem endpoint kategorier. Ud fra de samlede miljøbelastninger i de forskellige endpoint kategorier, ses det, at udviklingen i den fremtidige bortskaffelse ikke har nogen betydende

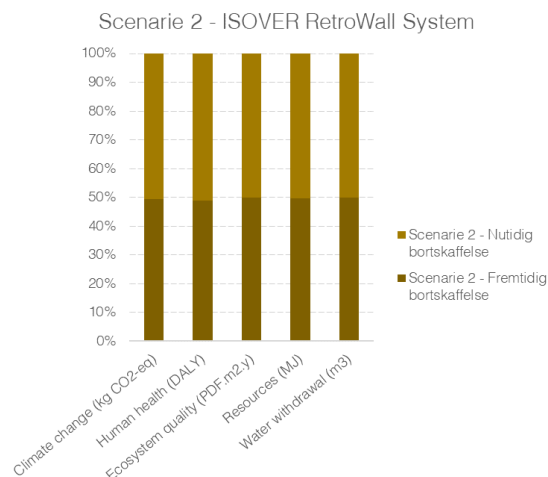
indvirkning på de samlede miljøbelastninger, som det ellers var forventet.

I det følgende vil den nutidige og fremtidige bortskaffelse for scenarie 2 og 3, undersøges mere specifikt. Herudover vil der blive set nærmere på indvirkningen af bortskaffelsesmetoderne ved endt levetid og hvilken betydning de har, hvis der udelukkende ses på RetroWall systemet for scenarie 2 (træfiberisolering) og scenarie 3 (mineraluldsisolering).

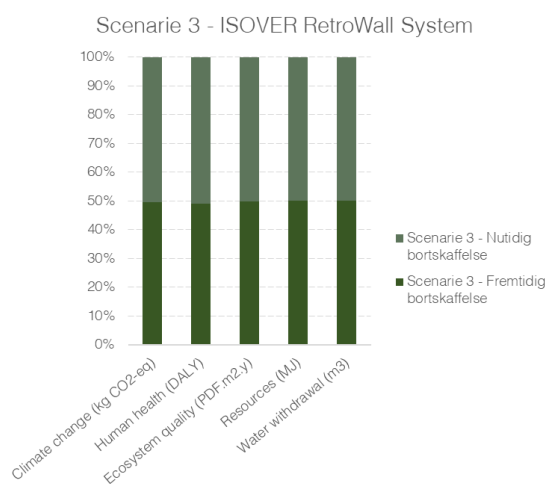
#### 4.5.1 ISOVER RetroWall System – nutidig og fremtidig bortskaffelse

Ovenstående figur 28 viste, at det er energien til opvarmning af bygningen i brugsfasen, som udgør den største andel, hvor materialerne til RetroWall systemet udgør en relativ lille andel. I det følgende ses der bort fra energiforbruget til opvarmning af bygningen i brugsfasen for scenarie 2 og 3, for at se nærmere på selve referenceflowene for RetroWall systemet. Figur 29 og 30 viser den procentvise fordeling af forskellen på den nutidige og fremtidige bortskaffelse for hhv. scenarie 2 og 3. Det ses her, at forskellen mellem den nutidige og fremtidige bortskaffelse er minimal i alle fem endpoint kategorier, med en mindre fordel til den fremtidige bortskaffelse. Dette må betyde, at bortskaffelsen af materialerne, og udviklingen heraf, for livscyklusfasen endt levetid ikke har en betydende indvirkning på det samlede resultat.

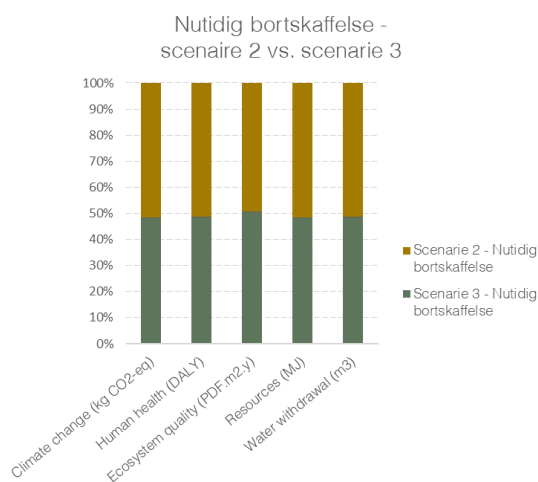
Figur 31 viser scenarie 2 holdt op imod scenarie 3 for RetroWall systemet, ekskl. energiforbruget til opvarmningen af bygningen i brugsfasen, for den nutidige bortskaffelse. For endpoint kategorierne *Climate change*, *Human health*, *Resources* og *Water withdrawal* står scenarie 2 for ca. 51% og scenarie 3 for ca. 49% af miljøpåvirkningerne. Scenarie 3 med træfiberisolering i disse endpoint kategorier er derfor at foretrække da miljøpåvirkningerne er mindst. For endpoint kategorien *Ecosystem quality* er procentfordelingen omvendt, hvor scenarie 2 står for 49 % og scenarie 3 for 51 % af miljøpåvirkningerne. Den omvendte fordeling her skyldes, at træfiberisoleringen har en større påvirkning på *Ecosystem quality* end minderaluld. Ved at bruge træ bliver andelen af plante- og dyrearter pr. m<sup>2</sup> af hele jordens overflade mindre, hvorfor miljøpåvirkningen herfor er større.



Figur 29 – Sammenligning af nutidig og fremtidig bortskaffelse for scenarie 2



Figur 30 - Sammenligning af nutidig og fremtidig bortskaffelse for scenarie 3



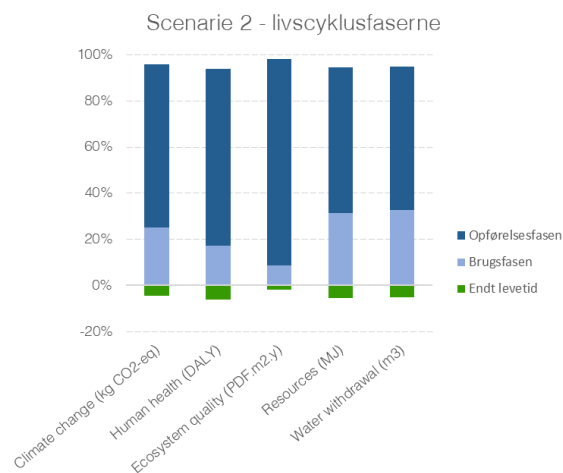
Figur 31 - Sammenligning af scenarie 2 og 3 for nutidig bortskaffelse



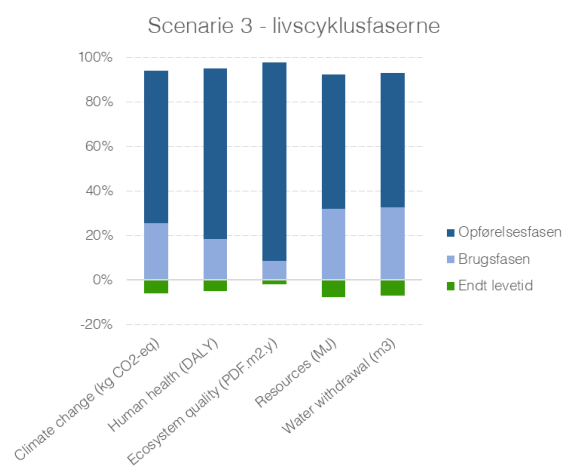
## 4.5.2 Livscyklusfaser – nutidig bortskaffelse

Figur 32 og 33 viser fordelingen af livscyklusfaserne for scenarie 2 og 3 - begge med den nutidige bortskaffelse. Gældende for både scenarie 2 og 3 er, at opførelsesfasen for RetroWall systemet er den livscyklusfase, som har den største indvirkning på de samlede resultater for hver endpoint kategori. Forskellen af fordelingen er næsten ens for scenarie 2 og 3. Ydermere ses det, at livscyklusfasen endt levetid udgør den mindste påvirkning i alle endpoint kategorierne, hvorfor der for de samlede resultater i figur 26, 27 og 28 ikke kan ses en tydelig forskel mellem den nutidige og fremtidige bortskaffelse for scenarie 2 og 3.

Forskellen mellem resultaterne for scenarie 2 og 3, ligger primært i andelen af miljøpåvirkningerne der krediteres for ved endt levetid for de forskellige endpoint kategorier. Disse forskelle ligger i endpoint kategorierne; *Climate change*, *Ressources* og *Water withdrawal*, hvor træfibrisoleringen er at foretrække ift. mineraluldsisolering. Det omvendte gælder det for *Human health*.



Figur 32 - Sammenligning af livscyklusfaserne for scenarie 2, ekskl. energirammen



Figur 33 - Sammenligning af livscyklusfaserne for scenarie 3, ekskl. energirammen

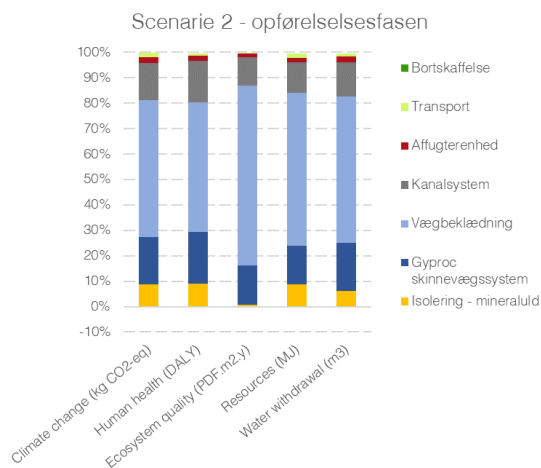
### 4.5.3 Opførelsesfasen – nutidig bortskaffelse

Figur 34 og 35 viser fordelingen af de forskellige elementer i RetroWall systemet i opførelsesfasen for scenarie 2 og 3. Det ses, at vægbeklædningen med krydsfinerpladerne udgør den største miljøpåvirkning i alle fem endpoint kategorier. Det skyldes dels fordi det er det materiale, som har den højeste vægt, hvorfor det også kommer til at dominere det samlede resultat. Den interessante forskel i figur 34 og 35 ligger i isoleringsmaterialet. Det ses tydeligt, at mineraluldsisoleringen har en større miljøpåvirkning end træfiberisoleringen. Dette er til trods for at vægten for mineraluldsisolering pr. FU er 1,86 kg og vægten for træfiberisolering pr. FU er 4,04 kg.

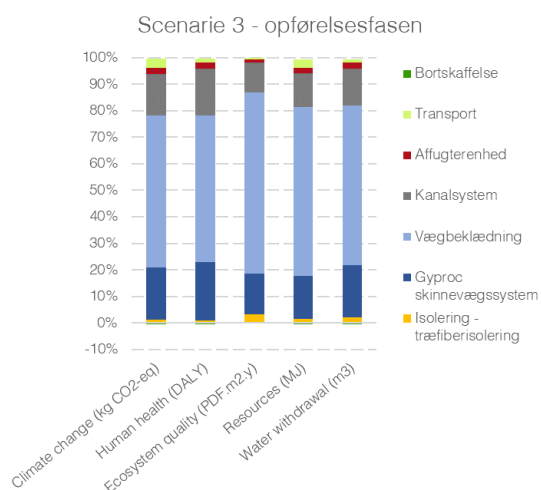
Figur 36 viser miljøpåvirkningerne for isoleringsmaterialerne i scenarie 2 (mineraluld) og scenarie 3 (træfiber). Denne undersøgelse er interessant, grundet forskellen i de to nævnte scenarier udelukkende ligger i isoleringsmaterialerne. Figur 36 viser, hvordan mineraluldsisolering har den største miljøpåvirkning ift. *Climate change*, *Human health*, *Resources* og *Water withdrawal* og mindst i *Ecosystem quality*.

Her ses forskellen mellem miljøpåvirkningerne fra de to isoleringsmaterialer tydeligt, trods mineraluldsisolering er lettere end træfiberisoleringen.

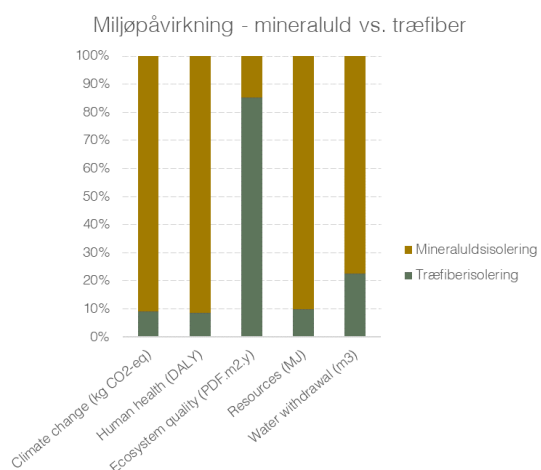
Denne fordel til træfiberisolering var forventet på baggrund af den tidligere omtalte artikel af T. Potrča et al. i afsnittet '2.5 Hvad viser andre studier?', som viste at træfiberisolering er mindre miljøbelastende end mineraluldsisolering.



Figur 34 - Opførelsesfasen for scenarie 2, ekskl. energirammen



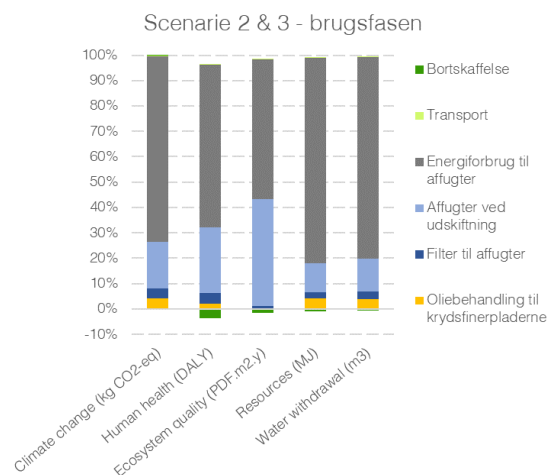
Figur 35 - Opførelsesfasen for scenarie 3, ekskl. energirammen



Figur 36 - Sammenligning af mineraluld og træfiber i opførelsesfasen

#### 4.5.4 Brugsfasen – nutidig bortskaffelse

Figur 37 viser fordelingen af de indgående referenceflows i brugsfasen, som er ens for scenarie 2 og 3. Det ses, at energiforbruget til affugterenhederne er det flow, som udgør den største miljøpåvirkning i alle endpoint kategorierne. Herefter kommer materialerne til udskiftningen af affugterenhederne, som tidligere nævnt udskiftes 3 gange i løbet af brugsfasen.



Figur 37 - Sammenligning af flows i brugsfasen for scenarie 2 og 3, ekskl. energirammen

#### 4.5.5 Endt levetid – nutidig og fremtidig bortskaffelse

Figur 38 og 39 viser fordelingen af miljøpåvirkningerne for den nutidige og fremtidige bortskaffelse af materialetyperne for livscyklusfasen endt levetid i scenarie 2. Det ses, at mineraluldsisoleringens godskrivning bliver større ved den fremtidige bortskaffelse, da en større andel genanvendes i ny produktion. Godskrivningen af mineraluld i den fremtidige bortskaffelse pga. en større genanvendelsesprocent, har en positiv effekt på udviklingen af miljøpåvirkningerne i alle endpoint kategorierne herfor. I den nutidige bortskaffelse, godskrives der i det samlede resultat for endpoint kategorien *Climate change* -38 g CO<sub>2</sub>-eq og for den fremtidige bortskaffelse øges dette til -292 g CO<sub>2</sub>-eq.

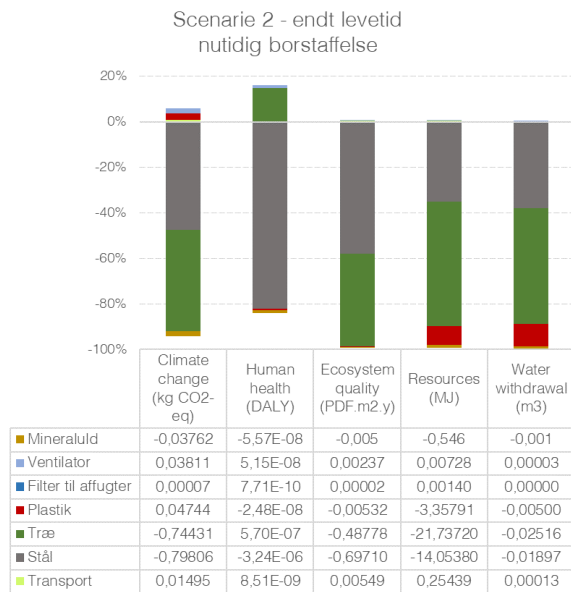
For den fremtidige bortskaffelse i scenarie 3, er der en forringelse af godskrivningen af træfiberisolering, trods det var forventet at godskrivningen ville være større ved genbrug/genanvendelse frem for forbrænding. På figur 40 og 41 ses det, at godskrivningen af miljøpåvirkningen for træfiberisolering er størst for den nutidige bortskaffelse i fire ud af de fem endpoint kategorier. Det er kun ift. *Ecosystem quality*, hvor der er en mindre fordel til den fremtidige bortskaffelse.

Udover mineralulds- og træfiberisolering så er bortskaffelsesmetoderne for de resterende materialer ens. Ud fra figur 38, 39, 40 og 41 ses det, at det især er plastik, træ og stål, som har de største indvirkninger i fordelingen af alle materialerne samt de største godskrivninger i de forskellige endpoint kategorier.

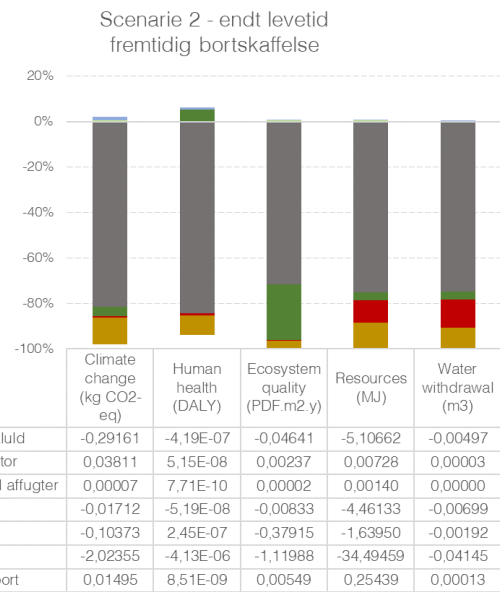
Det ses, at der for den fremtidige bortskaffelse sker en forbedring af godskrivningen for alle fem endpoint kategorier for plastik.

Ved den fremtidige bortskaffelse for træ gælder det, at der er en mindre godskrivning af materialet. Dette er på trods af, at der ved den fremtidige bortskaffelse er en forøgelse af genanvendelsesandelen, der reguleres fra 25% i den nutidige til 75% ved den fremtidige bortskaffelse. Dette er gældende for både scenarie 2 og 3 (figur 38, 39, 40, 41).

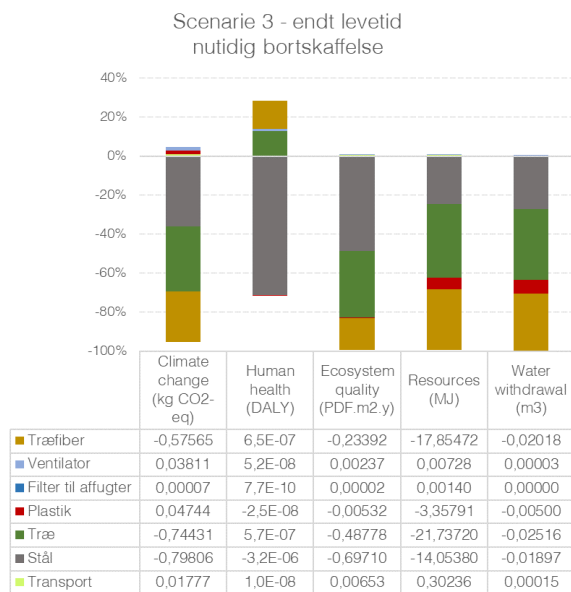
Stålet har den største godskrivning af alle materialerne, for alle fem endpoint kategorier, ved den fremtidige bortskaffelse. For den nutidige bortskaffelse har stålet også den største godskrivning i alle endpoint kategorierne, undtagen *Resources*, hvor træ har en ca. 1,5 gange større godskrivning. For *Climate change* godskrives -798 g CO<sub>2</sub>-eq for den nutidige bortskaffelse af stålet, hvor der for den fremtidige bortskaffelse af stålet godskrives -2.024 g, hvilket er over en fordobling.



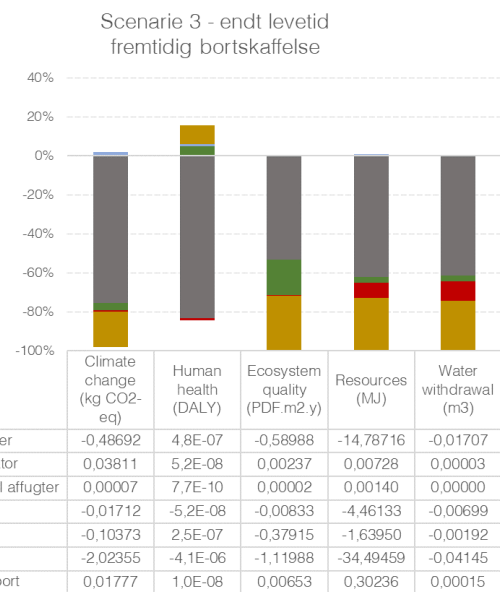
Figur 38 - Endt levetid for nutidig bortskaffelse ved scenarie 2 - sammenligning af de forskellige referenceflows



Figur 39 - Endt levetid for fremtidig bortskaffelse ved scenarie 2 - sammenligning af de forskellige referenceflows



Figur 40 - Endt levetid for nutidig bortskaffelse ved scenarie 3 - sammenligning af de forskellige referenceflows



Figur 41 - Endt levetid for fremtidig bortskaffelse ved scenarie 3 - sammenligning af de forskellige referenceflows

## 4.5.6 Fejlkilder

Der kan være fejlkilder forbundet med de resultater, der er i denne rapport og disse fejlkilder er essentielle at forholde sig til. Fejlkilderne optræder på baggrund af de antagelser, der er foretaget i løbet af rapporten.

En fejlkilde kunne være, at energiforbruget til ventilatorerne i affugterenhederne er forskellige ift. hvilken orientering de har i bygningen.

Denne fejlkilde kan betyde, at energiforbruget vil være anderledes end antaget i denne rapport. Det vil dog ikke have indflydelse på forskellen mellem scenarie 2 og 3, da energiforbruget for affugterne vil være gældende i begge scenarier.

En anden fejlkilde kunne være, at antallet af affugterenheder der er regnet for i denne rapport, vil være anderledes i praksis. I denne rapport er der taget udgangspunkt i at hver affugter dækker et areal på 13,5 m<sup>2</sup>, trods de

maksimalt kan dække et areal på 15 m<sup>2</sup>. Derudfra kunne det tænkes, at der reelt set skal færre eller flere antal affugterenheder til at affugte Union Canning, grundet bygnings specifikke udformning.

En tredje fejlkilde kunne være, at ventilatorerne i affugterenhederne om nogle år vil være forbedret, således levetiden vil blive forøget, og færre udskiftninger af affugterenhederne vil være nødvendigt. Herudover kunne det tænkes, at materialeforbruget pr. affugterenhed vil være mindre, samt at energiforbruget pr. affugter vil være formindsket.

Generelt gælder det for antagelserne i denne rapport, at de er foretaget på baggrund af indsamlet data, men det har ikke været muligt at finde data på alt. Derfor vil antagelserne være fejlkilder af større eller mindre grad.

## 4.6 Det sociale aspekt

Den anden dimension af bæredygtighedsbegrebet er det sociale aspekt, som berører alle de humane påvirkninger, der forekommer ved de forskellige renoveringsscenarier. I den vestlige del af verden opholder mennesker sig 90% af tiden indenfor i bygninger og en gennemsnitlig arbejdsuge i Norge ligger på 37,5 timer iht. de norske overenskomster [14] [72].

Opholdet i diverse kontormiljøer danner altså hverdagen for mange mennesker. På denne måde spiller bygninger generelt en stor betydning i den daglige trivsel for mange. Derfor er det vigtigt at indtænke den sociale dynamik i et byggeri fra start af og denne skal kunne understøttes og vedligeholdes når byggeriet står færdigt. Når fokus er på renoveringer, er det typisk energien, der er den afgørende faktor for de beslutningstagende, hvor imod tankerne omkring et socialt løft sjældent er konkretiseret [73].

Det er derfor vigtigt med en øget bevidsthed om den sammenhæng bygningen skal indgå i. Union Canning er som nævnt en ældre hermetikfabrik som gennem en renovering skal transformeres til en tegnestue. Når der er tale om bæredygtige bygningsrenoveringer er det derfor vigtigt med en holistisk tilgang, da bæredygtighed dækker mange forskellige områder som er i symbiose med hinanden. I det følgende vil de tiltag, der er foretaget, med henblik på det sociale aspekt, gennemgås med et holistisk perspektiv. Union Canning skal gennem transformation gennemgå en energirenovering, således det bliver muligt at benytte bygning til kontor. Ved en energirenovering forstås det, at klimaskærmen isoleres med henblik på at spare energi i brugsfasen.

Indeklimaet er en betydningsfuld faktor for en bygnings funktionalitet. De fælles tiltag i hht. efterisolering af tag, terrændæk og udskiftning af vinduerne er i alle scenarierne med til at øge den termiske komfort, da direkte kuldestråling formindskes heraf. I forhold til direkte kuldestråling vil scenarie 2 og 3, være at foretrække frem for scenarie 1, hvor ydervæggene ikke efterisoleres. De komfortmæssige aspekter af indeklimaet som har stor betydning for den sociale del af bæredygtighedsbegrebet dækker over akustik, termisk komfort og dagslys. Dette er alle aspekter, der kan have stor betydning for velvære og sundhed på arbejdspladserne [74].

Designforslaget i denne rapport bygger på, at de ældre vinduespartier udskiftet med nogle større partier med en oplukkelig del, således naturlig ventilation muliggøres. Det øgede luftskifte er også med til at forbedre luftkvaliteten ved en reducere af CO<sub>2</sub>-koncentrationen i kontorlokalerne [74]. Ydermere er de større vinduespartier med en lystransmittans på 0,75 med til at sikre indtrængning af naturligt dagslys, hvilket også kan være med til at forbedre den sociale bæredygtighed. I den anerkendte tyske certificeringsordning for bæredygtighed, DGNB, er dagslys og udsyn vigtige faktorer for den samlede bæredygtighedsvurdering [75]. Dette har en afgørende betydning for brugerens komfort, idet de kan følge dagsrytmen og vejrforholdene. Den visuelle komfort har stor betydning for den sociale bæredygtighed [75].

Da bygningen har stået ubenyttet og dermed uopvarmet i en længere periode, er et af indeklimatiltagene i denne rapport, at bygningen gennemgår en skimmelsanering. Dette tiltag er uafhængigt af om ydervæggene isoleres indvendigt eller ej. Skimmelsaneringen vil sikre et

indeklima uden skadelige stoffer i indeluften, som f.eks. skimmelsporer, da dette kan have betydning for medarbejdernes sundhed

Da opfattelsen af et godt indeklima er individuelt, er der foretaget en mulighed for en brugertilpasning ved manuel regulering af luftskiftet og den kunstige belysning i arbejdsområdet. En brugertilpasning kan være med til at øge den sociale bæredygtighed på arbejdspladsen.



## 4.7 Det økonomiske aspekt

Den tredje dimension af bæredygtighedsbegrebet er det økonomiske aspekt. Der er i denne rapport ikke foretaget en fuldstændig totaløkonomisk beregning af omkostningerne i forbindelse med de tre forskellige renoverings-scenarier, da det har været for omfattende ift. rapportens omfang og hovedformål. Et totaløkonomisk perspektiv indebærer beregninger af nutidsværdien for investeringen og om investeringen økonomisk set kan betale sig på længere sigt.

Det økonomiske aspekt i denne rapport vil omhandle anlægsomkostningerne af materialer og mandetimer i opførelsesfasen, brugsfasen og endt levetid, samt afledte omkostninger til driften af bygningen i brugsfasen. Omkostningerne for de tre renoveringsscenarier vil blive sammenlignet på baggrund af priserne for mandetimer, elektricitet samt materialer, som de er i dag. Det vil på den måde være et statistisk billede af omkostningerne der vises.

Omkostningerne er omregnet fra NO til DKK inkl. moms, som er på 25% for de fleste varer og tjenester i Norge [76]. Der er valgt at regne priser inkl. moms, fordi det er uden for rapportens omfang at undersøge skattemæssige regler for priser inkl. eller ekskl. moms på håndværkere og byggematerialer i Norge. På denne måde, skabes der et mere generisk billede af omkostningerne for produktsystemerne, som vil kunne benyttes i andre sammenhænge af bygningsrenoveringer og -transformationer. I Danmark kan der være fradrag på byggematerialer, hvis virksomheden, der foretager renoveringen, har til hensigt selv at benytte den efterfølgende [77].

I det følgende vil de forskellige omkostninger for de tre scenarier blive gennemgået, hvor de slutteligt vil blive sammenlignet.

### 4.7.1 Anlægsomkostninger

#### Materialer

Materialeomkostningerne for opførelsen af RetroWall systemet ligger på 1.031 DKK inkl. moms pr. m<sup>2</sup> vægareal [28].

Dette er en engangsomkostning der forekommer i opførelsesfasen og er gældende for hele bygningens levetid. Materialeomkostningerne, der kun er gældende scenarie 2 og 3, svarer til 608 DKK pr. m<sup>2</sup> etageareal for 50 år. Udregningerne kan ses i bilag 12.

Materialeomkostningerne for udskiftningen af affugterenhederne i brugsfasen er på 3.125 DKK inkl. moms pr. affugterenhed. Når der tages højde for tre udskiftninger af affugterenhederne pr. 13,5 m<sup>2</sup> vægareal i løbet af brugsfasen, så omregnes materialeomkostningerne herfor til 410 DKK inkl. moms pr. m<sup>2</sup> etageareal for 50 år. Disse omkostninger vil foreligge løbende i bygningens brugsfase og er kun gældende for scenarie 2 og 3. Udregningerne kan ses i bilag 12.

#### Mandetimer

Omkostningerne for mandetimer er samlet for opførelsesfasen, brugsfasen og endt levetid, hvor de er inddelt i håndværkergrupper af tømrere, elektrikere samt malere. Timelønnen for håndværkerne er baseret på norske lønninger, hvorefter de er omregnet til DKK inkl. moms [78]. Timelønningerne inkl. moms er 370 DKK for en tømrer, 539 DKK for en elektriker og 289

DKK for en maler [79]. Når mandetimerne for livscyklusfaserne summeres og multipliceres med de respektive timelønninger, bliver omkostningerne 2.367 DKK pr. m<sup>2</sup> etageareal for 50 år. Dette er en samlet omkostning, som er fordelt over alle livscyklusfaserne, og er kun gældende for scenarie 2 og 3. Udregningerne kan ses i bilag 08.

## 4.7.2 Afledte omkostninger

### Energirammer

Omkostningerne ved opvarmning af bygningen for scenarierne er fundet på baggrund af de respektive energirammer og den norske elektricitetspris, som i Stavanger på 0,3742 NOK/kWh, svarende til 0,2881 DKK/kWh [80]. De afledte omkostninger forbundet med energirammerne pr. m<sup>2</sup> etageareal for 50 år er; 1.959 DKK for scenarie 1, 1.448 DKK for scenarie 2 og 1.459 DKK for scenarie 3. I praksis er dette en løbende omkostning, men grundet den funktionelle enhed er omkostningen her angivet som én samlet. Udregningerne kan ses i bilag 12.

### Energiforbrug til affugterenhederne

Energiforbruget forbundet med affugterenhederne er 195,41 kWh/m<sup>2</sup> etageareal for 50 år. Med udgangspunkt i den samme

elektricitetspris som for energiforbruget til energirammerne, så vil omkostningerne til energiforbruget til affugterenhederne være 56 DKK/m<sup>2</sup> etageareal for 50 år. Denne omkostning vil kun være tilknyttet brugsfasen for scenarie 2 og 3, på samme måde som for energirammerne. Udregningerne kan ses i bilag 12.

## 4.7.3 Overblik over omkostningerne

Tabel 18 viser et overblik over de forskellige omkostninger for reoveringsscenarierne.

Da der er forskellige etagearealer for scenarie 1 (724,27 m<sup>2</sup>) og scenarie 2 og 3 (704,87 m<sup>2</sup>), er der også valgt at udregne en samlet pris for hele Union Canning for de tre scenarier. Det ses, at de samlede omkostninger for scenarie 2 og 3 er over det dobbelte af de samlede omkostninger for scenarie 1. Set ud fra et rent økonomisk perspektiv, så vil scenarie 1 være at foretrække, da omkostningerne her er betydelige mindre. Omkostningerne for scenarie 1 vil falde løbende, hvorimod størstedelen af omkostningerne for scenarie 2 og 3 vil falde i starten af opførelsesfasen. At omkostningerne falder i starten betyder, at bygherren *Helen & Hard* skal betale størstedelen af omkostningerne i starten, frem for at have løbende omkostninger, som er mere fordelagtigt for investoren.

OMKOSTNINGER	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3
<b>Energiramme, pr. FU</b>	1.959 DKK	1.448 DKK	1.459 DKK
<b>Energi til affugterenhed, pr. FU</b>		56 DKK	56 DKK
<b>Materialer til RetroWall System, pr. FU</b>		608 DKK	608 DKK
<b>Materialer til udskiftning af 3 affugterenheder, pr FU</b>		410 DKK	410 DKK
<b>Mandetimer</b>		2.367 DKK	2.367 DKK
I alt, pr. m <sup>2</sup> etageareal, 50 år (FU)	<b>1.959 DKK</b>	<b>4.889 DKK</b>	<b>4.900 DKK</b>
I alt, hele Union Canning, 50 år	<b>1.418.845 DKK</b>	<b>3.446.109 DKK</b>	<b>3.453.863 DKK</b>

Tabel 18 - Samlet overblik over omkostningerne forbundet med de tre reoveringsscenarier



5

# Diskussion



## 5.1 De 3 bæredygtighedsaspekter

Med udgangspunkt i de anvendte begrebers definition i afsnittet '2. State of the art' og på baggrund af de opnåede resultater fra foregående afsnit, er der en række emner der med fordel kan diskuteres. Dette gøres med henblik på at skabe en mere fyldestgørende forståelse af resultaterne fra LCA undersøgelser af de tre renoveringsscenarier.

### 5.1.1 Validitet af LCA resultaterne

#### Etagearealer

Som nævnt i afsnit '4.1.5 Energirammeberegninger' er der blevet regnet med nettoetagearealer frem for opvarmede etagearealer (bruttoetagearealer) i energirammeberegningerne samt i den resterende del af rapporten. Dette vil ikke have betydning for rangordenen af resultaterne, men have betydning for de konkrete værdier herfor.

Ved benyttelse af bruttoetagearealer frem for nettoetagearealer vil der forekomme lavere energirammer for alle scenarier. Differencen mellem energirammen beregnet på baggrund af netto- og bruttoetagearealer for alle scenarierne er omtrent den samme.

Udregningen af væg/gulv ratioen ud fra bruttoetagearealet vil også blive lavere end ved nettoetagearealet, hvilket medfører lavere materialemængder og dermed lavere miljøpåvirkninger.

Generelt gælder det derfor, at der ved brug af bruttoetagearealerne frem for nettoetagearealerne vil forekomme en større fordel for renoveringsscenarierne 2 og 3 frem for 1 (reference-scenarie), end resultaterne viser i denne rapport.

#### Opførelsesfasen

Data for RetroWall systemet vedrørende materialer og mængder, bygger på pilotprojektet beskrevet i metodeafsnittet. Grundet forskelligheder i udformningen af ydervæggene i pilotprojektet og i Union Canning, kan det forestilles, at der er nogle usikkerheder forbundet med materialemængderne pr. m<sup>2</sup> væg. I pilotprojektet sidder vinduerne og brystningen forskudt ift. væggen, hvilket giver et forøget areal ift. Union Canning, hvor vinduerne og væggen er i samme plan.

For at opnå en fælles funktionel enhed mellem energiforbruget til opvarmning af etagearealet og materialemængderne til produktsystemerne for vægarealet, har det været nødvendigt at beregne en væg/gulv ratio. Denne har til formål at gøre enhederne sammenlignelige. For scenarie 2 og 3, er der taget højde for, at etagearealet formindskes når den indvendige efterisolering tilføres. Dette er med til at give et mere detaljeret beregningsgrundlag og give et mere korrekt resultat af miljøpåvirkningerne.

#### Brugsfasen

I brugsfasen er det energiforbruget til opvarmning af bygningen der har den største indvirkning på de samlede miljøpåvirkninger efterfulgt af energien til affugterenhederne. Materialemængderne har herimod stort set ingen indvirkning på de samlede miljøpåvirkninger.

Det norske energimix i QS2.0 er fra databasen Ecoinvent 2.2, der stammer fra år 2000. Da energien til brugsfasen har den største indvirkning på de samlede miljøpåvirkninger, er det nødvendigt at forholde sig kritisk til det data QS2.0 bygger på ift. hvordan tallene ser ud i

dag. Som skrevet i afsnit '1.4 Norges energisammensætning', består Norges energiproduktion i dag af 98% vandkraft. Forsyningselektriciteten består af 15% el fra Norge, hvor de resterende 85% er importeret fra andre nordeuropæiske lande. Denne fordeling stammer år 2015 [11].

I QS2.0 består den norske forsyningselektricitet af 98% vandkraft og 1% importeret elektricitet. Elektriciteten indtastet i QS2.0 er derfor betydelig mindre miljøbelastende end i dag. 1 kWh el i QS2.0 fra 2000 udleder 32,5 g CO<sub>2</sub>-eq, hvor 1 kWh fra 2014 udleder 348,6 g CO<sub>2</sub>-eq, som beregnet i afsnittet '1.4 Norges energisammensætning', (se også bilag 01) [10] [11].

De miljømæssige påvirkninger fra de tre renoveringsscenarier, som er analyseret i det forrige afsnit '4.5 Interpretation & results', er derfor mindre end hvis QS2.0 havde haft data tilgængeligt fra 2014. Dette har dog ikke betydning for rangordenen af miljøpåvirkningerne, da dette blot vil parallelforskyde de overordnede resultaterne, så de konkrete miljøpåvirkningerne vil være højere. Da energien i brugsfasen har den største indvirkning på de samlede miljøpåvirkninger, vil denne data på den norske energimix tilgængelig i QS2.0 afbillede de samlede miljøpåvirkninger for renoveringsscenarierne meget mindre miljøbelastende end de i virkeligheden vil være. Det skyldes, at energimixet i QS2.0 er omtrent en faktor 10 bedre end den tilgængelige data fra 2014.

Når der udelukkende ses på RetroWall systemet i brugsfasen, har energien til affugterenheden den største indvirkning, hvorfor antagelserne foretaget omkring udskiftning og vedligeholdelse ikke har en betydende indvirkning på de samlede miljøpåvirkninger.

Ses der bort fra affugterenhedernes energiforbrug, er det materialerne til udskiftningen af affugterenhederne, der har den største

indvirkning på resultaterne for brugsfasen. Derfor er antagelserne vedrørende levetiden og driftstiden pr. dag for affugterenhederne af stor betydning for resultaterne. Grundet antagelsen om en gennemsnitsbetragtning for driftstiden pr. dag ud fra data på pilotprojekterne, og ISO-VER's forventede levetid for affugterenhederne, formodes det, at antagelserne herom er valide og ikke har nogen betydende indflydelse på resultaterne.

### Endt levetid

I denne rapport, arbejdes der med to bortskaffelsescenarier; et som repræsenterer de nutidige bortskaffelsestendenser og -processer og et som beskriver de fremtidige. Der er mange usikkerheder forbundet med scenarieudvikling og det er derfor vigtigt, at grundige overvejelser er foretaget for usikkerhedernes betydning for det endelige resultat.

Antagelserne der ligger til grund for opbygningen af den fremtidige bortskaffelse, er foretaget ud fra en beskrevet udvikling i rapport af C. Fischer og M. Werge [62], samt grundigt overvejede antagelser. Dette anses for at give et plausibelt billede af de fremtidige forhold for bortskaffelsen af de forskellige byggematerialer.

Ud over ændringen af genanvendelse og genbrug af materialerne, er der antaget, at energien der krediteres for i den fremtidige bortskaffelse består af ren vindenergi, hvor der for bortskaffelsen i den nutidige bortskaffelse benyttes norsk energimix med high voltage. I QS2.0 udleder vindenergi 11,4 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh hvor der for high voltage udledes 34,5 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh. Forbedringen af energien i den fremtidige bortskaffelse gør, at der ikke krediteres lige så meget CO<sub>2</sub>-eq som ved den fremtidige

bortskaffelse, men det skaber et mere realistisk billede af virkeligheden om 50 år.

Som erfaret i afsnit '4.5 Interpretation & results' under resultater, har udviklingen i bortskaffelsen en minimal betydning for det samlede resultat af miljøpåvirkningerne for alle faserne i livscyklusvurderingen. Dog ses der en større andel, der godskrives i den fremtidige bortskaffelse for scenarie 2 og 3 for de materialer, hvor der er taget højde for i en dynamisk udvikling.

For ventilatorerne samt filtrene til affugterenhederne, har det ikke været muligt at opbygge en fremtidig bortskaffelse, og derfor er bortskaffelsesmetoden ens i den nutidige og fremtidige bortskaffelse. Dette er uden den store betydning for det samlede resultat, da disse to produkter udgør en lille andel af de samlede miljøpåvirkninger ved opførelsen.

Overordnet set anses antagelserne for udviklingen af bortskaffelsen som værende valide og skaber et realistisk billede af udviklingen.

### Til videre undersøgelse

I denne LCA er der set på en partielt dynamisk udvikling i bortskaffelsen af materialerne om 50 år. I afsnit '4.5 Interpretation & results' viste det sig, at udviklingen i bortskaffelsesmetoderne ikke havde en betydende indvirkning på de samlede miljøpåvirkninger. Det blev konstateret, at det var energiforbruget til opvarmningen af bygningen, der havde den afgørende betydning for de samlede miljøpåvirkninger.

Til en videre undersøgelse af denne LCA, kunne det være interessant at se på udviklingen af energisammensætningen for den norske forsyningselektricitet i brugsfasen, for at skabe et mere fyldestgørende resultat. Som tidligere nævnt viste det sig også, at QS2.0's data for den norske energimix fra år 2000 har en meget

lavere miljøpåvirkning (< faktor 10) end data fra år 2014. Ved at anskue denne udvikling i det norske energimix siden år 2000 og inkorporere udviklingen af energiudvekslingen mellem de nordeuropæiske lande, kan det tænkes, at der vil være en betydelig forskel mellem et nutidigt statisk energimix og et fremtidigt dynamisk energimix.

Det kunne være interessant at foretage en dynamisk udvikling af den norske forsyningselektricitet for at undersøge, om energien vil have en større miljøpåvirkning grundet udvekslingen af el. Omvendt kunne det også tænkes, at udveksling af el vil nå et punkt, hvor miljøpåvirkningerne ikke forværres men forbedres, da andelen af produktionen af vedvarende energi i andre europæiske lande stiger, således at den norske forsyningselektricitet vil blive mindre miljøbelastende.

Opbygningen af den dynamiske udvikling tænkes udført på samme måde som i studiet af J. L. Sohn et al., omkring udviklingen af det danske energimix op imod forøgelsen af isoleringstykkelser [15].

## 5.1.2 Vurdering af det sociale aspekt

I de senere år har der været fokus på at forbedre indeklimaet i byggeriet. Det har vist sig, at et bedre indeklima gør, at der arbejdes mere effektivt, samtidig med det også mindsker risikoen for sygdom [81]. I den vestlige del af verden opholder vi os indendørs i 90% af dagen, og derfor er et godt indeklima essentielt [14].

Når indeklimaet giver problemer skyldes det ofte træk, fugt, luftforurening, uhensigtsmæssige temperaturer og støj. En af de væsentligste forureninger er skimmelsvampe, hvilket kan have betydning for menneskets sundhed [82].



Indeklimaet har generelt stor betydning for den fælles trivsel, men det kan også have betydning i forhold til sygearbejdsdage på arbejdspladserne. Denne sammenhæng mellem et dårligt indeklima og sygearbejdsdage er i D.K. Milton et al. undersøgt og diskuteret [83]. Denne artikel beskriver en række undersøgelser foretaget i starten af 00'erne, vedrørende opfattelsen af indeklimaet holdt op imod antallet af sygearbejdsdage. Artiklens undersøgelse er foretaget på baggrund af 994 registrerede sygearbejdsdage for 3.720 medarbejder i en virksomhed beliggende i Massachusetts, med forskellige jobfunktioner, i 40 bygninger med 115 uafhængige ventileret områder [83].

Ud fra undersøgelserne blev der fundet en sammenhæng mellem antallet af sygearbejdsdage og lavere niveauer af luftforsyning. Blandt kontromedarbejderne var antallet af sygearbejdsdage 3,57% højere ved et luftskifte mindre end det moderate luftskifte på 11,8 l/s/person i referencekontoret. De 3,57% inkluderer også sydarbejdsdage grundet klager af Indoor Environmental Quality (IEQ), som omhandler den indendørs miljøkvalitet. IEQ beskriver betingelserne inde i bygningen og kan omfatte luftkvalitet, dagslys, udsyn og akustisk [84].

I artiklen anslås det, at omkostningerne til sygearbejdsdage, der kan henføres til dårligt indeklima, koster 480 dollar pr. ansat pr. år hos Polaroid, som er den virksomhed undersøgelserne er foretaget for. Når omkostningen for en simpel renovering holdes op imod den tabte arbejdskraft pga. sygearbejdsdage, tyder resultaterne på, at en nettobesparelse kan opnås med en forbedring af indeklimaet. Undersøgelserne der refereres til i artiklen er foretaget for bygninger i USA. Hvis der ses på den nationale skala for USA, oplyser artiklen om en betydelig morbiditet og tabt produktivitet, som vil løbe sig op på 22,8 milliarder dollar om året, grundet dårligt indeklima [83].

Dette er interessant at overveje i et totaløkonomisk perspektiv ift. Union Canning. Totaløkonomi drejer sig ikke kun om byggeriets umiddelbare omkostninger, men omfatter også alle fremtidige udgifter omkring byggeriets drift i en bæredygtig sammenhæng. I dag er der ingen tradition for at indarbejde indeklimaet som en parameter i et byggeris eller en virksomheds totaløkonomi, trods kendskab til at indeklimaet har en betydelig indflydelse på medarbejdernes produktivitet [85]. For vidensvirksomheder, såsom tegnestuer, går op til 80-85% af de samlede udgifter til medarbejdernes lønninger, mener Kasper Lyng Jensen, sektionsleder på Center for Indeklima og Bygningsundersøgelser, Teknologisk Institut og netværksleder for InnoBYG [86]. Holdes dette op imod artiklen af D.K. Milton et al., vil det på længere sigt være en fordel at renovere med henblik på at forbedre indeklimaet, da antallet af sygearbejdsdage formindskes og produktiviteten vil øges. Indeklimaet i byggeriets eller en virksomheds totaløkonomi bør derfor sættes på lige vægt med andre faktorer såsom energibesparelser og miljøpåvirkninger ved renoveringer.

Kasper Lyng Jensen har udtalt sig om den manglende fokus på indeklimaet i bygninger:

*"Det er ikke længere muligt at differentiere sig på lavenergi byggeri. Nu er turen kommet til at vende det seriøse øje mod indeklimaet."*

Kasper Lyng Jensens udtalelse herom, er rent forskningsmæssigt påvist, i D.K. Milton et al., hvor sammenhængen mellem indeklima, produktivitet og totaløkonomi blev holdt op mod hinanden. Problemet i dag opstår når bygherrer ser udgifterne ved forbedringer af indeklimaet, udelukkende ift. energibesparelsen. Med totaløkonomiske briller på, vil synsvinklen ændre

sig og udgiften ved indeklimaforbedringerne ses som en investering, der kan betale sig på længere sigt ift. medarbejdernes produktivitet, sygearbejdsdage og velvære.

Ved at holde artiklen af D.K. Milton et al. op imod denne rapports case på Union Canning, kan antallet af sygearbejdsdage tænkes formindsket ved installation af RetroWall systemet, da der herved sker en affugtning mellem den eksisterende ydervæg og efterisoleringen, så risikoen for skimmelsporer formindskes.

### Til videre undersøgelse

En artikel af W. Collinge et al., omhandler en livscyklusvurdering med fokus på typiske sygdomme grundet indeklimaet (IEQ). LCA'en omfatter mere præcist kemiske virkninger direkte inkluderet i livscyklusvurderingen på sundhedskategorier som konsekvens af indeklimaet, samt produktivitet og præstation [87].

Til videre undersøgelse kunne det være interessant at inkorporere nogle af de hyppigste sygdomsfaktorer vedrørende dårligt indeklima, skimmel, allergi og direkte kuldestråling ind i LCA'en. Dette kunne eksempelvis være at inkludere endpoint kategorier såsom Respiratory Illness og Sick House Syndrome. Således kan man undersøge de faktorer der har indflydelse på medarbejdernes produktivitet og sygearbejdsdage som en del af livscyklusvurderingen. På denne måde vil LCA'en kunne guide bygningsdesign og ledelsesbeslutninger mod et mere bæredygtigt fokus, der både tager højde for den miljømæssige og sociale bæredygtighed.

### 5.1.3 Vurdering af det økonomiske aspekt

De antagelser der er foretaget omkring mandetimerne til opførelsen, vedligeholdelsen samt nedrivningen af RetroWall systemet, er foretaget på baggrund af oplyst data fra pilotprojektet, og ligger til grund for udregningerne af de samlede omkostninger. Prisen for RetroWall systemet og affugterenhederne er antaget af Kristian Koldtoft ud fra en forventet pris på produktet når det kommer på markedet [28].

### Pris på RetroWall systemet

Priserne for materialerne for RetroWall systemet er regnet ens for scenarie 2 (mineraluld) og 3 (træfiberisolering), på baggrund af den oplyste pris hvor isoleringsmaterialet er ISOVER  $\lambda 30$ . Prisen for Rockwool isolering ligger på ca. 39 DKK/m<sup>2</sup> og prisen for Gutex Thermoroom ligger på ca. 129 DKK/m<sup>2</sup> [88] [20]. Det kan diskuteres hvorvidt der egentligt ville være en forskel i prisen på baggrund af de to forskellige isoleringsmaterialer.

Prisforskellen burde derfor resultere i en lavere materialepris for scenarie 2 sammenlignet med scenarie 3. Dette vil betyde, at de samlede omkostninger for scenarie 2 pr. FU vil blive endnu mindre end scenarie 3, som i forvejen er lavere, grundet energirammen. Antagelsen om at beregne prisen for materialerne til RetroWall systemet ens for de to scenarier medbringer derfor en usikkerhed ift. den prisforskel der er på de to isoleringsprodukter. Den samlede pris pr. FU kan derfor ende med at blive dyrere for scenarie 3 og billigere for scenarie 2.

## Pris på mandetimer

Antallet af mandetimerne der går til opsætning af RetroWall systemet, er som beskrevet i afsnittet '4.7 Det økonomisk aspekt' antaget ud fra pilotprojektet. Her bliver der brugt 65 timer til at opsætte en 10 m<sup>2</sup> væg. Det kan diskuteres hvorvidt de 65 timer er repræsentative for andre projekter, grundet det for et pilotprojekt kunne tænkes, at der ville blive brugt ekstra tid på monteringen, for at sikre en ordentlig opsætning. Det kunne også tænkes, at der for et større projekt, som Union Canning, ville blive brugt færre timer pr. m<sup>2</sup> vægopsætning end for pilotprojektet. Dette er tænkt på baggrund af, baggrund af pilotprojektet, hvor der kan være usikkerheder forbundet med.

Som tidligere nævnt, er antallet af mandetimer til opførelsen af væggen ens, men da dette vurderes at være sat for højt, vil det betyde at antallet af mandetimer til vedligeholdelsen også er for højt. Denne antagelse vil have en mindre betydning for brugsfasen end for opførelsesfasen, da antallet af mandetimer her er betydeligt lavere. Prisen for mandetimerne er antaget ud fra en typisk timeløn for de tilhørende håndværk i Norge. Ved at anskue prisen pr. time, kunne det tænkes, at der vil blive vist en højere pris, end hvis der blev givet et samlet tilbud på det samlede håndværksmæssige arbejde. Hvis de tidligere vurderede mandetimer og prisen

at det typisk er opstarten af opførelsesfasen, som tager længst tid. Herudfra vurderes antallet af mandetimer til opsætningen af RetroWall systemet at være for højt. Dette influerer også på prisen, da den vil blive reduceret ved et færre antal mandetimer.

Da det kun er mandetimer for opførelsen af RetroWall systemet der er tilgængeligt fra pilotprojektet, har det været nødvendigt at antage antallet af mandetimer der skal benyttes til at vedligeholde systemet i løbet af brugsfasen samt antallet af mandetimer til nedrivning ved endt levetid. Disse antagelser er foretaget på

herfor begge er sat for højt, så vil den samlede pris for mandetimer pr. FU være overestimeret.

## Til videre undersøgelse

I tilfælde af at formålet med renoveringen af Union Canning havde været, at bygningen skulle fremlejes, og at bygherren *Helen & Hard* ikke selv skulle benytte bygningen til egen tegnestue, så kunne det have været interessant at se på en totaløkonomisk beregning af renoveringen og lejeindtægterne. På den måde kunne det anslås, hvad lejeindtægterne skulle være for at renoveringen med RetroWall systemet kunne betale sig.

## 5.2 Hvordan måles bæredygtige byggerier i dag?

I dag findes der flere forskellige bæredygtige certificeringsordninger til nybyggeri og renoveringsprojekter. Disse måler på forskellige parametre for bæredygtighed. En af de populære certificeringsordninger i Norden er blandt andet den tyske DGNB, som er en valgfri certificering. I dag opstår flere og flere certificeringsordninger for bæredygtighed, uden nogen fælles retningslinjer [89]. De mange certificeringsordninger og forskellige håndteringer af begrebet vidner til, at der mangler et fælles sprog og en konkretisering af, hvad et bæredygtigt byggeprojekt indeholder.

I 2015 publicerede FN nogle nye verdensmål, som et bud på et fælles sprog for bæredygtighedsbegrebet. Verdensmålene skal fungere som en videreudvikling af *Bundtlandrapport* fra

1987, som har dannet rammerne for forståelse af de tre bæredygtighedsaspekter [1].

De bæredygtige politiske hensigter er formuleret i 17 verdensmål med 169 delmål som gælder fra 2015 og frem mod 2030. Formålet med disse verdensmål er, at skabe et fælles sprog for bæredygtighed inden for alle brancher. Disse mål forpligter alle FN-landene til skabe mere bæredygtig vækst på globalt plan. Tanken er at disse politiske hensigter skal gøre bæredygtighed mere målbart og fungere som et fælles sprog for alle bæredygtige tiltag.

Figur 42 viser FN's verdensmål med markering af de mål der har relevans for renoveringsprojekter, disse vil i det følgende beskrives og kobling herfor vil uddybes.



Figur 42 - Overblik over FN's 17 verdensmål, med markering af mål ift. nybyggeri og renoveringer [90]

De verdensmål som har den største indflydelse på renoveringsprojekter, er bla. verdensmål 7,11,12 og 13. Verdensmål *7 Bæredygtig energi* omhandler at det skal gøres muligt at have adgang til bæredygtigt energi. Med dette menes vedvarende energi der er til at betale for alle. Verdensmålet *11 Bæredygtige byer og lokalsamfund* omhandler adgang til ordentlige bygninger og generelt gøre byer mindre forurenende. Målet er relevant ift. at revurdere brugen af materialer i byggebranchen, til fordel for brugen af mere bæredygtige byggematerialer. Dette mål også indflydelse på energirenoveringer af bygninger med henblik på at mindske driftsenergien. Herudover gælder verdensmålet *12 Ansvarligt forbrug og produktion*, som er en fortaler for bæredygtig produktion af materialer. Dette kan afspejles i forhold til isoleringsmaterialerne der er undersøgt for i scenarie 2 og 3, hvor det ud fra resultaterne kunne ses at

træfiberisolering havde den mindske udledning i hht. de undersøgte endpoint kategorier. De nævnte verdensmål kan opsummeres under verdensmålet *13 Klimaindsats*, der omhandler det at bekæmpe klimaforandringer og deres konsekvenser. Dette kan gøres gennem bæredygtige renoveringer, hvor man kan forlænge en bygnings levetid markant med et mindre materialeforbrug ift. nybyggeri [90].

FN's verdensmål dækker over mange ting og kan derfor være svære at forholde sig til inde for ét konkret emne. Hvis der blev udarbejdet en fælles certificeringsordning for et bæredygtigt byggeri, så kunne det være med til at skabe et fælles sprog og en bedre udvikling af bæredygtighed verden over. Dette vil kunne opretholde et minimumskrav for bæredygtige byggerier og herved gøre begrebet mere målbart og konkretiseret.

## 5.3 Opsummering

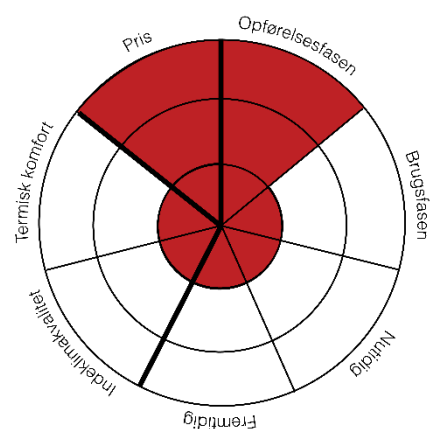
I dette afsnit vil der foretages en opsummering af de tre bæredygtighedsaspekter, med en samlet vurdering af de tre renoveringsscenarier. Ud fra tre radardiagrammer med udgangspunkt i MPU-guiden, er de miljømæssige, økonomiske og sociale aspekter vurderet på en score fra 1-3, hvor 3 er bedst [91]. Når disse summeres, vil renoveringsscenariet med den højeste score, være at foretrække. Radardiagrammerne ses i figur 43-45.

Den største miljøpåvirkning er udledning fra scenarie 1, grundet den markant større energiramme sammenlignet med scenarie 2 og 3. Forskellen mellem scenarie 2 og 3 ligger i at træfiberisoleringen har den mindste miljøpåvirkning sammenlignet med mineraluld i alle tre livscyklusfaser. Dette er på trods af, at scenarie 3 har en anelse mindre miljøpåvirkning ift. energirammen.

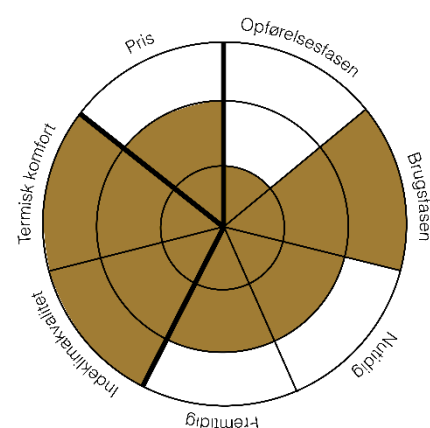
De laveste omkostninger foreligger i scenarie 1, hvor prisen for den ekstra mængde elektricitet ift. energirammen, er langt mindre, end prisen for elektricitet, materialer og mandetimer i scenarie 2 og 3.

Betragtes det sociale aspekt, ift. termisk komfort og indeklimakvalitet, er scenarie 1 ikke at foretrække, grundet de kolde ydervægge vil skabe gener i form af kuldestråling. Forskellen mellem scenarie 2 og 3 er minimal, dog med en mindre fordel til scenarie 2, grundet usikkerheden i om træfiberisolering danner gode vækstbetingelser for skimmelsporer i RetroWall systemet.

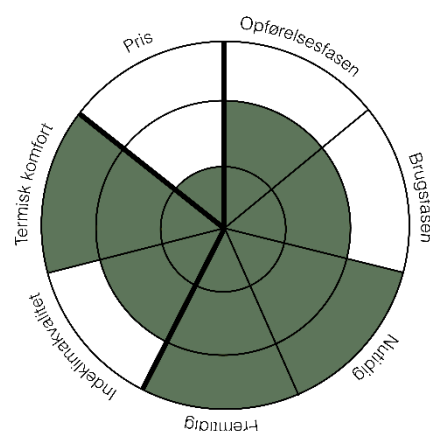
Det ses overordnet, at energirenoveringer er at foretrække når alle tre aspekter af bæredygtighed tages i betragtning. Forskellen mellem scenarie 2 og 3 er minimal, med en mindre fordel til scenarie 2 med mineraluldsisolering.



Figur 43 – Radardiagram, scenarie 1 (referencescenarie)



Figur 44 - Radardiagram, scenarie 2 (mineraluldsisolering)



Figur 45 - Radardiagram, scenarie 3 (træfiberisolering)

## 5.4 Konklusion

I denne rapport er det undersøgt, hvorvidt en energirenovering af ydervæggene ifm. med en bygningstransformation af Union Canning er fordelagtig med henblik på energisammensætningen i Norge. Dette er foretaget på baggrund af en bæredygtighedsvurdering, hvor tre renoveringsscenarier er undersøgt med hovedfokus på det miljømæssige aspekt. Ydermere er der undersøgt hvilke sociale og økonomiske aspekt der er forbundet med renoveringsscenarierne.

Konklusionen af undersøgelserne er:

- I et miljømæssigt perspektiv har det vist sig, at en energirenovering er at foretrække med henblik på den norske energisammensætning. Da det er energiforbruget i brugsfasen som har den største indvirkning på de samlede miljøpåvirkninger, er det erfaret, at en energirenovering som mindsker energirammen er med til at formindske de samlede miljøpåvirkninger.
- I et miljømæssigt perspektiv har vist sig, at en renovering af ydervæggene med træfiberisolering er at foretrække fremfor mineraluldsisolering. Det blev erfaret, at miljøpåvirkningerne for træfiberisoleringen var højere i fire ud af fem endpoint kategorier, trods vægten af mineraluldsisoleringen var mindre end træfiberisoleringen.
- Den partielle dynamiske udvikling i bortskaffelsesmetoderne viste, at have en minimal indvirkning på de samlede miljøpåvirkninger. Udviklingen i bortskaffelsesmetoderne har derfor ingen betydende indvirkning for hvilket renoveringsscenarie der vælges.
- I et socialt perspektiv har det vist sig, at renoveringsscenarierne 2 og 3 er at foretrække med henblik på den termiske komfort og indeklimakvalitet, da det ud fra tidligere undersøgelser har vist sig, at en bedre termisk komfort og indeklimakvalitet øger produktiviteten på arbejdspladsen og sygearbejdsdage mindskes.
- I et økonomisk perspektiv foreligger der afledte omkostninger i form af energiforbrug for både renoveringsscenarie 1, 2 og 3, hvor der kun foreligger anlægsomkostninger i form af materialer og mandetimer for renoveringsscenarie 2 og 3. Renoveringsscenarie 1 vil derfor have de laveste samlede omkostninger.

Ud fra en samlet bæredygtighedsvurdering vil renoveringsscenarie 2 være at foretrække med en mindre fordel over scenarie 3.







6

# Referencer



## 6.1 Referencer

- [1] H. Birgisdottir, *Hvidbog om bæredygtighed i byggeriet*. 2013.
- [2] Energistyrelsen, "Bæredygtig renovering," 2017. [Online]. Available: <https://sparenergi.dk/forbruger/vaerktoejer/bygningsguiden/funkisvilla/baeredygtig-renovering>. [Accessed: 05-Oct-2017].
- [3] European Commission, "Buildings - European Commission," 2016. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>. [Accessed: 05-Oct-2017].
- [4] Grøn Forskel, "Bæredygtighed: Her er den ultimative gennemgang af begrebet," 2016. [Online]. Available: <https://groenforsk.dk/baeredygtighed/>. [Accessed: 05-Oct-2017].
- [5] F. Ardenete, M. Beccali, M. Cellura, and M. Mistretta, "Energy and environmental benefits in public buildings as a result of retrofit actions," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 460–470, Jan. 2011.
- [6] "Helen & Hard," 2017. [Online]. Available: <http://www.helenhard.no/>. [Accessed: 05-Oct-2017].
- [7] C. K. Haugvaldstad and M. T. Nielsen, "Implementing Matial Efficiency Strategies in the Early Design Phase - Life Cycle Assessment of an Alternative Design Proposal," 2016.
- [8] "Urban Sjøfront | Vi sikrer en positiv udvikling langs den urbane sjøfronten." [Online]. Available: <http://urbansjofront.no/>. [Accessed: 07-Oct-2017].
- [9] "Gatelangs i Hermetikbyen. Støperigata 4/6." .
- [10] Energistyrelsen, "Energistatistik 2015," 2015.
- [11] Norwegian water resources and energy directorate (NVE), "Electricity disclosure 2015 - NVE," 2017-06-26. [Online]. Available: <https://www.nve.no/energy-market-and-regulation/retail-market/electricity-disclosure-2015/>. [Accessed: 04-Dec-2017].
- [12] F. K. Energi-, "+ 100 års sammenhængende energisystemer." [Online]. Available: <http://efkm.dk/temaer/kabelforbindelser/>. [Accessed: 02-Dec-2017].
- [13] Dansk Standard, "DS/EN 15978:2012 - Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet - Beregningsmetode," 2012.
- [14] Energistyrelsen, "Bæredygtigt byggeri," 2015.
- [15] J. L. Sohn, P. P. Kalbar, G. T. Banta, and M. Birkved, "Life-cycle based dynamic assessment of mineral wool insulation in a Danish residential building application," *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 3243–3253, 2017.
- [16] Videncenter for energibesparelser i bygninger, "Energikravene i BR15 - En kvikguide til byggefagfolk om Bygningsreglementet 2015."
- [17] Energistyrelsen, "Bæredygtige byggematerialer," 2016.
- [18] "Stenuld - Energibesparelser," 2017. [Online]. Available: <https://www.energitjenesten.dk/stenuld.html>. [Accessed: 08-Oct-2017].
- [19] "Om træfiberisolering - Dansk Træfiberisolering." [Online]. Available: <http://traefiberisolering.dk/om-traefiberisolering/#brandsikkerhed>. [Accessed: 21-Oct-2017].
- [20] "GUTEX Thermoroom." [Online]. Available: <http://gutex.de/en/product-range/products/product/gutex-thermoroom/>. [Accessed: 21-Oct-2017].
- [21] Gutex, "Construction Recommendations Construction examples for roof, wall, floor and ceiling General information," 2014.

- [22] Kulturstyrelsen, "Energiforbedring af fredede og bevaringsværdige bygninger."
- [23] ISOVER, "Indvendig efterisolering af ydervæg med isolering fra ISOVER." [Online]. Available: <https://www.isover.dk/ydervaeg-indvendig>. [Accessed: 10-Oct-2017].
- [24] Statens Byggeforskningsinstitut, "SBI 224:2013 - Fugt i bygninger," 2013.
- [25] ISOVER, "Nye ISOVER-løsninger på Byggeri 2016," 2016. [Online]. Available: <https://www.isover.dk/nye-isover-loesninger-paa-byggeri-2016>. [Accessed: 10-Aug-2017].
- [26] ISOVER SAINT-GOBAIN, "Nyt system til komfortisolering af ældre bevaringsværdige bygninger - ISOVER RetroWall System," 2016.
- [27] ISOVER RetroWall System, "ISOVER RetroWall System," 2016. [Online]. Available: <https://www.isover.dk/RetroWall>. [Accessed: 08-Oct-2017].
- [28] K. Koldtoft (Saint-Gobain Denmark A/S, ISOVER), "Fortrolige oplysninger på ISOVER RetroWall System," 2017.
- [29] U. Andersen, "Minister: Bæredygtighed kan få plads i bygningsreglementet | Ingeniøren," 2017. [Online]. Available: <https://ing.dk/artikel/minister-baeredygtighed-kan-faa-plads-bygningsreglementet-206177>. [Accessed: 30-Oct-2017].
- [30] A. Ghose, S. J. McLaren, D. Dowdell, and R. Phipps, "Environmental assessment of deep energy refurbishment for energy efficiency-case study of an office building in New Zealand," *Build. Environ.*, vol. 117, pp. 274–287, May 2017.
- [31] "About Energy Norway," 2017. [Online]. Available: <https://www.energinorge.no/om-oss/in-english/>. [Accessed: 31-Oct-2017].
- [32] T. Potrča, K. M. Rebeca, F. Kneza, R. Kuničb, and A. Legata, "Environmental Footprint of External Thermal Insulation Composite Systems with Different Insulation Types," *Energy Procedia*, vol. 96, pp. 312–322, Sep. 2016.
- [33] C. K. Nielsen, "Ventileret facade på Union Canning - En analyse af fugt, skimmelsvamp, dagslys, energi og termisk indeklima," 2016.
- [34] C. K. Nielsen, "Undersøgelse af mulighed for indvendig isolering af Union Canning," 2017.
- [35] "Møde: Søren Peter Bjarløv, DTU Byg, 03-Oct-2017." .
- [36] "Møde: Toke Rammer Nielsen, DTU Byg, 12-Oct-2017." .
- [37] "Møde: Svend Svendsen, DTU Byg, 12-Oct-2017." .
- [38] DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND, "Geotermi og jordvarme." [Online]. Available: <http://www.geus.dk/DK/energy/geothermal-energy/Sider/default.aspx>. [Accessed: 15-Oct-2017].
- [39] Dansk Standard, "DS 418:2011 - Beregning af bygningers varmetab Calculation of heat loss from buildings," 2011.
- [40] Statens Byggeforskningsinstitut, "Be15 - Brugervejledning, version 8.4.26," 2016.
- [41] Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen, "Bygningsreglement 2015." [Online]. Available: <http://byggningsreglementet.dk/>. [Accessed: 12-Dec-2017].
- [42] VELFAC A/S, "VELFAC 200 ENERGY - det originale designvindue." [Online]. Available: <http://velfac.dk/vinduer-erhverv/Produkter/200i/>. [Accessed: 17-Dec-2017].
- [43] M. Paulsen, A. Lauridsen, B. Thielsen, K. Thun, and K. Larsen, "Renoveringsdesign - Bygningsdesign med LCA," 2015.
- [44] Direktoratet For Byggkvalitet, "§ 14-2. Krav til energieffektivitet - Direktoratet for byggkvalitet," 2017. [Online]. Available: <https://dibk.no/byggeregulene/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2/>. [Accessed: 09-Nov-2017].
- [45] Dansk Standard, "DS 447:2013 - Ventilation i bygninger – Mekaniske ,

- naturlige og hybride ventilationssystemer,” 2013.
- [46] Videncenter for Eenergibesparelser i Bygninger, “Etablering af hybridventilation,” 2017.
- [47] F. N. Rasmussen and H. Birgisdóttir, “Bygningens livscyklus - Identifikation af væsentlige bygningsdele, materialegrupper og faser i en miljømæssig vurdering,” SBI forlag, 2015.
- [48] M. Z. Hauschild, R. K. Rosenbaum, and S. I. Olsen, *Life Cycle Assessment - Theory and Practice*. Springer, 2017.
- [49] O. Jolliet, M. Saade-Sbeih, S. Shaked, A. Jolliet, and P. Crettaz, *Environmental Life Cycle Assessment*. CRC Press, 2015.
- [50] Dansk Standard, “DS/EN ISO 14040:2008 - Miljøledelse – Livscyklusvurdering – Principper og struktur,” 2008.
- [51] Statens Byggeforskningsinstitut, “SBI 29:2015 - LIVSCYKLUSVURDERING AF STØRRE BYGNINGSRENOVERINGER,” 2015.
- [52] Dansk Standard, “DS/EN ISO 14044:2008 - LIVSCYKLUSVURDERING AF STØRRE BYGNINGSRENOVERINGER,” 2008.
- [53] O. Jolliet *et al.*, “IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology,” 2003.
- [54] S. Humbert, M. Margni, A. De Schryver, and O. Jolliet, “IMPACT 2002 + : User Guide,” 2012.
- [55] M. Owsianiak, A. Laurent, A. Bjørn, and M. Z. Hauschild, “IMPACT 2002+, ReCiPe 2008 and ILCD’s recommended practice for characterization modelling in life cycle impact assessment: A case study-based comparison,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 19, no. 5, pp. 1007–1021, 2014.
- [56] Gyproc, “ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION.” 2017.
- [57] K. Viren, “Rawlplugs,” 2011. [Online]. Available: <https://www.bolius.dk/rawlplugs-13376/>. [Accessed: 27-Nov-2017].
- [58] NPI, “Sortimentsoversigt,” 2016.
- [59] SAINT GOBAIN, “ISOVER Vario Xtra.” [Online]. Available: <http://ipaper.ipapercms.dk/SaintGobainConstruction/IsoverDK/IsoverDKByg/ISOVERVarioXtra/>. [Accessed: 23-Nov-2017].
- [60] E. H. Petersen, J. Dinesen, and H. Krogh, “Miljødata for bygningsdele. Beregnet med pc-værktøjet BEAT 2000,” 2001.
- [61] D. Kellenberger, H.-J. Althaus, T. Künniger, M. Lehmann EMPA, D. Niels Jungbluth, and P. Thalmann Bau-und Umweltchemie, “Swiss Centre for Life Cycle Inventories Life Cycle Inventories of Building Products,” 2007.
- [62] C. Fischer and M. Werge, “EU as a Recycling Society Present recycling levels of Municipal Waste and Construction & Demolition Waste in the EU,” 2009.
- [63] M. Mahmoud *et al.*, “A formal framework for scenario development in support of environmental decision-making,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 24, pp. 798–808, 2009.
- [64] K. Pommer, P. Bech, H. Wenzel, N. Caspersen, and S. I. Olsen, “Håndbog i miljøvurdering af produkter -en enkel metode,” *Miljønyt Nr.*, vol. 58, 2001.
- [65] L. Mortensen, H. Birgisdottir, and S. Aggerholm, “Genbrug af byggevarer. Forprojekt om identifikation af barrierer,” 2015.
- [66] Plastics Europe, “Plastics - the facts 2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data,” 2015.
- [67] “Genanvendelse af glasfibermaterialer,” 1455.
- [68] “ROCKWOOL - Kvalitetsisolering baseret på stenuld | ROCKWOOL A/S.” [Online]. Available: <http://www.rockwool.dk/>. [Accessed: 20-Nov-2017].
- [69] ROCKWOOL, “ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION.” 2013.
- [70] “Isoleringsmaterialer - Videncenter for Håndtering og Genanvendelse af Byggeaffald - VHGB.” [Online]. Available: <http://www.vhgb.dk/byggeaffald/materialefraktioner/materialer/isoleringsmaterialer/>.

- [Accessed: 20-Nov-2017].
- [71] S. A. Bech, "Isolering med træ - træfiberisolering og papiruld - effektiv isolering med træ," *TRÆ.dk*, 2017. [Online]. Available: <https://www.trae.dk/leksikon/isolering-med-trae/>. [Accessed: 20-Nov-2017].
- [72] agri-info.eu, "Arbejdstid - Situationen i de enkelte europæiske lande," 2016. [Online]. Available: [http://www.agri-info.eu/dansk/t\\_worktime.php#no](http://www.agri-info.eu/dansk/t_worktime.php#no). [Accessed: 06-Dec-2017].
- [73] K. F. Haugaard, "Kan man renovere sig til social bæredygtighed? | Renovering På Dagsordenen," 2015. [Online]. Available: <http://www.renoveringpaadagsordenen.dk/livskvalitet/kan-man-renovere-sig-til-social-baeredygtighed/>. [Accessed: 23-Nov-2017].
- [74] Dansk Standard, "DS/EN 15251:2007 - Input parametre til indeklimaet ved design og bestemmelse af bygningers energimæssige ydeevne vedrørende indendørs luftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustik lighting and acous," 2007.
- [75] Green Building Council Denmark, "Mini-guide til DGNB," 2013.
- [76] Skatteetaten, "Skatteetaten - Merverdiavgift," Dec. 2016.
- [77] "TAX.DK skat & afgift: Fradragsret for moms for materialer til byggeri mv. for egen regning," 2017. [Online]. Available: [https://tax.dk/jv/da/D\\_A\\_21\\_3\\_4\\_6\\_3.htm](https://tax.dk/jv/da/D_A_21_3_4_6_3.htm). [Accessed: 26-Nov-2017].
- [78] "Valutakurser.dk - Valutaomregner," 2017. [Online]. Available: <http://www.valutakurser.dk/>. [Accessed: 23-Nov-2017].
- [79] "Arbeidet koster mer enn du tror," 2017. [Online]. Available: <http://www.klikk.no/bolig/oppussing/arbeidet-koster-mer-enn-du-tror-2423823>. [Accessed: 23-Nov-2017].
- [80] "Fjordkraft - strømpriser," 2017. [Online]. Available: <https://www.fjordkraft.no/privat/strompriser/>. [Accessed: 23-Nov-2017].
- [81] M. Køcks, "Filtrering og recirkulation af luft samt kilder til indendørs partikelforurening."
- [82] Sundhedsstyrelsen, "Indeklima." [Online]. Available: <https://www.sst.dk/da/sundhed-og-livsstil/miljoe/indeklima>. [Accessed: 23-Oct-2017].
- [83] D. K. MILTON, P. M. GLENCROSS, and M. D. WALTERS, "Risk of Sick Leave Associated with Outdoor Air Supply Rate, Humidification, and Occupant Complaints," *Indoor Air*, vol. 10, no. 4, pp. 212–221, 2000.
- [84] "Indoor Environmental Quality (IEQ) - GSA Sustainable Facilities Tool." [Online]. Available: <https://sftool.gov/learn/about/1/indoor-environmental-quality-ieq>. [Accessed: 23-Oct-2017].
- [85] "Indeklimaets betydning skal ses i det store perspektiv - Building Supply DK." [Online]. Available: [https://www.building-supply.dk/announcement/view/75298/indeklimaets\\_betydning\\_skal\\_ses\\_i\\_det\\_store\\_perspektiv](https://www.building-supply.dk/announcement/view/75298/indeklimaets_betydning_skal_ses_i_det_store_perspektiv). [Accessed: 23-Oct-2017].
- [86] H. Lorenzen and (DJ) Fischer Group, "Indeklimaets betydning skal ses i det store perspektiv."
- [87] W. Collinge, A. E. Landis, A. K. Jones, L. A. Schaefer, and M. M. Bilec, "Indoor environmental quality in a dynamic life cycle assessment framework for whole buildings: Focus on human health chemical impacts," 2013.
- [88] "BygMax Rockwool Flexibatts 32." [Online]. Available: <https://www.bygmax.dk/rockwool-skravaegsbatts-32-45x565x965mm-20-pk-palle.html>. [Accessed: 04-Dec-2017].
- [89] DGNB, "DGNB og FNs Verdensmål – Building Green Copenhagen," 2017. [Online]. Available: <http://buildinggreen.eu/cph/2017/10/20/dgnb-og-fns-verdensmaal/>. [Accessed: 02-Dec-2017].
- [90] FN, "Verdensmålene - for bæredygtig udvikling |," 2017. [Online]. Available: <http://www.verdensmaalene.dk/>.

[Accessed: 03-Dec-2017].

- [91] T. C. McAlone and N. Bey,  
*Miljøforbedringer gennem  
produktudvikling: En guide*. 2008.





7

Bilag



# 7.1 Bilagsoversigt

Nedenstående ses en bilagsoversigt over bilag 01-13, som der er henvist til gennem rapporten. Alle bilagene findes elektronisk i en dropbox mappe, som der er adgang til via flg. link:

[kortlink.dk/dropbox/sez3](http://kortlink.dk/dropbox/sez3)

## Bilag 01 – Energisammensætning

- Energisammensætning for Norge og Danmark.

## Bilag 02 – Energirammeberegninger

- Udregninger til energirammeberegninger kan ses for hvert scenarie.

## Bilag 03 – Glasandels beregning

- Beregninger for glasandel i vinduerne til Be15.

## Bilag 04 – Mål på Union Canning

- Udregninger af mål inkl. væg/gulv ratio på Union Canning.

## Bilag 05 – Resultater af energirammerne

- Model og resultat rapport Be15 for alle renoveringsscenarierne.

## Bilag 06 – RetroWall System

- RetroWall System - Levetid, pris og energiforbrug.

## Bilag 07 – Antagelser til LCA

- Overblik over alle antagelser med forkortelser.

## Bilag 08 – Mandetimer

- Udregninger ved arbejdstimer og brug.

## Bilag 09 – Inventory

- Udregning af RetroWall system for renoveringsscenarie 2 og 3. Inkluderer alle livscyklusfaser.

## Bilag 10 – Rockwool EPD

- Udregninger for mineraluldsisolering pga. Rockwools EPD.

## Bilag 11 – Resultat fra QS2.0

- Resultater for alle renoveringsscenarier fra QS2.0.

## Bilag 12 – Energiforbrug og pris

- Økonomisk aspekt i form af energiforbrug og pris heraf.

## Bilag 13 – Spildprocenter

- Udregninger af spildprocenter i Inventory.

