

# Klimatpåverkansbedömning av energieffektiva lösningar för byggnader

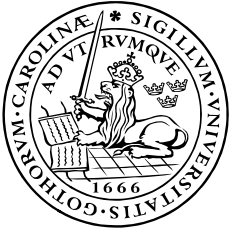
– Jämförelse av klimatpåverkan från olika  
isoleringsmaterial och energisystem

*Frida Görman, Madeleine Tham Johansson*

---

Examensarbete 2019  
Miljö- och Energisystem  
Institutionen för Teknik och samhälle  
Lunds Tekniska Högskola





LUNDS UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

**Klimatpåverkansbedömning av energieffektiva  
lösningar för byggnader**

Jämförelse av klimatpåverkan från olika  
isoleringsmaterial och energisystem

Frida Görman, Madeleine Tham Johansson

Examensarbete

Juni 2019



Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från  LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA vid Lunds universitet Institutionen för teknik och samhälle Miljö- och energisystem Box 118 221 00 Lund Telefon: 046-222 00 00 Telefax: 046-222 86 44	Dokumentnamn
	Examensarbete
	Utgivningsdatum
	Juni 2019
	Författare
	Frida Görman Madeleine Tham Johansson

Dokumenttitel och undertitel

Klimatpåverkansbedömning av energieffektiva lösningar för byggnader - Jämförelse av klimatpåverkan från olika isoleringsmaterial och energisystem.

Sammandrag

Dagens samhälle står inför en stor klimatutmaning vilket ställer höga krav på alla branscher, inte minst bygg- och fastighetsbranschen. Byggnader och lokaler står idag för en tredjedel av Sveriges energianvändningen där 60 % går till uppvärmning. För att minska utsläppen från bostäder och lokaler har stort fokus lagts på byggnaders energianvändning under dess driftsfas. I takt med att byggnader blir mer energieffektiva flyttas klimatpåverkan från driftsfasen till det inbyggda materialet i byggnaden.

Syftet med detta arbete är att undersöka den klimatpåverkan energisystemet bidrar till vid en förändrad isoleringstjocklek där klimatpåverkan från isoleringsmaterialet beaktas. För att uppfylla syftet genomförs i denna rapport en livscykelanalys på två kontorsbyggnader i Göteborg, projekterade av NCC.

Livscykelanalysen har baserats på tidsupplösta energiberäkningar som inkluderar både ett nulägesperspektiv och ett förändringsperspektiv. Den miljöpåverkanskategori som studeras är global uppvärmningspotential (GWP) och uttrycks i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter vilken relateras till den funktionella enheten, m<sup>2</sup> och år. Som underlag för beräkningarna används miljövarudeklarationer samt tidsupplösta klimatdata framtagna av IVL svenska miljöinstitutet.

Resultaten visar att det cellulosebaserade isoleringsmaterialet, applicerat på en byggnad, kombinerat med ett biobaserat fjärrvärmesystem och nordisk elproduktionsmix utifrån ett nulägesperspektiv, ger den lägsta klimatpåverkan. Vilket perspektiv som bör användas beror däremot på syftet med livscykelanalysen. Resultatet går inte att applicera på alla geografiska platser i Sverige, då alla fjärrvärmesystem idag inte är biobaserade.

Hur långt det är värt att isolera en byggnad, utifrån ett klimatpåverkansperspektiv, beror på använt energisystem för värme och kyla, byggnadens konstruktion samt vilket perspektiv som appliceras. Det går även att konstatera att klimatpåverkan från isoleringen kommer att öka i betydelse då energianvändningen från byggnader fortsätter att minska.

Nyckelord

Bokförings-LCA, konsekvens-LCA, energisystemanalys, marginaldata, klimatpåverkan från isolering, Tidstegsmetoden.

Sidomfång	Språk	ISRN
97	Svenska	ISRN LUTFD2/TFEM--19/5148--SE + (1-92)

Organisation, The document can be obtained through LUND UNIVERSITY Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies Box 118 SE - 221 00 Lund, Sweden Telephone: int+46 46-222 00 00 Telefax: int+46 46-222 86 44	Type of document
	Master thesis
	Date of issue
	June 2019
	Authors
	Frida Görman Madeleine Tham Johansson

Title and subtitle

Climate impact assessment of energy efficient solutions in buildings - Comparison of climate impact from different insulation materials and energy systems.

Abstract

The society is today facing a major climate challenge, which places high demands on all industries, not least the construction and real estate industry. Buildings are today accounting for one third of Sweden's energy use, of which 60 % is used for heating. In order to reduce emissions from buildings, great focus has been placed on the energy use of buildings during its operating phase. As buildings become more energy-efficient, climate impacts are shifted from the operational phase to the built-in material.

The purpose of this master thesis is to investigate the climate impact from the energy system when changing the insulation thickness and compare it to the climate impact from the insulation material. In order to fulfill the purpose, a life cycle assessment on two office buildings in Gothenburg, designed by NCC, has been performed. The life cycle assessment is based on time-resolved energy calculations that include both a current situation perspective and a futuristic change-oriented perspective. The life cycle assessment includes extraction of raw materials and manufacturing of insulation materials as well as the energy consumption during the buildings operational phase. The environmental impact category studied is global warming potential (GWP) and is expressed in CO<sub>2</sub>-equivalents, which is related to the functional unit m<sup>2</sup> and year. Environmental product declarations and time-resolved climate data has been prepared by IVL Swedish Environmental Institute and are used as a basis for the life cycle assessment.

The results show that the cellulose-based insulation material, applied to a building, combined with a bio-based district heating system and Nordic electricity production mix from a current perspective, gives the lowest climate impact. However, the perspective that should be used depends on the purpose of the life cycle assessment. The result cannot be applied to all geographical locations in Sweden, since today not all district heating systems are bio-based.

To what extent it is worth to isolate a building, regarding a climate impact perspective, depends on the energy system used for heating and cooling, the construction of the building and which perspective that is applied. It is also important to accentuate that the climate impact from the insulation will increase in importance as energy use from buildings continues to decrease.

Keywords

Attributional-LCA, Consequential-LCA, Energy system analysis, Marginal data, climate impact from insulation material, Tidstegsmetoden

Number of pages	Language	ISRN
97	Swedish	ISRN LUTFD2/TFEM--19/5148--SE + (1-92)

## Förord

För att genomföra examensarbetet har NCC försett projektet med resurser. Detta innebär bland annat arbetsplats på NCC:s kontor i Malmö, där tillgång till personliga datorer, väsentliga mjukvaruprogram och handledning inom ämnet har tillhandahållits. Mjukvaruprogram som har använts är bland annat IDA ICE 4.8 och Excel. Vad gäller andra metoder i studien har ett bokföringsperspektiv och ett konsekvensperspektiv använts. Vidare har kunskap inom energisystem och LCA krävts, vilket tillgodosetts av handledare dels på NCC dels på LTH.

Vi vill tacka vår handledare på LTH Petter Wallentén från Byggnadsfysik och vår biträdande handledare Pål Börjesson från Miljö- och energisystem för all hjälp och vägledning. Arbetet examineras av Dennis Johansson på Installationsteknik. Vi vill även tacka våra handledare på NCC, Elsa Fahlén och Magnus Österbring vilka bidragit med betydande kompetens inom området.

Lund, juni 2019

Frida Görman  
Madeleine Tham Johansson





# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>5</b>
1.1	Bakgrund . . . . .	6
1.2	Syfte . . . . .	6
1.3	Problemformulering . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Metodbeskrivning</b>	<b>7</b>
2.1	Avgränsningar . . . . .	7
2.2	Disposition . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Teori</b>	<b>9</b>
3.1	Tidigare studier . . . . .	9
3.2	En byggnads energibalans . . . . .	11
3.3	Livscykelanalys . . . . .	13
3.4	Energisystem . . . . .	19
3.5	Isoleringsmaterial . . . . .	23
3.6	Redovisningsmetoder för byggnader . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Fallbeskrivning</b>	<b>29</b>
4.1	Isoleringsmaterial, A1-A5 . . . . .	32
4.2	Energisystemet . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Resultat och analys</b>	<b>41</b>
5.1	Energianvändning . . . . .	41
5.2	Isolering . . . . .	42
5.3	Energisystemet . . . . .	43
5.4	Jämförelse, bokförings- och konsekvensperspektivet . . . . .	51
5.5	Skillnader i GWP för isolering och energisystem . . . . .	52
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>61</b>
6.1	Osäkerheter . . . . .	61
6.2	Frågeställning . . . . .	62
<b>7</b>	<b>Slutsats</b>	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>Vidare studier</b>	<b>67</b>
	<b>Bilagor</b>	<b>73</b>
<b>A</b>	<b>BREEAM-SE</b>	<b>73</b>
<b>B</b>	<b>Alternativbeskrivning</b>	<b>74</b>
<b>C</b>	<b>Indata systemhandlingar</b>	<b>76</b>
<b>D</b>	<b>Beräkning av U-värde yttervägg</b>	<b>77</b>
<b>E</b>	<b>Bakgrundsdata - IDA ICE 4,8</b>	<b>79</b>

<b>F EN 15804:2012</b>	<b>80</b>
<b>G Indata för Tidstegsmetoden</b>	<b>82</b>
<b>H Omräkning EPD</b>	<b>91</b>
<b>I Isolering: Relation mellan GWP och tjocklek</b>	<b>93</b>

# Ordlista

Nedan beskrivs viktiga begrepp vilka används i examensarbetet. Den förklaring som ges är den som används i detta examensarbete och kan därför variera mot andra definitioner.

Bokföringsperspektiv	Livcykelperspektiv där den faktiska miljöpåverkan från ett system eller produkt baserat på genomsnittlig data.
Expanderad polystyren	”Utgörs av 91-94 % pärlor av polystyren. Pärlan upphettas och expanderar till en kula som sedan smälts samman till skivor” (Bokalders & Block 2014).
Extruderad polystyren	”Utgörs av 99 % polystyren och vid tillverkning används 1 % difluoretan, en drivgas eller koldioxid” (Bokalders & Block 2014)
Funktionell enhet	Den enhet som används genomgående vid utförande av en LCA.
Global uppvärmningspotential	Ett mått på hur växthusgaser bidrar till den globala uppvärmningen uttryckt i klodioxidekvivalenter.
Klimatskal	De delar av byggnaden som gränsar mot utomhus, (ytterväggar, tak, golv/grund, fönster och dörrar).
Konsekvensperspektiv	Livcykelperspektiv på den förändrade miljöpåverkan från förändringar i framtida system baserat på marginaldata.
Livscykelanalys	”Sammanställning och utvärdering av inflöden, utflöden och den potentiella miljöpåverkan för ett produktsystem under dess livscykel” (SIS 2006, s.2).
Marginaldata	Marginaldata hanterar miljöpåverkan som orsakas av en förändring
Miljövarudeklaration	En livscykelanalys med syfte att förmedla transparent och jämförbar information för produkter.
Nära-nollenergibyggnader	En byggnad som har hög energiprestanda, vilket leder till låg energianvändning.
Produktspecifika regler	Kriterierna för en aktuell produktgrupp som specificerar avgränsning, metodval och dataunderlag som gäller vid genomförandet av livscykelanalysen.

# Förkortningar

Här beskrivs viktiga förkortningar som används i examensarbetet.

$A_{om}$	Byggnadens omslutande area ( $m^2$ )
$A_{temp}$	Byggnadens uppvärmda area ( $m^2$ )
BBR	Boverkets byggregler
$E_{bea}$	Byggnadens energianvändning (kWh)
$E_f$	Byggnadens fastighetsenergi (kWh)
$E_{kyl}$	Byggnadens komfortkyla (kWh)
$E_{tvv}$	Byggnadens tappvarmvatten (kWh)
$E_{appv}$	Byggnadens uppvärmning (kWh)
$EP_{pet}$	Primärenergital (kWh)
EPD	Environmental Product Declaration (Miljövarudeklaration)
EPS	Expanderad polystyren (cellplast)
$F_{geo}$	Geografisk justeringsfaktor
FE	Funktionell enhet
GWP	Global Warming Potential (Global uppvärmningspotential)
IVL	Svenska miljöinstitutet
LCA	Livscykelanalys
NNEB	Nära-nollbyggnader
PCR	Product Category Rules (Produktspecifika regler)
PE	Primärenergitalets korrigeringsfaktor
$q_{medel}$	Genomsnittligt specifikt uteluftsflöde ( $l/(s m^2)$ )
$R$	Värmemotstånd ( $m^2K/W$ )
$R_{se}$	Värmemotståndet vid utsidan ( $m^2K/W$ )
$R_{si}$	Värmemotståndet vid insidan ( $m^2K/W$ )
$U_m$	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient ( $W/(m^2K)$ )
XPS	Extruderad polystyren (cellplast)

# 1 Introduktion

Bostäder och lokaler står för en tredjedel av Sveriges energianvändning där merparten, 60 %, går till uppvärmning (Energimyndigheten 2017b). För att minska utsläppen från bostäder och lokaler har därmed stort fokus lagts på byggnaders energianvändning under dess driftsfas (Liljenström et al. 2015). I EU beslutar man i *Energiprestandadirektivet*<sup>1</sup> att alla nya byggnader ska vara nära-nollenergibyggnader (NNEB) senast 2021. Sveriges riksdag antog 2017 även ett klimatpolitiskt ramverk med övergripande mål av nettonollutsläpp av växthusgaser senast 2045. Målet innebär stora utmaningar för samtliga sektorer och därmed även bostads- och servicesektorn (Regeringen 2017).

Hur byggnaders energianvändning ska bedömmas diskuteras allt mer frekvent och beror i sin tur på vad som bestäms i direktiv, lagar, och certifieringar. Då använda ramverk kan ha olika perspektiv, likt exempelvis miljö, energi och resurser, kan även genomförda värderingar variera (Hagberg et al. 2017). På marknaden finns det idag även ett flertal olika miljöcertifieringar för byggnader där flera ställer krav på byggnadens energianvändning. Några av dessa certifieringar är den brittiska BREEAM, den amerikanska LEED samt Miljöbyggnad, GreenBuilding och Citylab (SGBC 2019b). Ett vanligt förekommande sätt att beräkna miljöpåverkan från en byggnads energianvändning är genom att applicera ett livscykelperspektiv. Här är det mest frekvent förekommande att ett bokföringsperspektiv appliceras där genomsnittlig data för ett helt år för energisystemet används (Janson et al. 2019).

Då en byggnads energianvändning varierar med dygnets timmar samt tid på året pågår det en diskussion huruvida ett årsmedelvärde för elproduktion samt fjärrvärme och fjärrkyla kan anses representativt eller inte. Vidare kan användningen av genomsnittlig data ifrågasättas då konsekvenser från en vald energilösning ska jämföras med en annan. En metod vilken tar hänsyn till variation över dygnets timmar och tid på året samt använder maginaldata är Tidsstegsmetoden. Tidsstegsmetoden är under utveckling av IVL och applicerar i sin metod ett konsekvensperspektiv (Hagberg et al. 2017).

I takt med att byggnader blir mer energieffektiva flyttas klimatpåverkan från driftsfasen till det inbyggda materialet i byggnaden (Liljenström et al. 2015). Vid val av energieffektiviseringsåtgärder och energilösningar i byggnader kan därmed även deras inbyggda klimatpåverkan vara intressant att ta hänsyn till. Detta examensarbete undersöker därför klimatpåverkan från olika energieffektiviseringsåtgärder, utifrån dels en förändrad energianvändning och dels utifrån en varierad mängd isoleringsmaterial. För att undersöka skillnader mellan perspektiven har energisystemet analyseras utifrån både ett bokföringsperspektiv och ett konsekvensperspektiv, isoleringsmaterialet undersöks däremot enbart utifrån ett bokföringsperspektiv. För konsekvensperspektivet används Tidsstegsmetoden vilken i dagsläget inte har applicerats på ett verkligt projekt. Kortfattat innebär bokföringsperspektivet en livscykelanalys ur ett nutidsperspektiv och konsekvensperspektivet innebär en livscykelanalys ur ett framtidsperspektiv. I avsnitt 3.3 förklaras perspektiven närmre.

---

<sup>1</sup>Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU av den 19 maj 2010 om byggnaders energiprestanda (EUT L 153, 18.6.2010, s. 21)

## 1.1 Bakgrund

Stadsdelen Masthuggskajen i Göteborg ska certifieras enligt CityLab vilken är en certifiering för hållbar stadsutveckling. Stadsdelen har ett eget hållbarhetsprogram för området där krav ställs på de byggnader som upprättas. De två kontorsbyggnaderna Våghuset och Brick Studios projekterade av NCC ingår i detta hållbarhetsprogram. Kontorsbyggnaderna ska certifieras enligt BREEAM-SE med den näst högsta nivån Excellent, för mer information angående BREEAM-SE se bilaga A. I den aktörsspecifika handlingsplanen finns det även krav på att undersöka projektet ur ett livscykelperspektiv. Detta har gjorts för projektet med förenklade beräkningar men för att öka kunskapen i branschen bör detta göras mer noggrant.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att utvärdera vad en timupplöst beskrivning av klimatpåverkan från energisystemet ger för resultat vid bedömning av energieffektiva lösningar utifrån ett bokförings- och konsekvensperspektiv. Detta görs för att undersöka skillnader mellan perspektiven samt hur klimatpåverkan från en förändrad isoleringstjocklek förhåller sig till en förändrad energianvändning.

## 1.3 Problemformulering

Nedan följer den problemformulering examensarbetet syftar till att svara på. För att besvara problemformuleringen har frågeställningar tagits fram.

Hur mycket är det värt att isolera utifrån ett klimatpåverkansperspektiv med hänsyn till energisystemet (fjärrvärme, fjärrkyla och el)?

- Hur skiljer sig applicering av ett konsekvensperspektiv och bokföringsperspektiv vid klimatpåverkansbedömning av energianvändning i byggnader?
- Hur förhåller sig klimatpåverkan från en förändrad energianvändning jämfört med en förändrad isoleringstjocklek?
- Hur väl kan dessa frågor besvaras genom den aktuella fallstudien?

## 2 Metodbeskrivning

Examensarbetet är baserat på en teoridel och en fallstudie där energi- och livscykelberäkningar genomförs på två kontorsbyggnader utifrån ett konsekvens- och ett bokföringsperspektiv. Fallstudien inkluderar även en LCA-sammanställning av olika typer av isoleringsmaterial och -tjocklek.

Teorin inleds med en genomgång av tidigare studier inom ämnet, därefter beskrivs applicering av ett bokföringsperspektiv och ett konsekvensperspektiv vid beräkning av miljöpåverkan från en byggnads energianvändning. Här undersöks även hur energikrav och energiberäkningar ser ut i dagsläget, dels utifrån gällande regler i BBR och dels utifrån miljöcertifieringar.

Fallstudien innebär genomförande av en LCA på tidsupplöst energianvändning över ett år för två kontorsbyggnader med tre alternativ för klimatskalet. Alternativen innebär en variation av använd mängd isolering. För att jämföra klimatpåverkan från energianvändningen och använd energieffektivisering genomförs en sammanställning av klimatpåverkan från fem olika isoleringsmaterial utifrån ett LCA-perspektiv.

Vid beräkning av klimatpåverkan från energianvändningen appliceras Tidstegsmetoden framtagen av IVL där ett konsekvensperspektiv används. Tidstegsmetoden används även som bakgrund för applicering av bokföringsperspektivet.

### 2.1 Avgränsningar

Examensarbetet är begränsat till att titta på variationer i klimatpåverkan, i global uppvärmningspotential (GWP), från byggnaders energianvändning utifrån en variation av isoleringsmängd i yttervägg samt isoleringsmaterial. Ingen annan typ av energieffektivisering eller miljöpåverkanskategori har studerats. Vidare analyseras valda isoleringsmaterial endast utifrån dess klimatpåverkan samt dess isoleringsförmåga, andra faktorer som fuktrisker, brandegenskaper, hälsoeffekter samt ekonomiska aspekter på undersöks inte. Utöver detta tas inte någon hänsyn till den påverkan en varierad isoleringstjocklek har på uppvärmd area,  $A_{temp}$ .

Arbetet begränsas även till de avgränsningar som genomförs för LCA:n. Detta innebär att arbetet är specifikt för de systemgränser, allokeringmetoder och den data som använts.

### 2.2 Disposition

Examensarbetet är uppdelat i teori, fallstudie, resultat samt diskussion och slutsats. Teoridelen, kapitel 3, syftar till att ge läsaren viktig information om ämnet och förståelse för komplexiteten i framförallt energisystemet. Först beskrivs tidigare studier, 3.1, följt av en byggnads energibalans, 3.2, genomförande av LCA och dess olika perspektiv, 3.3, energisystemet, 3.4, isoleringsmaterial, 3.5 och slutligen beskrivs befintliga redovisningsmetoder, 3.6.

Fallstudien presenteras i kapitel 4 och är uppdelad i två delar där den första hantlar klimatpåverkan från isoleringsmaterialet, 4.1, och den andra från energisystemet, 4.2. Därefter följer resultat och analys, kapitel 5, vilken först presenterar byggnadernas energianvändning, 5.1 följt av klimatpåverkan från isolering, 5.2, och därefter från energisystemet, 5.3. I avsnitt 5.4 jämförs resultatet från de olika perspektiven för bedömning av klimatpåverkan från energianvändningen. I sista delen i resultatet genomförs en jämförelse mellan klimatpåverkan från isoleringsmaterialet och energisystemet, för olika de energieffektiva lösningarna 5.5. Slutligen diskuteras teori och fallstudie i kapitel 6 och därefter formuleras viktiga slutsatser i kapitel 7.



## 3 Teori

Här utreds viktiga delar vilka ligger till grund för en LCA av en byggnads energianvändning, där även hänsyn tas till materialens klimatpåverkan. Nedan presenteras tidigare studier inom ämnet, hur energikrav och energiberäkningar hanteras i dagsläget utifrån gällande regler i Boverkets byggregler (BBR) samt föreslagna regler för 2020. Därefter sammanfattas teorin bakom ett bokföringsperspektiv och ett konsekvensperspektiv samt hur val av avgränsning och beräkningsmetoder påverkar klimatpåverkan från energisystemet. Vidare hanteras olika isoleringsmaterial samt ingående materialparametrar. Sist beskrivs befintliga redovisningsmetoder med livscykelperspektiv för bygg- och fastighetsbranschen översiktligt där fokus ligger på teorin bakom Tidstegsmetoden.

### 3.1 Tidigare studier

Detta avsnitt redovisar tidigare genomförda studier inom ämnet, hur de genomförts samt viktiga slutsatser.

*Normalising and assessing carbon emissions in the building sector: A review on the embodied CO<sub>2</sub> emissions of residential buildings*

Chastas et al. (2018) undersöker i sin studie andelen av total mängd koldioxidekvivalenter i en byggnads livscykel vilken kan relateras till byggnadens inbyggda material. Studien innebär att 95 livscykelanalyser av bostadshus granskas och sammanställs, för att möjliggöra jämförbarhet förekommer normalisering av livscykelanalyserna. Studien kommer fram till att andelen utsläpp av koldioxidekvivalenter från det inbyggda materialet utgör mellan 9-80 % av den totala mängden. Den stora variationen anses bero på skillnader i databaser, energimix samt byggnadsdesign. Studien visar även på en skillnad i utsläpp av koldioxidekvivalenter i inbyggt material mellan konventionella-, passiva-, lågenergi- och nära nollenergi-byggnader (NNEB). Det övergripande resultatet visar här att konventionella byggnader har lägst andel koldioxidekvivalenter relaterat till det inbyggda materialet och NNEB har högst.

*A novel hybrid methodology to evaluate sustainable retrofitting in existing Swedish residential buildings*

I en studie av Wang et al. (2015) utvecklas en hybridmodell i syfte att fylla kunskapsluckor vid genomförande av renoveringar. Modellen avgränsas till renoveringar vilka ska minska en byggnads energianvändning. Studien är genomförd på bostadshus i Sverige som ingår i det så kallade miljonprogrammet och hanterar enfamiljshus och flerfamiljshus. De renoveringsåtgärder som appliceras inkluderar 13 olika alternativ där isolering av väggar, tak och golv utgör tre av dessa. Vidare används mineralull samt polystyren som isoleringsmaterial. Kraven på byggnadens energianvändning efter renovering är tagen från dåvarande krav från BBR. För att beräkna påverkan från energianvändningen används genomsnittliga värden där svensk elmix används tillsammans med fjärrvärmesystem med ett GWP på 88,9 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh.

Resultatet från studien visar att påverkan från den inbyggda energin i det använda ma-

terialelet spelar stor roll. Den energibesparing, i driftsfasen, som renoveringen leder till riskerar att vara missvisande då den inbyggda energin inte tas med i beräkningarna. Detta speciellt då renovering av byggnadens klimatskal genomförs. Till följd därav pekar studien på att hänsyn bör tas även till det inbyggda materialets klimatpåverkan särskilt vid större renoveringsprojekt.

#### *Integrating climate change and energy mix scenarios in LCA of buildings and districts*

Roux et al. (2016) applicerar i sin studie både ett bokföringsperspektiv och konsekvensperspektiv på en byggnads energianvändning där timupplöst data samt framtidsscenarioer för energisystemet och klimatet tas fram. Syftet är att utvärdera en byggnads påverkan från ett livscykelperspektiv med hänsyn till framtida klimatpåverkan.

Studien applicerar en metod i fyra steg vilken appliceras på ett bostadshus i Frankrike med en livslängd på 50 år, huset antas därför rivras 2065. Under denna tidsperiod kommer klimat och energisystem genomgå förändringar vilket enligt studien anses påverka miljöbedömningen av huset samt beslutet att bygga huset. Studien består av fyra framtidsscenarioer där två hanterar förändringar i klimatet och två förändringar i energisystemet i Frankrike. Metoden, vilken delas upp i fyra steg, består av:

1. Definiera byggnaden och dess egenskaper under hela dess livslängd.
2. Applicering av ett bokföringsperspektiv och/eller ett konsekvensperspektiv.
3. Påverkansbedömning av energianvändning under driftsfasen vilka utgår från de fyra scenarierna.
4. Sammanställning av samtliga steg med hänsyn till byggnadens livslängd.

Slutsatsen från studien är att resultaten är starkt beroende av vilket perspektiv som används. Det poängteras även att timupplöst data behövs då elsystemet och byggnadens elanvändning i studien visar på stora förändringar beroende på dygnets timmar, veckodag och årstider.

Från konsekvensperspektivet konstateras att för undersökta scenarion är energianvändningen fortfarande en viktig faktor även för lågenergibyggnader, då elmixen inte är fossilfri. Enligt studien blir konsekvensperspektivet speciellt viktigt som stöd vid besluttaganden. Bokföringsperspektivet är istället speciellt användbart när en specifik byggnads miljöprestanda ska bestämmas från ett år till ett annat.

#### *Byggnaders klimatpåverkan, timme för timme – idag och i framtiden*

Erlandsson et al. (2018) tar i projektet “Öppet klassningssystem som styrmedel för resurs- och energieffektiva byggnader” fram en metodik för hur klimatpåverkan från el- och fjärrvärmesystemet bedöms tidsupplöst under årets alla dagar. Detta görs med bakgrund mot att det finns ett behov av att analysera klimatpåverkan av energianvändningen timme för timme. Projektet är ett utvecklingsprojekt finansierat av Energimyndigheten. Klimatpåverkan beräknas på fem olika sätt, där två hanterar ett bokföringsperspektiv med olika tidsupplösning, och tre hanterar ett konsekvensperspektiv med olika driftsmarginal. Dessa appliceras på ett flertal exempelbyggnader för idag och i framtiden.

Vid analys av resultaten konstateras att skillnaderna mellan att räkna med timdata och årsmedelvärde inte är särskilt stor utifrån ett bokföringsperspektiv. Detta är inte fallet för konsekvensperspektivet då timupplöst data tydliggör den belastning högkonsumtionstimmar har för energisystemet. Projektet konstaterar även att vilket perspektiv som används beror på syftet med den genomförda analysen.

### *Metoder för bedömning av klimatpåverkan i bygg- och fastighetssektorn*

Janson et al. (2019) genomför en sammanställning av redovisningsmetoder för klimatpåverkan i bygg- och fastighetssektorn vilka utgår från ett livscykelperspektiv. Rapporten är en del i nätverket LÅGAN vilka arbetar för ”*samverkan för byggnader med mycket LÅG energiAnvändning*” och är ett samarbete mellan Energimyndigheten, Boverket, Sveriges Byggindustrier med flera.

Vid sammanställningen har fokus lagts på redovisningsmetodernas syfte, perspektiv, LCA-skede, systemgräns för el samt allokeringsspektiv för kraftvärme och bränsle. Några av de studerade metoderna är klimatdel i Level(s), LEED, BREEAM-SE och Citylab samt Tidstegsmetoden, indikator 15 i Miljöbyggnad och Öppet klassningssystem. Då specifika delar valts ut ger sammanställningen i LÅGAN inte en fullständig bild av redovisningsmetoderna. Detta då andra delar och indikatorer vilka avser att minska en byggnads energianvändning (B6) inte inkluderas. LÅGAN ger däremot en bra bild över hur LCA i redovisningsmetoder varierar beroende på syfte och användningsområde.

Resultatet från LÅGAN visar att det perspektiv som appliceras mest frekvent är bokföringsperspektivet. Vidare finns det stora skillnader i systemsyn samt variation mellan timupplöst och icke timupplöst data för byggnadens energianvändning i driftfasen (B6). LÅGAN menar att den genomförda sammanställningen visar på att de systemgränser, allokeringsspektiv och metodperspektiv som appliceras får stor påverkan på resultatet. Som exempel visar de på att en systemsyn kan leda till att klimatpåverkan från avfallsförbränning medför negativa utsläpp av växthusgaser vilket då skulle kunna leda till att en byggnad isoleras så lite som möjligt. Detta kan i sin tur leda till ökad användning av kraftvärme. Alternativt kan en annan systemsyn leda till att en byggnad som isoleras i större utsträckning resultera i en större påverkan i byggskedet samt ett mindre behov av kraftvärme.

LÅGAN menar även att timupplöst data i motsats till vanligt förekommande årsmedelvärden i vissa fall bör användas för att ge en rättvis bild över klimatpåverkan vid genomförande av effektiviseringsåtgärder. Detta då energieffektiviseringsåtgärden kan leda till minskad energianvändning i perioder där energisystemet redan har låga fossila utsläpp.

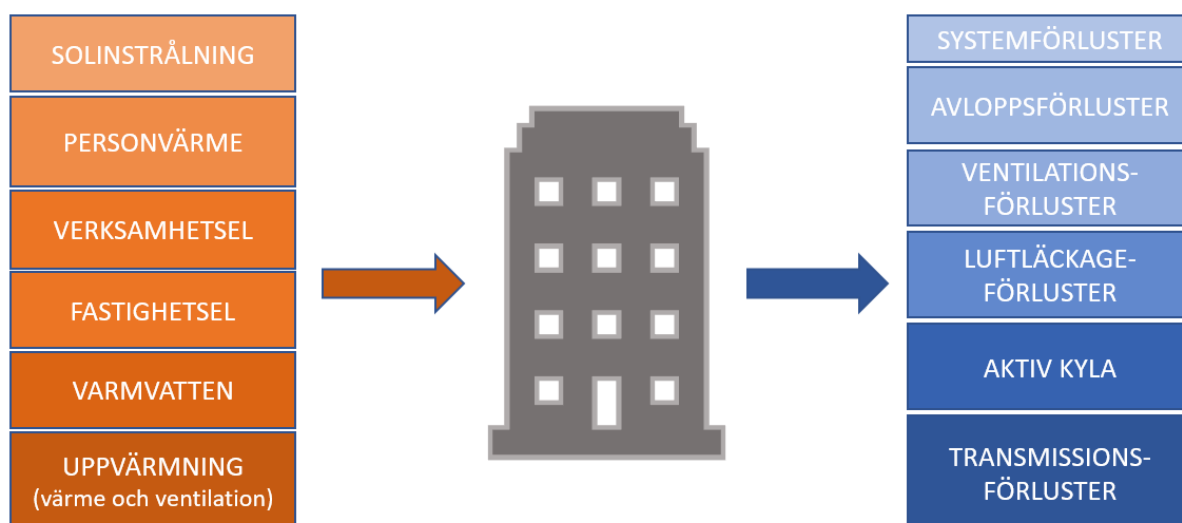
## **3.2 En byggnads energibalans**

I detta avsnitt beskrivs en byggnads energibalans mer ingående samt att specifik energianvändning och primärenergital förklaras. Avsnittet ligger sedan till grund för genomförda energiberäkningar i fallstudien samt bidrar med riktlinjer för val av tjocklek på isolerings-

lösningar.

En byggnads energibalans utgörs av summan av all tillförd och bortförd energi till byggnaden och ligger till grund för byggnadens energianvändning, se figur 3.1 nedan. Om husets medeltemperatur är konstant måste det finnas lika mycket tillförd energi som bortförd energi, se figur 3.1. Den tillförda energin för en kontorsbyggnad består av solinstrålning, personvärme, verksamhetsel, fastighetsel, varmvatten och uppvärmning (via ex. el eller fjärrvärme). Den bortförda energin från byggnaden benämns energiförluster. Dessa förluster sker via avlopp, ventilation, luft, läckage, aktiv kyla (via ex. el eller fjärrkyla) och transmissionsförluster genom byggnadens skal (Energimyndigheten 2019).

En byggnads energibalans beror bland annat på husets geometri och verksamhet. Kontorsbyggnader behöver generellt inte lika mycket uppvärmning och varmvatten som ett bostadshus behöver, istället behövs mer kyla för att kompensera för värmetillskotten från processer och personer. Energibalansen för ett "lågenergihus" och ett "standardhus" inkluderar samma poster, skillnaden är att lågenergihuset har betydligt lägre andel bortförd energi och det resulterar i lägre tillförd energi och tvärtom (Energimyndigheten 2019).



Figur 3.1: En byggnads energibalans

En byggnads specifika energianvändning används i Boverkets byggregler (BBR) från år 2006 fram till år 2017. Därefter gjorde boverket en förändring för att anpassa BBR till EU:s energiprestandadirektiv. I samband med detta infördes byggnadens primära energianvändning: primärenergital ( $EP_{pet}$ ). Primärenergitalet tar hänsyn till geografisk plats och multiplicerar även de olika energibärarna med en korrigeringsfaktor (primärenergifaktor, PE) (BFS 2011:6 BBR26). Nedan presenteras först beräkning av en byggnads specifika energianvändning och därefter beskrivs beräkning av primärenergital.

Den specifika energianvändningen är den energi som behöver levereras till en byggnad vid normalt brukande under ett normalår dividerat med byggnadens  $A_{temp}$ . I byggnadens specifika energianvändning ( $E_{bea}$ ) ingår uppvärmning ( $E_{uppv}$ ), komfortkyla ( $E_{kyl}$ ), tappvarmvatten ( $E_{tvv}$ ) och fastighetsenergi ( $E_f$ ) enligt ekvation 3.1 nedan där enheten

är kWh/(m<sup>2</sup> år) (BFS 2011:6 BBR26).

$$E_{bea} = E_{uppv} + E_{kyl} + E_{tvv} + E_f \quad (3.1)$$

Till skillnad från energibalansen ingår här inte byggnadens hushållsel för bostäder och verksamhetsel för lokaler då dessa poster kan variera markant vid val av verksamhet. Exempel på hushållsel och verksamhetsel kan vara datorer, kopiatorer, belysning, kylskåp och frys (Boverket 2019a).

Byggnadens primärenergital ( $EP_{pet}$ ) grundar sig i byggnadens energianvändning för respektive energibärare multiplicerat med primärenergitalets korrigeringsfaktor (PE), dividerat med uppvärmd area ( $A_{temp}$ ). Utöver detta har även uppvärmningen dividerats med en geografisk justeringfaktor  $F_{geo}$ , se ekvation 3.2 nedan (BFS 2011:6 BBR26).

$$EP_{pet} = \frac{\left(\frac{E_{uppv}}{F_{geo}} + E_{kyl} + E_{tvv} + E_f\right) PE}{A_{temp}} \quad (3.2)$$

Primärenergitalet och värmegenomgångskoefficienten får högst uppnå värdena definierade i tabell 3.1 nedan (BFS 2011:6 ). Då BBR:s krav på byggnaders energianvändning förmodligen kommer ändras till 2020 har även föreslagna värden från BBR inkluderats i tabellen.

Tabell 3.1: Boverkets gällande byggregler för primärenergital och värmegenomgångskoefficient ( $U_m$ ) (BFS 2011:6 ), samt föreslagna regler för 2020 (Boverket 2018).

BBR	$EP_{pet}$	$U_m$
Gällande regler	80 kWh/(m <sup>2</sup> år)	0,6 W/(m <sup>2</sup> K)
Föreslagna regler 2020	65 kWh/(m <sup>2</sup> år)	0,4 W/(m <sup>2</sup> K)

Tillägg till primärenergifaktorn kan även göras där det av hygieniska skäl finns specifika krav då uteluftsflödet överstiger 0,35 l/(s m<sup>2</sup>). Detta tillägg baseras på det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsong ( $q_{medel}$ ) och beräknas enligt  $70 \cdot (q_{medel} - 0,35)$  där  $q_{medel}$  som högst får uppgå till 1,00 l/(s m<sup>2</sup>). Det beräknade värdet adderas sedan till kravet för  $EP_{pet}$  specificerat i tabell 3.1 (BFS 2011:6 ).

### 3.3 Livscykelanalys

I standarden ISO 14044 (SIS 2006) beskrivs hur en LCA tas fram och appliceras på exempelvis en produkt eller tjänst enligt internationell standard. Vidare utgår LCA i byggsektorn även från de europeiska standarderna EN 15978 (SIS 2011) samt EN 15804 (SIS 2013) där den första hanterar beräkningsmetoder och den andra miljövarudeklaringer (EPD:er).

Utöver detta finns det teoretiska resonemang som delar upp användningen av LCA i två olika perspektiv. Den första, bokföringsperspektivet, hanterar direkta effekter från

befintliga system oftast med genomsnittlig data medan den andra, konsekvensperspektivet, tittar på förändringar i framtida system där marginaldata används (Erlandsson et al. 2014; Baumann & Tillman 2004). Marginaldata förklaras senare i detta avsnitt under ”Datatyp och datakvalité”. I de tidigare nämnda europeiska standarderna, EN 15978 samt EN 15804, används ett bokföringsperspektiv vid genomförandet av livscykelanalysen. Viktigt att notera är att standarden ISO 14044 inte gör någon skillnad på dessa perspektiv (SIS 2006). Beroende på referens kan även teorierna bakom perspektiven skilja sig åt. I detta avsnitt presenteras de olika perspektiven mer ingående tillsammans med viktiga delar och begrepp i framtagandet av en LCA. Vid bedömning av miljöpåverkan från byggprodukters livscykel har även ett standardiserat sätt att ta fram miljövarudeklarationer (EPD) uppkommit, vilket beskrivs närmare sist i detta avsnitt.

I en rapport av Erlandsson et al. (2014) (IVL), ”*Robust LCA: Typologi över LCA-metodik-två kompletterande systemsyner*” sammanställs andra författares definitioner på perspektiven samtidigt som författarna drar egna slutsatser. Här beskrivs LCA bestå av två övergripande perspektiv, bokföringsperspektiv och konsekvensperspektiv. För att förstå skillnaden på dessa perspektiv beskrivs först viktiga delar och begrepp i en LCA översiktligt, därefter beskrivs hur dessa delar ser ut för respektive perspektiv.

### Viktiga delar och begrepp

Det finns ett flertal användningsområden för LCA, där vart och ett innebär en specifik metod. Vilken metod som slutligen används beror på syftet med studien. Viktiga delar i en LCA, vilka bör kännas till oavsett vilket perspektiv som används, är funktionell enhet (FE), systemgränser, allokering, datatyp och datakvalitet samt hur påverkansbedömningen genomförs (Baumann & Tillman 2004). Vissa delar fungerar här på samma sätt oberoende av vilket perspektiv som används medan andra delar medför större skillnader. Nedan presenteras de olika delarna var för sig.

#### *Funktionell enhet*

Den funktionella enheten (FE) anger en referens för studien vilken miljöpåverkan från in- och utflöden relateras till. FE blir då kvantitativ och kan uttryckas i exempelvis kvadratmeter för golv och kilometer för transport. Genomförs LCA:n på en byggnad är det vanligt att den FE:en är ”per m<sup>2</sup>”, där den avsedda arean kan vara uppvärmd area ( $A_{temp}$ ).

### Systemgränser

Systemgränserna avgör vad som ska inkluderas i en LCA och hur långt tillbaka olika flöden och processer följs. Här avgörs även om hela produktens livscykel ska studeras, s.k. "vagga till grav", eller om endast delar av livscykeln studeras exempelvis "vagga till grind". Här syftar "grind" på när den färdiga produkten lämnar fabriken och utesluter distribution, användning och kvittblivning (exempelvis återanvändning eller återvinning) (Baumann & Tillman 2004). I EN15978:11 (SIS 2011) specificeras systemgränserna för en byggnads fullständiga livscykel enligt "vagga till grav". Systemgränserna presenteras i tabell 3.2 nedan.

Tabell 3.2: De olika delarna i en LCA för byggnadsverk från vagga till grav enligt EN15978:11 (SIS 2011)

Produktionsfas			Konstruktions- & installationsfas		Driftsfas							Slutfas				Kvittblivning
Råmaterial	Transport	Tillverkning	Transport	Konstruktion & installation	Användning	Underhåll	Reparation	Utbyte	Renovering	Energianvändning	Vattenanvändning	Rivning	Transport	Avfallshantering	Sluthantering	Återanvändnings- & återvinningspotential
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

Systemgränserna kan vidare delas upp i geografisk, tidsmässig och teknisk avgränsning. Här skiljer sig perspektiven åt framförallt gällande tidsmässig avgränsning (Baumann & Tillman 2004).

Geografisk avgränsning har betydelse bland annat då delar av en livscykel från en specifik produkt förekommer på flera ställen i världen samt att infrastruktur, el och avfallshandling kan variera mellan och inom länder. Den omgivande miljön kan även vara olika känslig beroende på vart man befinner sig. Med avgränsning i tid menas huruvida data är framtagen ur ett historiskt perspektiv (redan producerad) eller för ett framtidsperspektiv (genom framtidsscenario) (Baumann & Tillman 2004).

Den tekniska avgränsningen hanterar så kallade "cut-off" kriterier. Cut-off kriterier avser att förenkla genomförandet av en LCA genom att exkludera flöden vilka kan anses ha liten eller ingen påverkan på det slutliga resultatet. Flöden vilka ofta utesluts är exempelvis personal och kapitalvaror<sup>2</sup>. Viktigt att poängtera är dock att ett flöde inte per automatik kan anses ha liten påverkan på resultatet endast på grund av att flödet tillhör personal eller kapitalvaror. Andra anledningar för att använda sig av cut-off är exempelvis på grund av att flödet saknar relevans (Baumann & Tillman 2004).

<sup>2</sup>Varor likt byggnader, maskiner, fordon med mera vilka behövs för att producera den aktuella produkten (Baumann & Tillman 2004)

### *Allokering*

Allokering kan beskrivas som fördelning av miljöbelastning (Erlandsson et al. 2014) och definieras enligt ISO 14044 som:

*”Fördelning av inflöden eller utflöden hos en process eller ett produktsystem mellan det studerade produktesystemet och ett eller flera produktsystem”* (SIS 2006 s. 4).

Allokeringsproblem uppstår när två eller flera produkter delar samma processer, och miljöpåverkan från dessa processer ska uttryckas i en och samma funktion (Baumann & Tillman 2004). Enligt ISO 14044 (SIS 2009) bör allokering i första hand undvikas. Detta görs genom att dela upp den enhetsprocess som avses allokeras i mindre delprocesser, eller genom att utvidga systemet, s.k. systemexpansion, för att inkludera ytterligare funktioner relaterade till biprodukterna. Då allokering väl genomförs bör uppdelningen för in- och utflöden mellan processer eller funktioner i första hand baseras på fysikaliska samband. Med detta menas samband som påverkas av kvantitativa förändringar (SIS 2006). Ett exempel på en allokeringsmetod baserad på fysikaliska samband är massallokering, där fördelning av miljöpåverkan genomförs beroende på de olika produkternas vikt.

Hur allokering tolkas i ISO 14044 kan anses vara väldigt viktigt för att förstå de olika perspektiven. Med detta menas att all inventering, insamling av data, grundar sig i valda allokeringsmetoder. Således är samtliga produktperspektiv inom LCA beroende av vilka allokeringsmetoder som används (Erlandsson et al. 2014).

### *Datatyp och datakvalité*

Vilken data som används vid utförande av en LCA påverkar hur väl LCA:n speglar verkligheten. När data diskuteras kan man utgå från relevans, tillförlitlighet och åtkomlighet. Med relevans menas exempelvis tidigare nämnda aspekter som geografisk och tidsmässig täckning, baserade på uppsatta systemgränser, men även teknisk täckning, fullständighet och representativitet. Ska LCA:n genomföras på en fabrik i Frankrike är det exempelvis inte relevant att använda data för elproduktion i Kina. Lika olämpligt är det att använda data för andra produktionstekniker än den som används. Tillförlitlighet avgörs istället av precision, hur mycket värdena varierar för varje presenterad data, överensstämmelse och hur väl den använda metodiken appliceras på olika delar av analysen. Åtkomlighet av data syftar även till en bedömning av reproducerbarhet av använd data (Baumann & Tillman 2004; SIS 2009). Utöver dessa krav tillkommer även en bedömning av osäkerhet i vald data. Osäkerheten syftar här bland annat på datatyp, modeller och antaganden (SIS 2006).

Vilka datakrav som ställs beror på studiens syfte och bör specificeras tidigt. Viktigt är även att bestämma när specifik data ska användas och när det räcker med generell data. I vilken utsträckning specifik data används avgör också hur tidskrävande arbetet med att ta fram data kommer att vara. Särskilt viktigt är det att bestämma om genomsnittlig data eller marginaldata ska användas (Baumann & Tillman 2004).

Genomsnittlig data kan anses vara enklare att förstå innebörden av medan detta inte alltid är fallet för marginaldata. Marginaldata hanterar miljöpåverkan som orsakas av en förändring. Denna förändring är definierad i ett givet system med uppsatta förutsättningar. På kort sikt kan användningen av marginaldata svara på frågor kring hur ett



uppsatt system svarar på förändring med existerande teknik och kapacitet, samt vilken miljöbelastning som förändringen innebär. På lång sikt är det istället frågor relaterade till investering eller nedläggning av produktionskapacitet som förändringen leder till. Ett vanligt användningsområde för marginalperspektiv är vid modellering av effekter på elproduktionen. Då det är omöjligt att exakt förutspå hur framtiden kommer se ut medför ett marginalperspektiv osäkerheter och resultatet blir starkt beroende av de scenarier som sätts upp (Erlandsson et al. 2014). Marginaldata för energisystemet beskrivs närmare i kapitel 3.4.

### **Bokföringsperspektiv**

Enligt Erlandsson et al. (2014) inkluderar och sammanställer bokföringsperspektivet den miljöbelastning som kan kopplas direkt till det undersökta systemets livscykel. Direkta effekter tas även fram som följd av den beräknade miljöbelastningen. För att beräkna direkta effekter av en produkt eller ett produktsystem skapas en modell över hur miljö-  
verkan ser ut i verkligheten. Denna modell kallas 100 %-regeln och är utmärkande för ett bokföringsperspektiv (Erlandsson et al. 2014). Nedan beskrivs hur ett bokföringsperspektiv hanterar specificerade delar i genomförandet av en LCA.

#### *Systemgräns*

Då det framförallt är tidsperspektiven som skiljer sig åt mellan perspektiven beskrivs här hur bokföringsperspektivet hanterar systemavgränsning i tid. Bokföringsperspektivet kan sägas använda ett nutidsperspektiv vilket gör att redan producerad data används. Denna avgränsning går inte att generalisera och framtidsscenarioer kan i vissa fall användas för ett bokföringsperspektiv, exempelvis då data för användarfasen och framtida avfallshantering hanteras. Viktigt är att det tidsperspektiv som används definieras tydligt (Baumann & Tillman 2004).

#### *Allokering*

I grova drag går det att påstå att ett bokföringsperspektiv använder uppdelning av enhetsprocesser samt allokering i form av uppdelning efter fysikaliska samband (Baumann & Tillman 2004).

I IVL:s rapport (Erlandsson et al. 2014) beskrivs bokföringsperspektivet utifrån två olika underperspektiv beroende på syftet med LCA:n. Det första perspektivet syftar till att ta reda på den faktiska miljöpåverkan från en specifik produkt. Allokeringsmetoden som används resulterar i adderbarhet och uppfyllande av 100 %-regeln. För det andra perspektivet grundar sig syftet i samma principer. Skillnaden här är att det fysikaliska bergreppet inte appliceras på samma sätt. Istället talar man om vad som kan anses rättvist och något som kallas *kaskadåtervinning* beaktas. Med detta menas att en produkt ingår i flera återvinningscykler där den återvinns och används som råvara till en annan produkt. Därmed faller de tidsmässiga och geografiska aspekterna bort då miljöbelastningen flyttats till den produkt som bär ansvaret. Detta sker enligt de regler som sätts upp för allokering för återvinning (Erlandsson et al. 2014).

#### *Datatyp*

Valet mellan genomsnittlig data och marginaldata är debatterat. För bokföringsperspektivet är det däremot vanligt att genomsnittlig data används (Baumann & Tillman 2004).

### Konsekvensperspektiv

Till skillnad från ett bokföringsperspektiv inkluderar konsekvensperspektivet kopplingar mellan flera produktsystem kopplade till huvudprodukten. Detta möjliggör analys av de indirekta effekter som uppstår mellan systemen då en produkts miljöbelastningen beräknas (Erlandsson et al. 2014). Om avfall används som bränsle i ett fjärrvärmesystem blir exempelvis den indirekta effekten att marknaden för fossila bränslen påverkas. System som inkluderas i denna del har ofta en hög sannolikhet att kunna svara på förändringar i efterfrågan (Lund et al. 2010).

#### *Systemgräns*

Avgränsning i tid för konsekvensperspektivet kan sägas vara förändringsorienterad. Med detta menas att perspektivet syftar till att titta på eventuella framtida förändringar från valda alternativ. För att titta på framtida förändringar används framtidsscenarioer. Precis som för bokföringsperspektivet är det viktigt att det tidsperspektiv som används definieras tydligt (Baumann & Tillman 2004).

#### *Allokering*

Då konsekvensperspektivet inkluderar flera produktsystem undviker man allokeringsproblem genom att använda sig av systemexpansion, vilken inkluderar delprocesser kopplade till huvudprodukten (Lund et al. 2010; Baumann & Tillman 2004).

#### *Datatyp*

För konsekvensperspektivet används vanligtvis marginaldata (Baumann & Tillman 2004).

### Sammanställning

I tabell 3.3 nedan visas en sammanställning av presenterade delar där bokföringsperspektivet och konsekvensperspektivet skiljer sig åt.

Perspektiv	Systemgräns, tid	Allokering	Datatyp
Bokföring	Nutid/historisk	Baserad på fysikaliska samband	Genomsnittlig
Konsekvens	Framtid	Undviks genom systemexpansion	Marginal

Tabell 3.3: Sammanställning för bokföringsperspektivet och konsekvensperspektivet.

### Miljövarudeklaration

Miljövarudeklarationer (EPD) för byggprodukter är ett standardiserat sätt att bedöma miljöpåverkan från produkter utifrån ett livscykelperspektiv. Förkortningen EPD kommer från engelskans *Environmental Product Declaration* och följer standarden för *Hållbarhet hos byggnadsverk – Miljödeklarationer Produktspecifika regler*, EN 15978:2012+A1:2013 (SIS 2013) samt ISO 14044 (SIS 2006). För att säkerställa trovärdigheten i EPD:er granskas och godkänns dem av en oberoende tredje part innan publicering. Dokumentet är sedan giltigt i 3-5 år (Boverket 2019b).

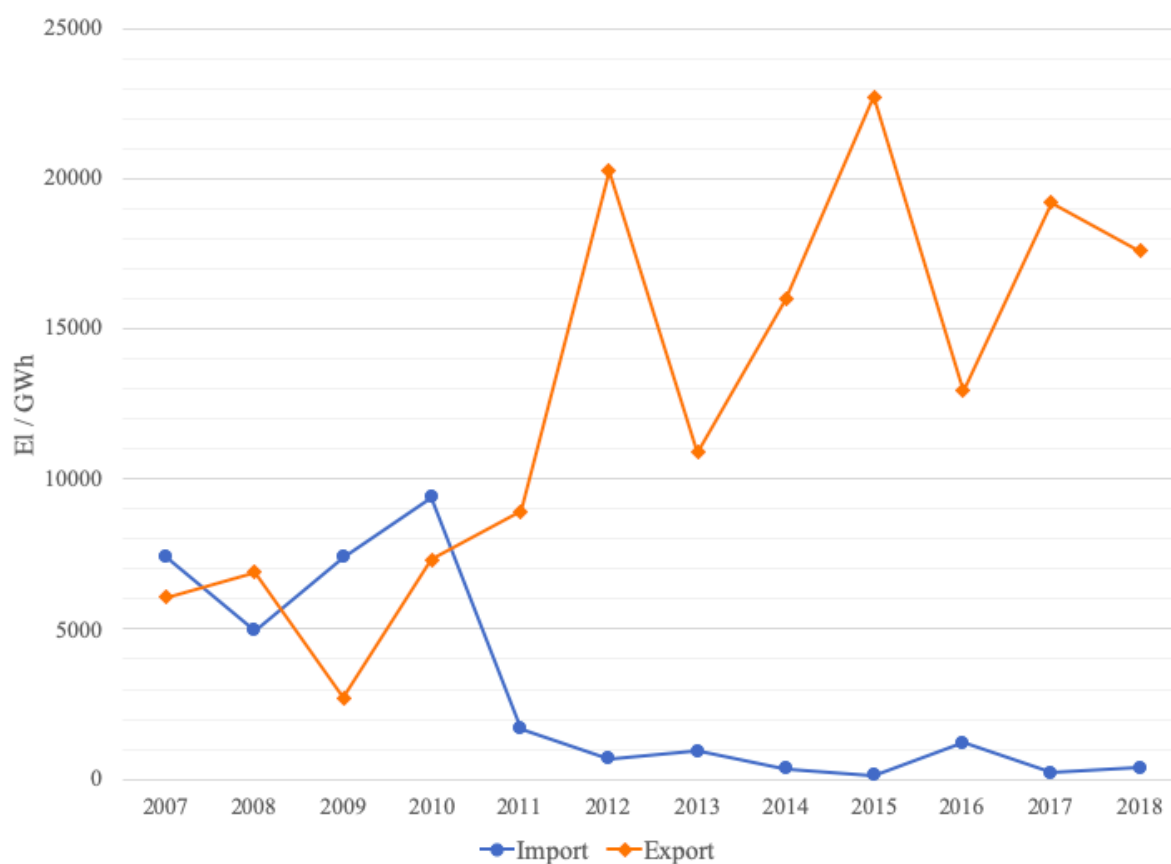
När en EPD tas fram utgår tillverkaren från produktspecifika regler (PCR) eller *Product Category Rules*. PCR innebär kriterier för den aktuella produktgruppen, exempelvis isolering. Kriterierna specificerar den avgränsning, metodval och dataunderlag som gäller vid genomförandet av LCA:n. Det är med hjälp av PCR:er som EPD:erna blir jämförbara mellan produkter inom samma produktgrupp (Boverket 2019b).

### 3.4 Energisystem

Då klimatpåverkan för byggnader studeras har den geografiska avgränsningen för el, fjärrvärme och fjärrkyla visat sig vara av stor betydelse (Glader et al. 2018; Janson et al. 2019). Vidare varierar utsläpp av koldioxidekvivalenter med de antaganden som genomförs vid beräkningarna. Nedan presenteras hur klimatpåverkan från el, fjärrvärme och fjärrkyla varierar beroende på avgränsningar, antaganden och det perspektiv som appliceras.

#### El

Det svenska elsystemet är en del av ett större elsystem med förbindelser med Norge, Finland, Danmark, Tyskland, Polen och Litauen vilket betyder att länderna både kan exportera och importera el från varandra (Energimyndigheten 2017a). Sverige har de senaste åren exporterat mer el än vad som importerats och i figur 3.2 går det att avläsa hur variationen av import och export sett ut från 2007 till 2018.



Figur 3.2: Sveriges import och export av el från 2007 till 2018 i GWh sammanställt från Svenska kraftnät (2019).

Sammankopplingen med grannländer har lett till delade åsikter vad gäller miljövärdering under de perioder Sverige har behövt importera el. El producerad i Sverige kommer till största del från vattenkraft och kärnkraft (81 %). På senare år har även utbyggnad av vindkraft och användning av biobränsle ökat kraftigt (Energimyndigheten 2017a). Den

producerade elen i Sverige uppnår därmed väldigt låga koldioxidutsläpp (Energirådgivningen 2018).

Den stora andelen fossilfri elproduktion i Sverige ledde till att svensk elmix 2014 hade ett genomsnittligt värde på cirka 13 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh (Energiföretagen 2017*d*) medan den nordiska elmixen uppnår genomsnittliga värden på cirka 50 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh. Värdena varierar däremot från år till år (Energirådgivningen 2018). Vidare uppnår nordisk residualmix betydligt högre värden. Med residualmix menas den elmix som blir kvar efter försäljning av ursprungsmärkt el. Även denna elmix varierar från år till år men har under de senaste fyra åren uppnått värden mellan 320-350 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh (Energimarknadsinspektionen 2019). Val av avgränsning medför därmed variation i beräkning av utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv.

Förutom variation i geografisk avgränsning varierar även klimatpåverkan beroende på om genomsnittlig data eller marginaldata används. Den genomsnittliga datan är som tidigare nämnt typisk gällande för ett bokföringsperspektiv. För konsekvensperspektivet där marginaldata ofta används kallas elen för marginalet och avser koldioxidutsläpp från den el som är dyrast att producera för stunden. Produktionen av marginalet sätts igång när det behövs mer el i systemet och är även den elproduktion som först stängs av då behovet sjunker. Då det nordiska elsystemet är ytterst komplext är det väldigt svårt om inte omöjligt att förutspå vad marginalet kommer bestå av. Historiskt sett har däremot marginalet utgjorts av el från kondenskraftverk<sup>3</sup> drivna av olja eller kol. Denna produktion har höga koldioxidutsläpp vilka kan uppnå värden på upp till 1 000 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh. Exempel på användningsområden då marginalet används är vid beräkning av energieffektiviseringsåtgärder (Energirådgivningen 2018).

## Fjärrvärme

Fjärrvärmerna i Sverige har gått från ett fossilberoende till ett fossiloberoende sedan början av 80-talet fram tills idag. Fjärrvärmerna i Sverige 2017 bestod till ca 55 % av återvunnen energi och till ca 39 % av förnybar. Endast 4 % av den tillförda energin kom då från fossila bränslen. Den återvunna energin kommer framförallt från förbränning av avfall och den förnyelsebara från biobränslen (Energiföretagen 2017*d*). Fjärrvärme är även den främsta energibäraren för uppvärmning och varmvatten för lokaler och flerbostadshus där fjärrvärmerna stod för över

70 % respektive 90 % av energianvändningen 2017 (Energimyndigheten 2017*a*).

Fjärrvärmemarknaden består av ett flertal lokala verk som skiljer sig gällande exempelvis ålder, bränsle, storlek samt förbränningsteknik. Detta leder i sin tur till att utsläppen av CO<sub>2</sub>-ekv. kan variera från ett verk till ett annat (Sveriges kommuner och landsting 2017). En jämförelse från 2002 mellan utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv. från fjärrvärmesystem i Göteborg och Borås med genomsnittliga utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv. från fjärrvärmesystem i Sverige visar att skillnaden i utsläpp mellan de faktiska systemen och det genomsnittliga värdet var över

65 % (Wahlström & Olsson-Jonsson 2002).

---

<sup>3</sup>Producerar el från kondenserad ånga. Till skillnad från kraftvärmekraftverk producerar kondenskraftverk endast el (Nationalencyklopedin 2019)

För att möjliggöra redovisning av, samt jämförelse mellan utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv. från fjärrvärmesystem har Energiföretagen (2018b) tagit fram en modell för hur företagen ska värdera utsläppen. Beräkningarna utgår från bokföringsmässig redovisning vilket ger ett genomsnittligt historiskt värde på utsläppen från respektive fjärrvärmesystem per år. Denna data används då historiska miljökonsekvenser ska beräknas till miljöredovisningar. Resultaten från beräkningarna går att hitta på Energiföretagens hemsida (Energiföretagen 2017c). I tabell 3.4 nedan visas ett utdrag från resultaten från 2017.

Tabell 3.4: Utdrag ur *Lokala miljövärden 2017* (Energiföretagen 2017b). Visar fjärrvärmesystem samt levererad årlig värme (GWh) och beräknade genomsnittliga utsläpp från förbränning (g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh).

Fjärrvärmesystem	Levererad värme /GWh	Utsläpp från förbränning /(g CO <sub>2</sub> -ekv./kWh)
Pite Energi AB - Piteå	241	4
Adveden Värme AB-Friggesund	3,3	5
Adveden Värme AB-Långsele	4,2	49
Borås Energi och miljö AB-Borås	594	50
Göteborg Energi-Ale & Partille	3319	52
Landskrona Energi AB	303	63
Stockholm Exergi AB	8154	66
Bodens Energi AB	272	138

Från tabellen ovan går det att avläsa variationer mellan levererad värme och utsläpp från olika fjärrvärmesystem. Data i tabellen ger exempel på hur stora skillnaderna i utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv. kan vara mellan olika verk, här allt från 4 g/kWh till 138 g/kWh. Det bör poängteras att detta endast är ett utdrag av ett flertal fjärrvärmesystem och både högre och lägre värden kan förekomma.

Ingen framtagna data finns att tillgå på Energiföretagens hemsida vad gäller marginalvärden för fjärrvärme. Däremot ges det rekommendationer på hur beräkningar bör genomföras samt när denna typ av data ska användas. Rekommendationerna tar exempelvis upp det långsiktiga perspektiv som används och att marginalvärden för dessa bör bestämmas för de energisystem som påverkas av åtgärden. Dessa energisystem är enligt Energiföretagen (2018a) det nordeuropeiska elsystemet och det lokala fjärrvärmesystemet där produktionsmixen även kan komma att förändras under åtgärdens livstid. De miljökonsekvenser vilka åtgärden kan anses leda till om den inte genomförs ska även bestämmas. Här poängteras att den värdering som genomförs för framtida miljövärden är specifik för varje fjärrvärmesystem och därmed inte kan generaliseras (Energiföretagen 2018a).

#### *Allokering och systemexpansion*

Beroende på om genomsnittliga värden eller marginalvärden används kommer allokering eller systemexpansion appliceras för kraftvärme och använt bränsle. När genomsnittlig data tas fram ur ett bokföringsperspektivet används vanligen energimetoden eller alternativproduktionsmetoden vid fördelning av emissioner mellan el och värme från kraftvärmeverk<sup>4</sup> (Janson et al. 2019). Energimetoden innebär att fjärrvärme och el producerade i

<sup>4</sup>Kraftvärmeverk är verk vilka både utvinnet el och värme ur bränsle.

kraftvärmeverk belastas lika per kWh. Med alternativproduktionsmetoden fördelas istället påverkan beroende på andelen bränsle som krävs vid separat utvinning av el och värme. Detta leder generellt till att elen får ett sämre värde vid användning av alternativproduktionsmetoden jämfört med om energimetoden används. Alternativproduktionsmetoden är även den metod vilken el- och fjärrvärmebranschen kommit överens om att använda vid miljöbedömning av el- och fjärrvärme då ett bokföringsperspektiv appliceras (Martinsson et al. 2012). Vid systemexpansion och konsekvensperspektivet kan istället el producerad från ett kraftvärmsystem antas ersätta annan producerad marginael vilken ofta anses ersätta el producerad från naturgas (Janson et al. 2019).

För konsekvensperspektivet förekommer även systemexpansion där bedömning av miljöpåverkan från bränslets alternativa användning inkluderas. En metod för systemexpansion för kraftvärme kallas kraftbonusmetoden och innebär att beräknade miljövärden för producerad värme förhåller sig till de värden för vilket den producerade elen ersätter, exempelvis el producerad från naturgas (Janson et al. 2019). Tillsammans med beräkning av avfallens alternativa användning kan detta leda till negativa utsläpp av växthusgaser, eftersom importerat avfall för energiåtervinning kan motiveras bidra till minskad deponering och därmed till minskad klimatpåverkan. Här finns det däremot olika åsikter där en annan motivering istället påpekar att det plastinnehåll som finns i avfallet undviker återvinning genom att förbrännas vilket istället hade kunnat ersätta nyproducerad plast (Erlandsson et al. 2018).

## Fjärrkyla

Fjärrkyla bygger på samma koncept som fjärrvärme där kallt vatten istället för varmt vatten fyller ledningarna. Då fjärrkyla produceras centralt bidrar den till en betydligt lägre klimatpåverkan än om lokala kylanläggningar hade använts. Det vanligaste är att frikyla används där exempelvis kyla hämtas från en sjö. Fjärrkyla kan även produceras från fjärrvärme (Energiföretagen 2017a).

Ingen sammanställning av fjärrkylans klimatpåverkan har hittats vid genomförande av detta examensarbete, däremot redovisar enskilda företag sina miljövärden. I tabell 3.5 nedan redovisas några av dessa värden för att ge en överblick på hur utsläppen kan variera för bokföringsperspektivet. Ett av verken har även tagit fram värden ur ett konsekvensperspektiv vilket inkluderas i tabellen.

Tabell 3.5: Miljövärden för fjärrkyla samt levererad kyla från tre svenska fjärrkylesystem utifrån ett bokföringsperspektiv. Där data från konsekvensperspektiv redovisats har detta inkluderats.

Fjärrvärmesystem	Levererad kyla/GWh	Bokföring / (g CO <sub>2</sub> -ekv./kWh)	Konsekvens / (g CO <sub>2</sub> -ekv./kWh)
Tekniska verken Linköping (Tekniska verken 2018)	-	0,0	55,6
Göteborg Energi AB (Göteborg energi 2018)	98	1,0	-
Fortum, Stockholm (Fortum 2016)	370	0,0	-

Från tabellen går det att avläsa noll- och nära nollvärden för bokföringsperspektivet samt ett betydligt högre värde för konsekvensperspektivet. Det bör noteras att detta endast är utdrag samt att den använda beräkningsmetoden för respektive miljövärde inte är känd. Nollvärden kan däremot förklaras med att både Tekniska verken och Göteborgs Energi specificerar att de använder ursprungsmärkt el vid beräkning av utsläpp för bokföringsperspektivet, vilken inte anses ha några fossila utsläpp.

### 3.5 Isoleringsmaterial

Detta avsnitt beskriver och analyserar isoleringsmaterial, vilken är den produktgrupp som har valts att studeras närmare. Det finns olika isoleringstyper som skiljer sig åt vad gäller framställningssätt, klimatpåverkan och isoleringsförmåga. Olika isoleringstyper med dess respektive egenskaper och materialparametrar presenteras nedan. Klimatpåverkan från respektive isoleringsmaterial är specifikt beroende på bland annat råmaterial, tillverkningsmetod och tillverkningsland och presenteras i Fallstudien, kapitel 4 avsnitt 4.1

#### Mineralull

Mineralull är ett isoleringsmaterial som används i hög grad i befintliga byggnader och nybyggnationer. Mineralull är både glasull och stenull, de båda tillverkas på samma sätt då de smälts vid 1350-1500 grader och blåses sedan ut ur ett munstycke och fibrerna binds samman. Glasullen består idag av cirka 80 % återvunnet glas och stenullen kommer främst från diabas och dolomit. Då glasullen består av stor andel återvunnet material innebär detta att glasullen bidrar till en lägre klimatpåverkan än om jungfruligt material används (Bokalders & Block 2014).

#### Cellplast

Cellplast (EPS och XPS) består till majoriteten av polystyren, där andelen polystyren beror på vilken typ av cellplast det handlar om och brukar ligga runt 90-99 %. Polystyren är en plast och framställs av fossila råvaror som vid förbränning bidrar till klimatpåverkan (Bokalders & Block 2014).

#### Cellulosa

Cellulosa är ett organsikt isoleringsmaterial och framställs av återvunna tidningar eller nyproducerad pappersmassa. Vid beräkning av cellulosabaserat materials klimatpåverkan kan vissa beräkningsmetoder redovisa resultat som ger en minskad klimatpåverkan. Med detta menas att det organiska materialet i produkten inkluderats i beräkningarna där innehållet av bundet kol från atmosfären ger en minskad klimatpåverkan (Bokalders & Block 2014).

#### Materialparametrar

Ett materials värmeledningsförmåga ( $\lambda$ ) betecknar hur pass bra ett material leder värme. Ju lägre ett materials värmeledningsförmåga är desto sämre leder materialet värme och har då en bättre isoleringsförmåga (Wekla 2015).

Ett materials värmemotstånd ( $R$ ) är beroende av materialets tjocklek. Värmeegenomgångskoefficient ( $U$ ) räknas fram genom att ta inversen av alla ingående materials  $R$ -värde inklusive  $R_{si}$  och  $R_{se}$  (Wekla 2015). Värden  $R_{si}$  och  $R_{se}$  presenteras vidare i bilaga D. De förklarade parametrarna och dess förhållande till varandra presenteras i tabell 3.6 nedan.

Tabell 3.6: Materialparametrar för isoleringsmaterial (Bokalders & Block 2014)

Parameter		Enhet
$\lambda$	Värmeledningsförmåga/värmekonduktivitet	W/(m K)
$R$	Värmemotstånd för en platta med tjockleken $d$ : $R = d/(\lambda)$	m <sup>2</sup> K/W
$U$	Värmeegenomgångskoefficient: $U = 1/\sum R$	W/(m <sup>2</sup> K )

De ovannämnda isoleringsmaterialen skiljer sig vad gäller värmeledningsförmåga ( $\lambda$ -värde). I tabell 3.7 presenteras i vilka intervall de olika isoleringsmaterialens värmeledningsförmåga brukar ligga.

Tabell 3.7:  $\lambda$ -värde för isolering (Bokalders & Block 2014)

Typ av isolering	$\lambda$ /(W/(m K))
Mineralull	0,033-0,040
Cellplast	0,031-0,042
Cellulosa	0,038-0,043

Isoleringstjocklek och -material påverkar energianvändningen för en byggnad enligt ekvation 3.3 nedan. Parametrar för ekvationen förklaras i tabell 3.8 nedan.

$$E = Q_v + \frac{A_{om}(T_{in} - T_{ut})}{R + \frac{d}{\lambda}} \quad (3.3)$$

Tabell 3.8: Förklaring av ingående parametrar för ekvation 3.3

Parameter		Enhet
$E$	Byggnadens energianvändning	kWh
$Q_v$	Ventilationens energianvändning	kWh
$A_{om}$	Byggnadens omslutande area	m <sup>2</sup>
$T_{in}$	Byggnadens innetemperatur	C <sup>o</sup>
$T_{ut}$	Utetemperatur	C <sup>o</sup>
$R$	Se tabell 3.6	
$\lambda$	Se tabell 3.6	



### 3.6 Redovisningsmetoder för byggnader

Detta avsnitt utgår från rapporten *Metoder för bedömning av klimatpåverkan i bygg- och fastighetssektorn* (Janson et al. 2019) vilken presenterats i avsnitt 3.1, Tidigare studier. Nedan presenteras viktig information angående systemgränser och allokeringsmetoder för bokföringsperspektivet redovisade i rapporten. Därefter följer en sammanställning av Tidsstegsmetoden vilken valts ut för vidare granskning då den applicerar ett konsekvensperspektiv på den miljöpåverkan val av energieffektiva lösningar kan medföra.

#### Bokföringsperspektiv

Åtta utav nio undersökta redovisningsmetoder använder sig av ett bokföringsperspektiv. Av dessa använder endast en redovisningsmetod timupplöst data för energisystemet. Nedan presenteras resultatet för systemgränser för el samt allokeringsmetoder.

##### *Systemgräns - El*

Systemgränsen för el är i flera fall inte specificerad, alternativt att byggnadens energianvändning i driftfasen (B6) inte ingår i den avsedda redovisningsmetoden. De redovisningsmetoder vilka specificerar elsystemets avgränsning är NollCO<sub>2</sub> samt Öppet klassningssystem. För båda metoderna är det nordisk elmix som används.

##### *Allokering*

Likt systemgränser för el är det endast NollCO<sub>2</sub> samt Öppet klassningssystem vilka tydligt specificerar använda allokeringsmetoder för bokföringsperspektivet. Här genomförs allokering för kraftvärme genom energimetoden för NollCO<sub>2</sub> samt alternativproduktionsmetoden för Öppet klassningssystem.

#### Konsekvensperspektiv

I rapporten presenteras Tidsstegsmetoden som den enda metod vilken har ett entydigt uttalat konsekvensperspektiv. Konsekvensperspektivet appliceras i vissa fall även i Öppet klassningssystem. Till skillnad från Öppet klassningssystem använder Tidsstegsmetoden en bredare systemgräns för el och även systemexpansion istället för allokering.

Syftet med Tidsstegsmetoden är att visa på miljömässiga effekter från olika val av energilösningar i bygg- och renoveringsprojekt. Metoden ska fungera som ett hjälpmedel i valet av den mest fördelaktiga energilösningen utifrån ett miljöperspektiv samt bidra till en bättre förståelse för de miljömässiga konsekvenser som en förändring av en byggnads energianvändning kan leda till. Då Tidsstegsmetoden använder sig av ett konsekvensperspektiv används marginaldata för både el, fjärrvärme och fjärrkyla (Hagberg et al. 2017). Nedan presenteras systemgränser för el och systemexpansion för kraftvärme för Tidsstegsmetoden, därefter presenteras metodens olika delar mer ingående.

##### *Systemgräns - El*

För elsystemet använder Tidsstegsmetoden ett nordiskt perspektiv med import och export till och från övriga Europa (Hagberg et al. 2017).

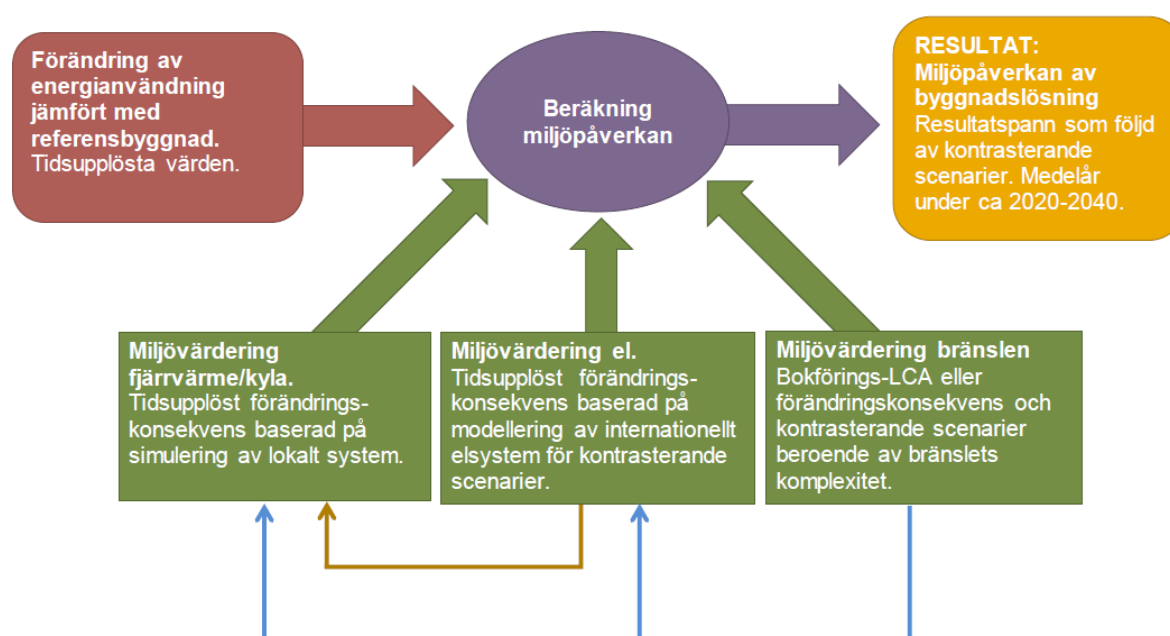
### Systemexpansion

Tidstegsmetoden undviker allokering för kraftvärmeproduktion genom systemexpansion. Den metod som används är kraftbonusmetoden. Detta leder till att klimatdata för den producerade värmen är beroende av det elscenario som används på marginalen vilket i sin tur leder till att värmeenergin kan få negativa klimatutsläpp (Janson et al. 2019).

### Tidstegsmetoden

Tidstegsmetoden går ut på att olika energilösningar jämförs mot en referens. Metoden inkluderar två tidsperspektiv där det första avser ett kortsiktigt perspektiv vilket hanterar klimatpåverkan timupplöst under ett år. Här hanteras variation över årstider, dygn och timmar. Den andra delen hanterar utvecklingen av el- och fjärrvärmenätet i framtiden och inkluderar framtidsscenerier för långsiktiga investeringar i energisystemet. Nedan visas en schematisk bild över Tidstegsmetodens ingående delar (Hagberg et al. 2017).

## TIDSUPPLÖST - FRAMÅTBlickKANDE - KONSEKVENSPERSPEKTIV



Figur 3.3: Överblick över de olika delmomenten i Tidstegsmetoden enligt figur 2.1 *Miljövärdering av energilösningar (etapp 2)* (Hagberg et al. 2017)

För det kortsiktiga perspektivet har Tidstegsmetoden tagit fram metoder för att steg för steg miljövärdera fjärrvärme, fjärrkyla och el tidsupplöst. För det långsiktiga perspektivet behöver framtidsscenario tas fram, *etapp 2* tar här fram tre scenarier vilka hanterar utvecklingen av el-, fjärrvärme- och fjärrkylesystemet.

Framtagna scenarion baseras på ett referens, klimatsnålt och klimattungt scenario för elsystemet och avfall i fjärrvärmesystemet för 2040. Här leder ett minskat energibehov i byggnaden till att mindre avfall behöver importeras. För klimatsnålt scenario leder detta till att mer avfall hamnar på deponi i hemlandet. För klimattungt scenario leder det istället till att mer energi återvinns i hemlandet och därmed ersätter naturgas. Refe-

rensscenariot innebär att överbliven värme kyls bort. För mer ingående beskrivning av framtagna scenario se bilaga G.



## 4 Fallbeskrivning

I detta kapitel beskrivs den genomförda fallstudien. De olika delarna illustreras även översiktligt i figur 4.1.

Först presenteras studien övergripande och därefter presenteras klimatpåverkan genom framtagandet av global uppvärmningspotential (GWP) för isoleringsmaterialet (A1-A5) och för energianvändningen (B6). Då klimatpåverkan från isoleringsmaterialen tas från materialens tillhörande EPD appliceras här endast ett bokföringsperspektiv medan både ett bokförings- och ett konsekvensperspektiv appliceras på energianvändningen. Då tillvägagångssätten för framtagandet av GWP för isolering och energianvändning skiljs åt delas dessa upp i två olika avsnitt.

Byggnaderna vilka ligger till grund för studien heter Våghuset och Brick Studios och är två kontorsbyggnader projekterade av NCC. Byggnaderna är även en del av byggprojektet Masthuggskajen i Älvstaden i Göteborg, för byggnadsspecifik data se avsnitt 4.2. Nedan presenteras funktionell enhet (FE) samt övergripande systemgränser för byggnaderna.

### *Funktionell enhet*

Den funktionella enheten för studien är  $1 \text{ m}^2_{A_{temp}}$  under en driftstid på ett år för respektive energieffektiv lösning för Våghuset respektive Brick Studios. Respektive energieffektiva lösning innebär ett alternativ på  $U$ -medelvärdet ( $U_m$ ) vilket beror på den önskade isoleringsföremågan.

De olika alternativen (Alt.) benämns Alt. 1, Alt. 2 och Alt. 3. Alt. 1 baseras på byggnadens planerade  $U_m$ -värde för hela byggnaden enligt gällande systemhandlingar<sup>5</sup>, se bilaga C. Alt. 2 och 3 hanterar istället en mer isolerad byggnad respektive en mindre isolerad byggnad. Dessa alternativ baseras på föreslaget  $U_m$ -värden för 2020 samt nuvarande  $U$ -värde i BBR26, se tabell 3.1. Samtliga tre alternativ presenteras i tabell 4.1 nedan, se även bilaga B samt D för mer ingående beskrivning.

Tabell 4.1:  $U_m$  för varje alternativ och byggnad.

Alternativ		Våghuset	Brick Studios
Alt. 1. Referens	$U_m/(W/(m^2 K))$	0,48	0,43
Alt. 2. Mer isolering	$U_m/(W/(m^2 K))$	0,45	0,40
Alt. 3. Mindre isolering	$U_m/(W/(m^2 K))$	0,60	0,60

### *Systemgräns*

I tabell 4.2 nedan markeras delar i Våghusets och Brick Studios livscykel vilka inkluderas i studien. Här avser A1-A5 byggnadernas isolering i ytterväggar medan B6 avser byggnadernas respektive energianvändning.

<sup>5</sup>De handlingar vilka tas fram och koordineras under byggnadens projektering i ett tidigt skede. Dessa ligger till grund för beslut om fortsatt projektering.

Tabell 4.2: De olika delarna av byggnadernas livscykel vilka inkluderas i studien. A1-A5 avser isoleringsmaterialet medan B6 avser byggnadens energianvändning i driftsfasen.

Produktionsfas			Konstruktions- & installationsfas		Bruksfas							Slutfas				Kvittblivning
Råmaterial	Transport	Tillverkning	Transport	Konstruktion & installation	Användning	Underhåll	Reparation	Utbyte	Renovering	Energianvändning	Vattenanvändning	Rivning	Transport	Avfallshantering	Sluthantering	Återanvändnings- & återvinningspotential
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	X						X						

Systemgränserna för insamling av data inkluderar påverkan från utvinning av råmaterial till installerad produkt i byggnad. Därmed inkluderas steg A1-A5 för isoleringsmaterialet i byggnadens yttervägg. B1-B7 samt C1-C4 och D inkluderas inte för isoleringsmaterialet, på grund av osäkerhet i framförallt framtida återvinning och kvittblivning då isoleringsmaterial har relativt lång livslängd. Vidare anses B1-B7, bruksfasen, inte medföra några utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv. från isoleringsmaterialet (Saint-Gobain Denmark 2018).

Valet av isoleringsmaterial har begränsats till de vilka producerats i Norden. Samtliga kriterier och avgränsningar vid genomförandet av EPD:er på isoleringsmaterial specificeras i den europeiska standarden EN 15804:12 (SIS 2013), viktiga utdrag ur standarden presenteras övergripande i bilaga F.

B6 inkluderar klimatpåverkan från Våghusets och Brick Studios specifika energianvändning i under ett år. Att avgränsningen görs till ett år innebär att klimatpåverkan från isoleringen divideras med respektive materials livslängd. Med energianvändning menas användning av el, fjärrvärme och fjärrkyla.

Systemgränserna för B6 varierar mellan bokföringsperspektivet och konsekvensperspektivet. Vidare varierar systemgränserna för energisystemet beroende på använd elmix för bokföringsperspektivet samt framtidsscenario för konsekvensperspektivet. I nästa stycke ges en kort sammanfattning för energisystemets systemgränser för de olika perspektiven. Systemgränserna presenteras mer specifikt i bilaga G.

För bokföringsperspektivet används ett nutidsperspektiv och det nordiska elsystemet där beräkningar genomförs för tre olika elmixar; nordisk produktionsmix, -elanvändningsmix samt -residualmix. För konsekvensperspektivet avses ett nordiskt perspektiv med import och export till och från övriga Europa. Framtidsscenarierna för konsekvensperspektivet avgränsas till tre scenarier för elsystemet år 2040 och tre för hur utsläppen från avfallsbränslet i fjärrvärmesystemet beräknas för 2040 och kombineras till totalt nio olika kombinationer. Scenarierna baseras på antagen utveckling för elsystemet från 2020 till

2040, denna utveckling påverkar sedan klimatbedömning av fjärrvärme. Vid användning av data från *etapp 2* och framtidsscenarierna appliceras kombinationer av samtliga scenarion.

Då byggnaderna befinner sig i Göteborg är det endast Göteborgs klimatdata som används för byggnadernas energianvändningen i studien. Däremot har inte specifik data för Göteborgs fjärrvärme- och fjärrkylesystem använts då denna data inte varit tillgänglig under genomförandet av studien. Istället används simulerade värden för fjärrvärme och fjärrkyla baserade på tre svenska fjärrvärmesystem. De simulerade fjärrvärmesystemen delas upp i ett stort-, medelstort- och litet fjärrvärmesystem och ett stort fjärrkylesystem i Sverige. Detta gäller för både bokförings- och konsekvensperspektivet.

#### *Allokering*

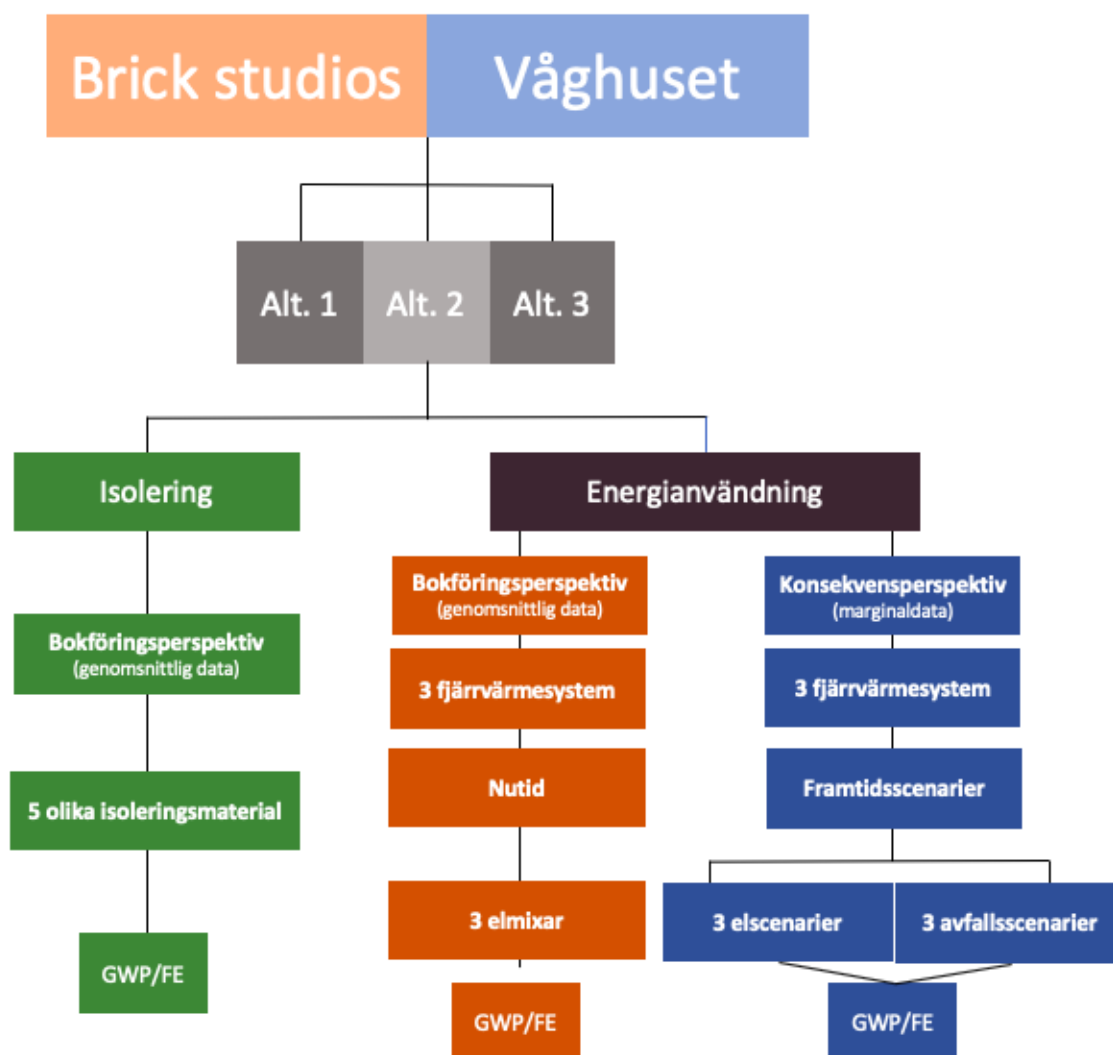
För isoleringsmaterialen (A1-A5) specificeras genomförda allokeringar i respektive material EPD, se avsnitt 4.1. Genomförd allokering för energisystemet (B6) specificeras i bilaga G.

#### *Datatyp och datakvalitet*

Se respektive avsnitt.

#### *Ingående delar i fallstudien*

För att bättre förstå vilka olika delar som ingår i fallstudien illustreras dessa i figur 4.1.



Figur 4.1: Illustration över de ingående delarna i fallstudien, där det sista steget innebär en jämförelse i GWP/FE.

#### 4.1 Isoleringsmaterial, A1-A5

Avsnittet hanterar LCA på olika typer av isoleringsmaterial vilket i detta fall innebär omräkning och sammanställning av genomförda EPD:er. Nedan presenteras allokering, datatyp och datakvalitet specificerade i respektive produkts EPD. Därefter hanteras insamlad data och till sist beskrivs hur GWP räknats fram för använd mängd isoleringsmaterial.

##### *Allokering*

Allokeringsregler för insamlade EPD:er specificeras i EN 15804, se bilaga F. Från använda materials EPD:er framkommer det att då allokering genomförts har framförallt massallokering använts.

##### *Datatyp och datakvalite*

Använda EPD:er begränsas så långt det är möjligt till nordiska länder. Den typ av data som ska användas enligt EN 15804 för respektive steg (A1-A3 samt A4-A5) beskrivs i bi-



laga F. Från använda materials EPD:er framkommer att specifik data framförallt använts för A3, tillverkning av produkten, samt i vissa fall för A1, utvinning av råmaterial.

### Insamling av data

Totalt studeras fem produkter med tillhörande EPD som tagits fram på beställning av tillverkarna. Materialen på produkterna är glasull, stenull, cellplast och cellulosa. Isoleringmaterialen har valts ut för att få ett brett resultat, vilket inkluderar ett spann av materialgrupper på marknaden. I tabell 4.3 nedan presenteras viktig data från använda EPD:er.

Tabell 4.3: Isoleringsprodukt, specifik FE, livslängd samt studerat år och land för respektive EPD. Materialförkortningar: glasull (*g*), stenull (*s*), cellplast (*p*) och cellulosa (*c*)

Isoleringsprodukt			EPD	
Namn	Specifik FE från EPD:er	Livslängd	År	Land
ISOVER Formstykker ( <i>g</i> ) (Saint-Gobain 2018)	1 m <sup>2</sup> med <i>R</i> på 1,0 m <sup>2</sup> K/W	60 år	2017	Danmark
Paroc Insulation < 70 kg/m <sup>3</sup> ( <i>s</i> ) (Paroc AB 2014)	1 m <sup>2</sup> med <i>R</i> på 1,0 m <sup>2</sup> K/W	50 år	2014	Sverige Finland
ROCKWOOL® isolering ( <i>s</i> ) (AS ROCKWOOL 2013)	1 m <sup>2</sup> med <i>R</i> på 1,0 m <sup>2</sup> K/W	60 år	2013	Danmark Norge
Jackofoam XPS isolasjonspl. ( <i>p</i> ) (Jackon AS 2014)	1 m <sup>2</sup> med <i>R</i> på 1,0 m <sup>2</sup> K/W	50 år	2014	Norge Sverige
Loose fill cellulose insulation ( <i>c</i> ) (ECIA 2014)	1 m <sup>2</sup> med <i>R</i> på 3,5 m <sup>2</sup> K/W	50 år	2018	Europa v/c

Från tabellen går det att avläsa att äldst data är tagen från 2013 samt att fyra av fem material tillverkas i Norden. Det material som har en något bredare geografiskt tillverkningsområde är cellulosaisoleringen vilken produceras i Norden men även i andra delar av Europa. Denna isolering inkluderas trots detta på grund av svårigheter i att hitta information från cellulosabaserade isoleringsmaterial. Från tabellen går det även att se isoleringsmaterialens olika livslängd. Livslängden används för att räkna om resultatet på GWP från isoleringsmaterialet till den FE. Från produkternas EPD:er framgår viktiga materialparametrar för beräkning av GWP vilka specificeras i tabell 4.4 nedan.

Tabell 4.4: Materialparametrar för respektive isoleringsmaterial och EPD.

Isoleringsprodukt	Tjocklek, $d/\text{mm}$	Värmeledningsförmåga, $\lambda/(\text{W}/(\text{m K}))$	Värmemotstånd $R/(\text{m}^2\text{K}/\text{W})$
ISOVER ( $g$ ) Formstykker*	34	0,034	1,0
Paroc Insulation** < 70 kg/m <sup>3</sup> ( $s$ )	35	0,035	1,0
ROCKWOOL®* isolering	37	0,037	1,0
Jackofoam XPS ( $p$ ) isolasjonsplate*	32	0,032	1,0
ECIA Loose fill ( $c$ ) cellulose insulation	136,5	0,039	3,5

\*EPD där värde på  $\lambda$  saknats, beräknas utifrån förhållande  $R = \frac{d}{\lambda}$ , se tabell 3.6

\*\*EPD där värde på tjocklek ( $d$ ) saknats, beräknas utifrån förhållande  $R = \frac{d}{\lambda}$ , se tabell 3.6

Ur tabellen går det att avläsa att cellulosan skiljer sig i storleksordning framförallt vad gäller tjocklek vilket beror på hur tillverkaren valt att definiera den FE:en.

I tabell 4.5 redovisas GWP per FE för respektive produkt enligt tillhörande EPD. För att möjliggöra jämförelse mellan isoleringsmaterialens GWP har det cellulosabaserade isoleringsmaterialets  $R$ -värde räknats om från 3,5 m<sup>2</sup>K/W till 1,0 m<sup>2</sup>K/W. GWP är uppdelat på A1-3, A4 och A5 samt summerat för A1-5.

Tabell 4.5: GWP, i g CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>2</sup> isoleringsmaterial med ett  $R$ -värde på 1,0 m<sup>2</sup>K/W, för respektive produkt enligt tillhörande EPD. GWP är uppdelat på A1-3, A4 och A5 samt summerat för A1-A5.

Isoleringsprodukt	A1-3	A4	A5	$\sum$ A1-A5
ISOVER Formstykker ( $g$ )	0,93	0,020	0,19	0,97
Paroc Insulation < 70 kg/m <sup>3</sup> ( $s$ )	1,48	0,07	0	1,55
ROCKWOOL®* isolering ( $s$ )	1,27	0,06	0,06	1,40
Jackofoam XPS isolasjonsplate**(p)	6,60	0,01	0,13	6,74
ECIA Loose fill cellulose insulation ( $c$ )	0,31	0,11	0,04	0,46

\*EPD där A4-5 saknats, ersätts genom förhållandet för Paroc Insulation A4/A1-3, A5/A1-3 på 5 %.

\*\*EPD där A5 saknats, ersätts genom förhållandet för ISOVER Formstykker A5/A1-3 på 2 %.

## Klimatpåverkansberäkning

För att räkna fram GWP behöver den totala mängden använd isolering för ytterväggen räknas fram. Den isoleringsmängd som krävs beror på vilket  $R$ -värde för isoleringen som önskas samt ytterväggens area.  $R$ -värdet beror i sin tur på ytterväggens  $U$ -värde och därmed byggnadens  $U_m$ -värde, se bilaga B. För klimatskalets uppbyggnad samt materialparametrar se bilaga D.

För att räkna ut GWP för samtliga isoleringsmaterial behövs först den tjocklek ( $d$ ) vilken motsvarar önskat värde på  $R$  räknas fram. Detta görs genom omskrivning av ekvation (4.1) och (4.2) nedan, se även tabell 3.6.

$$U = \frac{1}{\sum R} \quad (4.1)$$

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (4.2)$$

Värdet på  $\lambda$  hämtas från tabell 4.4.

Därefter genomförs omräkning av GWP utifrån den önskade tjockleken. Här antas GWP för respektive tjocklek kunna räknas ut enligt förhållandet i ekvation 4.3 nedan. Antagandet motiveras utifrån givet förhållande i tillhörande EPD för ISOVER Formstykker vilket presenteras i bilaga I.

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{GWP_1}{GWP_2} \quad (4.3)$$

I ekvation (4.3) kan GWP för en önskad isoleringstjocklek räknas fram.  $GWP_1$  och  $d_1$  representerar värdena specificerade i materialets EPD medan  $GWP_2$  och  $d_2$  representerar den önskade tjockleken samt dess motsvarande GWP-värde, se bilaga H.

Genom att multiplicera GWP för den önskade isoleringstjockleken med ytterväggens area tas sedan det slutliga GWP-värdet för använt isoleringsmaterial fram. För att resultatet för isoleringen ska relateras till den för studien aktuella FE, divideras GWP-värdet för isoleringsmaterialet med materialets livslängd och byggnadens  $A_{temp}$ .

## 4.2 Energisystemet

I denna del beskrivs använd data samt tillvägagångssättet för att steg för steg bedöma klimatpåverkan från energianvändningen för Våghuset och Brick Studios, dels utifrån ett bokföringsperspektiv och dels utifrån ett konsekvensperspektiv (Tidstegsmetoden).

### *Datatyp och datakvalitet*

Data för beräkning av energianvändningens klimatpåverkan utifrån ett bokföringsperspektiv är framtagen av Nilsson och Gode på IVL på beställning av NCC. För konsekvensperspektivet har data som använts i Tidstegsmetoden (*etapp 2*) använts (även denna data framtagen av IVL). Använd data skiljer sig beroende på vilket perspektiv som används och redovisas översiktligt i tabell 4.6 nedan. För ingående beskrivning av framtagen data se bilaga G.

Tabell 4.6: Översikt av använd data för konsekvens- respektive bokföringsperspektivet. FJV = Fjärrvärme, FKV = Fjärrkyla.

Perspektiv	Datatyp	Tidsupplösning		Systemgräns	
		El	FJV/FJK	El	FJV/FJK
<b>Bokföring</b>	Genomsnitt	Årsvärde	Timbaserad	Nordisk mix <sup>6</sup>	Lokal <sup>7</sup>
<b>Konsekvens</b>	Marginal	Timbaserad	Timbaserad	Nordeuropeisk <sup>8</sup>	Lokal <sup>0</sup>

IVL har i Tidstegsmetoden tagit fram typdata för fjärrvärme och fjärrkyla inspirerade av verkliga fjärrvärme- och fjärrkylesystem. Här har data tagits fram för att exemplifiera ett stort (Stockholms fjärrvärmenät), ett medelstort (Linköping fjärrvärmenät) och ett litet fjärrvärmesystem (Kungsbacka fjärrvärmenät) samt ett stort fjärrkylesystem (Stockholm fjärrkylennät).

Data för bokföringsperspektivet baseras på data från Tidstegsmetoden för de ovannämnda fjärrvärme- och fjärrkylesystem. Istället för marginalmix har genomsnittliga timvärden tagits fram för årets alla timmar. För konsekvensperspektivet används den data IVL tagit fram för att exemplifiera användningen av Tidstegsmetoden. Denna data består dels av timupplöst data under ett år samt nio framtidsscenarioer för energisystemet 2040.

Framtidsscenarioerna hanterar förändring i elsystemet samt en förändrad användning av avfallsbränsle i fjärrvärmesystemen och delas upp i referens, klimatsnål och klimattungt scenario. Det som främst skiljer scenarierna åt är att det klimattunga scenariot generellt har ett högre värde på klimatpåverkan än referensscenariot och det klimatsnåla scenariot. Det klimatsnåla scenariot har sedan generellt ett lägre värde på klimatpåverkan än referensscenariot. Framtidsscenarioerna för el och fjärrvärme kan kombineras till totalt nio olika kombinationer enligt tabell 4.7 nedan.

Tabell 4.7: Kombination av framtidsscenario för el och fjärrvärme enligt Tidstegsmetoden *etapp 2* (Hagberg et al. 2017, tabell 7.1). L = klimatsnål, R = referens, H = klimattung och A = avfall (fjärrvärmescenario)

Scenariomatrix	Avfall Klimatsnål	Avfall Referens	Avfall Klimatsnål
El Klimatsnål	EL CO <sub>2</sub> L, A CO <sub>2</sub> L	EL CO <sub>2</sub> L, A CO <sub>2</sub> R	EL CO <sub>2</sub> L, A CO <sub>2</sub> H
El Referens	EL CO <sub>2</sub> R, A CO <sub>2</sub> L	EL CO <sub>2</sub> R, A CO <sub>2</sub> R	EL CO <sub>2</sub> R, A CO <sub>2</sub> H
El Klimattung	EL CO <sub>2</sub> H, A CO <sub>2</sub> L	EL CO <sub>2</sub> H, A CO <sub>2</sub> R	EL CO <sub>2</sub> H, A CO <sub>2</sub> H

I bilaga G förklaras framtagna data för bokförings- och konsekvensperspektivet mer ingående.

## Klimatpåverkansberäkning

Här beskrivs beräkningen av GWP för en byggnads energianvändning utifrån val av effektiviseringslösning steg för steg. Stegen är anpassade efter den aktuella analysen och har inspirerats av Tidstegsmetoden (Gode et al. 2014, figur 4). Nedan ges en översikt över de inkluderade stegen.

<sup>6</sup>Nordisk elanvändningsmix, produktionsmix samt residualmix

<sup>7</sup>Tre typfall för stort, medelstort och litet fjärrvärmesystem samt stort fjärrkylesystem.

<sup>8</sup>Nordiska elsystemet, import och export med övriga Europa beräkning varierar med framtidsscenario.

Tabell 4.8: Beräkning av klimatpåverkan steg för steg, inspirerad av Tidstegsmetoden (Gode et al. 2014)

<b>Indata byggnad</b>	<b>Steg 1. Referensbyggnad</b> Beskrivning av byggnadsspecifik data
	<b>Steg 2. Simulering av energianvändning</b> Energisimulering av total energianvändning uppdelat på el, fjärrvärme och fjärrkyla baserat på timvärden över ett år, för respektive alternativ för klimatskalet (kW)
	<b>Steg 3. Effektsignatur</b> Simulerad korrelation mellan timvärdena för energianvändning och utomhus-temperatur för Göteborg, uppdelat på el, fjärrvärme och -kyla, för respektive alternativ för klimatskalet (kW/°C).
	<b>Steg 4. Energisignatur</b> Omvandling av effektsignaturen till energisignatur. En summering av alla timmar inom varje temperaturintervall per grad (°C) och alternativ för klimatskalet över ett år (kWh/°C).
<b>Bearbetning och miljövärdering</b>	<b>Steg 5. Klimatpåverkansbedömning av fjärrvärmeanvändning</b> Tillämpning av klimatpåverkansbedömning som varierar med utomhus-temperaturen i g CO <sub>2</sub> -ekv./ (kWh °C) för simulerat fjärrvärmenät.
	<b>Steg 6. Klimatpåverkansbedömning av elanvändning</b> Tillämpning av klimatpåverkansbedömning i g CO <sub>2</sub> -ekv./kWh för simulerat elnät.
	<b>Steg 7. Klimatpåverkansbedömning av kylanvändning</b> Tillämpning av klimatpåverkansbedömning som varierar med utetemperaturen i g CO <sub>2</sub> -ekv./ (kWh °C) för simulerat kylnät.
	<b>Steg 8. Jämförelse energilösningar</b> Summering av klimatpåverkan för olika energibärare och klimatskal (g CO <sub>2</sub> -ekv./ (m <sup>2</sup> år)).

### Steg 1 - Referensbyggnad

Här presenteras byggnadsspecifik data vilken används som indata vid simulering av byggnadernas energianvändning för valda energieffektiviseringslösningar (alt. 1 - 3) i IDA ICE.

Våghuset och Brick Studios skiljer sig åt framförallt vad gäller omslutningsarea ( $A_{om}$ ) och uppvärmd golvarea ( $A_{temp}$ ). I tabell 4.9 och 4.10 nedan presenteras byggnadsspecifik data för byggnaderna. I bilaga E presenteras mer specifik bakgrundsdata för byggnaderna hämtade från modellen i IDA ICE 4.8.

Tabell 4.9: Indata Våghuset

<b>Våghuset</b>	
$A_{om}$	7 665 m <sup>2</sup>
$A_{temp}$	11 564 m <sup>2</sup>
Ventilation	FTX-aggregat
Allmänt om byggnaden	13-våningars kontorsbyggnad inklusive källarplan. Byggnadens värme tillförs från fjärrvärme som distribueras via radiatorer. Kylan tillförs från fjärrkyla via bafflar <sup>9</sup> .

Tabell 4.10: Indata Brick Studios

Brick Studios	
$A_{om}$	12 193 m <sup>2</sup>
$A_{temp}$	18 504 m <sup>2</sup>
Ventilation	FTX-aggregat
Allmänt om byggnaden	15-våningars kontorsbyggnad inklusive källarplan. Byggnadens värme tillförs från fjärrvärme som distribueras via radiatorer. Kylan tillförs från fjärrkyla via bafflar.

Tabellerna visar att Brick Studios har en betydligt större  $A_{om}$  och  $A_{temp}$  jämfört med Våghuset. För mer ingående data om byggnaderna se bilaga C. I figurerna 4.2 och 4.3 visas även bilder för hur Våghuset och Brick Studios kommer att se ut.



Figur 4.2: Våghuset, illustrerad av White Arkitekter

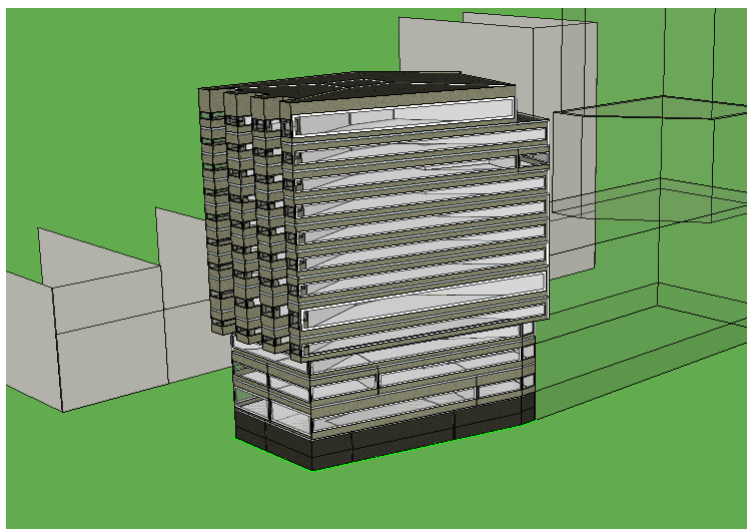


Figur 4.3: Brick Studios, illustrerad av White Arkitekter

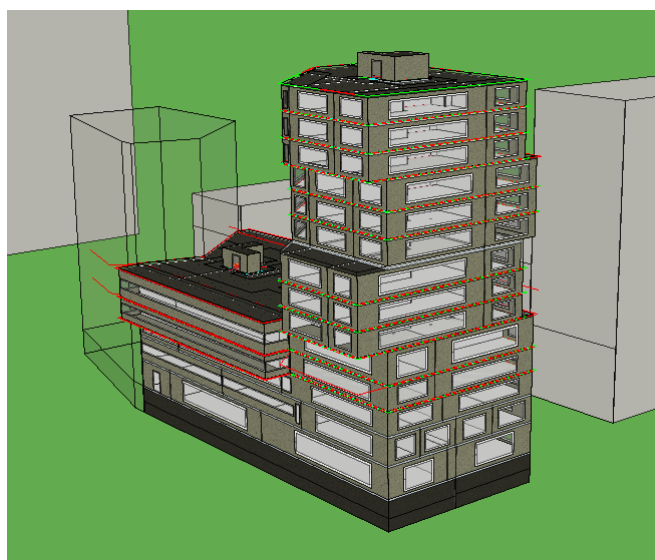
## Steg 2 - Simulering av energianvändning

Simulering av Våghusets och Brick Studioss energianvändning genomförs i IDA ICE 4.8. Byggnaderna har sedan tidigare modellerats i IDA ICE 4.8 av NCC som en del av projektets systemhandlingar, bilder på IDA ICE-modellerna syns nedan i figur 4.4 och figur 4.5. Det är med hjälp av dessa modeller som simulering av energianvändningen för byggnaderna kan genomföras. I simuleringarna ingår hela byggnadens specifika energianvändning förutom tappvarmvatten. Tappvarmvattnet påverkar inte den energieffektiva lösning som studeras och det är på grund av detta som denna post inte inkluderas. Energisimuleringar genomförs för respektive byggnad för de tre utformade alternativen där byggnadens U-medelvärde ( $U_m$ ) varierar.

<sup>9</sup>Sprider kyla i en byggnad



Figur 4.4: Modell på Våguset från IDA-ICA 4.8



Figur 4.5: Modell på Brick Studios från IDA-ICA 4.8

Varje alternativs energianvändning simuleras i IDA ICE timme för timme där resultatet delas in i el, fjärrvärme och fjärrkyla. Posterna har i IDA ICE en annan benämning och summeras enligt nedan:

<b>El</b>	=	<i>HVAC aux</i>	+	<i>lightning facility</i>
<b>Fjärrvärme</b>	=	<i>Fuel heating</i>		
<b>Fjärrkyla</b>	=	<i>Electric cooling</i>		

### Steg 3 - Effektsignatur

Resultatet från simuleringen ges i kW för respektive timme under året. För att få fram effektsignaturen korreleras effekten för respektive timme med medeltemperaturen för varje timme under hela året. Klimatdata tas från en klimatdatafil för Göteborg (SWE\_GOTEBORG\_102201 (SMHI-SVEBY)) och resultatet presenteras i kW/°C.

### Steg 4 - Energisignatur

Varje timmes energianvändning är nu temperaturbaserad. I detta steg summeras all energianvändning som sker per temperaturintervall. Exempel på temperaturintervall är att alla temperaturer inom intervallet  $3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  till  $< 4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  representerar energianvändningen vid  $3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Typsystemen för de olika perspektiven (bokförings- och konsekvensperspektivet) och energislagen har olika max- och minimitemperaturer för dess g  $\text{CO}_2$ -ekv./kWh. I tabell 4.11 nedan presenteras temperaturintervallen för respektive perspektiv och energisystem.

Tabell 4.11: Temperaturintervall för konsekvens- och bokföringsperspektiv

Energibärare	Konsekvensperspektiv	Bokföringsperspektiv
Fjärrvärme stort & medelstort	$-15^{\circ}\text{C}$ till $26^{\circ}\text{C}$	$-15^{\circ}\text{C}$ till $26^{\circ}\text{C}$
Fjärrvärme litet	$-14^{\circ}\text{C}$ till $26^{\circ}\text{C}$	$-14^{\circ}\text{C}$ till $26^{\circ}\text{C}$
Fjärrkyla	$-10^{\circ}\text{C}$ till $26^{\circ}\text{C}$	$-10^{\circ}\text{C}$ till $26^{\circ}\text{C}$
El	$-15^{\circ}\text{C}$ till $26^{\circ}\text{C}$	Årsmedelvärde

Energianvändning som faller utanför temperaturintervallen ovan summeras till den närmsta temperaturen. Med detta menas att klimatpåverkan från användning av fjärrvärme vid exempelvis  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  räknas ut med hjälp av värden för klimatpåverkan från fjärrvärmeanvändning vid  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Steg 5 - Klimatpåverkansbedömning av fjärrvärmeanvändning

Multiplikering av temperaturindelad fjärrvärmeanvändning med framtagen klimatdata i g  $\text{CO}_2$ -ekv./kWh för att få fram g  $\text{CO}_2$ -ekv. Detta genomförs för stort, medelstort och litet fjärrvärmesystem.

### Steg 6 - Klimatpåverkansbedömning av elanvändning

Multiplikering av varje temperaturindelad elanvändning med framtagen klimatdata i g  $\text{CO}_2$ -ekv./kWh för att få fram g  $\text{CO}_2$ -ekv.

### Steg 7 - Klimatpåverkansbedömning av fjärrkyleanvändning

Multiplikering av varje temperaturindelad fjärrkyleanvändning med framtagen klimatdata i g  $\text{CO}_2$ -ekv./kWh för att få fram g  $\text{CO}_2$ -ekv.

### Steg 8 - Jämförelse energilösningar

Summering av g  $\text{CO}_2$ -ekv. för varje temperaturindelad energianvändning för de olika energibärarna. Resultatet divideras med byggnadens  $A_{temp}$ , respektive byggnads resultat presenteras i enheten g  $\text{CO}_2$ -ekv./FE.



## 5 Resultat och analys

Här presenteras resultaten från fallstudien där klimatpåverkan från isolering samt energianvändning för respektive alternativ och byggnad presenteras var för sig. Först presenteras energianvändning per FE ( $\text{m}^2$  och år), därefter klimatpåverkan i GWP per FE ( $\text{CO}_2\text{-ekv./}(\text{m}^2 \text{ och år})$ ) relaterat till isolering i yttervägg, därefter klimatpåverkan i GWP relaterat till byggnadernas energianvändning, därefter en jämförelse mellan bokförings- och konsekvensperspektivet för energisystemen och till sist en jämförelse i GWP för isolering och energisystemet.

### 5.1 Energianvändning

Energianvändningen för både Våghuset och Brick Studios presenteras i tabell 5.1 och 5.2 nedan utifrån Alt. 1 (referens), Alt. 2 (mer isolering) och Alt. 3 (mindre isolering). Energianvändningen är uppdelad på värme, kyla och el (fastighetsel).

Tabell 5.1: Energianvändning för Våghuset i kWh/FE

Energibärare	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Värme	15	14	21
Kyla	18	19	17
El (fastighetsel)	10	10	10
<b>Total energianvändning</b>	<b>43</b>	<b>43</b>	<b>48</b>

Från tabellen ovan går det att avläsa att Alt. 3 ger det högsta värdet på den totala energianvändningen för Våghuset samt att Alt. 1 och Alt. 2 får samma värde på den totala energianvändningen. Här skiljer sig däremot värdena på de ingående energibärarna åt något där Alt. 1 har en högre värmeanvändning och Alt. 2 en högre kyl användning. För Alt. 3 är det värme som är den största energibäraren medan detta är kyla för Alt. 1 och Alt. 2. Vidare är el den energibärare vilken ger det lägsta värdet för samtliga alternativ. Då byggnaderna inte har någon elbaserad uppvärmning varierar inte elanvändningen utan antar samma värden oberoende av alternativ.

Tabell 5.2: Energianvändning för Brick Studios i kWh/FE

Energibärare	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Värme	13	12	22
Kyla	18	18	15
El	15	15	15
<b>Total energianvändning</b>	<b>46</b>	<b>45</b>	<b>52</b>

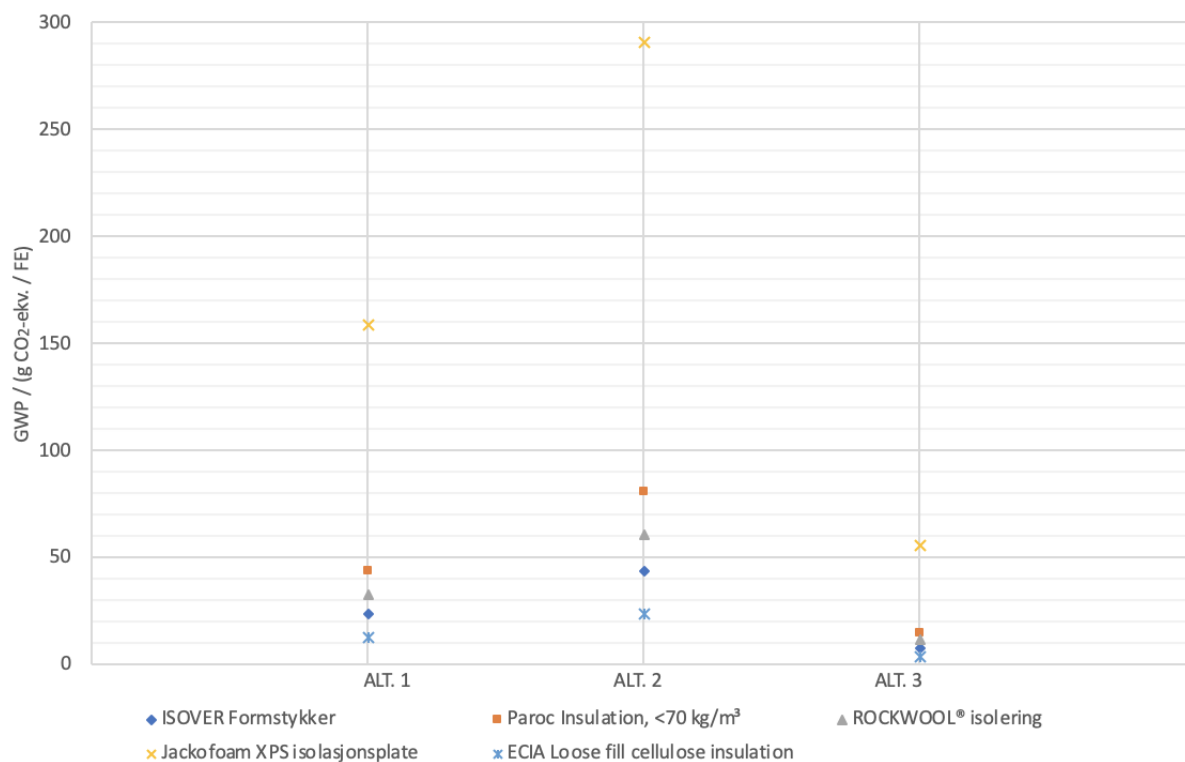
I tabellen ovan går det att avläsa att Alt. 3 ger det högsta värdet på den totala energianvändningen för Brick Studios samt att Alt. 2 ger det lägsta värdet. För Alt. 3 är det värme som är den största energibäraren medan det är kyla för Alt. 1 och Alt. 2. Vidare är el den energibärare vilken ger det lägsta värdet för Alt. 3 medan det är värme för Alt.

1 och 2. Precis som för Våghuset så skiljer sig inte elanvändningen åt mellan alternativen.

Vid jämförelse mellan tabellerna ovan har Brick Studios en större energianvändning för samtliga alternativ jämfört med Våghuset. Vid närmare granskning går det att se att detta framförallt beror på en högre elanvändning för Brick Studios jämfört med Våghuset. Vidare har Brick Studios en lägre värmeanvändning för Alt. 1 och Alt. 2 än Våghuset. Gemensamt är att Alt. 3 ger det högsta värdet på energianvändningen för båda byggnaderna, då Alt. 3 innebär en mindre mängd isolering är detta resultat väntat.

## 5.2 Isolering

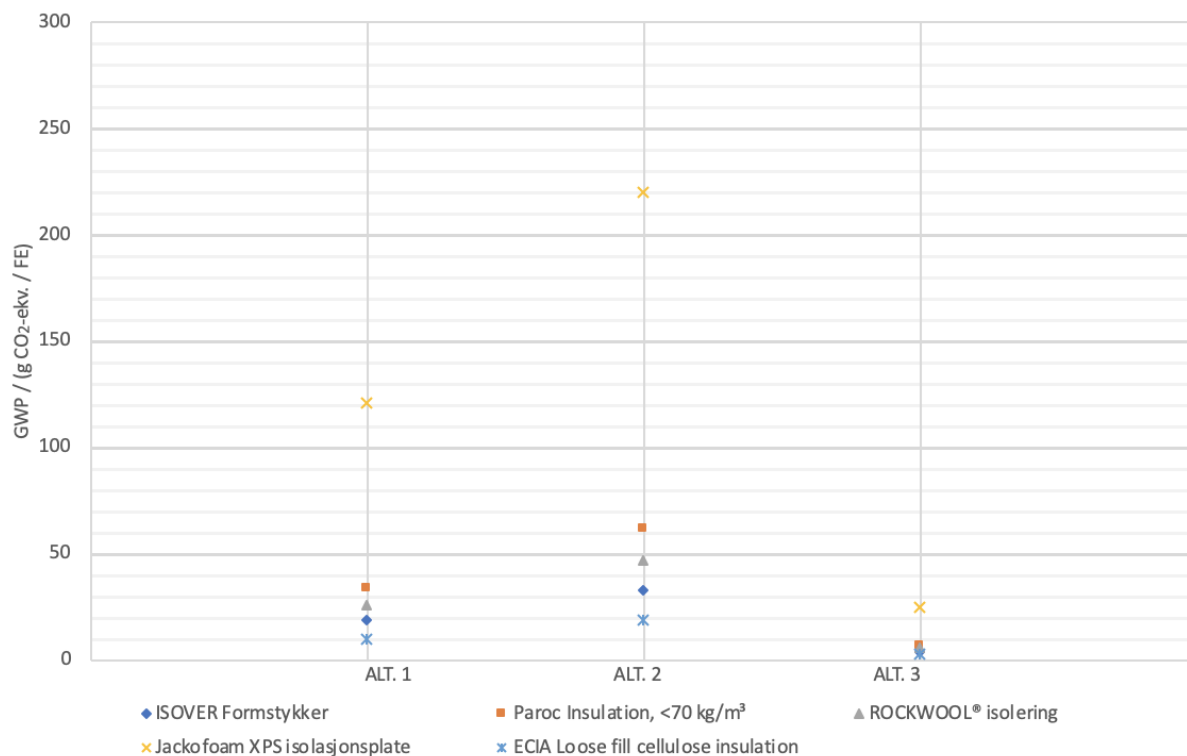
I detta avsnitt presenteras resultatet från beräkning av klimatpåverkan för isoleringsmaterial specificerade i kap. 4.1, och exkluderar därmed klimatpåverkan från energianvändningen i driftfasen. I figur 5.1 nedan visas resultatet för GWP per FE för isoleringen för Våghuset.



Figur 5.1: GWP från respektive isoleringsmaterial för Våghuset

Resultatet från figuren visar att utsläppen är högst för Alt. 2 (mer isolering) samt lägst för Alt. 3 (mindre isolering). Spridningen för de olika isoleringsmaterialen visar att Jackofoam (cellplast) har ett värde på GWP vilket är mer än tre gånger så stort som resterande material för samtliga alternativ medan ECIA (cellulosa) har det lägsta värdet på GWP. Spridningen mellan de olika isoleringsmaterialen är även störst för Alt. 2 och minst för Alt. 3. Vid vidare analys går det att avläsa att isoleringsmaterial Isover (glasull) och ECIA för Alt. 2 ger lika eller lägre utsläpp jämfört med Paroc (stenull), Rockwool (stenull) och Isover för Alt. 1. För Alt. 3 ger Paroc och Rockwool istället lika eller högre värden jämfört

med ECIA för Alt. 1. I grafen, figur 5.2, nedan redovisas resultatet för GWP per FE för Brick Studios.



Figur 5.2: GWP från respektive isoleringsmaterial Brick Studios

Brick Studios visar på liknande resultat som för Våghuset. Skillnaden här ligger framförallt i att de totala värdena för respektive material är högre för Våghuset än för Brick Studios, eftersom en mindre mängd isolering krävs i Brick Studios. De lägre värdena resulterar även i att spridningen mellan klimatpåverkan från isoleringsmaterialerna inte blir lika stor.

### 5.3 Energisystemet

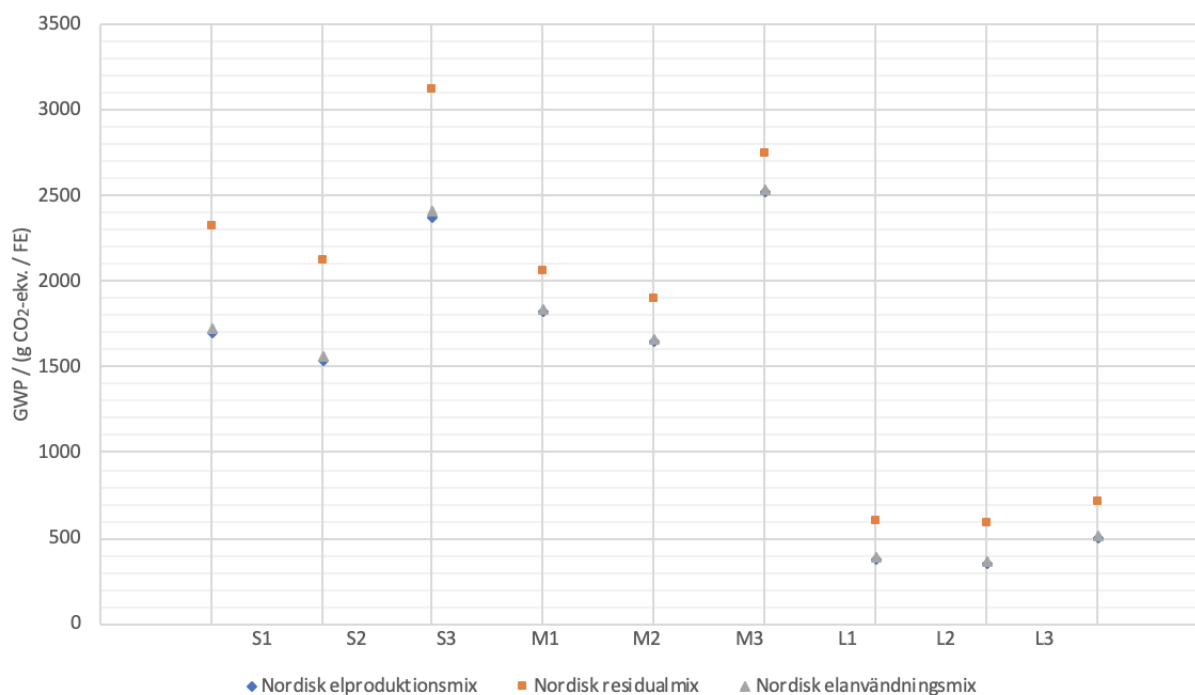
I följande avsnitt presenteras resultatet på klimatpåverkan i GWP (g CO<sub>2</sub>-ekv.) per FE från energisystemet för respektive perspektiv, scenario och alternativ. Viktigt att notera är att isoleringens klimatpåverkan inte ingår i dessa beräkningar. En jämförelse då isoleringens och energisystemets klimatpåverkan analyseras tillsammans presenteras i avsnitt 5.5.

För respektive figur är enheten på y-axeln klimatpåverkan i GWP per FE medan x-axeln presenterar de olika alternativen kombinerade med de olika fjärrvärmesystemen. Nedan följer en förklaring för vad de olika benämningarna på x-axeln står för.

- S1: Alt. 1 kombinerat med stort fjärrvärmesystem.  
 S2: Alt. 2 kombinerat med stort fjärrvärmesystem.  
 S3: Alt. 3 kombinerat med stort fjärrvärmesystem.  
 M1: Alt. 1 kombinerat med medelstort fjärrvärmesystem.  
 M2: Alt. 2 kombinerat med medelstort fjärrvärmesystem.  
 M3: Alt. 3 kombinerat med medelstort fjärrvärmesystem.  
 L1: Alt. 1 kombinerat med litet fjärrvärmesystem.  
 L2: Alt. 2 kombinerat med litet fjärrvärmesystem.  
 L3: Alt. 3 kombinerat med litet fjärrvärmesystem.

## Bokföringsperspektiv

I detta avsnitt presenteras klimatpåverkan i GWP per FE för bokföringsperspektivet. Först presenteras klimatpåverkan från värme och kyla då det framförallt är dessa poster som varierar med de olika alternativen på isoleringen (se tabell 5.1 och 5.2). Därefter presenteras klimatpåverkan från den totala energianvändningen (inklusive elanvändning). I figur 5.3, nedan skildras klimatpåverkan från energianvändning för värme och kyla till Våghuset.

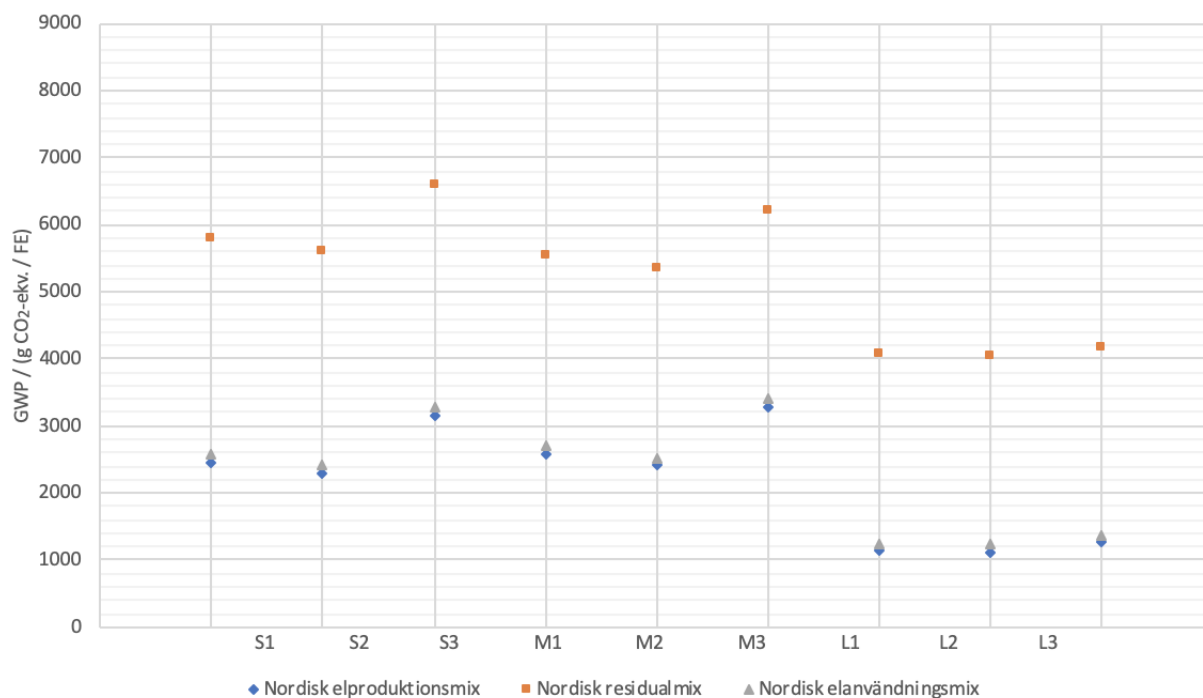


Figur 5.3: GWP från använd värme och kyla för Våghuset ur ett bokföringsperspektiv.

Figuren ovan visar att resultaten för Alt. 3 (mindre isolering) ger högst påverkan för samtliga fjärrvärmesystem där Alt. 3 kombinerat med det stora fjärrvärmesystemet (S3) och nordisk residualmix bidrar till den högsta klimatpåverkan. Kombinationer med det stora och det medelstora fjärrvärmesystemet (S och M) är även generellt de system som bidrar till högst klimatpåverkan, medan en kombination med det lilla fjärrvärmesystemet (L) är det system som bidrar till lägst klimatpåverkan. Detta stämmer även överens med att det lilla fjärrvärmeverket är helt biobaserat. I grafen går det även att avläsa en trend

där nordisk residualmix har högst klimatpåverkan för samtliga fjärrvärmesystem och alternativ. Nordisk elproduktionsmix och nordisk elanvändningsmix resulterar i lägre och mycket lika värden på klimatpåverkan.

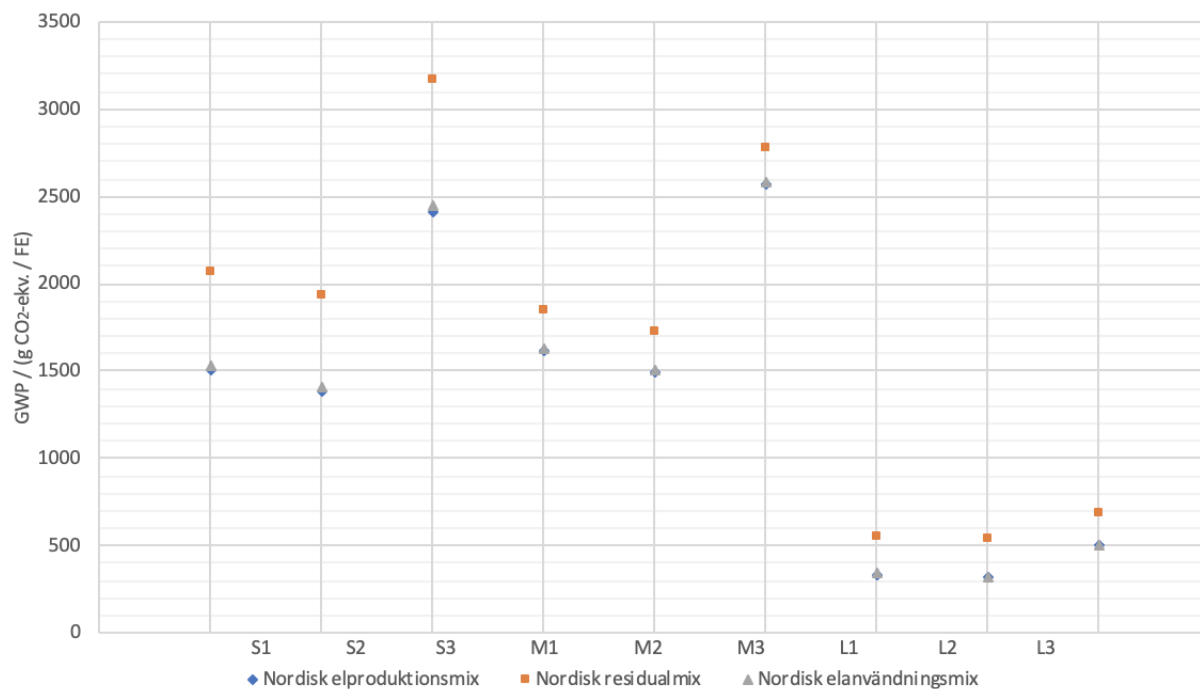
I figur 5.4, nedan skildrar klimatpåverkan från energianvändning av värme, kyla och el från Våghuset ur ett bokföringsperspektiv.



Figur 5.4: GWP från använd värme, kyla och el för Våghuset ur ett bokföringsperspektiv.

Från figuren ovan går det att avläsa att nordisk residualmix bidrar till högst klimatpåverkan för samtliga alternativ och att den nordiska elproduktionsmixen och den nordiska elanvändningsmixen bidrar till lägre och mycket lika värden på klimatpåverkan. Kombinationer med det lilla fjärrvärmesystemet (L) är även det system som bidrar till lägst klimatpåverkan, vilket stämmer överens med tidigare resonemang. Vid jämförelse mellan resultaten i figur 5.3 och 5.4 går det att se att vid användning av nordisk residualmix får elen en större påverkan på slutresultatet där den står för över hälften av den totala klimatpåverkan. Då nordisk elproduktionsmix alternativt nordisk elanvändningsmix används står elen för en dryga fjärdedel av slutresultatet. Detta resultat är väntat då den nordiska residualmixen har ett betydligt högre utsläppsvärde jämfört med den nordiska elproduktionsmixen och elanvändningsmixen.

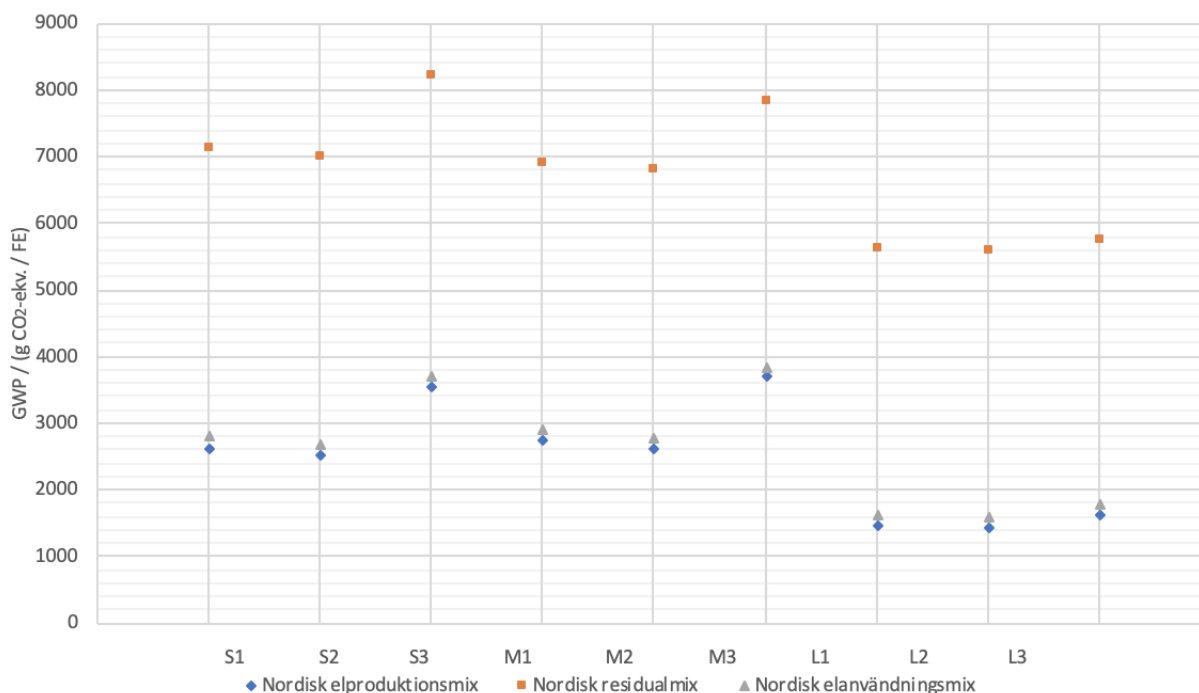
I figur 5.5, nedan skildras klimatpåverkan från energianvändning för värme och kyla för Brick Studios ur ett bokföringsperspektiv.



Figur 5.5: GWP från använd värme och kyla för Brick Studios ur ett bokföringsperspektiv.

Figuren ovan visar liknande resultat som för Våghuset. Det som skiljer sig från figur 5.5 och figur 5.3 är att Våghuset generellt resulterar i en högre klimatpåverkan. Detta stämmer även överens med resultatet från energianvändningen i tabell 5.1 och 5.2 där Våghuset har en generellt sätt större användning av värme och kyla jämfört med Brick Studios.

I figur 5.6, nedan skildrar klimatpåverkan från energianvändning av värme, kyla och el från Brick Studios ur ett bokföringsperspektiv.



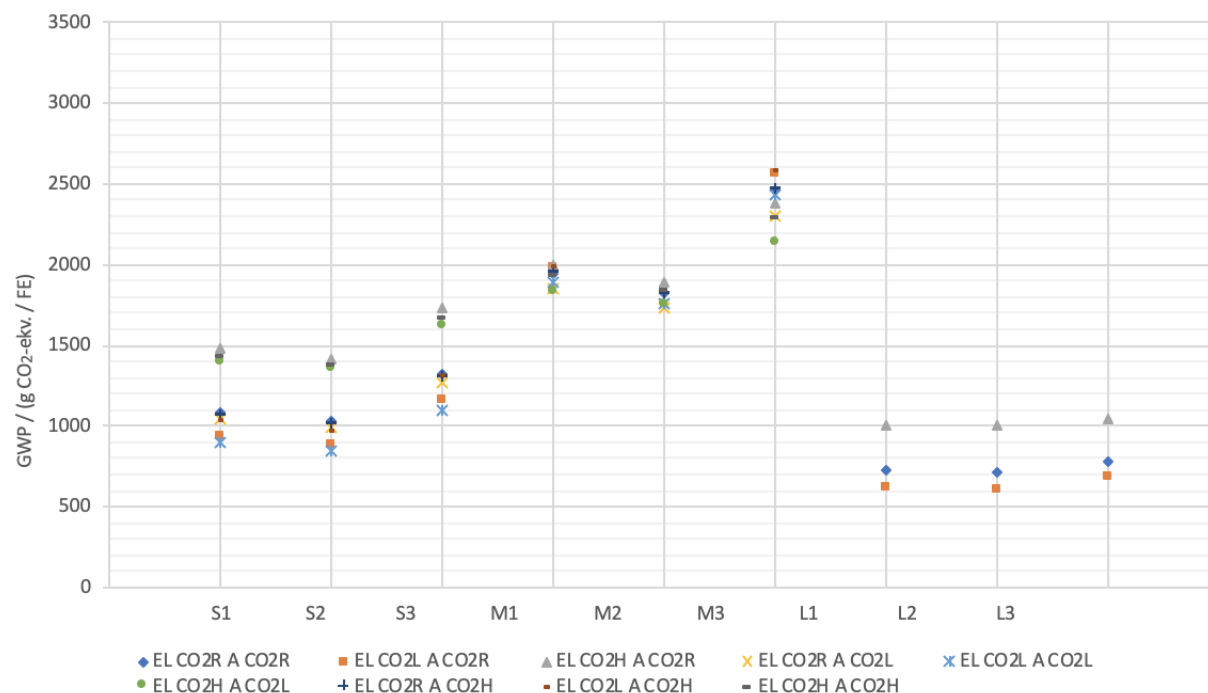
Figur 5.6: GWP från använd värme, kyla och el för Brick Studios ur ett bokföringsperspektiv.

Figuren ovan visar liknande resultat som för Våghuset. Det som skiljer sig från figur 5.4 och 5.6 är att klimatpåverkan från Våghuset är något lägre för samtliga elmixer. Detta stämmer även överens med resultatet från energianvändningen i tabell 5.1 och 5.2 där Brick Studios har en större elanvändning än Våghuset.

### Konsekvensperspektiv

I detta avsnitt presenteras klimatpåverkan i GWP per FE för konsekvensperspektivet. Först presenteras klimatpåverkan från värme och kyla. Därefter presenteras klimatpåverkan från den totala energianvändningen (inklusive elanvändning).

I figur 5.7 nedan redovisas klimatpåverkan från användningen av värme och kyla för Våghuset för samtliga framtidsscenarioer för respektive alternativ och fjärrvärmesystem. Då avfall inte används som bränsle i det lilla fjärrvärmesystemet (L) varierar dessa resultat endast med elens framtidsscenarioer.



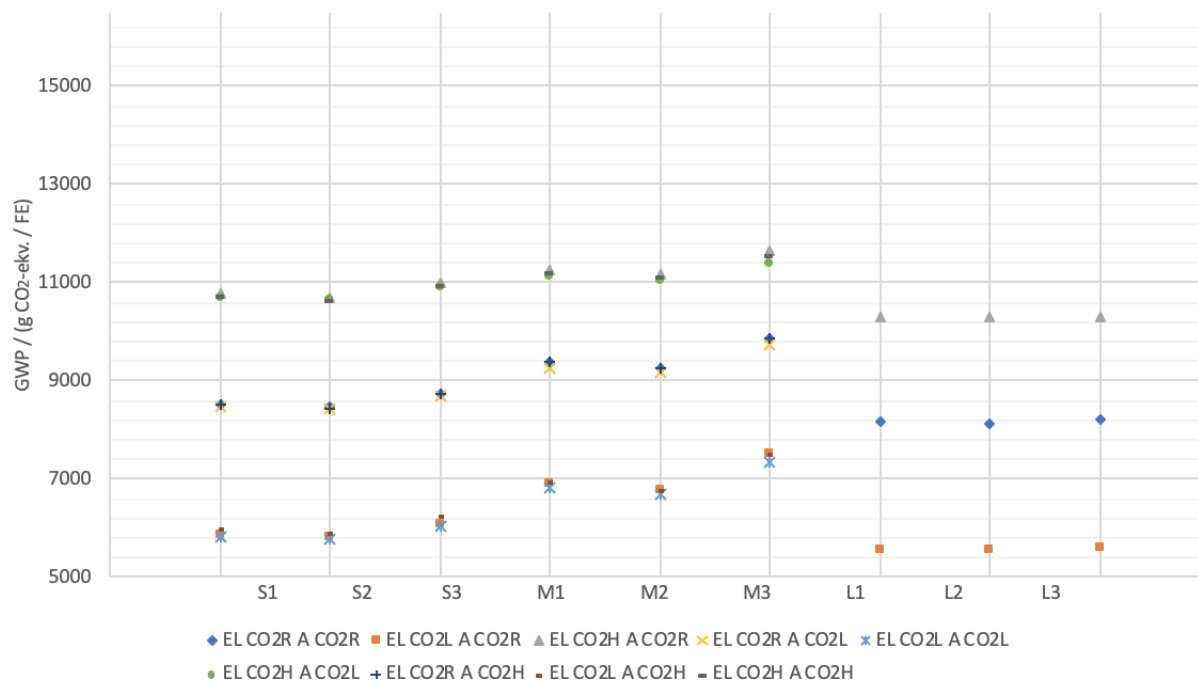
Figur 5.7: GWP från använd värme och kyla för Våghuset ur ett konsekvensperspektiv.

Figuren ovan visar att energianvändning för Alt. 3 (mindre isolering) kombinerat samtliga framtidsscenarioer och det medelstora fjärrvärmesystemet (M3) bidrar till högst klimatpåverkan. Resultaten från framtidsscenarioer kombinerade med det medelstora fjärrvärmesystemet är även generellt det system som bidrar till högst klimatpåverkan för samtliga alternativ. Kombinerar framtidsscenarioerna med det lilla fjärrvärmesystemet (L) resulterar detta istället till lägst klimatpåverkan. Detta stämmer även överens med tidigare resonemang där det lilla fjärrvärmesystemet är biobaserat.

I figur 5.7 går det att avläsa en trend där klimattungt scenario för el och referensscenario för avfall kombineras (EL CO<sub>2</sub> H A CO<sub>2</sub> R). Detta scenario ger högst klimatpåverkan för samtliga alternativ för det stora och det lilla fjärrvärmesystemet (S och L). För alternativen i det medelstora fjärrvärmesystemet (M) går det däremot inte att avläsa någon tydlig trend vilket kan bero på att detta fjärrvärmesystem har en mer varierande marginalmix jämfört med det stora och det lilla fjärrvärmesystemet, se figur G.6. Där en mer varierande marginalmix bidrar till systemets komplexitet.

Figur 5.8 visar klimatpåverkan från den totala energianvändningen per FE för Våghuset ur ett konsekvensperspektiv. För att underlätta avläsning av figuren har skalan justerats och startar på 5 000 g CO<sub>2</sub>-ekv./FE.



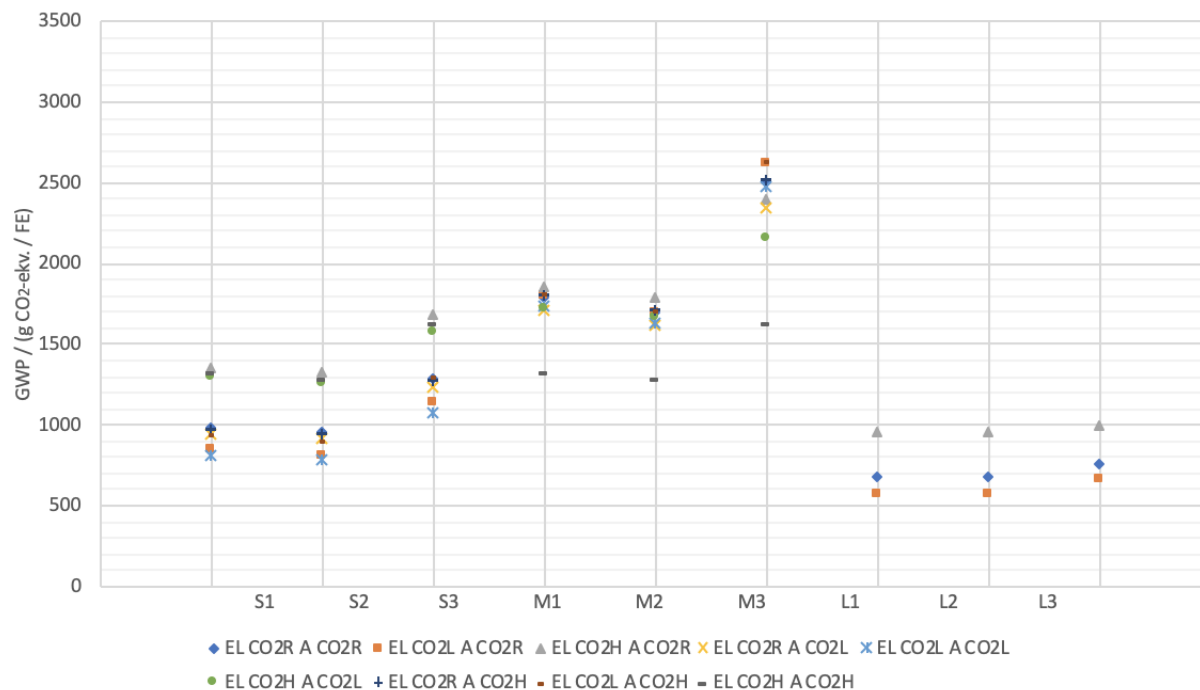


Figur 5.8: GWP från använd värme, kyla och el för Våghuset ur ett konsekvensperspektiv.

Resultatet från figur 5.8 visar att klimatpåverkan från energisystemet tydligt följer scenarierna för elen, detta trots att elanvändningen för Våghuset är lägre än användningen av värme och kyla, se tabell 5.1. Anledningen till detta är istället att elen på marginalen generellt sätt har högre utsläpp av CO<sub>2</sub> än fjärrvärme och fjärrkyla. För det lilla fjärrvärmesystemet består marginalen dessutom enbart av fossilfria bränslen.

I figur 5.8 avläses också att avfallsscenario kombinerade med klimatsnålt scenario för elen (EL CO<sub>2</sub> L) ger lägst utsläpp av GWP per FE medan en kombination med ett klimattungt scenario för el (EL CO<sub>2</sub> H) ger de högsta värdena på GWP per FE.

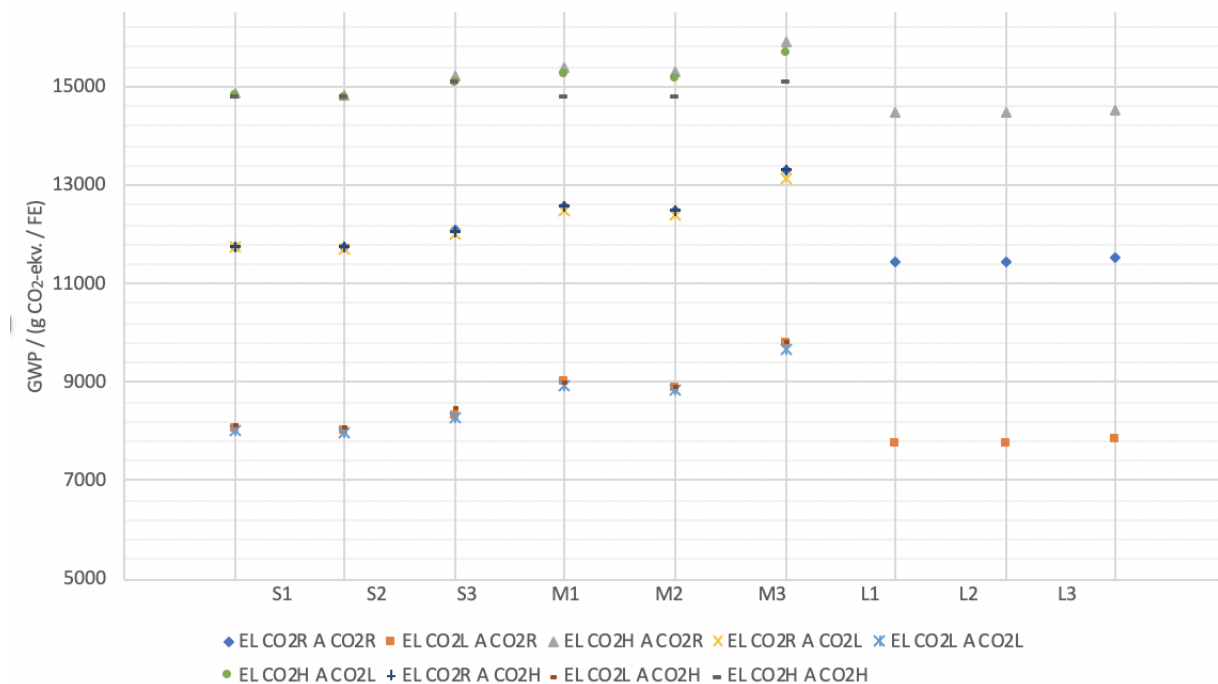
I figur 5.9 nedan skildras klimatpåverkan från energianvändning för värme och kyla till Brick Studios ur ett konsekvensperspektiv.



Figur 5.9: GWP från använd värme och kyla för Brick Studios ur ett konsekvensperspektiv.

Figuren ovan visar liknande resultat som för Våghuset. Det som skiljer sig från figur 5.7 och figur 5.9 är att Brick Studios generellt resulterar i högre resultat på klimatpåverkan. Vidare går det att se skillnader i rangordningen mellan de olika framtidsscenarierna för medelstort fjärrvärmesystem (M). Här är det klimattungt scenario för både el och avfall (EL CO<sub>2</sub>H, A CO<sub>2</sub>H) som ger lägst värde för samtliga alternativ.

I figur 5.10, nedan skildras klimatpåverkan från energianvändning för värme, kyla och el till Brick Studios ur ett konsekvensperspektiv. För att underlätta avläsning av figuren har skalan på y-axeln justerats och startar på 5 000 g CO<sub>2</sub>-ekv./FE.



Figur 5.10: GWP från använd värme, kyla och el för Brick Studios ur ett konsekvensperspektiv.

Figuren ovan visar mycket liknande resultat som för Våghuset. Det som skiljer sig från figur 5.8 och 5.10 är att Brick Studios generellt sett resulterar i ett högre resultat på klimatpåverkan.

## 5.4 Jämförelse, bokförings- och konsekvensperspektivet

I detta avsnitt jämförs klimatpåverkan för bokföringsperspektivet och konsekvensperspektivet. Först jämförs klimatpåverkan från energianvändningen för värme och kyla därefter jämförs klimatpåverkan från den totala energianvändningen. Detta görs endast för Våghuset då husen har snarlika värden.

I figur 5.3 och 5.7, går det att se klimatpåverkan från Våghuset för de olika perspektiven. Det perspektiv som ger högst klimatpåverkan för det lilla fjärrvärmesystemet är konsekvensperspektivet där värdena ligger inom intervallet 600-1100 g CO<sub>2</sub>-ekv. / FE. För bokföringsperspektivet ligger värdena inom intervallet 400-700 g CO<sub>2</sub>-ekv. / FE då det lilla fjärrvärmesystemet appliceras. Tas det endast hänsyn till energianvändningen blir det därmed mer lönsamt, utifrån ett klimatpåverkansperspektiv, att minska energianvändningen då konsekvensperspektivet appliceras.

Användning av det medelstora fjärrvärmesystemet resulterar i snarlika värden för de olika perspektiven. Klimatpåverkan för konsekvensperspektivet ligger i intervallet 1700-2600 g CO<sub>2</sub>-ekv. / FE medan klimatpåverkan för bokföringsperspektivet ligger i intervallet 1600-270 g CO<sub>2</sub>-ekv. / FE.

Det perspektiv som ger högst klimatpåverkan för det stora fjärrvärmesystemet är bokföringsperspektivet, där värdena ligger i intervallet 1500-3100 g CO<sub>2</sub>-ekv. / FE. För konsekvensperspektivet ligger värdena i intervallet 800-1800 g CO<sub>2</sub>-ekv. / FE då det stora fjärrvärmesystemet appliceras. Tas det endast hänsyn till energianvändningen blir det därmed mer lönsamt, utifrån ett klimatpåverkansperspektiv, att minska energianvändningen då bokföringsperspektivet appliceras.

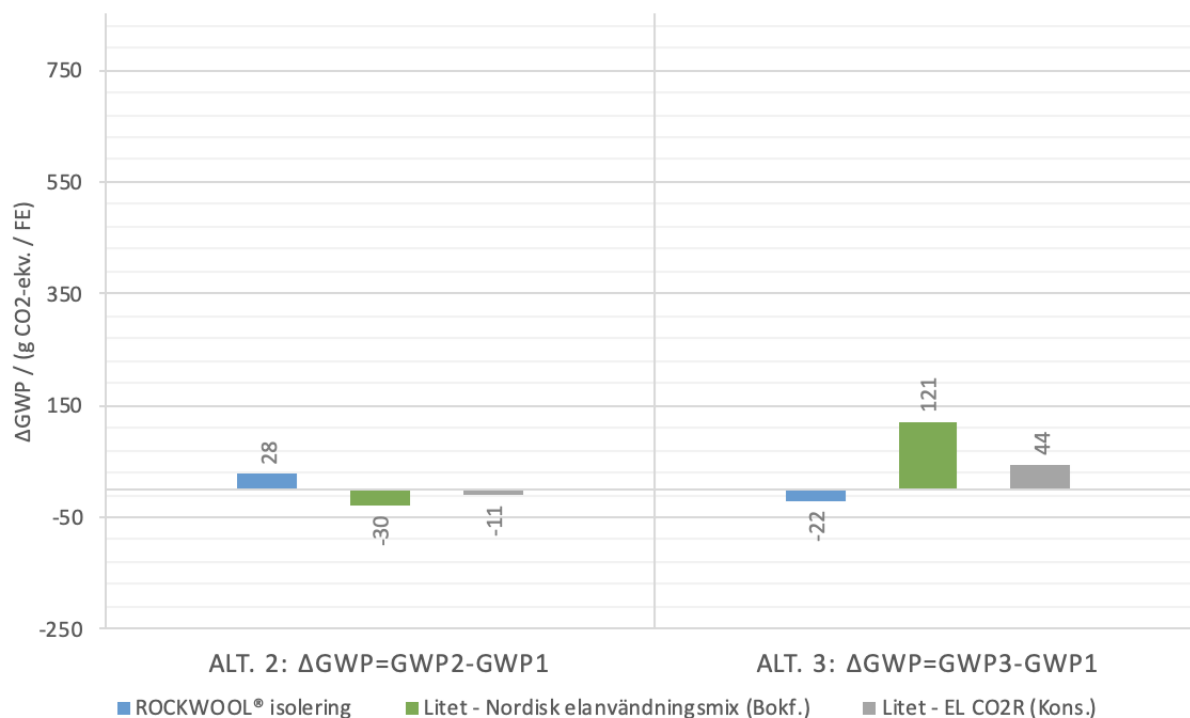
Jämför figur 5.4 och figur 5.8, total energianvändning, ger konsekvensperspektivet högre klimatpåverkan för samtliga alternativ och fjärrvärmesystem. Bokföringsperspektivet får värden i intervallet 1200-6600 g CO<sub>2</sub>-ekv. / FE medan konsekvensperspektivet får värden i intervallet 5400-11800 g CO<sub>2</sub>-ekv. / FE. Det som är gemensamt för perspektiven är att det energisystem som ger lägst klimatpåverkan är det då elmix eller framtidsscenario kombineras med det lilla fjärrvärmesystemet. Appliceras det stora fjärrvärmesystemet i ett konsekvensperspektiv (figur 5.8) resulterar detta i lägre klimatpåverkan än då det medelstora fjärrvärmesystemet används. Detta är inte fallet utifrån ett bokföringsperspektiv (figur 5.4) där applicering av det stora fjärrvärmesystemet ger en högre klimatpåverkan jämfört med en applicering av det medelstora fjärrvärmesystemet.

## 5.5 Skillnader i GWP för isolering och energisystem

I detta avsnitt presenteras skillnaden i GWP mellan Alt. 2 och Alt. 1, samt Alt. 3 och Alt. 1 för Våghuset. En liknande jämförelse görs inte för Brick Studios eftersom resultaten för Brick Studios visar på liknande resultat som för Våghuset. Först presenteras skillnaderna utifrån ett basfall och därefter presenteras skillnaderna utifrån min- och maxfall. Positiva värden innebär ökade utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv. jämfört med Alt. 1 medan ett negativt värde innebär ett minskat utsläpp.

### Basfall

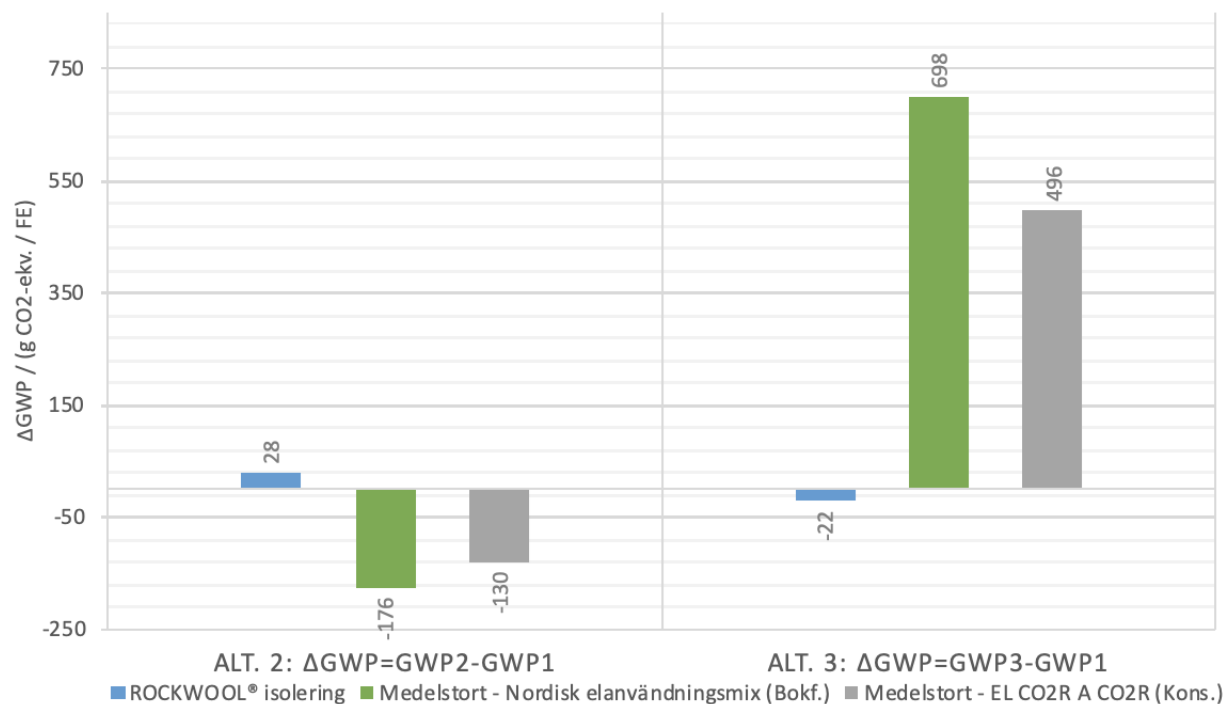
Basfallet baseras på mittenvärden, med detta menas de resultat på GWP som varken är högst eller lägst. Isoleringsmaterialet för basfallet är Rockwool (stenull). Tillsammans med isoleringen presenteras delvärden för GWP från energianvändningen. GWP från energianvändningen presenteras för bokföringsperspektivet och konsekvensperspektivet. För bokföringsperspektivet används resultatet från nordisk elanvändningsmix för samtliga fjärrvärmesystem, se figur 5.4. För konsekvensperspektivet används resultatet från referensscenariet för både el och avfall (EL CO<sub>2</sub> R, A CO<sub>2</sub> R) för samtliga fjärrvärmesystem, se 5.8. Först presenteras resultatet där litet fjärrvärmesystem appliceras, se figur 5.11 nedan.



Figur 5.11: Skillnaden i GWP mellan Alt. 2 och Alt. 1, och Alt. 3 och Alt. 1 för utvalt isoleringsmaterial samt utvalda scenierier för energianvändning, litet fjärrvärmesystem

Från figur 5.11 går det att se att då mer isolering appliceras (Alt.2) ökar utsläppen från isoleringsmaterialet med 28 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av Rockwool (stenull). Utsläppen för energianvändningen minskar istället, ur bokföringsperspektivet minskar utsläppen med 30 g CO<sub>2</sub>/FE och för konsekvensperspektiv minskar utsläppen med 11 g CO<sub>2</sub>/FE. Då mindre isolering appliceras (Alt.3) minskar utsläppen med 22 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av Rockwool (stenull). Utsläppen för energianvändningen ökar istället, ur bokföringsperspektivet ökar utsläppen med 44 g CO<sub>2</sub>/FE och för konsekvensperspektivet ökar utsläppen med 121 g CO<sub>2</sub>/FE.

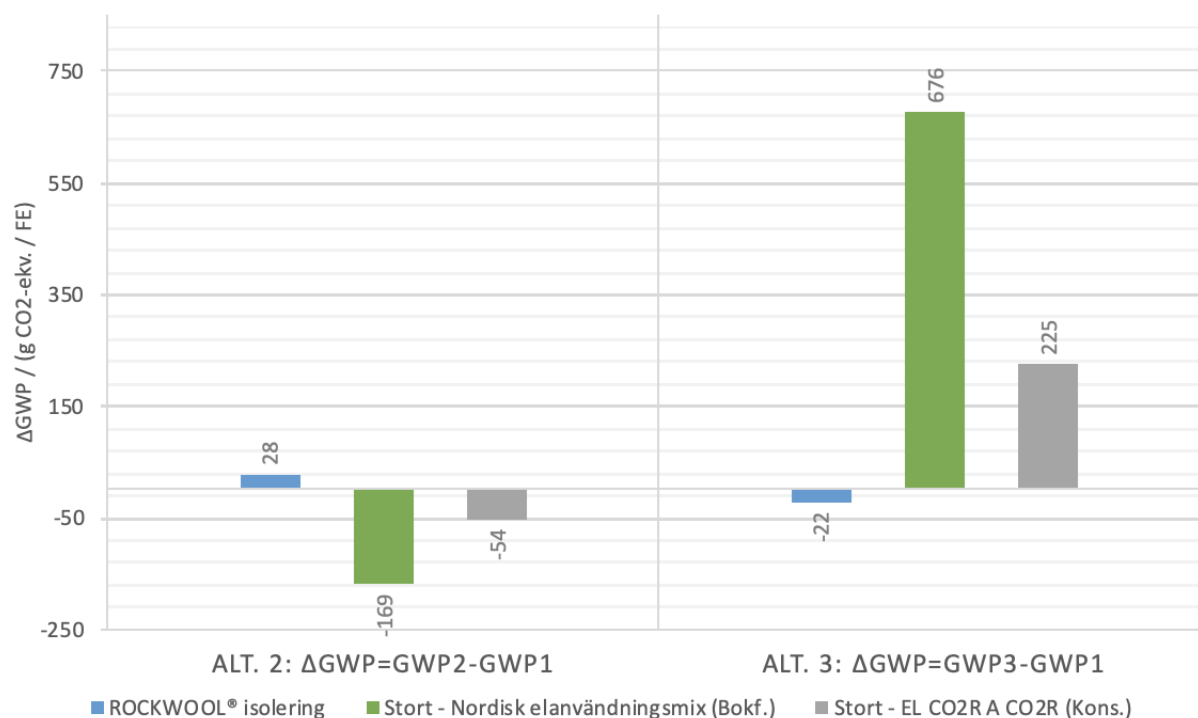
I figur 5.12 går det att avläsa skillnaderna vid val av ett klimatskal med mer isolering (Alt. 2) respektive skillnaderna vid val av ett klimatskal med mindre isolering (Alt. 3) då medelstort fjärrvärmeverk appliceras.



Figur 5.12: Skillnaden i GWP mellan Alt. 2 och Alt. 1, och Alt. 3 och Alt. 1 för utvalt isoleringsmaterial samt utvalda scenier för energianvändning, medelstort fjärrvärmesystem

Från figur 5.12 går det att se att då mer isolering appliceras (Alt.2) ökar utsläppen med 28 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av Rockwool (stenull). Utsläppen för energianvändningen minskar istället, ur ett bokföringsperspektiv minskar utsläppen med 176 g CO<sub>2</sub>/FE och ur ett konsekvensperspektiv minskar utsläppen med 130 g CO<sub>2</sub>/FE. Då mindre isolering appliceras (Alt.3) minskar utsläppen med 22 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av Rockwool (stenull). Utsläppen för energianvändningen ökar istället, ur ett bokföringsperspektiv ökar utsläppen med 698 g CO<sub>2</sub>/FE och ur ett konsekvensperspektiv ökar utsläppen med 496 g CO<sub>2</sub>/FE.

I figur 5.13 går det att avläsa skillnaderna vid val av ett klimatskal med mer isolering (Alt. 2) respektive skillnaderna vid val av ett klimatskal med mindre isolering (Alt. 3) då stort fjärrvärmeverk appliceras.

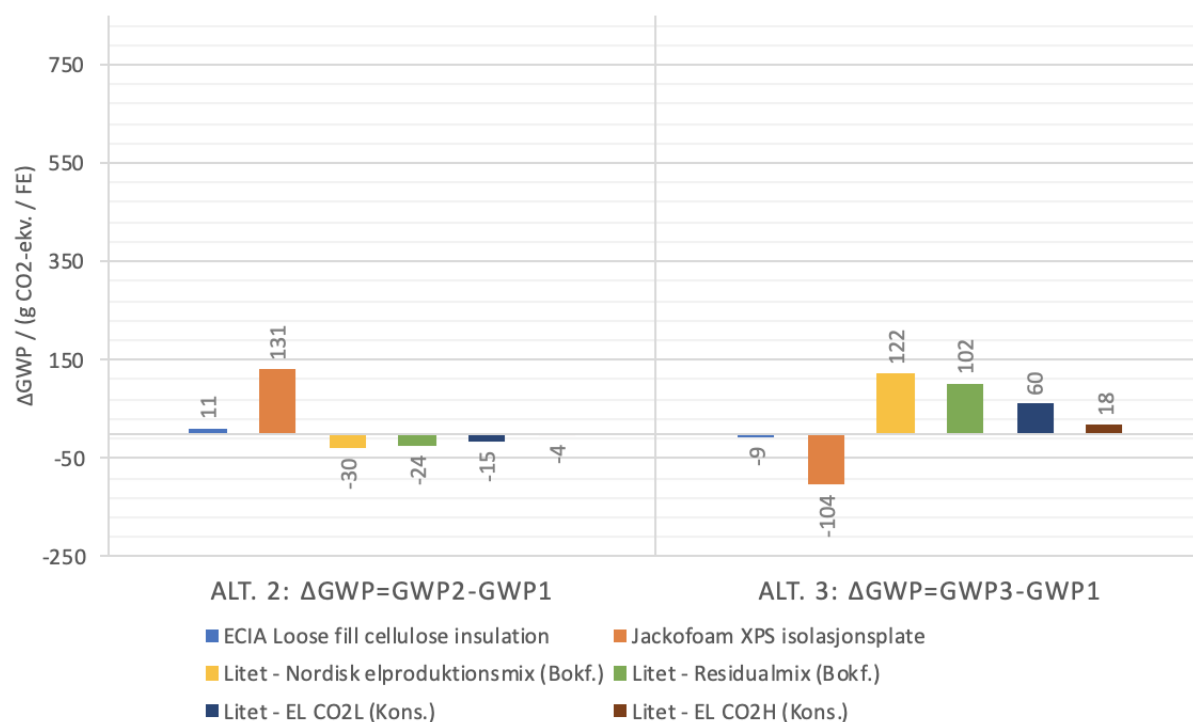


Figur 5.13: Skillnaden i GWP mellan Alt. 2 och Alt. 1, och Alt. 3 och Alt. 1 för utvalt isoleringsmaterial samt utvalda scenierier för energianvändning, stort fjärrvärmesystem

Från figur 5.13 går det att se att då mer isolering appliceras (Alt.2) ökar utsläppen med 28 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av Rockwool (stenull). Utsläppen för energianvändningen minskar istället, ur ett bokföringsperspektiv minskar utsläppen med 169 g CO<sub>2</sub>/FE och ur ett konsekvensperspektiv minskar utsläppen med 54 g CO<sub>2</sub>/FE. Då mindre isolering appliceras (Alt.3) minskar utsläppen med 22 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av Rockwool (stenull). Utsläppen för energianvändningen ökar istället, ur ett bokföringsperspektiv ökar utsläppen med 676 g CO<sub>2</sub>/FE och ur ett konsekvensperspektiv ökar utsläppen med 225 g CO<sub>2</sub>/FE.

### Min- och maxfall

I figur 5.14, 5.15 och 5.16 nedan presenteras de isoleringslösningar som resulterat i högst (Jackofoam, cellplast) respektive lägst (ECIA, cellulosa) GWP, se figur 5.1. Tillsammans med isoleringen presenteras delavärden för GWP från energianvändningen. GWP från energianvändningen med högst respektive lägst GWP presenteras för bokföringsperspektivet och konsekvensperspektivet. För bokföringsperspektivet används resultatet från nordisk elproduktionsmix och residualmix för samtliga fjärrvärmesystem, se figur 5.4. För konsekvensperspektivet används resultaten från det klimattunga och det klimatsnåla scenariot för både el och avfall (EL CO<sub>2</sub> H, A CO<sub>2</sub> H) och (EL CO<sub>2</sub> L, A CO<sub>2</sub> L) för samtliga fjärrvärmesystem, se figur 5.8. Först presenteras resultatet där litet fjärrvärmesystem appliceras, se figur 5.14 nedan.

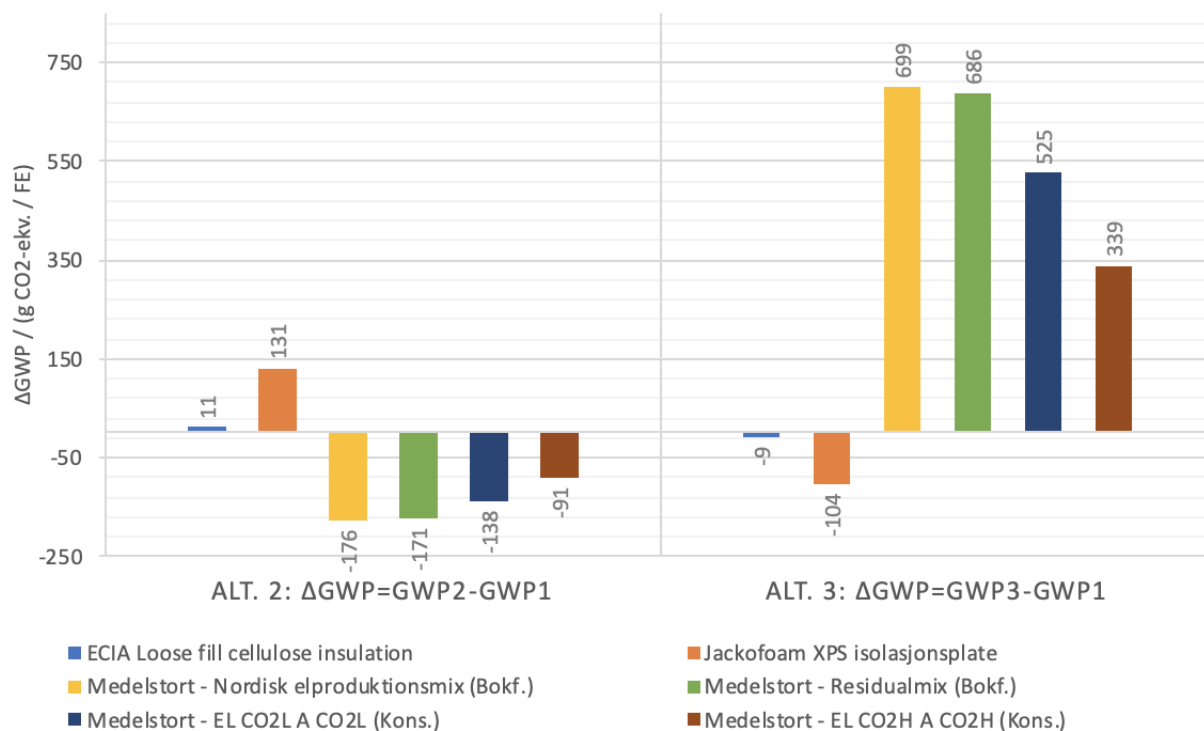


Figur 5.14: Skillnaden i GWP mellan Alt. 2 och Alt. 1, och Alt. 3 och Alt. 1 för utvalda isoleringsmaterial samt utvalda scenarier för energianvändning, litet fjärrvärmesystem

Från figur 5.14 går det att se att då mer isolering appliceras (Alt.2) ökar utsläppen med 11 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av ECIA (cellulosa) respektive 131 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av Jackofoam (cellplast). Utsläppen för energianvändningen minskar istället, ur bokföringsperspektivet minskar utsläppen med 30 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av nordisk elproduktionsmix och med 24 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av nordisk residualmix. För konsekvensperspektivet minskar utsläppen med 15 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av det klimatsnåla scenariot och med 4 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av det klimattunga scenariot. Då mindre isolering appliceras (Alt.3) minskar utsläppen med 9 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av ECIA (cellulosa) respektive 104 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av Jackofoam (cellplast). Utsläppen för energianvändningen ökar istället, ur bokföringsperspektivet ökar utsläppen med 122 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av nordisk elproduktionsmix och med 102 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av nordisk residualmix. För konsekvensperspektivet ökar utsläppen med 60 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av det klimatsnåla scenariot och med 18 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av det klimattunga scenariot.

I figur 5.15 går det att avläsa skillnaderna vid val av ett klimatskal med mer isolering (Alt. 2) respektive skillnaderna vid val av ett klimatskal med mindre isolering (Alt. 3) för medelstort fjärrvärmesystem.

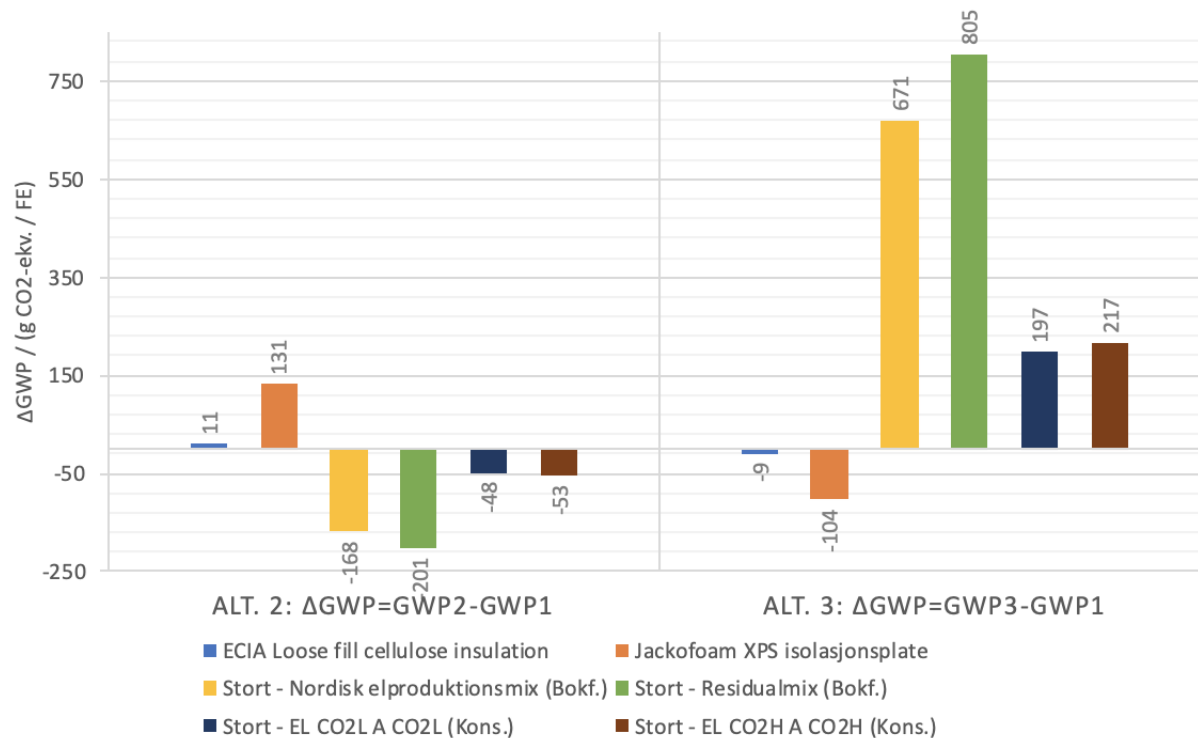




Figur 5.15: Skillnaden i GWP mellan Alt. 1 och Alt. 2, och Alt. 1 och Alt. 3 för utvalda isoleringsmaterial samt utvalda scenierier för energianvändning, medelstort fjärrvärmesystem

Från figur 5.15 går det att se att då mer isolering appliceras (Alt.2) ökar utsläppen med 11 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av ECIA (cellulosa) respektive 131 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av Jackofoam (cellplast). Utsläppen för energianvändningen minskar istället, ur bokföringsperspektivet minskar utsläppen med 176 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av nordisk elproduktionsmix och med 171 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av nordisk residualmix. För konsekvensperspektivet minskar utsläppen med 138 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av det klimatsmåla scenariot och med 91 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av det klimattunga scenariot. Då mindre isolering appliceras (Alt.3) minskar utsläppen med 9 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av ECIA (cellulosa) respektive 104 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av Jackofoam (cellplast). Utsläppen för energianvändningen ökar istället, ur bokföringsperspektivet ökar utsläppen med 699 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av nordisk elproduktionsmix och med 686 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av nordisk residualmix. För konsekvensperspektivet ökar utsläppen med 525 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av det klimatsmåla scenariot och med 339 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av det klimattunga scenariot.

I figur 5.16 går det att avläsa skillnaderna vid val av ett klimatskal med mer isolering (Alt. 2) respektive skillnaderna vid val av ett klimatskal med mindre isolering (Alt. 3) för stort fjärrvärmesystem.



Figur 5.16: Skillnaden i GWP mellan Alt. 1 och Alt. 2, och Alt. 1 och Alt. 3 för utvalda isoleringsmaterial samt utvalda scenierier för energianvändning, stort fjärrvärmesystem

Från figur 5.16 går det att se att då mer isolering appliceras (Alt.2) ökar utsläppen med 11 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av ECIA (cellulosa) respektive 131 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av Jackofoam (cellplast). Utsläppen för energianvändningen minskar istället, ur bokföringsperspektivet minskar utsläppen med 168 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av nordisk elproduktionsmix och med 201 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av nordisk residualmix. För konsekvensperspektivet minskar utsläppen med 48 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av det klimatsnåla scenariot och med 53 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av det klimattunga scenariot. Då mindre isolering appliceras (Alt.3) minskar utsläppen med 9 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av ECIA (cellulosa) respektive 104 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av Jackofoam (cellplast). Utsläppen för energianvändningen ökar istället, ur bokföringsperspektivet ökar utsläppen med 671 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av nordisk elproduktionsmix och med 805 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av nordisk residualmix. För konsekvensperspektivet ökar utsläppen med 197 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av det klimatsnåla scenariot och med 217 g CO<sub>2</sub>/FE vid val av det klimattunga scenariot.

### Analys och jämförelse av bas-, min- och maxfall

I detta avsnitt jämförs och analyseras resultaten från bas-, min- och maxfall.

Från resultaten ovan går det att se att deltavärdena för isoleringsmaterialet Rockwool (stenull) i basfallet ligger närmre deltavärdena för minfallet, ECIA (cellulosa), än maxfallet, Jackofoam (cellplast). Här är deltavärdena för Jackofoam cirka fem gånger högre än Rockwool och nästan tolv gånger högre än ECIA.

Deltavärdena för energianvändningen i basfallet för bokföringsperspektiv är lika deltavär-

dena för minfallet. För konsekvensperspektivet ligger deltavärdena för basfallet mellan värdena för min- och maxfallet då litet och medelstort fjärrvärmesystem appliceras. Då istället stort fjärrvärmesystem appliceras är deltavärdena från basfallet högre än de för min- och maxfallet. Vidare går det att se att deltavärdena från minfallen är högre än deltavärdena för maxfallen för både perspektiven då litet och medelstort fjärrvärmesystem appliceras. Detta är inte fallet då det stora fjärrvärmesystemet appliceras.

Deltavärdena för isoleringen får högst värden för Alt. 2, då mer isolering används. Deltavärdena för energianvändningen får här lägst värden. Det motsatta gäller då mindre isolering används (Alt. 3). Vidare är skillnaderna i klimatpåverkan från energisystemet störst utifrån ett bokföringsperspektiv. Skillnaderna i klimatpåverkan från energianvändningen är lägst då det lilla fjärrvärmesystemet används och generellt högst då det medelstora fjärrvärmesystemet används.

Resultaten i figur 5.11 och 5.14 visar att det lilla fjärrvärmesystemet (biobaserat) bidrar till lägst deltavärden från energisystemet. Detta resulterar i att klimatpåverkan från en ökad mängd isolering överstiger den minskade klimatpåverkan från energianvändningen framförallt om det cellplastbaserade isoleringsmaterialet används. Används däremot det cellulosebaserade isoleringsmaterialet går det att isolera mer utifrån ett klimatperspektiv.

Resultaten i figur 5.12, 5.13, 5.15 och 5.16 (medelstort och stort fjärrvärmesystem) visar att de kraftvärmebaserade fjärrvärmesystemen bidrar till hög klimatpåverkan från energisystemen jämfört med klimatpåverkan från isoleringen. Detta resulterar i att det blir mer lönsamt, ur ett klimatpåverkansperspektiv, att isolera mer. Isolering med samtliga undersökta isoleringsmaterial är här lönsamma utifrån ett klimatperspektiv där det cellulosebaserade isolering ger de lägsta utsläppen.



## 6 Diskussion

I detta kapitel diskuteras först allmänt angående osäkerheter i den genomförda fallstudien. Vidare diskuteras resultatet, där hänsyn tas till arbetets problemformulering och frågeställningar.

### 6.1 Osäkerheter

Använd data för fallstudien i detta examensarbete är baserad på en rad antaganden som vart och ett leder till osäkerheter i resultaten. Nedan diskuteras dessa osäkerheter och vad de kan ha för konsekvenser på resultatet.

Data från framtidsscenarierna för konsekvensperspektivet kan argumenteras bidra med störst osäkerhet till resultaten då det är omöjligt att säkert veta vad som kommer hända i framtiden. Detta är anledningen till att framtidsscenarierna delats upp i klimatsnålt, referens och klimattungt scenario som medför ett brett spann av möjliga utfall vilket beskriver denna osäkerhet.

Enligt resultaten från litteraturstudien genomförs bokföringsperspektivet i större utsträckning än konsekvensperspektivet vilket även blir fallet för användning av genomsnittlig data för energisystemet. Värdena för nordisk elproduktionsmix och elanvändningsmix i denna studie överstiger de vilka specificeras i teorin. Då värdena är framtagna för olika år är det däremot svårt att göra en direkt jämförelse, tidigare värden blir därför endast en indikator på den storleksordning utsläppen av CO<sub>2</sub>-ekv. bör vara.

Förenklingen att en byggnads energianvändning framförallt varierar med utomhustemperatur istället för tid på dygnet medför även osäkerheter i resultatet då en byggnad har en värmetröghet. Denna tröghet innebär att när utomhustemperaturen ändras påverkar detta inomhustemperaturen successivt, som i sin tur påverkar uppvärmning och nedkyllning av byggnaden. För användning av värme kan denna förenkling anses jämna ut sig men för kyl användningen kan detta medföra större osäkerheter. Hur stor påverkan detta har på det slutliga resultatet är däremot svårt att avgöra och då komplexiteten i framtagandet av data skulle öka markant om den togs fram per timme kan det ändå anses motiverat att göra denna förenkling.

Användningen av typdata för de olika fjärrvärmesystemen medför ett spann av möjliga utfall i klimatpåverkan från fjärrvärmesystem i Sverige. Från tabell 3.4, där utsläpp från några svenska fjärrvärmesystem redovisas, går det däremot att se stora variationer i utsläpp vilket inte följer något specifikt mönster vad gäller exempelvis storlek på verk eller geografisk plats. Resultatet från denna rapport fungerar därmed som rekommendationer och inte definitiva svar då det inte går att utesluta att användning av specifik data från det utnyttjade fjärrvärmesystemet kan ge andra resultat.

Använda beräkningsmetoder vid framtagandet av klimatpåverkan från avfallsförbränning för konsekvensperspektivet medför negativa värden på utsläppen av CO<sub>2</sub>-ekv. Skulle istället utsläppen beräknats med hänsyn till möjlig återvinning av ingående material, exempelvis plast, hade däremot utsläppen kunnat bli positiva och fjärrvärmens påverkan

hade då vägt tyngre än vad de gör i den genomförda fallstudien.

Använda isoleringsmaterial skiljer sig inte bara gällande U-värde och GWP, utan även andra parametrar som inte tagits hänsyn till i detta examensarbete. Hade fler parametrar likt brand- och fuktegenskaper samt ekonomiska aspekter inkluderats hade rekommendationer kunnat se annorlunda ut. Detta ligger däremot inte inom ramen för detta examensarbete.

## 6.2 Frågeställning

I detta avsnitt försöker författarna besvara på frågeställningen i avsnitt 1.3 genom att diskutera resultaten från fallstudien.

### **Hur skiljer sig applicering av ett konsekvensperspektiv och ett bokföringsperspektiv vid klimatpåverkansbedömning av energianvändning i byggnader?**

Från resultaten från fallstudien går det att avläsa skillnader och likheter mellan bokföringsperspektivet och konsekvensperspektivet vilket stämmer överens med tidigare studier av Roux et al. (2016) och Erlandsson et al. (2018). Skillnaderna mellan perspektiven blir tydligast då byggnadernas sammanlagda energianvändning studeras där konsekvensperspektivet får överlägset högre värden på GWP jämfört med bokföringsperspektivet. Elen får här en betydligt större påverkan på slutresultatet för konsekvensperspektivet än vad den får för bokföringsperspektivet. Utsläppen från marginalel skiljer sig därmed avsevärt jämfört med utsläppen från genomsnittliga värden vilket stämmer överens med vad som beskrivs i teorin.

Studeras endast värme och kyla blir skillnaderna mellan perspektiven inte lika uttalade. Bokföringsperspektivet får här högre eller lika värden på GWP jämfört med konsekvensperspektivet då det stora och det medelstora fjärrvärmesystemet appliceras. Anledningen till detta kan vara att genomsnittliga värden för fjärrvärmesystemet ger ett högre värde jämfört med marginalfjärrvärmesystemet, framförallt för det stora fjärrvärmesystemet.

Då det lilla fjärrvärmesystemet appliceras ger konsekvensperspektivet något högre värden på GWP jämfört med bokföringsperspektivet. Att det lilla fjärrvärmesystemet inte är ett kraftvärmeverk samt att det är helt biobaserat gör att det inte påverkas av varken el- eller avfallsscenario. Marginalfjärrvärmesystemet för det lilla fjärrvärmesystemet är dessutom relativt lik värdena för den genomsnittliga fjärrvärmesystemet. Med detta som motivering borde den främsta skillnaden mellan perspektiven utgöras av påverkan från fjärrkylan vilken till viss del är elbaserad och därmed påverkas av uppsatta elscenarier.

Det energilösningalternativ som får lägst respektive högst värde på GWP skiljer sig inte mellan de olika perspektiven. Resultaten för de olika perspektiven följer samma rangordning för de olika energilösningarna i fallstudien, förutsatt att samma fjärrvärmesystem används. Hade ett annat alternativ studerats som påverkar elanvändningen, hade sannolikheten varit större att perspektivens rekommendationer skiljts åt. Detta framförallt för bokföringsperspektivet, då nordisk elproduktionsmix eller elanvändningsmix appliceras och dessa värden ger betydligt lägre utsläpp på elen jämfört med nordisk residualmix.

## Hur förhåller sig klimatpåverkan från en förändrad energianvändning jämfört med en förändrad isoleringstjocklek?

Resultatet från fallstudien visar att klimatpåverkan från isoleringsmaterialet spelar viss roll då en förändrad energianvändning beaktas. Detta gäller främst då GWP (CO<sub>2</sub>-ekv.) från energianvändning beräknas utifrån ett konsekvensperspektiv tillsammans med GWP från användning av det cellplastsbaserade isoleringsmaterialet, Jackofoam. Används istället ett bokföringsperspektiv vid bedömning av GWP från energianvändningen resulterar skillnaderna mellan de olika alternativen i större differenser. Detta medför att GWP från isoleringsmaterialet har mindre betydelse jämfört med GWP från energianvändningen då ett beslut om en byggnads energieffektivitet ska tas utifrån ett klimatpåverkansperspektiv. Detta beror troligen på faktumet att en varierad isoleringstjocklek påverkar användningen av värme och kyla vilket styrker tidigare argument att klimatpåverkan från fjärrvärme får högre värden för bokföringsperspektivet än för konsekvensperspektivet.

Från fallstudien går det även att se att förhållandet mellan skillnad i klimatpåverkan från isoleringen och skillnad i klimatpåverkan från energianvändningen varierar beroende på använt fjärrvärmesystem. Detta faller sig naturligt då klimatpåverkan från fjärrvärmesystemen varierar. Vid användning av biobaserat fjärrvärmesystem, där utsläppen kan anses vara lägre, får utsläppen från isoleringsmaterialet större påverkan i relation till utsläppen från energianvändningen. Detta kan leda till att beslutet tas att inte isolera, vilket inte är att föredra ur ett resursperspektiv. Har istället fjärrvärmesystemet mer fossilbaserad värme (genomsnittligt eller på marginalen) samt är kraftvärmebaserade bidrar isoleringen till mindre andel av den totala klimatpåverkan.

Vidare skiljer sig klimatpåverkan från energianvändningen för Alt. 3 (mindre isolering) mer från Alt. 1 (referens) än vad Alt. 2 (mer isolering) gör. Detta ter sig naturligt då även  $U_m$ -värdena för alternativen följer detta mönster. Klimatpåverkan från isoleringsmaterialet beter sig även på samma sätt. Här följer däremot klimatpåverkan från isoleringen en linjär ökning i relation till isoleringstjocklek, vilket inte är fallet för klimatpåverkan från energianvändningen. Detta görs speciellt tydligt i ekvation 3.3, avsnitt 3.5, där energianvändningen ökar exponentiellt med en minskad tjocklek på isoleringen. Ekvationen visar även att då tjockleken för isoleringsmaterialet går mot oändligheten närmar sig energianvändningen värdet för ventilationens energianvändning. Slutsatsen från detta är att vid en stegvis ökning av isoleringstjocklek kommer energianvändningen från byggnaden att minska markant men då tjockleken antar högre värden kommer denna minskning att stanna av och till slut närma sig noll. Samma sak gäller för klimatpåverkan. Klimatpåverkan från en ökad isoleringstjocklek kommer däremot att fortsätta öka linjärt. Vart linjen för klimatpåverkan från isoleringsmaterialet och klimatpåverkan från energisystemet möts beror på val av material samt vilken byggnad som undersöks. Från detta examensarbete går det även att se att där linjerna möts beror på vilket perspektiv som används vid bedömning av klimatpåverkan från energisystemet.

Slutsatsen blir att då fjärrvärmesystemet med hög andel fossila bränslen används är det mer lönt att isolera, framförallt då ett cellulosebaserat isoleringsmaterial används. Är fjärrvärmesystemet istället biobaserat finns det mindre incitament att isolera, framförallt vid användning av ett fossilbaserat isoleringsmaterial.

### **Hur väl kan dessa frågor besvaras genom den aktuella fallstudie?**

Studien anses vara något begränsad, detta då den energieffektiva lösningen endast påverkar byggnadernas användning av fjärrvärme och fjärrkyla. För att ge tydligare svar på denna frågeställning hade fler lösningar behövt inkluderas vilka även påverkar elanvändningen i byggnaden, exempelvis installation av solceller. Då de olika perspektiven framförallt skiljer sig vid bedömning av klimatpåverkan från byggnadernas elanvändning hade även byggnader vilka använder elbaserad värme och kyla kunnat inkluderas i studien.

Användningen av fjärrvärme och fjärrkyla innebär även en begränsning då klimatpåverkan från en förändrad energianvändning jämförs med klimatpåverkan från en förändrad isoleringstjocklek. Resultaten hade här kunnat visa på andra resultat om, som tidigare nämnt, exempelvis om elbaserad uppvärmning applicerats. Med detta sagt använder majoriteten av lokaler (och flerbostadshus) i Sverige fjärrvärme vilket ökar fallstudiens förmåga att svara på uppsatt problemformulering.

Klimatpåverkan från fjärrvärme är starkt beroende av det fjärrvärmesystem som studeras vilket medför begränsningar för fallstudien. Används andra fjärrvärmesystem än de som appliceras i studien kan resultatet bli annorlunda. Användningen av tre olika system medför här ett spann för vilket lokala systemet kan hamna inom. Detta är däremot inte någon garanti och det använda fjärrvärmesystemet kan ge både högre och lägre värden på GWP jämfört med de simulerade systemen.

Vidare är studien begränsad till energianvändningen för Våghuset och Brick Studios. Båda byggnaderna är specifika i sin konstruktion och skiljer sig från andra kontorsbyggnader. För Våghuset är det exempelvis andelen fönster som gör byggnadens klimatskal unikt och för Brick Studios är det den "tetriformade"-konstruktionen. En minskad andel fönster för Våghuset samt en "rakare" konstruktion för Brick Studios hade här kunnat minska byggnadernas isoleringsbehov. En mindre mängd isolering medför att isoleringen bidrar till en lägre andel av den totala klimatpåverkan och en fallstudie på en annan byggnad hade därmed kunnat ge något annorlunda resultat.

Den genomförda fallstudien bidrar med viktig information för hur de olika perspektiven skiljer sig åt vid en bedömning av energisystemets klimatpåverkan från en varierad isoleringsmängd. Vidare visar fallstudien på viktiga resultat för klimatpåverkan från det ingående isoleringsmaterialet. Slutsatsen blir här att fallstudien kan besvara den uppsatta problemformuleringen men att resultaten är begränsade till det studerade systemet. Resultatet från fallstudien ger däremot en indikation på hur relationen mellan klimatpåverkan från en förändrad energianvändning och isoleringsmängd ser ut. Detta förhållande bör tas i beaktning vid beslut om energieffektivisering med hjälp av en varierad mängd isoleringsmaterial.



## 7 Slutsats

Att vi idag går mot mer energisnåla byggnader och NNEB medför att allt större del av klimatpåverkan flyttas från driftsfasen till konstruktionsfasen. Detta examensarbete bidrar med viktig information i hur långt det är värt att isolera utifrån ett klimatpåverkansperspektiv.

Slutsatsen från detta arbete är att en ökad mängd isolering i en byggnad, i syfte att minska klimatpåverkan från energianvändningen, kan ge missvisande resultat om inte klimatpåverkan från materialet beaktas. Studien visar även att isoleringens påverkan på resultatet beror på det energisystem som tillgodoser byggnadens värme- och kylbehov. Beroende på vilket perspektiv som används vid bedömning av energianvändningens klimatpåverkan kan även isoleringens betydelse variera.

Hur långt det är värt att isolera en byggnad utifrån ett klimatpåverkansperspektiv kommer att bero på ovan nämnda aspekter samt på den avsedda byggnadens konstruktion och specifika egenskaper. Vad som går att konstatera är att klimatpåverkan från isoleringen kommer att öka i betydelse då energianvändningen från byggnader fortsätter att minska.

Resultatet från detta examensarbete visar att den kombination som ger lägst klimatpåverkan är det cellulosabaserade isoleringsmaterialet tillsammans med det biobaserade fjärrvärmesystemet bedömt ur ett bokföringsperspektivet där nordisk elproduktionsmix används.

Vilket perspektiv som bör användas beror på syftet med livscykelanalysen. Då syftet är att jämföra klimatpåverkan från energisystemet med använt isoleringsmaterial anser författarna att en bedömning bör genomföras utifrån ett bokföringsperspektiv, eftersom EPD:er även utgår från detta perspektiv.



## 8 Vidare studier

I arbetet studeras endast klimatpåverkan från energisystemet och isoleringsmaterialet. För att studien ska vara mer användbar för branschen hade brand- och fuktegenskaper samt ekonomiska aspekter behövts studeras vidare.

Från vårt resultat går det att avläsa att klimatpåverkan från elanvändningen står för majoriteten av den totala klimatpåverkan. Detta är något som hade varit intressant analysera djupare i vidare studier.

De tre olika fjärrvärmesystemen som studeras i rapporten är ett begränsat antal. För kommande studier hade detta antal system kunnat utökas, då det hade kunnat leda till en större helhetsbild ifall olika fjärrvärmesystem följer ett specifikt mönster.

De två byggnaderna som studeras i detta arbete befinner sig i Göteborg. Att endast undersöka hur stor klimatpåverkan är för två byggnader i Göteborg inkluderar en begränsad del geografiskt sett. För att göra metoden mer användbar för branschen bör betydligt fler appliceringar av metoden göras på andra geografiska platser i kommande studier.



# Referenser

- AS ROCKWOOL (2013), 'Rockwool® isolering', *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION NEPD00131E rev1*.
- Baumann, H. & Tillman, A.-M. (2004), *The Hirsch hiker's guide to LCA*, Studentlitteratur.
- BFS 2011:6 (BBR26), 'Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd'. Karlskrona: Boverket.
- Bokalders, V. & Block, M. (2014), *Byggekologi*, Svensk byggtjänst.
- Boverket (2018), 'Boverkets förslag till energiregler 2020'.
- Boverket (2019a), 'Hushållsenergi och verksamhetsenergi'.
- Boverket (2019b), 'Mer om miljövarudeklarationer för byggprodukter (epd)'.
- BREEAM (2013), 'Svensk manual för nybyggnad och ombyggnad'.
- BREEAM-SE (2013), 'BREEAM SE - svensk manual för nybyggnad och ombyggnad'.
- Chastas, P., Theodosiou, T., Kontoleon, K. J. & Bikas, D. (2018), 'Normalising and assessing carbon emissions in the building sector: A review on the embodied co2 emissions of residential buildings', *Building and Environment* **130**, 212–226.
- Emrahus (2019), 'Passivhus och energihus – bara sunt förnuft'.  
<https://www.emrahus.se/passivhus/>.
- Energiföretagen (2017a), 'Fjärrkyla'.  
<https://www.energiforetagen.se/sa-fungerar-det/fjarrkyla/>.
- Energiföretagen (2017b), 'Lokala miljövärden 2017'.
- Energiföretagen (2017c), 'Miljövärdering av fjärrvärme'.  
<https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatik/miljovardering-av-fjarrvarme/>.
- Energiföretagen (2017d), 'Tillförd energi'.  
<https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatik/tillford-energi/>.
- Energiföretagen (2018a), 'Frågor och svar om miljövärdering av fjärrvärme'.  
<https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatik/miljovardering-av-fjarrvarme/fragor-och-svar-om-miljovardering-av-fjarrvarme/>.
- Energiföretagen (2018b), 'Miljövärdeing 2018'.
- Energimarknadsinspektionen (2019), 'Ursprungsmärkning av el'.  
<https://ei.se/sv/for-energiforetag/el/ursprungsmarkning-av-el/#anchor5>.

- Energimyndigheten (2017a), 'Energiläget i siffror 2017'.
- Energimyndigheten (2017b), 'Nära-nollenergibyggnader'.  
[http://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/  
program-och-uppdrag/nne/](http://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/program-och-uppdrag/nne/).
- Energimyndigheten (2019), 'En byggnads energibalans'.  
[http://energilyftet.learnways.com/Resources/Courses/266/block-5/index.  
html?v=1537747200036](http://energilyftet.learnways.com/Resources/Courses/266/block-5/index.html?v=1537747200036).
- Energirådgivningen (2018), 'Miljöpåverkan från el'.  
<https://energiradgivningen.se/klimat/miljopaverkan-fran-el>.
- Erlandsson, M., Lindfors, L.-G. & Jelse, K. (2014), 'Robust lca: Metodval för robust miljöjämförelse med livscykelanalys (lca)-introduktion för nyfikna', *IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm*.
- Erlandsson, M., Sandberg, E., Berggren, B., Francart, N. & Adolfsson, I. (2018), 'Byggnaders klimatpåverkan, timme för timme – idag och i framtiden', *IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm*.
- Europaparlamentets och rådets direktiv 2004/8/EC av den 11 februari 2004 om främjande av kraftvärme på grundval av efterfrågan på nyttiggjord värme på den inre marknaden för energi och om ändring av direktiv 92/42/EEG (L 052 , 21/02/2004 s. 0050 - 0060), '.
- Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU av den 19 maj 2010 om byggnaders energiprestanda (EUT L 153, 18.6.2010, s. 21), '.
- European Cellulose Insulation Association (ECIA) (2014), 'Loose fill cellulose insulation', *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION*.
- Fortum (2016), 'Fortum värmes miljövärden 2016'.  
<https://www.stockholmexergi.se/content/uploads/2017/05/Milj%C3%B6v%C3%A4rden-2016.pdf>.
- Gode, J., Lätt, A., Ekvall, T., Martinsson, F., Adolfsson, I. & Lindblom, J. (2014), 'Miljövärdering av energilösningar i byggnader', *IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm*.
- Gode, J., Martinsson, F., Hagberg, L., Öman, A., Höglund, J. & Palm, D. (2011), 'Miljöfaktaboken 2011-uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter', *Värmeforsk rapport 1183*.
- Göteborg energi (2018), 'Miljövärden för kyla 2018'.  
<https://www.goteborgenergi.se/DxF-50187743/Miljovarden-for-Goteborg-Energis-kyla-2018-Preliminar.pdf?TS=636846151400079360>.
- Hagberg, M., Gode, J., Lätt, A., Ekvall, T., Adolfsson, I. & Martinsson, F. (2017), 'Miljövärdering av energilösningar i byggnader (etapp 2)', *IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm*.

- IPCC (2012), 'Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change'.
- Jackon AS (2014), 'Jackofoam® isolasjonsplate', *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION NEPD-264-138-NO*.
- Janson, U., Heincke, C., Fahlén, E. & Åsa Wahlström (2019), *Metoder för bedömning av klimatpåverkan i bygg- och fastighetssektorn - en översikt*, Lågan.
- Liljenström, C., Malmqvist, T., Erlandsson, M., Fredén, J., Adolfsson, I., Larsson, G. & Brogren, M. (2015), 'Byggandets klimatpåverkan', *IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm*.
- Lund, H., Mathiesen, B. V., Christensen, P. & Schmidt, J. H. (2010), 'Energy system analysis of marginal electricity supply in consequential lca', *The International Journal of Life Cycle Assessment* **15**(3), 260–271.
- Martinsson, F., Gode, J., Arnell, J. & Höglund, J. (2012), 'Emissionsfaktorer för nordisk elproduktionsmix', *IVL Rapport B 2118*.
- Nationalencyklopedin (2019), 'kondenskraftverk'.  
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/kondenskraftverk>.
- Nordic Energy Research och IEA (2016), 'Nordic Energy Technology Perspectives 2016: Cities, Flexibility and Pathways to Carbon-neutrality'.
- Paroc AB (2014), 'Paroc insulation, product group with density <70 kg/m<sup>3</sup>', *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION NEPD0026E*.
- Regeringen (2017), 'Det klimatpolitiska ramverket'.
- Roux, C., Schalbart, P., Assoumou, E. & Peuportier, B. (2016), 'Integrating climate change and energy mix scenarios in lca of buildings and districts', *Applied energy* **184**, 619–629.
- Saint-Gobain Denmark (2018), 'Isover formstykker lambda 34', *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION NEPD-1523-522-EN*.
- SGBC (2019a), 'Breeam-se'.  
<https://www.sgbc.se/certifisering/breeam-se/vad-ar-breeam-se/>.
- SGBC (2019b), 'Certifieringar för den svenska marknaden'.  
<https://www.sgbc.se/certifisering/>.
- Svenska kraftnät (2019), 'Statistik'.  
<https://www.svk.se/aktorsportalen/elmarknad/statistik/?category=50&sort=date&limit=20&tab=archive&page=2#documentx>.
- Sveriges kommuner och landsting (2017), 'Klimatkonsekvenser av olika energilösningar'.
- Swedish Standard Institute (SIS) (2006), 'SS-EN ISO 14044:2006 Miljöledning- Livscykelanalys - Krav och vägledning (ISO 14044:2006)'. Stockholm: SIS.

Swedish Standard Institute (SIS) (2011), 'SS-EN ISO 15978 Hållbarhet hos byggnadsverk – Värdering av byggnaders miljöprestanda Beräkningsmetod (EN 15978:20112)'. Stockholm: SIS.

Swedish Standard Institute (SIS) (2013), 'SS-EN ISO 15804 Hållbarhet hos byggnadsverk – Miljödeklarationer Produktspecifika regler (EN 15804:2012+a1:2013)'. Stockholm: SIS.

Tekniska verken (2018), 'Miljövärden för fjärrkyla'.

<https://www.tekniskaverken.se/miljo/miljorapporter-och-statistik/miljovarden/fjarrkyla/>.

Wahlström, Å. & Olsson-Jonsson, A. (2002), 'Miljöpåverkan från byggnaders uppvärmningssystem: Etapp 2', *SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut*.

Wang, Q., Laurenti, R. & Holmberg, S. (2015), 'A novel hybrid methodology to evaluate sustainable retrofitting in existing swedish residential buildings', *Sustainable Cities and Society* **16**, 24–38.

Wekla (2015), 'Grönare byggmaterial med avancerad teknik och funktion'.

<http://wekla.com/wp/wp-content/uploads/2015/02/Referensv%C3%A4rden-150504.pdf>.



# A BREEAM-SE

BREEAM är ett av de äldsta certifieringssystemen i Europa och används vid nybyggnationer och större ombyggnationer. BREEAM är en brittisk certifiering och för att anpassa den till svenska kravnivåer har versionen BREEAM-SE uppkommit (BREEAM-SE 2013).

Certifieringen BREEAM-SE innefattar nio områden med ett extra tionde område vilket hanterar innovation. Varje område representerar ett specifikt miljöområde eller miljöaspekt och har tilldelats ett visst antal poäng. Desto fler poäng ett område har desto viktigare anses det vara. Beroende på antal uppfyllda poäng per område samt bestämd viktningsfaktor<sup>10</sup> för byggnaden beräknas betygsnivå för byggnaden. Förutsatt att aktuella minimikrav uppfylls tilldelas byggnaden den aktuella betygsnivån (BREEAM-SE 2013). Totalt finns det fem olika betygsnivåer, Outstanding, Excellent, Very Good, Good och Pass (SGBC 2019a).

BREEAM:s sätt att klimatbedöma en byggnad görs via kategorin material (Mat 1 - Materialval utifrån livscykelperspektiv). Poängen som delas ut här vill motivera användaren att genomföra en LCA på de ingående materialen i byggnaden. Dessa studerade material leder i sin tur till val av miljövänliga material med låga koldioxidutsläpp (BREEAM 2013).

BREEAM vill även främja användandet av närproducerad och klimatsmart el, värme och kyla. I kategorin energi (Ene 5 - Energiförsörjning med låga koldioxidutsläpp) är målet med poängen att motivera användaren att välja energikällor som gör ett mindre avtryck på klimatet. LZC-energikällor står för Low - Zero - Carbon-energikällor. Syftet med LZC-energikällor är att de leder till en minskning av byggnaders årliga CO<sub>2</sub>-utsläpp. Det kan utdelas olika antal poäng vid olika andelar av minskning av byggnaders årliga CO<sub>2</sub>-utsläpp (BREEAM 2013).

Då aktuella byggnader i studien ska certifieras med betygsnivån Excellent behandlar detta delavsnitt endast krav för denna nivå.

För att uppnå BREEAM-SE Excellent ska primärenergitalet med tillägg vara 20 % mindre än BBR:s kravnivå (BREEAM-SE). BBR:s kravnivå framgår i tabell 3.1, utan tillägg blir det högsta tillåtna värdet på  $EP_{pet}$  64 kWh/m<sup>2</sup> år. Inga krav på  $U_m$  framgår från certifieringen.

---

<sup>10</sup>Viktningsfaktorn beror på projektets omfattning exempelvis om den avsedda byggnaden är oinredd och med eller utan basinstallationer (BREEAM-SE)

## B Alternativbeskrivning

Nedan presenteras alternativen för byggnadernas  $U_m$ -medelvärde ( $U_m$ ) mer ingående samt vad det innebär för ytterväggens och isoleringens önskade  $U$ -värde.

### Alternativ 1

Alternativ 1 (Alt.1) utgör ett referensscenarie och utgår från vad som projekterats i byggnadernas systemhandlingar. Här har  $U_m$  för byggnaderna beräknats från det krav på  $EP_{pet}$  som bestämts i Masthuggskajens hållbarhetsprogram samt BREEAM-SE betyg Excellent. För Våghuset beräknas  $U_m$  till 0,48 W/(m<sup>2</sup> K) och för Brick Studios till 0,43 W/(m<sup>2</sup> K). Värdena på  $U_m$  ger ett  $U$ -värde på ytterväggarna ( $U_{yv}$ ) på 0,17 W/(m<sup>2</sup> K) och ett  $R$ -värde för isoleringen ( $R_{is}$ ) på 5,49 m<sup>2</sup> K/W för respektive hus, se tabell B.1.

Tabell B.1: Alternativ 1.  $U_m$ ,  $U_{yv}$  samt  $R_{is}$  för Våghuset och Brick Studios

Alt.1	Våghuset	Brick Studios
$U_m/(W/(m^2 K))$	0,48	0,43
$U_{yv}/(W/(m^2 K))$	0,17	0,17
$R_{is}/(m^2 K/W)$	5,49	5,49

### Alternativ 2

Alternativ 2 (Alt. 2) har det lägsta kravet på  $U_m$  för klimatskalet utav de tre alternativen. Värdet är framtaget efter BBR:s föreslagna regler för lokaler år 2020 vilket är 0,40 W/(m<sup>2</sup> K), se tabell 3.1. För att inte  $U_{yv}$  ska bli orealistiskt lågt sätts en minimigräns på 0,10 W/(m<sup>2</sup> K). Detta då Sveriges lägsta  $U$ -värde på klimatskalet resulterar i ytterväggar med ett  $U_{yv}$  på 0,082 W/m<sup>2</sup> (Emrahus 2019). Ett  $U_{yv}$  på 0,10 W/(m<sup>2</sup> K) ger ett  $R_{is}$  på 9,60 m<sup>2</sup> K/W enligt tabell B.2.

Tabell B.2: Alternativ 2.  $U_m$ ,  $U_{yv}$  samt  $R_{is}$  för Våghuset och Brick Studios

Alt.2	Våghuset	Brick Studios
$U_m/(W/(m^2 K))$	0,45	0,40
$U_{yv}/(W/(m^2 K))$	0,10	0,10
$R_{is}/(m^2 K/W)$	9,60	9,60

Vid simulering av Våghuset och Brick Studios med ett  $U_{yv}$ -värde på 0,10 W/(m<sup>2</sup> K) är det endast Brick Studios som når det önskade  $U_m$ -värdet. Våghuset får istället ett  $U_m$  på 0,45 W/(m<sup>2</sup> K).

### Alternativ 3

Alternativ 3 har det högsta simulerade värdet på  $U_m$ . Värdet baseras på minimikrav för energianvändningen i byggnader från Boverkets byggregler (BBR26). Alt. 3 utgår därmed från ett  $U_m$  på 0,60 W/(m<sup>2</sup> K), se tabell 3.1. Med detta blir  $U_{yv}$  och  $R_{is}$  för Våghuset 0,43 W/(m<sup>2</sup> K) och 1,93 m<sup>2</sup> K/W samt 0,65 W/(m<sup>2</sup> K) och 1,14 m<sup>2</sup> K/W för Brick Studios, se tabell B.3.

Tabell B.3: Alternativ 3.  $U_m$ ,  $U_{yv}$  samt  $R_{is}$  för Våghuset och Brick Studios

<b>Alt.3</b>	<b>Våghuset</b>	<b>Brick Studios</b>
$U_m/(W/(m^2 K))$	0,60	0,60
$U_{yv}/(W/(m^2 K))$	0,43	0,65
$R_{is}/(m^2 K/W)$	1,93	1,14

## C Indata systemhandlingar

Indata för byggnaderna som hålls konstant baseras på systemhandlingarna för respektive byggnad. Väggarnas ingående materialparametrar för Våghuset och Brick Studios presenteras i tabell C.1 samt C.2 nedan. Då U-värdet för ytterväggen varierar kommer även tillägg för köldbryggor samt  $U_m$  variera.

Tabell C.1: Indata Våghuset

Uppbyggnad	$U/(W/(m^2 K))$	Area/ $m^2$	$U \cdot \text{Area}/(W/K)$
Ytterväggar över mark	Varierar	3044	Varierar
Väggar under mark	1,10	156	172
	0,12	219	26
Vindsbjälklag/yttertak	0,17	92	16
	0,10	838	84
Golv mot mark	0,20	801	160
Golv mot luft	0,17	149	25
Vågfönster	1,30	354	460
Övriga fönster	0,80	2012	1610
Tillägg köldbryggor	20%		Varierar
Total med köldbryggor			Varierar
$U_m$			Varierar

Tabell C.2: Indata Brick Studios

Uppbyggnad	$U/(W/(m^2 K))$	Area/ $m^2$	$U \cdot \text{Area} (W/K)$
Ytterväggar över mark	Varierar	3685	Varierar
Väggar under mark	0,93	324	301
	0,10	433	43
Vindsbjälklag/yttertak	0,17	1479	251
	0,10	754	75
Golv mot mark	0,20	1773	355
Golv mot luft	0,17	409	83
Fönster	0,80	3255	2604
Tillägg köldbryggor	20%		Varierar
Total med köldbryggor			Varierar
$U_m$			Varierar

## D Beräkning av U-värde yttervägg

I tabellerna D.1-D.4 nedan redovisas de olika delarna i ytterväggen vilka bidrar till dess slutliga U-värde ( $U_{yv}$ ). Beroende på vilket alternativ på  $U_m$  som avses (se bilaga B) varierar U-värdet för ytterväggen samt isoleringens R-värde.

Tabell D.1: Indata yttervägg för alternativ 1 (samma för Våghuset och Brick Studios) med  $U_{yv}=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

Uppbyggnad	R/(K m <sup>2</sup> /W)	U/(W/(m <sup>2</sup> K))
Fasadskiva	Försumbar	
Luftspalt	Försumbar	
Isolering med reglar	5,49	
Insida	0,14	
$R_{si}$	0,13	
$R_{se}$	0,13	
<b>Total</b>	<b>5,88</b>	<b>0,17</b>

Tabell D.2: Indata yttervägg för alternativ 2 (samma för Våghuset och Brick Studios) med  $U_{yv}=0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

Uppbyggnad	R/(K m <sup>2</sup> /W)	U/(W/(m <sup>2</sup> K))
Fasadskiva	Försumbar	
Luftspalt	Försumbar	
Isolering med reglar	9,60	
Insida	0,14	
$R_{si}$	0,13	
$R_{se}$	0,13	
<b>Total</b>	<b>10,00</b>	<b>0,10</b>

Tabell D.3: Indata yttervägg för alternativ 3, Våghuset, med  $U_{yv}=0,43 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

Uppbyggnad	R/(K m <sup>2</sup> /W)	U/(W/(m <sup>2</sup> K))
Fasadskiva	Försumbar	
Luftspalt	Försumbar	
Isolering med reglar	1,93	
Insida	0,14	
$R_{si}$	0,13	
$R_{se}$	0,13	
<b>Total</b>	<b>2,33</b>	<b>0,43</b>

Tabell D.4: Indata yttervägg för alternativ 3, Brick Studios, med  $U_{yv}=0,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ 

Uppbyggnad	R/(K m <sup>2</sup> /W)	U/(W/(m <sup>2</sup> K))
Fasadskiva	Försumbar	
Luftspalt	Försumbar	
Isolering med reglar	1,14	
Insida	0,14	
R <sub>si</sub>	0,13	
R <sub>se</sub>	0,13	
<b>Total</b>	<b>1,54</b>	<b>0,65</b>

## E Bakgrundsdata - IDA ICE 4,8

Nedan visas specifik data för byggnadernas FTX-aggregat som används för simuleringarna i IDA ICE 4.8

Tabell E.1: Bakgrundsdata för FTX-aggregat

SPF-tal	0,825 kW/(m <sup>3</sup> /s)
Verkningsgrad	0,8
Typ av värmväxlare	Roterande

## F EN 15804:2012

I denna bilaga presenteras för denna rapport viktiga utdrag ur den europeiska standarden EN 15804:2012 (SIS 2013) vilken ligger till grund för framtagandet av miljövarudeklarationer (EPD) i byggsektorn. Enligt standarden ska EPD:er ge ett kvantifierat resultat för byggvarans miljöpåverkan vilket görs utifrån ett livscykelperspektiv. Nedan presenteras hur systemgränser, allokeringsmetoder samt datatyp och datakvalite specificeras.

### *Systemgränser*

Systemgränser för LCA enligt EN15804 följer systemgränser specificerade i EN 15978:2011 (SIS 2011), se tabell 3.2 avsnitt 3.3. Vad som ska inkluderas i de olika stegen specificeras i EN 15804:2012 (SIS 2013) enligt tabell F.1 nedan. Då enbart A1-A5 inkluderas för använda EPD:er förklaras endast dessa steg i tabellen.

Tabell F.1: Inkluderade material och processer vid insamling av data för A1-A5 enligt EN 15804:2012, kapitel 6.2.2-3 (SIS 2013).

Steg i LCA	Inkluderade steg och processer
A1	Utvinning och bearbetning av råmaterial samt bearbetning av sekundärt material
A2	Transport till produkttillverkning
A3	Tillverkning av produkt inklusive allt material, alla produkter och energi samt avfallshantering fram till slutstadiet
A4	Transport till byggarbetsplatsen
A5	Installation av produkten i byggnaden

Utöver vad som specificeras ovan ska även all påverkan från svinn i olika delsteg inkluderas, med detta menas exempelvis från produktion, transport och avfallshantering (SIS 2013).

### *Allokering*

Allokeringsregler enligt EN 15804 (SIS 2013) följer dessa av ISO 14044 (SIS 2006), se allokering avsnitt 3.3.

### *Datatyp och datakvalitet*

Den typ av data som ska användas för respektive steg (A1-A3 samt A4-A5) beskrivs enligt EN 15804 (SIS 2013) i tabell F.2 nedan.



Tabell F.2: Specificerad datatyp vid genomförande av steg A1-A5 enligt EN 15804:2012, kapitel 6.3.6. (SIS 2013).

	<b>A1-A3</b>		<b>A4-A5</b>
<b>Modul</b>	Produktion av varor och råmaterial	Tillverkning av produkt, det tillverkaren kan påverka	Transport och installationsprocesser
<b>Datatyp</b>	1. Data från producent av råmaterial helst från EPD 2. EPD för liknande produkt 3. Generisk data	Producentens specifik eller genomsnittlig data	Generisk data

Vidare specificerar EN 15804 att högst tio år gammal data får användas för generisk data samt fem år för specifik data. Valet av data för tekniska processer ska även stämma överens med verkligheten (SIS 2013).

## G Indata för Tidstegsmetoden

Här presenteras den indata som används vid genomförande av LCA-beräkningar utifrån ett bokföringsperspektiv samt ett konsekvensperspektiv. Data för bokföringsperspektivet är framtagen av IVL på beställning av NCC medan data för konsekvensperspektivet är tagen från IVL:s Tidstegsmetoden (*etapp 2*)(Hagberg et al. 2017). IVL utgår från Tidstegsmetoden även vid framtagandet av data för bokföringsperspektivet.

Båda perspektiven utgår från timupplöst data över ett år för fjärrvärme- och fjärrkylesystemet. Då fjärrvärmesystem skiljer sig åt lokalt (se avsnitt 3.4) har IVL tagit fram typfall för sammansättningen av produktionsmixen (marginal och genomsnittlig) för tre olika storlekar på fjärrvärmesystem. Dessa är uppdelade på stort, mellan, och litet fjärrvärmesystem där de två första inkluderar kraftvärmeverk och det sista är ett helt biobaserat fjärrvärmesystem. De två kraftvärmeverken har inslag av fossila bränslen samt en stor andel avfallsbaserad kraftvärme. Förutom fjärrvärme har även IVL tagit fram ett typsystem för ett stort fjärrkylesystem (Hagberg et al. 2017).

Produktionsmixen (marginal och genomsnittlig) för fjärrvärme- och fjärrkylesystemen presenteras i förhållande till utomhustemperatur. Detta på grund av att produktionen av fjärrvärme och fjärrkyla enligt Tidstegsmetoden anses ha en större koppling till utomhustemperaturen än till dygnets timmar. Marginalmixen presenteras i figur G.5-G.8 samt den genomsnittliga i figur G.1-G.4 längre ner. Figurerna visar sannolikheten att en viss typ av teknik påverkas vid en specifik temperatur (Hagberg et al. 2017). Nedan presenteras även viktiga punkter vid framtagandet av data från fjärrvärme- och fjärrkylesystemen.

- **Emmisionsfaktorer:** Utgår framför allt från *Miljöfaktaboken 2011* (Gode et al. 2011) för bedömning av utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv. för bränslen. Med undantag för sole vilken är tagen från IPCC (2012) samt avfall i konsekvensperspektivet vilket är scenarieroende (se tabell G.1 längre ner i kapitlet).
- **Allokering vid kraftvärme:** Alternativproduktionsmetoden samt alternativverkningsgrader appliceras enligt Kraftvärmedirektivet<sup>11</sup>.
  - För bränslet kol/gummi används alternativa verkningsgrader för övrigt fossilt bränsle.
  - För bränslet primära trädbränslen används alternativa verkningsgrader för övrigt oförädlad biobränsle.
- **Produktionsdata:** Den produktionsdata vilken används för fjärrvärme är baserad på två år där Orts- och tidsspecifik klimatfil använts. Data från respektive typnät är försetts av:
  - Litet fjärrvärmesystem (Kungsbacka): Statkraft, 2015-2016.
  - Medelstort fjärrvärmesystem (Linköping): Tekniska verken i Linköping 2013-2014.

---

<sup>11</sup>Europaparlamentets och rådets direktiv 2004/8/EC av den 11 februari 2004 om främjande av kraftvärme på grundval av efterfrågan på nyttiggjord värme på den inre marknaden för energi och om ändring av direktiv 92/42/EEG (L 052 , 21/02/2004 s. 0050 - 0060)

- Stort fjärrvärmesystem (Stockholm): Fortum/Stockholm Exergi, 2008-2010.
- Fjärrkylasystem (Stockholm): Fortum/Stockholm Exergi, 2013-2015.

För elsystemet använder bokföringsperspektivet ett årsmedelvärde medan konsekvensperspektivet använder timupplöst data. Vidare använder bokföringsperspektivet genomsnittliga värden för samtliga indata medan konsekvensperspektivet använder marginaldata. Detta leder till att systemgräns och beräkningsmetod skiljer sig mellan perspektiven. Konsekvensperspektivet applicerar även ytterligare en tidsaspekt vilket resulterar i tre framtidsscenarier. Nedan presenteras perspektiven mer ingående var för sig.

## Bokföringsperspektiv

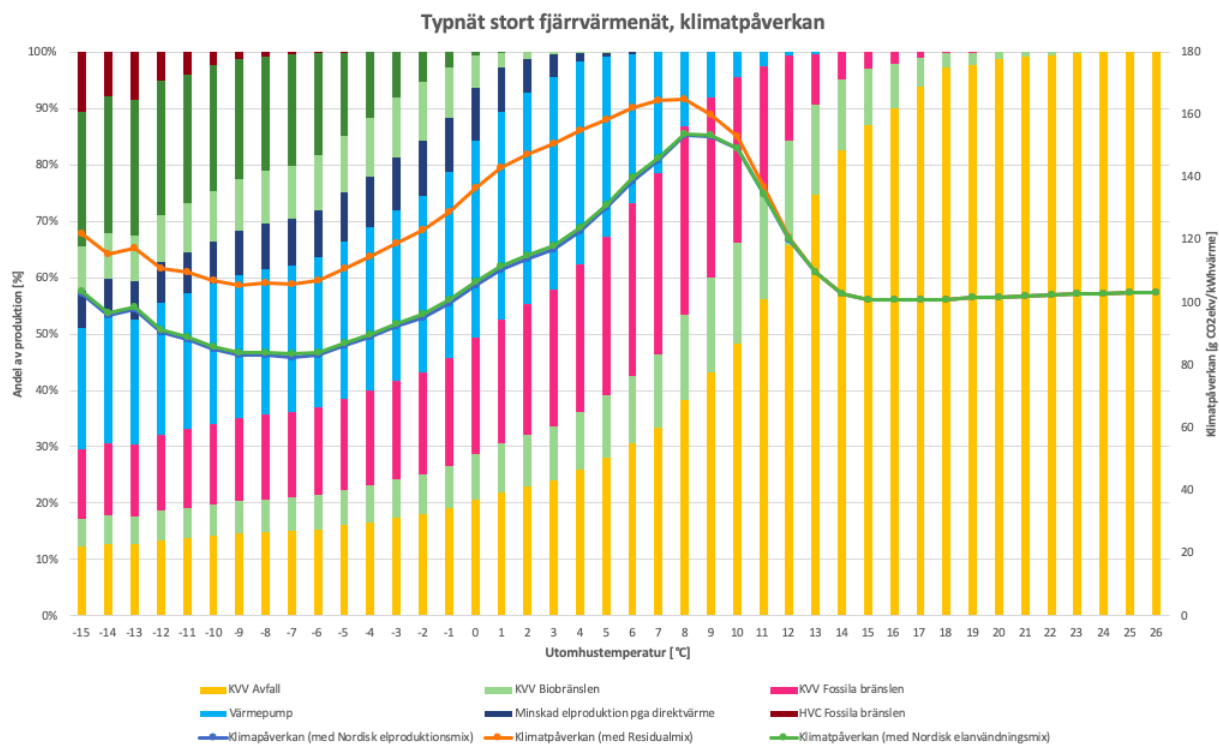
Data för bokföringsperspektivet har tagits fram av IVL på beställning av NCC. Här används genomsnittlig data för el-, fjärrvärme- och fjärrkylesystemet. Använd data redovisas i en produktionsmix för fjärrvärme och fjärrkyla samt en emissionsvektor för elsystemet i figur G.1-G.4 nedan. Även dessa figurer är framtagna av IVL.

För elsystemet appliceras tre olika sätt att värdera klimatpåverkan från nordisk elmix. Dessa är nordisk produktionsmix, elanvändningsmix samt residualmix. Den nordiska produktionsmixen och elanvändningsmixen skiljer sig åt då elanvändningsmixen även tar hänsyn till importerad el. Denna data är framtagen av IVL där statistik har tagits från Sverige, Norge, Danmark och Finland. Det värde som IVL tagit fram för nordisk elproduktionsmix är 75 g CO<sub>2</sub>/kWh, för elanvändningsmix 85 g CO<sub>2</sub>/kWh och för residualmix 340 g CO<sub>2</sub>/kWh. Nedan specificeras viktiga antaganden för bränsle vilka använts där statistik varit otydlig samt där emissionsfaktorer saknats.

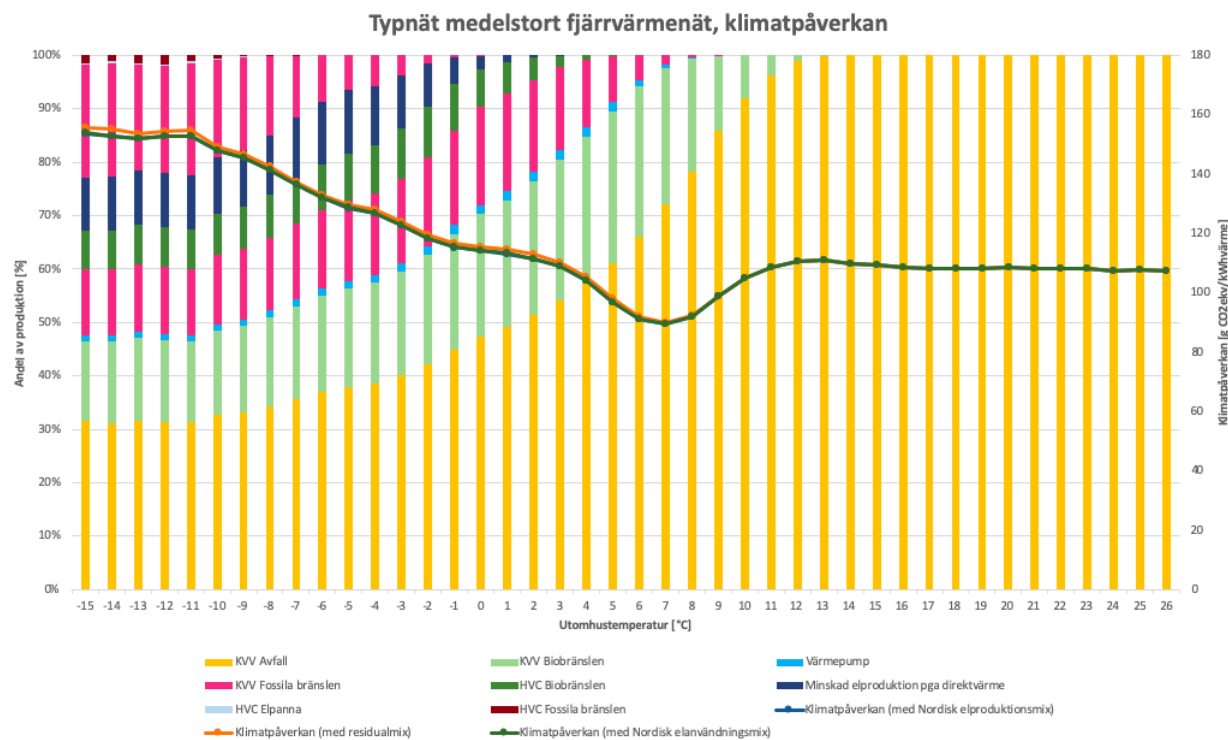
- Bränsle i form av olja antas vara Eldningsolja 1.
- Där förnybara bränslen specificerats som "övriga" har träbränsle använts.
- Där energikällor specificerats som "övriga" har verksamhetsavfall använts<sup>12</sup>.
- Det avfall som använts antas vara hushållsavfall

---

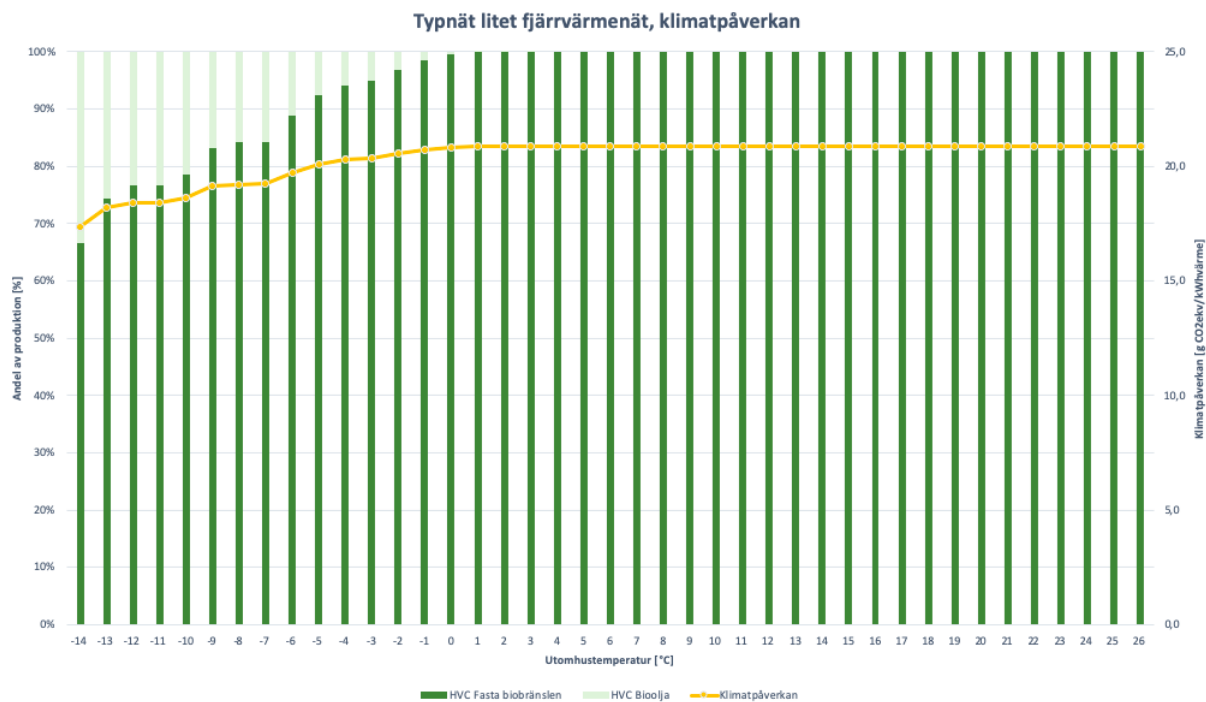
<sup>12</sup>Väldigt liten mängd



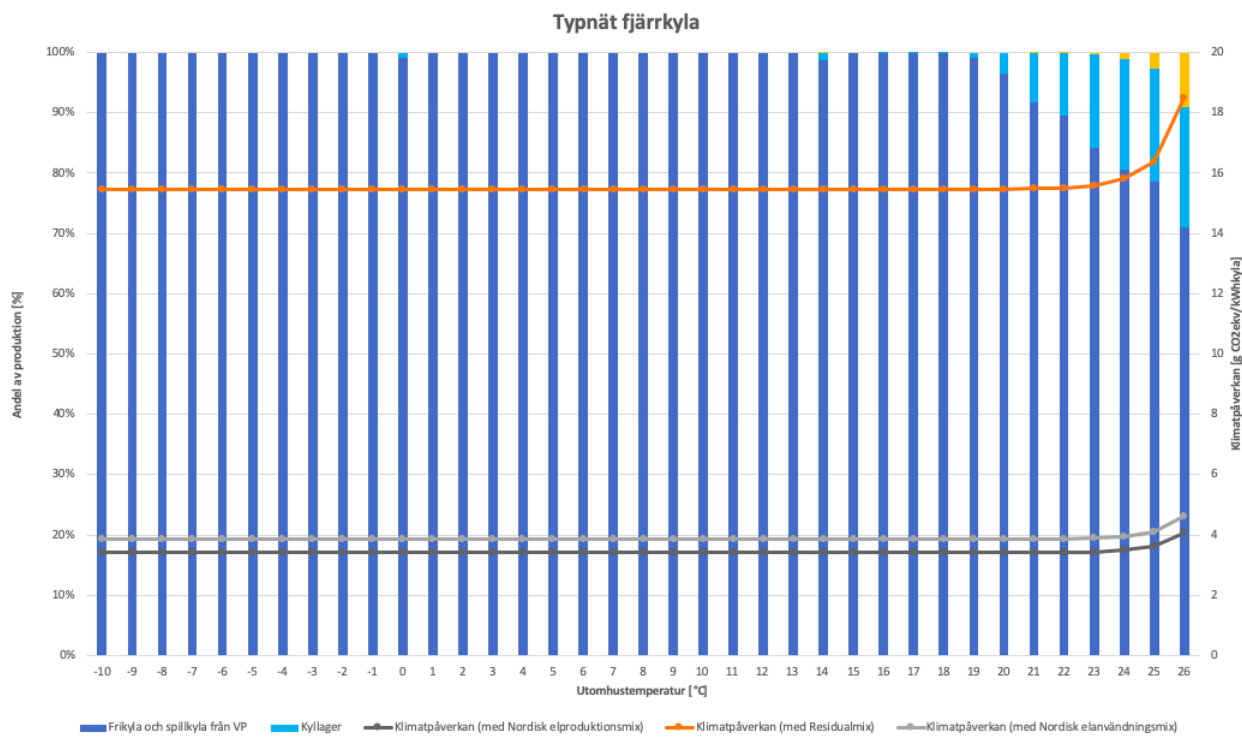
Figur G.1: Produktionsmix för stort fjärrvärmesystem (vänster y-axel) samt dess emissionsvektor (höger y-axel). Produktionsmixen är kopplad till utomhustemperatur och emissionsvektorn visar utsläpp kopplade till specifik produktionsmix och temperatur.



Figur G.2: Produktionsmix för mellanstort fjärrvärmesystem (vänster y-axel) samt dess emissionsvektor (höger y-axel). Produktionsmixen är kopplad till utomhustemperatur och emissionsvektorn visar utsläpp kopplade till specifik produktionsmix och temperatur.



Figur G.3: Produktionsmix för litet fjärrvärmesystem (vänster y-axel) samt dess emissionsvektor (höger y-axel). Produktionsmixen är kopplad till utomhustemperatur och emissionsvektorn visar utsläpp kopplade till specifik produktionsmix och temperatur.



Figur G.4: Produktionsmix för stort fjärrkylesystem (vänster y-axel) samt dess emissionsvektor (höger y-axel). Produktionsmixen är kopplad till utomhustemperatur och emissionsvektorn visar utsläpp kopplade till specifik produktionsmix och temperatur.

## Konsekvensperspektiv

I detta avsnitt presenteras data från Tidsstegsmetoden (*etapp 2*) (Hagberg et al. 2017) vilken använts i examensarbetet. Här presenteras tre framtidsscenarioer för marginalell och avfallsbaserad fjärrvärme, vilka emissionsfaktorer de leder till för avfallet samt hur de kombineras med marginalmixen för fjärrvärme- och fjärrkylesystemen.

### Framtidsscenarioer

De tre framtidsscenarioerna för det långsiktiga perspektivet är klimatungt, referens och klimatsnålt scenario och appliceras på elsystemet och fjärrvärmesystemet var för sig. Den tidsmässiga avgränsningen på 20 år är framtagen med avseende på energilösningars uppskattade livslängd. Dessa 20 år representerar 2020-2040 (Hagberg et al. 2017). Scenarioerna presenteras nedan. Klimatpåverkan från dessa scenarioerna redovisas som emissionsvektorer i figur G.5-G.8. Scenarioerna för elen utgår från nordisk Energiforskning och IEAs *Nordic Energy Technology Perspectives 2016* och deras "Carbon Neutral Scenario" (Nordic Energy Research och IEA 2016). Fjärrvärmerna utgår istället från förändringar i den avfallsbaserade fjärrvärmerna (Hagberg et al. 2017).

- **Klimattungt scenario**

*El:* Genom politiska styrmedel genomförs investeringar i kraftproduktion där nya tekniker kvoterar in i syfte att nå politiska mål. Kostnadseffektiviteten är låg för genomförandet av investeringar i förnybar kraftproduktion vilket överstiger det som krävs för att uppfylla önskade effektmål.

*Fjärrvärme:* Ett minskat behov av att använda avfall som bränsle för fjärrvärme leder till att Sverige minskar sin produktion av värme från avfall. Detta leder i sin tur till en minskad mängd importerat avfall vilket medför att en större del avfall nu förbränns med elutvinning i något annat europeiskt land. Utvinningen av el antas ha en verkningsgraden på 30 % och den producerade elen antas ersätta el producerat från naturgas.

- **Referensscenario**

*El:* Investeringar i förnybar kraftproduktion antas genomföras utifrån egna initiativ med påtryckning endast från ökade kostnader för utsläpp av CO<sub>2</sub>.

*Fjärrvärme:* Ett minskat behov av att använda avfall som bränsle för fjärrvärme leder till att värme från avfallsförbränning kyls bort i större utsträckning.

- **Klimatsnålt scenario**

*El:* Investeringar i förnybar kraftproduktion antas genomföras utifrån egna initiativ med stöd från ökade kostnader för utsläpp av CO<sub>2</sub>, vilka ökar kraftigare än i referensscenariot. I slutet på tidsperioden (2040) antas det nordiska elsystemet i stort sett vara helt fritt från fossila bränslen.

*Fjärrvärme:* Ett minskat behov av att använda avfall som bränsle för fjärrvärme leder till att Sverige minskar sin produktion av värme från avfall. Detta leder i sin tur till en minskad mängd importerat avfall vilket medför att en större del avfall nu deponeras i något annat europeiskt land. Här görs antagandet att deponin är modernt utformad och att 70 % av den metan vilken bildas under en period på hundra år tas tillvara som deponigas. Denna gas antas därefter användas för produktion av el (25 %) och värme (75 %) med en verkningsgrad på 80 %. Utav den metangas som inte samlas in oxideras 10 % i deponitäckningen.

Scenarierna skiljer sig vad gäller systemgräns. För referensscenariot avses ökad avfallsvärme i Sverige vilket motvarar 1 MWh. För det klimattunga och det klimatsnåla beror klimatpåverkan på uppströmseffekter samt, framförallt, på vidare värmeproduktion respektive kraftvärmeproduktion avses. För kraftvärme beror även klimatpåverkan på vilket elscenario som avses.

Klimatpåverkan från fjärrvärmescenarierna beräknas från WAMPS (Waste Management Planning System). Detta verktyg har tagits fram av IVL och hanterar en LCA-modell för avfallshantering. Modellen inkluderar inte insamling av avfall eller andra lokala transporter. För transport av avfall internationellt antas att lastbil med ett ekipage på ca 3\*30 m<sup>3</sup> användas. Lastbilens körsträcka enkel resa antas vara 3000 km (Hagberg et al. 2017).

För avfallet bestäms klimatpåverkan utifrån framtagna framtidsscenarioer, värdena redovisas i tabell G.1 nedan. För mer information angående de framtagna scenarierna se *Miljövärdering av energilösningar (etapp 2)* (Hagberg et al. 2017, kap 5.2.2. samt 6.2.2).

Tabell G.1: Beräknade miljövärden från respektive framtidsscenario för avfall. Skillnaden i värde beror på skillnader i systemgränser. Tabellen är tagen från Tidstegsmetoden (Hagberg et al. 2017, tabell 6.1).

	Referens	Klimattungt	Klimatsnålt
Klimatpåverkan /(kg CO <sub>2</sub> /MWh <sub>varme</sub> )	0	-	-
Klimatpåverkan /(kg CO <sub>2</sub> /MWh <sub>avfall</sub> )	-	71	-46

Framtidsscenarioerna för el och fjärrvärme kan kombineras till totalt nio olika kombinationer enligt tabell G.2 nedan.

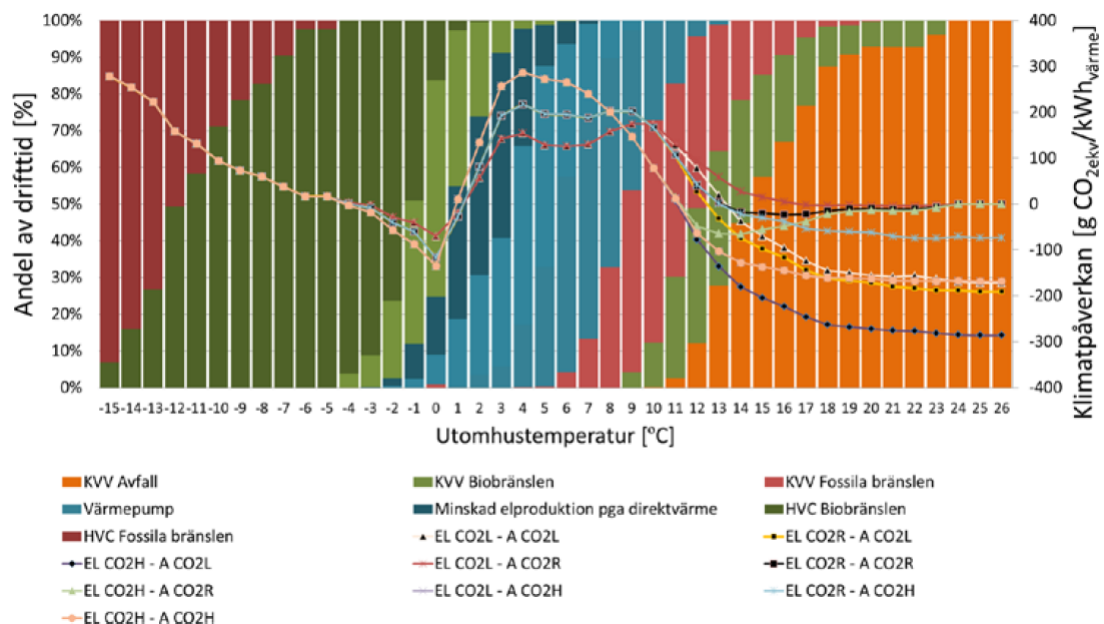
Tabell G.2: Kombination av framtidsscenario för el och fjärrvärme enligt Tidstegsmetoden *etapp 2* (Hagberg et al. 2017, tabell 7.1). L = klimatsnål, R = referens, H = klimattungt och A = avfall (fjärrvärmescenario)

Senariomatris	Avfall Klimatsnål	Avfall Referens	Avfall Klimatsnål
El Klimatsnål	EL CO <sub>2</sub> L, A CO <sub>2</sub> L	EL CO <sub>2</sub> L, A CO <sub>2</sub> R	EL CO <sub>2</sub> L, A CO <sub>2</sub> H
El Referens	EL CO <sub>2</sub> R, A CO <sub>2</sub> L	EL CO <sub>2</sub> R, A CO <sub>2</sub> R	EL CO <sub>2</sub> R, A CO <sub>2</sub> H
El Klimattungt	EL CO <sub>2</sub> H, A CO <sub>2</sub> L	EL CO <sub>2</sub> H, A CO <sub>2</sub> R	EL CO <sub>2</sub> H, A CO <sub>2</sub> H

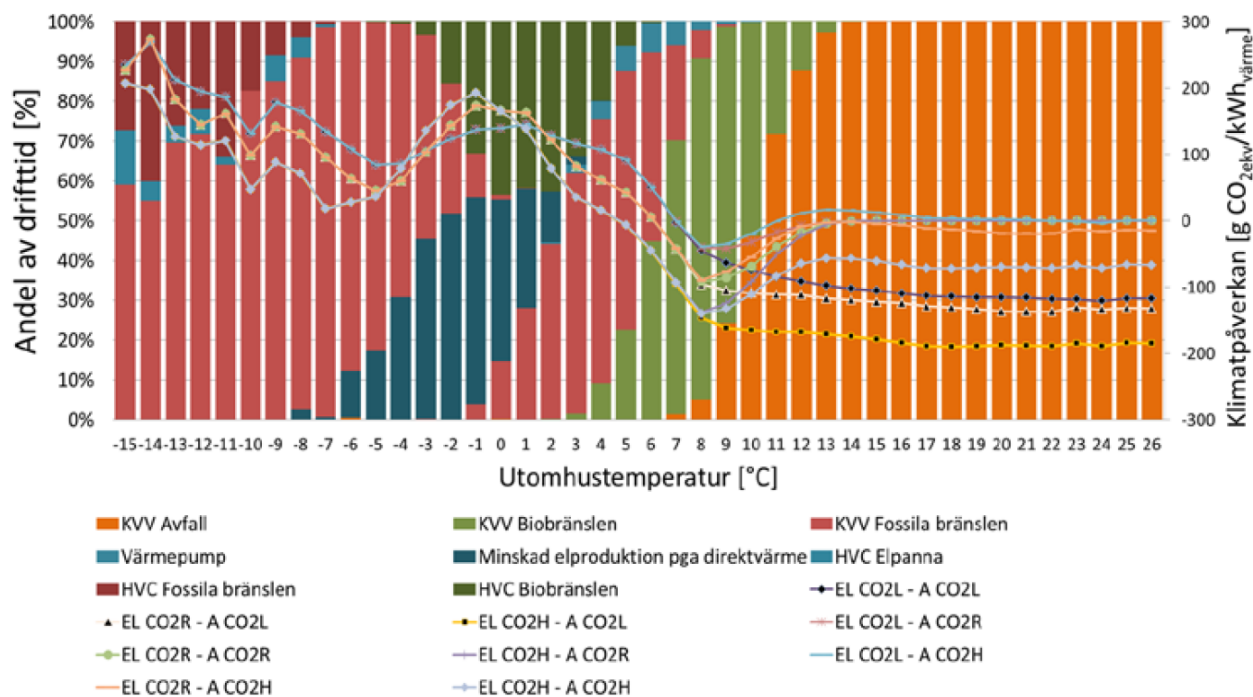
Vid användning av data från *etapp 2* och framtidsscenarioerna ovan appliceras kombinationer av samtliga scenarier. Vidare används data från samtliga fjärrvärmesystem.

Genom att kombinera framtidsscenarioer med sannolikhetsfördelningen för marginalfjärrvärme och -fjärrkyla vid en viss utetemperatur samt motsvarande utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekv., kan utsläppen för varje scenario relaterat till utomhustemperatur beräknas. Resultatet från *etapp 2* och stort, medelstort och litet fjärrvärmesystem samt stort fjärrkylesystem redovisas i figur G.5 - G.8 nedan.

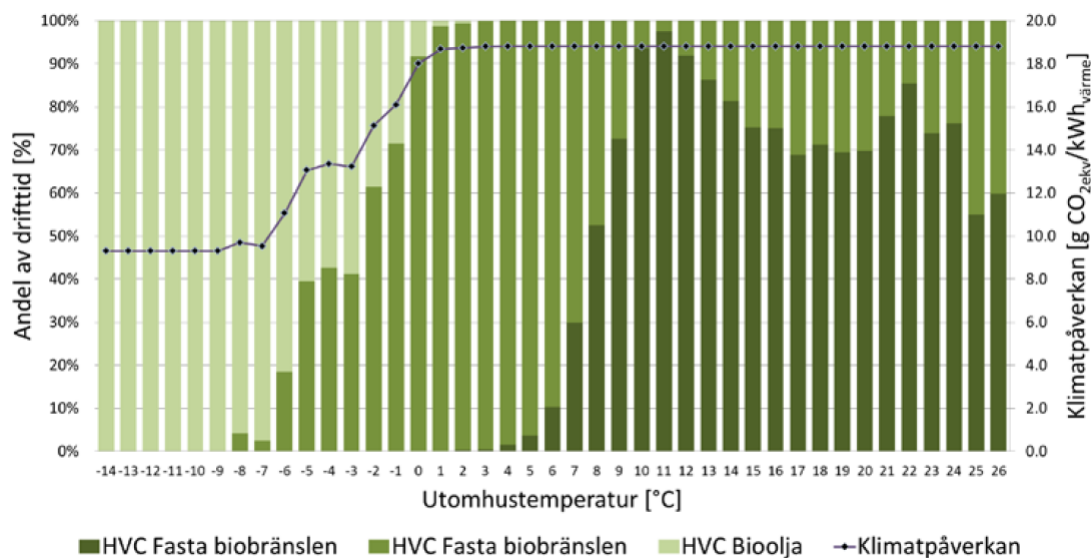




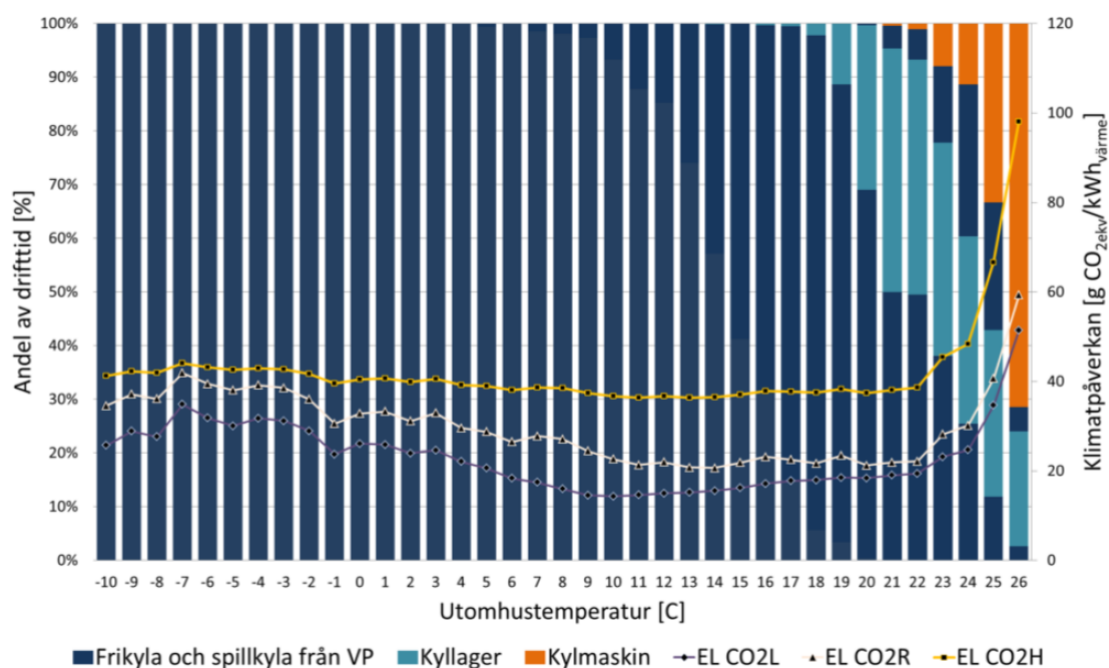
Figur G.5: Marginalmix för stort fjärrvärmesystem enligt *etapp 2* (vänster y-axel) samt dess emissionsvektor (höger y-axel) för samtliga framtidsscenario. Marginalmixen är kopplad till utomhustemperatur och emissionsvektorn visar utsläpp kopplade till dessa. L = klimatsnål, R = referens, H = klimattung och A = avfall. Figuren är tagen från Tidstegsmetoden *etapp 2* (Hagberg et al. 2017, figur 4.3).



Figur G.6: Marginalmix för medelstort fjärrvärmesystem enligt *etapp 2* (vänster y-axel) samt dess emissionsvektor (höger y-axel) för samtliga framtidsscenario. Marginalmixen är kopplad till utomhustemperatur och emissionsvektorn visar utsläpp kopplade till dessa. L = klimatsnål, R = referens, H = klimattung och A = avfall. Figuren är tagen från Tidstegsmetoden *etapp 2* (Hagberg et al. 2017, figur 4.5).



Figur G.7: Marginalmix för litet fjärrvärmesystem enligt *etapp 2* (vänster y-axel) samt dess emissionsvektor (höger y-axel) för samtliga framtidsscenarioer. Marginalmixen är kopplad till utomhustemperatur och emissionsvektorn visar utsläpp kopplade till dessa. Figuren är tagen från Tidstegsmetoden *etapp 2* (Hagberg et al. 2017, figur 4.7).



Figur G.8: Marginalmix för stort fjärrkylesystem enligt *etapp 2* (vänster y-axel) samt dess emissionsvektor (höger y-axel) för samtliga framtidsscenarioer för el. Marginalmixen är kopplad till utomhustemperatur och emissionsvektorn visar utsläpp kopplade till dessa. L = klimatsnål, R = referens, H = klimattung och A = avfall. Figuren är tagen från Tidstegsmetoden *etapp 2* (Hagberg et al. 2017, figur 4.9).

# H Omräkning EPD

Nedan redovisas omräkning av GWP för A1-A5 samt tjocklek för respektive isoleringsmaterial enligt önskad funktionell enhet (FE) (Alt. 1-3).

Tabell H.1: Omräkning av GWP i g CO<sub>2</sub>-ekv./ FE och tjocklek för isoleringsmaterial enligt FE för alternativ 1.

<b>Alternativ 1.</b>		
<b>Produkt</b>	<b>Tjocklek/mm</b>	<b>A1-5</b>
ISOVER Formstykker	195	5,53
Paroc Insulation < 70 kg/m <sup>3</sup>	192	8,50
ROCKWOOL® isolering	203	7,66
Jackofoam XPS isolasjonsplate	176	30,34
ECIA Loose fill cellulose insulation	214	2,51

Tabell H.2: Omräkning av GWP i g CO<sub>2</sub>-ekv./ FE och tjocklek för isoleringsmaterial enligt FE för alternativ 2.

<b>Alternativ 2.</b>		
<b>Produkt</b>	<b>Tjocklek/mm</b>	<b>A1-5</b>
ISOVER Formstykker	327	9,31
Paroc Insulation < 70 kg/m <sup>3</sup>	336	14,89
ROCKWOOL® isolering	355	13,42
Jackofoam XPS isolasjonsplate	307	53,12
ECIA Loose fill cellulose insulation	375	4,40

Tabell H.3: Omräkning av GWP i g CO<sub>2</sub>-ekv./ FE och tjocklek för isoleringsmaterial enligt FE för alternativ 3 för Våghuset.

<b>Alternativ 3. Våghuset</b>		
<b>Produkt</b>	<b>Tjocklek/mm</b>	<b>A1-5</b>
ISOVER Formstykker	66	1,87
Paroc Insulation < 70 kg/m <sup>3</sup>	68	2,99
ROCKWOOL® isolering	71	2,70
Jackofoam XPS isolasjonsplate	62	10,67
ECIA Loose fill cellulose insulation	75	0,88

Tabell H.4: Omräkning av GWP i g CO<sub>2</sub>-ekv./ FE och tjocklek för isoleringsmaterial enligt FE för alternativ 3 för Brick Studios.

<b>Alternativ 3. Brick Studios</b>		
<b>Produkt</b>	<b>Tjocklek/mm</b>	<b>A1-5</b>
ISOVER Formstykker	39	1,11
Paroc Insulation < 70 kg/m <sup>3</sup>	40	1,77
ROCKWOOL® isolering	42	1,60
Jackofoam XPS isolasjonsplate	37	6,32
ECIA Loose fill cellulose insulation	45	0,52

# I Isolering: Relation mellan GWP och tjocklek

Omräkning av GWP för önskad tjocklek för valda isoleringsmaterial utgår från specificerat förhållande i EPD:n för ISOVER Formstykker<sup>13</sup>, se tabell I.1 nedan.

Produkt tjocklek, $d$ /mm	$R/(m^2K/W)$	Multipliseringsfaktor
34	1,00	1.00
45	1,324	1.33
70	2,059	2.06
95	2,794	2.84
120	3,529	3.53
145	4,265	4.27
195	5,735	5.71

Tabell I.1: R-värde samt förhållande mellan GWP och tjocklek (multipliseringsfaktor) enligt EPD från ISOVER Formstykker.

Tabellen redovisar förhållandet mellan produktens tjocklek, R-värde samt multipliseringsfaktor, från vilken GWP-värdet kan räknas fram. Här har isoleringens R-värde räknats ut genom att dividera önskad isoleringstjocklek med isoleringstjockleken som EPD:n baseras på, vilket i tabellen ovan är 34 mm för ISOVER Formstykker. Från tabellen går det att se att multipliseringsfaktorn och R-värdet är näst intill identiska vilket motiverar antagandet att GWP för önskad tjocklek kan räknas ut genom förhållandet mellan önskad tjocklek och den tjocklek specificerad i EPD:n.

<sup>13</sup>[https://www.epd-norge.no/getfile.php/138716-1520852975/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD-1523-522\\_Formstykke-34.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/138716-1520852975/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD-1523-522_Formstykke-34.pdf)