

# Optimering av isolertjocklek för flerbostadshus: En analys av klimatpåverkan från materialförbrukning och energibehov under drift.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

FANNY BACKLUND  
SAGA NILSSON ERMLER



EXAMENSARBETE ACEX20

# Optimering av isolertjocklek för flerbostadshus: En analys av klimatpåverkan från materialförbrukning och energibehov under drift.

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

Fanny Backlund

Saga Nilsson Ermler

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2024

Optimering av isolertjocklek för flerbostadshus: En analys av klimatpåverkan från materialförbrukning och energibehov under drift.

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

Fanny Backlund

Saga Nilsson Ermler

© FANNY BACKLUND, SAGA NILSSON ERMLER 2024

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Chalmers tekniska högskola 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för Byggnadsteknologi  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:  
Detaljbild av ytterväggskonstruktion.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Göteborg 2024

Optimering av isolertjocklek för flerbostadshus: En analys av klimatpåverkan från materialförbrukning och energibehov under drift.

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

Fanny Backlund

Saga Nilsson Ermler

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för Byggnadsteknologi  
Chalmers tekniska högskola

## **SAMMANFATTNING**

Bygg- och fastighetssektorn är en betydande källa till växthusgasutsläpp i Sverige. En byggnad ger klimatavtryck vid nybyggnation i form av materialåtgång men också under driftskedet i form av energibehov för uppvärmning på grund av värmeförluster. Vid effektivt resursnyttjande, genomtänkta materialval och användning av förnybara källor och material är klimateffektivisering möjlig.

Genom att utföra energibalansberäkningar i IDA ICE och klimatdeklarationer med hjälp av EPD jämförs klimatpåverkan från drift med klimatpåverkan från materialförbrukning. Dessa adderas till en total klimatpåverkan för att hitta en optimal isolertjocklek för en utfackningsvägg i ett flerbostadshus, som ger upphov till minsta möjliga klimatpåverkan. Studien jämför materialval och val av värmekälla i form av trä- och stålreglar samt fjärr- och bergvärme. Arbetet resulterade i olika optimala isolertjocklekar beroende på regelmaterial och värmekälla. Men slutsatsen är att det är mer gynnsamt att öka isolertjockleken ur ett miljöperspektiv, eftersom klimatpåverkan från energibehovet under 50 år är markant högre än klimatpåverkan från materialåtgången vid byggnation.

Nyckelord: Yttervägg, hållbart byggande, klimatpåverkan, utfackningsvägg, regelvägg, isolermängd, isolertjocklek, livscykelerspektiv, energibehov



Optimization of Insulation Thickness in Multi-Family Residential Buildings: An Analysis of Climate Impact from Material Consumption and Energy Demand during Operation.

*Degree Project in the Engineering Programme  
Civil and Environmental Engineering*

Fanny Backlund

Saga Nilsson Ermler

Department of Architecture and Civil Engineering  
Division of Building technology  
Chalmers University of Technology

## **ABSTRACT**

The construction and real estate sector are a significant source to greenhouse gas emissions in Sweden. A building causes climate impact during new construction in terms of material consumption but also during the operational phase in terms of energy demand caused by thermal loss. Climate efficiency can be achieved by means of material choices, efficient conservation of resources and use of renewable resources together with renewable material.

By conducting energy balance calculations in IDA ICE and climate declarations using EPDs, the climate impact from operation is compared with the climate impact from material consumption. These are added together to form a total climate impact to find an optimal insulation thickness for a curtain wall in a multi-family building, which results in the least possible climate impact. The study compares choices of material and heat source in terms of wood and steel rule together with district heat and geothermal heating. The project resulted in different optimal insulation thickness depending on rule material and heat source. But the conclusion is that it is more beneficial to increase the insulation thickness from an environmental perspective, as the climate impact from energy needs over 50 years is significantly higher than the climate impact from material consumption during construction.

Keywords: External wall, sustainable building, climate impact, curtain wall, rule wall, insulation thickness, LCA, energy demand

# Innehåll

SAMMANFATTNING	V
ABSTRACT	VII
INNEHÅLL	VIII
FÖRORD	X
BETECKNINGAR	XI
1 INLEDNING	12
1.1 Syfte	12
1.2 Metod	12
1.3 Frågeställningar	13
1.4 Avgränsningar	13
2 TEORI	14
2.1 Boverkets lagar och regler	14
2.1.1 Energi	14
2.1.2 Lagen om klimatdeklaration	14
2.2 Byggnadsfysikaliska egenskaper	15
2.2.1 Värmetransport	15
2.3 Klimatpåverkan	15
2.3.1 LCA	15
2.3.2 EPD	16
2.4 Isolering	17
2.4.1 Mineralull	17
2.5 Värmekällor	17
2.5.1 Fjärrvärme	18
2.5.2 Bergvärme	19
3 BYGGNADEN	20
3.1 Yttervägg	21
3.2 Övrigt klimatskal	22
3.3 Materialval	23
4 BERÄKNINGAR	24
4.1 Energibalansberäkningar	24
4.1.1 U-värden	24
4.1.2 Indata	26
4.2 Klimatdeklaration	28
4.2.1 Isolering	28
4.2.2 Reglar	28

5	RESULTAT	29
6	DISKUSSION	33
6.1	Resultatdiskussion	33
6.2	Värderad optimering	34
6.3	Förslag på optimal vägg	37
6.4	Jämförelser av faktorer	38
7	SLUTSATSER	39
	REFERENSER	40
	BILAGOR	42
	Bilaga A – Ventilationsflöde och tillgodoräknad hushållsel	42
	Bilaga B – Väggbuppbyggnad, U-värde och total klimatpåverkan	43
	Bilaga B.1 Träreglar	43
	Bilaga B.2 Ståltreklar	43
	Bilaga C – Klimatpåverkan från materialåtgång	44
	Bilaga C.1 Fasadskiva	44
	Bilaga C.2 Träreglar	44
	Bilaga C.3 Ståltreklar	45
	Bilaga D – Produkter	46

# Förord

Detta examensarbete har genomförts av Fanny Backlund och Saga Nilsson Ermler som avslutande del av högskoleingenjörsprogrammet inom Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola. Arbetet har utförts tillsammans med PE Arkitektur och Teknik samt avdelningen för byggnadsteknologi på Chalmers och innefattar 15 högskolepoäng.

Vi vill tacka Martina Stockhaus på PE som under arbetets gång visat stort engagemang och bidragit med handledning och värdefulla synpunkter. Vidare vill vi även tacka Emma Wahlfridsson på PE samt Bijan Adl-Zarrabi på Chalmers för deras hjälp.

Göteborg Maj 2024  
Fanny Backlund  
Saga Nilsson Ermler

## Beteckningar

$\lambda$ :	Värmeledning	[W/mK]
A:	Area	[m <sup>2</sup> ]
$A_{om}$ :	Omslutningsarea	[m <sup>2</sup> ]
$A_{temp}$ :	Uppvärmad golvarea enligt Boverkets definition	[m <sup>2</sup> ]
$EP_{pet}$ :	Primärenergital	[kWh/m <sup>2</sup> ]
R:	Värmeväxlingsmotstånd	[m <sup>2</sup> K/W]
SFP:	Specifik flätkraft	[kW/m <sup>3</sup> /s]
$T_{ute}$ :	Utomhustemperatur	[°C]
U:	Värmegenomgångskoefficient	[W/m <sup>2</sup> K]
$U_m$ :	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient	[W/m <sup>2</sup> K]
Q:	Ventilationsflöde	[l/s]

# 1 Inledning

Hållbar utveckling betraktas idag som en nödvändighet och utgör ett centralt fokus, inte minst för bygg- och fastighetssektorn. Med hjälp av Agenda 2030 samverkar nationer för att skapa en mer hållbar och rättvis värld där mål 11 och 12 lägger fokus kring hållbara städer och samhällen samt hållbar konsumtion och produktion (Globala målen, u.å.).

År 2021 stod bygg- och fastighetssektorn för cirka 22 procent av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser där 11,1 miljoner ton motsvarar utsläpp av koldioxidekvivalenter (Boverket, 2024b). Detta understryker vikten av att aktivt sträva efter att minska klimatpåverkan och effektivisera de mest betydande utsläppskällorna inom branschen.

Vid granskning av utsläppen inom bygg- och fastighetssektorn, ur ett livscykelperspektiv, framgår det att nybyggnad utgör 22 procent, uppvärmning 25 procent av utsläppen, fastighetsförvaltning 24 procent och renovering och tillbyggnad 29 procent. Tillsammans medför detta betydande möjligheter till reducering av klimatpåverkan. Målsättningen är att verka för effektivt resursbesparande och att successivt minska energianvändningen på lång sikt, samtidigt som man bidrar till att identifiera effektiva lösningar inom produktion och driftskede (Boverket, 2024b).

Att idag bygga hållbart kan vara en utmaning som kräver ytterligare åtgärder för att minska utsläppen och skapa en mer hållbar framtid. Framsteg har redan uppnåtts då man inom produktionsfasen infört styrmedel och krav såsom klimatdeklarationer, livscykelanalyser och miljövarudeklarationer. Men även genom minskning av energianvändningen genom exempelvis användning av förnybara energikällor under driftskedet. Detta leder till förbättrad kontroll inom specifika områden och tydliggör de faktorer som är möjliga att påverka (Boverket, 2024a)

## 1.1 Syfte

Syftet med denna studie är att ta fram en isolertjocklek som bidrar till ökad hållbarhet för flerbostadshus. Detta genom att identifiera den isolertjocklek som bidrar till minsta möjliga klimatpåverkan i form av koldioxidekvivalenter med fokus på energiförbrukning av bygganden, men även med hänsyn till materialåtgången av isolering och reglar. Resultatet av studien förväntas kunna användas i framtiden för relevanta projekt inom branschen. Det förväntas även kunna användas som underlag för att främja hållbarheten i olika konsultföretag, entreprenadföretag men även som beställare.

Etiska aspekter i studien syftar till ökad tillgänglighet för mer hållbara alternativ i flerbostadshus. Förhoppningen är att fler inspireras att bygga mer hållbart men också att fler människor blir inspirerade att vilja bo mer hållbart. De ekologiska aspekterna ligger till större vikt då fokuset främst ligger på minskad klimatpåverkan och effektiv resurshantering. En viktig aspekt är att klimatpåverkan beräknas på både byggskedet samt under byggnadens livslängd.

## 1.2 Metod

Detta arbete har genomförts genom en kombination av litteraturstudier, beräkningar och rådföring av handledare på PE, personal vid Chalmers Tekniska Högskola. Beräkningarna består av två sorter, energiberäkningar i IDA ICE och klimatdeklarationer med hjälp av EPD:er.

IDA ICE är ett simuleringsverktyg där en byggnad modelleras i 3D för att få ut energianvändningen, i detta fall värmebehovet uttryckt i kWh. En 3D-modell av byggnaden har skapats i IDA ICE där indata från referensprojektet tillhandahålls av PE i form av A-ritningar, K-ritningar och klimatskalets uppbyggnad.

Även klimatprofil och ventilationsflöden samt schablonvärden för interna laster hämtat från Sveby, matas in i modellen. Referensbyggnaden som används har redan en utförd energibalansberäkning som jämförs med vår modell för att säkerställa att den är korrekt.

EPD, Environment Product Declaration, har använts för att ta fram klimatpåverkan vid byggskedet och redovisar antal kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> där hänsyn har tagits till livscykel faser A1-A3 vilket presenteras mer i kapitel 2.3.1. Genom multiplikation med respektive materials yta fås ett klimatavtryck för väggen vid byggnation.

### 1.3 Frågeställningar

- Finns det en optimal isolertjocklek med hänsyn till klimatpåverkan från energiåtgång samt materialåtgång i byggskedet?
- Hur förhåller sig klimatpåverkan från byggskedet till klimatpåverkan från energiåtgång under byggnadens livslängd?
- Hur stor påverkan har val av energikälla respektive val av regler på den totala klimatpåverkan?

### 1.4 Avgränsningar

Detta examensarbete undersöker ett flerbostadshus i form av ett punkthus på sex våningar som kan ses som ett typiskt flerbostadshus enligt standardnormer. Tak och grund på byggnaden kommer hållas konstanta och det är endast väggens tjocklek som undersöks. Väggen som studeras är en typisk utfackningsvägg. Materialval i vägguppbyggnaden bestäms primärt till mineralull och tjockleken bestäms utifrån standarder på träregelmått och stålregelmått.

Beräkningar av klimatpåverkan begränsas till enbart utsläpp av koldioxidekvivalenter, inga andra miljöfaktorer undersöks. Livslängden på byggnaden antas till 50 år. Värmekällor som beaktas är fjärrvärme samt bergvärme. Olika ventilationsmöjligheter kommer ej tas i beaktning, ett bestämt flöde kommer användas vid beräkningar. Kylbehov och hur olika vägg tjocklekar påverkar det termiska klimatet sommartid kommer inte tas i beaktning. Byggnaden antas vara belägen i Sverige i Västra Götaland.

## 2 Teori

I detta kapitel presenteras relevant teori för de ämnen som adresseras i examensarbetet. Detta inkluderar både fakta om de fysikaliska egenskaper hos en byggnad samt de värmeisolerande materialerna som berörs i rapporten. Dessutom beskrivs krav och byggregler gällande flerbostadshus tillsammans med värmekällor kopplat till energibehovet i en byggnad.

### 2.1 Boverkets lagar och regler

Vid uppförande av flerbostadshus måste hänsyn tas till boverkets byggregler. Detta avsnitt presenterar både regler gällande energihushållning samt klimatdeklarationer.

#### 2.1.1 Energi

I Kapitel 9 i BBR finnes föreskrifter gällande energihushållning där faktorer och krav att förhålla sig till beskrivs. Bland dessa beskrivs det att byggnader ska vara utformade så att energianvändningen minimeras genom att begränsa värmeförluster, minimera kylbehovet, optimera användning av värme och kyla samt effektivisera elanvändningen (Boverket, 2011). Bostäder och lokaler ska utformas så att primärenergitalet, installerad eleffekt för uppvärmning, genomsnittlig värmegenomgångskoefficient och genomsnittligt luftläckage ej överskrider föreskrivna värden i Tabell 1.

Tabell 1. "Högsta tillåtna primärenergital, installerad eleffekt för uppvärmning, installerad eleffekt för uppvärmning, genomsnittlig värmegenomgångskoefficient och genomsnittligt luftläckage, för småhus, flerbostadshus och lokaler" (Boverket, 2020:4 BBR 29)

	Energi- prestanda uttryckt som primärenergi- tal ( $EP_{pet}$ ) [kWh/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> och år]	Installerad eleffekt för uppvärmning (kW)	Genomsnittlig värmegenom- gångskoeffi- cient ( $U_m$ ) [W/m <sup>2</sup> K]	Klimatskärmen s genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m <sup>2</sup> )
<b>Bostäder</b>				
Småhus >130 m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	90	4,5 + 1,7 x ( $F_{geo} -$ 1) <sup>1)</sup>	0,30	Enligt avsnitt 9:26
Småhus >90–130 m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	95			
Småhus >50–90 m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	100			
Småhus ≤50 m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	75 <sup>4)</sup>	4,5 + 1,7 x ( $F_{geo} -$ 1) <sup>1) 5)</sup>	0,40	Enligt avsnitt 9:26
<b>Lokaler</b>				
Lokaler	70 <sup>2)</sup>	4,5 + 1,7 x ( $F_{geo} -$ 1) <sup>1) 3)</sup>	0,50	Enligt avsnitt 9:26
Lokal ≤50 m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub>	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6

#### 2.1.2 Lagen om klimatdeklaration

Den första januari 2022 infördes lagen om klimatdeklaration, vilket syftar till att det vid nybyggnation ställs krav på att utföra en klimatdeklaration för att få slutbesked. Byggherren har då ansvar att kunna presentera byggnadens klimatavtryck under byggskedet. Syftet är att skapa

medvetenhet och möjlighet till att minska miljöpåverkan under byggprocessen och därför finns inga krav på klimatavtrycket idag (Boverket, 2023).

## 2.2 Byggnadsfysikaliska egenskaper

Vid utformning av byggnader finns flertal byggnadsfysikaliska funktionskrav som är viktiga att byggnaden uppfyller. Kraven är avsedda att skapa god termisk komfort som bidrar till hälsosamma levnadsförhållanden. Det ställs även krav på kvaliteten av byggnadens beständighet, stadga och bärförmåga (Balaji m.fl., 2014).

### 2.2.1 Värmetransport

Det termiska klimatet i en byggnad ska upprätthålla rätt temperatur inomhus för den avsedda användningen. Detta ställer krav på klimatskalets utformning vilket innefattar väggar, tak och golv. Värmetransmissionerna genom dessa byggnadsdelar sker genom tre transportmekanismer, värmeledning, konvektion och strålning och påverkas av materialets egenskaper (Per Gunnar Burström, 2021a).

Termisk värmekonduktivitet även kallat värmeledningsförmåga visar materialets förmåga att leda värme. Denna parameter är specifik för olika material och betecknas  $\lambda$  [W/mK] (Strandberg & Lavén, 2021).

Värmemotstånd,  $R$  [W/mK], beskriver isoleringsförmågan hos ett materialskikt och kan beräknas genom att dividera tjockleken av materialskiktet med värmeledningsförmågan,  $\lambda$  (Strandberg & Lavén, 2021).

Värmeigenomgångskoefficient beskriver även här isoleringsförmågan men inkluderar hela byggnadsdelen.  $U$  [W/m<sup>2</sup>K] är beteckningen för värmeigenomgångskoefficienten och innefattar summan av det inverterade värdet av  $R$  för varje materialskikt i byggnadsdelen samt övergångsmotstånd (Strandberg & Lavén, 2021).

## 2.3 Klimatpåverkan

Klimatpåverkan uttrycks i denna rapport i form av koldioxidekvivalenter som återfinns för både uppvärmningen samt för materialförbrukningen. När det gäller materialförbrukning beaktas olika produkter genom att analysera livscykelanalysens stadier i miljövarudeklarationer.

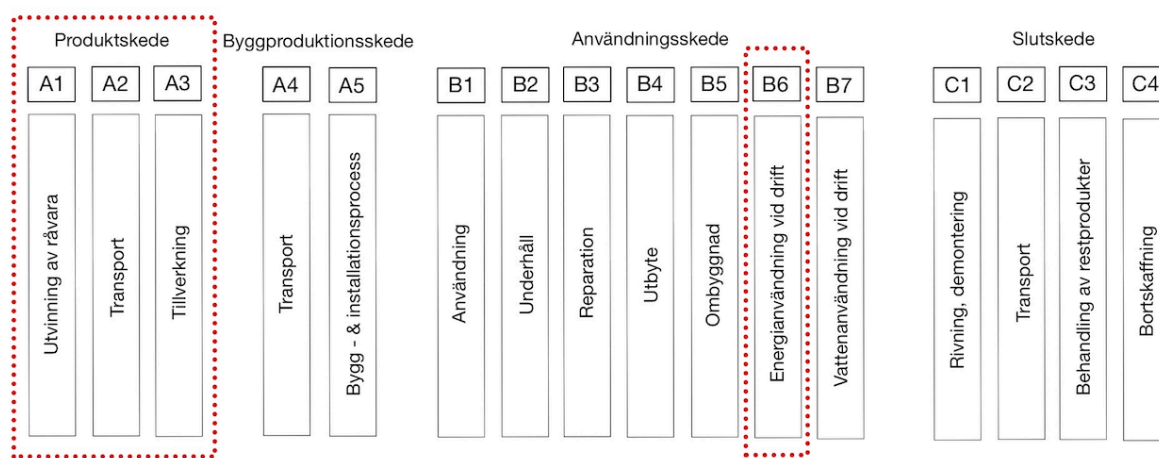
### 2.3.1 LCA

Livscykelanalys (LCA) är en metod som tillämpas på en produkt och visar klimatpåverkan från utvinning av råmaterial och naturresurser till dess att produkten nått slutet av sin livslängd och kräver efterbehandling. Möjligheter skapas till att lättare kunna bidra till ett mer hållbart samhälle genom att få en övergripande blick av vilka delar i produktens livscykel som avger största klimatavtryck. Desto tidigare i processen jämförelser utförs, desto större är möjligheten till påverkan eftersom produktval och beslut ofta är fastställda i byggproduktionsskedet, vilket ökar komplexitet och kostnad för att genomföra förändring (Boverket, 2019a).

Livscykelanalysen innefattar även utvärdering av olika aspekter. Dessa utvärderingar syftar till jämförelser av konstruktionslösningar och materialval samt analys av olika driftskeden. Men även möjligheter för återvinning eller återanvändning av material efter att produkten tjänat sitt syfte.

Vidare inkluderas externa resurser som transport, användning av maskiner eller verktyg i bedömningen. Analysen sträcker sig även till att inkludera miljökonsekvenser såsom marknära ozon, övergödning, försurning ozonnedbrytning i stratosfären och utarmning av resurser (Boverket, 2019a).

Ofta delas en LCA upp i tre huvudsakliga skeden som i sin tur delas in i grupper A-C. Byggskedet delas in i grupper (A1-A5) som innefattar utvinning av råmaterial, produktion, transport, förädling och tillverkning. I denna del finns också färdigställande av byggnaden. Användningsskedet (B1-B7), är nästa del och omfattar underhåll under drift, användning och eventuella reparationer av den färdiga byggnaden. Här ingår bland annat energi och vattenanvändning under drift. I det sista skedet, slutskedet (C1-C4), analyseras de aspekter där byggnaden ska rivras, fraktas, återvinnas, återanvändas eller deponering. Detta efter hela byggnadens livslängd (Boverket, 2019a). I figur 2 presenteras de alla stegen A-C med ytterligare indelning.



Figur 1. Faser i livscykelanalysen med markerade områden som är aktuella för rapporten.

I denna rapport kommer fokus enbart vara produktskedet A1-A3 som är en del av byggskedet. Transporten i detta fall innefattar den sträckan från råvaruutvinning till tillverkning av en färdigställd produkt (Boverket, 2019a). Även B6, som är energianvändning vid drift i användningsskedet kommer analyseras för att undersöka energibehovet av byggnaden.

### 2.3.2 EPD

Environmental Product Declaration, mer känt som EPD, representerar miljövarudeklaration avsedd för specifik byggprodukt och kan liknas med en LCA i mer komprimerat format. Ur ett livscykelperspektiv beskriver EPD produkters och tjänsters miljöpåverkan och består av tre huvudelement, produktdatablad, metodval och resultat från bedömningen av miljöpåverkan. En fullständigt utförd EPD för en produkt är giltig under en period av tre till fem år och förväntas överensstämma med standarderna för hållbarhet hos byggnadsverk, miljödeklarationer och produktspecifika regler. Deklarationerna genomgår ytterligare kontroller för att öka dess trovärdighet. Tillverkaren måste ta hänsyn till ett antal produktspecifika kriterier vid framtagandet av en EPD för en specifik produkt. Dessa produktspecifika kriterier kallas för PCR (product category

rules). När livscykelanalys utförs på en hel byggnad kan man tillämpa EPD för material och produkter. För att vidare kunna jämföra miljövarudeklarationer krävs att dem är baserade på samma PCR (Boverket, 2019b).

## 2.4 Isolering

Idag isolerar vi våra hus och främsta anledningen är för att behålla värme och kyla, men även att behålla hög komfort, brand- och fuktskydd samt bullerdämpning. Detta görs för att minska byggnadens energianvändning och därmed bidra till att utsläppen av klimatgaser minskar (Swedisol.se, u.å.). Isolering är en stor faktor för att skapa energieffektiva, hållbara och säkra byggnader.

Swedisol beskriver att en god isolering har vissa egenskaper där den främsta är dess förmåga att vara väl isolerande med låg värmegenomgång. Detta leder till minimerade värmeförluster och minskar därmed energikonsumtionen. Brandsäkerhet är en avgörande faktor för att öka byggnadens säkerhet och isolering bör vara utformat för att motstå och begränsa spridningen av brand. För att byggnaden ska ha en långsiktig hållbarhet är livslängden viktig och därmed bör isoleringen ha lång livslängd och stabila tekniska egenskaper. En isolering som dessutom är återvinningsbar både gällande byggspill och rivningsavfall bidrar till en hållbar byggprocess.

Isoleringsförmåga finns i flertal olika material bland annat mineralull, cellplast och växtbaserade isolermaterial av tex träfibrer eller naturfibrer (Per Gunnar Burström, 2021b). Det isoleringsmaterial som beaktas i denna studie är mineralull.

### 2.4.1 Mineralull

Mineralull är ett isolermaterial som består av glasull eller stenuull. Tillverkningen sker av glas- respektive stenråvara genom att dessa smälts och spinnas till tunna trådar. Därefter sprutas ett bindemedel på trådarna, som sedan härdas i en ugn. Glasull väger lite och har god hållfasthet medan stenuull klarar höga temperaturer, har hög tryckhållfasthet samt högt brandmotstånd (Isover, 2024) Mineralull har god värmeisolerande förmåga, högt brandskydd, lång livslängd och är återvinningsbart, fuktsäkert och säkert att använda. (Swedisol.se, u.å.).

Trots mineralullens goda egenskaper och att materialet uppnår vad Swedisol anser vara en god isolering, så finns även nackdelar. Mineralull kräver en betydande mängd energi under produktionsfasen på grund av den höga temperaturen som krävs för att bilda glasfiber och smälta sten, upp till 1400–1500°C. Enligt Kumar m.fl. (2020) har mineralull en termisk resistans som är tre gånger högre än andra konventionella isoleringsmaterial, samtidigt som dess livscykel är mindre än hälften så lång. Enligt Kumar, D, ökar mineralulls höga fuktabsorptionsförmåga dess termiska ledningsförmåga, vilket resulterar i en ökad energianvändning.

## 2.5 Värmekällor

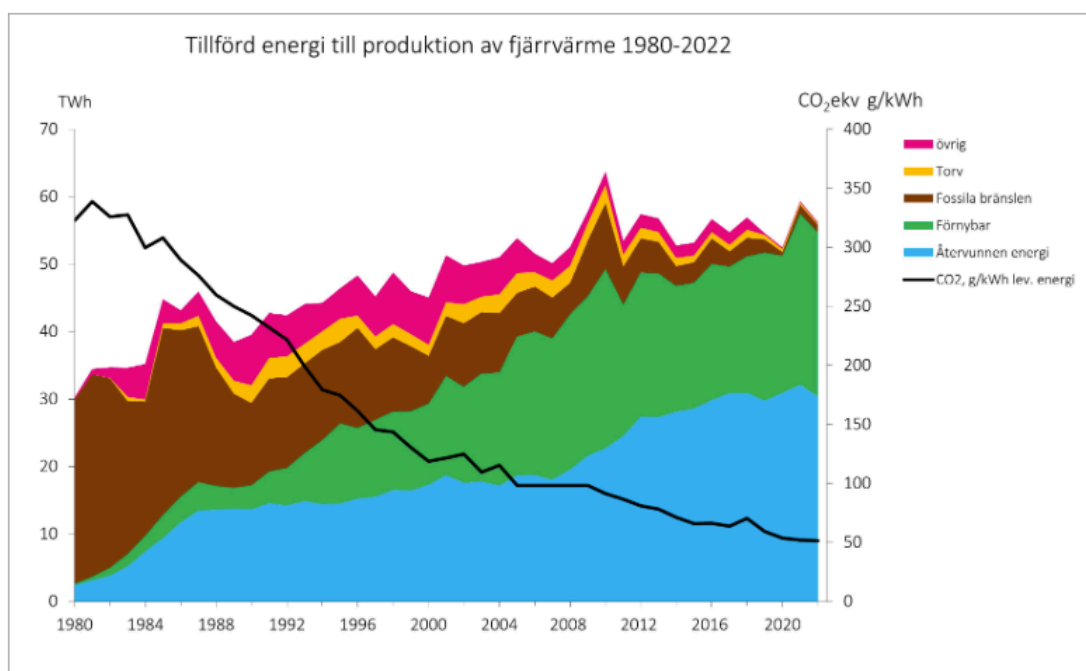
Värmekällor finns i många olika former, inklusive värmepumpar, fjärrvärme och direktverkande el. Värmepumpar kan vara bland annat bergvärme -, eller luftvärmepumpar, medan direktverkande el kan omfatta radiatorer eller pannor (Vattenfall, 2019). Den aktuella studien fokuserar på fjärrvärme och bergvärme

## 2.5.1 Fjärrvärme

Fjärrvärme är en modern och effektiv energilösning som har höga krav på effektivitet och rening av rökgaser. Dessa anläggningar varierar i storlek och omfattning och kan tjäna både stora städer och små samhällen med värme (Rydegran, 2023b).

Värmen i fjärrvärmenätet kommer från olika källor, inklusive fjärrvärmeverk som endast producerar värme genom förbränning. Men också kraftvärmeverk som genererar både el och värme genom förbränning, samt lokala industrier som tillhandahåller spillvärme till fjärrvärmenätet. Gemensamt för alla dessa källor är att de utnyttjar energi som annars skulle gå till spillo. Biobränslen kommer ofta från rester av träindustrin eller träavfall, vilket bidrar till en mer hållbar energiproduktion (Rydegran, 2023b). Kraftvärmeverk återvinner främst energi från verksamhets- och hushållsavfall som inte går till materialåtervinning. Även material som inte kan eller bör återvinnas, såsom mediciner eller andra giftiga ämnen, kan omhändertas genom energiåtervinning. Genom förbränning av dessa material kan farliga ämnen oskadliggöras på ett säkert sätt. Dessutom genererar stora industrier ofta stora mängder spillvärme från sina processer, vilket kan användas som en resurs inom fjärrvärmenätet (Rydegran, 2023b).

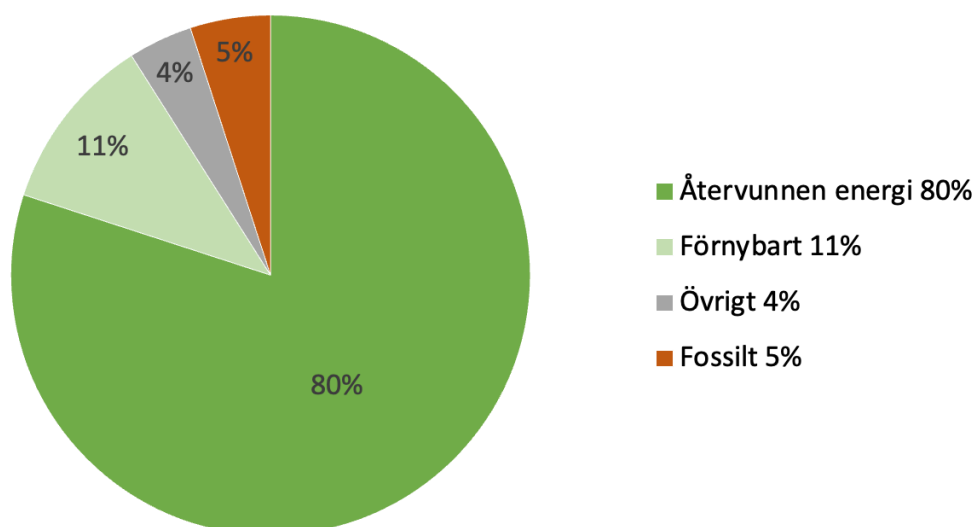
Sedan 1990 har fjärrvärmeproduktionen ökat med nästan 50 procent, men trots detta har utsläppen minskat då en övergång från fossila bränslen till återvunna bränslen har skett. Idag används främst biobränslen i fjärrvärmesystem och fossila bränslen används som komplement vid låga utomhustemperaturer, till skillnad från förr då de var huvudbränslet (Rydegran, 2023a). Figur 3 visar hur bränslemixen har förändrats sedan 1980 och hur detta påverkar CO<sub>2</sub>-ekv utsläppen.



Figur 2. Diagram över tillförd energi till produktion av fjärrvärme, 1980–2022 (Rydegran, 2023a)

I Göteborgs Energi fjärrvärmenät kommer betydande del av värmen från värmeförluster från andra verksamheter, såsom avfallsförbränning och industriella processer (Göteborg Energi, u.å.). Hela 80 procent av den producerande fjärrvärmen som går till uppvärmning och varmvatten kommer från återvunnen energi, 11 procent förnybart, 4 procent övrigt och fossilt står för 5 procent (Khodayari, u.å.), vilket visas i figur 4. År 2022 tillfördes 3822 GWh energi till värmeproduktionen i Göteborg. Dessa siffror resulterade i ett utsläpp på totalt 64,9 g CO<sub>2</sub> ekv/kWh där förbränning stod för 59,7 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh och transport och produktion för 5,2 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh.

## Tillförd energi till värmeproduktion i Göteborg



Figur 3. Tillförd energi till fjärrvärmeproduktion i Göteborg år 2022.

Återvunnen energi innefattar industriell spillvärme, avfallsbränning, rökgaskondensering, deponi-, röt-, och biogas och värme från värmepumpar (netto). Med netto menas värmen från värmepumpar minus tillförd el till värmepumpar. Energi från pellets, briketter och pulver, sekundära biobränslen och bio olja står för förnybar energi, eldningsolja och naturgas för fossilt och övrigt är köpt hetvatten från annat fjärrvärmeföretag, i form av förnybar eller återvunnen energi (Khodayari, u.å.).

### 2.5.2 Bergvärme

Bergvärme är ett naturligt och effektivt alternativ som använder sig av en stor andel förnybar energi och genererar ett litet klimatavtryck i form av koldioxidutsläpp. Värmen som återvinns ur berggrunden kommer från lagrad solenergi och nyttjas med hjälp av en bergvärmepump. En kollektorslang sänks ner genom ett borrhål i berggrunden och pumpar runt en vätska som agerar köldbärare. Köld-bäraren värms upp av berget och transporteras sedan vidare till ett kollektorsystem som använder kompressionsteknik för att utvinna värmen till bostadens värme- och vattensystem. Värmepumpen och kollektorsystemet är eldrivet och producerar omkring fyra gånger mer värmeenergi jämfört med den tillförda elproduktionen (Nibe, u.å.).

För att bedöma effektiviteten hos bergvärmepumpen ser man till årsvärmefaktorn. Denna faktor beskriver hur mycket värmeenergin som produceras i förhållande till hur mycket el som tillförs. Enligt EKRS uppgår årsvärmefaktorn till omkring 3 för bergvärmepumpar vilket är värdet som beaktas i denna rapport. Detta betyder att för 1 kWh tillförd el utvinns 3 kWh i form av värmeenergi (EKRS, u.å.).

Med tanke på den förnybara solenergens bidrag, är det mer relevant att fokusera på elproduktionens påverkan på driftprocessen för värmepumpen. För att korrekt bedöma koldioxidutsläppet i form av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter är det nödvändigt att tillämpa en specifik emissionsfaktor för elproduktionen. I denna rapport antas elanvändningen för bergvärmepumpen vara Nordisk elmix, vilket enligt Naturvårdsverket (2023) har en emissionsfaktor på 90 g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh.

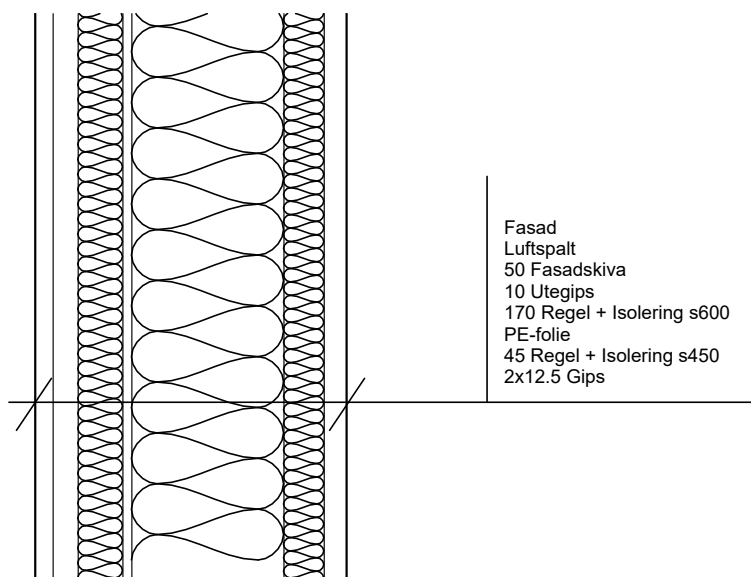
### 3 Byggnaden

Den undersökta byggnaden utgörs av ett flerbostadshus på sex våningar placerat i Orust, Göteborg. Byggnadens utformning och indata tillhandahålls från ett referensprojekt som PE teknik & Arkitektur har varit delaktiga att projektera. Figur 4 illustrerar den modellerade byggnaden i IDA ICE.



Figur 4. Flerbostadshus modellerat i IDA ICE.

Väggen som undersöks är en utfackningsvägg med tre isoleringskikt. För standardväggen är måtten enligt figur 5.



Figur 5. Väggupbyggnad av standardväggen från referensprojektet.

Areor för byggnaden presenteras i tabell 2 och nyckeltal för byggnaden med standardväggen presenteras i tabell 3.

Tabell 2. Relevanta areor i referensprojektet.

Areor	[m <sup>2</sup> ]
A <sub>temp</sub>	1505
A <sub>om</sub>	1720
A <sub>fönster</sub> + A <sub>dörr</sub>	289
A <sub>vägg</sub>	799

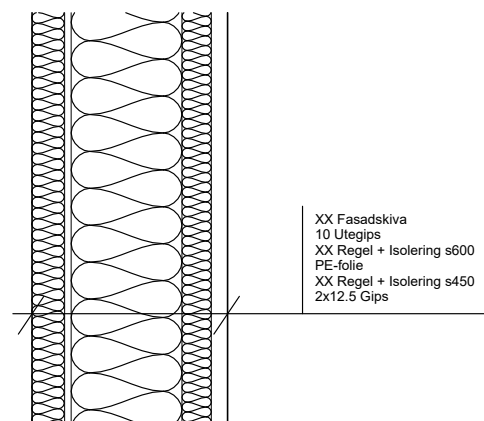
Tabell 3. Nyckeltal för referensprojektet.

Nyckeltal	
Formfaktor (A <sub>om</sub> /A <sub>temp</sub> )	1,14
Energibehov [kWh]	50 112,7
U <sub>m</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	0,363

### 3.1 Yttervägg

När man väljer material och konstruktionslösningar för ytterväggen är det viktigt att beakta flera faktorer, inklusive bärförmåga, isoleringsförmåga och motståndskraft mot väder och vind. Utöver detta måste man också ta hänsyn till ljudisolering, brandskydd och möjligheter till återvinning. Ytterväggen utgör den mest synliga delen av byggnaden och spelar därför en betydande roll för dess arkitektoniska utseende (Strandberg & Lavén, 2021).

I denna rapport riktas fokus på ytterväggen och dess dimensioner. I figur 6 presenteras dimensionerna för väggen i referensprojektet där samma uppställning av material beaktas i detta arbete. De varierande parametrarna antas vara tjocklekarna för fasadskivan, regel + isolering s600 och regel + isolering s450 medan de övriga parametrarna förblir oförändrade. Gällande de två skikt av isolering, vilka utgörs av regler, utförs beräkningar för både träreglar och stålreglar. De olika isolertjocklekar som undersöks och hur dem är fördelade redovisas i bilaga B.



Figur 6. Exempel på vägguppbyggnad

Reglar utgör en grundläggande komponent i en väggkonstruktion och är vanligtvis bestående av antingen trä eller stål. Regelkonstruktioner med vertikala regler fungerar som en primär bärrkonstruktion med funktion att skapa stabilitet och stadga för väggar men möjliggör även fästning av objekt. Regeldimensioner bestäms utifrån tjocklek på värmeisoleringen eller behov av bärförmåga.

Centrumavstånd bestäms efter hållfasthetstekniska men även praktiska skäl och antas ha standard på 600mm eller 450mm (Träguiden, 2019).

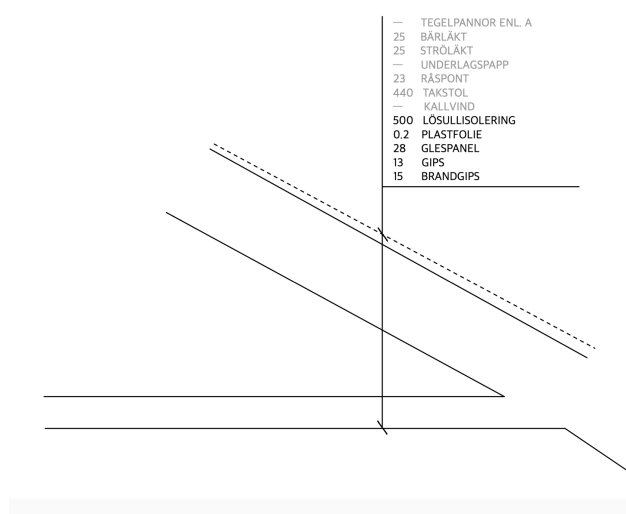
Träreglar antas vanligtvis av ett rektangulärt format med en standardtjocklek på 45mm vilket är det mått som beaktas i denna rapport. Bredd på reglarna varierar standardmässigt mellan 95 och 220mm (Träguiden, 2019).

Ståltrekar skiljer sig primärt från träreglar genom materialens fysikaliska egenskaper, samt genom variationer på formen. Ståltreklarna finns tillgängliga i olika stålfiler med eller utan perforering och antas ofta i en standardtjocklek omkring 1mm. I denna studie antas tjockleken till 1 mm (Rockwool, u.å.).

### 3.2 Övrigt klimatskal

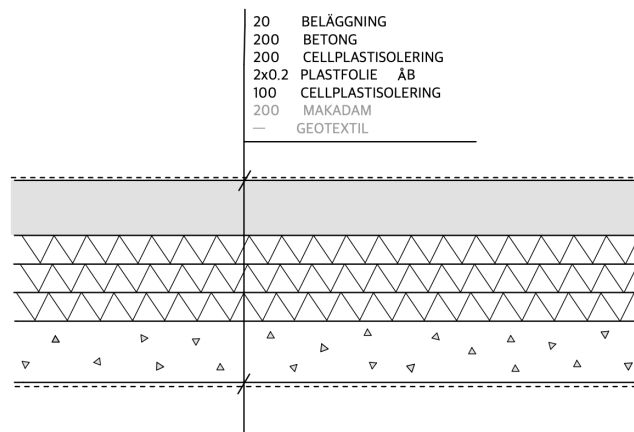
Klimatskalet på en byggnad representerar de olika byggnadsdelarna som gränsar till omgivande miljö, vilket inkluderar golv, tak, väggar, fönster och dörrar (Boverket, 2020). Parametrar som presenteras i detta kapitel förblir oförändrade under hela examensarbetet.

Yttertakets struktur och uppbyggnad är taget ifrån referensprojektet där hänsyn tas till de skikt som har isolerande egenskaper vilket i detta fall representeras från brandgips till lösullsisolering i figur 7. Värden som erhålls från beräkningar på taket hålls konstant under hela arbetes gång.



Figur 7. Uppbyggnad av tak.

Struktur och uppbyggnad för grunden är taget ifrån referensprojektet där hänsyn tas till de skikt som har isolerande egenskaper vilket i detta fall representeras från beläggning till cellplastisolering i figur 8. Värden som erhålls från beräkningar för grunden hålls konstant under hela arbetes gång.



Figur 8. Uppbyggnad av grund.

Vid utvärdering av fönster och bedömning av dess U-värde granskades energicertifieringssystem för att välja ett fönster med god prestanda och isolerande egenskaper, vilket resulterade i ett U-värde på 1. Enligt EQ energicertifiering motsvarar detta klass D och bedömdes som ett rimligt värde (*EQ Fönster Energimärkning*, u.å.).

Val av dörrar resulterade i en standarddörr med ett U-värde som ansågs rimligt efter marknadens standarder, med ett sammanlagt U-värde på 1.09.

### 3.3 Materialval

Val av isolermaterial är baserat på aktuella tillverkare av isoleringsprodukter inom branschen, Isover, Rockwool och Paroc. Valet av isolering begränsades till mineralull, motiverat av dess omfattande egenskaper. Materialet är även det mest använda isoleringsmaterialen globalt sett vilket också var en påverkansfaktor för val av isoleringsmaterial (Swedisol, u.å.).

Fasadskivan valdes delvis till västkustskiva av stenull från Rockwool där tjocklekarna 30mm, 50mm och 80mm finns tillgängliga, men också klimatskiva från Paroc med tjocklek 100mm, 150mm, 200mm och 250mm.

Isolerskivan med centrummått s600 hämtas från företaget Isover och är tillverkade av glasull. Variationen av tjocklekarna är baserade på de standardmått som finns för regler enligt träguiden (TräGuiden, 2018). Eftersom denna sektion av väggen antas ha den största mängd beräknas tjockleken variera mellan 120mm, 145mm, 170mm, 195mm och 220mm. Installationsskiktet med centrummått s450 innehåller även den isolering från Isover. Då denna del främst är till för installationer och fokus inte är isolerande skikt väljs tjockleken till 45mm, 70mm och 95mm.

Mer detaljerad information om vilka produkter som undersökts finns i Bilaga D.

## 4 Beräkningar

Beräkningarna som genomförts för detta examensarbete består av två delmoment. Ett av momenten avser energibalansberäkningar medan det andra innefattar beräkning av klimatdeklarationer.

### 4.1 Energibalansberäkningar

Energibalansberäkningarna genomförs med hjälp av programvaran IDA ICE. Enligt EQUA (u.å.), har IDA ICE blivit globalt etablerat som programvara med tillgång till parametrar såsom klimatdata, materialdata, systemlösningar, standarder och rapportering tillgängliga för olika marknader. En 3D modell av referensprojektet modelleras upp och skapar grund för att få fram energibehovet i bygganden. Programvaran riktar fokus på det termiska inomhusklimatet och dess påverkan av omgivningen och anpassar sig efter zoner som manuellt modelleras i IDA. Sedan utförs simulationer som genererar data i form av rapporter. Dessa rapporter presenterar resultat för en helårsperiod och kan beskriva energianvändning och koldioxidutsläpp för en hel byggnad.

Energibehovet i en byggnad motsvarar enligt Boverket (2021) den totalt energin som krävs för uppvärmning, ventilation, tappvarmvatten, fastighetsel under ett normalår. I denna rapport ligger fokus kring enbart uppvärmning av byggnaden, inklusive ventilationsluft.

#### 4.1.1 U-värden

Vid beräkning av U-värden för de olika byggnadsdelarna beräknades först varje skikts individuella värmemotstånd  $R_i$  enligt ekvation 1.

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (1)$$

där

$d_i$  är skiktets tjocklek [m]

$\lambda_i$  är skiktets värmeledningsförmåga [W/mK]

Vid beräkning av inhomogena skikt innehållandes både regler och isolering beräknades ett viktat R-värde ut med U-värdesmetoden samt lambdavärdesmetoden enligt SS-EN ISO 6946.

#### U-värdesmetoden

Med ekvation 2 och ekvation 3 beräknades U-värdet för två fall, då värmeflödet gick igenom regel och då det gick igenom isolering. Detta viktas sedan med areorna för de olika materialen vinkelrät mot värmeflödet.

$$R_x = R_{rest} + \frac{d_x}{\lambda_x} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (2)$$

$$U_x = \frac{1}{R_x} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (3)$$

där

$R_{rest}$  är värmemotståndet för resterande material [m<sup>2</sup>K/W]

$d_x$  är tjocklek för isolering respektive regel [m]

$\lambda_x$  är värmeledningsförmåga för isolering respektive regel [W/mK]

Utöver materialets värmemotstånd läggs också ett värmeövergångsmotstånd till för ytor som är exponerade för luft. Detta innebär att både ett inre och yttre övergångsmotstånd,  $R_{si}$  och  $R_{se}$ , adderas till  $R_{rest}$ . I tabell 4 följer övergångsmotstånd för respektive byggnadsdel enligt standard EN ISO6946.

Tabell 4.  $R_{si}$  och  $R_{se}$  för vägg, tak och grund, enligt EN ISO6946.

Byggnadsdel	$R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	$R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)
Vägg	0,13	0,04
Tak	0,1	0,04
Grund	0,17	0,04

U-värden som tillhandahålls viktas sedan ihop med hjälp av volymandelen av materialen med ekvation 4 och görs sedan om till  $R_u$  med ekvation 5.

$$U_u = v_p * U_1 + v_k * U_2 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (4)$$

där

$v_p$  är volymandelen av material p i skiktet [%]

$v_k$  är volymandelen av material k i skiktet [%]

$$R_u = \frac{1}{U_u} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (5)$$

### $\lambda$ -värdesmetoden

Efter det används  $\lambda$ -värdesmetoden där ett nytt  $\lambda$ -värde viktas fram för varje inhomogent skikt enligt ekvation 6.

$$\lambda_{pk} = v_p * \lambda_p + v_k * \lambda_k \quad [\text{W/mK}] \quad (6)$$

där

$\lambda_p$  är värmeledningsförmåga för material p [W/mK]

$\lambda_k$  är värmeledningsförmåga för material k [W/mK]

För att sedan kunna beräkna  $R_\lambda$  med ekvation 7.

$$R_\lambda = R_{rest} + \frac{d_x}{\lambda_{pk}} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (7)$$

### Resultande U-värde

Medelvärde av de två metoderna, U-värdesmetoden och  $\lambda$ -värdesmetoden, beräknas med ekvation 8.

$$R_T = \frac{R_u + R_\lambda}{2} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (8)$$

Efter det totala värmemotståndet,  $R_T$ , är beräknat fås byggnadsdelens totala värmeövergångskoefficient,  $U$ , genom att invertera det totala värmemotståndet enligt ekvation 9.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (9)$$

När alla  $U$ -värden för klimatskalet tagits fram beräknas en genomsnittlig värmeövergångskoefficient,  $U_m$ , enligt ekvation 10. Köldbryggorna approximeras med ett schablonpåslag på 30 procent av  $\sum U_i * A_i$  (Sweden Green Building Council, u.å.).

$$U_m = \frac{\sum_{i=1}^n U_i A_i}{A_{om}} * 1,3 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (10)$$

där

$U_i$  = Värmeövergångskoefficienten för respektive byggnadsdel [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

$A_i$  = Areal för respektive byggnadsdel [ $\text{m}^2$ ]

$A_{om}$  = Omslutningsarean [ $\text{m}^2$ ]

## 4.1.2 Indata

Vid modellering av byggnaden i IDA ICE var första steget zonindelning där varje lägenhet verkade som en egen zon. Trapphuset delades in i en egen zon och verkar i stället vertikalt mellan de olika våningarna för att få variation även mellan planen. Även övriga ytor som miljörum, korridorer och andra ytor avsedda att vara uppvärmda till  $>10^\circ\text{C}$  delades in i enskilda zoner. Därefter placerades fönster och dörrar in efter ritning. Sedan matades de  $U$ -värden som beräknats fram in för respektive byggnadsdel samt köldbryggor och ser ut enligt tabell 5 för standardväggen.

Tabell 5. Indata  $U$ -värden för klimatskal i IDA ICE

Konstruktion	Area [ $\text{m}^2$ ]	$U$ [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	$U * A$ [ $\text{W/K}$ ]	% av total
Vägg	799	0,15	121	19,4
Tak	320	0,08	25	4,0
Grund	313	0,12	38	6,0
Fönster	238	1	240	38,5
Dörrar	51	1,09	55	8,9
Köldbryggor	-	-	144	23,1
<b>Totalt</b>	1720	0,36	624	100

Värden på internvärme i form av personvärme och hushållsel kommer från Sveby (2009) och redovisas i tabell 6, 7 och 8.

Tabell 6. Rekommenderad internvärme i form av personvärme och närvarotid per dygn

Rekommenderad personvärme	
Effekt per person	80 W
Närvarotid per dygn	14 timmar

Tabell 7. Rekommenderat antal boende per lägenhet (Sveby, 2009)

<b>Lägenhet storlek</b>	2 rok	3 rok
<b>Antal boende</b>	1,63	2,18

Tabell 8. Årsschablon elanvändning i kWh/m<sup>2</sup> (A<sub>temp</sub>) där 70% är möjlig att tillgodogöras

<b>Rekommenderat inmatningsalternativ</b>	<b>Värde</b>
Årsschablon i kWh/m <sup>2</sup> (A <sub>temp</sub> )	30

Ventilationsflödet beräknades genom ekvation 11 och fördelades sedan ut för respektive zon.

$$Q = 0,35 \frac{l}{s}/m^2 + 7 \frac{l}{s}/person \quad [l/s] \quad (11)$$

Tillgodoräknad hushållsel, personvärme samt ventilationsflöde per zon redovisas i bilaga A.

Gällande ventilation så matas även luftflödestyp, systemtyp, tilluftstemperaturer, SFP, temperaturverkningsgrad, tryckfall och forcering in i IDA ICE enligt tabell 9.

Tabell 9. Indata som matats in i IDA ICE gällande ventilation.

<b>Ventilation</b>	
Systemtyp	FTX
Luftflödestyp	CAV
SFP	1,35 kW/m <sup>3</sup> /s
Temperaturverkningsgrad	82,2 %
Luftflöde, Q, grundflöde	900 l/s
Luftflöde, Q, forceringsflöde	ca 300 l/s (33% av grundflöde)
Tilluftstemperatur, vinter (-20°C)	20 °C
Tilluftstemperatur, sommar (25°C)	T <sub>ute</sub>

I modellen matas även in ett g-värde för fönster till 0,3 vilken innebär att 30 procent av solenergin transmittteras genom fönstret.

För att IDA ICE ska kunna beräkna korrekt värmebehov väljs en klimatfil som innehåller timvisa värden över bland annat utetemperatur, relativ luftfuktighet, solinstrålning, vindhastighet och vindriktning för ett år. I detta arbete väljs klimatfil Henån/Orust eftersom referensprojektet skall byggas där.

När all information är inmatad i modellen görs simuleringar för varje respektive isolertjocklek. Resultatet av simuleringar är i form av uppvärmningsbehov, kWh per år och dessa görs sedan om till kg CO<sub>2</sub>-ekv enligt tabell 10, beroende på vilken värmekälla som undersöks. Där värdet från fjärrvärme är taget från energiföretagen (Khodayari, u.å.) och värdet för bergvärmepump är beräknat utifrån en årsfaktor på 3 (EKRS, u.å.) och el från nordisk elmix (Naturvårdsverket, 2023).

Tabell 10. Klimatpåverkan från fjärrvärme och bergvärme i form av g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh.

Värmekälla	g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh
Fjärrvärme	64,9
Bergvärme	30

## 4.2 Klimatdeklaration

Klimatdeklarationsberäkningar är huvudsakligen beroende av produktvalet och dess specifika egenskaper. För varje produkt erhålls en miljövarudeklaration (EPD) innehållande relevant data som bland annat kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>. Denna parameter används för att multipliceras med total volym av det aktuella materialet som finns i bygganden. Detta resulterar i det beräknade klimatavtrycket för isolermaterialen i ytterväggen uttryckt i kg CO<sub>2</sub>. Den totala ytan av byggnaden i denna studie framställdes med hjälp av programvaran IDA ICE vid modellering av bygganden. Endast livscykel faser A1-A3 har tagits med i beräkningar då dessa tillhör produktionsfasen vilket är det som är relevant för arbetet. Sammanställning av klimatdeklarationsberäkningarna återfinns i bilaga C för varje specifik tjocklek av isolering som undersökts.

### 4.2.1 Isolering

Vid beräkning av klimatpåverkan från isoleringen används miljövarudeklarationer för produkter redovisade i kapitel 3.3, för att få fram kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup>. Vanligtvis finns inte miljödeklarationer för varje tjocklek på en produkt utan man har tagit fram en deklaration för isolering med R-värde 1, det vill säga där lambda värdet är detsamma som tjockleken. Därav används faktorer för att räkna om klimatpåverkan för respektive tjocklek.

### 4.2.2 Reglar

Vid beräkning av klimatpåverkan från stålreglar har miljövarudeklarationer använts. Miljödeklarationer för stål visar kg CO<sub>2</sub>/kg stål och därför gjordes beräkningar för att omvandla dessa siffror till kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> för att kunna multiplicera detta med total väggyta. Materialåtgång med enheten m/m<sup>2</sup> tas fram genom att dividera 1m<sup>2</sup> med centrumavstånd och visas enligt tabell 11.

Tabell 11. Materialåtgång av regler [lm/m<sup>2</sup>] för centrummått 450 och 600.

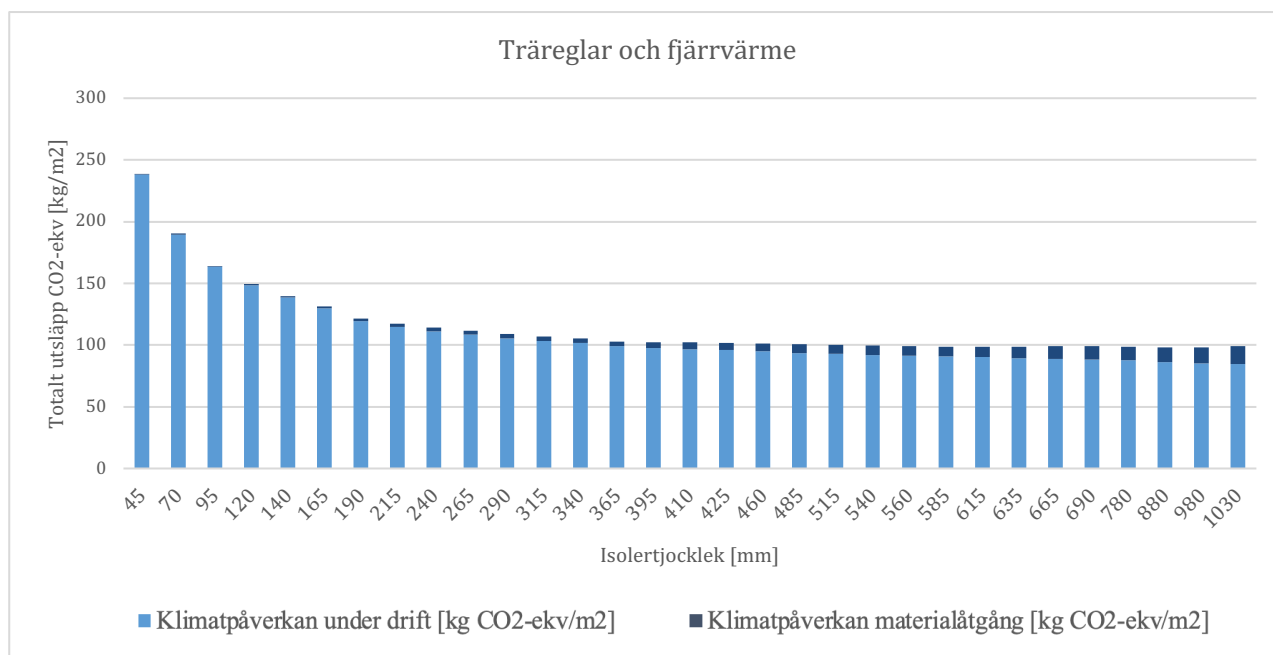
Centrumavstånd [mm]	Materialåtgång [m/m <sup>2</sup> ]
450	2,22
600	1,67

Vid beräkning av klimatdeklarationer för träreglar upptäcktes en negativ biogen klimatpåverkan, vilket innebär att byggandet med trä reducerar det totala utsläppet av koldioxidekvivalenter för byggnationen. Detta kan bero på att trä binder stora mängder koldioxid från atmosfären under tillväxtiden. För att kunna tillgodoräkna denna negativa biogena klimatpåverkan behöver byggnaden stå längre än träslagets omloppstid, vilket kan förklaras med att om en byggnad rivs inom träslagets omloppstid frigörs den bundna koldioxiden vilket tar ut den tillgodoräknade mängd vid tillväxten. I detta projekt är livslängden för byggnaden antagen till 50 år. Träslag som observeras för träreglarna är tall och gran. Tall har en omloppstid mellan 80 och 120 år (Skogskunskap, 2024b). Även gran har en omloppstid över 50 år och antas vara mellan 65 och 110 år, vilket medför att dess biogena klimatpåverkan från träreglarna inte tas i beaktning i denna rapport (Skogskunskap, 2024a).

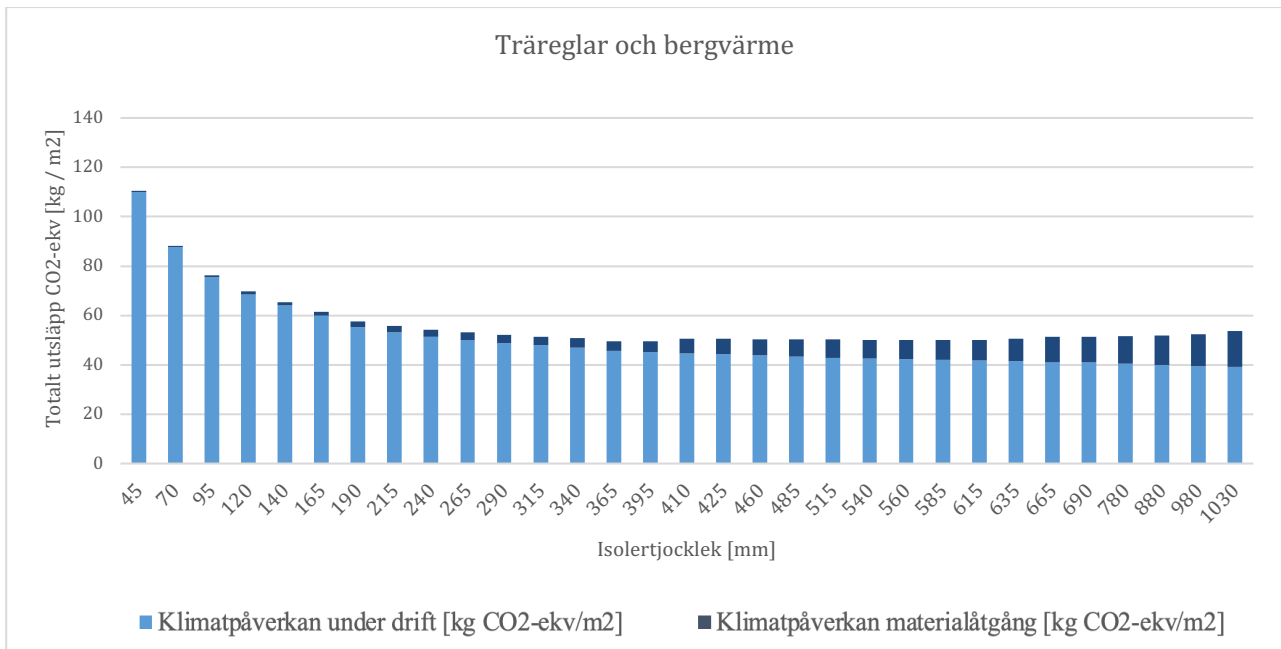
## 5 Resultat

I detta kapitel presenteras de resultat som erfordrats efter genomförda beräkningar och energibalanssimuleringar. Figur 9, 10, 11 och 12 visar klimatpåverkan för de olika isolertjocklekar som undersökts, fördelat på kg koldioxidekvivalenter/m<sup>2</sup> från drift respektive materialåtgång. De olika isolertjocklekar som undersöks innefattar summan av klimatskiva och de båda regelskikten. Totalt utsläpp CO<sub>2</sub>-ekv innefattar utsläpp från energiåtgång för uppvärmning under 50 år samt materialförbrukning för isolering och regler.

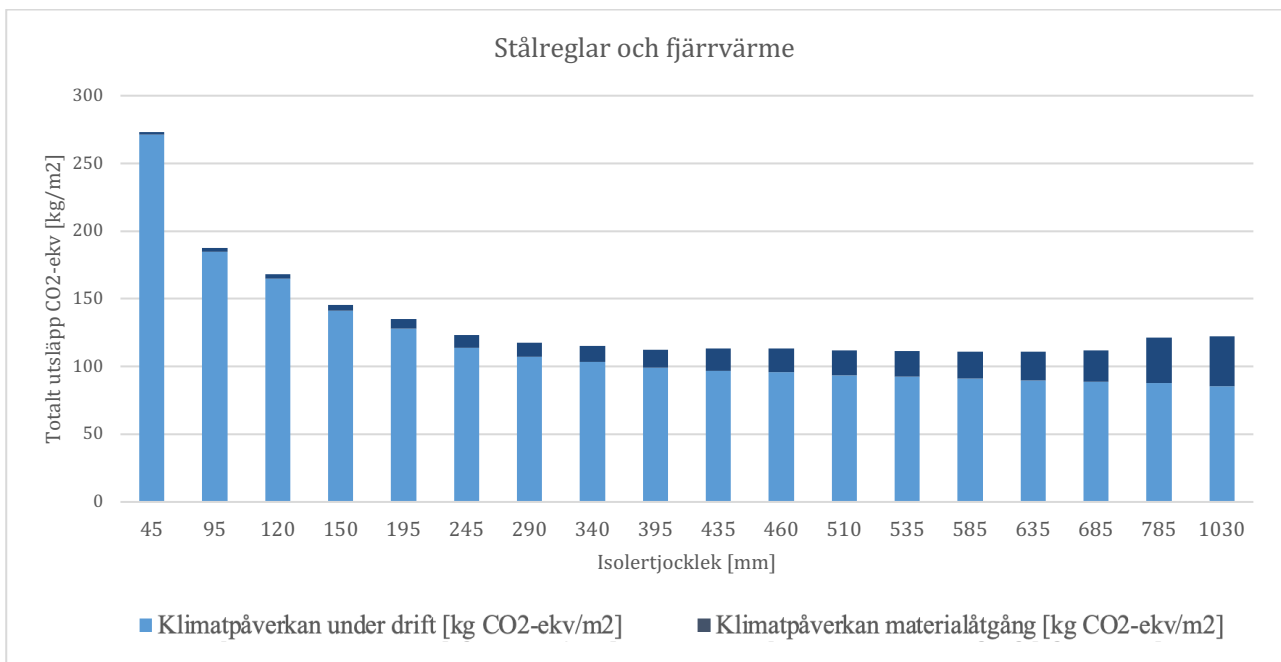
För träreglar har 31 olika isolertjocklekar undersöks medan stålreglar har 18 undersökta tjocklekar. Detta beror på att träreglar var det material som valdes initialt och när valet om att undersöka stålreglar togs gjordes en begränsning att kolla på hälften av storlekarna på grund av tidseffektivisering. För både trä- och stålreglar är minsta isolertjocklek 45mm och största 1030mm.



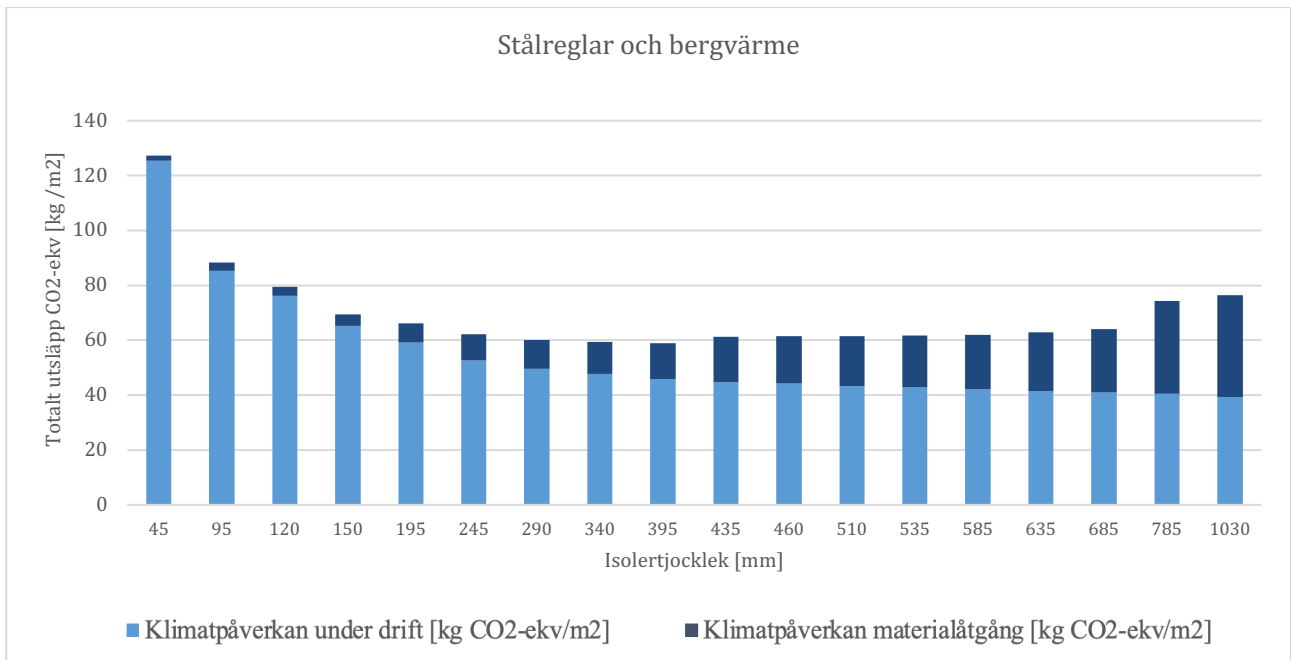
Figur 9. Klimatpåverkan [kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>], fördelat på drift och materialåtgång, för undersökta isolertjocklekar vid användning av träreglar och fjärrvärme.



Figur 10. Klimatpåverkan [kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>], fördelat på drift och materialåtgång, för undersökta isolertjocklekar vid användning av träreglrar och bergvärme.

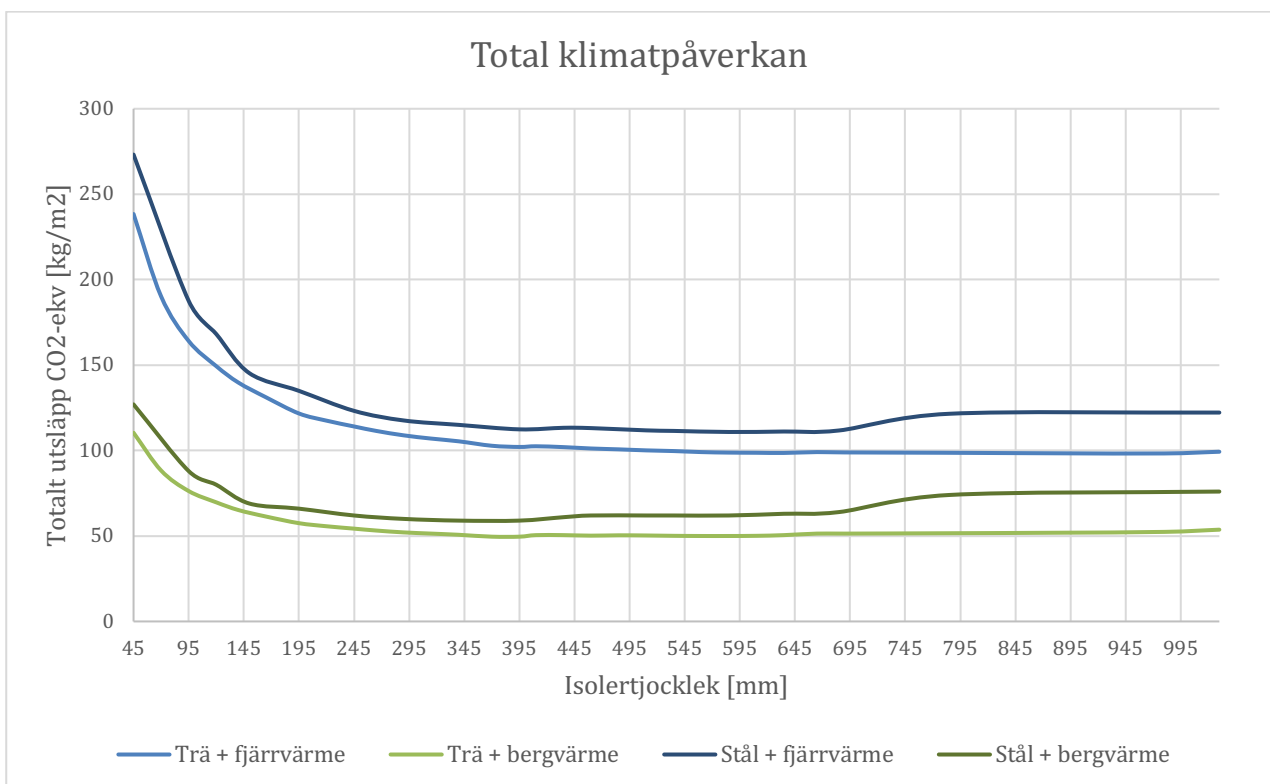


Figur 11. Klimatpåverkan [kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>], fördelat på drift och materialåtgång, för undersökta isolertjocklekar vid användning av stålreglar och fjärrvärme.



Figur 12. Klimatpåverkan [kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>], fördelat på drift och materialåtgång, för undersökta isolertjocklekar vid användning av stålreglar och bergvärme.

Det totala utsläppet CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, för materialåtgång såväl som drift, för de olika isolertjocklekar som undersökts presenteras i ett sammanställt diagram i figur 13. Diagrammet visar de fyra olika kombinationer som undersökts.



Figur 13. Total klimatpåverkan [kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>] för de fyra olika fallen, träreglar + fjärrvärme, träreglar + bergvärme, stålreglar + fjärrvärme och stålreglar + bergvärme

Den optimala isolertjockleken är där den totala klimatpåverkan för materialåtgång och drift är lägst. Tjocklekar med lägst klimatpåverkan utifrån de faktorer som beaktas presenteras i tabell 12.

Tabell 12. Optimal isolertjocklek för de olika fallen med hänsyn till lägst klimatpåverkan.

<b>Kombination</b>	<b>Isolertjocklek [mm]</b>	<b>Klimatpåverkan [kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>]</b>
<i>Trä + Fjärrvärme</i>	980	98,3
<i>Trä + bergvärme</i>	395	49,6
<i>Stål + fjärrvärme</i>	585	110,9
<i>Stål + bergvärme</i>	395	59,0

## 6 Diskussion

Vid optimering av väggen tillkommer osäkerheter som behöver beaktas. Dels så består väggen av tre isolerskikt som alla kan variera i storlek vilket leder till många möjliga väggkombinationer. Ett urval gjordes på de väggar som antogs vara inom rimliga ramar och det var dessa som sedan undersöktes vidare.

Klimatdeklarationerna tar endast hänsyn till livscyklifaser A1-A3 vilket motiveras med att dessa är direkt jämförbara med varandra, oberoende av vilken materialtyp som undersöks. Däremot hade resultatet möjligen sett annorlunda ut om faserna A4 och A5 hade inkluderats.

En ytterligare osäkerhet kan vara jämförandet med en hel byggnads energibehov med materialåtgången för endast isolering och regler i väggarna. Om hela byggnadens materialåtgång hade tagits i beaktning hade klimatpåverkan under byggnation varit betydligt större.

Resultatet grundas på beräkningar som i sin tur baseras på val, begränsningar och antaganden beslutade av oss. I kapitel 6.4 diskuteras jämförbarheten mellan de olika faktorer som spelar in vilka alla påverkar resultatet. Om andra val hade tagits gällande material, produkter, värmekälla och elens ursprung hade resultatet kunnat se annorlunda ut.

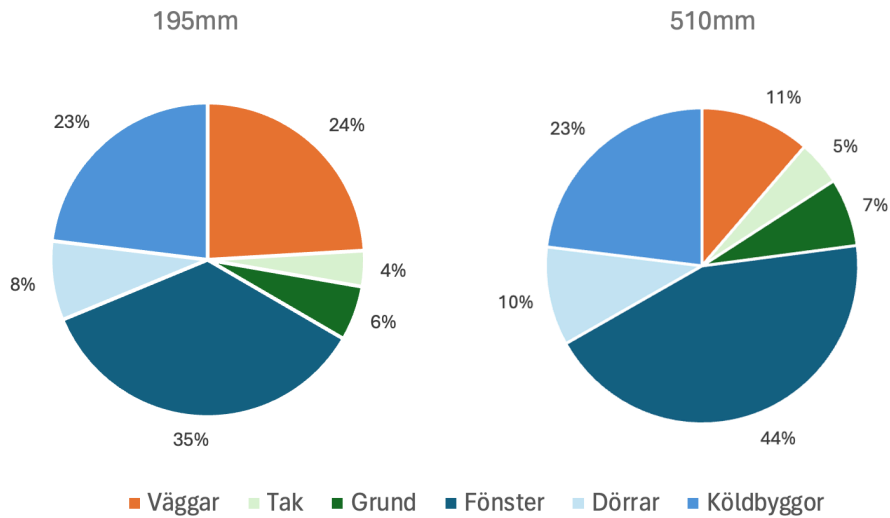
### 6.1 Resultatdiskussion

Vid analys av figur 9, 10, 11 och 12 i kapitel 5, konstaterades att vid ökad isolertjocklek minskar klimatpåverkan från drift, medan klimatpåverkan från byggnation ökar. I de fall där träreglar används planar kurvan ut och i slutet är skillnaden i klimatpåverkan marginell. Medan i de fall som stålreglar används ökar klimatpåverkan från materialåtgång betydande vid tjockare isolertjocklek, vilket beror på stålets höga klimatavtryck.

Figur 13 i kapitel 5 visar att i alla dem fyra fallen utjämnas kurvan i samband med att isolertjockleken ökar, oberoende av regelmaterial och värmekälla. Denna utplaning beror delvis på att värmen transmittas i största mån genom den enklaste vägen, det vill säga genom den delen av klimatskalet med minst värmemotstånd. I en byggnad med ytterväggar innehållandes mindre isolering kommer en större del av värmen transmittas genom väggen än i en byggnad med hög isolertjocklek i väggen. Vid en tjockare vägg kommer värmen ledas ut genom andra delar av byggnadens klimatskal med lägre värmemotstånd, såsom tak, grund, fönster, dörrar och köldbryggor. Vid en viss gräns kommer ökning av väggens tjocklek påverka energibehovet marginellt, eftersom värmemotstånden för resterande klimatskal förblir konstanta.

I figur 14 redovisas andelen värmeförluster genom respektive byggnadsdel, vid 195mm och 510mm isolering. Diagrammen visar att värmeförluster genom väggen är 24 procent respektive 11 procent för 195mm respektive 510mm isolering vilket visar på att större andel av värmen leds ut genom andra delar av klimatskalet vid tjockare isolering i väggen.

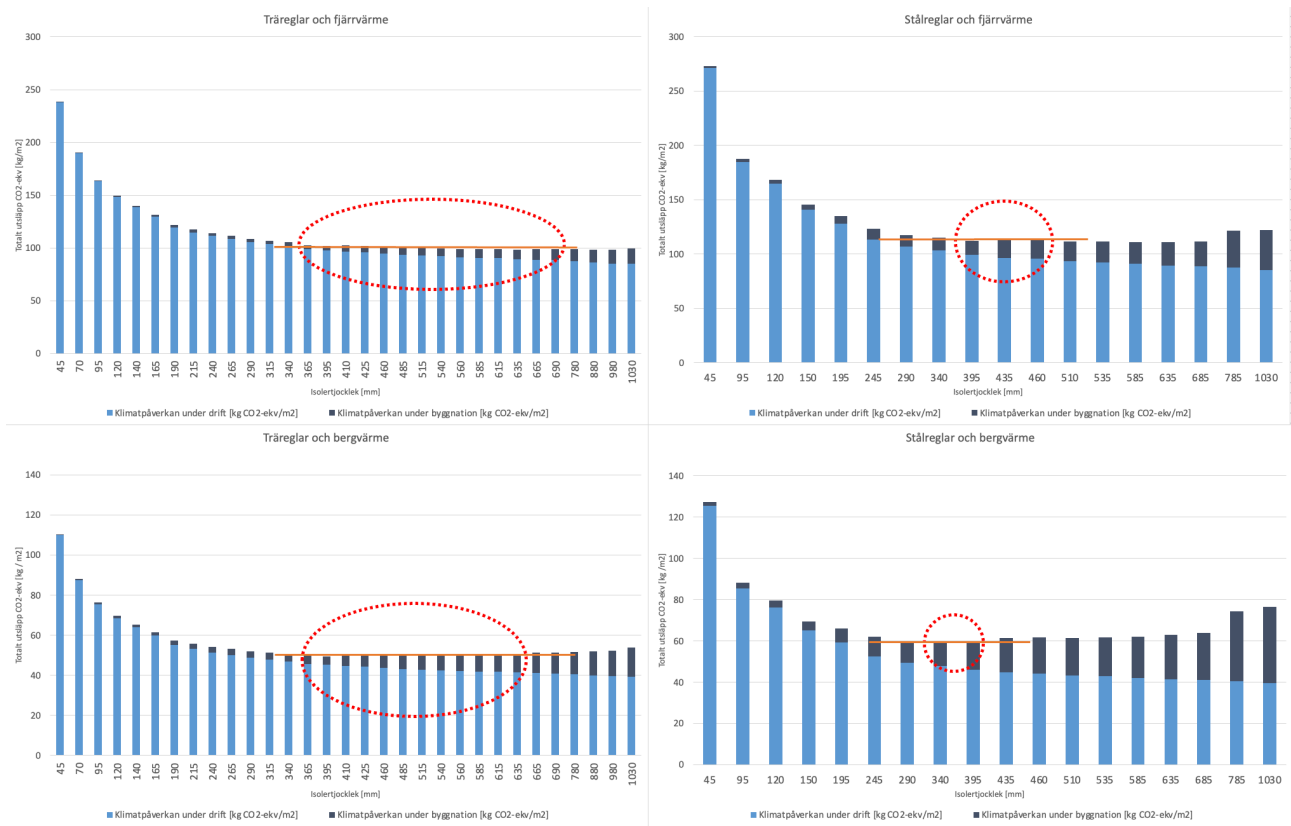
## Värmeförluster



Figur 14. Fördelningen av värmeförluster genom olika delar av byggnadens klimatskal vid 195mm respektive 510mm tjock isolering.

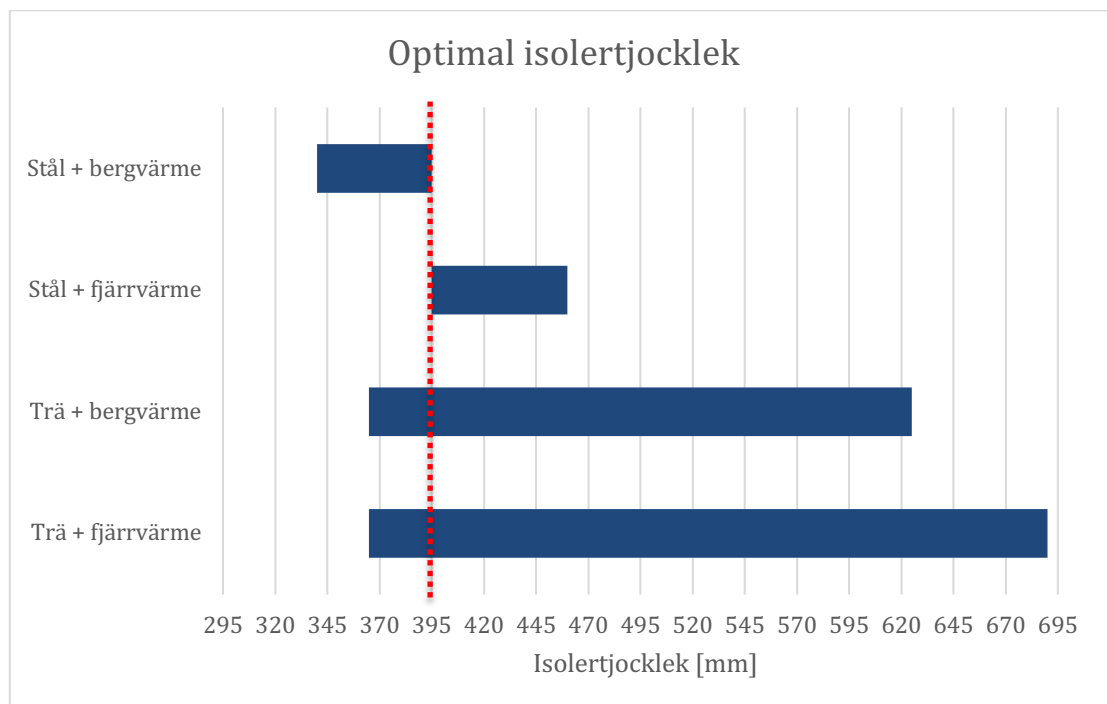
## 6.2 Värderad optimering

I kapitel 5 presenteras vardera falls optimala isolertjocklek där hänsyn enbart tagits till lägst totala klimatpåverkan. För trä + fjärrvärme och stål + fjärrvärme är dess optimala vägg tjocklek 980 mm respektive 585 mm med hänsyn till att minimera klimatpåverkan. Vägs praktiska aspekter in, såsom byggbarhet och effektivisering av ytor samt ekonomisk gynnsamhet återfinns en optimal tjocklek i början av kurvornas utplaning. Detta eftersom klimatpåverkan är marginellt lägre vid ökande isolertjocklek vilket kan anses som ineffektiva isolertjocklekar. För vardera fall antas ett optimalt spann vara där skillnaden i klimatpåverkan är marginell, vilket presenteras i figur 15. Dessa intervall omfattar utplaningen av respektive kurva.



Figur 15. Sammanställning av klimatpåverkan för de fyra olika fallen, uppdelat i klimatpåverkan från drift och klimatpåverkan under byggnation [kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>], med utmarkerat område för antaget optimalt spann.

För att hitta en gemensam isolertjocklek för de fyra olika fallen används ett boxdiagram med isolertjocklekens spann för respektive fall. I figur 16 visualiseras de olika fallens optimala spann där en överlappning förväntas vara den optimala isolertjockleken.



Figur 16. Antaget spann optimal isolertjocklek för de fyra olika fallen

Den resulterande isolertjockleken bedöms vara 395mm. Klimatpåverkan för de fyra olika fallen med isolertjocklek 395 presenteras i tabell 13.

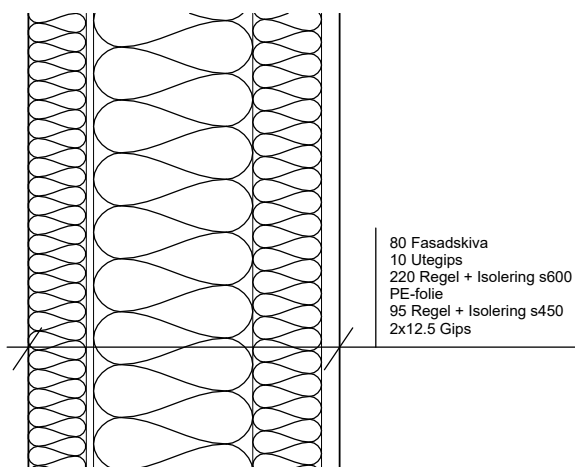
Tabell 13. Antagen optimal isolertjocklek för de olika fallen och respektive falls klimatpåverkan i kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>.

Kombination	Tjocklek [mm]	Klimatpåverkan [kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> ]
Trä + Fjärrvärme	395	102,0
Trä + bergvärme	395	49,6
Stål + fjärrvärme	395	112,4
Stål + bergvärme	395	59,0

Vid jämförelse av tabell 12 i kapitel 5 och tabell 13 konstateras att klimatpåverkan inte har en stor förändring för den reducerade tjocklekarna vilket visar på att den tidigare optimala tjockleken med hänsyn till enbart klimatpåverkan är ineffektiv ur ett ekonomiskt men även praktiskt perspektiv.

### 6.3 Förslag på optimal vägg

Uppbyggnad av väggen med 395 mm isolering består av 80mm klimatskiva, 220mm regel s600 och isolering, 95mm regel s450 och isolering och presenteras i figur 17.



Figur 17. Väggupbyggnad av optimal väggjocklek.

I tabell 14, 15 och 16 följer data för den optimala väggen, inklusive U-värde, klimatpåverkan under drift samt byggnation. Tabell 15 redovisar klimatpåverkan under driftskedet vid användning av fjärrvärme respektive bergvärme som värmekälla, för träreglar såväl som stålreglar, i antal kg CO<sub>2</sub>-ekv samt kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>. Tabell 16 redovisar skillnaden av klimatpåverkan vid val av träreglar respektive stålreglar, totalt för den undersökta byggnaden och per kvadratmeter.

Tabell 14. U-värde för trä- respektive stålregelvägg med isolertjocklek 395mm

Regelmaterial	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]
Trä	0,10
Stål	0,11

Tabell 15. Klimatpåverkan under driftskedet för fjärrvärme, bergvärme, träreglar och stålreglar för isolertjocklek 395mm

Klimatpåverkan drift				
	Fjärrvärme [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	Bergvärme [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	Fjärrvärme [kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> ]	Bergvärme [kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> ]
Träregelvägg	147 049	67 973	97,7	45,2
Stålregelvägg	149 453	69 085	99,3	45,9

Tabell 16. Klimatpåverkan vid byggnation för fasadskiva, isolerskikt s600, isolerskikt s450 för trä- respektive stålregelvägg

Klimatpåverkan byggnation					
	Fasadskiva [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	s600 [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	s450 [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	Totalt [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	Totalt [kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> ]
Träregelvägg	2556	3025	1038	6619	4,4
Stålregelvägg	2556	11 049	5832	19 438	12,9

## 6.4 Jämförelser av faktorer

Oberoende val av värmekälla eller val av regelmaterial är klimatpåverkan från drift betydligt högre än klimatpåverkan från materialåtgång av isolermaterial och regelmaterial. Detta beror främst på att materialåtgång är en engångspåverkan från isolering och regler i ytterväggen medan drift sträcker sig över 50 år och syftar till hela bygganden.

I och med att träets klimatpåverkan bortses på grund av dess positiva biogena klimatpåverkan, blir utsläppen från materialåtgång betydligt större i de fall där stålreglar används. Trots den stora skillnaden mellan trä- och stålreglars initiala klimatpåverkan så är det i båda fallen energibehovet för uppvärmning som bidrar till störst klimatpåverkan. För isolertjocklek 395mm är fördelningen mellan klimatpåverkan från materialåtgång och drift enligt tabell 17, där jämförelser även görs mellan dem olika värmekällorna.

Tabell 17. Fördelning av klimatpåverkan från materialåtgång respektive energibehov under 50 år för isolertjocklek 395mm, för träreglar och stålreglar samt fjärrvärme och bergvärme.

	<i>Trä + fjärrvärme</i>	<i>Trä + bergvärme</i>	<i>Stål + fjärrvärme</i>	<i>Stål + bergvärme</i>
<i>Materialåtgång</i>	4%	9%	12%	22%
<i>Energibehov 50 år</i>	96%	91%	88%	78%

Gällande val av värmekälla skiljer sig dessa också åt i form av koldioxidutsläpp, där fjärrvärme har 64,9 g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/kWh och bergvärme har 30 g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/kWh. Detta resulterar i att det totala utsläppet CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> skiljer sig markant beroende på val av värmekälla, där fjärrvärme ligger runt 100–110 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> för det optimala spannet medan bergvärme ligger runt 50–60 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>.

En viktig aspekt att ha i åtanke är att utsläpp från fjärrvärme varierar mellan kommuner och år. Denna studie beräknar endast utsläpp från fjärrvärme i Göteborgs kommun med utsläppsfaktor 65 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh vilket kan jämföras med Malmö kommuns 119 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh. Även bergvärmens utsläpp varierar beroende på vilken el som tillförs. Utsläppsfaktorn för el som beaktas i denna rapport är 90 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh vilket gäller för Nordisk elmix. Om elen ej är ursprungscertifierad beräknas den som Nordisk residualmix med utsläppsfaktor 468 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh. Detta gör stor skillnad på bergvärmens klimatpåverkan och hade resulterat i ett utsläpp på 156 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh värme.

## 7 Slutsatser

Efter invägning av praktiska och ekonomiska aspekter återfanns en gemensam optimal isolertjocklek på 395mm. Denna är dock applicerbar inte på alla väggar eftersom det beror på regelmaterial och energikälla, men vid liknande projekt med yttervägg av samma uppbyggnad som den utfackningsvägg som undersöks i studien är optimal isolertjocklek omkring 395mm. Om resultatet ska användas på andra projekt som skiljer sig från referensprojektet, kan en isolertjocklek på 395mm ses som en ungefärlig siffra där den verkliga optimala tjockleken snarare ligger i ett spann där omkring. Det man kan ha med sig från denna studie är att det i dem flesta fall är lönsamt att öka isolertjockleken eftersom klimatpåverkan från energiåtgång utger så stor del av den totala klimatpåverkan för en byggnad med antagen livslängd på 50 år. Man kan också ha med sig att vid användning av trä som regelmaterial tjänar man mer på att isolera väggen ytterligare, medan vid stål som regelmaterial bör man vara lite mer återhållsam med att öka isolertjockleken allt för mycket.

Nedan följer sammanställning av svaren på frågeställningarna som introducerades i inledningen av rapporten:

- En optimal isolertjocklek gemensam för alla byggnader existerar inte då olika parametrar påverkar
- Klimatpåverkan från energiåtgång är betydligt större än klimatpåverkan från materialåtgång i byggskedet
- Val av energikälla och val av regler har inverkan på den totala klimatpåverkan. Då klimatpåverkan från energiåtgång är markant större, har val av energikälla stor påverkan.

## Referenser

- Balaji, N. C., Mani, M., & Reddy, B. V. V. (2014). Discerning Heat Transfer in Building Materials. *Energy Procedia*, 54, 654–668.  
<https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2014.07.307>
- Boverket. (2019a, februari 20). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*.  
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/>
- Boverket. (2019b, februari 20). *Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*.  
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljovardeklaration-for-byggprodukter-epd/>
- Boverket. (2020). *Klimatskärm - Boverket*. <https://www.boverket.se/sv/boende/for-dig-som-bor-i-villa/bygg-energieffektivt/energi-hushallningskrav/klimatskarm/>
- Boverket. (2021). *Primärenergital och byggnadens energiprestanda - Boverket*.  
<https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energi-hushallningskrav/primarenergital-och-byggnadens-energi-prestanda/>
- Boverket. (2023). *Syftet med att klimatdeklarera byggnader - Klimatdeklaration - Boverket*. <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/syfte/>
- Boverket. (2024a, januari 23). *Miljöindikatorer - aktuell status*.  
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/>
- Boverket. (2024b, januari 23). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*.  
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>
- EKRS. (u.å.). *Bergvärmepump — Energi- och klimatrådgivarna i Syd*. Hämtad 18 april 2024, från <https://www.ekrs.se/bergvarmepump>
- EQ Fönster Energimärkning. (u.å.). Hämtad 10 april 2024, från [www.energifonster.nu](http://www.energifonster.nu)
- EQUA. (u.å.). *IDA ICE - Simulation Software | EQUA*. Hämtad 10 april 2024, från <https://www.equa.se/se/ida-ice>
- Globala målen. (u.å.). *Globala målen – Läs om Globala målen – 17 mål för hållbar utveckling*. Hämtad 28 maj 2024, från <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/>
- Göteborg Energi. (u.å.). *Miljövärden*. Hämtad 21 februari 2024, från <https://www.goteborgenergi.se/foretag/fjarrvarme/miljo-och-klimat>
- Isover. (2024). *Vad är mineralull?*
- Khodayari, R. (u.å.). *Miljövärdering av fjärrvärme - Energiföretagen Sverige*. 2023. Hämtad 21 februari 2024, från <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatistik/miljovardering-av-fjarrvarme/>
- Kumar, D., Alam, M., Zou, P. X. W., Sanjayan, J. G., & Memon, R. A. (2020). Comparative analysis of building insulation material properties and performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 110038.  
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.110038>
- Naturvårdsverket. (2023). *Klimatklivet-Vägledning om beräkning av utsläppsminskning*.
- Nibe. (u.å.). *Bergvärme | Vad är bergvärme och hur fungerar det? | NIBE*. Hämtad 18 april 2024, från <https://www.nibe.eu/sv-se/kunskapsbank/sa-fungerar-det/bergvarme>
- Per Gunnar Burström. (2021a). *Byggnadsmaterial* (Upplaga 4:1). Studentlitteratur AB.
- Per Gunnar Burström. (2021b). *Byggnadsmaterial* (Upplaga 4:1). Studentlitteratur AB.

- Rockwool. (u.å.). *Yttervägg av stål - Produkter och information för isolering*. Hämtad 08 april 2024, från <https://www.rockwool.com/se/produkter-och-konstruktioner/yttervagg/stal/>
- Rydegran, E. (2023a). *Fjärrvärmens minskade koldioxidutsläpp - Energiföretagen Sverige*. <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatik/fjarrvarmens-koldioxidutslapp/>
- Rydegran, E. (2023b). *Så gör man fjärrvärme*. <https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrvarme/fjarrvarmeproduktion/>
- Skogskunskap. (2024a). *Gran (Picea abies) - Skogskunskap*. <https://www.skogskunskap.se/skota-barrskog/foryngra/valj-tradslag-i-barrskogen/gran-picea-abies/>
- Skogskunskap. (2024b). *Tall (Pinus sylvestris) - Skogskunskap*. <https://www.skogskunskap.se/skota-barrskog/foryngra/valj-tradslag-i-barrskogen/tall---pinus-sylvestris/>
- Strandberg, B., & Lavén, F. (2021). *Bygga Hus* (Fjärde upplagan). Studentlitteratur AB. Sveby. (2009). *Brukarindata för energiberäkningar i bostäder*.
- Sweden Green Building Council. (u.å.). *Miljöbyggnad 3.0*. Hämtad 17 april 2024, från [www.sgbc.se](http://www.sgbc.se)
- Swedisol. (u.å.). *Mineralull är god isolering | Swedisol*. Hämtad 22 april 2024, från <https://swedisol.se/isolering/mineralull-ar-god-isolering>
- Swedisol.se. (u.å.). *Vad är god Isolering? | Swedisol*. Hämtad 05 februari 2024, från <https://swedisol.se/isolering>
- TräGuiden. (2018). *Dimensioner - TräGuiden*. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/sagverksprocessen/sagprocessen/dimensioner/>
- TräGuiden. (2019). *Reglar - TräGuiden*. <https://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/barverk/barverk/reglar/>
- Vattenfall. (2019). *Olika värmekällor och värmesystem - Vattenfall*. <https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/olika-varmekallor/>

# BILAGOR

## Bilaga A – Ventilationsflöde och tillgodoräknad hushållsel

Zon	Area (m2)	Vent (l/s)	Avrundad vent (l/s)	El och belysning [W]	Justerad m.a.p 70% tillgodoräknande [W]
1	53,28	29,03	30	182,5	127,7
2	47,76	26,02	30	163,6	114,5
3	46,56	25,37	30	159,5	111,6
4	47,76	26,02	30	163,6	114,5
5	26,22	14,29	15	89,8	62,9
7	27,53	15,00	15	94,3	66,0
8	8,3	4,52	5	28,4	19,9
9	34,84	18,98	20	119,3	83,5
10	53,28	29,03	30	182,5	127,7
11	47,76	26,02	30	163,6	114,5
12	46,56	25,37	30	159,5	111,6
13	47,76	26,02	30	163,6	114,5
14	62,62	34,12	35	214,5	150,1
15	22,22	12,11	15	76,1	53,3
16	13,99	7,62	10	47,9	33,5
17	53,28	29,03	30	182,5	127,7
18	47,76	26,02	30	163,6	114,5
19	46,56	25,37	30	159,5	111,6
20	47,76	26,02	30	163,6	114,5
21	62,62	34,12	35	214,5	150,1
22	22,15	12,07	15	75,9	53,1
23	6,736	3,67	5	23,1	16,1
24	53,28	29,03	30	182,5	127,7
25	59,39	32,36	35	203,4	142,4
26	59,39	32,36	35	203,4	142,4
27	62,62	34,12	35	214,5	150,1
28	22,69	12,36	15	77,7	54,4
29	7,168	3,91	5	24,5	17,2
30	59,39	32,36	35	203,4	142,4
31	59,39	32,36	35	203,4	142,4
32	53,28	29,03	30	182,5	127,7
33	62,62	34,12	35	214,5	150,1
34	22,15	12,07	15	75,9	53,1
35	14,05	7,65	10	48,1	33,7
36	46,5	25,33	25	159,2	111,5
37	24,53	13,36	15	84,0	58,8
39	25,38	13,83	15	86,9	60,8
<b>Totalt</b>	<b>1505</b>	<b>820</b>	<b>900</b>	<b>5154,6</b>	<b>3608,2</b>

Lägenhet	Antal	Personer/lägenhet	Tot. personer
2 rok	15	1,63	24,45
3 rok	8	2,18	17,44
<b>Totalt:</b>			<b>41,89</b>

Lägenhet	Personvärme [W]
2 ROK	130,4
3 ROK	174,4

Ventilation	
0,35 l/s/m2 + 7 l/s/person [l/s]	820
Ventilation [l/s/m2]	0,54

Energi	
<b>Tillgodoräknad hushållsel</b>	
[kWh/m2 Atemp]	30
W/m2 Atemp	3,42
Justeringsfaktor 70%	0,7

## Bilaga B – Vägghoppbyggnad, U-värde och total klimatpåverkan

### Bilaga B.1 Träreglar

Total tjocklek	Fasadskiva	s600	s450	U-värde	Klimatpåverkan byggnation	Total klimatpåverkan fjärrvärme	Total klimatpåverkan bergvärme
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[W/m <sup>2</sup> K]	[kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> ]
45	0	45	0	0,753	0,4	238,4	110,4
70	0	70	0	0,531	0,6	190,2	88,3
95	0	95	0	0,410	0,9	164,1	76,3
120	0	120	0	0,340	1,1	149,4	69,7
140	0	95	45	0,294	1,2	139,8	65,2
165	0	120	45	0,253	1,4	131,2	61,4
195	30	120	45	0,205	2,4	121,7	57,5
220	30	145	45	0,184	2,6	117,5	55,7
245	30	170	45	0,167	2,8	114,1	54,3
265	50	170	45	0,152	3,1	111,5	53,2
290	50	195	45	0,140	3,3	108,9	52,1
315	50	220	45	0,130	3,5	107,0	51,4
340	50	220	70	0,121	3,7	105,4	50,7
370	80	220	70	0,108	3,9	102,8	49,6
395	80	220	95	0,102	4,4	102,1	49,6
410	100	240	70	0,097	5,9	102,5	50,5
435	100	290	45	0,093	6,2	102,0	50,5
460	100	290	70	0,088	6,3	101,2	50,2
485	150	290	45	0,081	7,2	100,7	50,4
510	150	290	70	0,078	7,4	100,1	50,3
535	150	290	95	0,075	7,6	99,7	50,1
560	150	340	70	0,071	7,8	99,1	50,0
585	150	340	95	0,068	8,0	98,8	50,0
610	150	390	70	0,066	8,3	98,7	50,1
635	200	340	95	0,062	9,1	98,6	50,5
665	250	220	195	0,059	10,3	99,1	51,4
690	250	220	220	0,057	10,5	98,9	51,4
780	200	340	240	0,052	11,2	98,7	51,6
880	200	340	340	0,047	11,9	98,4	51,9
980	250	390	340	0,042	12,9	98,3	52,4
1030	300	390	340	0,039	14,5	99,3	53,7

### Bilaga B.2 Stålreglar

Total tjocklek	Fasadskiva	s600	s450	U-värde	Klimatpåverkan byggnation	Total klimatpåverkan fjärrvärme	Total klimatpåverkan bergvärme
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[W/m <sup>2</sup> K]	[kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> ]
45	0	45	0	0,905	1,9	273,2	127,3
95	0	95	0	0,5084	2,9	187,6	88,3
120	0	120	0	0,417	3,4	168,2	79,5
150	30	120	0	0,3072	4,3	145,3	69,5
195	30	120	45	0,246	6,9	134,9	66,1
245	30	170	45	0,1784	9,5	123,2	62,1
290	50	195	45	0,1471	10,5	117,6	60,0
340	50	220	70	0,1286	11,7	115,0	59,5
395	80	220	95	0,1095	13,1	112,4	59,0
435	100	290	45	0,09678	16,7	113,3	61,3
465	100	290	70	0,09277	17,3	113,1	61,6
510	150	290	70	0,08134	18,4	111,8	61,6
535	150	340	45	0,07745	18,8	111,5	61,7
585	200	340	45	0,06931	19,9	110,9	61,9
635	250	340	45	0,06273	21,5	111,1	62,9
685	250	390	45	0,0588	22,9	111,7	64,0
785	250	440	95	0,05273	33,9	121,5	74,4
1030	300	660	70	0,04121	37,0	122,2	76,4

## Bilaga C – Klimatpåverkan från materialåtgång

### Bilaga C.1 Fasadskiva

FASADSKIVA					
Material	Tjocklek [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	R-värde/faktor	GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq/1m <sup>2</sup> ]	kg CO <sub>2</sub> -eq
Stenull	0,03	798,7	0,86	1,79	1431
Stenull	0,05	798,7	1,52	2,21	1767
Stenull	0,08	798,7	2,42	3,2	2556
Material	Tjocklek [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	R-värde/faktor	GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq/1m <sup>2</sup> ]	kg CO <sub>2</sub> -eq
Stenull	0,1	798,7	0,6	6,0	4778
Stenull	0,15	798,7	0,8	8,0	6370
Stenull	0,2	798,7	1	10,0	7963
Stenull	0,25	798,7	1,3	13,0	10352

### Bilaga C.2 Träregrlar

TRÄREGEL s600 Isolering					
Material	Tjocklek [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	R-värde/faktor	GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq/1m <sup>2</sup> ]	kg CO <sub>2</sub> -eq
Glasull	0,045	798,7	1,2	0,8	619
Glasull	0,07	798,7	1,9	1,2	963
Glasull	0,095	798,7	2,6	1,6	1306
Glasull	0,12	798,7	3,2	2,1	1650
Glasull	0,145	798,7	3,9	2,5	1994
Glasull	0,17	798,7	4,6	2,9	2338
Glasull	0,195	798,7	5,3	3,4	2681
Glasull	0,22	798,7	5,9	3,8	3025

TRÄREGEL S450 Isolering					
Material	Tjocklek [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	R-värde/faktor	GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq/1m <sup>2</sup> ]	kg CO <sub>2</sub> -eq
Glasull	0,045	798,7	1,29	0,62	495
Glasull	0,07	798,7	2	0,96	767
Glasull	0,095	798,7	2,71	1,3	1038
Glasull	0,12	798,7	3,43	1,65	1318
Glasull	0,145	798,7	4,14	1,99	1589
Glasull	0,17	798,7	4,86	2,33	1861
Glasull	0,195	798,7	5,57	2,67	2133
Glasull	0,22	798,7	6,29	3,02	2412

## Bilaga C.3 Stålsreglar

STÅLREGEL S600 Isolering						
Material	Tjocklek [m]	Lambda	R-värde	Area [m <sup>2</sup> ]	GWP [kg CO2-eq/kg]	kg CO2-eq (A1-A3)
Glasull	0,045	0,035	1,3	798,7	0,62	493
Glasull	0,07	0,035	2,0	798,7	0,96	767
Glasull	0,095	0,035	2,7	798,7	1,30	1041
Glasull	0,12	0,035	3,4	798,7	1,65	1314
Glasull	0,145	0,033	4,39	798,7	2,7	2176
Glasull	0,17	0,033	5,15	798,7	3,2	2551
Glasull	0,195	0,033	5,91	798,7	3,7	2926
Glasull	0,22	0,033	6,67	798,7	4,1	3301
STÅLREGEL S600 perforerat stål						
Material	Tjocklek [m]	Kg/regel 4m	kg/m2	GWP [kg CO2-eq/1m <sup>2</sup> ]	Area [m <sup>2</sup> ]	kg CO2-eq (A1-A3)
Stål	0,145	7,096	2,96	7,55	798,7	6034
Stål	0,17	7,639	3,19	8,13	798,7	6496
Stål	0,195	8,478	3,54	9,03	798,7	7209
Stål	0,22	9,112	3,80	9,70	798,7	7748
STÅLREGEL S600 ej perforerat stål						
Material	Tjocklek [m]	Kg/regel 3m	kg/m2	GWP [kg CO2-eq/1m <sup>2</sup> ]	Area [m <sup>2</sup> ]	kg CO2-eq (A1-A3)
Stål	0,045	2,1	1,17	2,98	798,7	2381
Stål	0,07	2,473	1,38	3,51	798,7	2804
Stål	0,095	2,885	1,61	4,10	798,7	3271
Stål	0,12	3,297	1,84	4,68	798,7	3738
TOTALT UTSLÄPP STÅLREGEL S600 perforerad				TOTALT UTSLÄPP STÅLREGEL S600 ej perforerad		
Material	Tjocklek [m]	kg CO2-eq (A1-A3)		Material	Tjocklek [m]	kg CO2-eq (A1-A3)
Glasull + Stål	0,145	8210		Glasull + Stål	0,045	2874
Glasull + Stål	0,17	9047		Glasull + Stål	0,07	3571
Glasull + Stål	0,195	10135		Glasull + Stål	0,095	4311
Glasull + Stål	0,22	11049		Glasull + Stål	0,12	5052

STÅLREGEL S450 isolering						
Material	Tjocklek [m]	Lambda	R-värde	Area [m <sup>2</sup> ]	GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq/1m <sup>2</sup> ]	kg CO <sub>2</sub> -eq (A1-A3)
Glasull	0,045	0,033	1,36	798,7	0,8	675
Glasull	0,07	0,033	2,12	798,7	1,3	1050
Glasull	0,095	0,033	2,88	798,7	1,8	1426
Glasull	0,12	0,033	3,64	798,7	2,3	1801
Glasull	0,145	0,033	4,39	798,7	2,7	2176
Glasull	0,17	0,033	5,15	798,7	3,2	2551
Glasull	0,195	0,033	5,91	798,7	3,7	2926
Glasull	0,22	0,033	6,67	798,7	4,1	3301

STÅLREGEL S450 ej perforerat stål						
Material	Tjocklek [m]	kg/regel 3m	kg/m <sup>2</sup>	GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq/1m <sup>2</sup> ]	Area [m <sup>2</sup> ]	kg CO <sub>2</sub> -eq (A1-A3)
Stål	0,045	2,1	1,58	4,02	798,7	3208
Stål	0,07	2,473	1,85	4,73	798,7	3778
Stål	0,095	2,885	2,16	5,52	798,7	4407
Stål	0,12	3,297	2,47	6,31	798,7	5036

TOTALT UTSLÄPP STÅLREGEL S450 ej perforerat		
Material	Tjocklek	kg CO <sub>2</sub> -eq (A1-A3)
Glasull + Stål	0,045	3883
Glasull + Stål	0,07	4828
Glasull + Stål	0,095	5832
Glasull + Stål	0,12	6837

## Bilaga D – Produkter

Isolering			
Tillverkare	Produkt	Mått [mm]	λ-värde
Rockwool	Västkuskskiva	30	0,035
Rockwool	Västkuskskiva	50, 80	0,033
Paroc	Paroc WAS 35	100-250	0,033
Isover	Träreghelskiva 37 c600	45-220	0,037
Isover	Träreghelskiva 35 c450	45-195	0,035
Isover	Stålréghelskiva 35 c600	45-120	0,035
Isover	Stålréghelskiva 33 c600	145-220	0,033
Isover	Stålréghelskiva 33 c450	45-95	0,033

Reglar		
Tillverkare	Produkt	Mått [mm]
Gyproc	THU 45 THERMO <sup>n</sup> omic	45
Gyproc	THU 70 THERMO <sup>n</sup> omic	70
Gyproc	THU 95 THERMO <sup>n</sup> omic	95
Gyproc	THU 120 THERMO <sup>n</sup> omic	120
Gyproc	THR 145/1,0 THERMO <sup>n</sup> omic	145
Gyproc	THR 170/1,0 THERMO <sup>n</sup> omic	170
Gyproc	THR 195/1,0 THERMO <sup>n</sup> omic	195
Gyproc	THR 220/1,0 THERMO <sup>n</sup> omic	220
Gyproc	THR 245/1,0 THERMO <sup>n</sup> omic	245



**CHALMERS**



