



AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ  
Avdelningen för bygg-, energi- och miljöteknik

---

# Tilläggsisolering av småhus ur ett klimatpåverkansperspektiv

Helena Bergström

2017

Examensarbete, Grundnivå (högskoleexamen), 15 hp  
Byggteknik  
Byggnadsingenjör inriktning miljö och arkitektur.

Handledare: Jan Akander & Karl Hillman  
Examinator: Ola Norrman Eriksson

---



## **Förord**

Detta arbete avslutar mina tre års studier vid Byggnadsingenjörs programmet på Högskolan i Gävle. Tack till mina handledare Jan Akander och Karl Hillman, tack till Carolina Frisk för hjälp med korrekturläsning.

Helena Bergström





## Sammanfattning

Vi lever i en tid med klimatförändringar till följd av människans levnadssätt. Energiutvinning ger påverkan på klimatet genom växthusgaser, då främst genom koldioxid. Riksdagen har beslutat att Sverige ska minska energianvändningen i bostäder och lokaler med 20 % fram till år 2020 och med 50 % till år 2050 (Statens Energimyndighet, 2007). Det finns flera sätt att minska energianvändningen för bostäder, att minska transmissionsförlusterna genom klimatskalet är det mest vedertagna. Ett sätt att minska dessa transmissionsförluster är att tilläggsisolera fasaden.

I denna studie har klimatpåverkan till följd av en tilläggsisolering satts i relation till de minskade emissionerna på grund av reducerat värmebehov. Studie är gjord på sju olika uppvärmningssätt och sex olika tjocklekar på isoleringen. För det beräknade värmebehoven gjordes en jämförelse mellan fyra olika städer i Sverige med olika klimat, en stad i varje klimatzon enligt Boverkets byggregler (BBR).

Resultatet visar variationer mellan klimatzonerna, tjocklek på tilläggsisoleringen och uppvärmningssätten. Studeras istället primär energianvändning i det olika fallen skiljer det sig en del från emissioner av växthusgaser. Slutsatsen är att sett över hela isoleringens livstid är det mest klimatsmarta valet att tilläggsisolera. Detta oavsett klimatzon, tjocklek på tilläggsisoleringen och uppvärmningssätt (av de i studien granskade).

Nyckelord: Tilläggsisolering, klimatpåverkan, växthusgaser.







## **Abstract**

We live in a time of climate change as a result of human living. Energy recovery has an impact on the climate through greenhouse gases, mainly through carbon dioxide. The Swedish parliament has decided that Sweden will reduce energy use in housing and premises by 20 % by 2020 and by 50 % by 2050 (Swedish Energy Agency, 2007). There are several ways to reduce energy use for housing, and reducing transmission losses through the climate scale is the most common. One way to reduce these transmission losses is adding insulation to the façade.

In this study, the climate impact due to additional insulation has been set in relation to the reduced emissions due to reduced heat demand. Study is made of seven different heating modes and six different thicknesses of the insulation. For the calculated heat demand, a comparison was made between four different cities in Sweden with different climates, one city in each climate zone according to the Boverket Building Regulations (BBR).

The result shows variations between the climate zones, the thickness of the additional insulation and the heating modes. If primary energy is used in the different cases, it is a part of greenhouse gas emissions. The conclusion is that over the entire life of the insulation it is the most climate-friendly choice to add insulation. This is regardless of the climate zones, the thickness of the additional insulation and the heating mode (of the one's studied in the examination).

Keywords: Additional insulation, climate impact, greenhouse gases.





# Innehållsförteckning

1	Introduktion .....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Syfte .....	2
1.3	Avgränsning .....	3
1.4	Målgrupp .....	3
2	Metod .....	4
2.1	Referenshuset .....	4
2.2	Energi .....	5
2.3	Emissioner .....	6
3	Teori .....	8
3.1	Tidigare studier .....	8
3.2	Referenshuset .....	10
3.3	Värmebehov .....	11
3.4	Isolering .....	12
3.5	Miljöbedömning .....	12
3.6	Krav .....	13
3.7	Energi .....	14
3.7.1	Primärenergi .....	14
3.7.2	Fjärrvärme .....	15
3.7.3	El .....	15
3.7.4	Bergvärmepump .....	16
3.7.5	Pellets .....	16
4	Resultat .....	17
4.1	Energi .....	17
4.2	Minskade emissioner .....	18
4.3	Återbetalningstid .....	19
4.4	Primärenergianvändning .....	21
5	Diskussion .....	24
5.1	Resultat .....	24
5.2	Tidigare studier .....	25
5.3	Genomförande .....	25
6	Slutsatser .....	27
	Referenser .....	28



# 1 Introduktion

## 1.1 Bakgrund

Vi lever i en tid med klimatförändringar till följd av människans levnadssätt. Energiutvinning ger påverkan på klimatet genom växthusgaser, då främst genom koldioxid. Koldioxid är en växthusgas som förekommer naturligt i atmosfären, vid förbränning av fossila bränslen ökar halten koldioxid i atmosfären. Ökad koldioxidhalt i atmosfären är en bidragande faktor till klimatförändringar, den globala uppvärmningen som idag upplevs. De dominerande utsläppen vid byggande och vid uppvärmning av byggnader är växthusgaser (Baumann & Tillman, 2004). Energianvändningens påverkan på klimatet varierar beroende på vilken typ av energi som används. Ett annat sätt än växthusgaser att se på energianvändning är att titta på primärenergianvändning, en helhetsbild av den totala energianvändningen. I Primärenergianvändning räknas den energi som behövs för utvinningen, transporten, omvandling med mera. För att beräkna hur effektivt energin framställs används måttet primärenergifaktor (Gode et al., 2011).

Bostadssektorn står för ca 28 % av energiförbrukningen i Sverige (Statens Energimyndighet, 2007).

I en rapport från Statens Energimyndighet (2007) beskrivs de 16 nationella miljömålen för Sverige. Nedan listas de två mål som berör bostadssektorn och energianvändningen utifrån ett klimatperspektiv.

- Begränsad klimatpåverkan – miljömålet berör en stor del av den svenska klimat- och energipolitiken och är en självklar del av Energimyndighetens verksamhetsområde.
- God bebyggd miljö – detta miljömål berör bland annat en effektivare energianvändning i bostäder och lokaler, samt avfallsfrågan.

Riksdagen har beslutat att Sverige ska minska energianvändningen i bostäder och lokaler med 20 % fram till år 2020 och med 50 % till år 2050 (Statens Energimyndighet, 2007). Europeiska unionens (EU) energieffektiviseringsdirektiv (2010/31/EU) säger även att energianvändningen i byggnader ska minska. Enligt detta direktiv ska alla nya byggnader vara näranollenergibyggnader senast 31 december 2020. Medlemsländerna i EU ska även driva utvecklingen så att renoveringar sker enligt näranollstandard. Det finns flera sätt att minska energianvändningen för bostäder, att minska transmissionsförlusterna genom klimatskalet är det mest vedertagna. Ett sätt att minska dessa transmissionsförluster är att tilläggsisolera fasaden. Vid dessa åtgärder är det viktigt att ha i beaktning vilken påverkan på miljön det material som används vid byggnationer har och byggnadens livstid.

Boverket är en myndighet för bland annat byggande och boende på uppdrag av riksdagen och regeringen. I Boverkets byggregler (BBR) finns krav och bestämmelser att följa. Några av dessa handlar om en byggnads specifika energianvändning och vad denna inte får överstiga. I BBR så delas Sverige in i fyra olika klimatzoner, utifrån klimatet.

Utöver energiförbrukningen bidrar även livscykeln från en byggnads beståndsdelar till miljöpåverkan. För att beräkna en produkts potentiella miljöpåverkan kan en livscykelanalys göras. Livscykelanalysen sker från råvaruutvinning till återvinnig eller deponi. Denna påverkan karakteriseras och redovisas bland annat i koldioxidekvivalenter vilket är ett mått på emissioner av växthusgaser.

Det finns tidigare studier som har undersökt byggnader med varierad utformning och undersökt skillnaderna i utsläpp för de olika byggnaderna. Brown et al. (2013), Erlandsson et al. (1997), Jozef et al. (2016), Pajchrowski et al (2014), Pombo et al. (2016). Det skulle därför vara intressant att undersöka samma byggnad men med olika uppvärmningssätt för att analysera skillnaden det ger i utsläpp, före och efter tilläggsisolering.

## **1.2 Syfte**

Syftet med studien är att utreda huruvida det mest klimatsmarta är att tilläggsisolera. Studiens fokus ligger på växthusgaser.

I vilka fall är det en fördel att tilläggsisolera, sett till de minskade utsläppen för uppvärmning i en analys då emissioner för livscykeln från tilläggsisoleringen inkluderas?

- Hur skiljer det sig för olika uppvärmningssätt och hur skiljer det sig för olika tjocklekar på isoleringen?
- Hur många år tar det innan de reducerade emissionerna till följd av det minskade värmebehovet är större än emissionerna från livscykeln för tilläggsisolering?
- Hur skiljer det sig mellan de fyra olika klimatzonerna?
- Hur skiljer sig primärenergianvändning för de olika uppvärmningssätten och värmebehoven åt?

### **1.3 Avgränsning**

En avgränsning för studien har gjorts vid tilläggsisolering av yttervägg på ett hus byggt under 1960-talet, placerat i fyra olika städer som ligger i fyra olika klimatzoner enligt BBR. Det vanligaste uppvärmningssätten av småhus i Sverige har undersökts, dessa är:

- Fjärrvärme (Gävle),
- Fjärrvärme (svensk mix)
- Svensk elmix (direktverkande el)
- Nordisk elmix (direktverkande el)
- Bergvärmepump COP 3 (svensk elmix)
- Pellets (förbränning i liten skala).

Växthusgaser valdes då energianvändning i huvudsak ger emissioner av dessa.

Tilläggsisolering valdes till glasull då mineralull är den vanligaste typen av isoleringen vid tilläggsisolering och det påträffades mer information om miljöpåverkan från livsryttern av denna. Isolerings-tjocklekar valdes efter den standard dessa produceras i.

### **1.4 Målgrupp**

Småhusägare, byggföretag.



## 2 Metod

I det här kapitlet ges en beskrivning över vilka metoder som använts i studien, material och beräkningar.

### 2.1 Referenshuset

Denna studie har gjorts på ett hypotetiskt småhus byggt under 1960-talet. För att hitta beskrivningar över de vanligaste konstruktionerna och de vanligaste byggnadstekniska lösningar studerades facklitteratur och myndighetsrapporter.

Värmeledningkoefficient (U-värde) är ett värde på en byggnadsdels isoleringsförmåga och används för att beräkna värmebehovet för en byggnad. Ett givet U-värde (Statens energimyndighet, 2009) användes till den befintliga väggen och taket. Beräkningar av U-värde för tilläggsisoleringen gjordes med lambda metoden, då träreglarnas U-värde också räknas med. Ett U-värde för väggarna räknades ut för varje tjocklek av tilläggsisolering. U-värdet för grunden beräknades i BV2 genom att välja vilken typ av konstruktion plattan har. En platta med 200 mm betong och 50 mm isolering, grundlagd på slit, icke dränerad sand grus och morän betong gav det använda U-värdet.

I byggnader finns det köldbryggor, det bildas där en konstruktionsdetalj med dålig värmeisoleringsförmåga bryter igenom ett material med god värmeisoleringsförmåga (Sandin, 2010). Köldbryggeverkan beräknades genom att addera 20 procent av det totala U-medelvärdet till det ursprungliga U-medelvärdet (Boverket, 2012).

Huset har en area på 100m<sup>2</sup> och en takhöjd på 2,4m. Fasaden är beklädd med trä fasad och har ett pulpettak med papp. Grundkonstruktion är en platta på mark och stommen är konstruerad med en träregelstomme. Referenshuset värms upp med hjälp av ett vattenburet centralvärmesystem.

Areor och U-värden för byggnadskomponenterna som inte ändras vid tilläggsisolering redovisas i tabell 1 nedan.

Tabell 1. De olika byggnadskomponenternas (som inte påverkas av tilläggsisolering) area och U-värde.

Byggnadskomponent	Area m <sup>2</sup>	U-värde
Platta på mark	100	0,496
Dörr	2,1	2
Fönster	12	1,8
Tak	100	0,3

Tilläggsisoleringen valdes till typen mineralull (glasull), värdet för värmekonduktivitet är ( $\lambda$ )=0,036 [W/m°C]. Glasullen är tillverkad av 80% återvunnet material (The Norwegian EPD Foundation, 2014).

Ytterväggarnas area är sammanlagt 98,4 m<sup>2</sup>, kortsidan är 8x2,4 m<sup>2</sup> och långsidan 12,5x2,4 m<sup>2</sup>. Beräkningar av de nya U-värdena för ytterväggarna med tilläggsisolering visar att den största reduktionen av U-värdet är vid 45mm tilläggsisoleringen. Tabell 2 nedan visar U-värdet på ytterväggen för referenshuset och de uträknade värdena för referenshusets nya yttervägg med de olika tjocklekarna på tilläggsisolering.

Tabell 2. Ytterväggens olika U-värden.

	U-värde yttervägg [W/m <sup>2</sup> °C]
Referenshuset	0,380
+45mm	0,273
+70mm	0,236
+95mm	0,208
+120mm	0,186
+145mm	0,168
+170mm	0,154

## 2.2 Energi

BV2 är ett simuleringsprogram som bland annat används för att beräkna den specifika energianvändningen och värmebehovet i byggnader. Genom att föra in information om klimatskalets olika beståndsdelar och areor kan värmebehovet beräknas, den energi som behövs för att värma upp byggnaden. Klimatskalets U-värden för de olika beståndsdelarna fördes in i programmet och areor för klimatskalets olika delar. Det gjordes sju beräkningar, för referenshuset och för referenshuset med de olika tjocklekarna på tilläggsisoleringen. De olika tjocklekarna studien genomfördes för är:

- 45mm
- 70mm
- 95mm
- 120mm
- 145mm
- 170mm

Värmebehovet beräknades sedan för referenshuset och för referenshuset med de olika tjocklekarna på tilläggsisoleringen placerat i de fyra olika klimatzonerna enligt BBR. I klimatzon I valdes Karesuando, i klimatzon II valdes Gävle, i klimatzon III valdes Jönköping och i klimatzon IV valdes Trelleborg. Dessa städer valdes utifrån placering i landet. Värmebehovet skiljer sig på grund av temperaturskillnader mellan de olika städerna. Beräkningar på den specifika energianvändningen har också tagits fram för att kontrollera mot BBRs krav. Det som skiljer värmebehovet från den specifika energianvändningen är varmvattenbehovet och fastighetsenergin. Vid beräkning av den specifika energianvändningen i BV2 antogs det vara fyra boende i huset.

En primärenergifaktor, vilket är ett mått på den totala energianvändningen har tagits fram för de olika uppvärmningssätten. Den användes för att beräkna primärenergianvändningen för de olika värmebehoven.

### **2.3 Emissioner**

Fakta om klimatpåverkan från fem olika uppvärmningssätt samlades in och beräknades. Information hämtades från miljöfaktaboken, undantaget fjärrvärme Gävle som hämtades från Gävle energi.

De uppvärmningssätt som använts i studien :

- Fjärrvärme (Gävle)
- Fjärrvärme svenskmix
- Svensk elmix (direktverkande el)
- Nordisk elmix (direktverkande el)
- Kolkondens el (direktverkande el)
- Värmepump COP 3 (svensk elmix)
- Pellets (pelletsplan i byggnaden)

En Livscykelanalys användes för att inhämta data om emissioner av växthusgaser från glasullen som användes för tilläggsisoleringen. Livscykelanalysen i form av en EPD (Environmental Product Declaration), är en LCA granskad av tredje part. EPD:n hämtas från The Norwegian EPD Foundations hemsida. Den studerade produktens funktionella enhet är  $1\text{ m}^2$  av en isoleringsskiva (glasull) med en tjocklek på 35mm under en 60års period. För att uppskatta utsläppen för de olika tjocklekarna användes en faktor från EPD:n som ursprungsvärdet multiplicerades med.

Tabell 3 nedan visar utsläppen av växthusgaser i koldioxidekvivalenter för livscykeln av 1 m<sup>2</sup> glasull med termisk resistans på 1,0°K m<sup>2</sup> W<sup>-1</sup> med en livslängd på 60år. Livscykel analysen visar att de största emissionerna av växthusgaser sker i produktionsfasen. Värdena är hämtade från The Norwegian EPD Foundation (2014) och redovisas i kilogram koldioxid ekvivalenter per funktionell enhet.

Tabell 3. Växthusgas emissioner från livscykeln för glasull i koldioxid ekvivalenter per funktionell enhet.

	Produktion	Transport	Installation	Användning	Slut	Totalt
<b>KgCO<sub>2</sub>ekv/FE</b>	0,71	0,05	0,04	0,00	0,02	0,82

Beräkningar gjorda utifrån livscykelanalysen och hur stor väggarea referenshuset har gav värden för emissioner av koldioxidekvivalenter från livscykeln av 98,4m<sup>2</sup> isolering av typen glasull som redovisas i tabell 4, ett värde för varje tjocklek på isoleringen.

Tabell 4. Växthusgas emissioner från de olika tjocklekarna av tilläggsisolering för referenshuset i koldioxidekvivalenter.

Isolerings tjocklek	LCA isolering kgCO <sub>2</sub> ekv (98,4m <sup>2</sup> )
+45mm	103,62
+70mm	159,41
+95mm	215,2
+120mm	270,99
+145mm	326,79
+170mm	390,55

Det beräknade värdet för värmebehovet, emissionsfaktorer för de olika uppvärmningssätten och koldioxidutsläppen för de olika isolerings-tjocklekarna fördes in i Excel.

Emissioner av växthusgaser för de olika värmebehoven (olika tjocklekar på tilläggsisoleringen och klimatzoner) beräknades för varje uppvärmningssätt. Det olika fallen beräknades tillsammans med emissionerna från Livscykeln av isoleringen.

Beräkningar gjordes för att ta reda på efter hur många år emissionerna av växthusgaser från referenshuset, för att tillgodose värmebehovet, blir större än emissionerna av växthusgaser från isoleringen tillsammans med det reducerade värmebehovets emissioner.

## 3 Teori

Litteratur har studerats för att hitta tidigare genomförda studier i ämnet och för att skaffa tillräcklig kunskap för att genomföra studien. I detta kapitel redogörs för teorin bakom studien och vad tidigare studier kommit fram till.

### 3.1 Tidigare studier

Nedan lyfts fem artiklar fram som alla syftar till att studera tilläggsisolering och energibesparande åtgärder ur ett klimatpåverkansperspektiv.

Pajchrowski, Noskowiak, Lewandowska och Strykowski (2014) har i sin studie utfört en livscykelanalys (LCA) av fyra funktionellt likvärdiga byggnader med olika materialstruktur, byggt teknik och energiklasser. Målet med analyserna har varit att utreda vad den viktigaste faktorn är ur ett klimatpåverkansperspektiv i livscykeln för en byggnad. Erlandsson, Levin och Myhre (1997) har i sin studie istället tittat på ett flerbostadshus i tre plan som tilläggsisolerats. Utsläppen från uppvärmningen innan isolering har jämförts med klimatpåverkan från hela livscykeln för tilläggsisolering tillsammans med det sparade utsläppen från uppvärmning. Brown, Malmqvist, Bai och Molinari (2013) använder en metod där livscykelkostnad (LCC) och miljöbyggnad används ihop för att kunna få in flera olika aspekter vid renovering, ekonomiska, inomhusmiljö och klimatpåverkanskonsekvenser i samband med efterfrågan på energi. Detta görs i tre olika bostadsbyggnader som alla är tidstypiska för olika tider i Sverige. Beräkningar utförs på tre olika fall av varje byggnad, ett referensfall och två olika renoveringsalternativ. Pombo, Rivela och Neila (2016) har gjort en kritisk granskning av den forskning som bedrivs för bostadsombyggnader och diskuterar de metoder som gör bedömningar av energieffektivitetsåtgärder. Jozef, Emília, Juraj och Jozef (2016) undersöker i sin studie genom LCA de miljömässiga fördelarna vid väggisolering och vilka energi besparingar det ger i olika tidsintervaller (upp till 20 år).

Pajchrowski et al. (2014) studie visar, som flera tidigare LCA utförda, att energiförbrukning är den största källan till negativ miljöpåverkan för byggnaden över tid. Pajchrowski et al. (2014) menar även att inte bara mängden energi som används för uppvärmning är relevant utan även typen av energi som används, sett ur ett klimatpåverkansperspektiv. Ett Passivhus med trästomme i studien fick högre klimatpåverkansindikatorer än det mindre isolerade huset som också hade trästomme. Detta på grund av att passivhuset i studien endast beräknades använda el, elproduktionen i Polen består till 90 % av kol (Pajchrowski et al., 2014) vilket ger höga värden för klimatpåverkansindikatorer. Erlandsson et al. (1997) visar att utsläppen från tillverkning av isolering har en lite förorenande effekt i jämförelse med det sparade utsläppen från minskat energibehov om man ser över en längre tidsperiod. Erlandsson et al. (1997) nämner även att fler studier borde göras utifrån andra typer av byggnader och material. Pombo et al. (2016) anser att det finns ett stort behov att hitta en metod som tar hänsyn till miljömässiga, ekonomiska och sociala aspekter ur ett livscykelperspektiv. En metod som kan peka ut den optimala uppgraderingen av bostäder vid en renovering.

Jozef et al. (2016) menar att materialval ofta görs utifrån priset och inte utifrån de långsiktiga miljöfördelarna. Studien visar att isoleringen det första året ger mer utsläpp än vad som sparas från minskad uppvärmning. Under en 20-års period är de reducerade utsläppen från uppvärmningen betydligt större än utsläppen från tillverkningen av isoleringen.

Att byggnader bidrar till stora utsläpp under hela livscykeln det är Brown et al. (2013), Erlandsson et al. (1997), Jozef et al. (2016), Pajchrowski et al. (2014), Pombo et al. (2016) överens om. Val av material bör göras utifrån fler aspekter än pris.

Brown et al. (2013), Erlandsson et al. (1997), Jozef et al. (2016), Pajchrowski et al. (2014), Pombo et al. (2016) är även överens om att det är svårt att hitta ett sätt att jämföra en byggnads miljöpåverkan då en byggnad består av väldigt många olika delar. Det finns många olika leverantörer samt många olika typer av miljöpåverkan och sättet att beräkna miljöpåverkan kan variera.

## 3.2 Referenshuset

Under 1950-talet var det en stor bostadsbrist i Sverige, regeringen beslutade därför att det skulle uppföras en miljon bostäder mellan åren 1965-1975. En tredjedel av dessa var småhus. Andelen småhus i Sverige som är byggda under denna period är därför stor. Enligt Björk, Nordling & Reppen, (2013) dominerades byggandet av enplanshus på 1960-talet och dessa hade ofta en boarea på ca 100 kvm. Husen bekläddes ofta med trä fasad och var försedda med pulpettak med papp. Grundkonstruktionen platta på mark slog igenom på 1960-talet och kallades då golv på mark. Konstruktionen har till idag förbättrats. När konstruktionen slog igenom användes i vissa fall ingen isolering, ibland låg den ovan på betongkonstruktionen. Vissa konstruerades även som i dag med isolering under betongen men hade då tunnare isolering. (Abel & Elmroth, 2006). Takkonstruktionen var vanligen sadeltak eller pulpettak, beklädda med betongpannor eller papp. (Björk et al., 2013) Ytterväggskonstruktionen var under 1960-talet vanligen en tegelvägg med mineralullsisolering eller en träregelverk konstruktion med mineralull (Energimyndigheten, 2009).

Den vanligaste ventilationstypen under denna period var ventilation genom självdrag, ungefär 90 % av småhusen utfördes med denna typ av ventilation. (Boverket, 2009). Självdragsventilation innebär att luft strömmar in genom otätheter i klimatskalet till exempel vid fönster. Denna luftströmning sker endast då inneluften är varmare än uteluften eller då det blåser utomhus. (Hemgren & Wannfors, 2003).

Den vanligaste typen av uppvärmningssystem är vattenburet centralvärmesystem som introducerades på 1900-talet. En värmekälla värmer upp vatten centralt, detta vatten distribueras sedan ut till en värmeavgivare (radiator eller golvvärmeslingor) i varje rum genom ett rörsystem. Radiatorer var dominerade till mitten av 1990-talet då golvvärmeslingor blev allt vanligare (Hemgren & Wannfors, 2003).

### 3.3 Värmebehov

De ytor som omger husets uppvärmda volym kallas husets klimatskal (golv, väggar, fönster, ytterdörrar och tak). När det är en temperaturskillnad mellan uteluften och inneluften sker en värmetransport via strålning, ledning och konvektion genom klimatskalet. Detta kallas transmission vilket betyder överföring. Värme överförs genom klimatskalskomponenter, bland annat genom värmeledning i fasta material (Burström, 2001). Den energi som måste tillföras en byggnad för att tillgodose byggandes värmebehov avgörs främst av två saker, transmissionsförluster genom klimatskalet och ventilationsförluster tillsammans med luftläckage genom otätheter (Sandin, 2010).

Ett materials förmåga att leda värme betecknas lambda, tjockleken på materialet dividerat på lambda kallas värmemotståndet. Detta värde inverterat är värmegenomgångskoefficienten (U-värde) och definieras som den värmemängd som per tidsenhet passerar genom en ytenhet av konstruktionen då skillnaden i lufttemperaturen på ömse sidor av konstruktionen är en grad. Detta värde används för att beräkna en byggnads energianvändning, lägre U-värde ger lägre värmegenomgång (Sandin, 2010).

Det finns flera sätt att minska en byggnads transmissionsförluster. Ett av dem är att tilläggsisolera fasaden. Att tilläggsisolera fasaden från utsidan är det bästa ur energi- och fuktsynpunkt. Den gamla väggen blir torrare och det minskar även köldbryggorna mellan innerväggar och bjälklag. Genom att tilläggsisolera från utsidan behålls även den befintliga boarean som annars minskas vid tilläggsisolering på insidan (Statens Energimyndighet, 2007). Vid tilläggsisolering från utsidan måste ytskiktet avlägsnas. Detta ingrepp görs med fördel då fasaden måste bytas, medellivslängden för en trä fasad är ungefär 40år. Andra sätt att minska transmissionsförluster är att tilläggsisolera vindsbjälklaget och byta till fönster med lägre U-värde. Energianvändningen kan också minskas genom att byta ventilationssystem till ett med värmeåtervinning (FTX), då minskas ventilationsförlusterna. Grundens U-värde är väldigt svårt att förbättra då isoleringen bör finnas under betongplattan (Hemgren & Wannfors, 2003).

I byggnaden finns det köldbryggor och de bildas där en konstruktionsdetalj med dålig värmeisoleringsförmåga bryter igenom ett material med god värmeisoleringsförmåga, vilket gör att värme leds på oönskade platser. Två exempel på detta är träreglarna i en yttervägg och anslutning mellan bjälklag och yttervägg, värmebehovet ökar på grund av de förluster som uppstår på grund av köldbryggor (Sandin, 2010).



### **3.4 Isolering**

Isolering finns i många olika material och utförande, ett av dessa är mineralull. Mineralull är ett samlingsnamn för isolering gjord på mineralfibrer, i huvudsak glasull eller stenull. Glasullen tillverkas av returglas eller sand medan stenullen tillverkas av diabas. Båda materialen tillverkas under upphettning och slungas med hjälp av roterande spinn-anordningar ut till fibrer. Mineralull är det mest använda materialet vid tilläggsisolering av fasader (Burström, 2001). Mineralull produceras i standard tjocklekar. Vid isolering med mineralull placeras de vanligen mellan regler i ett trä-regelsystem alternativt används mineralullsskivor.

### **3.5 Miljöbedömning**

Livscykelanalys (LCA) är en metod för att analysera en produkts miljöpåverkan under hela livscykeln, från råvaru-utvinning till avfallshantering. De olika processerna i livscykeln påverkar miljön på olika sätt genom olika utsläpp. För att kunna jämföra utsläpp klassificeras dessa i olika grupper utefter vilken påverkan på miljön de har. De olika ämnena i miljöpåverkanskategorierna karakteriseras för att kunna räknas om till ekvivalenter. (Baumann & Tillman, 2004) För produktionssystem där det genereras produkter utöver huvudprodukten måste miljöbelastningen fördelas, allokeras, mellan huvudprodukt och övriga produkter. Exempel på situationer där allokering behöver tillämpas är ett kraftvärmeverk, som producerar både el och värme. I en LCA bestäms en funktionell enhet, funktionen på den produkt som analysen utförs på.

EPD (Environmental Product Declaration) är en LCA som är oberoende verifierad och registrerad. Detta ger transparent och jämförbar information om en produkts miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv.

### 3.6 Krav

Boverket är en myndighet för bland annat byggande och boende som arbetar på uppdrag av riksdagen och regeringen. Myndigheten ger ut Boverkets byggregler (BBR), som är mer eller mindre tvingande regelverk och handböcker. Vilka verkar för att följa miljömålet God bebyggd miljö. Boverket har idag krav på en byggnads specifika energianvändning. Till specifik energianvändningen räknas den energi som behöver levereras till en byggnad under ett normalår. I detta ingår värmebehov tappvarmvatten och fastighetsenergi; hushållsenergi och verksamhetsenergi ingår inte. Detta beräknas i enheten kilowattimmar per kvadratmeter och år. Kravet på specifik energianvändning är olika för hus uppvärmt med direktverkande el eller annat uppvärmningssätt. Kraven är också olika beroende på vart i landet huset är beläget på grund av skillnaden i värmebehov då klimatet skiljer. Sverige är uppdelat i fyra olika klimatzoner från norr till söder. (Se Figur 1.) Vid ändring av byggnad ska det eftersträvas att uppfylla samma krav som för en nybyggnad, detta kan vara svårt vid en tilläggsisolering av en del av ett hus. BBR har i dessa fall där det inte går att uppnå kraven på specifik energianvändning undantag där riktlinjer för U-värden på de olika byggnadsdelarna finns (Boverket, 2016). I specifik energianvändning ingår energi för varmvatten och fastighetsel. Tilläggsisolering ändrar värmebehovet, varmvattenbehovet är detsamma och fastighetselen likaså.



Figur 1. Figuren visar de fyra olika klimatzonerna i Sverige enligt BBR.

Enligt detta energieffektiviseringsdirektiv (2010/31/EU) ska alla nya byggnader vara näranollenergibyggnader senast 31 december 2020. Energiförbrukningsdirektivet definierar en näranollenergibyggnad som en byggnad som har ett väldigt litet energibehov, alltså en mycket hög energiprestanda. Energiförbrukningen ska vara nära noll och den energi som krävs bör i största möjliga mån tillföras i form av energi från förnybara energikällor (Boverket, 2015).

## **3.7 Energi**

Energi kan användas på olika sätt till exempel till värme, el och transporter. Olika uppvärmningssätt använder olika former av energi, dessa påverkar på klimatet på olika vis.

### **3.7.1 Primärenergi**

Primärenergi är ett sätt att synliggöra hur mycket primära energiresurser som krävs under livscykeln från källa till användning. Primärenergi innebär energi som inte genomgått någon omvandling, några exempel är biobränsle och kol. När energi genomgår omvandling sker förluster, till exempel när el transporteras i elnätet och när fjärrvärme distribueras. Är dessa förluster höga så blir den primärenergianvändningen hög. Vid användning av spillflöden allokeras primärenergianvändningen på huvudprodukten. Energi från spillflöden ger därför en väldigt låg primärenergianvändning. För att beräkna primärenergianvändning divideras den tillförda energin med den nyttgjorda energin. Detta mått kallas primärenergifaktor (PEF). Ett mått på hur effektivt energin framställts. Beräkningarna är gjorda från vaggan till grind. (Gode et al., 2011)

### 3.7.2 Fjärrvärme

Fjärrvärme är den vanligaste uppvärmningsformen för flerbostadshus i Sverige, för småhus är användningen av fjärrvärme ungefär 11%. Fjärrvärme produktionen sker genom att vatten hettas upp i en stor anläggning och distribueras sedan till bostäder. Genom en värmeväxlare i eller i närheten av bostaden överförs värmen till bostadens värmesystem. Det vattenburna värmesystemet kan vara i form av radiatorer eller golvvärme, värmen används även till att hetta upp tappvarmvatten (Svensk fjärrvärme, 2017). Det finns flera olika sorters verk som värmen kan distribueras ifrån, kraftvärmeverk och värmeverk. I ett kraftvärmeverk produceras även el. Vattnen hettas upp med hjälp av eldning av olika material. Värmen kan också vara en restprodukt från fabrikers upphettningsprocesser. I Gävle är en stor del av fjärrvärmen från Korsnäs fabrik i Bomhus. Fjärrvärmen anses därför inte leda till så stora emissioner av växthusgaser då den värme som används till bostäder annars skulle gå förlorad. I det kraftvärmeverk där eldning sker används till största del grenar och toppar (GRoT), vilket är restprodukter från skogsindustrin. För fjärrvärmen i Gävle beräknas utsläppen av växthusgaser till 7,8g CO<sub>2</sub>/kWh och en primärenergifaktor 0,03.(Gävle energi,2017)

Sett ur ett perspektiv med en svensk mix beräknas emissioner av växthusgaser från fjärrvärme till 88,6 CO<sub>2</sub> ekv/kWh och primärenergifaktorn till 0,79 (Gode et al., 2011).

### 3.7.3 El

El används även för uppvärmning av bostäder. Att beräkna utsläppen av växthusgaser från el är svårt, då elen kan produceras på olika sätt och därför är utsläppen svåra att allokera. Elen som produceras i Sverige kommer till största del från vattenkraft och kärnkraft. Kärnkraft räknas inte som ett förnybart bränsle men ger väldigt låga emissioner. Vattenkraft räknas till förnybara bränslen det gör även el från vindkraft, kraftvärmeverk och solceller, vilket resterande del av den svenska elen kommer ifrån. Elen från kraftvärmeverk räknas till förnybara bränslen under förutsättningen att det eldas med biobränslen (Svensk energi, 2010).

Ett år med stor tillgång på vatten i magasinen klarar sig Sverige på den egna el produktionen, ett torrare år så måste det ske en viss import. (Svensk energi, 2016) Beräkningarna gjorda för svensk elproduktion där kompensation gjorts för import och export av fysisk el samt distributionsförluster i elnätet ger emissioner av växthusgaser på 36,4 CO<sub>2</sub> ekv/kWh och en primärenergifaktor på 2,1 (Gode et al., 2011).

Sverige är en del av den nordiska el marknaden, från den nordiska elmarknaden beräknas emissionerna av växthusgaser till 97,3 CO<sub>2</sub> ekv/kWh och en primärenergifaktor på 1,74 (Gode et al., 2011).

Den el som ger störst emissioner av växthusgaser kommer från kolkondens. Emissionerna av växthusgaser för denna el beräknas till 962,4 CO<sub>2</sub> ekv/kWh och har en primärenergifaktor på 2,9 (Gode et al., 2011).

#### **3.7.4 Bergvärmepump**

En värmepump använder sig av el, elen som tillförs en värmepump producerar mer värme än den el den tillförs, hur mycket mer den ger varierar beroende på vilken verkningsgrad den har. Verkningsgraden kallas även COP (Coefficient of Performance). En värmepump med COP 3, utvinner tre gånger så mycket värme som den tillförda elen. Bergvärmepumpen i denna studie har COP 3 då det är den vanligast förekommande verkningsgraden. Uppvärmning med värmepump räknas som eluppvärmning enligt BBR.

#### **3.7.5 Pellets**

Pellets eldas i en panna och ger genom vattenburet system värme åt bygganden. Pellets består av olika biprodukter från skogs- och träförädlingsindustrier. Dessa biprodukter i form av spån pressas samman till pellets. Pellets kan både eldas i stor skala (fjärrvärmeanläggning) och i liten skala (pelletspanna i byggnaden). Växthusgaserna för uppvärmning med pellets (i liten skala, verkningsgrad 0,8) beräknas till 14,4g CO<sub>2</sub> ekv/kWh och har en primärenergifaktor på 1,31. (Gode et al., 2011).

## 4 Resultat

### 4.1 Energi

Värmebehoven skiljer sig mellan de olika städerna belägna i olika klimatzoner enligt BBR. Karesuando som är lokaliserat långt norr ut i Sverige har det högsta värmebehovet. Trelleborg som är beläget längst söder ut i Sverige har ett betydligt lägre värmebehov. Detta för referenshuset så väl som för referenshuset med de olika tjocklekarna på tilläggsisoleringen. Den största reduktionen av värmebehovet sker mellan referenshuset och tilläggsisolering på 45mm. Se tabell 5.

Tabell 5. Värmebehov för olika klimatzoner och tjocklekar på tilläggsisolering i kWh/m<sup>2</sup>år.

	Värmebehov KZ I (Karesu- ando)	Värmebehov KZ II (Gävle)	Värmebehov KZ III (Jönkö- ping)	Värmebehov KZ IV (Trelle- borg)
Referenshuset	237	142	133	106
+45mm	222	132	123	98
+70mm	216	128	119	95
+95mm	212	125	117	93
+120mm	209	123	115	92
+145mm	206	121	113	90
+170mm	204	120	112	89

I tabell 6 visas BBRs krav för den specifika energianvändningen med eluppvärmningen och med annat uppvärmningssätt än el (Boverket, 2016) och den specifika energianvändningen för referenshuset med 170mm tilläggsisolering. Detta för de fyra olika klimatzonerna. I inget av fallen uppfylls BBRs krav.

Tabell 6. BBRs krav på specifik energi användningen och referenshusets specifika energianvändning vid 170mm tilläggsisolering, i de olika klimatzonerna. Detta visas i kWh/m<sup>2</sup>år.

	BBRs Krav annan än eluppvärmning	BBRs krav el upp- värmning	Specifik energian- vändning +170mm
Zon I	130	95	215
Zon II	110	75	129
Zon III	90	55	120
Zon IV	80	50	97

## 4.2 Minskade emissioner

De reducerade emissionerna per år skiljer sig åt beroende på tjockleken på isoleringen och vilket uppvärmningssätt referenshuset har. Tabell 7-10 visar de minskade emissionerna av växthusgaser till följd av minskat värmebehov för de olika tjocklekarna av tilläggsisolering i jämförelse med emissioner av växthusgaser för att tillgodose referenshusets värmebehov, detta under ett år. En tabell för varje klimatzon, från I till IV. Den störta reduktionen ger el från kolkondens medans fjärrvärme (Gävle) ger den minsta reduktionen.

Tabell 7. De minskade emissionerna per år vid tilläggsisolering för de olika uppvärmningssätten, klimatzon I. Detta visas i CO<sub>2</sub>ekv/år.

Minskade emissioner/år	Fjärrvärme (Gävle)	Fjärrvärme (svenskmix)	Svensk elmix	Nordisk elmix	Kolkondens el	Värmepump COP 3	Pellets
<i>Isoleringtjocklek</i>							
<b>+45mm</b>	12	140	58	154	1526	19	23
<b>+70mm</b>	17	189	78	208	2053	26	31
<b>+95mm</b>	20	226	93	248	2452	31	37
<b>+120mm</b>	22	255	105	280	2766	35	41
<b>+145mm</b>	25	278	114	306	3023	38	45
<b>+170mm</b>	26	297	122	326	3222	41	48

Tabell 8. De minskade emissionerna per år vid tilläggsisolering för de olika uppvärmningssätten, klimatzon II. Detta visas i CO<sub>2</sub>ekv/år.

Minskade emissioner/år	Fjärrvärme (Gävle)	Fjärrvärme (svenskmix)	Svensk elmix	Nordisk elmix	Kolkondens el	Värmepump COP 3	Pellets
<i>Isoleringtjocklek</i>							
<b>+45mm</b>	8	95	39	104	1031	13	15
<b>+70mm</b>	11	128	52	140	1386	18	21
<b>+95mm</b>	13	152	63	167	1654	21	25
<b>+120mm</b>	15	172	71	188	1864	24	28
<b>+145mm</b>	16	187	77	206	2035	26	31
<b>+170mm</b>	17	200	82	219	2169	28	32

Tabell 9. Det minskade emissionerna per år vid tilläggsisolering för det olika uppvärmningssätten, klimatzon III. Detta visas i CO<sub>2</sub>ekv/år.

Minskade emissioner/år	Fjärrvärme (Gävle)	Fjärrvärme (svenskmix)	Svensk elmix	Nordisk elmix	Kolkondens el	Värmepump COP 3	Pellets
<i>Isoleringstjocklek</i>							
<b>+45mm</b>	8	89	36	97	964	12	14
<b>+70mm</b>	11	119	49	131	1294	16	19
<b>+95mm</b>	13	142	58	156	1545	20	23
<b>+120mm</b>	14	160	66	176	1742	22	26
<b>+145mm</b>	15	175	72	192	1902	24	29
<b>+170mm</b>	16	187	77	205	2028	26	30

Tabell 10. Det minskade emissionerna per år vid tilläggsisolering för det olika uppvärmningssätten, klimatzon IV. Detta visas i CO<sub>2</sub>ekv/år.

Minskade emissioner/år	Fjärrvärme (Gävle)	Fjärrvärme (svenskmix)	Svensk elmix	Nordisk elmix	Kolkondens el	Värmepump COP 3	Pellets
<i>Isoleringstjocklek</i>							
<b>+45mm</b>	6	72	30	80	787	10	12
<b>+70mm</b>	9	97	40	107	1057	13	16
<b>+95mm</b>	10	116	48	127	1260	16	19
<b>+120mm</b>	12	131	54	143	1419	18	21
<b>+145mm</b>	13	143	59	157	1549	19	23
<b>+170mm</b>	13	152	62	169	1650	21	25

### 4.3 Återbetalningstid

Tiden det tar för emissionerna av växthusgaser, för att tillgodose värmebehovet för referenshuset, att bli mindre än emissionerna från uppvärmning av referenshuset tillsammans med emissionerna från livscykeln av tilläggsisoleringen (hädan efter återbetalningstid) varierar. Variationerna finns både mellan det olika uppvärmningssätten och det olika tjocklekarna på tilläggsisoleringen.

Tabell 11-14 visar hur lång återbetalningstid de olika isolerings-tjocklekarna har varje uppvärmningssätt. En tabell för varje klimatzon, från I till IV. Den kortaste återbetalningstiden ger uppvärmning med el från kolkondens och den längsta ger uppvärmning med fjärrvärme (Gävle).



Tabell 11. Återbetalningstiden för de olika uppvärmningssätten och tjocklekarna på isoleringen, klimatzon I. Detta visas i år.

Återbetalningstid	Fjärrvärme (Gävle)	Fjärrvärme (svenskmix)	Svensk elmix	Nordisk elmix	Kolkondens el	Värmepump COP 3	Pellets
<i>Isoleringtjocklek</i>							
<b>+45mm</b>	8,4	0,7	1,8	0,7	0,1	5,4	4,5
<b>+70mm</b>	9,6	0,8	2,1	0,8	0,1	6,2	5,2
<b>+95mm</b>	10,8	1,0	2,3	0,9	0,1	7,0	5,9
<b>+120mm</b>	12,1	1,1	2,6	1,0	0,1	7,8	6,5
<b>+145mm</b>	13,3	1,2	2,9	1,1	0,1	8,6	7,2
<b>+170mm</b>	15,0	1,3	3,2	1,2	0,1	9,6	8,1

Tabell 12. Återbetalningstiden för de olika uppvärmningssätten och tjocklekarna på isoleringen, klimatzon II. Detta visas i år.

Återbetalningstid	Fjärrvärme (Gävle)	Fjärrvärme (svenskmix)	Svensk elmix	Nordisk elmix	Kolkondens el	Värmepump COP 3	Pellets
<i>Isoleringtjocklek</i>							
<b>+45mm</b>	12,4	1,1	2,7	1,0	0,1	7,7	6,7
<b>+70mm</b>	14,2	1,2	3,0	1,1	0,1	8,9	7,7
<b>+95mm</b>	16,1	1,4	3,4	1,3	0,1	10,1	8,7
<b>+120mm</b>	17,9	1,6	3,8	1,4	0,1	11,3	9,7
<b>+145mm</b>	19,8	1,7	4,2	1,6	0,2	12,5	10,7
<b>+170mm</b>	22,2	2,0	4,8	1,8	0,2	14,1	12,0

Tabell 13. Återbetalningstiden för de olika uppvärmningssätten och tjocklekarna på isoleringen, klimatzon III. Detta visas i år.

Återbetalningstid	Fjärrvärme (Gävle)	Fjärrvärme (svenskmix)	Svensk elmix	Nordisk elmix	Kolkondens el	Värmepump COP 3	Pellets
<i>Isoleringtjocklek</i>							
<b>+45mm</b>	13,3	1,2	2,8	1,1	0,1	8,5	7,2
<b>+70mm</b>	15,2	1,3	3,3	1,2	0,1	9,8	8,2
<b>+95mm</b>	17,2	1,5	3,7	1,4	0,1	11,0	9,3
<b>+120mm</b>	19,2	1,7	4,1	1,5	0,2	12,3	10,4
<b>+145mm</b>	21,2	1,9	4,5	1,7	0,2	13,6	11,5
<b>+170mm</b>	23,8	2,1	5,1	1,9	0,2	15,3	12,9

Tabell 14. Återbetalningstiden för de olika uppvärmningssätten och tjocklekarna på isoleringen, klimatzon IV. Detta visas i år.

Återbetalningstid	Fjärrvärme (Gävle)	Fjärrvärme (svenskmix)	Svensk elmix	Nordisk elmix	Kolkondens el	Värmepump COP 3	Pellets
<i>Isoleringstjocklek</i>							
<b>+45mm</b>	16,3	1,4	3,5	1,3	0,1	10,8	8,8
<b>+70mm</b>	18,6	1,6	4,0	1,5	0,2	12,3	10,1
<b>+95mm</b>	21,1	1,9	4,5	1,7	0,2	13,9	11,4
<b>+120mm</b>	23,6	2,1	5,1	1,9	0,2	15,5	12,8
<b>+145mm</b>	26,0	2,3	5,6	2,1	0,2	17,0	14,1
<b>+170mm</b>	29,2	2,6	6,3	2,3	0,2	19,1	15,8

#### 4.4 Primärenergianvändning

Primärenergianvändningen skiljer sig åt för de olika värmebehoven och uppvärmningssätten. I tabell 17- 18 visas den beräknade primärenergianvändningen utifrån värmebehovet för referenshuset och referenshusets värmebehov med de olika tjocklekarna av tilläggsisolering. En tabell för varje klimatzon, från I till IV. Den överlägset lägsta primärenergianvändningen ger Fjärrvärme (Gävle), sen kommer värmepump COP 3. Den högsta primärenergianvändningen ger el kolkondens.

Tabell 15. Primärenergianvändning för de olika värmebehoven, klimatzon I. Detta visas i kWh primärenergi.

Primärenergi- användning	Fjärrvärme (Gävle)	Fjärrvärme (svenskmix)	Svensk elmix	Nordisk elmix	Kolkondens el	Värmepump COP 3	Pellets
<b>Referenshus</b> (238)	7,1	188	499	413	689	166	311
<b>+45mm</b> (222)	6,7	175	465	386	643	155	290
<b>+70mm</b> (216)	6,5	171	454	376	627	151	283
<b>+95mm</b> (212,)	6,4	167	445	369	615	148	278
<b>+120mm</b> (209)	6,3	165	438	363	605	146	273
<b>+145mm</b> (206)	6,2	163	433	359	598	144	270
<b>+170mm</b> (204)	6,1	161	428	355	592	143	267

Tabell 16. Primärenergianvändning för de olika värmebehoven, klimatzon II. Detta visas i kWh primärenergi.

Primärenergi- användning	Fjärrvärme (Gävle)	Fjärrvärme (svenskmix)	Svensk elmix	Nordisk elmix	Kolkondens el	Värmepump COP 3	Pellets
<b>Referenshus</b> (142)	4,3	112	299	248	413	100	186
<b>+45mm</b> (132)	4,0	104	276	229	382	92	172
<b>+70mm</b> (128)	3,8	101	269	223	371	90	168
<b>+95mm</b> (125)	3,8	99	263	218	363	88	164
<b>+120mm</b> (123)	3,7	97	258	214	356	86	161
<b>+145mm</b> (121)	3,6	96	254	211	351	85	159
<b>+170mm</b> (120)	3,6	95	252	208	347	84	157

Tabell 17. Primärenergianvändning för de olika värmebehoven, klimatzon III. Detta visas i kWh primärenergi.

Primärenergi- användning	Fjärrvärme (Gävle)	Fjärrvärme (svenskmix)	Svensk elmix	Nordisk elmix	Kolkondens el	Värmepump COP 3	Pellets
<b>Referenshus</b> (132,6)	4,0	105	279	231	385	93	174
<b>+45mm</b> (122,6)	3,7	97	28	213	356	86	161
<b>+70mm</b> (119,2)	3,6	94	250	207	346	83	156
<b>+95mm</b> (116,6)	3,5	92	245	203	338	82	153
<b>+120mm</b> (114,6)	3,4	91	241	199	332	80	150
<b>+145mm</b> (112,9)	3,4	89	237	196	327	79	148
<b>+170mm</b> (112)	3,4	88	234	194	324	78	146

Tabell 18. Primärenergianvändning för de olika värmebehoven, klimatzon IV. Detta visas i kWh primärenergi.

Primärenergi- användning	Fjärrvärme (Gävle)	Fjärrvärme (svenskmix)	Svensk elmix	Nordisk elmix	Kolkondens el	Värmepump COP 3	Pellets
<b>Referenshus</b> (106)	3,2	84	223	185	308	74	139
<b>+45mm</b> (98)	2,9	78	206	171	285	69	129
<b>+70mm</b> (95)	2,9	75	200	166	276	67	125
<b>+95mm</b> (93)	2,8	74	196	162	270	65	122
<b>+120mm</b> (92)	2,8	72	192	159	266	64	120
<b>+145mm</b> (90)	2,7	71	189	157	262	63	118
<b>+170mm</b> (89)	2,7	70	187	155	256	62	117

## 5 Diskussion

### 5.1 Resultat

Fjärrvärme (Gävle) är det uppvärmningssätt som ger lägst emissioner av växthusgaser per kilowattimme. Det är därför också det uppvärmningssättet som ger minst differens i emissioner av växthusgaser vid tilläggsisolering. Fjärrvärme (Gävle) är det uppvärmningssättet som har längst återbetalningstid. En aspekt att ta i beaktning är den sparade energin vid tilläggsisoleringen, då den till stor del i Gävle är spillvärme, annars skulle gå förlorad. Fabriken skulle få hitta andra sätt att kyla ner sin restvärme. Ett sätt att göra det är att kyla ner den med havsvatten vilket ökar temperaturen i vattnet och dessutom påverkar växter och djur.

Den direktverkande elen från kolkondens och nordisk elmix ger störst emissioner av växthusgaser, i synnerhet direktverkande el från kolkondens. Dessa två uppvärmningssätt ger störst differens i emissioner av växthusgaser vid tilläggsisolering och har kortast återbetalningstid ur ett klimatpåverkansperspektiv. Värmepumpen nyttjar i studien svensk elmix, vilken har de lägsta emissioner av växthusgaser av de tre olika el alternativen. Uppvärmning av med värmepump ger de näst lägsta emissionerna av växthusgaser. En installation av värmepump för det två andra el alternativen skulle göra stor skillnad för emissionerna av växthusgaserna för att tillgodose värmebehovet. Klimatpåverkan av livscykeln för värmepumpen bör då tas i beaktning.

Elen energi som sparas kan användas till mycket annat, den sparade värmen har däremot inte lika många användningsområden. Ett sätt att spara på jordens resurser skulle vara att i så liten utsträckning som möjligt att använda el för uppvärmning, elen behövs för att ladda telefonen och för att få lampan att lysa. Tillvaratagande av spillvärme i största möjliga mån för uppvärmningen är framtiden. Problemet med är att alla inte ha tillgång till fjärrvärme, till exempel på grund av avstånd till fjärrvärmeanläggning.

BBRs krav på specifik energianvändning som finns vid nybyggnad och som ska eftersträvas även vid ändring uppfylls inte i något av fallen. Det U-värdesriktlinjer som finns när inte den specifika energianvändningen kan uppfyllas, är uppfyllda i fallen med 145mm och 170mm tilläggsisolering. För att få detta referenshus till ett näronnenergihus skulle det krävas omfattande åtgärder på hela klimatskalet. Dessa åtgärder skulle i sig leda till emissioner av växthusgaser i form av materialtillverkning, transport och arbete. Frågan är om dessa åtgärder skulle "löna sig" miljömässigt.

Primärenergianvändningen ger andra resultat än emissioner av växthusgaser i frågan om vilket uppvärmningssätt som är det ”bästa”. Fjärrvärme (Gävle) har lägst primärenergiaktorn och ger därför en väldigt låg primärenergianvändning. De tre olika el typerna får högst primärenergianvändning. Turordningen vilket uppvärmningssätt som är ”bäst” skiljer sig från om man tittar på emissioner av växthusgaser och primärenergianvändning. Kraven på minskad energianvändningen kanske inte bara ska fokusera på hur många kilowattimmar per år och kvadratmeter som används om det är klimatpåverkan som ska minskas. BBRs krav gör skillnader på eluppvärmning och annan användningen men studien visar stora variationer även i dessa två grupper. Beroende på vilket uppvärmningssätt som byggnaden använder skulle det mest klimatsmarta kunna vara att byta uppvärmningssätt istället för att tilläggsisolera.

## **5.2 Tidigare studier**

Pajchrowski et al. (2014) studie visar att energiförbrukningen är den största källan till negativ klimatpåverkan för en byggnad över tid. Denna studie visar att övertid har energianvändningen en större påverkan på klimatet än isoleringen. Erlandsson et al. (1997) studie visar att tilläggsisoleringen har en liten förorenande effekt jämfört med de sparade utsläppen för tilläggsisolering och att återbetalningstiden bara är några år. Denna studie är gjord på ett flerfamiljshus beläget i Oslo, uppvärmt med fjärrvärme med emissioner av växthusgaser i likhet med den svenska mixens (fjärrvärme) emissioner. Resultaten för återbetalningstiden för detsamma uppvärmningssättet i denna studie stämmer överens. Vilket skulle kunna tolkas som att denna studie är applicerbar på hus av olika utformningar. Detta på grund av att värmebehovet beräknas per kvadratmeter.

## **5.3 Genomförande**

Referenshuset valdes till ett hus byggt på 1960-talet då en miljon bostäder byggdes då var av ungefär en tredje del var små hus, en stor del av Sveriges småhusbestånd är därför byggda under denna period.

All typ av energiproduktion påverkar miljön men på olika sätt. Studien har gjorts på växthusgaser då energiproduktion huvudsakligen ger emissioner av dessa.

Jämförelsen som gjordes för primärenergianvändningen för de olika uppvärmningssätten och värmebehoven sattes inte i relation till isoleringen. Det blir inte jämförbart då isoleringens livscykel innehåller mer än energi.

Då bara direktverkande el kan användas för att tillgodose behovet av fastighetsel, användes värmebehovet för att beräkna emissioner av växthusgaser från uppvärmning. Den specifika energianvändningen beräknades för att kontrollera den mot BBRs krav.

Valet av uppvärmningssätt och isoleringsmaterial gjordes baserat på vad som är vanligt förekommande.

Studien är gjord på Högskolan i Gävle, fjärrvärmen i Gävle anses väldigt ”ren” då den till stor del kommer från spillvärme från Billerud Korsnäs fabrik i Bomhus. Denna typ av uppvärmning togs med i studien för att synliggöra skillnaden mellan två olika typer av fjärrvärme. Gävle är inte unikt utan det finns även andra orter med så ”ren” fjärrvärme. Det finns också orter som har betydligt större emissioner av växthusgaser från fjärrvärme och högre primärenergifaktor. Alla bostäder har inte tillgång till fjärrvärme, beroende på vart det finns framdraget och hur långt från plusten där fjärrvärmen distribueras som bostaden är belägen.

## 6 Slutsatser

Det skiljer sig hur mycket emissioner av växthusgaser användningen av det olika uppvärmningssätten beräknas ge. Det skiljer sig också hur mycket värmebehovet sjunker beroende på hur tjock isoleringen är. På så vis skiljer det sig också hur mycket emissionerna av växthusgaser minskar vid tilläggsisolering för det olika uppvärmningssätten och isolerings-tjocklekarna.

Återbetalningstiden varierar för de olika isolerings-tjocklekarna och uppvärmningssätten. Den kortaste återbetalningstiden är bara 0,1 år medans den längsta är 29,2 år. Vid uppvärmning med el är återbetalningstiden som högst några år för samtliga isolerings-tjocklekar och klimatzoner.

Referenshuset placerat i klimatzon IV (Trelleborg) har ett mindre värmebehov än referenshuset placerat i klimatzon 1 (Karesuando). Emissionerna av växthusgaser minskas mer för referenshuset i Karesuando på grund av det högre värmebehovet än för referenshuset i Trelleborg. Det återbetalningstiden varierar i de olika klimatzonerna men det är samma ordningsföljd för vilket uppvärmningssätt som tar längst respektive kortast tid.

Primärenergianvändningen ger en annan synvinkel på uppvärmningssätten, vilket som är det bättre och det sämre är dock det samma.

Inget av fallen med olika tjocklekar på tilläggsisolering i de olika klimatzonerna uppnår BBRs krav på specifik energianvändning. För att uppnå dessa krav krävs många omfattande åtgärder på klimatskalet.

Det största differensen av emissioner görs vid tilläggsisolering med 45mm mineralull, differensen är störst i Karesuando och minst Trelleborg. Återbetalningstiden följer samma mönster. Den längsta återbetalningstiden, vilken fås för fjärrvärme (Gävle) med 170mm tilläggsisolering, är 29,2 år. Livslängden för tilläggsisoleringen är 60 år och för fasaden 40 år. Sätt till isoleringens livslängd är det bästa ur ett klimatpåverkansperspektiv att tilläggsisolera med 170mm. Även om man väger in aspekten att isoleringen bytts ut när fasaden behöver bytas så lönar det sig ur ett klimatpåverkansperspektiv. En avvägning bör dock göras vad det finns för användningsområde för den energi som sparas.



## Referenser

- Abel, E. & Elmroth, A. (2006). *Byggnaden som system*. Stockholm: Formas
- Baumann, H. & Tillman, A. (2004). *The hitchhiker's guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application*. Lund: Studentlitteratur.
- Björk, C., Nordling, L. & Reppen, L. (2013). *Så byggdes villan svensk villaarkitektur från 1890 till 2010*. Johanneshov: MTM.
- BFS 2016:6. *Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd)*. Hämtad 24 april, 2017, från Boverket,  
<http://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsolidera-d-bbr-2011-6-tom-2016-6.pdf>
- Boverket (2015). *Förslag till svensk tillämpning av nära-nollenergibyggnader*. Karlskrona: Boverket. Från:  
<http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2015/forslag-till-svensk-tillampning-av-nara-nollenergibyggnader-2.pdf>
- Boverket (2009). *Så mår våra hus*. Hämtad 4 april, 2017, Från  
<http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2009/sa-mar-vara-hus/>
- Boverket. (2012) *Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler*. Karlskrona: Boverket. Från:  
<http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2012/handbok-for-energihushallning-enligt-boverkets-byggregler.pdf>
- Brown, N. W. O., Malmqvist, T., Bai, W., & Molinari, M. (2013). Sustainability assessment of renovation packages for increased energy efficiency for multi-family buildings in Sweden. *Building and Environment*, 61, 140-148. doi: 10.1016/j.buildenv.2012.11.019
- Burström, P.G. (2001). *Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund: Studentlitteratur.
- Erlandsson, M., Levin, P., & Myhre, L. (1997). Energy and environmental consequences of an additional wall insulation of a dwelling. *Building and Environment*, 32(2):129-136. doi:10.1016/S0360-1323(96)00041-8

Gode, J. Hagberg, L. Höglund, J. Martinsson, F. Palm, D. Öman, A. (2011). Miljöfaktaboken 2011: Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter. Stockholm: VärmeforskService AB. Från <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/17907/miljoefaktaboken-2011-vaermeforskrappport-1183.pdf>

Gävle Energi (2017). *Miljövärden*. Hämtad 4 april, 2017, från <http://www.gavleenergi.se/for-gavle/miljovarden/miljovarden/>

Hemgren, P. & Wannfors, H. (2003). *Husets ABC: [konstruktion & material, installationer & säkerhet, sköta, reparera & förbättra, steg-för-steg-anvisningar]*. (1. utg.) Västerås: Ica.

Jozef, M., Emília, H., Juraj, L., & Jozef, Š. (2016). Quantification of Improvement in Environmental Quality for Old Residential Buildings Using Life Cycle Assessment. *Sustainability*, 8(12), 1303. doi:10.3390/su8121303

Pajchrowski, G., Noskowiak, A., Lewandowska, A., & Strykowski, W. (2014). Materials composition or energy characteristic – what is more important in environmental life cycle of buildings?. *Building and Environment*, 72, 15-27. doi: 10.1016/j.buildenv.2013.10.012

Pombo, O., Rivela, B., & Neila, J. (2016). The challenge of sustainable building renovation: Assessment of current criteria and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, 123, 88-100. doi:10.1016/j.jclepro.2015.06.137

Sandin, K. (2010). *Praktisk byggnadsfysik*. (1. uppl.) Lund: Studentlitteratur.

Statens Energimyndighet. (2007). *Energimyndighetens roll i miljömålssystemet*. Stockholm: Statens Energimyndighet. Från [http://www.miljomal.se/Global/24\\_las\\_mer/rapporter/miljomalsradet/fu-08/underlagsrapporter-sektor/underlag-sektorsmyndighet-fu08-energimyndigheten.pdf](http://www.miljomal.se/Global/24_las_mer/rapporter/miljomalsradet/fu-08/underlagsrapporter-sektor/underlag-sektorsmyndighet-fu08-energimyndigheten.pdf) )

Statens Energimyndighet. (2009). *Att tilläggsisolera hus: fakta, fördelar och fallgropar*. Stockholm: Statens Energimyndighet. Från <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=2829>

Svensk energi. (2010). *Den svenska elens miljöpåverkan*. Stockholm: svensk energi. Från <http://www.svenskenergi.se/Global/Dokument/publikationer/Bild-Den-svenska-elens-miljopaverkan.pdf>

Svensk energi. (2016) hämtad 15 april, 2017, från <http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Miljo-och-klimat/Klimatpaverkan/Hur-mycket-koldioxid-medfor-din-elanvandning/>

Svenskfjärrvärme (2005). *Fjärrvärme- helt enkelt!* Hämtad 10 april, 2017, från <http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Broschyrer/Fjarrvarme%20-%20helt%20enkelt.pdf>

The Norwegian EPD Foundation (2014). *Environmental product declaration*. Från: [http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/244\\_ISO-VER-UNI-skiva-35.pdf](http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/244_ISO-VER-UNI-skiva-35.pdf)

