



CHALMERS



Lönsamhet vid energieffektivisering av ett flerfamiljshus

En undersökning av lönsamheten hos energisparande åtgärder av klimatskalet på ett flerfamiljshus.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

Erika Benjaminsson

Linn Pusa

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023

www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Lönsamhet vid energieffektivisering av ett flerfamiljshus

En undersökning av lönsamheten hos energisparande åtgärder av klimatskalet på ett flerfamiljshus

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ERIKA BENJAMINSSON

LINN PUSA

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2023

Lönsamhet vid energieffektivisering av ett flerfamiljshus

En undersökning av lönsamheten hos energisparande åtgärder av klimatskalet på ett flerfamiljshus

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ERIKA BENJAMINSSON

LINN PUSA

© ERIKA BENJAMINSSON, LINN PUSA, 2023

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2023

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Foto på studerad byggnad, Näcken 12 i Trollhättan.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2023

Lönsamhet vid energieffektivisering av ett flerfamiljshus

En undersökning av lönsamheten hos energisparande åtgärder av klimatskalet på ett flerfamiljshus

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

ERIKA BENJAMINSSON

LINN PUSA

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Bygg- och fastighetssektorn står idag för 34 procent av energianvändningen i Sverige, där uppvärmning är den största faktorn. Det finns ett stort behov av att bygga nya energisnåla bostäder men för att nå klimatmålen i Sverige och EU krävs även att den befintliga bebyggelsen minskar sin energianvändning. För att detta ska bli verklighet krävs att energieffektiviserande åtgärder vidtas, de bör även vara ekonomiskt lönsamt och gynna fastighetsägaren. Syftet med examensarbetet har därför varit att undersöka om energieffektivisering av klimatskalet på en specifik byggnad är ekonomiskt lönsamt, med målet att ta fram en rekommendation för vilka energieffektiviserande åtgärder som bör vidtas för en långsiktig ekonomisk vinst.

I detta examensarbete undersöks lönsamheten vid energieffektivisering av en befintlig byggnad från år 1952. Den aktuella byggnaden, Näcken 12, är ett flerfamiljshus, lokaliserat i Trollhättan som förvaltas av Lundqvist Byggförvaltning. De energieffektiviserande åtgärder som undersökts är tilläggsisolering av tak och ytterväggar samt byte av fönster och dörrar. Resultatet är baserat på litteraturstudier, ritningsunderlag, tidigare energideklaration och egna mätningar som har gjorts med energisimuleringsprogrammet EnergyPlus, där både den befintliga byggnaden och samtliga åtgärder simulerats. Lönsamhetsberäkningar har gjorts för hand och med datorverktyget Total Concept. Känsligheten hos några av de ingående faktorerna har även undersökts: energipriset, energianvändning och investeringskostnaden.

Energisimuleringarna visar att tilläggsisolering av taket är den effektivaste åtgärden och minskar energianvändningen med 21,3 procent. Därefter kommer fönsterbyte som minskar energianvändningen med 13,4 procent. LCC-beräkningarna har gjorts utifrån sex olika scenarion, varav två värsta fall. Resultatet visar att endast tilläggsisolering av vindbjälklag med 300 mm isolering är lönsamt genom samtliga scenarion. Slutsatsen som dras är därför att den enda rekommendation som kan lämnas för byggnaden är att tilläggsisolera taket. Dessutom visar resultatet att den parameter vars känslighet påverkar lönsamheten mest är energipriset.

Nyckelord: Energieffektivisering, klimatskal, lönsamhet, LCC, flerbostadshus

Profitability when improving the energy efficiency of a multi-family house

An investigation of the profitability for energy-saving measures in the buildings envelope of a multi-family building

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

ERIKA BENJAMINSSON

LINN PUSA

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

ABSTRACT

The building sector is responsible for 34 percent of the energy use in Sweden, where heating is the largest factor. There is a great need to build new energy-efficient homes, but in order to reach the climate goals in Sweden and the EU, it is also required that the existing buildings reduce their energy use. For this to be possible it is required that the energy efficiency measures are economically profitable and benefit the property owner. The aim of the thesis has therefore been to investigate if energy efficiency improvement of the climate envelope is economically profitable, with the goal of producing a recommendation for which energy efficient measures should be taken for a long-term financial gain.

In this thesis, the profitability of energy efficiency improvements of an existing building from 1952 is investigated. The building, Näcken 12, is an apartment building located in Trollhättan and managed by Lundqvist Byggförvaltning. The energy-efficient measures investigated are additional insulation of the roof and external walls and replacement of windows and doors. The result is based on literature studies, drawings and previous energy declarations and has been produced with the help of the energy simulation program EnergyPlus, where both the existing building and all measures are simulated. LCC-calculations have been made by hand and with the computer tool Total Concept, where the sensitivity of some of the included factors were also investigated: the energy price, energy use and the investment costs.

The energy simulations show that additional insulation of the roof is the most effective measure and can reduce energy use by 21.3 percent, followed by window replacement which can reduce energy use by 13.4 percent. The LCC calculations have been made based on six different scenarios, of which two are worst cases. The result shows that only additional insulation of the roof is profitable in all of the scenarios. The conclusion is therefore that the only recommendation given for the building is to additionally insulate the roof. The result also shows that the parameter whose sensitivity affects the profitability the most is the energy price.

Key words: Energy efficiency, buildings envelope, profitability, LCC, apartment buildings.

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	III
Innehåll	IV
Förord	VII
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	1
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Precisering av frågeställning	2
1.5 Metodik	2
2 Teori	4
2.1 Klimatskalets delar och funktioner	4
2.1.1 Ytterväggar	4
2.1.2 Yttertak	4
2.1.3 Ytterdörr	5
2.1.4 Fönster	5
2.1.5 Grund	5
2.1.6 Köldbrygga	6
2.1.7 Lufttäthet	7
2.2 Värmetransport genom klimatskalet	7
2.2.1 Värmeledningsförmåga	7
2.2.2 Värmemotstånd	7
2.2.3 Värmegenomgångskoefficient	8
2.2.4 Värmeflöde	9
2.2.5 Energibehov	9
2.3 Mål, regler och krav	10
2.3.1 EU	10
2.3.2 Sverige	10
2.3.3 Energikrav	11
2.4 Energieffektiviserande åtgärder	11
2.4.1 Tilläggsisolering	12
2.4.2 Renovering och byte av fönster och dörrar	13
2.5 Ventilation	14
2.5.1 Självdragsventilation	15
2.5.2 Frånluftsventilation	15
2.5.3 Från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning	16
2.6 Värmesystem	16
2.6.1 Värmepump	16
2.6.2 Fjärrvärme	16
2.7 Dataprogram och beräkningsmetoder	17
2.7.1 LCC-kalkyl	17
2.7.2 EnergyPlus	18
2.7.3 Revit	18
2.7.4 OpenStudio	18
3 Näcken 12	20
3.1 Befintlig konstruktion	20
3.1.1 Väggekonstruktion	20

3.1.2	Takkonstruktion	21
3.1.3	Grundkonstruktion	21
3.1.4	Dörrar och fönster	21
3.2	<i>Energideklaration</i>	22
3.3	<i>Övriga fakta om byggnaden</i>	23
3.4	<i>Indata till LCC-beräkningar</i>	23
3.4.1	Investeringskostnader	23
3.4.2	Energipriser	25
3.4.3	Kalkylperiod	25
4	Resultat	26
4.1	<i>U-värden</i>	26
4.1.1	Befintlig byggnad	26
4.1.2	Tilläggsisolering av yttervägg (100mm och 200mm isolering)	27
4.1.3	Tilläggsisolering av tak	28
4.1.4	Byte av fönster och dörrar	28
4.2	<i>Energianvändning för uppvärmning</i>	29
4.3	<i>LCC-Kalkyl</i>	30
4.3.1	Känslighetsanalys	30
4.3.2	Energipris 2021	30
4.3.3	Energipris 2018	32
4.3.4	Investeringskostnader ökar med 10 procent	33
4.3.5	Energianvändning ökar med 10 procent	35
4.3.6	Investeringskostnad och energianvändning ökar med 10 procent	37
4.3.7	Investeringskostnad och energianvändning ökar med 10 procent med energipris från 2018	39
4.3.8	Sammanställning av LCC-resultat	40
5	Diskussion	42
5.1.1	Felanalys	42
5.1.2	Resultatanalys	43
6	Slutsats	45
6.1.1	Vilka åtgärder minskar energianvändningen mest?	45
6.1.2	Vilken/vilka åtgärd är mest lönsam?	45
6.1.3	Vilken parameter påverka lönsamheten mest?	45
6.1.4	Rekommendation	46
7	Referenser	47
8	Bilagor	50

Förord

Denna rapport motsvarar 15 högskolepoäng och är det avslutande momentet på vår utbildning till högskoleingenjörer inom Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola.

Vi vill tacka David Hansson och Jesper Andén från PE teknik och arkitektur som stöttat arbetet samt försett oss med underlag och fakta kring den undersökta byggnaden. Vi vill även rikta ett stort tack till Alex Arnoldo Gonzalez Caceres som guidat oss genom hela arbetet och ställt upp med kort varsel varje gång vi behövt stöttning.

Göteborg maj 2023
Erika Benjaminsson
Linn Pusa

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Bygg- och fastighetssektorn står i dagsläget för hela 34 procent av den totala energianvändningen i Sverige (Boverket, u.å.a). År 2020 motsvarade detta cirka 101 TWh. Den använda energin kan härledas till tre huvudsakliga kategorier: uppvärmning, nybyggnad och förvaltning. Av dessa tre är uppvärmningen den absolut största faktorn och motsvarar hela 73 procent av sektorns totala energianvändning.

Det finns flera olika krav, regler och rekommendationer vad gäller energieffektiviteten både vid nybyggnation och vid ändring av befintlig bebyggelse (Boverket, u.å.b). Reglerna kan delas in i tre kategorier som syftar till att byggnaden ska vara tillräckligt isolerad, ha god energihushållning samt begränsad elanvändning. Det finns även stränga klimatmål både i EU och i Sverige som medför att även bygg- och fastighetssektorn kommer behöva ställa om. Eftersom den största delen av sektorns energianvändning härleds till uppvärmningen av byggnader är det här som störst skillnad kommer kunna göras.

Behovet av att bygga nya energisnåla byggnader är därmed mycket stort, men för att uppnå de klimatkrav och mål som finns idag måste även befintlig byggnation förbättras och få minskad energianvändning. Det är viktigt att ta vara på den redan bebyggda miljön men för att motivera till att energieffektivisera befintlig byggnation krävs att åtgärderna är ekonomiskt gynnsamma för fastighetsägaren.

De senaste åren har energipriserna ökat kraftigt till följd försämrade möjligheter att importera den energi som behövs (Energimyndigheten, u.å). Detta beror till stor del på kriget i Ukraina. När energipriserna går upp ökar dock motivationen till att vidta energieffektiviserande åtgärder eftersom det finns mer pengar att spara på att minska energianvändningen. Därför fokuserar detta arbete på att undersöka om fastighetsägare kan gynnas ekonomiskt genom att vidta energieffektiviserande åtgärder av klimatskalet.

1.2 Syfte och mål

Syftet är att undersöka om energieffektivisering av klimatskalet på en specifik byggnad är ekonomiskt lönsamt samt att visa vilka åtgärder som bör vidtas för att gynnas ekonomiskt. I arbetet jämförs olika energieffektiviserande åtgärder av klimatskalet för att kunna peka ut den åtgärd som är mest lönsam. För att säkerställa att resultatet är tillförlitligt görs en känslighetsanalys av några av de ingående faktorerna i lönsamhetsberäkningen.

Målet är att ta fram en rekommendation med hög trovärdighet för vilka energieffektiviserande åtgärder som bör vidtas för en långsiktig ekonomisk vinst.

1.3 Avgränsningar

På grund av arbetets omfattning krävs att vissa avgränsningar görs. Därmed kommer endast energieffektivisering vid renovering av klimatskalet att undersökas och inte byte av installationstekniska lösningar, såsom värmesystem och ventilation.

Arbetet begränsar sig även till en specifik fastighet och anpassas endast efter denna byggnad och dess placering.

1.4 Precisering av frågeställning

- Vilka åtgärder minskar energianvändningen mest?
- Vilken åtgärd är mest lönsam?
- Vilken parameter påverkar lönsamheten mest?

1.5 Metodik

Projektet har genomförts i flera olika steg. Till en början samlades all den fakta som är nödvändig för projektets genomförande in. Information om allt ifrån uppbyggnaden av klimatskalet och möjliga energieffektiviserande åtgärder till information om olika programvaror sammanställdes. Därefter samlades även information kring den specifika byggnaden som använts i projektet in genom ritningar och annat underlag som tillhandahållits av David Hansson från PE teknik och arkitektur.

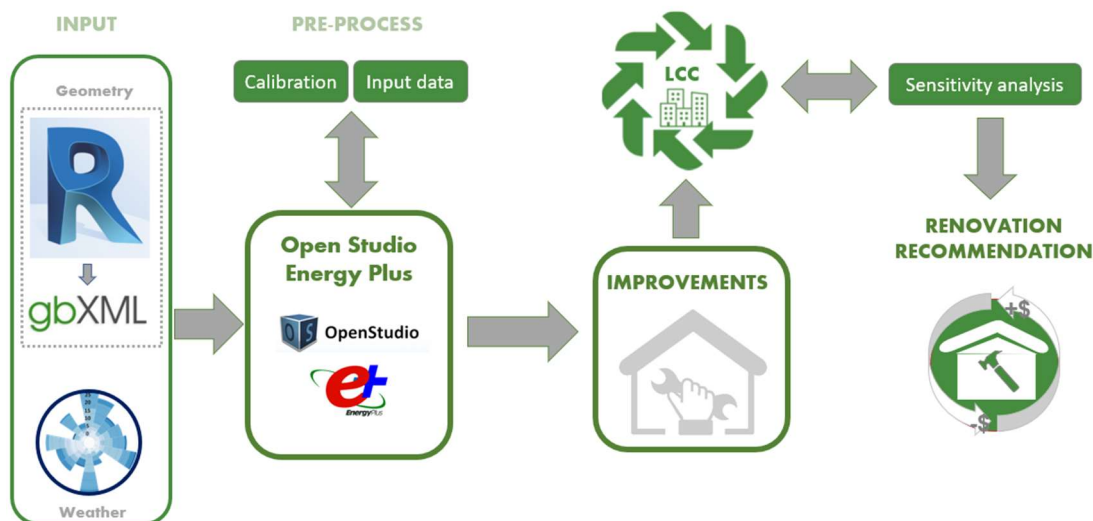
När all nödvändiga fakta sammanställts påbörjades modelleringen av byggnaden. Detta gjordes i Revit och 3D-modellen exporterades sedan till ett gbxml-format för att kunna öppnas i OpenStudio. I OpenStudio matas all indata in såsom geometri, geografisk placering, byggnadsmaterial och lagerföljder, uppvärmningssätt, ventilationstyp, antal personer i byggnaden och så vidare. När all indata matats in genomfördes slutligen simuleringarna i EnergyPlus.

Simuleringarna har genomförts i sex omgångar. Den första simuleringen är gjord utifrån byggnadens nuvarande förutsättningar och jämförs med den energideklaration som tidigare gjorts på byggnaden för att säkerställa att resultatet är tillförlitligt. Därefter har fem simuleringar genomförts för att undersöka de olika energieffektiviserande åtgärderna. De åtgärder som genomförts är tilläggsisolering av tak, utvändigt tilläggsisolering av vägg i två steg (100 mm, samt 200 mm isolering), fönsterbyte samt byte av dörrar.

Resultatet av energisimuleringarna har sedan sammanställts. Främst är det mängden energi som går till uppvärmningen som utvärderats, men även byggnadsmaterialens U-värden innan och efter renoveringarna har undersökts. Därefter har LCC-beräkningarna genomförts för att utvärdera lönsamheten för respektive åtgärd.

LCC-beräkningarna har genomförts med två olika metoder: handberäkningar och Total Concept. Dem har även utförts från sex olika scenarion för att säkerställa

resultatets trovärdighet. Det första scenariot utgår ifrån att alla indata, såsom investeringskostnader, energipris och energianvändning, stämmer och är konstanta över tid. För att testa känsligheten i detta resultat har fem ytterligare scenarier tagits fram utifrån att investeringskostnaderna, energipriset eller energianvändningen kan ändras. Därefter har dessa även testats i kombination med varandra för att säkerställa att resultatet är tillförlitligt.



Figur 1 Egen illustration av metodik.

Figur 1 ovan visar en illustration över metodiken som använts i arbetet för att tydliggöra de olika stegen. Som tidigare nämnts gjordes alltså först en 3D-modell av byggnaden i Revit, denna fil exporteras sedan till ett filformat kallat gbXML som är anpassat för energisimuleringsprogram. Denna fil, tillsammans med en väderfil innehållande information om vädret på platsen, laddas sedan in i OpenStudio. I detta program matas även all annan indata från byggnaden som kan påverka energianvändningen in. När all indata är inmatad genomförs en simulering med hjälp av EnergyPlus. Efter detta genomförs de olika renoveringarna en och en och nya simuleringar görs för varje åtgärd. Utifrån detta kan sedan lönsamheten beräknas med hjälp av LCC-beräkningar (Life Cykel Cost). Eftersom flera av de ingående parametrarna kan ändras genomförs sedan en känslighetsanalys av investeringskostnader, energipris och energianvändning. Detta för att i slutändan kunna lämna en rekommendation med hög trovärdighet för vilka energieffektiviserande åtgärder som bör vidtas för en långsiktig ekonomisk vinst.

2 Teori

I detta avsnitt presenteras den grundläggande teori som projektet innefattar. Syftet är att skapa en övergripande kunskap kring använda program, metoder samt en byggnads energianvändning och dess klimatskal.

2.1 Klimatskalets delar och funktioner

Med klimatskal menas de yttre delarna av en byggnad, det vill säga fönster, dörrar, tak, ytterväggar och grund. Det är dessa delar som bestämmer storleken på värmeförlusterna. Noggrant byggda och välisolerade byggnader har också mindre värmeförluster genom klimatskalet. I detta avsnitt presenteras generella fakta kring klimatskalets olika delar och dess funktioner.

2.1.1 Ytterväggar

Ytterväggar ska fylla en rad olika funktioner. Utöver att de ska fungera värmeisolerande, ska de också skydda mot regn, vind, fukt, ljud och brand (Strandberg, B. 2016). De ska även, i många fall, fungera som ett bärande element. På grund av ytterväggens många funktioner innehåller den vanligtvis ett flertal olika material. Utifrån och in bör väggen innehålla: Ett utvändigt skikt som skyddar mot regn, vindskydd, värmeisolering, ett luft- och ångtätt skikt samt ett invändigt ytskikt. Dessutom ska den innehålla bärande element som dimensioneras utefter om den ska bära hela husets last eller bara sin egen.

För att ytterväggen ska ha en god värmeisolerande förmåga krävs dels att tjockleken av isolering är tillräcklig, dels att värmeledningsförmågan hos materialet är tillräckligt låg (Strandberg, B. 2016). Mineralull är det absolut vanligaste materialet att isolera med som tack vare de många luftfyllda hålrummen har en låg värmeledningsförmåga och därmed en bra isoleringsförmåga. Vidare är det även viktigt att isoleringen monteras utan spalter och springor samt att väggen har ett tillräckligt vindskydd och god lufttäthet för att den värmeisolerande funktionen ska bli bra.

Enligt Strandberg B (2016) har vindpåverkade luftrörelser genom isoleringen en negativ inverkan på isoleringsförmågan och därför krävs ett vindskydd. Även luftläckage har negativ påverkan på isoleringsförmågan, därav det lufttätande skiktet. Detta skikt skyddar även mot fuktkonvektion som kan orsaka fuktskador i konstruktionen.

2.1.2 Yttertak

Yttertak kan uppföras i mängder av olika utföranden (Strandberg, B. 2016). Former, lutningar och bärverk kan alla tre varieras och komponeras till oändligt många varianter. Man brukar dock dela in tak i två huvudgrupper, kalla och varma tak. Ett kallt tak har ett ouppvämt och oisolerat vindsutrymme vilket gör att yttertaket ungefär har samma temperatur som uteluften. Värmeisoleringen ligger då i vindbjälklaget. I ett varmt tak ligger värmeisoleringen i yttertaket och värmen som kommer inifrån kan smälta snön på takets utsida.

Yttertakets inverkan på en byggnads värmeisolering varierar såklart med hur stor andel av den omslutande arean det består av (Strandberg, B. 2016). Exempelvis är taket på en villa en större del av den omslutande arean än taket på ett stort flerfamiljshus. Oftast isoleras ett vindsbjälklag vid kallt tak med skivor av mineralull eller lösullsisolering av mineralull, alternativt cellulosa-fibrer. Varma klimatavskiljande tak isoleras även dessa ofta med skivor av mineralull, alternativt cellplast.

2.1.3 Ytterdörr

Tekniskt sett är ytterdörren även en vägg och har samma tekniska egenskapskrav på sig som denne (Strandberg, B. 2016). Den ska stå emot fukt, ljud och brand samtidigt som den ska vara värmeisolerande och även gå att öppna. Dörren kan ha flera olika utföranden både vad gäller ytskikt, öppningsätt och mått.

2.1.4 Fönster

Den viktigaste och mest självklara funktionen hos fönster är att föra in dagsljus i byggnaden (Strandberg, B. 2016). Fönstret behöver dock också skydda mot regn, ljud och brand samt vara lufttätt. Värmemotståndet i fönstret är ofta mycket sämre än i övriga delar av klimatskalet och kan ofta jämföras med ett hål i en välisolerad vägg. Mängden energi som ett fönster i söderläge tar emot är ofta större än förlusterna genom samma fönster, dock är problemet att tillförseln av solenergi ofta är som störst när värmebehovet i byggnaden är som minst. Därav är placeringen väldigt viktig för att minska energiförlusterna.

Placeringen av fönstren i väggen har även betydelse för de tekniska egenskaperna (Strandberg, B. 2016). Ett indraget fönster har exempelvis många fördelar, dels då det hamnar i den varmare delen av väggen, dels då det blir mer skyddat mot regn och även mot solinstrålning. Fogen är dock oftast den svagaste länken i klimatskärmen. Om det inte är lufttätt sker mycket värmeläckage här.

För att undvika stort värmeläckage kan en tvåstegstätning av fogen vara att föredra (Strandberg, B. 2016). Det innebär att man regntätar ytterst och placerar lufttätningen längre in i fogen. Regntätningen utgörs vanligtvis av en plåtavtäckning medan lufttätningen oftast består av en gummilist placerad mellan fönsterkarmen och väggstommen. Återstående tomrum tätas därefter med mineralull och utanför detta lämnas en luftspalt som verkar tryckutjämnande samt fungerar som en dräneringskanal ifall vatten tränger in.

2.1.5 Grund

Beroende på vilken typ av grund som byggnaden står på krävs olika typer av åtgärder (Strandberg, B. 2016). De huvudsakliga grundläggningarna är kryppgrund, platta på mark, plintgrund och källare. Oavsett valet av grundläggning måste grundkonstruktionen klara av de skiftningar i fukt och temperatur som sker i marken. Isoleringen ska skapa förutsättningar för att

minska energiförbrukningen samt bidra till ett kvalitativt inomhusklimat. Just isoleringen i grunden är extra viktig eftersom byggnaden har direkt kontakt med marken här. Det mest effektiva för att undvika köldbryggor är en utvändig och obruten isolering. Grunden behöver även vara lufttät för att minska energibehovet i byggnaden och undvika drag.

Krypgrunder kan uppföras utifrån två olika grundtekniker, uteluftsventilerad samt inneluftsventilerad (Strandberg, B. 2016). Uteluftsventilerade krypgrunder är vanligt på äldre byggnader. Murstockarna till eldstäderna gick då ned i krypgrunden vilket medförde att den blev uppvärmd samt relativt väl ventilerad. Dock kan varm och fuktig utomhusluft kondensera i kryprummet under sommarhalvåret vilket medför att man sällan bygger med denna teknik nuförtiden. Inneluftsventilerade krypgrunder ska i princip ha samma temperatur som inne i huset. Den varma inneluften leds ned i krypgrunden och värmer den för att sedan ledas ut via en frånluftsfläkt med värmeåtervinningsaggregat.

En platta på mark innebär att plattan med förstyvade balkar, placerade under bärande väggar, placeras direkt på marken (Strandberg, B. 2016). Metoden kan användas på alla typer av mark men det är viktigt att marken är tillräckligt dränerad för att inte leda fukt in i konstruktionen.

Plintgrunder innebär att bjälklaget läggs på grundbalkar eller bärlinor som sedan placeras på plintar som bär ned lasten från byggnaden punktvis (Strandberg, B. 2016). Marken behöver vara fast för att kunna bära lasterna och plintarna kan därmed ställas på berg eller på grundplattor.

Källargrunder kräver ett bra fuktskydd eftersom de är belägna under mark och väggarna behöver dimensioneras för jordtrycket (Strandberg, B. 2016). Golvet i källaren uppförs likadant som vid en platta på mark.

2.1.6 Köldbrygga

Köldbryggor orsakas av lokala förändringar i klimatskärmens utformning vilket medför ett ökat värmeflöde jämfört med övriga delar av byggnaden (Petersson, 2013). Dessa lokala förändringar uppstår exempelvis då en konstruktionsdetalj med dålig värmeisolering går igenom en med bättre värmeisolering eller då tjockleken i klimatskärmen ändras. Det kan också uppstå när en större yta är riktad mot kall sida, exempelvis som i hörn eller vid övergångar mellan tak, grund och vägg.

I byggnadsdelar kan exempelvis reglar, balkar och murkramlor utgöra köldbryggor (Petersson, 2013). I anslutningar bildas tvådimensionella värmeflöden vilket även det kan bilda köldbryggor. Det handlar exempelvis om anslutningar mellan vägg och grund, vägg och tak, vägg och fönster och så vidare. När två ytterväggar möts och bildar ett utvändigt hörn uppkommer ett tredimensionellt värmeflöde och alltså bildas även här en köldbrygga.

Köldbryggors inverkan på en byggnads genomsnittliga värmegenomgångskoefficient (U) varierar beroende på utformningen samt

graden av isolering (Pettersson, 2013). Påverkan varierar från allt mellan 5 och 20 procent.

2.1.7 Lufttätthet

Lufttättheten anger mängden luft som kan strömma genom en konstruktion och är inte endast betydande för den termiska komforten eller fuktsäkerheten i byggnaden utan spelar även stor roll vad gäller energiförbrukningen (Strandberg, B. 2016). För att kunna åstadkomma låg energiförbrukning i en byggnad krävs det att den har mycket hög lufttätthet.

Lufttätthet skapas genom att förse hela insidan på en konstruktion, inklusive anslutningar med ett lufttätt skikt (Pettersson, 2013). Detta skikt kan exempelvis bestå av heltäckande lufttät folie eller papper på träregelkonstruktioner. Lufttätthet åstadkoms även genom att konstruktionen är helgjuten eller tätt murad utan otätheter och sprickor, exempelvis vid platsgjuten betongkonstruktion eller murade konstruktioner. Konstruktionens insida bör även tätas i förekommande skarvar genom exempelvis tätning av fogarna mellan de förtillverkade betongelementen eller mellan olika byggnadsdelar.

2.2 Värmetransport genom klimatskalet

Värmetransport sker i material och konstruktioner från delar med högre temperatur till delar med lägre temperatur (Pettersson, 2013). Denna värmetransport sker på ett flertal olika sätt som bör tas hänsyn till vid studier av de termiska förhållandena i material och konstruktioner. Detta är viktigt vid både dimensionering och utformning av nya byggnader, samt även vid underhåll och drift av befintliga byggnader.

2.2.1 Värmeledningsförmåga

Värmeledningsförmåga benämns ofta som värmekonduktivitet och betecknas med lambda, λ (Pettersson, 2013). Värmeledningsförmågan beskriver ett materials förmåga att leda värme och anger den värmemängd som passerar en kvadratmeter av ett material med en tjocklek på en meter, då temperaturdifferensen över materialet är en grad. Enheten är W/mK.

I fasta homogena material utan porer, som exempelvis metaller, transporteras värme enbart genom ledning. I material som däremot innehåller både fast material och porer med gas eller vätska sker värmetransport både genom strålning och konvektion (Pettersson, 2013).

2.2.2 Värmemotstånd

Värmemotstånd betecknas med R, och beskriver isoleringsförmågan hos ett materialskikt (Pettersson, 2013). Enheten är m^2/W . Värmemotståndet beräknas genom att materialets värmeledningsförmåga inverteras och multipliceras med materialets tjocklek enligt:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (1.1)$$

Där R_i = enskilda materialskiktets värmemotstånd ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)
 d_i = enskilda materialskiktets tjocklek (m)
 λ_i = enskilda materialets värmeledningsförmåga (W/mK)

En hel konstruktions värmemotstånd R ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) bestående av en mängd olika delskikt från inneryta till ytteryta beräknas genom att summera de enskilda materialskiktens värmemotstånd enligt:

$$R = R_i = R_1 + R_2 + R_3 \dots \quad (1.2)$$

Där R_1, R_2, R_3 o.s.v. är respektive materialskiktets värmemotstånd ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)

För att beräkna värmemotståndet för byggnadskonstruktioner som väggar, tak, golv, etcetera måste hänsyn tas till värmeövergångsmotstånd vid ytor som är i kontakt med luft, vilket är en konsekvens av konvektivt värmeutbyte och strålningsutbyte med omgivningen (Petersson, 2013). Vanligtvis antas medelvärden på dessa värmeövergångsmotstånd:

$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ för konstruktioners innerytor
 $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ för konstruktioners yttertor

Dessa värden för övergångsmotstånd inkluderas i beräkningen för en konstruktions totala värmemotstånd som betecknas R_T ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$). Detta beskriver värmemotståndet i de ingående delarna av byggnadens klimatskal från inneluft till uteluft. Det vanligaste är att byggnadsdelen är uppbyggd av homogena materialskikt, placerade vinkelrätt mot flödesriktningen. Om detta är fallet definieras det totala värmemotståndet enligt:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se} \quad (1.3)$$

2.2.3 Värmegenomgångskoefficient

Värmegenomgångskoefficient benämns vanligen som U-värde och beskriver en byggnadsdels isoleringsförmåga (Petersson, 2013). Enheten är $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Ju lägre U-värdet är, desto bättre isolerad är byggdelen. U-värdet beräknas genom att summan av de ingående materialskiktens värmemotstånd inverteras enligt:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1.4)$$

Värmeisolering i klimatskärmen är mycket viktigt för byggnadens energihushållning eftersom den begränsar transmissionsförlusterna (Petersson, 2013). Denna värmeisolering definieras av den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten, U_m ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$). Denna beskriver värmeförluster genom de ingående delarna i byggnadens klimatskal som tak, väggar, fönster,

golv, etcetera inklusive köldbryggor. Den genomsnittliga värmeomgångskoefficienten definieras enligt:

$$U_m = \frac{\sum U_{korr,i} \times A_i + \sum \Psi_k \times l_k + \sum \chi_j}{A_{om}} \quad (1.5)$$

Där $U_{korr,i}$ = värmeomgångskoefficient för byggnadsdel i (W/m²K)
 A_i = area för byggnadsdel i yta mot uppvärmd inneluft (m²)
 Ψ_k = värmeomgångskoefficient för linjära köldbryggor k (W/m²K)
 l_k = längden av den linjära köldbryggor k mot uppvärmd inneluft (m)
 χ_j = Värmeomgångskoefficient för punktformiga köldbryggor j (W/K)
 A_{om} = totalt omslutande area som gränsar mot uppvärmd inneluft (m²)

2.2.4 Värme flöde

Värme flödet genom en byggnadsdel betecknas med Q och innebär transport av värmeenergi på grund av temperaturskillnad (Petersson, 2013). Enheten är W.

Värme flödet på grund av värmeledning beräknas genom att värmeomgångskoefficienten multipliceras med den aktuella temperaturdifferensen på luften inomhus och utomhus, och även med den aktuella ytans area enligt:

$$Q = U \times (T_i - T_e) \times A \quad (1.6)$$

Där T_i = aktuell inomhustemperatur (K)
 T_e = aktuell utomhustemperatur (K)
 A = area på aktuell yta (m²)

2.2.5 Energibehov

En byggnads energibehov avser den värmeenergi som går åt för en byggnads normalt brukande under ett år, exempelvis från uppvärmning och övrigt energibehov (Petersson, 2013). Enheten för byggnads energianvändning är kWh/år. Energibehov innebär den värmeenergi som behövs för att balansera byggnads värme förluster. Dessa värme förluster är transmissions förluster, ventilations förluster, infiltrations förluster vilka beror på luftläckage genom klimatskalet, energiåtgång för tappvarmvatten, samt energi för distributions- och regler förluster, fläktar och fastighetsel. Dessa värme förluster vägs upp till en viss del med hjälp av värmeåtervinning från ventilationsluften, samt från värmestillskott från exempelvis varmvatten, personvärme, hushållsel och solstrålning. Det totala energibehovet Q_T (Wh) definieras därför enligt:

$$Q_T = Q_{trans} + Q_{vent} + Q_{infiltr} + Q_{tvv} + Q_{dr,el} + Q_{åv} + Q_{tillskott} \quad (1.7)$$

Där

- Q_{trans} = transmissionsförluster inklusive köldbryggor (W)
- Q_{vent} = ventilationsförluster (W)
- $Q_{infiltr}$ = infiltrationsförluster (W)
- Q_{tvv} = energiåtgång för uppvärmning av tappvarmvatten (W)
- $Q_{dr,el}$ = distributions- och reglerförluster, fläktar, fastighetsel (W)
- $Q_{äv}$ = värme som tillgodogörs från värmeåtervinning av ventilationsluft (W)
- $Q_{tillskott}$ = värme som tillgodogörs från värmertilskott (W)

2.3 Mål, regler och krav

Människor spenderar i genomsnitt omkring 90 procent av sin tid inomhus är byggnader något som verkligen spelar roll när det kommer till energianvändning och därmed klimatmålen (Boverket, u.å.c). För att nå de mål som finns kring energi i EU och i Sverige är det därmed viktigt att bostadsbranschen tar sitt ansvar och inte bara bygger nytt med bra energiprestanda utan även energieffektiviserar befintlig byggnation. Bygg- och fastighetsbranschen står för 34 procent av Sveriges totala energianvändning vilket även det visar på att det här finns mycket att göra (Boverket u.å). I detta avsnitt presenteras de mål som finns gällande energianvändning i EU och i Sverige samt även vilka regler och krav som gäller vid nybyggnation och ombyggnation av flerbostadshus i Sverige.

2.3.1 EU

EU:s övergripande mål är att bekämpa klimatförändringarna genom en reducerad energianvändning samt att nå nettonollutsläpp år 2050 (Europaportalen, 2013). För att nå klimatmålen har man även satt upp etappmål, det huvudsakliga fokuset ligger i nuläget på att nå delmålen till 2030.

I EU finns tre huvudsakliga klimatmål fram till 2030 (Europaportalen, 2013). Dessa är att minska utsläppen av växthusgaser med minst 55 procent jämfört med år 1990, minska energianvändningen med minst 32.5 procent samt att 32 procent av all energi ska komma från förnybara källor. EU-kommissionen lade år 2021 fram ett paket med förslag på hur dessa mål ska kunna nås. Förslag går bland annat ut på att skärpa lagstiftningen samt att utöka handeln med utsläppsrättigheter så att fler delar ingår, exempelvis byggnader.

2.3.2 Sverige

I Sverige antogs år 2017 ett klimatpolitiskt ramverk innehållande en klimatlag, nya klimatmål samt ett klimatpolitiskt råd (Energimyndigheten, 2022a). Klimatlagen ser till att både nuvarande och kommande regeringar ansvarar för att bedriva en politik utifrån klimatmålen. Varje år ska även en klimatredovisning presenteras vilken möjliggör uppföljning av klimateffekterna.

Klimatmålen har man, på samma sätt som i EU, delat upp i etappmål. Det långsiktiga målet, att uppnå nettonollutsläpp, har man satt som mål att klara av

till år 2045 (Energimyndigheten, 2022a). Till 2030 ska man ha sänkt utsläppen med 63 procent jämfört med 1990.

2.3.3 Energikrav

Det finns krav och regler gällande bostäders energianvändning. I Plan- och Bygglagen (2010) finns bland annat krav på byggnadens tekniska egenskaper som är av betydelse för energihushållning och värmeisolering. Vid nybyggnation ska dessa krav alltid uppfyllas medan det vid ombyggnation och ändring av byggnader kan göras avsteg från dem.

I PBF 3 kap. 14 § förtydligas vad som krävs för att uppfylla kraven om energihushållning och värmeisolering. Där framgår bland annat att byggnaden ska ha mycket effektiv användning av energi och att den energi som tillförs mestadels bör komma från förnybara energikällor. Byggnaden ska också vara utrustad med en klimatskärm vilken garanterar bra värmeisolering. Dessutom ska byggnaden ha goda egenskaper vad gäller elhushållning.

Vid renovering eller ombyggnad av byggnader får inte energianvändningen påverkas negativt. Undantag kan ges om speciella skäl föreligger, exempelvis om det krävs för att skapa en god inomhusmiljö (Boverket, 2020). Om byggnaden inte uppfyller de krav som ställs om ett primärenergital på 75 [kWh/m² A_{temp} och år] ska man vid renovering av klimatskärmen sträva efter de U-värden som sammanställts i Tabell 1 nedan.

Tabell 1 Redovisning av U-värden som bör eftersträvas vid ändring av klimatskärm enligt BFS 2011:26.

U _i	U-värde [W/m ² K]
U _{tak}	0,13
U _{vägg}	0,18
U _{golv}	0,15
U _{fönster}	1,2
U _{ytterdörr}	1,2

2.4 Energieffektiviserande åtgärder

Enligt Naturvårdsverket (u.å) är energieffektivisering vid ombyggnad av byggnader en mycket viktig åtgärd för att Sverige ska kunna nå miljömålen och minska sektorns miljöpåverkan. Med energieffektivisering menas att man med hjälp av olika åtgärder gör användningen av energi mer effektiv. Det kan vara med hjälp av tekniska åtgärder eller beteendeförändringar. Genom energieffektivisering kan man påverka både energikostnaderna och miljön under flera år framåt.

2.4.1 Tilläggsisolering

Tilläggsisolering innebär att isoleringstjockleken för en specifik byggnadsdel i klimatskalet ökas (Andersson et al., 2009). Tilläggsisolering ställer krav på byggnadens tekniska förutsättningar och innebär risk för kondens och fuktskador. Det är viktigt att tilläggsisoleringen görs på ett korrekt sätt, lufttätt och med rätt materialval.

2.4.1.1 Tilläggsisolering av vind

I äldre hus sker ungefär 15 procent av all värmeförlust genom taket, vilket gör att vindisolering har stor potential till minskad energianvändning (Energimyndigheten, 2022b). Många äldre hus har vindisolering med tjocklek på 50 - 150 mm, och i dagens byggnorm rekommenderas isoleringen vara mellan 500 - 600 mm. Tilläggsisoleringen kan göras genom exempelvis isolering i skivform eller genom att spruta lösull över vindsbjälklaget.

Vid tilläggsisolering av vinden kommer temperaturen i vindsutrymme att sjunka, vilket ökar risken för kondensbildning (Energimyndigheten, 2022b). För att undvika detta är det viktigt att ha en fungerande ventilation så att fukten transporteras bort. Det är även viktigt att vindsbjälklaget är ordentligt tätat, vilket oftast görs vid takluckor och genomföringar som ventilationskanaler och rör.

Enligt Andersson et al. (2009) är tilläggsisolering av vindsbjälklag den mest effektiva och lönsamma energisparåtgärden. Detta beror på att många äldre hus har mycket tunn isolering och det lönar sig då snabbt att lägga till några centimeter isolering. Åtgärden är även kostnadseffektiv. Enligt Lundstedt (2008) är adderad isolering i vindsbjälklaget en bra investering för att minska en stor del av den totala uppvärmningskostnaden i en byggnad. Åtgärden anses även vara relativt enkel och går att vinna tillbaka inom en tänkbar tid.

2.4.1.2 Tilläggsisolering av yttervägg

Tilläggsisolering av en yttervägg kan ske på olika sätt, där de vanligaste är invändig och utvändig tilläggsisolering (Nevander & Elmarsson, 1994). De olika alternativen sänker energianvändningen i byggnaden men däremot så påverkas även fuktförhållandena på olika sätt. Invändig tilläggsisolering innebär att isoleringen monteras på insidan av ytterväggen, vilket medför en minskad bostadsarea i byggnaden (Andersson et al., 2009). Denna metod innebär även att den befintliga väggen blir kallare, vilket kan leda till fuktproblem. Utvändig fukt från exempelvis slagregn torkar inte lika fort på grund av det minskade värmeläckaget från väggen och vid invändig isolering tjockare än 45 mm finns risk för frostsprängning.

Vid utvändig tilläggsisolering placeras isoleringen på utsidan av den befintliga ytterväggen (Nevander & Elmarsson, 1994). Med denna typ av tilläggsisolering lämnas den befintliga väggen på insidan av isoleringen, vilket medför ett torrare klimat då temperaturen ökar. Enligt Andersson et al. (2009) är utvändig

tilläggsisolering att föredra eftersom det är säkrare ur fukt- och energisynpunkt. Den gamla väggen blir torrare och det blir inte heller några köldbryggor vid anslutningar till innerväggar och bjälklag. Nackdelen med utvändigt tilläggsisolering är att huset kan påverkas negativt då fönstren kryper in i fasaden, väggen hänger utanför grundplattan och takfoten blir kortare (Andersson et al. 2009). Detta kan åtgärdas genom att flytta ut fönstren mot den nya fasaden, bredda grunden och förlänga takfoten. Enligt Nevander & Elmarsson (1994) kräver utvändigt isolering en större arbetsinsats och för att den ska vara ekonomiskt försvarbar bör utsidan av fasaden planerats att genomgå en renovering.

2.4.1.3 Tilläggsisolering av golv och källare

Tilläggsisolering av golv är möjlig i hus med torpargrund, kryppgrund eller hus på plintar, medan tilläggsisolering av källare endast är effektivt om källaren är uppvärmd (Andersson et al., 2009). I äldre hus är det även vanligt med kalldrag längs golven, vilket ofta beror på att luft tar sig in genom otätheter och springor längs med golv och väggar. Detta kan åtgärdas genom att isolera golvet och installera tilluftsventiler.

Tilläggsisolering av golv och källare kan ge upphov till fuktproblem i källaren, då fukt kommer genom golv och väggar till följd av dålig dränering (Energimyndigheten, 2022c). Det är ofta nödvändigt med ny dränering i samband med tilläggsisolering och vilken typ av isoleringsmetod och dränering som bör användas beror på husets grundläggning. Vid isolering av hus med kryppgrund tilläggsisoleras golvbjälklaget, vilket innebär att luften i kryppgrunden blir kallare och risken för fuktskador ökar. Detta kan motverkas med exempelvis dränering och tätning mot markfukt och även med tilläggsisolering av kryppgrundens väggar och markytan.

Vid isolering av platta på mark krävs utvändigt dränering och tilläggsisolering med kantbalksisolering runt om huset (Energimyndigheten, 2022c). Enligt Andersson et al. (2009) bör isoleringen ligga under plattan, vilket gör att det blir mycket svårt och i princip omöjligt att tilläggsisolera platta på mark.

2.4.2 Renovering och byte av fönster och dörrar

Ungefär en tredjedel av värmen uppskattas försvinna genom fönstren på en byggnad med äldre tvåglasfönster eller dåligt isolerade fönster (Energimyndigheten, 2022d). Dålig isolering bidrar även till kallras och en sämre inomhuskomfort. Den enklaste åtgärden, enligt Energimyndigheten (2022d), är att täta runt fönster och dörrar med nya tätningslister. Den mer energieffektiva lösningen är att öka fönster och dörrars isoleringsvärde, vilket kan göras genom att antingen renovera eller byta ut dem.

För hus där fönsterkarm och båge är i gott skick, eller då huset har kulturhistoriskt värde, kan det i stället vara lämpligt att renovera fönstren (Energimyndigheten, 2022d). Man kan då behålla fönstret och komplettera med ett energiglas på fönstrets insida eller byta ut glaset mot energiglas eller

isolerglas. Med denna åtgärd kan värmeförlusterna halveras utan att byggnadens utseende förändras.

Om de befintliga fönstren är i dåligt skick eller har högt U-värde är den lönsammaste åtgärden att byta ut dem helt till nya treglasfönster (Krögerström, 2007). Denna lösning bidrar till en minskad energiförbrukning, minskade koldioxidutsläpp samt ett förbättrat inomhusklimat. Utöver treglasfönster kan man även använda energieffektiva fönster bestående av inbyggd isolerruta och dubbelglas med innesluten ädelgas. Med denna åtgärd kan man uppnå en förbättring av isoleringsförmåga som är ungefär dubbelt så bra som treglasfönster och tre gånger så bra som tvåglasfönster. Nackdelen med dessa energieffektiva fönster är den höga investeringskostnaden. Enligt Zethraeus (1999) är ett fönsterbyte ekonomiskt försvarbart om de ändå ska bytas på grund av slitage, renovering eller ombyggnation. Om byggnaden består av fullgoda tvåglasfönster är det lönsammaste alternativet att montera en extraruta som i de flesta fall spar pengar, energi och ger en förbättrad inomhusmiljö.

För att göra en byggnads klimatskal mer energieffektivt är det även viktigt att ytterdörren har ett lågt U-värde och är lufttät (Brandén & Joelsson, 2006). Om den befintliga dörren är i relativt bra skick eller bidrar till husets estetiska eller kulturhistoriska värde kan värmeförlusten minskas genom att komplettera ytterdörren med ett extra dörrblad eller nya innerdörrar.

Om den befintliga ytterdörren är i mycket dåligt skick eller om byggnadens klimatskal ska genomgå en renovering är det klokt att byta ytterdörren mot en ny energieffektiv ytterdörr (Dinbyggare, u.å). Ett problem är att de flesta ytterdörrar är gjorda i trä som rör sig vid användning och temperaturväxlingar. Efter lång användning finns risk att dörren blir sned, otät och med stora glipor som släpper igenom både kyla och fukt. Detta kan vara en bidragande faktor till att byta ut mycket gamla dörrar. Det är även viktigt att se till att materialet i den nya dörren inte förändras med olika väderförhållanden. Nya ytterdörrar är oftast isolerade med cellplast, vilket är ett material med bra isoleringsförmåga och med en tillräckligt tjock isolering blir dörren även stabil och håller formen. Nya dörrar bör även ha ett U-värde på mindre än $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ och de flesta energieffektiva ytterdörrar har ett U-värde mellan $0,6 - 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$, beroende på om det är glas i dörren. Det framgår att ett byte av ytterdörr ofta inte är kostnadseffektivt utifrån endast energibesparing, men vid renovering kan det vara en effektiv åtgärd.

2.5 Ventilation

Syftet med ventilering är att tillföra frisk luft till en byggnad samt även att föra bort fukt och förorenad luft (Boverket, 2023). I vissa fall ska ventilationen även värma eller kyla luften i en byggnad. I en bostad ska frisk luft föras in i de rum som människor vistas i under en längre tid, såsom vardagsrum och sovrum, medan i de rum som folk befinner sig en kortare tid kan luften genomströmma från andra rum (Svensk ventilation, u.å.a). Luft förs även ut från de rum där föroreningar är som störst, exempelvis kök och badrum. En korrekt utformad

ventilation är viktig för både människan och byggnadens hälsa och målet är att göra ventilationen så effektiv som möjligt till lägst möjliga energikostnad.

Gällande ventilation finns det krav på energianvändning, luftkvalitet, luftflöde och fuktsäkerhet i Boverkets byggregler, BBR, avsnitt 6. I Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation (2014) framgår att en helhetsbedömning bör göras gällande byggnadens förutsättningar för ventilationens funktion. Det förutsätts att luftkvaliteten och luftflödet ska anpassas efter personbelastningen i rummet eller byggnaden. Enligt de allmänna råden ska även förorenad tilluft ses som en indikation på att ventilationen och luftkvaliteten är bristfällig, vilket kan bero på olämplig placering av luftintag, mikrobiologisk tillväxt, kemiska reaktioner, smuts eller icke fungerande värmeväxlare i systemet. Bristar när det kommer till ventilation kan ge upphov till byggnadsrelaterade hälsobesvär, oönskad lukt, eller dålig luftkvalitet.

2.5.1 Självdragsventilation

Självdragsventilation eller ett så kallat S-system fungerar genom att ett ventilationsflöde skapas med hjälp av temperaturskillnader mellan inomhusluften och utomhusluften (Boverket, 2023). Den varma luften stiger i frånluftskanalerna på grund av densitetsskillnader och skapar då ett undertryck i byggnaden och ny luft kan sugas in genom ventiler eller otätheter i klimatskalet (Svensk ventilation, u.å.b). Självdragsventilation fungerar därför utan fläktar och drivs endast av termiska krafter. Luftomsättningen beror på temperaturskillnaden och höga utomhustemperaturer på sommaren resulterar i att inga luftmängder omsätts och det blir då ingen ventilation alls.

Självdragssystem är vanligt i äldre småhus och flerfamiljshus byggda innan år 1976, men är mindre vanliga idag (Boverket, 2023). Detta beror på att ventilationssättet är svårt att förena med energieffektivt byggande och uppfyller oftast inte de gällande BBR-kraven. Systemet kan även uppfattas problematiskt då det upplevas dragigt på vintern och kvavt på sommaren, beroende på utetemperaturen (Svensk ventilation, u.å.b).

2.5.2 Frånluftsventilation

Frånluftsventilation kallas även F-system och fungerar genom att en mekanisk fläkt leder ut frånluften och skapar ett undertryck i byggnaden (Boverket, 2023). Tilluften kommer in i byggnaden med uteluftsventiler som är placerade i väggen och förser byggnaden med frisk luft där det behövs.

Fördelen med frånluftssystem är att den är billig och enkel att installera (Svensk ventilation, u.å.c). Nackdelen med systemet är att uteluften oftast inte renas tillräckligt och upplevs kall under vintertid. Däremot installerar man idag oftast tilluftsdon försedda med filter så de största föroreningarna kan avskiljas. Dessutom kan även kallras och drag undvikas på detta sätt. Enligt Boverket (2023) är frånluftsventilation utan värmeåtervinning svårt att förena med energisnålt byggande och uppfyller sällan kraven enligt BBR.

2.5.3 Från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning

Ett till- och frånluftssystem, FTX-system, har två fläktar där den ena trycker in tilluft i byggnaden och den andra suger ut frånluften (Boverket, 2023). Systemet har även värmeåtervinning och en värmeväxlare som ser till att en del av värmen i inneluften återvinns. På detta sätt sparas energi från uppvärmning då ungefär 50 - 80 procent återvinns och inneklimatet blir förbättrat.

Fördelarna med ett FTX-system är att det inte är beroende av vädret och ger upphov till en upplevd behaglig luftväxling året om, med minimal risk för kallras (Svensk ventilation, u.å.d). En nackdel är att systemet kräver separata kanaler, vilket blir en större investering än övriga ventilationssystem. Studier visar däremot att återbetalningstiden för ett FTX-system är ungefär 3 - 5 år, på grund av systemets energieffektivitet. Förutom detta har ventilationssystemet även effektiva filter som filtrerar bort många föroreningar i luften.

2.6 Värmesystem

En byggnads värmesystem har till uppgift att skapa ett behagligt inomhusklimat under de kallare tiderna på året, vad gäller lufttemperatur, temperaturgradient, strålningsförhållanden och luftflöde (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Ungefär 80 procent av en bostads elkostnad kommer från uppvärmning och varmvatten (vattenfall, 2019). Valet av värmesystem beror på ekonomi, systemets krav på underhåll, dess miljöpåverkan, samt typen av hus och tomt.

2.6.1 Värmepump

En värmepump tar vara på värme från luften, vattnet, jorden eller bergen, och förflyttar värmen från en plats till en annan (Tekniska museet, 2022). En luftvärmepump hämtar värme från uteluften eller ventilationssystemets frånluft. Det är även vanligt att värmepumpen hämtar värme från jorden, berg eller en sjö. I dessa fall används en kollektor, vilket är en lång slang som innehåller en vattenblandning av exempelvis vatten och köldmedium eller arbetsmedium.

En värmepump kan utvinna ungefär fyra gånger så mycket värmeenergi som den förbrukar (Tekniska museet, 2022). Detta innebär att behovet av elektricitet till uppvärmningen minskar avsevärt jämfört med direktverkande el, vilket minskar både elkostnad och miljöpåverkan. Däremot påstår kritiker att om effektiviteten vid tillverkning av elektricitet är dålig så blir inte miljövinningen så stor. Ur miljöperspektiv är det därför fördelaktigt om systemet drivs av förnybara resurser som vatten- eller vindkraft.

2.6.2 Fjärrvärme

Fjärrvärme är den vanligaste uppvärmningskällan i Sverige och värmer upp mer än hälften av alla bostäder och lokaler (Rydegren, 2018). Fjärrvärme fungerar genom att varje fastighet får sin värme från en lokal gemensam anläggning, i stället för att alla fastigheter har en egen värmekälla. För att sprida värme till alla de fastigheter som är uppkopplade till fjärrvärmenätet värms vatten upp i ett

fjärrvärmeverk och transporteras i ett system av isolerade rör i marken. I varje fastighet leds vattnet till en fjärrvärmecentral där det finns värmeväxlare som utnyttjar det heta vattnet för att värma upp element och kranvatten (Energimarknadsbyrån, 2020).

Efter att varmvattnet utnyttjats i byggnaden har det kylts ner och leds då tillbaka till fjärrvärmeverket för att återanvändas och värmas upp på nytt (Energimarknadsbyrån, 2020). I värmeverket används olika bränslen för att värma upp vattnet, exempelvis rester från skogsavverkning, överskottsvärme från industrier och avfall. Vattnet värms upp till mellan 70 och 120 grader, beroende på årstid, väder och lokalisering.

2.7 Dataprogram och beräkningsmetoder

Det är nödvändigt att använda olika datorprogram och beräkningsmetoder för att ta fram resultat. Nedan presenteras samtliga av dessa som kommer att användas under projektets gång.

2.7.1 LCC-kalkyl

LCC står för Life Cycle Cost eller livscykelkostnad och kan användas för att beräkna lönsamheten av en energieffektiviserande investering (Energimyndigheten, 2017). Man jämför investeringsalternativet med alternativet att inte göra något alls för att på så sätt kunna avgöra om åtgärden är lönsam eller inte. Detta görs genom att jämföra summan man sparar på den sparade energin över livslängden med vad investeringen kostar, förenklat kan detta beräknas enligt:

$$LCC = \text{sparad energi} \left(\frac{kW}{\text{år}} \right) \times \frac{kr}{kWh} \times \text{kalkylperiod}(\text{år}) - \text{investeringskostnad}(kr) \quad (1.8)$$

2.7.1.1 Total Concept

Total Concept är en programvara som skapats för att bestämma livscykelkostnaden för olika energieffektiviserande åtgärder (Belok AB., u.å.). För att använda verktyget krävs att alla åtgärder är energiberäknade och att kostnader sammanställts. På detta sätt kan totalverktyget hjälpa organisationer att göra välgrundade beslut om vilka åtgärder som är mest kostnadseffektiva och lönsamma att genomföra.

Total Concept baseras på internräntemetoden, vilket innebär att internräntan används för att mäta avkastningen av en investering över hela dess livslängd (Belok AB., u.å.). Metoden syftar till att hjälpa investerare att bestämma ifall en investering är lönsam att genomföra genom att jämföra dess internränta med ett förutbestämt avkastningskrav, vilket ger en indikation på dess lönsamhet. Programmet producerar ett internräntediagram där åtgärderna representeras av punkter som placeras efter varandra i lönsamhetsordning, hänsyn tas även till eventuella framtida energiprisändringar och varje åtgärds livslängd.

2.7.1.2 Harvard

Harvard's LCC-kalkylator är ett verktyg utvecklat av Harvard University för att kunna uppskatta livscykelkostnaderna för en byggnad (Harvard, u.å). Kalkylatorn kan ta hänsyn till en mängd olika variabler, såsom byggnadens storlek, typ av material som byggnaden består av, energikostnader, underhållskostnader och livslängd. Baserat på dessa variabler genererar kalkylatorn en uppskattning av livscykelkostnaderna för byggnaden. Verktöget kan enbart räkna med en projektlängd på 20 år.

2.7.2 EnergyPlus

EnergyPlus är ett energisimuleringsprogram för byggnader och konstruktioner. Programmet används för uträkning av energiförbrukning i form av uppvärmning, ventilation och kyla, plugg- och processbelastningar och vattenanvändning i byggnader (Cabeza, L. 2015). Programmet släpptes år 2001 och är ett av de mest använda energisimuleringsverktyg som finns tillgängligt. EnergyPlus finansieras av US Department of Energys (DOE) Building Technologies Office (BTO) tillsammans med OpenStudio mjukvaruutvecklingskit.

EnergyPlus är ett avancerat simuleringsverktyg som används för att beräkna energiförbrukningen och termiska förhållanden över bestämda tidsperioder så som timmar, dagar eller år (EnergyPlus, u.å). Programmet kräver en precisering av byggnaden i form av en tredimensionell geometrisk modell för att simulera byggnadens energiflöden och termiska beteende. Det tar hänsyn till parametrar som byggnadsgeometri, byggnadens ingående delar och material, ventilationssystem, belysning, andra tekniska installationer samt väderförhållanden på den geografiska platsen. Med hjälp av geometrin beräknas även skuggning med ett definierat tidsintervall som oftast är 20 dagar (Cabeza, L. 2015).

2.7.3 Revit

Revit är en BIM-programvara, utvecklat av programvaruföretaget Autodesk, där man kan modellera former, strukturer och system med mycket hög noggrannhet (Autodesk, u.å). Programvaran används för att skapa 3D-modeller och utifrån dessa kan även 2D-ritningar produceras. I programmet finns även samarbetsfunktioner vilket möjliggör att flera personer och/eller discipliner kan arbeta i samma fil under ett projekt.

2.7.4 OpenStudio

OpenStudio är ett gratis programverktyg för energianalys (OpenStudio, u.å). Det används främst för att stödja och redigera 3D-modeller för EnergyPlus.

OpenStudio släpptes år 2008 av National Renewable Energy Laboratory, som är en del av US Department of Energy (OpenStudio, u.å). Programmet designades för att fungera ihop med sketchup, vilket används av de flesta arkitekter och ingenjörer inom byggnadsdesign. OpenStudio gör det möjligt att analysera modellens energiprestanda innan den byggs.

OpenStudio innehåller en plug-in som gör det möjligt att läsa in 3D-geometri som är nödvändigt för EnergyPlus (OpenStudio, u.å). Den gör det även möjligt att skapa och redigera EnergyPlus zoner och ytor, samt starta en EnergyPlus-simulering och se resultatet. Programmet tillåter att matcha gränsförhållanden mellan zoner, lägga till interna förstärkningar, enkel utomhusluft och VVS-system för belastningsberäkningar. En annan tillhörande applikation är RunManager, som hanterar simuleringar och arbetsflöden, och skapar utdatafiler via ett grafiskt gränssnitt. ResultsViewer gör det även möjligt att bläddra och jämföra EnergyPlus-utdata, speciellt tidsserier.

3 Näcken 12

I denna del presenteras förutsättningarna för den specifika byggnaden, med objektsnamnet Näcken 12, som rapporten syftar till att undersöka. Underlaget används som grund för energisimuleringarna där information om de ingående parametrarna är nödvändig. Uppgifterna om konstruktionen är hämtade från plan- och fasadritningar (Bilaga 1), befintlig objektsinformation (Bilaga 2) och tidigare energideklaration (Bilaga 3). Även den indata som tagits fram inför energisimuleringar och LCC-beräkningar redovisas nedan. Utifrån ritningarna har även en 3D-modell av byggnaden skapats med hjälp av 3D-modelleringsprogrammet Revit. Bilder på denna finns i Bilaga 4.

3.1 Befintlig konstruktion

Byggnaden som ska undersökas är belägen på Olof Palmes gata 4A-B i Trollhättans kommun. Den ägs och förvaltas av Lundqvist Byggförvaltning. Byggnaden är uppförd år 1952 och delar av den renoverades år 1995. Det är ett flerfamiljshus bestående av 11 lägenheter uppdelade på tre våningsplan och med varierande storlekar. Utöver de tre våningsplanen med lägenheter finns även ett källarplan samt en vind. Byggnaden värms med fjärrvärme och ventileras med självdrag. Nedan redovisas mer ingående information gällande klimatskalet tillhörande byggnaden.



Bild 1 Foto på studerad byggnad Näcken 12 (Olof Palmes gata 4A-B).

3.1.1 Vägghkonstruktion

Vägghkonstruktionen delas in i två huvudgrupper, källarväggar och ytterväggar. Källarväggarna är delvis belägna under mark och delvis över marken. Ytterväggarna är konstanta över resterande del av byggnaden och består av en fasad i tegel som är 55 mm tjock, följt av en luftspalt på 40 mm, 100 mm isolering samt en massiv trästomme på 295 mm. Källarväggarna består av 150 mm lecablock följt av en luftspalt på 50 mm och sedan 215 mm betong. Nedan är en bild som visar en genomskärning av väggarna.

fram genom uppskattning av kvalitet och utformning samt utifrån vilket år de är installerade.

Balkongdörrarna består till hälften av ett glasparti. De antas vara från år 1952 och ha ett U-värde på 2 W/m²K. Fönsterna varierar i storlek och utformning. Alla fönster är dock installerade samtidigt och antas ha ett U-värde på 2,5 W/m²K. Källardörrarna antas ha ett U-värde på 1,5 W/m²K.

De två entrédörrar som finns i byggnaden antas ha ett något bättre U-värde än resterande fönster och dörrar då dessa är installerade en tid senare. Detta ligger på 1,2 W/m²K och kommer inte att bytas vid renovering. Ovanför entrédörrarna finns franska balkonger med dubbeldörrar där ungefär hälften består av en glasruta, dessa har ett U-värde på 2 W/m²K.

Tabell 2 Sammanställning av fönster samt dörrar.

Element	Antal [st]	U-värde [W/m²K]
Fönster 900 x 1400	14	2,5
Fönster 1900 x 1400	11	2,5
Fönster 1200 x 1400	21	2,5
Fönster 1500 x 1400	4	2,5
Fönster 1200 x 600	6	2,5
Fönster 1700 x 600	8	2,5
Fönster 400 x 1400	8	2,5
Balkongdörr, dubbeldörr	4	2,0
Källardörr	2	1,5
Balkongdörr	12	2,0
Entrédörr	2	1,2

3.2 Energideklaration

En energideklaration för den befintliga byggnaden är utförd den 17:e april 2020 och hittas i Bilaga 3. Enligt Boverkets byggregler ska energideklarationer från den 1:a januari 2019 baseras på primärenergital i stället för den specifika energianvändningen (Boverket, 2021). Enligt lag (2006:985) om energideklaration för byggnader 9 § ska denna även innehålla byggnadens energiklass, krav på energiprestanda om byggnaden uppförts idag och om byggnadens energiprestanda kan förbättras på något sätt.

Primärenergitalet på den befintliga byggnaden uppges vara 166 kWh/m² och år, vilket placerar den i energiklass F. Enligt energideklarationen var kravet, vid tiden för arbetet, vid nybyggnation energiklass C samt ett primärenergital på maximalt 85 kWh/m² och år.

I energideklarationen framgår även att det lämnats rekommendationer om kostnadseffektiva åtgärder. Några rekommendationer som nämnts är behovsstyrning av värmesystem, ny inomhusgivare, injustering av värmesystem, tilläggsisolering av vindbjälklag och installation av solceller.

3.3 Övriga fakta om byggnaden

Nedan redovisas övriga fakta om byggnaden som är nödvändig för att kunna genomföra energi-simuleringarna. Majoriteten av datan är hämtad från energideklarationen. Undantagen är infiltrationen som är ett uppskattat värde, inomhustemperaturen som är ett standardvärde (Boverket, u.å.d) samt antal personer som är uträknat efter lägenheternas storlek.

Tabell 3 Övriga nödvändiga indata som använts i energisimuleringarna.

Indata för simulering	Värde	Enhet
Uppvärmning	161 676	kWh
Tappvarmvatten	37 800	kWh
Fastighetsel	21 952	kWh
Hushållsel	45 360	kWh
Infiltration	0,48	l/sm ²
T _{inne}	21	°C
Antal personer	12	/våning

3.4 Indata till LCC-beräkningar

För att kunna beräkna livscykelkostnaderna för de olika renoveringsåtgärderna krävs vissa indata såsom kalkylperioder, energityp, energipris, årligt energibehov innan och efter investeringen samt investeringskostnader för de olika åtgärderna. Huset värms med hjälp av fjärrvärme och energibehovet tas senare fram genom simuleringarna. Nedan presenteras övriga data samt hur den är framtagen.

3.4.1 Investeringskostnader

Renoveringsåtgärderna antas vidtas i samband med övrig nödvändig renovering och därav räknas inte kostnader för rivning, återställande av ytskikt och så vidare med i kalkylen. Kostnaderna för respektive åtgärd är framtaget med hjälp

Wikells databas (<https://wikells.se/>) som innehåller prisuppgifter om olika byggprodukter. I den anges både kostnad för material samt tidsåtgång. Nedan redovisas samtliga kostnader för respektive åtgärd.

Tabell 4 Redovisning av kostnader för fönsterbytet.

Typ	Antal [st]	Å-pris [kr]	Tidsåtgång/st [h]	Summa [kr]
Fönster 900 x 1400	14	3989	1.35	67 186
Fönster 1900 x 1400	11	6339	1.55	79 959
Fönster 1200 x 1400	21	3989	1.35	100 779
Fönster 1500 x 1400	4	7301	1.75	33 404
Fönster 1200 x 600	6	3989	1.35	28 794
Fönster 1700 x 600	8	5232	1.55	49 296
Fönster 400 x 1400	8	3989	1.35	38 392
Totalt				397 810

Tabell 5 Redovisning av kostnader för 300 mm lösull på vindsbjälklaget.

Typ	Kostnad [kr/m ²]	Tidsåtgång [h/m ²]	Yta [m ²]	Summa [kr]
Isolering av tak	176	1	360	279 360

Tabell 6 Redovisning av kostnader för dörrbyte.

Typ	Antal [st]	Å-pris [kr]	Tidsåtgång [h/st]	Summa [kr]
Källardörr	2	4 148	2	10 696
Balkongdörr	12	14 740	1	184 080
Dubbeldörr	4	19 900	2	84 400
Totalt				279 176

Vid tilläggsisolering av väggarna undersöks effekten i två steg med olika tjocklekar på det tillkommande lagret isolering. De olika alternativen är 100 mm samt 200 mm isolering. Eftersom åtgärden antas göras i samband med att

fasaden skall renoveras räknas inte kostnader för ny fasadbeklädnad med utan enbart kostnaden för att addera isoleringen är inräknad. Fasadytan är ca 850 m².

Tabell 7 Redovisning av kostnader för tilläggsisolering av ytterväggarna.

Typ	Kostnad [kr/m ²]	Tidsåtgång [h/m ²]	Yta [m ²]	Summa [kr]
100 mm	85.4	0.08	850	113 390
200 mm	154.9	0.08	850	172 465

3.4.2 Energipriser

Priset på fjärrvärmen som används i beräkningarna är hämtat från Konsumenternas Energimarknadsbyrå, som är en oberoende och kostnadsfri vägledning i frågor kring energi. Trots att priset på fjärrvärme är stabilt jämfört med elpriser, kan man i Energimarknadsbyråns sammanställning "Fjärrvärmepriser per prisområde" (u.å.) se att priset på fjärrvärme har ökat de senaste åren. Därav genomförs LCC-beräkningarna med priset från 2018, och från 2021 för att kunna jämföra effekterna av prisändringen. De använda priserna redovisas nedan i Tabell 8.

Tabell 8 Redovisning av använda energipriser.

År	Pris [kr/kWh]
2018	0.56
2021	0.87

3.4.3 Kalkylperiod

Kalkylperioden för LCC-beräkningarna är satt till respektive byggnadsdels tekniska livslängd. Värdena för dessa är hämtade från "Så mår våra hus - redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m.m." utgivet av Boverket 2009.

Tabell 9 Redovisning av kalkylperioder.

Typ	Kalkylperiod/Livslängd [år]
Fönster	40
Tilläggsisolering av väggar	40
Tilläggsisolering av tak	40
Dörrar	30

4 Resultat

I resultatkapitlet presenteras samtliga resultat från beräkningar och simuleringar som gjorts för de olika åtgärderna. Resultaten innefattar både de energibesparande effekterna och ekonomiska aspekterna av de undersökta åtgärderna.

4.1 U-värden

Programvaran EnergyPlus har använts för att göra energisimuleringar och beräknar U-värden för samtliga byggdelar i konstruktionen med hjälp av materiallagerföljden och formel 1.1–1.5, se avsnitt 2.2 om värmetransport genom klimatskalet.

4.1.1 Befintlig byggnad

Den första simuleringen görs som en referens inför de kommande energieffektiviserande åtgärderna i byggnadens klimatskal. Värdet som studeras vid samtliga simuleringar är energin som går åt för att värma upp byggnaden samt de olika byggnadsdelars U-värden. I Tabell 10 nedan redovisas de ursprungliga U-värdena som tagits fram genom en simulering på den befintliga byggnaden innan åtgärderna.

Tabell 10 Redovisning av U-värden från energisimulering av befintlig byggnad.

Byggdela	U-värde [W/m ² K]
Yttervägg	0,225
Källarvägg	0,357
Grundplatta	4,25
Tak	0,504
Fönster	2,5
Balkongdörr	2
Källardörr	1,5

När ändringar i klimatskalet görs används U-värden från Tabell 1 som riktlinjer att eftersträva, se även avsnitt 2.3.3 om energikrav. Dessa U-värden ska strävas efter när en byggnad genomgår förändringar i klimatskalet enligt BBR.

4.1.2 Tilläggsisolering av yttervägg (100mm och 200mm isolering)

Vid nästa simulering adderades 100 mm isolering utanpå tegelfasaden på ytterväggarna, väggen kläs sedan in med plåt. Ytterligare en simulering gjordes för att undersöka effekten av att tilläggsisolera ytterväggarna, denna gång lades 200 mm isolering till. De resulterande U-värdena redovisas i Tabell 11 samt Tabell 12 nedan.

Tabell 11 Redovisning av U-värden från energisimulering efter tilläggsisolering med 100 mm av ytterväggar.

Bygghedel	U-värde [W/m ² K]
Yttervägg	0,225 → 0,144
Källarvägg	0,357
Grundplatta	4,25
Tak	0,504
Fönster	2,5
Balkongdörr	2
Källardörr	1,5

Tabell 12 Redovisning av U-värden från energisimulering efter tilläggsisolering med 200 mm av ytterväggar.

Bygghedel	U-värde [W/m ² K]
Yttervägg	0,225 → 0,106
Källarvägg	0,357
Grundplatta	4,25
Tak	0,504
Fönster	2,5
Balkongdörr	2
Källardörr	1,5

I Tabell 11 och 12 ovan kan utläsas att bägge alternativen med 100 mm respektive 200 mm isolering ger U-värden som uppfyller kraven som strävas efter.

4.1.3 Tilläggsisolering av tak

Det gjordes även en simulering för att undersöka effekten av att tilläggsisolera taket. Isoleringen i vindbjälklaget ökade i detta steg från 75 mm till 300 mm, detta för att uppnå ett U-värde mindre än 0.13 W/m²K enligt Tabell 1. U-värdet från energisimuleringen redovisas nedan i Tabell 13.

Tabell 13 Redovisning av U-värden från energisimulering efter tilläggsisolering av tak.

Byggdel	U-värde [W/m ² K]
Yttervägg	0,225
Källarvägg	0,357
Grundplatta	4,25
Tak	0,504 → 0,129
Fönster	2,5
Balkongdörr	2
Källardörr	1,5

4.1.4 Byte av fönster och dörrar

De två sista simuleringarna gjordes för att undersöka effekten av fönsterbyte samt byte av dörrar. Tabell 14 redovisar förändringen av U-värdet vid fönsterbytet och Tabell 15 visar effekten av att byta dörr.

Tabell 14 Redovisning av U-värden från energisimulering efter fönsterbyte.

Byggdel	U-värde [W/m ² K]
Yttervägg	0,225
Källarvägg	0,357
Grundplatta	4,25
Tak	0,504
Fönster	2,5 → 1
Balkongdörr	2
Källardörr	1,5

Tabell 15 Redovisning av U-värden från energisimulering efter byte av dörrar.

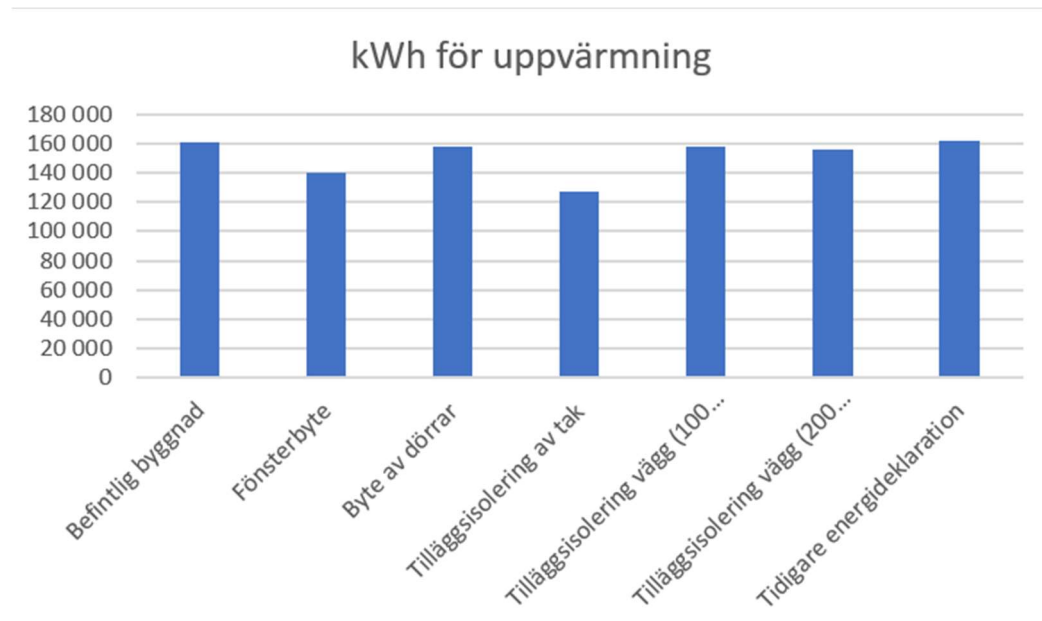
Byggsdel	U-värde [W/m ² K]
Yttervägg	0,225
Källarvägg	0,357
Grundplatta	4,25
Tak	0,504
Fönster	2,5
Balkongdörr	2 → 1
Källardörr	1,5 → 0.7

4.2 Energianvändning för uppvärmning

EnergyPlus anger även hur många kWh det krävs per år för att värma upp byggnaden. Programmet utgår från formel 1.6 och 1.7, se avsnitt 2.2.4 om värmefflöde och 2.2.5 om energibehov. Energianvändningen från samtliga simuleringar redovisas i Tabell 16. Programmet anger även den sammanlagda uppvärmda ytan i byggnaden vilket i detta fall motsvarar 1 512 m². Denna siffra används för att räkna ut antalet kilowattimmar för uppvärmning per kvadratmeter vilket även det redovisas i Tabell 16.

Tabell 16 Sammanställning av resultat av energianvändning för uppvärmning.

Åtgärd	Uppvärmning [kWh]	[kWh/m ²]
Tidigare energideklaration	161 676	106.7
Befintlig byggnad	161 331	106
Fönsterbyte	139 736	92.4
Byte av dörrar	158 085	104.5
Tilläggsisolering av tak	126 982	83.98
Tilläggsisolering vägg (100 mm)	157 484	104.2
Tilläggsisolering vägg (200 mm)	155 503	102.3



Figur 2 Resultat av energianvändning för uppvärmning.

Enligt Tabell 16 och Figur 2 kan det avläsas att den åtgärd som kräver minst energianvändning för uppvärmning enligt energisimuleringarna är tilläggsisolering av taket. Denna åtgärd ger en energianvändning på 83,98 kWh/m² och åtgärden som kommer därefter är fönsterbyte som ger en energianvändning på 92,4 kWh/m². Man kan även avläsa att det skiljer 0,7 kWh/m² mellan resultatet av energisimuleringen och den tidigare gjorda energideklarationen.

4.3 LCC-Kalkyl

För att ta reda på om de olika åtgärderna som testats i energisimuleringen är lönsamma eller inte har LCC-kalkyler gjorts. Två metoder för LCC-kalkylerna har använts, handberäkningar och Total Concept. Handberäkningarna är gjorda enligt formel 1.8, se även avsnitt 2.7.1. Samtliga handberäkningar som gjorts redovisas i Bilaga 5. I Total Concept-metoden används ett årligt kostningskrav på minst 5 procent.

4.3.1 Känslighetsanalys

För att öka trovärdigheten i resultatet har en känslighetsanalys utförts. Detta har gjorts genom att undersöka hur energipris, investeringskostnad och energianvändningen påverkar resultatet och om resultatet står sig även om dessa ändras. För investeringskostnad och energianvändning har en ökning på 10 procent undersökts. Energiprisets påverkan på resultatet har utvärderats genom att använda två olika energipriser, ett från 2018 och ett från 2021.

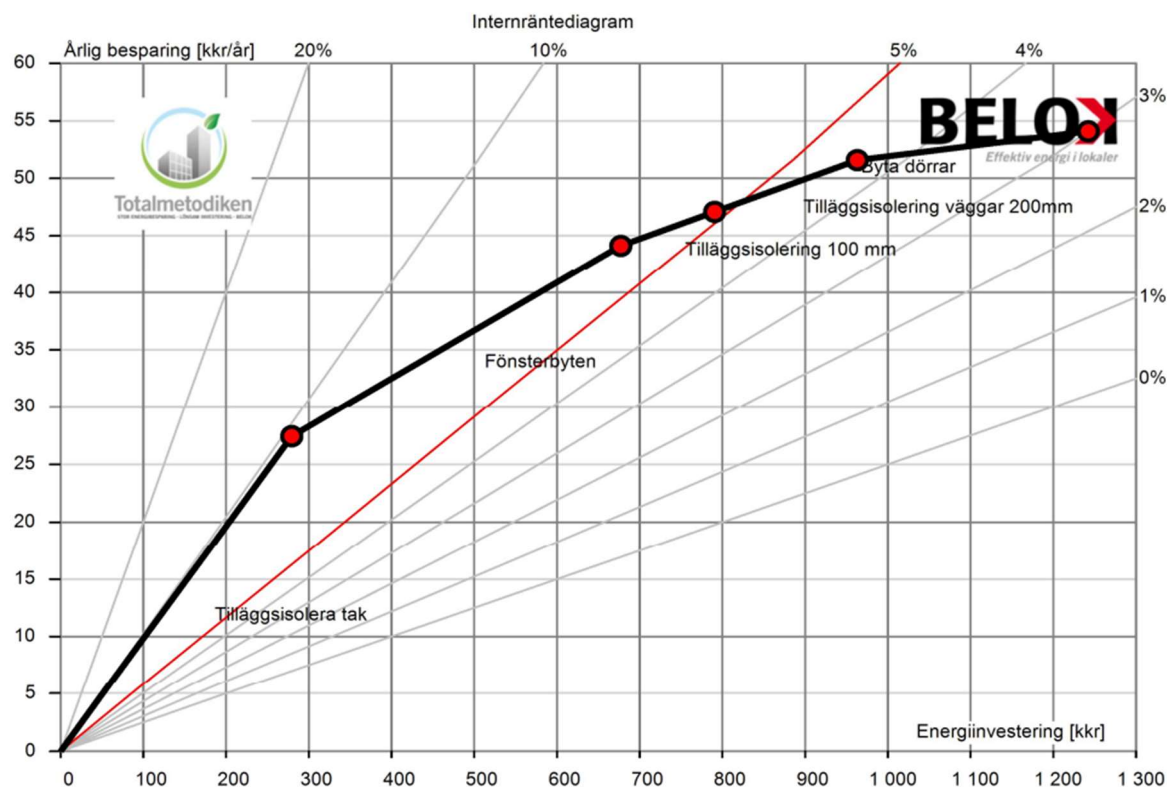
4.3.2 Energipris 2021

De första LCC-kalkylerna som gjordes var på energipriset från 2021, på 0,87 kr/kWh. Resultatet av handberäkningarna är sammanställda i Tabell 17 och resultatet från Total Concept på energipriset från 2021 presenteras i Figur 3.

Tabell 17 Redovisning av lönsamhet för de olika åtgärderna med ett energipris på 0,87 kr/kWh enligt handberäkningar.

Bygghedel	Summa [kr]
Fönsterbyte	345 089
Byte av dörrar	-195 411
Tilläggsisolering av tak	902 253
Tilläggsisolering vägg (100 mm)	18 941
Tilläggsisolering vägg (200 mm)	28 044

I Tabell 17 ovan kan det avläsas att efter vardera renoveringsåtgärds kalkylperiod har samtliga åtgärder visat sig vara lönsamma med ett undantag för byte av dörrar som har ett negativt resultat, vilket innebär att den inte betalar tillbaka efter dess kalkylperiod. Tilläggsisolering av tak har det högsta värdet och visar på att vara den mest lönsamma energieffektiviserande åtgärden enligt handberäkningarna i detta scenario.



Figur 3 Redovisning av resultat från Total Concept.

Enligt Figur 3 ovan kan det avläsas att tilläggsisolering av tak är den åtgärd som är mest lönsam enligt Total Concept. I diagrammet syns även att fönsterbyte samt tilläggsisolering av vägg med 100 mm är lönsamma åtgärder. Resterande två åtgärder når inte upp till det krav på en årlig avkastning på 5 procent som den röda linjen representerar. I diagrammet kan även investeringskostnaderna avläsas på den nedre vågräta axeln samt den årliga besparingen på den högra lodräta axeln. Åtgärderna är presenterade med punkter på linjer vars lutningen representerar lönsamheten. Dessa är sedan placerade på varandra för att skapa ett paket med lönsamma åtgärder som tillsammans kan uppfylla lönsamhetskravet trots att vissa åtgärder ensamma inte uppfyller dem.

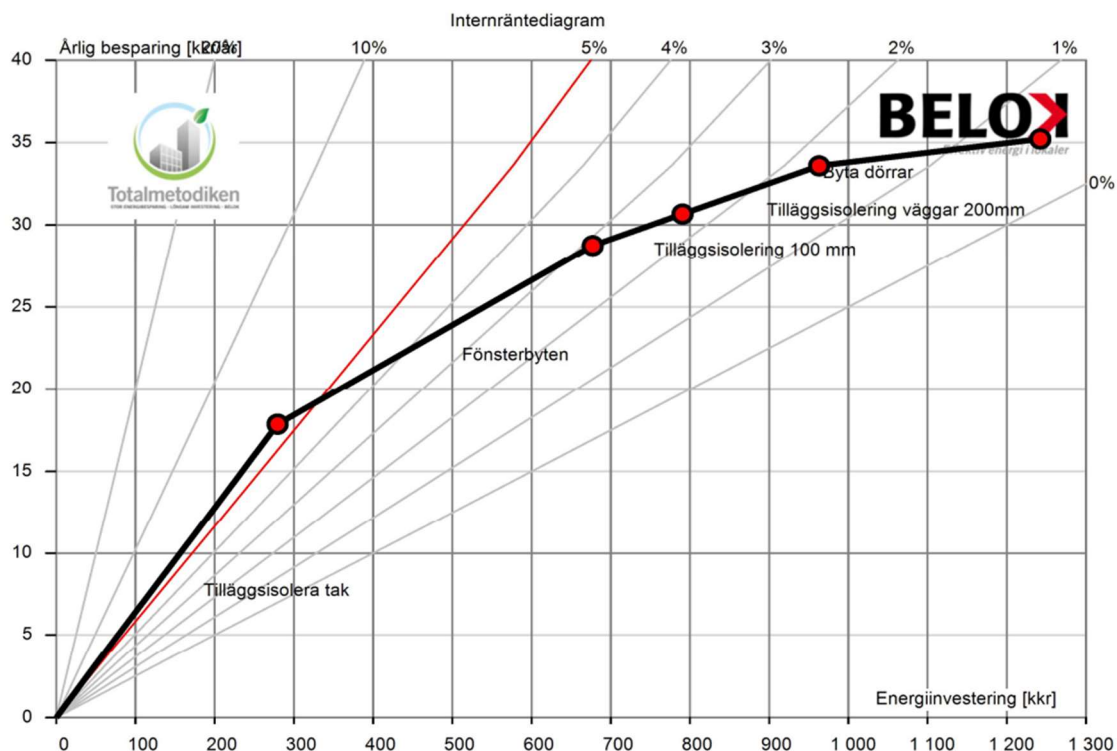
4.3.3 Energipris 2018

LCC-kalkyler har gjorts på energipriset från 2018, på 0.56 kr/kWh. Resultatet av handberäkningar presenteras i Tabell 18 och resultatet av Total Concept presenteras i Figur 4.

Tabell 18 Redovisning av lönsamhet för de olika åtgärderna med ett energipris på 0,56 kr/kWh enligt handberäkningar.

Byggdelen	Summa [kr]
Fönsterbyte	85 938
Byte av dörrar	-224 632
Tilläggsisolering av tak	490 062
Tilläggsisolering vägg (100 mm)	-27 221
Tilläggsisolering vägg (200 mm)	-41 901

I Tabell 18 ovan kan man avläsa att fönsterbyte samt tilläggsisolering av tak är de enda åtgärderna som betalar tillbaka efter dess kalkylperiod enligt handberäkningarna med ett energipris från 2018.



Figur 4 Redovisning av resultat från Total Concept med 2018 års energipris.

I Figur 4 ovan kan man avläsa att tilläggsisolering av tak är den enda åtgärd vilken anses lönsam enligt Total Concept då den har en årlig avkastning på mer än 5 procent. Samtliga av de övriga åtgärdernas årliga avkastning är på mindre än 5 procent, vilket inte anses lönsamt enligt metoden.

4.3.4 Investeringskostnader ökar med 10 procent

LCC-kalkyl har även gjorts på ett scenario där investeringskostnaden för samtliga åtgärder höjs med 10 procent av de ursprungliga kostnaderna. I Tabell 19 redovisas de ökade investeringskostnader som använts för LCC-kalkylerna i scenariot. Handberäkningar har gjorts för de nya investeringskostnaderna och med energipriset från 2021, på 0,87 kr/kWh. Resultatet för handberäkningarna redovisas i Tabell 20. I Figur 5 redovisas resultatet för samma villkor med Total Concept.

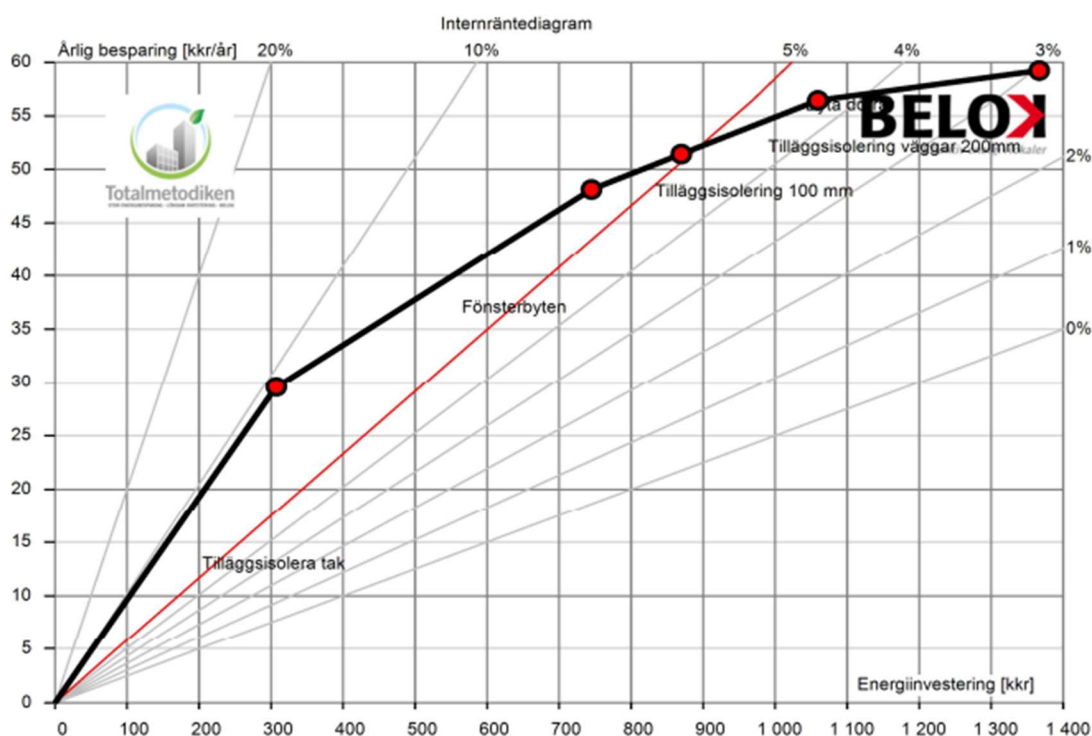
Tabell 19 Redovisning av investeringskostnaderna då de ursprungliga investeringskostnaderna ökat med 10 procent för respektive åtgärd.

Åtgärd	Ursprunglig kostnad [kr]	Kostnad efter 10 procent ökning [kr]
Fönsterbyte	397 810	437 591
Dörrbyte	279 176	307 094
Tilläggsisolering av tak	279 360	307 296
Tilläggsisolering vägg (100 mm)	113 390	124 729
Tilläggsisolering vägg (200 mm)	172 465	189 712

Tabell 20 Redovisning av lönsamhet för de olika åtgärderna med en ökad investeringskostnad på 10 procent enligt handberäkningar.

Åtgärd	Summa [kr]
Fönsterbyte	305 308 kr
Dörrbyte	-223 329 kr
Tilläggsisolering av tak	874 317 kr
Tilläggsisolering vägg (100 mm)	7 602 kr
Tilläggsisolering vägg (200 mm)	10 797 kr

Enligt Tabell 20 ovan kan man läsa av att samtliga energieffektiviserande investeringar är lönsamma, med ett undantag för byte av dörrar som inte är återbetalad efter dess livslängd och inte anses lönsam enligt handberäkningarna för scenariot.



Figur 5 Redovisning av resultat från Total Concept med ökad investeringskostnad.

Enligt Figur 5 kan det avläsas att både tilläggsisolering av vägg med 200 mm isolering och dörrbyte inte är lönsamt enligt Total Concept-metoden då dess årliga avkastning är mindre än 5 procent.

4.3.5 Energianvändning ökar med 10 procent

I nästkommande scenario undersöks hur lönsamheten påverkas om de energieffektiviserande åtgärderna inte är lika effektiva som simuleringarna visar. En marginal på 10 procent adderas på skillnaden i energianvändning innan och efter varje åtgärd, detta för att ta hänsyn till eventuella skillnader från den faktiska byggnaden till den simulerade. I Tabell 21 redovisas energianvändningen efter adderad marginal. Utifrån detta scenario, och med energipris på 0.87kr, har LCC-kalkyler gjorts med handberäkningar samt Total Concept-metoden. Resultatet av handberäkningar presenteras i Tabell 22, och resultatet av Total Concept presenteras i Figur 6.

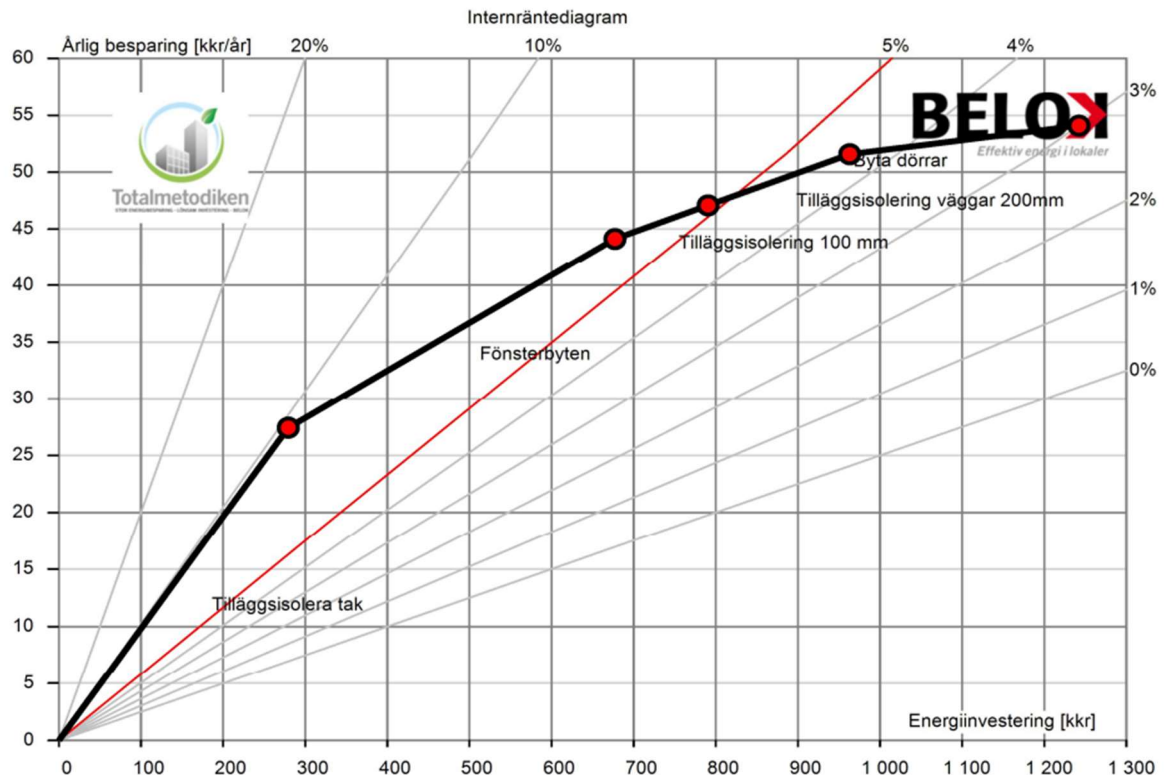
Tabell 21 Redovisning av energianvändningen för uppvärmning då den ursprungliga energianvändningen ökat med 10 procent för respektive åtgärd.

Åtgärd	Uppvärmning [kWh]	Med 10 procent marginal [kWh]
Fönsterbyte	139 736	141 895
Byte av dörrar	158 085	158 409
Tilläggsisolering av tak	126 982	130 417
Tilläggsisolering vägg (100 mm)	157 485	157 869
Tilläggsisolering vägg (200 mm)	155 503	156 086

Tabell 22 Redovisning av lönsamhet för de olika åtgärderna med en ökad energianvändning för uppvärmning på 10 procent enligt handberäkningar.

Åtgärd	Summa [kr]
Fönsterbyte	270 799
Byte av dörrar	-203 787
Tilläggsisolering av tak	784 093
Tilläggsisolering vägg (100 mm)	5 708
Tilläggsisolering vägg (200 mm)	7 992

Enligt Tabell 22 kan man avläsa att samtliga investeringar är lönsamma och har en positiv återbetalning enligt handberäkningarna, med ett undantag för byte av dörrar som inte betalar tillbaka efter dess livslängd.



Figur 6 Redovisning av resultat från Total Concept med ökad energianvändning.

Enligt Figur 6 kan man avläsa att tilläggsisolering av tak, fönsterbyte och tilläggsisolering av vägg med 100 mm isolering är de åtgärder som har en årlig avkastning på mer än 5 procent och anses vara lönsamma enligt Total Concept-metoden.

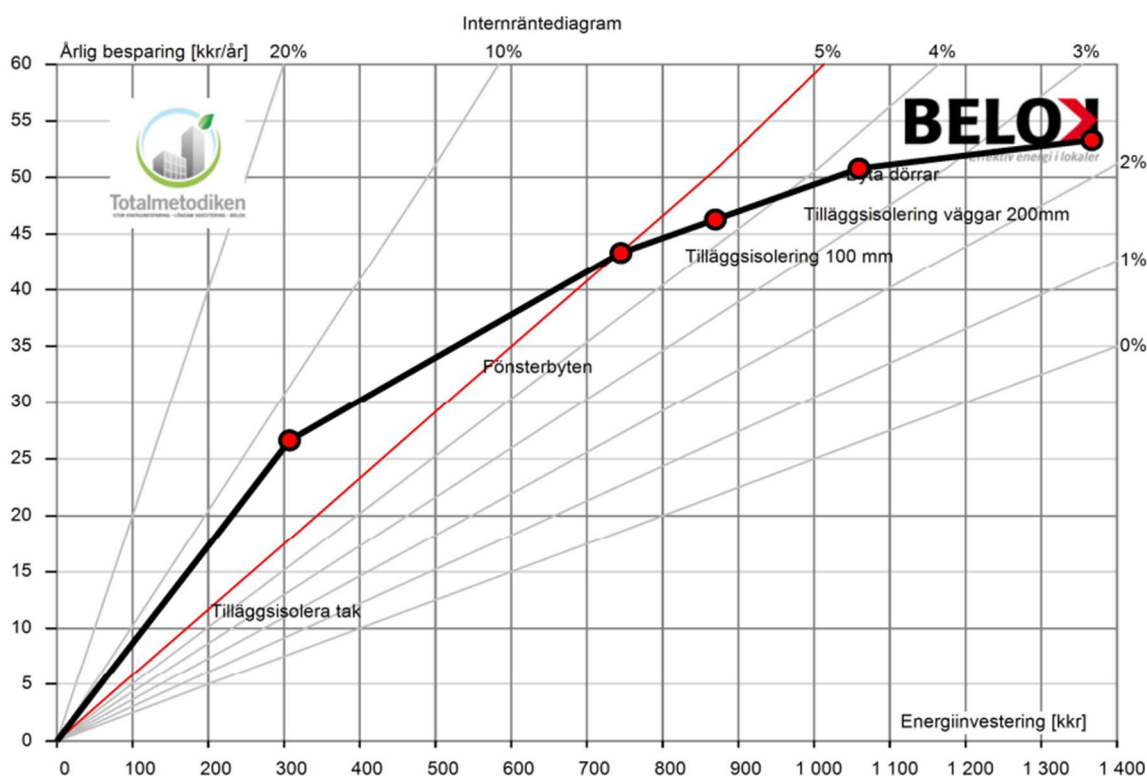
4.3.6 Investeringskostnad och energianvändning ökar med 10 procent

LCC-kalkyl har även gjorts på ett scenario där båda de tidigare scenarierna uppfylls samtidigt. Investeringskostnaderna ökar med 10 procent och energianvändningen ökar med 10 procent, samt ett energipris på 0,87 kr/kWh, från 2021. I Tabell 23 sammanställs resultatet för handberäkningar utifrån scenariot och i Figur 7 presenteras resultatet från Total Concept-metoden utifrån scenariot.

Tabell 23 Redovisning av lönsamhet för de olika åtgärderna då både investeringskostnaden och energianvändning för uppvärmning ökat med 10 procent enligt handberäkningar.

Åtgärd	Summa [kr]
Fönsterbyte	231 018
Byte av dörrar	-231 705
Tilläggsisolering av tak	756 157
Tilläggsisolering vägg (100 mm)	-5 631
Tilläggsisolering vägg (200 mm)	-9 254

I Tabell 23 kan man avläsa att de energieffektiviserande åtgärder som visat sig vara lönsamma efter kalkyltiden är fönsterbyte samt tilläggsisolering av tak. De övriga investeringarna visar på en negativ återbetalning enligt handberäkningarna i detta scenario.



Figur 7 Redovisning av resultat från Total Concept med ökad investeringskostnad och energianvändning.

I Figur 7 kan man läsa av att tilläggsisolering av tak är en lönsam investering enligt total concept-metoden, med en årlig avkastning på mer än 5 procent. Fönsterbyte är även en lönsam investering enligt metoden då man kan avläsa att

den ligger precis på de streck som representerar en årlig avkastning på 5 procent. De övriga investeringarna har en årlig avkastning på under 5 procent och är alltså inte lönsamma enligt metoden.

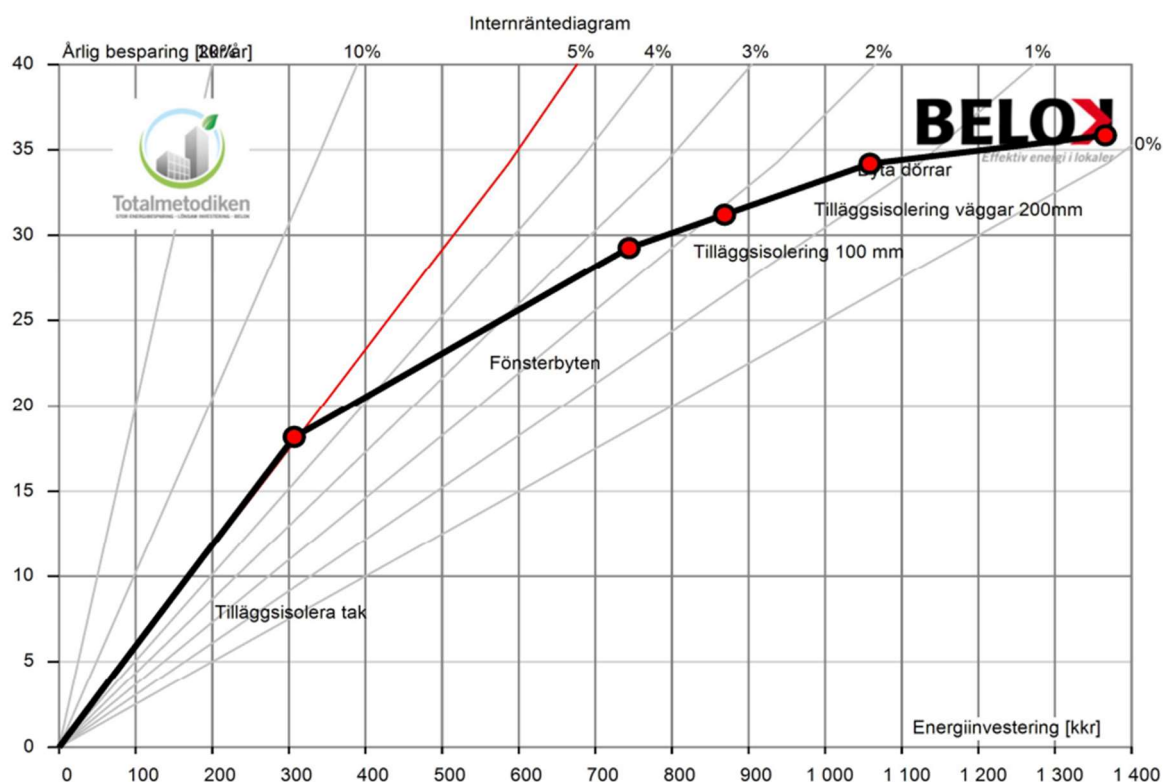
4.3.7 Investeringskostnad och energianvändning ökar med 10 procent med energipris från 2018

Ett sista scenario har tagits fram där både investeringskostnaden och energianvändningen för uppvärmning ökar med 10 procent från de ursprungliga kostnaderna och energianvändningen. I detta scenario används energipriset från 2018, på 0,56 kr/kWh, för LCC-kalkylerna. Handberäkningar är gjorda för scenariot och resultatet har sammanställts i Tabell 24. I Figur 8 presenteras resultatet från Total Concept-metoden som utförts för scenariot.

Tabell 24 Redovisning av lönsamhet för de olika åtgärderna då både investeringskostnaden och energianvändning för uppvärmning ökat med 10 procent och energipriset är 0,56 kr/kWh, enligt handberäkningar.

Åtgärd	Summa [kr]
Fönsterbyte	-2 218
Byte av dörrar	-258 004
Tilläggsisolering av tak	385 185
Tilläggsisolering vägg (100 mm)	-47 177
Tilläggsisolering vägg (200 mm)	-72 204

Enligt Tabell 24 ovan kan man avläsa att vid detta scenario är tilläggsisolering av tak den enda investering som är lönsam efter kalkyltiden enligt handberäkningarna.

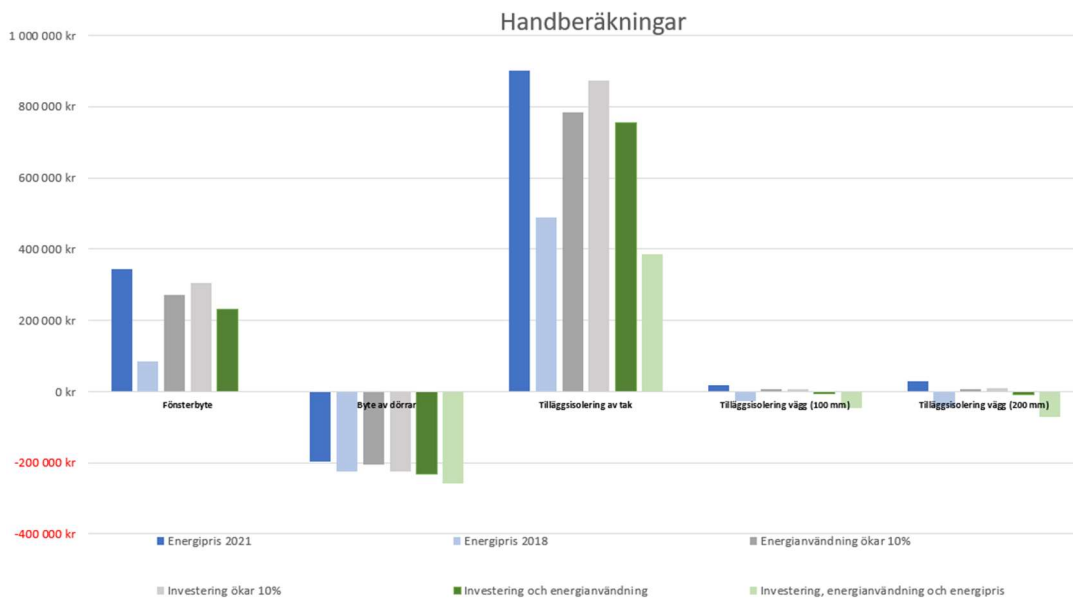


Figur 8 Redovisning av resultat från Total Concept med ökad investeringskostnad och energianvändning samt med energipris från 2018.

Enligt Figur 8 kan man avläsa att tilläggsisolering av tak är den enda energieffektiviserande åtgärd som har en årlig avkastning på mer än 5 procent enligt Total Concept-metoden. Man kan dock även avläsa att åtgärden ligger precis på 5 procent och alltså är lönsam med ytterst liten marginal.

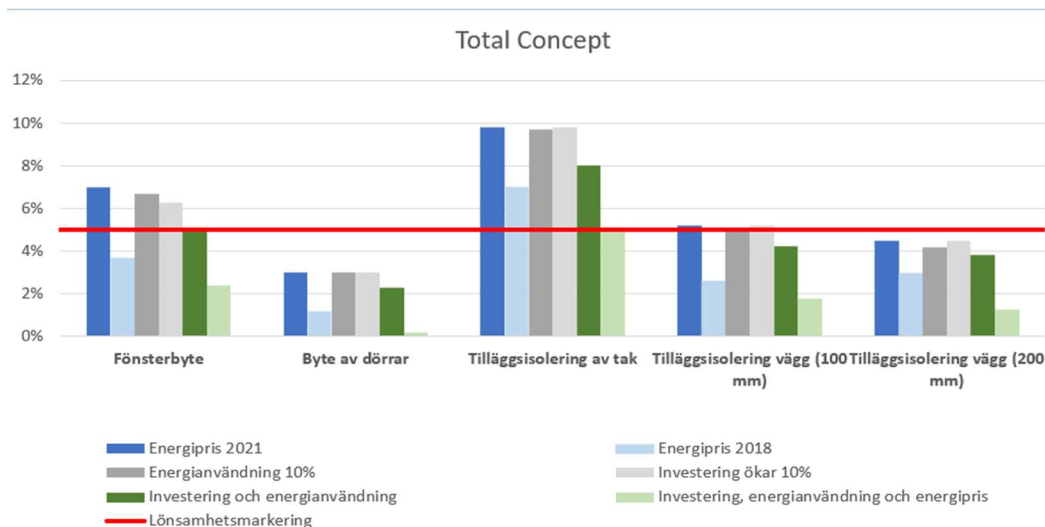
4.3.8 Sammanställning av LCC-resultat

För att få en tydligare bild av resultatet har samtliga LCC-beräkningar sammanställts i stapeldiagram. Staplarna är grupperade efter respektive åtgärd.



Figur 9 Redovisning av resultat från samtliga handberäkningar.

I Figur 9 redovisas resultatet från handberäkningarna, där kan tydligt ses att tilläggsisolering av tak är den absolut mest lönsamma åtgärd i alla scenarion. Det går även att utläsa att byte av dörrar är negativ i samtliga scenarion och alltså aldrig kan räknas som lönsam. Det syns även att skillnaden mellan den mörkblå och den ljusblå stapeln är stor vilket visar att energipriset har en stor inverkan på resultatet.



Figur 10 Redovisning av resultat från samtliga diagram i Total Concept.

I Figur 10 ovan redovisas resultatet från Total Concept. Den röda linjen representerar den gränsen för 5 procent avkastning som också syns i övrigt resultat från Total Concept. Även här kan avläsas att tilläggsisolering av tak är lönsam i alla scenarion medan byte av dörr aldrig når upp till den röda linjen.

5 Diskussion

Målet har varit att undersöka om olika energieffektiviserande åtgärder av den befintliga byggnadens klimatskal är lönsamma eller inte. Dessutom har de olika åtgärderna och investeringarna analyserats utifrån ett flertal olika scenarion för att stärka resultatet. I diskussion analyseras eventuella felkällor vilka kan ha påverkat resultatet. Dessutom analyseras resultatets trovärdighet och påverkande faktorer.

5.1.1 Felanalys

En del nödvändiga antaganden har gjorts för att kunna ta fram de olika resultaten. U-värden på fönster och dörrar har uppskattats eftersom det inte finns information eller material gällande dessa att tillhandahålla. Det är även svårt att undersöka och beräkna dessa U-värden och därmed har värdena antagits med hänsyn till när fastigheten är uppbyggd samt ålder på respektive fönster och dörr. Även infiltrationen har uppskattats utifrån husets ålder samt med hjälp av värden från liknande projekt. Vidare har innertemperaturen antagits utefter standardvärdet som är 21°C. Inte heller här har det funnits möjlighet att undersöka innertemperaturen under året, vilket gör att värdet skulle kunna skilja sig från verkligheten och därmed påverka energianvändningen. Dessutom har standardvärden för aktivitet i flerfamiljshus använts, vilket kan skilja sig mellan olika hushåll. Samtliga av dessa antagna värden och standardvärden utgör osäkerheter och kan bidra till felmarginaler i resultatet.

EnergyPlus är programvaran som använts för simuleringarna och indatan har lagts in genom Open Studios mjukvara. Vid ett större projekt är det mycket siffror som ska matas in av användaren, vilket ger plats för eventuella misstag och fel vid inmatning. Programvaran kräver även en 3D-modell av byggnaden, vilket gjorts i Revit och kan inte garanteras vara identisk med den verkliga byggnaden eftersom det endast är en modell. Detsamma gäller för den väderfil som använts som indata i simuleringen och kan avvika från verkligheten.

Byggnaden är upprättad år 1952 och entrépartiet renoverades år 1997. På grund av byggnadens ålder är det svårt att vara säker på att ingen mer förändring på fastigheten gjorts, utöver bytet av entrédörrar. Det finns ingen tydlig historik för vad byggnaden har utsatts för och genomgått under sin livstid. Arbetet har utförts utifrån den information som tagits emot från PE och Lundqvist byggförvaltning, men det kan finnas okända faktorer som eventuellt påverkat resultatet. Exempelvis om det finns fukt eller sprickor i väggarna eller om väggarnas lagerföljd inte stämmer med givna ritningar. Detsamma gäller för alla de ingående materialens skick, såsom den befintliga isoleringen, vilket skulle kunna påverka energianvändningen och resultatet. Denna typ av okända faktorer har inte undersökts, vilket kan skapa en osäkerhet i resultatet.

Det finns ett flertal olika programvaror och beräkningsmetoder att använda när det kommer till energiberäkningar och LCC-kalkyler. Resultaten kan skilja sig beroende på vilken beräkningsmetod man använder sig av och på programmets

noggrannhet och precision. Resultatet kan även skilja sig beroende på vilka standarder eller allmänna råd som använts.

5.1.2 Resultatanalys

Den första simuleringen som gjorts på den ursprungliga byggnaden resulterade i en energianvändning för uppvärmning på 0,7 kWh/m² mer jämfört med den tidigare utförda energideklarationen från 2020. Detta anses vara en rimlig felmarginal och kan bero på ett flertal olika felkällor som nämnts tidigare, exempelvis att olika beräkningsmetoder eller standarder har använts. Resultatet anses vara trovärdigt eftersom det har jämförts med den tidigare energideklarationen och gett mycket liknande resultat.

Utifrån vetenskapen om att den ursprungliga energisimuleringen är riktig kan antagandet göras att även de efterföljande energisimuleringarna ger ett trovärdigt resultat då endast mindre ändringar gjorts i indata och dessa har dessutom gjorts i olika steg. Energisimuleringarna visar att de energieffektiviserande åtgärder som gett störst effekt på energianvändningen är tilläggsisolering av taket och byte av fönster. Genom att tilläggsisolera vindsbjälklaget minskar energianvändningen med ungefär 21 procent enligt energiberäkningarna och genom att byta fönster till mer energieffektiva alternativ kan energianvändningen minskas med 13 procent. Detta är ett förväntat resultat enligt den utförda litteraturstudien som visar på att isolering av vindsbjälklag oftast är en effektiv åtgärd för att energieffektivisera en byggnads klimatskal.

Att dörrbyte inte visat sig påverka energianvändningen kan bero på att entrédörren redan är bytt år 1997 och därför är det endast balkongdörrarna och källardörren som påverkas. Dessutom är den totala ytan dörr på byggnaden betydligt mindre än ytan fönster. Att tilläggsisolering av väggarna inte påverkat energianvändningen något större beror förmodligen på att den består av en massiv trästomme och redan innan renovering hade ett relativt lågt U-värde på 0,225 W/m²K och värdet att sträva efter enligt BBR är 0,18 W/m²K.

När det kommer till LCC-kalkylerna finns inget tidigare material att jämföra med och därför har ett flertal olika metoder använts för att säkerställa resultatets trovärdighet. Handberäkningar och Total Concept-metoden har använts och gett liknande resultat, vilket indikerar att resultatet är tillförlitligt. De skillnader som uppstått kan bero på flera olika felkällor som nämnts tidigare, exempelvis att olika noggrannheter använts, avrundningar eller att de olika metoderna använder olika parametrar. Dessutom har ytterligare en metod testats, Harvard-metoden. Detta resultat skilde sig däremot aningen mot de andra använda metoderna eftersom den endast använder en kalkyltid på 20 år. Denna metod valdes därför att exkluderas från arbetet då det inte hade rätt förutsättningar för att jämföras med de övriga resultaten.

För att säkerställa att LCC-kalkylerna ger ett trovärdigt resultat har känsligheten hos de ingående faktorerna undersökts. Detta för att kunna avgöra hur de olika faktorerna påverkar resultatet och på så sätt förbättra beslutsunderlaget och

kunna lämna en rekommendation för energieffektivisering av byggnadens klimatskal. I känslighetsanalysen har hänsyn tagits till ett föränderligt fjärrvärmepris, ökade investeringskostnader och ett eventuellt större energibehov än förväntat. I LCC-kalkylerna har två olika energipriser från olika år använts och en marginal på 10 procent har satts på investeringskostnaderna och energianvändningen. Dessutom har två värsta fall utförts där samtliga faktorer utreds samtidigt och sammanlagt har 6 olika scenarion utvärderats i resultatet. I och med detta kan det säkerställas att åtgärden som är lönsam vid samtliga scenarion också är lönsam att implementera i verkligheten.

Enligt de utförda LCC-kalkylerna är tilläggsisolering av taket med 300 mm isolering den enda åtgärd som är lönsam för samtliga scenarion och kan konstateras vara en lönsam investering för den aktuella byggnaden. Detta säkerställs ytterligare då det lämnats rekommendation för tilläggsisolering av vindbjälklag som en kostnadseffektiv åtgärd i den tidigare utförda energideklarationen för byggnaden.

I resultatet kan man även utläsa att energipriset är den faktor som påverkar resultatet mest. Detta är ett rimligt resultat eftersom energikostnader är en av de största kostnaderna för en byggnad. Det kan vara positivt då lönsamheten för åtgärderna ökar i och med att energipriset ökar, vilket är mycket aktuellt idag, i och med inflationen. Det är även en viktig faktor att undersöka om energieffektiviserande åtgärder ska vidtas i en byggnad och genom att undersöka energiprisets utveckling kan man förutse hur investeringen påverkas. Det kan även avläsas i resultatet att det värsta fallet, där samtliga faktorer undersöks, påverkar lönsamheten mycket. Anledningen till den stora påverkan är förmodligen att energipriset är en ingående faktor som påverkar lönsamheten i högre grad.

Ökade investeringskostnader samt ökad energianvändning påverkar inte LCC-kalkylens resultat i samma utsträckning. Detta beror på att dessa kostnader är små i jämförelse med energipriset som står för den största påverkan.

Scenariot som visade på störst påverkan var det där energipris och energianvändning ökat medan energipriset sjunkit. Detta scenario är skapat utifrån det värsta tänkbara för att testa stabiliteten i tidigare resultat. Det är dock mindre troligt att detta scenario skulle inträffa eftersom det vid inflation även blir ett högre energipris. Ett högre energipris ökar investeringens lönsamhet och skulle alltså ge ett annat resultat än i detta scenario. Dock skulle ökningen i pris och energianvändning kunna motsvara en felmarginal i framräknat resultat och därav kan ändå scenariot ses som möjligt.

Det är även viktigt att poängtera att resultatet gällande lönsamhet endast är baserat på energibesparingar. Åtgärderna skulle kunna göras lönsamma för fastighetsägaren genom exempelvis höjda hyror eller avgifter vilket inte tagits hänsyn till i detta arbete.

6 Slutsats

Resultatet visar att det är möjligt att minska energianvändningen i ett befintligt flerbostadshus från 50-talet, genom att energieffektivisera dess klimatskal. Man kan uppnå samtliga U-värden som bör strävas efter vid renovering av klimatskärmen enligt BBR.

De åtgärder som undersökts är tilläggsisolering av vindsbjälklag med 300 mm isolering, tilläggsisolering av ytterväggar med 100 mm respektive 200 mm isolering, fönsterbyte och dörrbyte.

I slutsatsen presenteras och besvaras samtliga frågeställningar och en rekommendation lämnas angående åtgärder som bör vidtas för en långsiktig ekonomisk vinst.

6.1.1 Vilka åtgärder minskar energianvändningen mest?

De energieffektiviserande åtgärder av klimatskalet som påverkat energianvändningen mest är tilläggsisolering av vindsbjälklaget och byte av samtliga fönster. Dessa åtgärder minskar energianvändningen med 21,3 procent respektive 13,4 procent jämfört med den befintliga byggnaden. De övriga åtgärderna, tilläggsisolering av yttervägg med 200mm alternativt 100mm, samt dörrbyte, minskar energianvändningen med 4,1 procent, 2,3 procent respektive 2,1 procent. De olika åtgärderna är listade nedan från den mest effektiva till den minst effektiva i energisparsyfte, samt hur mycket de kan minska energianvändningen i byggnaden.

1. Tilläggsisolering av vindsbjälklag	21,3 %
2. Fönsterbyte	13,4 %
3. Tilläggsisolering av vägg, 200 mm	4,1 %
4. Tilläggsisolering av vägg, 100 mm	2,3 %
5. Dörrbyte	2,1 %

6.1.2 Vilken/vilka åtgärd är mest lönsam?

Tilläggsisolering av vindsbjälklag med 300mm isolering är den mest lönsamma åtgärden enligt utförda lönsamhetsberäkningar. Investeringen har en återbetalningstid som är kortare än kalkyltiden i samtliga scenarion och antaganden som undersökts. Dessutom är tilläggsisolering av taket den enda undersökta åtgärden som har visat sig vara lönsam även i ett värsta scenario och innebär en långsiktig ekonomisk vinst. Investeringen är även den som resulterat i störst minskning av energianvändning.

6.1.3 Vilken parameter påverka lönsamheten mest?

De undersökta parametrarna är energipris, investeringskostnad och energianvändning. Dessa är alla ingående parametrar i de båda metoderna som använts för lönsamhetsberäkningar. Samtliga faktorer har visat sig påverka

lönsamheten i olika utsträckning där energipriset är den som påverkar resultatet mest. Vid ett högre energipris är samtliga åtgärder mer lönsamma gentemot ett lägre energipris. De undersökta faktorerna är listade nedan från den som har störst påverkan på lönsamheten till den som har minst påverkan på lönsamheten.

1. Energipris
2. Energianvändning
3. Investeringskostnad

6.1.4 Rekommendation

Den rekommendation på energieffektivisering vid renovering som lämnas för den befintliga byggnaden är endast tilläggsisolering av vindsbjälklag. Implementering av denna åtgärd har visat sig vara både energieffektiv och ge en långsiktig ekonomisk vinst. Känsligheten har även undersökts och visat att åtgärden är stabil och lönsam under varierade förutsättningar.

Ingen ytterligare rekommendation lämnas på den befintliga fastigheten då de övriga undersökta åtgärderna visat sig vara mindre lönsamma och visar på större känslighet för varierade förutsättningar.

7 Referenser

Andersson, C., Fant, K., Landfors, K., During, O., & Södergren, L.-O. (2009). *Att tilläggsisolera hus – fakta, fördelar och fallgropar*. Energimyndigheten. Hämtad från: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/ResourceComment.mvc?resourceId=109685>

Autodesk. (u.å). *Vad är Revit?*. Hämtad från: <https://www.autodesk.se/products/revit/overview?panel=buy&term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RVT>

Belok AB. (u.å.). *Totalmetodiken - Lönsamhet*. Hämtad från <http://belok.se/totalmetodiken/lonsamhet/>

Boverket. (u.å.a). *Bygg- och fastighetssektorns energianvändning uppdelat på förnybar energi, fossil energi och kärnkraft*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/energianvandning/>

Boverket. (u.å.b). *Energihushållningskrav*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energihushallningskrav/>

Boverket. (u.å.c). *Inomhusmiljöer med hälsosamt klimat*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/stadsutveckling/halsa-forst/inomhusmiljoer/>

Boverket. (u.å.d). *Vilken innetemperatur ska användas vid energiberäkning?* Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/fragor--svar/bbr-boverkets-byggregler/avsnitt-9-energihushallning/berakning/vilken-inomhustemperatur-ska-anvandas-vid-energiberakning/>

Boverket. (2009). *Så mår våra hus - Redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m.m..* Hämtad från https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2009/sa_mar_vara_hus.pdf

Boverket. (2020). *Boverkets byggregler, BBR, BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2020/konsoliderad-bbr-2011-6-tom-2020-4.pdf?fbclid=IwAR3P7vGCfdvUxhi4g8o3rg08ok7NMHZ0LsUX8gWqcMIVBZPfEaehEI7AExI>

Boverket. (2023). *Välj ventilationssystem när du bygger eller renoverar*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/valj-ventilationssystem/>

Brandén, I., & Joelsson, A. (2006). *Konsten att spara energi i ett gammalt hus*. Byggnadsvårdsföreningen. Hämtad från <https://byggnadsvard.se/konsten-att-spara-energi-i-ett-gammalt-hus/>

Cabeza, L. (2015). *Advances in Thermal Energy Storage Systems - Methods and Applications*. Woodhead Publishing. Hämtad från: <https://doi.org/10.1016/C2013-0-16453-7>

Dinbyggare. (u.å). *Energisnåla ytterdörrar lönar sig i längden*. Hämtad från <https://www.dinbyggare.se/energisnåla-ytterdörrar-lonar-sig-i-langden/>

Energimarknadsbyrån. (u.å.). *Fjärrvärmepriser per prisområde [Excel-fil]*. Hämtad 28 april 2023 från <https://www.energimarknadsbyran.se/fjarrvarme/fjarrvarmeavtal-och-kostnader/fjarrvarme-pris-och-kostnad/>

Energimarknadsbyrån. (2020). *Vad är fjärrvärme?*. Hämtad från: <https://www.energimarknadsbyran.se/fjarrvarme/vad-ar-fjarrvarme/>

Energimyndigheten. (u.å). *Varje kilowattimme (kWh) räknas*. Hämtad från: <https://www.energimyndigheten.se/varje-kilowattimme-raknas/>

Energimyndigheten. (2017). *Manual till verktyg för beräkning av livscykelkostnad - förklaringar och exempel*. Hämtad från <https://www.energimyndigheten.se/contentassets/dec414945bbf4a2e86365041f49a1f93/manual-till-verktyg-for-berakning-av-livscykelkostnad.pdf>

Energimyndigheten. (2022a). *Det klimatpolitiska ramverket*. Hämtad från: <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/sveriges-energi--och-klimatmal/det-klimatpolitiska-ramverket/>

Energimyndigheten. (2022b). *Vindsisolering*. Hämtad från <https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/tillaggsisolering/vindsisolering/>

Energimyndigheten. (2022c). *Isolering av ytterväggar, golv och källare*. Hämtad från <https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/tillaggsisolering/isolering-av-yttervagg-golv-och-kallare/>

Energimyndigheten. (2022d). *Energieffektiva fönster och dörrar*. Hämtad från: <https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/fonster-dorrar/>

Europaportalen. (2013) *Klimat- och energipolitik | EU:s mål och resultat*. Hämtad från: <http://www.europaportalen.se/tema/klimatforhandlingarna>

Folkhälsomyndigheten. (2014). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation (FoHMFS 2014:18)*. Hämtad från: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publikationer-och-material/publikationsarkiv/f/folkhalsomyndighetens-allmanna-rad-fohmfs-2014-18/>

Harvard. (u.å) *Life Cycle Costing*. Hämtad från: <https://green.harvard.edu/topics/green-buildings/life-cycle-costing>

Lundstedt. (2008). *Tilläggsisolera – men inte för mycket!*. Hämtad från:
<https://byggnadsvard.se/tillaggsisolera-men-inte-for-mycket/>

Naturvårdsverket. (u.å). *Energieffektivisering i bostäder och lokaler*. Hämtad från:
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimat-och-energin/energieffektivisering/energieffektivisering-i-bostader-och-lokaler/>

Nevander, L. E., & Elmarsson, B. (1994). *Fukthandbok - Praktik och teori*. Svensk Byggtjänst, Stockholm.

OpenStudio. (u.å). *OpenStudio*. Hämtad från <https://openstudio.net/>

Petersson, B-Å. (2013). *Tillämpad byggnadsfysik (5 uppl.)*. Studentlitteratur AB.

Regeringen. (2010:900). *Plan- och bygglagen (PBL)*. Svensk författningssamling. Hämtad från https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-bygglag-2010900_sfs-2010-900.

Regeringen. (2011:338). *Plan- och byggförordning (PBF)*. Svensk författningssamling. Hämtad från https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-byggforordning-2011338_sfs-2011-338.

Roth, A. (u.å). *EnergyPlus*. Hämtad från <https://energyplus.net/>

Rydegran, E. (2018). *Fjärrvärme*. Energiföretagen. Hämtad från:
<https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrvarme/>

Strandberg, B. (2016). *Bygga Hus (2. uppl.)* Studentlitteratur AB

Svensk Ventilation. (u.å.a). *Ventilation*. Hämtad från:
<http://www.svenskventilation.se/ventilation>

Svensk Ventilation. (u.å.b). *Självdragssystem*. Hämtad från:
<https://www.svenskventilation.se/ventilation/olika-satt-att-ventilera/sjalvdragssystem/>

Svensk Ventilation. (u.å.c). *Fläktstyrd frånluft – Frånluftssystem*. Hämtad från:
<https://www.svenskventilation.se/ventilation/olika-satt-att-ventilera/franluftssystem/>

Svensk Ventilation. (u.å.d). *FTX – Ventilation med värmeåtervinning*. Hämtad från:
<https://www.svenskventilation.se/ventilation/olika-satt-att-ventilera/ftx-varmeatervinning/>

Zethraeus, T. (1999). *Lönsamt installera energieffektiva fönster*. Uppsala Universitet. Hämtad från: <https://www.uu.se/nyheter/artikel/?id=684&na=1>

8 Bilagor

Bilaga 1: Ritningsunderlag

Bilaga 1.1: Fasadritning

Bilaga 1.2: Planritning

Bilaga 1.3: Plan- och fasadritning

Bilaga 2: Objektsinformation

Bilaga 3: Energideklaration

Bilaga 3.1: Sammanfattning av energideklaration (Olof Palmes Gata 4A)

Bilaga 3.2: Sammanfattning av energideklaration (Olof Palmes Gata 4B)

Bilaga 3.3: Egenskaper enligt energideklaration

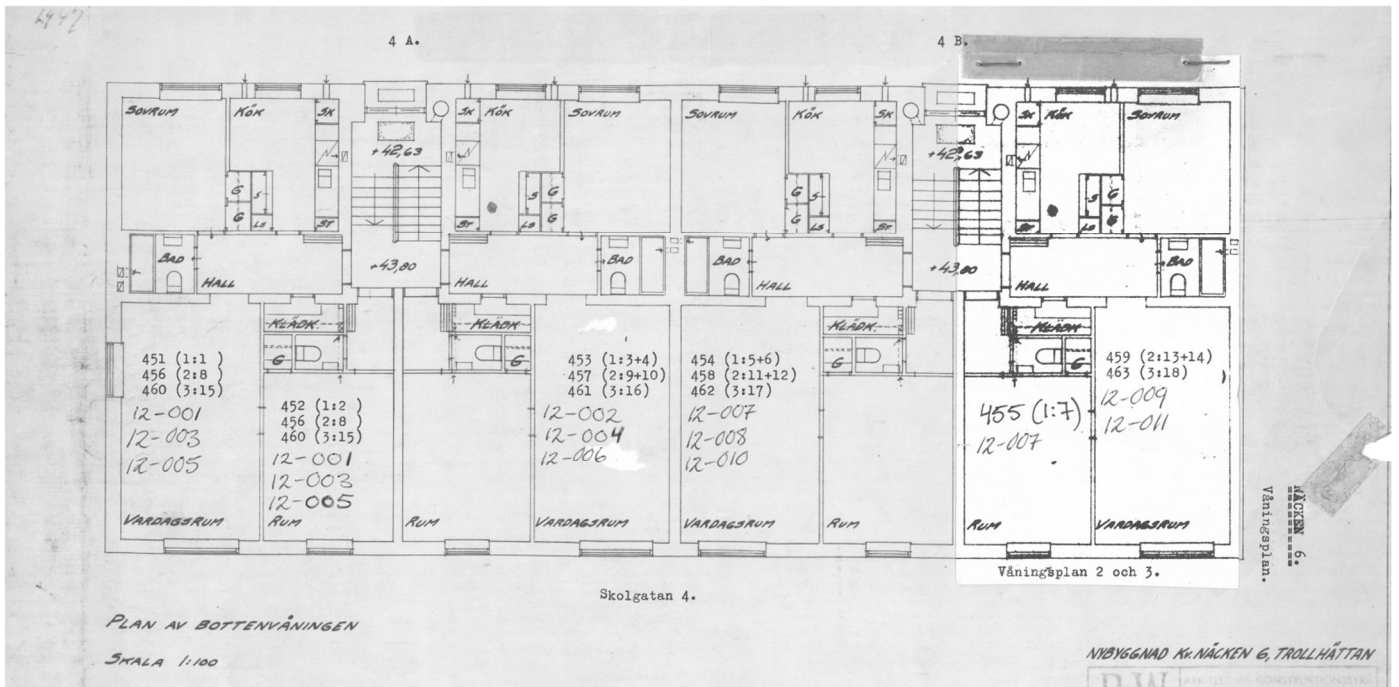
Bilaga 3.4: Energianvändning enligt energideklaration

Bilaga 3.5: Åtgärdsförslag enligt energideklaration

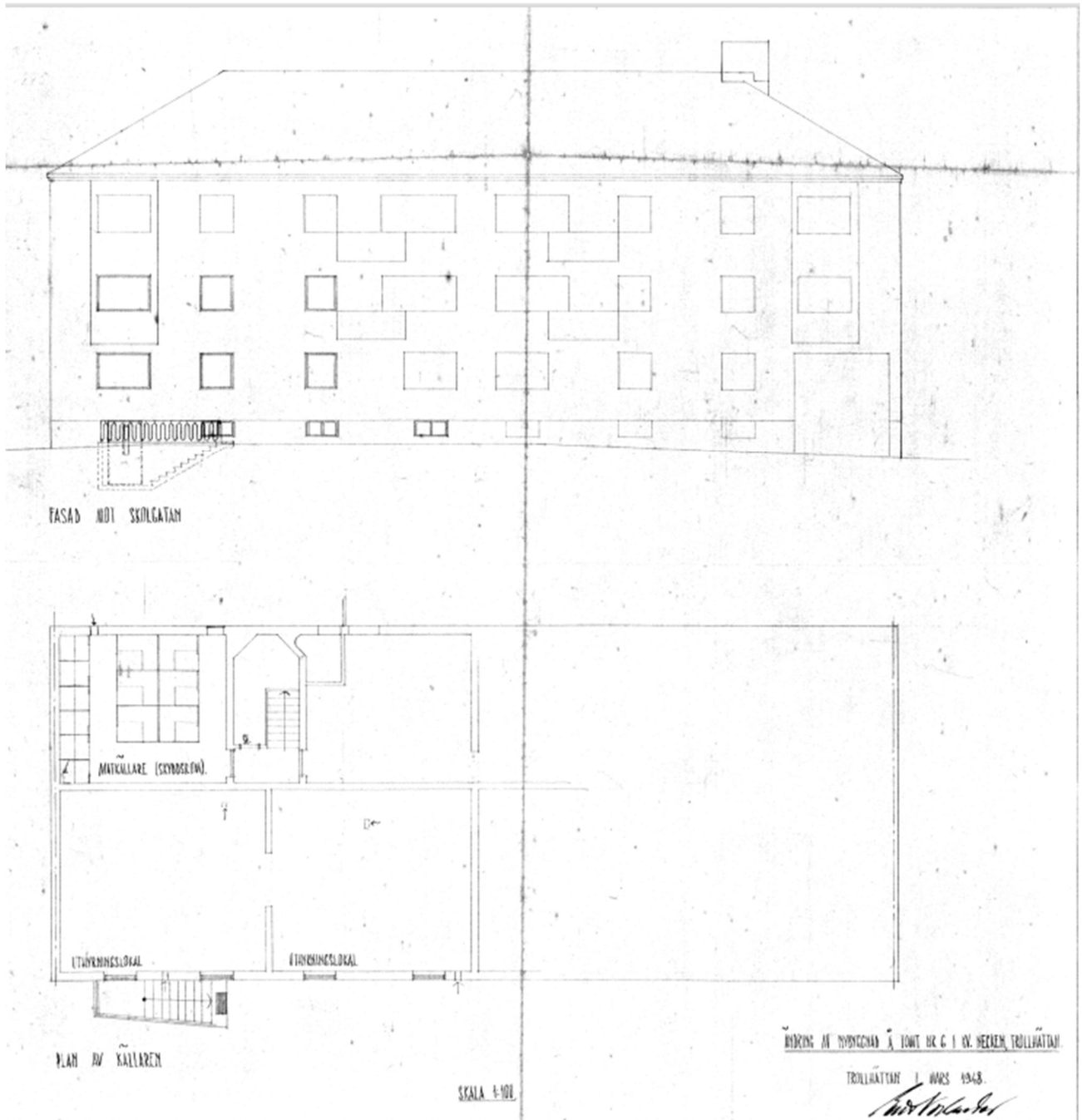
Bilaga 4: 3D-modell

Bilaga 5: Handberäkningar, LCC

Bilaga 1.2: Planritning



Bilaga 1.3: Plan- och fasadritning



Bilaga 2: Objektsinformation

OBJEKT 12

Objektsnamn:	Näcken:12	Kommentar:
Adress:	Olof palmes gata 4 A-B Storgatan 19 - 21	Kommentar:
Antal lägenheter:	35	Kommentar:
Antal Lokaler:	7	Kommentar:
Fastighetsskötare:	Daniel Johansson Tel 070-5195925	Kommentar:
Byggår:	1946/52	Kommentar:
Ombyggnadsår:	Huset byggt 1946 omb. 1995	Kommentar:
Skyddsrum:	2	Kommentar:
Antal tvättstugor:	2	Kommentar:
Antal Sophus:	1	Kommentar:
Antal P-platser:	3	Kommentar:
Antal Garage:	15	Kommentar:
Uppvärmning:	Fjärrvärme	Kommentar:
Fastigheten uppmärkt:	Ja	Kommentar:
Källare:	Ja	Kommentar: Behöver målas
Källarförråd:	Ja galler/matförråd.	Kommentar:
Vindsförråd:	Ja gallerförråd	Kommentar: Ny belysning
Källarbelysning:	Ok	Kommentar:
Ytterbelysning:	Ok	Kommentar:
Ytskikt Fasad:	Tegel	Kommentar: Huset byggt 46 omb. 1996
Ytskikt Tak:(bytt)	Tegel/papp	Kommentar: bytt 2005 och 2008
Fönster:	Aluminium	Kommentar:
Trapphus:	Fina	Kommentar:
Entréparti (Mtrl):	Aluminium.	Kommentar: Insatta 1997
Porttelefon/Portkod:	Portkod	Kommentar:
Hiss:	2	Kommentar:
Ventilation:	Självdrag	Kommentar:
Kabel-Tv:	Telia	Kommentar:
Bredband:	Telia	Kommentar: Fiber
Postbox:	Ja	Kommentar:
Stammar:	Ja Relinat	Kommentar: Proline
Lås	Kaba	Kommentar: 2011
Radon:	Ok/nej	Kommentar:
Lekutrustning:	Nej	Kommentar:
Brandvarnare:	Ja	Kommentar:
Balkonger:	Ja	Kommentar:
Asbest	Ja	Kommentar: I badrum
Spisar	70 220 v	Kommentar:
Bokningstavla nr:	T-90.50804 C	Kommentar:

Bilaga 3: Energideklaration

Bilaga 3.1: Sammanfattning av energideklaration (Olof Palmes Gata 4A)

Sammanfattning av

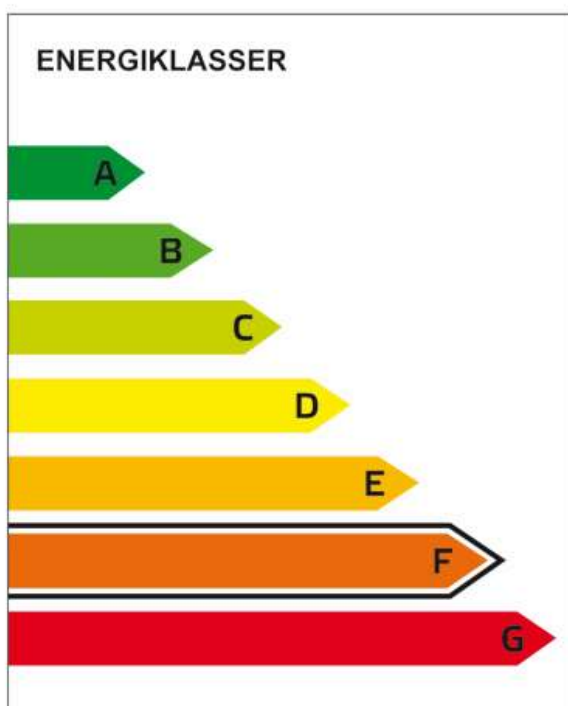
ENERGIDEKLARATION

Olof Palmes Gata 4A, 461 30 Trollhättan

Trollhättans stad

Nybyggnadsår: 1952

Energideklarations-ID: 1071582



DENNA BYGGNADS
ENERGIKLASS

Energiprestanda, primärenergital:
166 kWh/m² och år

**Krav vid uppförande av
ny byggnad, primärenergital:**
Energiklass C, 85 kWh/m² och år

**Specifik energianvändning
(tidigare energiprestanda):**
157 kWh/m² och år

Uppvärmningssystem:
Fjärrvärme

Radonmätning:
Utförd

Ventilationskontroll (OVK):
Utförd

Åtgärdsförslag:
Har lämnats

Energideklarationen är utförd av:
Håkan Alnebratt, Majornas Energi &
miljökonsult AB, 2020-04-17

Energideklarationen är giltig till:
2030-04-17

Energideklarationen i sin helhet
finns hos byggnadens ägare.

För mer information:
www.boverket.se

Sammanfattningen är upprättad enligt
Boverkets föreskrifter och allmänna råd
(2007:4) om energideklaration för byggnader.

Sammanfattning av

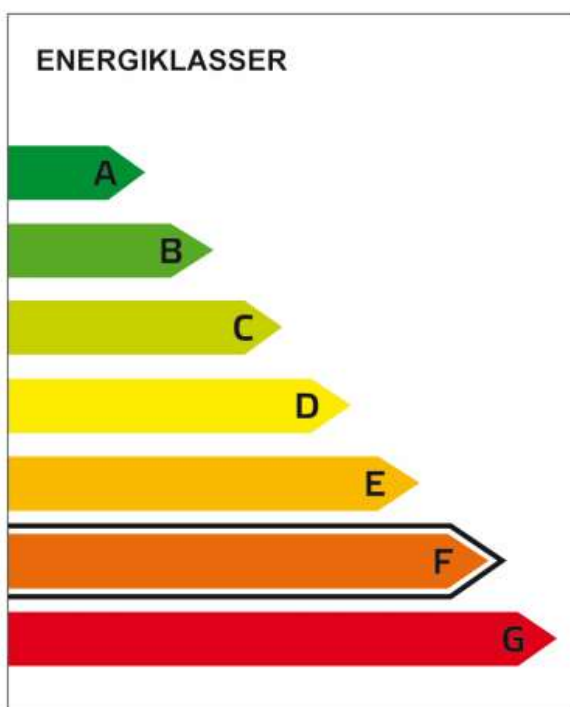
ENERGIDEKLARATION

Olof Palmes Gata 4B, 461 30 Trollhättan

Trollhättans stad

Nybyggnadsår: 1952

Energideklarations-ID: 1071582



DENNA BYGGNADS
ENERGIKLASS

Energiprestanda, primärenergital:
166 kWh/m² och år

**Krav vid uppförande av
ny byggnad, primärenergital:**
Energiklass C, 85 kWh/m² och år

**Specifik energianvändning
(tidigare energiprestanda):**
157 kWh/m² och år

Uppvärmningssystem:
Fjärrvärme

Radonmätning:
Utförd

Ventilationskontroll (OVK):
Utförd

Åtgärdsförslag:
Har lämnats

Energideklarationen är utförd av:
Håkan Alnebratt, Majornas Energi &
miljökonsult AB, 2020-04-17

Energideklarationen är giltig till:
2030-04-17

Energideklarationen i sin helhet
finns hos byggnadens ägare.

För mer information:
www.boverket.se

Sammanfattningen är upprättad enligt
Boverkets föreskrifter och allmänna råd
(2007:4) om energideklaration för byggnader.

Bilaga 3.3: Egenskaper enligt energideklaration

Byggnaden - Egenskaper

Typkod 321a - Hyreshusenhet, bostäder & lokaler (bostäder mer eller lika med 50%)		Byggnadskategori Flerbostadshus	
Byggnadens komplexitet <input checked="" type="radio"/> Enkel <input type="radio"/> Komplex		Nybyggnadsår 1952	
Atemp (exkl. Avarmgarage) 1512 m ²		Verksamhet Fördela enligt nedan:	
Avarmgarage 0 m ²		Procent av Atemp (exkl. Avarmgarage)	
Antal källarplan uppvärmda till >10°C (exkl. garageplan) 1		Bostäder (inkl. biarea, t.ex. trapphus och uppvärmd källare) 100	
Antal våningsplan ovan mark 3		Hotell, pensionat och elevhem	
Antal trapphus 2		Restaurang	
Antal bostadslägenheter 11		Kontor och förvaltning	
Finns till övervägande del lägenheter med boarea om högst 35 m ² vardera? <input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nej		Butiks- och lagerlokaler för livsmedelshandel	
Projekterat genomsnittligt hygieniskt uteluftsflöde i lokalbyggnader eller flerbostadshus l/s,m ²		Butiks- och lagerlokaler för övrig handel	
Finns installerad eleffekt >10 W/m ² för uppvärmning och varmvattenproduktion <input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nej		Köpcentrum	
Är byggnaden skyddad som byggnadsminne eller en sådan särskilt värdefull byggnad som avses i 8 kap 13 § PBL? <input checked="" type="radio"/> Nej <input type="radio"/> Ja, enligt 3 kap KML <input type="radio"/> Ja, enligt SBM-förordningen <input type="radio"/> Ja, är utpekad i detaljplan eller områdesbestämmelser <input type="radio"/> Ja, är utpekad i annan typ av dokument <input type="radio"/> Ja, egen bedömning		Vård, dygnet runt	
		Vård, dagtid (samt serviceboende, frisersalong o. dyl)	
		Skolor (förskola-universitet)	
		Bad-, sport-, idrottsanläggningar (ej utomhusarenor)	
		Teater-, konsert-, biograflokaler och övriga samlingslokaler	
		Övrig verksamhet - ange vad	
		Summa 100	

Bilaga 3.4: Energianvändning enligt energideklaration

Energianvändning

Mätperiod Vilken 12-månadersperiod avser energiuppgifterna? (ange första månaden i formatet AAMM)		Beräknad energianvändning Beräknad energianvändning vid normalt brukande och ett normalår anges för byggnader där det inte går att få fram uppgifter om den uppmätta energianvändningen.																																																	
1801 - 1812		<input type="checkbox"/>																																																	
Hur mycket energi har använts för värme och varmvatten angiven mätperiod? Värdena ska vara korrigerade för normalt bruk. (BFS 2016:12) Angivna värden ska inte vara normalårskorrigerade.		Omvandlingsfaktorer för bränslen i tabellen nedan gäller om inte annat uppmätts:																																																	
<table border="0" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Energi för</th> <th></th> </tr> <tr> <th></th> <th>uppvärmning</th> <th>tappvarmvatten</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fjärrvärme (1)</td> <td><input type="text" value="161676"/></td> <td><input type="text" value="37800"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>Eldningsolja (2)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>Naturgas, stadsgas (3)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>Ved (4)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>Flis/pellets/briketter (5)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>Övrigt biobränsle (6)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>El (vattenburen) (7)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>El (direktverkande) (8)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>El (luftburen) (9)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>Markvärmepump (el) (10)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>Värmepump-frånluft (el) (11)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>Värmepump-luft/luft (el) (12)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>Värmepump-luft/vatten (el) (13)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> <tr> <td>Tappvarmvatten (el) (14)</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/> kWh</td> </tr> </tbody> </table>		Energi för				uppvärmning	tappvarmvatten	Fjärrvärme (1)	<input type="text" value="161676"/>	<input type="text" value="37800"/> kWh	Eldningsolja (2)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	Naturgas, stadsgas (3)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	Ved (4)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	Flis/pellets/briketter (5)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	Övrigt biobränsle (6)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	El (vattenburen) (7)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	El (direktverkande) (8)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	El (luftburen) (9)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	Markvärmepump (el) (10)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	Värmepump-frånluft (el) (11)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	Värmepump-luft/luft (el) (12)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	Värmepump-luft/vatten (el) (13)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	Tappvarmvatten (el) (14)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	Eldningsolja 10 000 kWh/m ³ Naturgas 11 000 kWh/1 000 m ³ (effektivt värmevärde) Stadsgas 5 880 kWh/1 000 m ³ Pellets 4 500-5 000 kWh/ton, beroende av träslag och fukthalt Källa: Energimyndigheten För övriga biobränsle varierar värmevärdet beroende av sammansättning och fukthalt. Det är expertens ansvar att omräkna bränslets vikt eller volym till energi på ett korrekt sätt.	
Energi för																																																			
	uppvärmning	tappvarmvatten																																																	
Fjärrvärme (1)	<input type="text" value="161676"/>	<input type="text" value="37800"/> kWh																																																	
Eldningsolja (2)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
Naturgas, stadsgas (3)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
Ved (4)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
Flis/pellets/briketter (5)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
Övrigt biobränsle (6)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
El (vattenburen) (7)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
El (direktverkande) (8)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
El (luftburen) (9)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
Markvärmepump (el) (10)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
Värmepump-frånluft (el) (11)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
Värmepump-luft/luft (el) (12)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
Värmepump-luft/vatten (el) (13)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
Tappvarmvatten (el) (14)	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh																																																	
		Övrig el som ingår i energiprestanda																																																	
		Fjärrkyla (15) <input type="text"/> kWh El för komfortkyla (16) <input type="text"/> kWh Fastighetsel ¹ (17) <input type="text" value="21952"/> kWh																																																	
		Övrig energi (ingår inte i energiprestanda)																																																	
		Hushållsel ² (18) <input type="text" value="45360"/> kWh Verksamhetsel ³ (19) <input type="text"/> kWh																																																	
Energi för uppvärmning, tappvarmvatten, komfortkyla och fastighetsel		Finns solvärme?																																																	
Summa 1 - 17 ⁴ <input type="text" value="221428"/> kWh		<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nej																																																	
		Ange solfångararea <input type="text"/> m ² Beräknad energiproduktion <input type="text"/> kWh/år																																																	
Ort (Energi-Index)		Finns solcellssystem?																																																	
Trollhättan		<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nej																																																	
		Ange solcellsarea <input type="text"/> m ² Beräknad elproduktion <input type="text"/> kWh/år																																																	
Byggnadens energianvändning ⁵ (Normalårskorrigerat värde (Energi-index))		Byggnadens primärenergianvändning ⁶																																																	
<input type="text" value="238128"/> kWh/år		<input type="text" value="251299"/> kWh/år																																																	
Energiprestanda (primärenergital)	Referensvärde 1 (enligt nybyggnadskrav)	Referensvärde 2 (liknande byggnader)	Referensvärde 3 (nybyggnadskrav för denna byggnad)																																																
<input type="text" value="166"/> kWh/m ² , år	<input type="text" value="85"/> kWh/m ² , år	<input type="text" value="159"/> kWh/m ² , år	<input type="text"/> kWh/m ² , år																																																

¹ Den el som ingår i fastighetsenergin.

² Den el som ingår i hushållsenergin.

³ Den el som ingår i verksamhetsenergin.

⁴ Den energimängd som levereras till byggnaden vid normalt brukande.

⁵ Enligt definition i Boverkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd.

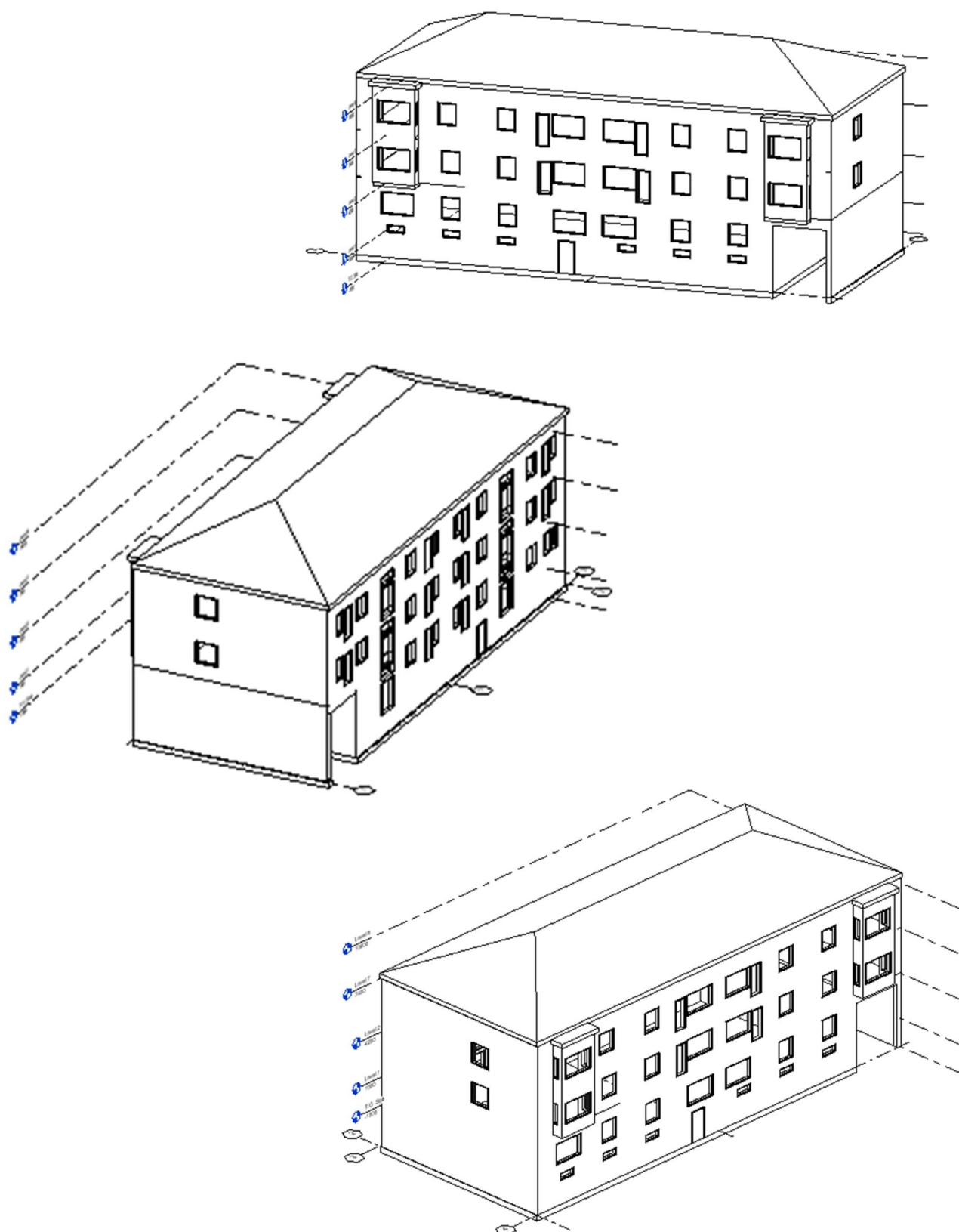
⁶ Underlag för energiprestanda.

Bilaga 3.5: Åtgärdsförslag enligt energideklaration

Åtgärdsförslag (Dekl.id: 1071582)

Styr- och regler teknisk	Installationsteknik	Byggnadsteknik
<p>Värme</p> <p><input type="checkbox"/> Nya radiatorventiler</p> <p><input type="checkbox"/> Injustering av värmesystem</p> <p><input type="checkbox"/> Tids-/behovsstyrning av värmesystem</p> <p><input type="checkbox"/> Rengöring och/eller luftning av värmesystem</p> <p><input type="checkbox"/> Maxbegränsning av innetemperatur</p> <p><input type="checkbox"/> Ny inomhusgivare</p> <p><input type="checkbox"/> Byte/installation av tryckstyrda pumpar</p> <p><input type="checkbox"/> Annan åtgärd</p> <p>Ventilation</p> <p><input type="checkbox"/> Injustering av ventilationssystem</p> <p><input type="checkbox"/> Tidsstyrning av ventilationssystem</p> <p><input type="checkbox"/> Behovsstyrning av ventilationssystem</p> <p><input type="checkbox"/> Byte/installation av varvtalsstyrda fläktar</p> <p><input type="checkbox"/> Annan åtgärd</p> <p>Belysning, kylning m.m.</p> <p><input type="checkbox"/> Tids-/behovsstyrning av belysning</p> <p><input type="checkbox"/> Tids-/behovsstyrning av kyla</p> <p><input type="checkbox"/> Annan åtgärd</p>	<p><input type="checkbox"/> Varmvattenbesparande åtgärder</p> <p><input type="checkbox"/> Energieffektiv belysning</p> <p><input type="checkbox"/> Isolering av rör och ventilationskanaler</p> <p><input type="checkbox"/> Byte/installation av värmepump</p> <p><input type="checkbox"/> Byte/installation av energieffektiva värmekälla</p> <p><input type="checkbox"/> Byte/komplettering av ventilationssystem</p> <p><input type="checkbox"/> Återvinning av ventilationsvärme</p> <p><input type="checkbox"/> Installation av solvärme</p> <p><input type="checkbox"/> Installation av solceller</p> <p><input type="checkbox"/> Annan åtgärd</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Tilläggsisolering vindsbjälklag/tak</p> <p><input type="checkbox"/> Tilläggsisolering väggar</p> <p><input type="checkbox"/> Tilläggsisolering källare/mark</p> <p><input type="checkbox"/> Byte till energieffektiva fönster/fönsterdörrar</p> <p><input type="checkbox"/> Komplettering fönster/fönsterdörrar med innerruta</p> <p><input type="checkbox"/> Tätning fönster/fönsterdörrar/ytterdörrar</p> <p><input type="checkbox"/> Annan åtgärd</p>
<p>Minskad energianvändning</p> <p>5477 kWh/år</p>	<p>Kostnad per sparad kWh</p> <p>0,26 kr/kWh</p>	
<p>Beskrivning av åtgärden</p> <p>Mer isolering på vinden är en lönsam åtgärd. Notera dock att ni samtidigt bör justera radiatorkrets samt värmestyrningen.</p>		

Bilaga 4: 3D-modell



Bilaga 5: Handberäkningar, LCC

Element	Energianvändning	Investeringskostnad	Kalkyltid	Energianvändning +10%	Investeringskostnad +10%
Fönsterbyte	139735,56	397 810 kr	40	141 895,15	437 591 kr
Byte av dörrar	158 084,77	279 176 kr	30	158 409,44	307 094 kr
Tilläggisolering av tak	126 982,25	279 360 kr	40	130 417,13	307 296 kr
Tilläggisolering vägg (100 mm)	157 484,62	113 390 kr	40	157 869,30	124 729 kr
Tilläggisolering vägg (200 mm)	155 502,72	172 465 kr	40	156 085,59	189 712 kr

Återärd	Energipris 2021	Energipris 2018	Energianvändning ökar 10%	Investering ökar 10%	Investering och energianvändning	Investering, energianvändning och energipris
Fönsterbyte	345 089 kr	85 938 kr	270799,1672	305307,96	231 018,17 kr	-2 218 kr
Byte av dörrar	-195 411 kr	-224 632 kr	-203787,7808	-223328,998	-231 705,38 kr	-258 004 kr
Tilläggisolering av tak	902 253 kr	490 062 kr	784093,124	874316,824	756 157,12 kr	385 185 kr
Tilläggisolering vägg (100 mm)	18 941 kr	-27 221 kr	5708,2696	7602,296	-5 630,73 kr	-47 177 kr
Tilläggisolering vägg (200 mm)	28 044 kr	-41 901 kr	7992,8936	10797,156	-9 253,61 kr	-72 204 kr

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se



CHALMERS