

Avdelningen för Installationsteknik
Examensarbete TVIT—24/5111
Lund 2024

Energieffektivisering av äldre småhus avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

- En studie med fokus på uppvärmningsbehov och ekonomisk lönsamhet



Benjamin John
Fredrik Källkvist Nilson



LUNDS
UNIVERSITET

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

En studie med fokus på uppvärmningsbehov och
ekonomisk lönsamhet

Benjamin John
Fredrik Källkvist Nilson

Examensarbete

Avdelningen för Installationsteknik
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund

© Benjamin John och Fredrik Källkvist Nilson

ISRN LUTVDG/TVIT—24/5111—SE(94)

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Box 118

221 00 LUND

Sammanfattning

- Titel:** Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende – en studie med fokus på uppvärmningsbehov och ekonomisk lönsamhet.
- Författare:** Benjamin John och Fredrik Källkvist Nilson.
- Handledare:** Victor Fransson, biträdande universitetslektor vid avdelningen för Installations- och Klimatiseringslära.
- Examinator:** Birgitta Nordquist, universitetslektor vid avdelningen för Installations- och Klimatiseringslära.
- Bakgrund:** Ungefär en tredjedel av Sveriges totala energianvändning kommer från bostäder och lokaler där majoriteten av energin används för uppvärmning (Naturvårdsverket 2023). Med både tekniska åtgärder och förändrade brukarbeteenden kan man uppnå en energieffektivisering av befintliga byggnader. Energieffektivisering av befintliga byggnader ses som en av nycklarna för att uppfylla miljö kvalitetsmålen och därigenom att skapa ett hållbart byggnadsbestånd. Under senare år har EU publicerat direktiv som omfattar krav på energieffektivisering av småhus i Sverige. Dessa energieffektiviserande åtgärder kan vara både kostsamma och utgöra stora ingrepp och förändringar i de befintliga husen. I detta arbete undersöks hur olika åtgärder kan bidra till en energibesparing och därmed minska uppvärmningsbehovet för ett småhus.
- Syfte:** Syftet med examenarbetet är att utreda hur olika energieffektiviserande åtgärder påverkar energiprestandan för äldre småhus. Sammanställning av tidigare forskning och en fallstudie ligger till grund för att utreda både tekniska åtgärders och olika brukarbeteendes inverkan på en byggnads energiprestanda. Studien har fokus på uppvärmningsbehov och åtgärdernas ekonomiska lönsamhet.
- Metod(er):** Inledningsvis utförs en litteraturstudie där tidigare studier inom samma område undersöks, därefter görs ett platsbesök av den specifika byggnaden för att genomföra relevanta mätningar inför modelleringen av huset i simuleringsprogrammet IDA ICE. Med uppbyggd husmodell görs sedan en fallstudie där olika åtgärder för huset simuleras som olika fall med varierande indata. Detta

görs för att kunna jämföra hur åtgärderna enskilt och kombinerat påverkar energiprestandan. Dessutom undersöks den ekonomiska lönsamheten för de olika åtgärderna genom beräkning av livscykelkostnad och återbetalningstid.

Slutsatser:

Studien påvisar att den enskilda renoveringsåtgärden som har störst påverkan på uppvärmningsbehovet är installation av luft/luft-värmepumpar (50 % reducering) och den åtgärd som har lägst påverkan är tillsats av extraruta (8 % reducering). Det bästa kombinerade fallet med två åtgärder visade sig vara fallet med 75 mm tilläggsisolering och installation av luft/luft-värmepumpar (52 % reducering). Även ur det ekonomiska perspektivet framstår åtgärden med installation av luft/luft-värmepumpar som mest lönsam med lägst återbetalningstid och lägst livscykelkostnad av de undersökta fallen. Av de studerade fallen med förändrade brukarbeteenden resulterade vädringen i en ökning av uppvärmningsbehovet mellan två och 54 procent. Sänkt inomhustemperatur från 21 – 19 °C och ett halverat ventilationsflöde från 0,35 l/s och m² till 0,175 l/s och m² ledde till en energibesparing på 15 respektive 12 procent.

Nyckelord:

Energieffektivisering, energianvändning, renovering, brukarbeteende, uppvärmningsbehov, ekonomisk lönsamhet

Abstract

The purpose of this study is to investigate how different energy-efficient renovation measures may affect the energy performance of older detached houses. The study involves a review of previous research and a case study of one detached house built in 1919, and investigates the impact of technical measures and different user behaviors on energy performance. The case study was conducted by using the simulation program IDA ICE. It also involved a financial profitability assessment of the various renovation measures. The results of the study show that all seven investigated renovation measures reduced the heating requirement for the case study house. Installation of two heat pumps in combination with an additional insulated facade proved to reduce the heating requirement the most. The result of the financial viability assessment showed that the majority of the renovation measures can be considered profitable over time, although profitability is highly dependent on future energy prices. The study also reveals that different user behaviors can both increase and reduce the need for heating.

Förord

Som avslutning på civilingenjörsutbildningen Väg- och vattenbyggnad på Lunds tekniska högskola har ett omfattande examensarbete om 30 högskolepoäng utförts för avdelningen Installationsteknik. Examensarbetet har varit utmanande men lärorikt och det har varit spännande att undersöka ett högaktuellt ämnesområde.

Under examensarbetets gång har vi haft regelbunden handledning med vår handledare Victor Fransson och vi vill rikta ett stort tack till honom för hans stöttning och vägledning genom arbetet. Birgitta Nordquist ska också ha ett stort tack för sitt engagemang i uppstartsfasen av arbetet och för rollen som examinerare. Vi vill även tacka Henrik Davidsson som gett oss tillåtelse att undersöka hans hus och för hans positiva inställning till arbetet.

Avslutningsvis vill vi även tacka våra kursare för de trevliga och minnesvärda fem studieåren på LTH.

Tack!

Lund i maj 2024

Benjamin John & Fredrik Källkvist Nilson

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Abstract	iii
Förord	v
Innehållsförteckning	vii
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte.....	2
1.3 Frågeställningar	3
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Nomenklatur	3
2 Teoretisk bakgrund.....	5
2.1 Energieffektivitet	5
2.2 Effektbalans för byggnader	5
2.2.1 Luftläckage	6
2.2.2 Transmissionsförluster.....	7
2.2.3 Ventilationsförluster	8
2.2.4 Internvärme.....	8
2.2.5 Solvärmelast	9
2.2.6 Brukarbeteende.....	9
2.3 Effektbalans och energianvändning.....	9
2.3.1 Uppvärmningsenergi	9
2.3.2 Totalt energibehov	11
2.4 Vanliga tekniska renoveringsåtgärder	11
2.4.1 Tilläggsisolering	11
2.4.2 Fönsterbyte	12
2.4.3 Byte av ventilationssystem	12
2.4.4 Installation av värmepump	13
2.5 Ekonomisk lönsamhetsbedömning	14
2.6 Dagens energikrav	15
2.7 Krav och råd gällande inomhusklimat.....	16
2.7.1 Luftkvalitet	16
2.7.2 Termisk komfort	17
2.7.3 Brukarindata för bostäder	17
2.8 Tidigare studier.....	18
2.8.1 Renovation of Swedish single-family houses to passive house standard - Analyses of energy savings potential	18
2.8.2 Om-renovering – möjligheter för energieffektivisering när äldre flerbostadshus renoveras en andra gång	19
2.8.3 Brukares påverkan på energianvändning i miljonprogramshus.....	19
2.8.4 Renoveringsåtgärders och brukarbeteendes effekt på energianvändning och inomhusmiljö i frånluftsventilerade flerbostadshus	20
2.8.5 Halvera Mera	21
3 Metod.....	23
3.1 Beskrivning av studerad byggnad.....	23
3.1.1 Konstruktioner.....	25

3.1.2	Uppvärmningssystem	29
3.1.3	Ventilationssystem.....	29
3.1.4	Klimatskalets areor och U-värden	30
3.2	Platsbesök	30
3.3	Fallbeskrivning	32
3.3.1	Standardiserad byggnad från 1919 – Fall 0.0	34
3.3.2	Befintlig byggnad, verifiering – Fall 0.1	39
3.3.3	Tilläggsisolering yttervägg – Fall 1	41
3.3.4	Fönsteråtgärder	42
3.3.5	Luft/luft-värmepump – Fall 3	43
3.3.6	Tilläggsisolering yttervägg och extraruta – Fall 4	44
3.3.7	Tilläggsisolering yttervägg och fönsterbyte – Fall 5	44
3.3.8	Tilläggsisolering och luftvärmepump – Fall 6.....	44
3.3.9	Förändrade brukarbeteende	44
3.4	Lönsamhetsbedömning för de olika fallen	48
3.4.1	Investeringskostnad tilläggsisolering.....	48
3.4.2	Investeringskostnad fönsterbyte	49
3.4.3	Investeringskostnader för kombinerade åtgärder.....	51
3.4.4	Livscykelkostnad	52
3.4.5	Återbetalningstid	53
3.4.6	Ekonomisk bedömning av förändrade brukarbeteende	53
4	Resultat.....	55
4.1	Resultat från IDA ICE	55
4.2	Ekonomisk lönsamhetsbedömning	57
4.2.1	LCC	57
4.2.2	Återbetalningstid	60
4.2.3	Ekonomisk bedömning av förändrade brukarbeteenden	60
4.3	Sammanställning	61
5	Diskussion	63
5.1	Simuleringsfall	64
5.1.1	Standardiserad byggnad – Fall 0.0.....	64
5.1.2	Befintlig byggnad – Fall 0.1 (verifiering).....	64
5.1.3	Tilläggsisolering av yttervägg – Fall 1	64
5.1.4	Fönsteråtgärder – Fall 2.....	65
5.1.5	Luft/luft-värmepump – Fall 3	67
5.1.6	Kombinerade åtgärder	67
5.1.7	Förändrade brukarbeteende	68
5.2	Osäkerheter och felkällor.....	71
5.3	Vidare studier	71
6	Slutsatser.....	73
	Referenser.....	75

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Renovering av privata och offentliga byggnader pekas ut som ett nyckelinitiativ i European Green Deal för att driva energieffektiviseringsarbetet i byggsektorn framåt och för att uppnå klimatmålen. Som en följd av elprisökningen under Covid-19-pandemin publicerade EU-kommissionen 2020 strategin “A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives”, vilken syftar till att fördubbla energirenoveringstakten till 2030 (Europeiska kommissionen u.å.). I strategin menar kommissionen att omkring 40 % av EU:s totala energianvändning används av byggnader. Dessutom uppskattar kommissionen att av Europas befintliga byggnadsbestånd kommer 85 – 95 % av byggnaderna att stå kvar år 2050. Det hävdas också att majoriteten av de befintliga byggnaderna har en låg energieffektivitet (Europeiska kommissionen 2020). För att EU ska uppnå utsläppsminskingsmålet på 55 % till 2030 krävs stora ansträngningar. De befintliga byggnaderna behöver minska sitt utsläpp av växthusgaser med minst 60 % och sin totala energianvändning med 14 %. För att minska den totala energianvändningen bland byggnaderna beräknas det att en minskning av energianvändningen för uppvärmning och kylning behöver ske med 18 % (Europeiska kommissionen 2020).

Att renovera istället för att bygga nytt kan generera omfattande klimatomfattande, ekonomiska och sociala vinster. Genom renoveringar kan befintliga byggnader bland annat göras grönare, mer hälsosamma och beständigare mot allt vanligare extremväder (Europeiska kommissionen 2020). Med fler omfattande renoveringar tros det att pressen avseende att bygga nytt kan minska, vilket skulle bidra till ett bevarande av biologisk mångfald och bördig jordbruksmark (Europeiska kommissionen 2020). Detta bör dock inte förväxlas med sambandet att en ökad befolkning mängd höjer efterfrågan på nya bostäder. Enligt kommissionen måste 15 % av Europas totala byggnadsbestånd uppgraderas från Energy Performance Certificate (EPC-märkning) G till minst F senast år 2030, vilket motsvarar att primärenergitalet måste understiga 212 kWh/m² och år (Drift 2023). Dock bör bostäder uppgraderas till EPC-märkning E senast 2033 (maximalt 162 kWh/m² och år) (Europeiska kommissionen 2021).

Likt hela Europa har Sverige de senaste åren också påverkats av tillfälliga effektbrister i elnätet. En effektbrist uppstår då efterfrågan på el är större än vad som är möjligt att producera och importera vid en viss tidpunkt (Energimyndigheten 2022a). Fenomenet är vanligare vintertid då efterfrågan på el för uppvärmning är stor. Effektbrist kan även uppträda lokalt i elnätet när överföringskapaciteten är för låg mellan lokala områden. Att minska uppvärmningsbehovet minskar således både energianvändningen och sannolikheten för effektbrist i elnätet (RISE u.å.).

Den svenska myndigheten Boverket införde år 2017 de krav som idag gäller avseende en ny byggnads energiprestanda. Energiprestandan beskrivs genom ett primärenergital vilket beräknas som ett sammanvägt mått mellan en byggnads byggnadstekniska och

installationstekniska egenskaper (Boverket 2022). Primärenergitalet är även beroende av vilken energibärare som används för energitransport till byggnaden. Mellan 2006 och 2017 användes specifik energianvändning som krav på energiprestanda (Boverket 2020). Detta var det första byggnadskravet som behandlade energianvändning för nybyggda hus i Sverige. Byggnader byggda före 2006 berörs således inte av något krav gällande energiprestanda. Vid renovering (om- och tillbyggnad) kan de krav som idag gäller vid nybyggnation bli gällande om renoveringen bedöms vara tillräckligt omfattande (BFS 2011:16).

Utöver åtgärder av teknisk karaktär på konstruktionen kan även brukarna av byggnaden påverka energianvändningen. Vid beräkning av en byggnads energianvändning och primärenergital förutsätts det i Boverkets byggregler att ett normalt brukarbeteende under ett normalår används (BFS 2011:16). I studien *Brukarnas påverkan på energianvändning och effektbehov i NNE-byggnader* beskrivs det att brukarbeteendet har stor påverkan på mängden uppvärmningsenergi som behöver tillföras byggnaden. Brukarna har således stor påverkan på en byggnads energiprestanda (Bagge, Fransson, Hiller, Johansson & Rydén 2018).

Energieffektiviserande renoveringsåtgärder är ofta kostsamma och innebär, inte sällan, en stor investering för en enskild fastighetsägare. Det är därför av stor vikt att bedöma investeringens lönsamhet för fastighetsägaren (Boverket 2023d). Sedan 2023 finns det möjlighet att söka bidrag för energieffektiviserande åtgärder i småhus. Bidraget kan maximalt uppgå till 50 % av kostnaden för den energieffektiviserande åtgärden, dock till ett maximalt belopp på 60 000 kr (30 000 för klimatskärmsåtgärder och 30 000 för värmesystemsåtgärder) (Boverket 2023a).

Ett genomsnittligt småhus i Sverige byggt före 1940 använder 162 kWh/m² och år för uppvärmning (Energimyndigheten 2011). Medan ett genomsnittligt svenskt småhus från 2016 har en energianvändning på 107 kWh/m² och år (Energimyndigheten 2017). Med anledning av påtryckningarna från EU om en ökad energieffektivisering av Europas byggnadsbestånd finns en ökad efterfrågan på rådgivning och forskning för att maximera energibesparingen. Småhusägare är en av målgrupperna vars ekonomi tros påverkas mest av de stundande kraven på att energieffektivisera sina hem. Av den anledningen kan det anses vara aktuellt att undersöka hur småhusen bäst energieffektiviseras till en rimlig kostnad. För att skapa en helhetsbild över hur energi kan besparas finns det även skäl att undersöka hur förändrade brukarbeteenden kan påverka energiprestandan.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att utreda hur olika energieffektiviserande åtgärder påverkar energiprestandan för småhus och hur mycket uppvärmningsbehovet kan reduceras med enskilda samt kombinerade åtgärder. Sammanställning av tidigare forskning och en fallstudie ligger till grund för att utreda både tekniska åtgärders och olika brukarbeteendes inverkan på en byggnads energiprestanda. Studien avser även att undersöka åtgärdernas ekonomiska lönsamhet genom beräkning av livscykelkostnad och återbetalningstid.

1.3 Frågeställningar

- Vilka är de vanligaste energieffektiviserande renoveringsåtgärderna för småhus?
- Hur mycket kan dessa renoveringsåtgärder reducera uppvärmningsbehovet för ett äldre småhus?
- Finns det anledning att kombinera renoveringsåtgärderna för ytterligare energieffektivisering?
- Vilken eller vilka av renoveringsåtgärderna är mest lönsam/lönsamma ur ett långsiktigt ekonomiskt perspektiv?
- Hur mycket påverkas uppvärmningsbehovet av hur mycket brukarna vädrar?
- Hur stor energibesparing kan olika uppoffringar och förändrade brukarbeteenden avseende inomhusklimatet resultera i?

1.4 Avgränsningar

Genom att endast undersöka en specifik byggnad, med en specifik geografisk plats och givna förutsättningar, kan slutsatser och analyser endast göras för denna typ av byggnad. Exempelvis kan olika stommar och mängden isolering påverka energiprestandan för olika byggnader.

Ytterligare avgränsning görs med programvaran IDA ICE, då simuleringar endast görs i detta program. Man skulle kunna göra modelleringar i liknande program och få ut andra värden men i detta arbete kommer endast IDA ICE användas.

1.5 Nomenklatur

A_{temp} – Total golvarea från samtliga våningsplan som avses uppvärmas till mer än 10 °C. Golvarea som upptas av innerväggar och öppningar inkluderas i termen.

BBR – Boverkets byggregler.

Brukare – Person som bor i en bostad och därmed brukar bostaden.

COP – Coefficient of Performance (Mått som definierar värmepumpens prestanda).

Energiprestanda – Beskriver en byggnads byggnadstekniska och installationstekniska egenskaper och definieras med primärenergital.

Energiomvandling – Processen då energi omvandlas från en form till en annan. Exempelvis från elektrisk energi till termisk energi.

IDA ICE – Dynamiskt simuleringsprogram som används för att simulera byggnadsprestanda.

Klimatskal – Byggnadens delar som omsluter den uppvärmda ytan och gränsar mot utomhusklimatet, dvs tak, ytterväggar, golv, fönster och dörrar.

LCC – Life Cycle Cost (livscykelkostnad).

Regenerativ värmeväxlare – En värmeväxlare där det värmeavgivande och det värmeupptagande mediet strömmar växelvis.

Småhus – Samlingsnamn för byggnader som omfattar villor, radhus, parhus och kedjehus.

2 Teoretisk bakgrund

I detta avsnitt redovisas relevant teori som behandlar ämnet. Teorin baseras främst på kurslitteratur och svenska myndigheters publikationer. Även teori från tidigare forskning och studier, både internationella och svenska, som behandlar området presenteras. Vidare redovisas också krav och rekommendationer avseende inneklimat och energianvändning för svenska byggnader.

2.1 Energieffektivitet

Med energieffektivisering menas effektivisering av befintlig energiomvandling genom att antingen reducera energianvändningen eller att öka nyttjandegraden av befintlig energianvändning (Naturvårdsverket 2023). Ungefär en tredjedel av Sveriges totala energianvändning kommer från bostäder och lokaler, där den främsta mängden energi används för uppvärmning. Energianvändning är starkt kopplat till miljöpåverkan och minskad energianvändning kan resultera i en lägre mängd utsläpp av gaser såsom koldioxid, kväveoxid och svaveldioxid. Genom tekniska åtgärder och förändrat brukarbeteende kan energieffektivisering uppnås på befintliga byggnader, vilket anses vara en betydande faktor för att uppfylla flera miljö kvalitetsmål (Naturvårdsverket 2023). Med tanke på livslängden på dagens byggnader kan åtgärder för energieffektivisering påverka både energikostnader och miljö under en lång tid framöver. Vidare kan energieffektivisering även leda till ökad komfort avseende inomhusklimat, bättre luftkvalitet och minskad påverkan från bullerstörningar (Energimyndigheten 2023).

Olika tekniska åtgärder för att energieffektivisera byggnader för med sig kostnader i olika stor omfattning. För att bedöma om en åtgärd är rimlig att utföra görs vanligtvis en ekonomisk lönsamhetsbedömning. Krav på energieffektivisering kan ge upphov till investeringar som inte bedöms vara lönsamma och på så sätt belasta en husägare ekonomiskt.

2.2 Effektbalans för byggnader

Att förstå hur en byggnad fungerar energimässigt är en förutsättning för att kunna bygga energieffektivt. Genom att göra en så kallad effektbalans för byggnaden kan man enkelt studera byggnaden ur ett energiperspektiv. Värmebehovet för en byggnad kan delas in i två klasser: värmeeffektbehov och värmeenergibehov. De olika typerna anges med enheterna watt respektive kilowattimmar. Värmeeffektbehovet är den typ som undersöks genom en effektbalans för en byggnad. Warfvinge & Dahlblom (2010) uttrycker en stationär förenklad effektbalans, även kallad värmebalans där tillförd och bortförd effekt beskrivs enligt ekvation 2.1.

$$P_t + P_v + P_{ov} = P_w + P_s + P_i \quad [\text{W}] \quad (2.1)$$

där

- P_t = värmeförlust genom transmission
- P_v = värmeförlust genom ventilationssystemet
- P_{ov} = värmeförlust genom oavsiktlig ventilation eller luftläckage
- P_w = tillförsel av värme genom värmesystemet
- P_i = internt genererad värme
- P_s = värme tillförd genom solinstrålning

Ekvationens vänsterled består av förluster i form av transmissionsförluster, P_t , ventilationsförluster, P_v , och förluster till följd av okontrollerad ventilation eller luftläckage, P_{ov} . Högerledet består av tillförd värme från värmesystemet, P_w , från solinstrålning, P_s , samt från internvärme, P_i . Vid dimensionering av det maximala effektbehovet för en byggnad tillgodoräknas inte tillskotten från solinstrålning och internvärme, till skillnad från beräkning av energibehovet för byggnaden där de används som viktiga parametrar. Ekvation 2.1 illustreras även visuellt nedan i Figur 1.



Figur 1. Effektbalans.

2.2.1 Luftläckage

Okontrollerad ventilation eller luftläckage bidrar till förluster i värmebalansen och definieras som in- och utläckage av uteluft genom otätheter i klimatskalet (Warfvinge & Dahlblom 2010). Luften som läcker in kommer utifrån och har därmed samma temperatur som utomhusluften. Värmesystemet bör därför dimensioneras för att kunna värma även denna luft till önskad rumstemperatur. Beräkning av luftläckaget sker i två steg, först beräknas den specifika läckageförlusten, Q_{ov} , och därefter beräknas motsvarande värmeeffektbehov, P_{ov} . Beräkning av specifika läckageförlusten sker enligt ekvation 2.2.

$$Q_{ov} = \rho \cdot c_p \cdot q_{ov} \quad [\text{W/K}] \quad (2.2)$$

där

- ρ = luftens densitet, $1,2 \text{ kg/m}^3$
- c_p = luftens specifika värmekapacitet, 1000 J/kgK
- q_{ov} = oavsiktligt ventilationsflöde (m^3/s)

Därefter beräknas hur mycket värmeeffektbehov som den specifika läckageförlusten ger upphov till enligt ekvation 2.3 (Warfvinge & Dahlblom 2010).

$$P_{ov} = Q_{ov} \cdot (T_{inne} - T_{ute}) \quad [\text{W}] \quad (2.3)$$

där T_{inne} = tilluftens temperatur (°C)
 T_{ute} = utomhustemperatur (°C)

Enligt branschstandarderna ByggaL minskar energieffektiviteten för en otät byggnad på grund av ofrivillig ventilation. Den ofrivilliga ventilationen medför även att ingen värmeväxling sker på denna ventilationsluft. Konstruktionens isoleringsförmåga kan också drastiskt minska då det blåser igenom de isolerande delarna (ByggaL 2017). Enligt Boverket (2023c) föreligger det även risk för fuktrelaterade skador i konstruktioner med otätheter utöver de nyss nämnda faktorerna som direkt påverkar byggnadens energibehov. Fuktskadorna kan på längre sikt även påverka konstruktionens isoleringsförmåga och därmed även byggnadens energibehov. Hur stort luftläckaget är för en befintlig specifik byggnad är svårt att uppskatta och beräkna. För att bestämma läckaget med största möjliga noggrannhet bör därför en tryckprovning av byggnaden göras.

2.2.2 Transmissionsförluster

Transmissionsförlusterna i en byggnad avser energiförlusterna genom byggnadens klimatskärm. Det vill säga värmefflöde genom de ytor som gränsar mot utomhusluften; ytterväggar, grundkonstruktion, tak, fönster och dörrar. Klimatskärmens kvalitet avgör hur stora transmissionsförlusterna genom konstruktionen blir. För att minimera transmissionsförlusterna krävs en konstruktion med en större mängd isolering och ett noggrant utfört isoleringsarbete (Abel & Elmroth 2021). Även köldbryggor som uppstår i anslutning mellan byggnadsdelar med olika värmeledningsförmåga ingår i transmissionsförlusterna. Beräkning av förlusterna sker för varje enskilt rum, där arean och motsvarande U-värde för samtliga konstruktionsdelar definieras. Först beräknas den specifika värmeförlustfaktorn, Q_t , för varje rum, vilken sedan används för att beräkna värmeeffektbehovet, P_t , på grund av transmission (Warfvinge & Dahlblom 2010).

Specifika värmeförlustfaktorn beräknas enligt ekvation 2.4 nedan (Warfvinge & Dahlblom 2010).

$$Q_t = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{k=1}^m \Psi_k \cdot l_k + \sum_{j=1}^p X_j \quad [\text{W/K}] \quad (2.4)$$

där U_i = värmegenomgångstal för en byggnadsdel (W/m²K)
 A_i = byggnadens invändiga area (m²)
 Ψ_k = värmegenomgångstal för linjär köldbrygga (W/mK)
 l_k = linjära köldbryggans längd (m)
 X_j = värmegenomgångstal för punktförmig köldbrygga (W/K)

Därefter kan värmeeffektbehovet beräknas utifrån den beräknade specifika värmeförlustfaktorn och temperaturdifferensen mellan inomhus och utomhus enligt ekvation 2.5 nedan (Warfvinge & Dahlblom 2010).

$$P_t = Q_t \cdot (T_{inne} - T_{ute}) \quad [\text{W}] \quad (2.5)$$

där T_{inne} = inomhustemperatur (°C)
 T_{ute} = utomhustemperatur (°C)

2.2.3 Ventilationsförluster

Uteluft som förs in i en byggnad som ventilationsluft värms till önskad rumstemperatur. Uppvärmning av uteluften kräver energi och kan delas in i två delar, uppvärmning i rummet via exempelvis radiatorer eller uppvärmning i luftbehandlingsaggregat i FTX-system. Uteluft som tillförs genom uteluftsventiler i F- eller S-system är utetempererad medan tilluften i ett FTX-system håller ungefär +17 °C (Warfvinge & Dahlblom 2010). Byggnadens ventilationssystem har alltså stor påverkan på ventilationsförlusterna i värmebalansen. Beräkning av förlusterna görs genom att först beräkna ventilationens specifika värmeförlustfaktor, Q_v , därefter beräknas värmeeffektbehovet, P_v , utifrån denna faktor och temperaturdifferensen mellan inomhustemperaturen och utetemperaturen (eller tilluftstemperaturen). Ventilationens specifika värmeförlustfaktor beräknas enligt ekvation 2.6.

$$Q_v = \rho \cdot c_p \cdot q_v \quad [\text{W/K}] \quad (2.6)$$

där ρ = luftens densitet, 1,2 kg/m³
 c_p = luftens specifika värmekapacitet, 1000 J/kgK
 q_v = styrt ventilationsflöde (m³/s)

Utifrån ventilationens specifika värmeförlustfaktor beräknas sedan värmeeffektbehovet enligt ekvation 2.7 (Warfvinge & Dahlblom 2010).

$$P_v = Q_v \cdot (T_{inne} - T_{ute}) \quad [\text{W}] \quad (2.7)$$

2.2.4 Internvärme

Den värme som tillförs byggnaden genom apparater, människor, lampor eller annan aktivitet eller utrustning definieras som internvärme (Abel & Elmroth 2021). Internvärme kallas i vissa sammanhang gratisvärme då denna energi inte tillförs via byggnadens uppvärmningssystem. Abel och Elmroth påstår även att det konvektiva värmeutbytet mellan konstruktionen och rumsluften även är definierat som en del av internvärmerna. Warfvinge och Dahlblom (2010) hävdar att internvärmerna påverkar värmeenergiebehovet för byggnaden i stor utsträckning.

2.2.5 Solvärmelast

Då solen strålar in genom ett fönster omvandlas energin till värme då solstrålarna träffar en yta. Föremålets temperatur stiger vartefter föremålet efter hand både konvektivt och genom strålning avger värmen till rummet. Konstruktioner med en hög värmekapacitet har möjlighet att lagra mycket värme och därefter avge denna under en längre tidsperiod till rumsluften. En sådan konstruktion kan kallas en trög konstruktion. Mängden solvärme som tillförs byggnaden beror bland annat på väderlek, solens höjd över horisonten och byggnadens fönsterarea (Abel & Elmroth 2021). Enligt Warfvinge och Dahlbom (2010) påverkar solvärmelasten det momentana värmeeffektbehovet positivt, men ingår inte i dimensionering av det maximala effektbehovet. Dock har det stor betydelse för värmeenergibehovet för byggnaden.

2.2.6 Brukarbeteende

Utifrån samtliga ekvationer ovan för beräkning av värmeeffektförfluster kan ett antagande göras om att justering av inomhustemperaturen är den faktor som brukare enklast kan påverka själv. Behovet för uppvärmning kan minskas om en lägre inomhustemperatur kan accepteras.

Avseende förluster på grund av luftläckage kan en lägre inomhustemperatur resultera i ett lägre energibehov. En viktig parameter att beakta hos brukarbeteende är vädring. Genom att vädra bidrar brukare till en högre läckageförlust och därmed även till ett högre uppvärmningsbehov. Vädring innebär att kall uteluft transporteras in och sänker inomhustemperaturen, vilket blir påtagligt framförallt under kallare årstider.

Även effektförfluster vid transmission och ventilation kan reduceras vid en sänkt inomhustemperatur. Genom att sänka inomhustemperaturen kan brukare på egen hand se till att minska uppvärmningsbehovet, dock kan en sänkt inomhustemperatur även påverka termiska komforten negativt. Internvärmerna och solinstrålning är två parametrar som kan bidra till att minska uppvärmningsbehovet. Brukare kan påverka dessa parametrar genom att bland annat anpassa solavskärmning och variera användandet av hushållsel.

2.3 Effektbalans och energianvändning

En byggnads totala energibehov beräknas genom att summera behovet av uppvärmningsenergi, eventuell kylenergi, fastighetsel och energi för uppvärmning av tappvarmvatten under ett år.

2.3.1 Uppvärmningsenergi

Uppvärmningsenergin ska motsvara förlusterna som sker på grund av transmission, ventilation och luftläckage. Mängden energi som behövs för att värma en byggnad kan beräknas både för hand med gradtimmar och med datorprogram som simulerar en byggnads energianvändning. Utomhustemperaturen varierar med tiden vilket medför att även det momentana effektbehovet varierar med tiden. Värmeenergibehovet för en

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

byggnad beräknas därför som summan av produkterna mellan de momentana effektbehoven över året och tiden enligt ekvation 2.8.

$$E = \sum_{i=1}^{8760} P_i \cdot \Delta t \quad [\text{Wh}] \quad (2.8)$$

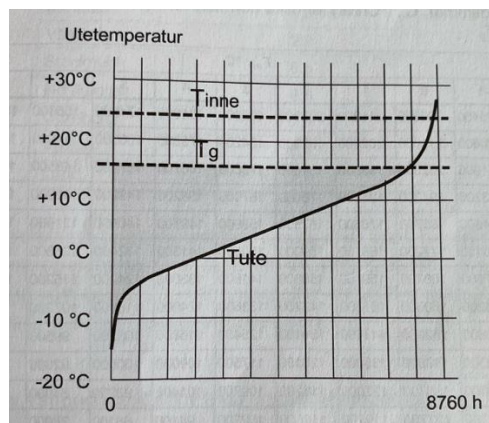
där E = energibehovet (Wh)
 P_i = momentant effektbehov (W)
 Δt = tidsdifferens i timme (h)

Med hjälp av en framtagen gradtimmetabell kan uppvärmningsenergiebehovet under ett år förenklat beräknas med ekvation 2.9.

$$E_{\text{uppv}} = Q_{\text{tot}} \cdot G_t \quad [\text{Wh/år}] \quad (2.9)$$

där Q_{tot} = totala specifika effektförluster (W/K)
 G_t = gradtimmar ($^{\circ}\text{Ch/år}$)

För att avläsa antalet gradtimmar ur en gradtimmetabell behövs normalårstemperaturen (T_{un}) för den aktuella platsen och gränstemperaturen för byggnaden (T_g). Gränstemperaturen är den temperatur som värmesystemet behöver värma upp rumsluften till, därefter räcker internvärmelasten och solvärmelasten till för att värma byggnaden till önskad temperatur (Warfvinge & Dahlblom 2010). Sambandet mellan inomhustemperatur, gränstemperatur och uppvärmningsbehov illustreras som ett varaktighetsdiagram i Figur 2.



Figur 2. Varaktighetsdiagram som illustrerar sambandet mellan inomhustemperatur, gränstemperatur och uppvärmningsbehov (Warfvinge & Dahlblom 2010).

2.3.2 Totalt energibehov

Byggnadens totala energibehov beräknas enligt ekvation 2.10.

$$E_{total} = \frac{E_{uppv}}{1000} + E_{el} + E_{vv} + E_f \quad [\text{kWh/år}] \quad (2.10)$$

där E_{el} = energibehov för hushållsel (kWh/år)
 E_{vv} = energibehov för varmvattenberedning (kWh/år)
 E_{vvs} = energibehov för fastighetsel (kWh/år)

Det finns flera olika metoder och schabloner för att beräkna den mängd varmvatten som ett hushåll konsumerar. I Boverkets föreskrift BEN 2 rekommenderas det att använda ekvation 2.11.

$$E_{vv} = \frac{20}{\eta_{tvv}} \quad [\text{kWh/m}^2, A_{temp}, \text{år}] \quad (2.11)$$

där η_{tvv} = årsverkningsgraden hos värmekällan för produktion av tappvarmvatten

Fastighetselen består vanligtvis av följande komponenter: fast belysning i allmänna utrymmen, driftel till ventilation, el till hissar och andra elinstallationer som är nödvändiga för byggnadens funktion (BEN 2 2017).

2.4 Vanliga tekniska renoveringsåtgärder

Energieffektivisering av befintliga byggnader kan uppnås på flera olika sätt. Genom exempelvis renovering och tekniska åtgärder kan energianvändningen och uppvärmningsbehovet för byggnaden minskas. Energibesparingarna som åtgärderna för med sig varierar i omfattning, men syftet för alla åtgärder är detsamma, att minska energianvändningen och bidra till att minska klimat- och miljöpåverkan. Tekniska åtgärder som undersöks i detta arbete är tilläggsisolering av fasad, tillsats av extraruta, fönsterbyte, byte av ventilationssystem samt installation av värmepumpar.

2.4.1 Tilläggsisolering

Med tilläggsisolering menas att man adderar mer isolering till en redan befintlig konstruktion. Tilläggsisolering av ytterväggar och tak kan ge en stor energibesparing (Energimyndigheten 2022a). Det är vanligast och rekommenderat att tilläggsisolera konstruktionens utsida både ur ett fukttekniskt perspektiv och för att minska köldbryggornas storlek. Genom att tilläggsisolera fasadens utsida blir den befintliga konstruktionen varmare och därmed erhålls en lägre relativ fuktighet. Tilläggsisolering på konstruktionens insida bör undvikas men kan vara aktuellt om det inte finns möjlighet att isolera utvändigt. Äldre hus med vackert dekorerade fasader och med kulturhistoriska värden kan med fördel isoleras inifrån för att behålla husets arkitektoniska karaktär (Energimyndigheten 2022c). Invändig tilläggsisolering medför att den befintliga väggen blir kallare och därmed får konstruktionen även en högre fukthalt. För fasader på

invändigt tilläggsisolerade väggar ökar risken för frostsador då fasadens temperatur sänks under vinterhalvåret (Arfvidsson, Harderup & Samuelson 2017).

Tilläggsisolering av vind eller tak är ofta en enkel åtgärd till skillnad från tilläggsisolering av en fasad. Då värme stiger finns det goda skäl till att isolera de övre konstruktionselementen ur ett energieffektiviserande perspektiv. När ett vindsbjälklag isoleras sjunker temperaturen i vindsutrymmet vilket kan leda till kondens och fuktskador på längre sikt. För att undvika fuktskador i vindsutrymmet är det av yttersta vikt att veta att vinden kan ventileras ordentligt och att den fuktiga inomhusluften inte kan ta sig upp till vinden genom otätheter (Energimyndigheten 2022c).

Grundkonstruktioner kan också med fördel tilläggsisoleras. Precis som för en yttervägg så finns det stora fördelar med att placera tilläggsisoleringen på konstruktionens utsida. Ett källarutrymme blir både varmare och torrare av en ökad isoleringsmängd längs källarväggens utsida (Energimyndigheten 2022c).

2.4.2 Fönsterbyte

Genom att byta eller förbättra befintliga fönster kan energiförlusterna genom dessa minimeras. Fönster tillverkade på 1980-talet har i genomsnitt ett U-värde på 1,83 W/m²K i jämförelse med fönster med energiglas som idag kan ha ett U-värde på 0,8 W/m²K (Bokalders & Block 2014). Kopplade fönster från 1930 har vanligtvis ett U-värde omkring 2,5 W/m²K. Byte av fönster leder inte endast till en energibesparing, det kan även förbättra den termiska komforten intill fönstret eftersom bättre fönster kan minska effekten från kalldrag.

Bokalders och Block beskriver några förbättringsåtgärder som kan göras på äldre fönster istället för att byta ut hela fönstret. Att tillsätta en extra ruta på fönstrets insida minskar energiförlusterna samtidigt som fönstrets utseende sett från utsidan behålls. Denna typ av fönsterrenovering kan minska fönstrets U-värde med cirka 45 % (Bokalders & Block 2014). Är fönstret från 1930 medför detta således en förändring av U-värdet från 2,5 W/m²K till 1,4 W/m²K. Om fönstret är delningsbart kan det även vara möjligt att byta ut en av fönsterbågarna mot en ny båge med en isolerruta. Speciallösningar där ett extraglas byggs in i den befintliga bågen kan även förekomma. Dessa renoveringsåtgärder menar Bokalders och Block kan sänka U-värdet med cirka 50 %. Detta ger ett U-värde för ett renoverat fönster från 30-talet på 1,3 W/m²K (Bokalders & Block 2014).

2.4.3 Byte av ventilationssystem

Nyproducerade flerbostadshus ventileras näst intill uteslutande av ett mekaniskt från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning (FTX). Genom att värmen i frånluften återvinns i en värmeväxlare kan behovet av att tillföra värme minskas. Beroende på byggnadens kvalitet och geografiska plats kan det då vara möjligt att återvinna värme så att energibehovet för uppvärmning kan halveras (Energimyndigheten 2022b).

I de fall då den befintliga byggnaden har ett från- och tilluftssystem kan det finnas goda skäl att addera en värmeväxlare till systemet för att ta tillvara på värmen i frånluften. I

ett äldre hus ventilerat med självdrag är det en stor investering och ett stort ingrepp i byggnaden att byta ventilationssystem till ett FTX-system. Det är därför en ovanlig teknisk åtgärd men den behöver inte nödvändigtvis uteslutas (Energimyndigheten 2022b).

En frånluftsvärmepump kan installeras i en ny byggnad men kan också kopplas på ett redan befintligt frånluftssystem för att ta tillvara på värmen i frånluften. Värmepumpen återvinner värmen i frånluften och tillför denna till ett vattenburet värmesystem som värmer huset. En frånluftsvärmepump kan även värma varmvatten (Energimyndigheten 2022b).

I Nordquists studie *Analys av skolor med fläktförstärkt självdrag* undersöktes tekniska och klimatmässiga förutsättningar för självdragsventilation i skolor. I ett fläktförstärkt självdragssystem används ingen driftsenergi, förutom för att driva fläkten under den varma årstiden då de termiska drivkrafterna inte är tillräckliga för att er hålla tillräckliga luftflöden. Studien visar även att det i viss grad är möjligt att både värma och kyla tilluften genom längre jordrör nedgrävda i marken, även detta utan någon tillförd el (Nordquist 2007).

2.4.4 Installation av värmepump

En vanligt förekommande teknisk anordning som installeras för att minska driftkostnaderna för uppvärmning är en värmepump. Installation av en värmepump är en åtgärd som inte påverkar husets energiprestanda i sig, utan istället använder mindre elektrisk energi för att värma upp byggnaden. Värmepumpen tar tillvara på värmen i ett kallare medium och förflyttar denna till den plats som avses värmas upp. En värmepump består till huvudsak av en förångare, kompressor, kondensor och en expansionsventil. För att driva värmepumpsprocessen krävs elektrisk energi (Poppius 1984).

Det finns flera typer av värmepumpar. Det som skiljer värmepumparna åt är främst vilken värmekälla som värmen upptas ifrån. Exempel på vanligt förekommande värmepumpar är bergvärmepump, markvärmepump, luftvärmepump och frånluftsvärmepump. Valet av värmekälla är beroende av vilka förutsättningar som finns där värmepumpen avses installeras (Energimyndigheten 2022d). Bergvärmepumpen utnyttjar berggrunden som värmekälla, tack vare dess konstanta temperatur, och är ett bra alternativ för stora hus med många brukare. Markvärmepumpen är likt bergvärmepumpen ett bra alternativ för stora hus med många brukare, den stora skillnaden är att markvärmepumpen tar tillvara på värmen från marken istället för berggrunden (Energimyndigheten 2022d). Luft/vatten-värmepump är ett bra alternativ för bostäder, stora som små, främst i södra delen av Sverige. Värmen hämtas från utomhusluften för att sedan värma vattnet som distribueras i bostaden, både till radiatorer och varmvattenberedare. Anledningen till att denna värmepump inte är lämplig i norra delen av landet är på grund av de långa och kalla vintrarna, vilket gör att utomhusluften har mycket mindre värme som pumpen kan hämta. Vid kalla vinterdagar behöver bostaden därför värmas upp med en kompletterande värmekälla. Luft/luft-värmepumpen hämtar precis som luft/vatten-värmepumpen sin värme från utomhusluften och är därför också mer effektiv i södra Sverige. Skillnaden är att denna värmer bostaden via

inomhusluften istället för ett radiatorsystem. Detta gör att luft/luft-värmepumpen blir effektivast i bostäder med öppen planlösning som inte har ett befintligt radiatorsystem (Boverket 2024). Om bostaden värms upp med direktverkande el kan luft/luft-värmepumpen agera som ett bra komplement för att reducera elkostnaderna för uppvärmning. Frånluftsvärmepumpen utnyttjar den uppvärmda inomhusluften och tar tillvara på värmen i denna innan den lämnar bostaden. Denna värmepump används främst för uppvärmning av vatten till duschar och kranar som har relativt konstant värmebehov under året (Energimyndigheten 2022d). Olika värmepumpar arbetar således utifrån olika förutsättningar vilket gör att dessa drar olika mycket driftenergi (Poppius 1984).

Den stora fördelen med en värmepump är att det krävs mindre elektrisk energi för att driva värmepumpen jämfört med om byggnaden skulle värmas med direktverkande el. Det mått som används för att beskriva en värmepumps prestanda benämns COP-värde (Coefficient of Performance). COP-värdet definieras som utvunnen värmeenergi dividerat med tillförd driftenergi (Poppius 1984). Med det sagt är ett byte till en värmepump inte att rekommendera för alla byggnader. En värmepump drivs med elektrisk energi vars viktningfaktor ingående i primärenergitalet är högre än för exempelvis fjärrvärme. Ett byte av energibärare från fjärrvärme till el gör således att byggnadens primärenergital blir högre. Viktningsfaktorerna som ingår i primärenergitalet fungerar därför som ett styrmedel för att samtliga byggnader inte ska använda samma energibärare för uppvärmning (Energimyndigheten 2015). Ett byte till en värmepump kan således anses vara mest lönsamt för en byggnad som ursprungligen använder el som energibärare och som ligger utanför fjärrvärmenätet.

2.5 Ekonomisk lönsamhetsbedömning

Syftet med en ekonomisk lönsamhetsbedömning är att utvärdera om en investering är relevant utifrån de rådande ekonomiska förutsättningarna. Genom att göra lönsamhetsberäkningar för olika investeringsalternativ kan dessa ur ett ekonomiskt perspektiv enkelt jämföras (Abel & Elmroth 2021). Lönsamhetsbedömningar är ett vanligt underlag vid jämförelse av olika energieffektiviserande åtgärder. För att investeringsalternativen enkelt ska vara jämförbara är det viktigt att de ekonomiska kalkylerna genererar ett mätbart svar, det vill säga en siffra, på investeringens lönsamhet. Vidare är det även av betydelse att definiera antaganden som görs i kalkylerna eftersom bedömningarna görs för den ovissa framtiden.

För att bedöma om en investering är lönsam eller för att jämföra olika investeringar sinsemellan finns det olika standardiserade metoder. Metoden livscykelkostnad (LCC) bedömer en investering totala lönsamhet under hela investeringens livstid. Den används som underlag för att jämföra olika investeringar och anses inte vara aktuell för att utvärdera en enskild investering lönsamhet. Eftersom modellen inte ger underlag för bedömning av en enskild investeringsåtgärds lönsamhet kan man inte definiera någon gräns för lönsamhet. Resultatet som fås från metoden är en siffra kopplad till den specifika investeringen, genom att jämföra denna siffra med resultatet från andra investeringar kan man bedöma vilken åtgärd som ger lägst livscykelkostnad. Metoden

behandlar och kräver inparametrar i form av investeringskostnad, driftskostnader och nusummeffaktor (diskonteringsfaktor) (Abel & Elmroth 2021).

Nuvärdesmetoden är ytterligare en metod som kan utnyttjas för att bedöma en investerings lönsamhet. Till skillnad från LCC-metoden är nuvärdesmetoden relevant vid undersökning av lönsamhet för en specifik investering. Metoden bygger på att de totala diskonterade besparingarna under investeringens livslängd jämförs med den totala investeringskostnaden. Utifrån denna jämförelse kan en bedömning om investeringens lönsamhet därefter göras. Investeringen anses vara lönsam om nettobesparingen över investeringens livstid är större än investeringskostnaden (Abel & Elmroth 2021).

Vidare är payback-metoden ytterligare en vanlig metod för att bedöma en investerings lönsamhet. Metoden, som även kallas den enkla återbetalningsmetoden, är enkel och syftar till att undersöka investeringens återbetalningstid. Likt nuvärdesmetoden kan payback-metoden användas vid jämförelse av olika investeringar. En investering bedöms vara lönsam om den återbetalar sig inom en viss utsatt tid, det vill säga att inkomster eller besparingar betalar investeringen (Abel & Elmroth 2021). Payback-metoden rekommenderas inte som verktyg för bedömningar av investeringar med längre livslängd (Abel & Elmroth 2021). Då metoden varken tar hänsyn till livslängd eller ränta menar Abel och Elmroth att metoden är olämplig för större investeringar i byggnader.

I statens offentliga utredning (2017:99) har flertalet fallstudier om besparingspotentialen för olika energieffektiviserande åtgärder jämförts. Jämförelsen visade att det går att nå både privatekonomisk och företagsekonomisk lönsamhet för flertalet renoveringsåtgärder. Detta särskilt om åtgärderna begränsas till enskilda energieffektiviseringsinsatser. SOU (2017:99) hävdar även att besparingspotentialen för småhus i Sverige ligger mellan 20 – 40 %. Studier påvisar också att energianvändningen kan påverkas i betydligt större grad om man undersöker lönsamheten för paket med flera åtgärder istället för att undersöka varje åtgärd separat. Då det är husägaren som står för kostnaderna för energieffektiviseringen bör ekonomisk lönsamhet tas i beaktning. Möjligheten att uppnå ekonomisk lönsamhet varierar. Detta på grund av olika ekonomiska förutsättningar och kunskapsglapp om lönsamhetskalkyler (SOU 2017:99). Ytterligare en faktor som påverkar lönsamhetskalkylen är om underhållskostnader beräknas med eller inte.

2.6 Dagens energikrav

Boverkets krav på en byggnads energiprestanda kallas sedan 2017 för primärenergital. I primärenergitalet ingår energi till uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsel (Boverket 2022). Den övriga energin som används i byggnaden, hushållsenergi i bostäder eller verksamhetsenergi i lokaler tas inte med i beräkningen av primärenergitalet. Beroende på med vilken energibärare som energin levereras till byggnaden viktas byggnadens energianvändning med viktningsfaktorer knutna till respektive energibärare. Viktningsfaktorernas storlek är bestämda utifrån vilka energibärare som samhället bör hushålla med (Boverket 2022). För att primärenergitalets storlek inte ska bero på var i Sverige byggnaden är lokaliserad divideras uppvärmningsenergin med en geografisk justeringsfaktor. För att möjliggöra jämförelser

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

av energiprestandan mellan byggnader divideras den viktade energianvändningen med den uppvärmda golvarean (A_{temp}). Primärenergitalet beräknas med ekvation 2.8 (Boverket 2022).

$$EP_{pet} = \frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{E_{uppv,i}}{F_{geo}} + E_{kyl,i} + E_{tvv,i} + E_{f,i} \right) \times VF_i}{A_{temp}} \quad [\text{kWh/m}^2 \text{ och år}] \quad (2.8)$$

där

- $E_{uppv,i}$ = Energi till uppvärmning (kWh/år)
- $E_{kyl,i}$ = Energi till kylning (kWh/år)
- $E_{tvv,i}$ = Energi till uppvärmning av varmvatten (kWh/år)
- $E_{f,i}$ = Fastighetsenergi (kWh/år)
- F_{geo} = Geografisk justeringsfaktor (-)
- VF_i = Viktningsfaktor för respektive energibärare (-)
- A_{temp} = Arean av samtliga våningsplan som är tilltänkta att värmas till mer än 10 °C och begränsas av klimatskalets insida (m²)

Utöver primärenergitalet ställer Boverket även krav på högst tillåtna genomsnittliga värmegenomgångskoefficient (U_m), installerad eleffekt för uppvärmning och klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad vilka alla påverkar byggnadens energiprestanda.

Samtliga nybyggnationer och byggnader som ska säljas ska ha en energideklaration (Boverket 2023e). Energideklarationen innehåller bland annat en energiklass som baseras på byggnadens energiprestanda.

2.7 Krav och råd gällande inomhusklimat

Inomhusklimatet i de byggnader som människor vistas mer än tillfälligt i har en stor påverkan på hälsan (Boverket 2023b). Vid ändringsarbeten av befintliga byggnader är det därför viktigt att ändringarna inte påverkar inomhusklimatet negativt.

2.7.1 Luftkvalitet

Boverket tar upp tre nyckelaspekter som krävs för att en byggnad ska få ett bra inomhusklimat: ventilationssystem, val av byggnadsmaterial samt fuktsäkert byggande (Boverket 2023b). Dålig luftkvalitet i bostäder beror ofta på hälsoskadliga ämnen som avges från byggnadsmaterial, mögel eller otillräckliga ventilationsflöden. Fukthalten i inomhusluften och i konstruktionen har en stor påverkan på mängden emissioner material avger till rumsluften och är en förutsättning för mögelpåväxt, därför är ett fuktsäkert byggande viktigt för byggnadens inomhusklimat (Boverket 2023b).

Det lägsta tillåtna ventilationsflödet i bostäder är 0,35 l/s och m². Som en energisparande åtgärd är det tillåtet att minska flödet till 0,1 l/s och m² då bostaden står tom (BFS 2011:16). Om rumsluften vid detta flöde bedöms ha en besvärande lukt eller påverka

människor negativt krävs ett större tilluftsflöde för att uppnå kravet på en god luftkvalitet. Större flöden medför oftast en större mängd driftenergi för ventilationssystemet vilket påverkar byggnadens energiprestanda. Större ventilationsflöden påverkar samtidigt mängden uppvärmningsenergi som behövs tillföras byggnaden.

2.7.2 Termisk komfort

Termisk komfort används ofta i inneklimatsammanhang och beskriver hur ett utrymme upplevs av brukarna med avseende på inomhustemperaturen och drag (Boverket 2023f). Faktorena som påverkar människans termiska komfort är enligt Boverket riktad operativ temperatur, golvtemperatur, operativa temperaturens differens mellan olika punkter samt lufthastighet som beror på drag eller kallras (Boverket 2023f).

Enligt Boverkets kravställning på det termiska klimatet i en byggnad ska utformning av byggnader upprättas i den mån att det termiska inneklimatet är tillfredsställande för brukaren eller brukarna (BFS 2011:16). Termisk komfort ska uppfyllas i de delar av en byggnad där människor vistas mer än tillfälligt och mer precist i vistelsezonen i dessa rum (BFS 2011:16). I Folkhälsomyndighetens föreskrift *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus* redovisas rekommendationer om den operativa temperaturen i vistelsezonen. Ett intervall mellan 20 – 23 °C rekommenderas i vistelsezonen, under sommartid accepteras dock en temperatur upp till 26 °C. Det rekommenderas även att lägsta golvtemperatur bör vara mellan 20 – 26 °C och ej understiga 16 °C (FoHMFS 2014:17).

2.7.3 Brukarindata för bostäder

Standardisera och verifiera energiprestanda för byggnader, förkortat Sveby, är en svensk branschstandard som beskriver en standardiserad metod för framtagning och verifiering av en byggnads energiprestanda. Sveby är branschens tolkning av Boverkets byggreglers (BBRs) funktionskrav på energihushållning. Syftet med standarden är skapandet av en praxis för att enklare uppfylla funktionskraven och att ge en standardiserad tolkning av kraven (Sveby 2012).

Sveby (2012) definierar en ”standardiserad brukare”. Det standardiserade brukarbeteendet är tänkt att användas för framtagning av energianvändning och energiprestanda för en byggnad. Sveby (2012) hävdar att vädring är en beteenderelaterad inparameter som har stor påverkan på energiprestandan. Vädringsvanor kan variera kraftigt mellan brukare vilket försvårar en standardisering. Vädringsvanornas inverkan på energianvändningen påverkas också av husets exponeringsgrad för vind vilket gör frågan än mer komplex (Sveby 2012). Vidare föreslår Sveby (2012) ett standardiserat schablonpåslag för vädring avseende energiprestandan på 4 kWh/m² och år.

2017 publicerade Boverket föreskriften BEN 2 (BFS 2017:6). Föreskriften ska tillämpas vid framtagandet och verifiering av en byggnads primärenergital. BEN 2 innehåller statistik om framtagandet av en byggnads energianvändning då ett normalt brukande under ett normalår råder. Föreskriften beskriver bland annat internlast,

varmvattenbehov och inomhustemperatur. Likt Sveby föreslår BEN 2 schablonpåslaget 4 kWh/m² och år på grund av vädring (BEN 2 2017).

På uppdrag av regeringen undersökte Boverket det svenska byggnadsbeståndet mellan 2007 – 2008 (Boverket 2023g). Undersökningen gjordes som en rikstäckande undersökning avseende energianvändning, teknisk status och inomhusmiljö och kallas för BETSI. Undersökningen omfattade tre olika typer av kategorier på byggnader: lokaler, flerbostadshus och småhus. De två sistnämnda kategorierna är indelade i fem ålderskategorier där den äldsta kategorin, byggnader uppförda före år 1960, är aktuell för denna rapport. Insamling av data skedde genom besiktningar, mätningar, enkäter och inläsning av ritningar. För småhusen besiktigades totalt 826 hus och enkätsvar avseende upplevd ohälsa i dessa besvarades av 3 890 vuxna (Boverket 2023g).

En av faktorerna som undersöktes i BETSI var vädringsfrekvens och vädringstid under uppvärmningssäsong (september – april) för de olika ålderskategorierna. Resultaten från undersökningen visade att för småhus byggda före år 1960 var det 47 % av de boende som vädrade dagligen. Ungefär vart fjärde hushåll angav att man vädrar en gång i veckan och drygt en femtedel av hushållen svarade att vädring sällan sker. Gällande vädringstiden var korsdrag det vanligaste med 53 % av hushållen. I ungefär vart tredje hushåll vädrar man några timmar dagligen. Undersökningen visade även att vädring med korsdrag är vanligast i de äldsta husen. I dagens moderna hus är korsdrag inte lika vanligt (Boverket 2009).

2.8 Tidigare studier

I det följande avsnittet redovisas ett antal svenska och internationella studier med fokus på energieffektiviserande renoveringsåtgärder och brukarbeteende. Litteraturstudien ligger till grund för och ska ge en fördjupad förståelse inför examensarbetets fallstudie. Samtliga studier är hittade på databasen LUBsearch med sökorden: ”energieffektivisering”, ”energianvändning”, ”brukarbeteende”, ”vädring”, ”småhus”, ”renovation”, ”energy efficiency”, ”IDA ICE”.

2.8.1 Renovation of Swedish single-family houses to passive house standard - Analyses of energy savings potential

Ekström, Bernardo och Blomsterberg har i sin studie *Renovation of Swedish single-family houses to passive house standard - Analyses of energy savings potential* gjort simuleringar av fyra småhus byggda vid olika tillfällen i tidsintervallet 1961 till 1980 för att uppskatta energibesparingspotentialen och kostnadseffektiviteten för olika renoveringsåtgärder. Syftet med studien var att öka kunskapen om energibesparingspotentialen och kostnadseffektiviteten för renoveringsåtgärder. Metoderna som författarna använder sig av är energisimuleringar med simuleringssverket IDA ICE och livscykelkostnadsanalyser för att bedöma renoveringsåtgärdernas kostnadseffektivitet (Ekström, Bernardo & Blomsterberg 2018).

De gjorda simuleringarna baseras på den svenska passivhusstandarden FEBY 12 men även på de gällande svenska byggreglerna från Boverket. Studiens resultat visar att

majoriteten av Sveriges småhusbestånd inte sannolikt kan nå passivhusstandard med dagens konventionella byggmetoder. Detta på grund av husegenskaper som begränsar möjligheten för energisparande åtgärder. Exempelvis kan byggnadens form, grundläggning och sammansättning vara begränsande faktorer. Studien visar att det ändå är möjligt att sänka den slutgiltiga energianvändningen för ett småhus byggt mellan 1961 och 1980 med cirka 65 – 75 % (Ekström, Bernardo & Blomsterberg 2018).

2.8.2 Om-renovering – möjligheter för energieffektivisering när äldre flerbostadshus renoveras en andra gång

Med utgångspunkt från EU:s strategi om en storskalig satsning på renovering har studien *Om-renovering – möjligheter för energieffektivisering när äldre flerbostadshus renoveras en andra gång* gjorts på uppdrag av Energimyndigheten och forskningsprogrammet Spara & Bevara.

Syftet med studien var att undersöka flerbostadshus i Göteborg byggda före 1945 gällande tidigare renoveringar och deras effekter på energianvändningen. Även nya energieffektiviserande åtgärder på byggnaderna inkluderades i studien (Femenias, Wahlgren, Johansson, Thuvander & Eriksson 2019).

En av metoderna som användes i studien var skapandet av en databas med totalt 609 flerbostadshus. Databasen gör det möjligt att analysera byggnaders energianvändning kopplat till olika renoveringsåtgärder. Information om byggnaderna inhämtades genom okulära besiktningar och fotodokumentation. Databasen innehåller bland annat information om byggnadernas fönster, fasader, eventuell tilläggsisolering och en allmän uppskattning om byggnadens nuvarande skick och tillstånd. Vidare omfattar studien även en fallstudie av fyra landshövdingehus (Femenias, Wahlgren, Johansson, Thuvander & Eriksson 2019).

Av studiens resultat framgår det att tilläggsisolering av ytterväggar i kombination med byte av fönster till treglaskassetter gav en större energibesparing jämfört med om enbart en av åtgärderna var utförda. Författarna påpekar dock att djupare studier och fler mätningar bör göras då resultatet varierade från fall till fall. Studiens resultat beskriver även att drivkrafterna för att renovera skiljer sig åt. Det är i de flesta fall enbart den allmännyttiga fastighetsägaren som vill göra energieffektiviserande åtgärder med syftet att reducera energianvändningen. Andra vanligt förekommande motiv för renovering är att skapa fler bostäder på en outnyttjad vind, ett bättre inomhusklimat och att skapa funktionella bostäder. Författarna i studien hävdar även att de energieffektiviserande renoveringsåtgärderna oftast har ekonomiska drivkrafter (Femenias, Wahlgren, Johansson, Thuvander & Eriksson 2019).

2.8.3 Brukares påverkan på energianvändning i miljonprogramshus

Fallstudien *Brukares påverkan på energianvändning i miljonprogramshus* undersöker hur brukare kan påverka en byggnads energianvändning. Studiens syfte var att ta reda på vilka sätt som brukare boende i frånluftsventilerade flerbostadshus kan påverka byggnadens energianvändning (Rosengarten 2022). Primära målet med studien var att

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

studera hur vädringsvanor kan påverka energianvändningen. En litteraturstudie och en på den följande fallstudie med hjälp av simuleringsprogrammet IDA ICE ligger till grund för studiens resultat. Mätdata för olika vädringssituationer hämtades från PEIRE-projektet (Rosengarten 2022).

Rosengarten (2022) gjorde en analys för vilken tid på dygnet som vädringen sker för ett antal fönster och balkongdörrar i de studerade lägenheterna. Mätdata från verkliga lägenheter i PEIRE-projektet möjliggjorde denna typ av studie. Utifrån mätdata tog Rosengarten fram vädringsfall i syfte att undersöka hur dessa påverkade uppvärmningsenergin.

Vidare utfördes energisimuleringar med programmet IDA ICE utifrån de framtagna fallen. Hur mycket brukarna vädrar i de olika fallen beskrivs i simuleringsprogrammet som en öppningsandel av den totala möjliga fönster/dörr-öppningen. När brukarna vädrar beskrivs med vädringsscheman framtagna av mätstatistiken. Rosengarten (2022) jämför fem av vädringsfallen med det fall som benämns ”Grundfall” (endast ventilation med ventilationsluckorna dygnet runt) och behovet för uppvärmningsenergi från de olika fallen redovisas i Tabell 1. Rosengarten jämför resultatet med det föreslagna schablontillägget för vädring enligt Sveby 2012 på 4 kWh/m².

Tabell 1. Ökat energibehov för uppvärmning för 5 vädringsfall (Rosengarten 2022).

Fall	Fallbeskrivning	Ökat behov för uppvärmningsenergi i kWh/m ²
1	100% Grupp A	30,8
2	100% Grupp B	59,8
3	90% Grupp B, 10% Grupp D	62,2
4	100% Grupp C	33,2
5	Referensfall som ska motsvara uppmätt vädring	48,9

Resultatet från Tabell 1 visar tydligt på att mängden vädring påverkar energianvändningen i en bostad. Från rapporten framgår det även att tidpunkten för vädring och storlek på fönster/dörr som vädras påverkar uppvärmningsbehovet. Ökningen av uppvärmningsenergin visar sig även vara betydligt mycket större än det rekommenderade schablontillägget om 4 kWh/m².

2.8.4 Renoveringsåtgärders och brukarbeteendes effekt på energianvändning och inomhusmiljö i frånluftsventilerade flerbostadshus

Sellin och Magnusson (2018) undersökte genom sitt examensarbete *Renoveringsåtgärders och brukarbeteendes effekt på energianvändning och inomhusmiljö i frånluftsventilerade flerbostadshus*, energianvändningen och inomhusklimatet i flerbostadshus byggda under miljonprogrammet. Syftet med studien var att utreda hur energianvändningen kan påverkas av olika renoveringsåtgärder och brukarbeteende. En litteraturstudie och en fallstudie ligger till grund för studiens resultat. Renoveringsåtgärderna som genomförts i befintliga miljonprogramshus och som simulerades i studien var byte av byggnadens fönster och balkongdörrar,

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

tilläggsisolering av fasad och vind samt installation av solceller (Sellin & Magnusson 2018). På grund av att den studerade byggnaden är frånluftsventilerad och tilluften regleras med ventilationsluckor och spaltventiler som brukarna själv öppnar och stänger, har simuleringarna utförts för olika ventilations och vädringsfall. I Tabell 2 nedan redovisas Selin och Magnussons resultat som en jämförelse mellan före renovering och efter renovering. De utförda fallen i studien förkortas FF – före renovering och FE – efter renovering.

Tabell 2. Jämförelse av beräknas energianvändning, före och efter renovering (Sellin & Magnusson 2018).

Fall	Total energianvändning, kWh/m ² och år	Förändring energibehov, kWh/m ² och år	Procentuell förbättring, %
FF1 – Maximal ventilation (vädring)	182	74	41
FE5 – Efter renovering, maximal ventilation (vädring)	108		
FF2 – Minimal ventilation (vädring)	98	32	33
FE2 – Efter renovering, minimal ventilation (vädring)	66		
FF5 – Grundfall, 10% öppningsgrad norr, 5% öppningsgrad söder	107	30	28
FE4 – Grundfall renovering, 10% öppningsgrad i norr	77		

Resultaten från studien visar att oavsett hur mycket vädring som sker i byggnaden bidrar de energieffektiviserande renoveringsåtgärderna med en reduktion av energibehovet för uppvärmning med cirka 30 %.

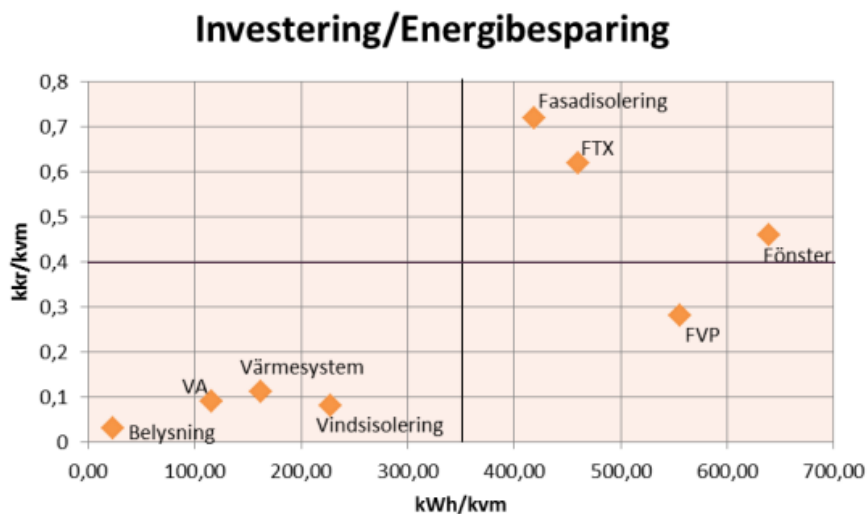
2.8.5 Halvera Mera

Energimyndighetens beställargrupp för energieffektiva bostäder, även kallat ”BeBo”, har undersökt vilka åtgärder som krävs för att förbättra energiprestandan för flerbostadshus med 50 %. Målet med studien *Halvera Mera* var att ta fram förstudier som identifierar vilka renoveringsåtgärder som behövs för att halvera energibehovet i flerbostadshus (Högdal 2013). Efter en enkel energibesiktning hos 17 fastighetsägare identifierades fyra åtgärder som ofta föreslås för att ge en energibesparing. Byte av fönster och dörrar, ventilationssystem, värmesystem/uppvärmning av tappvarmvatten och tilläggsisolering var områdena som identifierades (Högdal 2013). Även installation av en frånluftsvärmepump visade sig vara en vanligt förekommande energibesparande åtgärd.

Resultatet som presenteras i Halvera Mera (2013) visar på att omfattande åtgärder behöver göras på både klimatskalet och ventilations- och värmesystemet för att uppnå

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

målet med att halvera energianvändningen för byggnaderna som ingick i studien. I Figur 3 illustreras resultatet från undersökningen som ett diagram med investeringskostnaden per kvadratmeter och energibesparingen per åtgärd och kvadratmeter.



Figur 3. Investeringskostnad och energibesparing för studerade energibesparande åtgärder. Besparingen är beräknad över åtgärdens livslängd (Högdal 2013).

Studien visar genom figuren att värmeåtervinning i ventilationssystemet och åtgärder på klimatskalet är de åtgärder som ger den största energibesparingen. Dessa åtgärder har även de högsta investeringskostnaderna. Studien presenterar även resultat som tyder på att fastighetsägare med hög energianvändning är mer benägna att renovera jämfört med de med lägre energianvändning. Fastighetsägare med större energianvändning och sämre energiprestanda har ett större incitament att sänka sin energianvändning (Högdal 2013).

3 Metod

Arbetet inleddes med ett platsbesök där den specifika byggnaden undersöktes med syftet att kunna modelleras i programvaran IDA ICE. I brist på husritningar genomfördes olika mätningar under platsbesöket för att kunna bygga upp huset i simuleringsprogrammet. Indata till fallsimuleringarna hämtades från fastighetsägarens information av huset, de indata som inte kunde fås på platsbesöket fick kompletteras genom kvalificerade antaganden och från litteraturstudier. Fastighetsägaren tillhandahöll även information om husets energianvändning under de senaste åren, vilken redovisas senare i avsnittet.

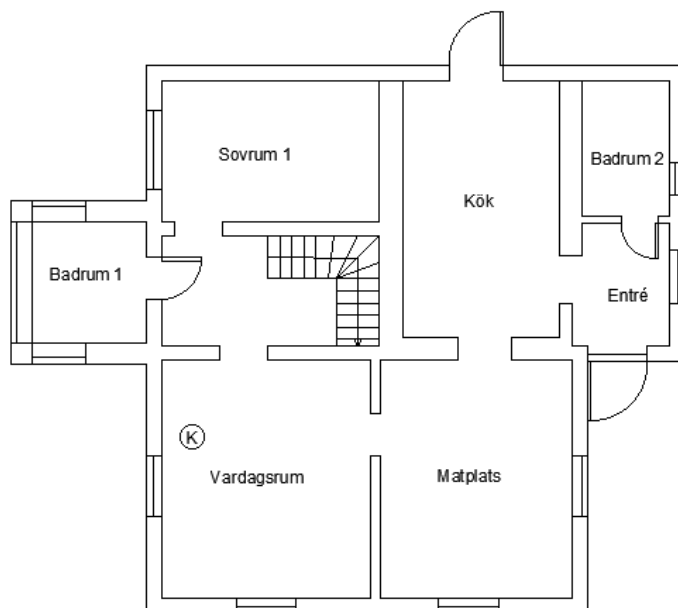
Fallsimuleringarna som utförs beskrivs med olika förutsättningar. Inledningsvis presenteras ett grundfall med husets befintliga förutsättningar och indata, därefter följer olika fall med varierade förutsättningar och tekniska åtgärder. Den ekonomiska lönsamheten undersöks också för respektive fall, för att senare kunna dra slutsatser om vilka renoveringsåtgärder som är mest lönsamma ur ett långsiktigt perspektiv för fastighetsägaren.

I detta avsnitt presenteras inledningsvis den specifika byggnaden, inklusive konstruktionsritningar, planlösningar och tillhörande beskrivningar av olika system. Därefter beskrivs platsbesöket mer detaljerat. Avslutningsvis presenteras förutsättningar och beskrivningar av de olika simuleringsfallen.

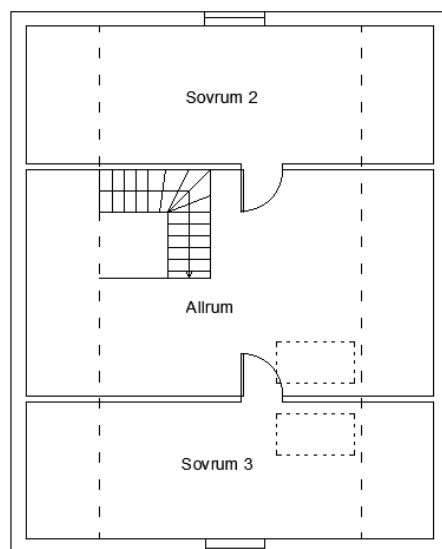
3.1 Beskrivning av studerad byggnad

Byggnaden som studerades är en 1,5-plansvilla belägen strax utanför Höör. Huset kan liknas vid en klassisk svensk faluröd villa. Planlösningarna redovisas i Figur 4 och 5. Villan byggdes år 1919 och har därefter kompletterats med två mindre tillbyggnader, ett badrum (badrum 1 i Figur 4), entrén och ytterligare ett badrum (entré och badrum 2 i Figur 4). Husets totala uppvärmda area (A_{temp}) är 99 m^2 , varav bottenvåningen utgör $66,5 \text{ m}^2$. Under halva huset finns även en ouppvärm� källare med utvändigt ingång. Källaren fyller funktionen som ett förvaringsutrymme, bland annat är varmvattenberedaren placerad i källaren.

Totalt består huset av tre sovrum, ett på bottenplan och två stycken spegelvända på ovanvåningen. Kök, matplats och vardagsrum är alla belägna på bottenplan med en nära anslutning till varandra, se Figur 4. På husets bottenvåning finns enbart innerdörrar till de två badrummen, övriga dörrhål saknar innerdörrar. Husets båda badrum är utrustade med dusch och i badrum 2 är även tvättmaskin och torktumlare placerade. I vardagsrummet på bottenplan finns även en kamin, markerad "K" på planritningen.



Figur 4. Planritning över husets bottenvåning.



Figur 5. Planritning över husets ovanvåning.

Enligt ritningarna framgår det att innerväggarnas tjocklek varierar. Denna variation är genomgående för hela byggnaden som präglas av oregelbundenhet i samtliga dimensioner och mått. Det förekommer ytterst få väggar som är raka och jämna och ritningarna har därför förenklats. Även höjden i rummen varierar och en förenkling har gjorts där samma rumshöjd använts i samtliga rum. Rumsstorlekar och fönsterdata för den befintliga byggnaden redovisas i Tabell 3 och 4.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Tabell 3. Rumsstorlekar.

Rum	Invändig area (m ²)
Entré	3,6
Badrum 1	5,0
Badrum 2	3,8
Kök	11,4
Matplats	12,7
Vardagsrum	13,8
Hall	6,8
Sovrum 1	9,4
Sovrum 2	10,0
Sovrum 3	10,0
Allrum	12,7
Totalt	99,2

Tabell 4. Fönsterdata. U-värden hämtade från (Bokalders & Block 2014).

Fönsterstorlek, L x B (mm)	U-värde (W/m ² K)	Antal (st)	Rum
550 x 650	2,5	1	Badrum 2
700 x 1300	1,0	2	Allrum, sovrums 3 (lutande i tak)
900 x 1000	2,5	1	Entré
900 x 1100	1,0	2	Badrum 1
1000 x 1300	2,5	6	Matplats (2), vardagsrum (2), sovrums 2
1000 x 1300	1,0	1	Sovrum 3
1300 x 600	2,5	1	Sovrum 1
2000 x 1100	1,0	1	Badrum 1

3.1.1 Konstruktioner

På grund av byggnadens ålder och de två tillbyggnaderna skiljer sig konstruktionen mellan olika delar av byggnaden. Huset har bland annat tre olika grundkonstruktioner och två olika typer av ytterväggar. Även innerväggarnas tjocklek och konstruktion varierar, och enskilda innerväggar har en varierande tjocklek. Detta tros bero på att konstruktionsverket som användes vid byggnationen inte hade ett rektangulärt tvärsnitt. Förmodligen hade det istället en varierande dimension likt ett träd.

3.1.1.1 Yttervägg

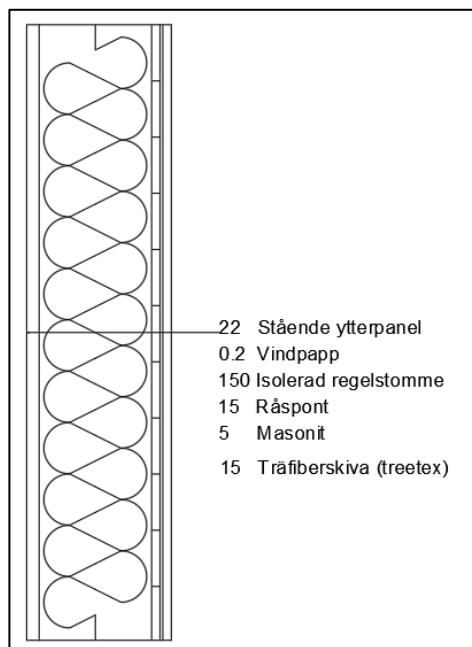
För att undersöka och kartlägga ytterväggens innehåll och lagerföljd, sågades ett hål upp i en yttervägg byggd år 1919.

Befintlig yttervägg byggd 1919

Husets huvudsakliga yttervägg (utom badrum 1) är den ursprungliga från när huset byggdes år 1919. Ytterväggen är klädd med en stående träpanel vilken är målad med en färg liknande falu rödfärg. Innanför fasadmaterialet finns en vindpapp. Vindpappens kvalitet och skick är svårt att bedöma. Vindpappen är fäst på en isolerad regelstomme med en ungefärlig dimension 150 mm. Hur regelkonstruktionen är uppbyggd är svårt att bedöma då det hål som togs upp i väggen var för litet för att bedöma detta. Det är också

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

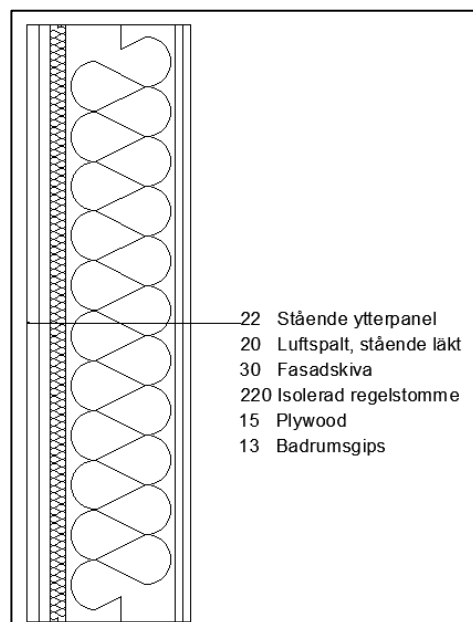
svårt att göra en bedömning på hur pass ”välisolerad” väggen är. Regelstommen är isolerad med mineralull. C/c-avståndet antas till standarden 600 mm. Regelstommens insida är klädd med råspont, ett lager masonit och slutligen Treetex. Konstruktionen illustreras i Figur 6.



Figur 6. Detaljritning av yttervägg byggd år 1919.

Badrumsvägg byggd 2021

Tillbyggnadens (badrum 1) yttervägg som byggdes år 2021 har en modern träregelkonstruktion. Fasaden är densamma som resterande delen av huset. Ytterväggen är även försedd med en luftspalt innanför fasaden för att ventilerar bort eventuell fukt. En fasadskiva (västkustskiva) avgränsar luftspalten och den innanförliggande regelstommen. Regelstommen har dimensionen 220 mm och är isolerad med mineralull. En PE-folie är fäst på reglarnas insida. Väggen är därefter klädd med plywood och badrumsgips för att sedan innerst bekläs med kakel. Konstruktionen illustreras i Figur 7.



Figur 7. Detaljritning över yttervägg byggd år 2021.

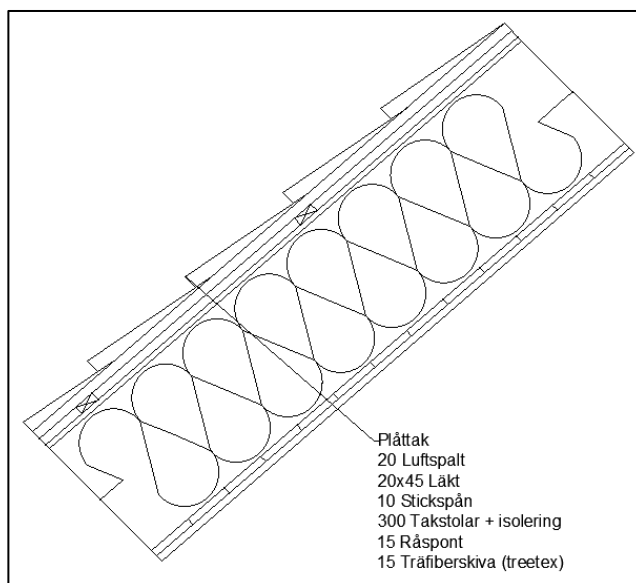
En sammanställning på de olika ytterväggarnas utvändiga areor redovisas och summeras i Tabell 5. Dessa används senare vid beräkning av kostnader för renoveringsåtgärder avseende fallen med tilläggsisolering av fasad. I tabellen har totala arean för ytterväggarna i tillbyggnaden (badrum 1) summerats till 10,6 m². Tillsammans med arean för den ursprungliga väggen uppgår total fasadarea till 87,1 m².

Tabell 5. Ytterväggarnas utvändiga areor.

Yttervägg (väderstreck)	Area fasad (m ²)
1919 Syd	23,3
1919 Väst	12,4
1919 Nord	25,3
1919 Öst	15,5
2021 Badrum 1	10,6
Totalt	87,1

3.1.1.2 Takkonstruktion

Taket är klätt med svart plåt formad som klassiska tegelpannor. Plåten vilar på ett lager bärläkt med underliggande ströläkt vilket skapar en större luftspalt. Under läktkonstruktionen ligger ett lager stickespån vilket möjligtvis kan vara husets originaltak. Takstolarna bedöms ha dimensionen 300 mm. Konstruktionen är isolerad med mineralull. Invändigt är takkonstruktionen klädd med råspont och Treetex. Konstruktionen illustreras i Figur 8.



Figur 8. Detaljritning över takkonstruktionen.

3.1.1.3 Grundkonstruktioner

Originalhuset från år 1919 vilar på en torpargrund och en källare. Källaren är belägen under vardagsrummet och matplatsen, se Figur 4 i tidigare avsnitt. Torpargrunden som återfinns under köket, sovrum 1 och trapprummet är tilläggsisolerad sedan några år tillbaka. Tillbyggnaderna är byggda på vars en platta på mark.

Torpargrund

Grundmuren är uppmurad med stora stenblock bestående mestadels av gnejs. Bjälklaget är tilläggsisolerat med 195 mm mineralull med en underliggande asfaltboard som håller isoleringen på plats. Markytan i torpargrunden är täckt med en PE-plastfolie för att minska fuktbelastningen. För torpargrunden antas att bjälklaget består av 40 % träbjälkar och 60 % mineralull. Det är mycket svårt att avgöra hur pass ventilerad torpargrunden är då denna ventileras med ett fåtal mindre ventiler i grundmuren.

Grundkonstruktion med källare

Källarväggarna är uppbyggda likt grundmuren med större murade stenblock. Bjälklaget är tilläggsisolerat med 195 mm mineralull mellan golvbjälkarna. En asfaltboard håller isoleringen på plats och fungerar även som undertak i källaren. Källargolvet antas vara en enklare gjuten betongsula.

Platta på mark – 1940 och 2021

Grundkonstruktionen som byggdes till tillbyggnaden på 1940-talet är en platta på mark isolerad med 200 mm XPS med 100 mm överliggande betong. Badrum 2 är flytspacklat för att bilda fall i duschen och för installation av golvvärme.

Grundkonstruktionen under badrum 2 är en platta på mark isolerad med 300 mm XPS isolering med 100 mm överliggande betong. Även denna grundkonstruktion har golvvärme i sitt övre skikt.

3.1.2 Uppvärmningssystem

Huset är inte anslutet till något kommunalt värmenät utan värms upp primärt av två luftvärmepumpar och, vid behov, även med en kamin. Det finns därför inga radiatorer i byggnaden. Den ena luftvärmepumpen är av en äldre modell och används därför nästan aldrig. Luftvärmepumpen som främst används är av modell Mitsubishi Kazan 25 Extreme och har ett COP-värde på 5,42 (Polarpumpen u.å.). Vidare har den en maximal värmekapacitet på 6 kW och en nominell värmekapacitet på 3,2 kW (vid COP 5,42). Inomhusenheten är placerad i hallen på bottenvåningen mitt emot öppningen till sovrummet. Kaminen används som kompletterande uppvärmningskälla och används enligt fastighetsägaren mellan oktober – mars, men främst i januari då den används 6 – 7 timmar per dygn. Badrummen är utrustade med golvvärme som drivs av el. Badrum 1 har en inställd golvtemperatur på 24 °C och badrum 2 har en inställd golvtemperatur på 19 °C.

Kattvindarna på ovanvåningen är ouppvärmade ytor och har därmed inget uppvärmningsbehov. Även källaren är en ouppvärmad yta.

3.1.2.1 Tappvarmvatten

Tappvarmvattnet värms upp med en varmvattenberedare av modell: NIBE ES 210. Varmvattenberedarens effekt är 3 kW och termostaten är inställd på 60 °C.

3.1.3 Ventilationssystem

Huset är från början ventilerat med självdrag. På senare år, har fastighetsägaren dock installerat en produkt kallad ”Smart One”. Produkten visas i Figur 9 och kan beskrivas som en lokal värmeväxlare vilken är tänkt att installeras på ett befintligt självdragssystem. Smart One-enheten ventilerar växelvis in och ut tilluft respektive frånluft. Frånluft ventileras ut under en minut, därefter tillförs byggnaden tilluft under en minut, denna cykel sker kontinuerligt så länge enheten är igång. En regenerativ värmeväxlare värmer tilluften då denna tillförs byggnaden. Smartvent som är tillverkare av Smart One menar att produkten kan återvinna mer än 80 % av energin från frånluften (Smartvent u.å.). Smart One har ett nominellt flöde mellan 6 – 15 l/s.



Figur 9. Smart One-enhet.

I den studerade byggnaden finns totalt tre stycken Smart One enheter. En i vardagsrummet, en vid matplatsen och en i badrum 2. Enheterna placerade i vardagsrummet och matplatsen är båda inställda på flödet 10 l/s. Enheten i badrummet ger ett flöde på 6 l/s. Utöver de tre Smart One enheterna finns två frånluftsfläktar, en i respektive badrum. Frånluftsfläktarna styrs manuellt med vars en strömbrytare. För att förflytta luften i huset har fastighetsägaren installerat en kort kanal med en fläkt mellan sovrum 1 och köket. Då fläkten är påslagen transporteras 50 l/s mellan rummen. Mellan köket och sovrum 2 och 3 finns även där en kanal med syftet att transportera luft.

3.1.4 Klimatskalets areor och U-värden

En sammanställning på klimatskalets olika areor och U-värden redovisas i Tabell 6. Areor och U-värden har avlästs i simuleringsprogrammet IDA ICE utifrån modellerad byggnad.

Tabell 6. Konstruktionselementens U-värden beräknade i IDA ICE.

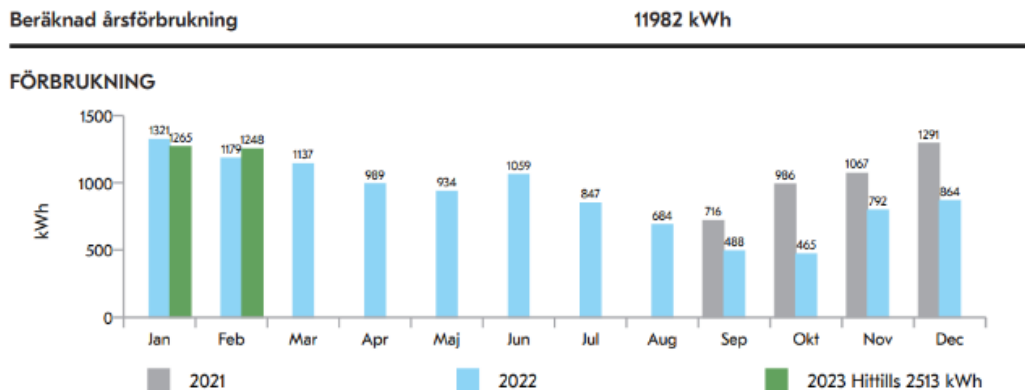
Konstruktionselement	Area (m ²)	U-värde (W/m ² K)
Yttervägg 1919	76,5	0,33
Yttervägg 2021	10,6	0,17
Takkonstruktion	82,2	0,23
Platta på mark 1940	7,5	0,14
Platta på mark 2021	5,1	0,12
Torpargrund/källarbjälklag	54,1	0,35

3.2 Platsbesök

För att ta reda på vilka renoveringsåtgärder eller brukarbeteenden som är mest lönsamma för en minskning av husets energianvändning krävs det att byggnaden kartläggs och kan modelleras i simuleringsprogrammet IDA ICE. Kartläggning av byggnaden skedde genom ett fysiskt platsbesök där indata till simuleringsprogrammet hämtades.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Platsbesöket bestod inledningsvis av en introduktion av husets historia och dess utformning med fastighetsägaren. Fastighetsägaren påpekade att det stundtals kan vara kallare än 21 grader i sovrummet på bottenvåningen. En sammanställning på husets energianvändning de senaste 3 åren tillhandahölls även av fastighetsägaren, se Figur 10.



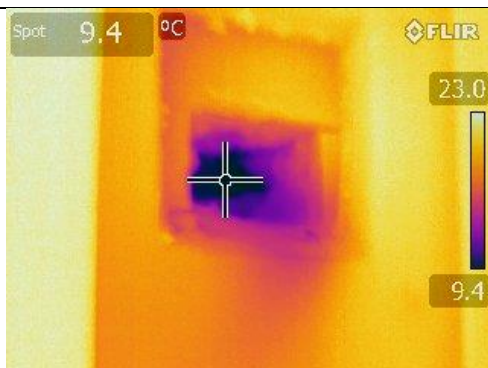
Figur 10. Energianvändning för befintliga huset mellan 2021–2023.

Stapeldiagrammet motsvarar all elanvändning, det vill säga luftvärmepump, varmvatten, matlagning, belysning, tvätt och dylikt. Ur figuren kan man avläsa att januari och februari har högst elanvändning, vilket anses vara rimligt eftersom detta är under uppvärmningssäsongen. Anledningen till att sommarmånaderna har en hög elanvändning beror på att fastigheten har en pool som värms upp.

Platsbesöket bestod till stor del av okulär undersökning och en uppmätning av byggnaden då husritningar saknades. Måtten från uppmätningen användes som indata för att kunna modellera byggnaden i simuleringsprogrammet IDA ICE. Mätningarna genomfördes med en lasermätare för att erhålla högsta möjliga noggrannhet. I vissa fall kompletterades lasermätarens uppskattning med mätningar för hand med tumstock. I samråd med fastighetsägaren gjordes även ett hål, drygt 10x10 cm stort, i en yttervägg för att kunna bedöma dess sammansättning av material och egenskaper. Under platsbesöket noterades det även att det inte fanns någon befintlig yttre solavskärmning på byggnaden.

För att undersöka temperaturskillnader mellan olika konstruktioner utfördes mätningar med en termograf. Genom att termografera anslutningar mellan olika konstruktionsdelar kunde eventuella köldbryggor upptäckas. Nedan redovisas två bilder tagna med termografen som påvisar temperaturskillnader enligt skalan till höger, se Figur 11 och 12. I den vänstra figuren redovisas det upptagna hålet i ytterväggen i sovrummet på bottenplan och i den högra figuren syns ett hörn mellan yttervägg och mellanbjälklag i vardagsrummet på bottenplan. Bilderna ger en uppfattning om köldbryggornas storlek vilket underlättar kommande antaganden om byggnadens köldbryggor i simuleringsprogrammet. Syftet med termograferingen var endast att få en indikation på köldbryggornas storlek, dessa ligger således inte till grund för några vidare beräkningar.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende



Figur 11. Termografering av upptaget hål i yttervägg i sovrum på bottenplan.

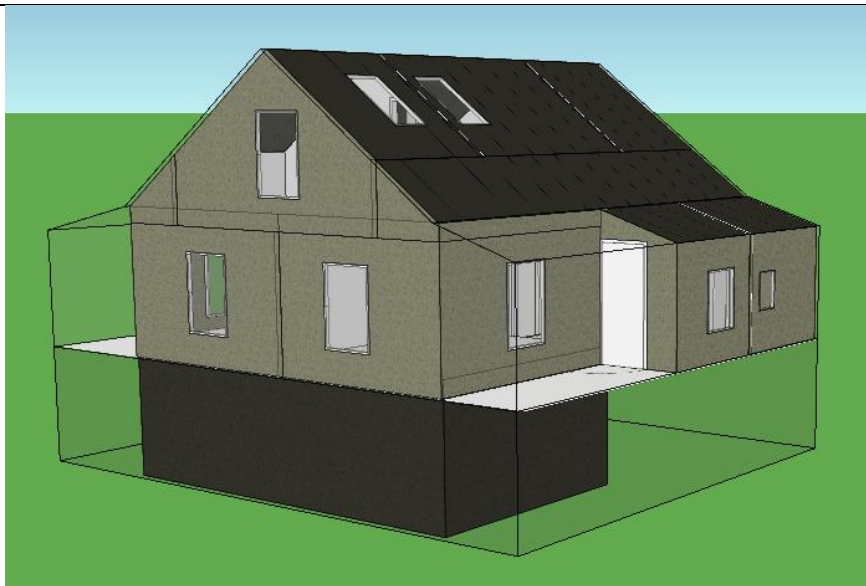


Figur 12. Termografering av hörn i vardagsrum.

3.3 Fallbeskrivning

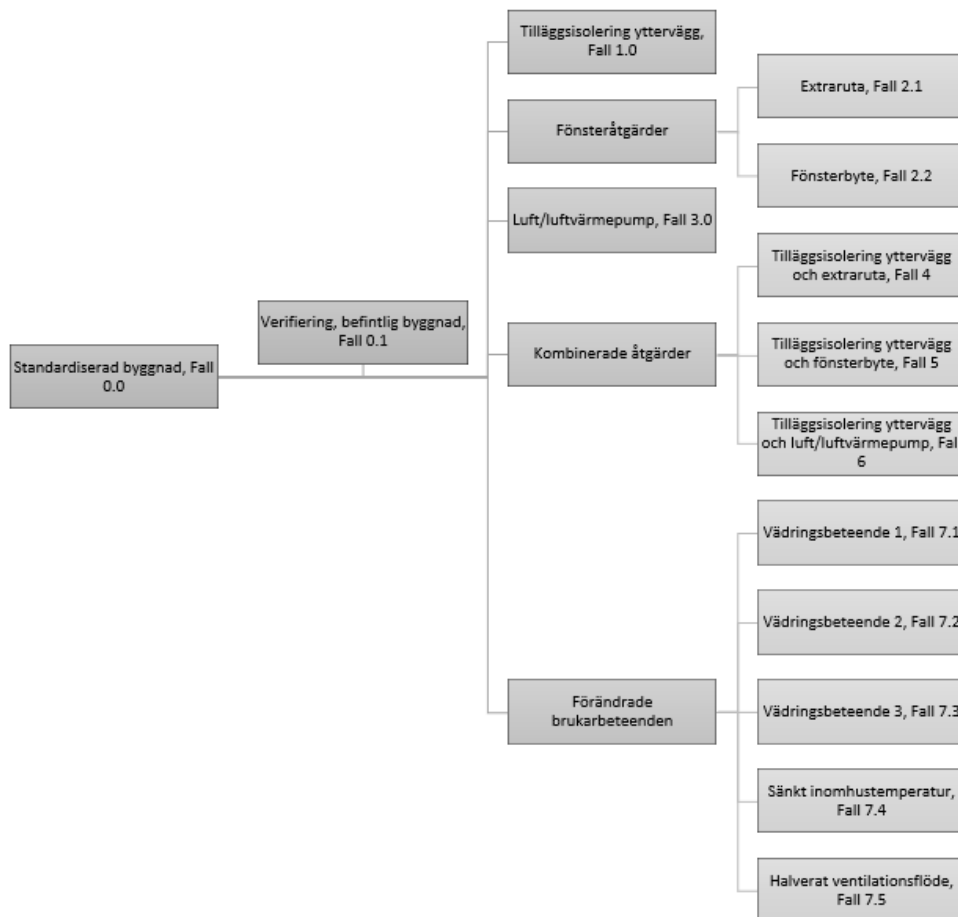
Byggnaden modellerades upp i simuleringsprogrammet IDA ICE för att senare kunna simulera byggnadens energibehov. IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) är ett dynamiskt simuleringsprogram som används för att simulera byggnadsprestanda. Programmet simulerar inomhusklimat och energianvändning för en uppbyggd modell av en byggnad. Programmet använder sig av så kallade zoner som sammankopplas till en byggnad. Zonerna möjliggör att man kan studera en enskild zon eller hela byggnaden som ett sammanhängande system bestående av flera zoner. Modellen byggdes på ett sådant sätt att den skulle efterlikna den studerade byggnaden i största möjliga mån. Husets ålder och viss brist på information ledde till att vissa antaganden var tvungna att göras.

Huset byggdes upp med zoner i programmet i vilket varje rum representeras av en zon. Planlösningarna som upprättades efter platsbesöken ligger till grund för uppbyggnationen av zonerna och för placering av fönster och dörrar i programmet. Byggnadens olika konstruktionselement som presenteras i avsnitt 3.1.1 byggdes upp i programmet och placerades i respektive zon för att bygga upp huset så likt verkligheten som möjligt. En 3D-modell av byggnaden illustreras i Figur 13.



Figur 13. 3D-vy över modellerad byggnad.

I följande avsnitt presenteras två grundfall och tolv ytterligare fall i vilka byggnaden genomgått några energieffektiviserande åtgärder. Åtgärder undersöks inledningsvis enskilt och därefter i olika kombinationer med varandra. Avsnittet behandlar även den indata som användes för att bygga upp modellerna. Grundfall 0 är definierat som den studerade byggnaden ventilerat med självdrag, uppvärmd med direktverkande el och en kamin. Grundfall 0.1 definieras som byggnadens skick idag, med de tre lokala värmeväxlarna och de två luftvärmepumparna samt kamin. Grundfall 0 gjordes dels för att möjliggöra en jämförelse mellan de två grundfallen men även för att studien ska ge ett mer användbart resultat för fler husägare som inte utfört några energieffektiviserande åtgärder. Kartläggning av fallen som undersöks i examensarbetet redovisas i Figur 14.



Figur 14. Kartläggning av studerade fall.

3.3.1 Standardiserad byggnad från 1919 – Fall 0.0

För att kunna genomföra simuleringar och dra slutsatser om vilka åtgärder som är mest ekonomiskt lönsamma för en 1,5-plansvilla byggd år 1919 har den specifikt undersökta byggnaden modellerats om till en standardiserad byggnad. Detta eftersom det i dagsläget redan har utförts ett par renoveringsåtgärder på den specifika byggnaden. Denna modell benämns i rapporten som Fall 0.0

3.3.1.1 Förutsättningar

Förutsättningar och indata till IDA ICE för det standardiserade fallet redovisas nedan. Dessa gäller för resterande fall om inget annat anges.

Klimatförutsättningar

Klimatdata för den specifika byggnaden har i IDA ICE hämtats från Hässleholm (Osby) då denna geografiska plats anses vara närmst platsen där byggnaden är belägen.

Vindprofilen har i IDA ICE antagits till "suburban" eftersom byggnaden är belägen i utkanten av tätorten Höör och mestadels omges av skog.

Konstruktion

Husets olika konstruktionsdelar byggdes upp i IDA ICE. Egenskaperna för de material som fanns förprogrammerade i programmet överensstämde sällan med egenskaperna för de faktiska materialen som huset var uppbyggt av. För att efterlikna de verkliga konstruktionerna modifierades materialens lambda-värde (värmeledningsförmåga) och värmekapacitet. Då konstruktioner och klimatskal byggts upp och modifierats, erhöles dess U-värden, vilka redovisas i Tabell 6 i avsnitt 3.1.4.

Fönsterna i byggnaden modellerades upp utifrån de fönster som fanns förprogrammerade i programmet. De valdes utifrån vilka U-värden som matchade byggnadens befintliga fönster bäst. Fönsternas typ och U-värde redovisas i Tabell 4 i avsnitt 3.2.

Ventilation

Modellen som simulerades i Fall 0.0 ventileras endast med självdrag. Den naturliga ventilationen till byggnaden drivs av vinden och av temperaturskillnader. "Supply terminals" installerades i samtliga sovrum, vardagsrum och matrum. Tilluftsflödet och frånluftsflödet reglerades därefter med "Air Handling Unit" för att erhålla 0,35 l/s och m² i samtliga rum. Tryckkoefficienterna, som beskriver tryckfördelningen för husets olika fasader, är hämtade från IDA ICE med definitionen "exposed". Denna inställning motsvarar hur vindutsatt huset är och med tanke på dess geografiska belägenhet anses "exposed" vara det mest lämpliga alternativet. Infiltrationen genom byggnadens klimatskal ansattes till 0,5 oms/h. Frånluftsfläktarna i badrummen regleras med ett schema utifrån hur ofta dessa antas vara påslagna. Frånluftsflödet är 0 då fläkten är avstängd och 20 l/s då den är igång. Schemat som styr frånluftsfläktarna är samma för alla dagar och redovisas i Tabell 7.

Tabell 7. Schema för frånluftsfläktar i badrummen.

Tid	Flöde (l/s)
06–09	20
09–16	0
16–18	20
18–21	0
21–23	20
23–06	0

Uppvärmning

Byggnadens uppvärmningssystem består i simuleringen av direktverkande elradiatorer och golvvärme i badrummen. Radiatorerna är placerade i samtliga rum förutom badrummen. I rummen med fönster placeras radiatorerna under dessa, för att motverka kallras. För att uppfylla kravet på inomhustemperatur (21°C) i alla rum har olika maxeffekter för radiatorerna ansatts efter en iterativ arbetsgång. Entrén, som är det minsta rummet, har en radiator med maxeffekt på 500 W. Kök, vardagsrum, hall och allrum har radiatorer med maxeffekt på 2 000 W och radiatorerna i övriga rum har maxeffekt på 1 000 W. Badrummen är försedda med elslingor i golvet för att säkerställa erforderlig temperatur. Temperaturen i golvet regleras efter rumstemperatur i

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

simuleringsprogrammet och inte efter en termostat som det är i det aktuella huset. Badrum 1 och 2 har en inställd golvtemperatur på 22 °C. Husets uppvärmningssystem är även kompletterat med en kamin i vardagsrummet som främst används under uppvärmningssäsongen oktober – mars, med högst användning under januari. Kaminen har en antagen maximeffekt på 6 000 W och ett uppskattat schema för hur mycket kaminen används redovisas i Tabell 8 (Jötul u.å.). Schemat har utformats efter diskussion med fastighetsägaren om hur mycket den befintliga kaminen används i den studerade byggnaden. IDA ICE har ingen förinställd inställning för att simulera en kamin, utan kaminen efterliknas med en inställning som benämns ”equipment”, som representerar en fiktiv internlast. Denna inställning tar inte hänsyn till att kaminen fortfarande är varm och avger värme även efter avslutad eldning. För att efterlikna kaminens verkliga värmeavgivning sänktes därför verkningsgraden succesivt i programmets schema.

Tabell 8. Översikt av kaminanvändning.

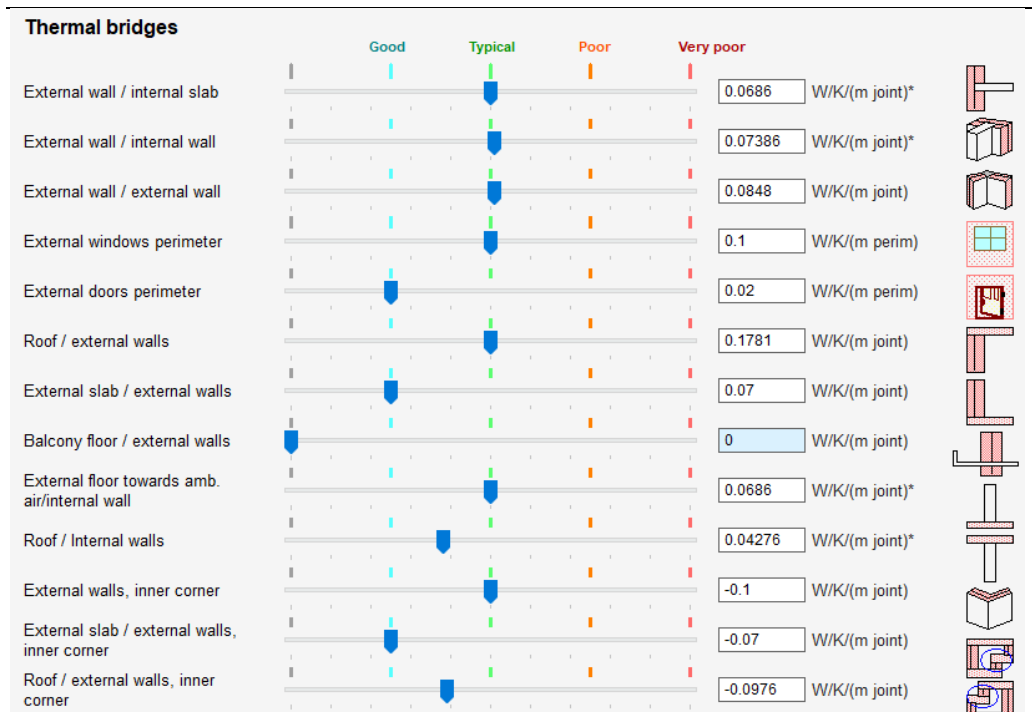
Period	Vardagar		Helgdagar	
	Tid	Verkningsgrad (0 – 1)	Tid	Verkningsgrad (0 – 1)
Oktober – december, februari – mars	17–19	1	08–09	1
	19–22	0,5	09–11	0,5
	22–01	0,25	11–13	0,25
			17–19	1
			19–22	0,5
			22–01	0,25
Januari	15–18	1	08–09	1
	18–21	0,75	09–10	0,75
	21–00	0,5	10–11	0,5
	00–03	0,25	11–12	0,25
			17–20	1
			20–22	0,75
			22–00	0,5
			00–02	0,25

Huset är inte utrustat med något komfortkylsystem och denna inställning har därför avlägsnats från modellen i IDA ICE.

Köldbryggor

Köldbryggor är en viktig parameter att ta hänsyn till vid beräkning av energianvändning då dessa påverkar uppvärmningsbehovet. Äldre byggnader har vanligtvis en mindre isolerad klimatskärm jämfört med nyare byggnader, vilket innebär att köldbryggornas påverkan på värmeförluster blir större för nyare byggnader. Denna aspekt har beaktats vid bedömning av köldbryggornas storlek i anslutningar mellan olika byggnadsdelar. Beräkning av köldbryggor har i denna undersökning skett förenklat genom IDA ICE där storleken på olika köldbryggor har bedömts och kategoriserats i intervallet ”good” till ”very poor”. Varje köldbrygga har därefter utifrån kategoriseringen tilldelats ett siffrvärde från simuleringsprogrammet. Bedömningen har baserats på att mängden köldbryggor som ger upphov till värmeförluster antas ligga omkring 20 – 25 %. Köldbryggornas storlek mellan olika byggnadsdelar redovisas från IDA ICE i Figur 15.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende



Figur 15. Inställningar på köldbryggor från IDA ICE.

Internvärme

Byggnadens internvärme består av gratisvärme från människor, belysning och diverse utrustning. Gällande människors avgivna effekt ansätts BEN 2:s normaliserade värde på 80 W/person. Boverkets föreskrift BEN 2 menar att det i ett småhus med fler än 5 rum i genomsnitt vistas 3.51 personer. För att tillgodoräkna den gratisvärme som personerna i byggnaden avger gjordes antaganden om hur mycket brukarna vistas i byggnadens olika rum. Utifrån dessa antaganden gjordes ett schema i IDA ICE som beskriver var och hur länge personerna vistas i de olika rummen (zonerna). Varje person vistas i byggnaden i 14 timmar per dygn enligt standarden BEN 2. En förenkling gjordes genom att ansätta vistelsetiden i badrum, hall, entré och allrum till 0. Eftersom det standardiserats att 3,51 personer vistas i byggnaden i 14 timmar fördelades 49 timmar ut i de olika rummen. Antaganden om var brukarna vistas under ett normaldygn redovisas i Tabell 9.

Tabell 9. Vistelsefördelning för de boende.

Rum	Persontimmar	Antal personer	Klockslag
Sovrum 1	12	1,5	22–06
Sovrum 2	8	1	22–06
Sovrum 3	8	1	22–06
Vardagsrum	10,5	3,5	19–22
Matplats	5,25	3,5	06.30–07; 18–19
Kök	5	2	06–06.30; 16.30–18

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

För att tillgodoräkna gratisvärmerna från byggnadens elektroniska utrustning ansattes BEN 2:s rekommenderade värde för hushållsenergi ($30 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år). Enligt BEN 2 får 70 % av hushållsenergin tillgodoräknas som internvärme. Gratisvärmerna fördelades och beräknades förenklat utifrån rummens olika areor. För att skapa ett mer verklighetsbaserat fall utfördes några justeringar. Hälften av gratisvärmerna från samtliga rum på bottenplan, bortsett från badrum 2 som fyller funktionen som tvättrum, adderades till köket som innehåller störst andel hushållsmaskiner. Dessutom fördelades en liten del av kökets ”extra” gratisvärme till badrum 2 som även det innehåller vitvaror. Den tillåtna tillgodoräknade effekten för de olika rummen presenteras i Tabell 10.

Tabell 10. Gratisvärme från de olika rummen.

Rum	Gratisvärme (W)
Entré	9,5
Badrum 1	22,2
Badrum 2	30,0
Kök	200,0
Matplats	37,5
Vardagsrum	39,5
Hall	19,7
Sovrum 1	24,5
Sovrum 2	58,3
Sovrum 3	58,3
Allrum	76,4

Tappvarmvatten

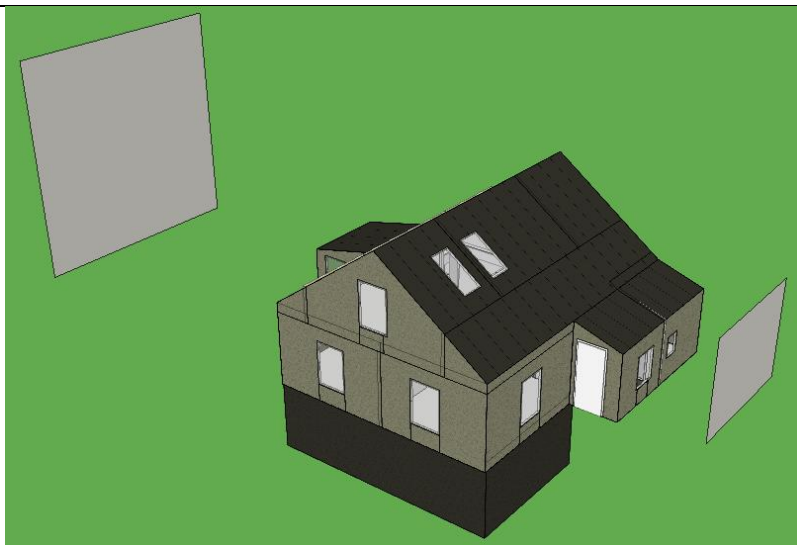
Tappvarmvattenanvändningen simuleras inte i IDA ICE och undersöks inte i examensarbetet.

Brukarbeteende

För det standardiserade fallet antas samtliga fönster och ytterdörrar vara stängda dygnet runt. Olika vädringsbeteenden och ytterligare förändrade brukarbeteenden undersöktes också, men presenteras senare i rapporten.

Solavskärmning

Byggnaden har ingen installerad yttre solavskärmning och blir därmed utsatt för all solstrålning som når fönsterna. Omgivningen runt huset består av ett uthus, som är beläget nordost om huset, samt träd och vegetation i olika stor omfattning i de olika väderstrecken. Uthuset och vegetationen redovisas illustrativt som två plank enligt Figur 16. Eftersom solen går upp i öst och ner i väst har vegetationens påverkan på ljusinstrålning norr om huset försumrats. Söder om huset var vegetationen på ett längre avstånd och dess påverkan har därför också antagits vara försumbar. Planket som motsvarar vegetationen väster om huset har en höjd på 7 m och planket till öst, som representerar uthuset, har höjden 3 m. För att efterlikna verkligheten har den fiktiva vegetationen tilldelats en transparensfaktor på 0,5 och uthuset faktorn 0. Detta eftersom träden och vegetationen anses vara glesa vilket gör att solljuset kan tränga igenom, till skillnad från uthuset som är tätare där inget solljus kan tränga igenom byggnaden.



Figur 16. 3D-vy över modellerad byggnad med avskärning.

3.3.2 Befintlig byggnad, verifiering – Fall 0.1

I Fall 0.1 simuleras byggnadens energianvändning som den är idag. Jämfört med Fall 0.0 värms byggnaden i detta fall upp med två luft/luft-värmepumpar och ventilationssystemet har kompletterats med tre mindre värmeväxlare.

3.3.2.1 Förutsättningar

Frånsett de förutsättningar och indata som presenteras i detta avsnitt är indatan densamma som för Fall 0.0.

Ventilationssystem

För att efterlikna de tre värmeväxlarna används funktionen ”Air Handling Unit” för de tre rummen med värmeväxlare. Det är inte möjligt att simulera en regenerativ värmeväxlare i programmet då detta skapar obalans med luftflödena i byggnaden. Istället halverades ventilationsflödet i det förinställda CAV-systemet för att försöka efterlikna värmeväxlarenheterna. CAV-systemets årsverkningsgrad justerades till 80 %. De halverade ventilationsflödena som användes i IDA ICE var således 5 l/s i vardagsrummet och matplatsen och 3 l/s i badrum 2. Frånluftsfläktarna och dess flöde är detsamma som i Fall 0.0.

Infiltrationen genom konstruktionen ansåts i detta fallet till ett fixt värde på 0,5 omsättningar/h.

Uppvärmningssystem

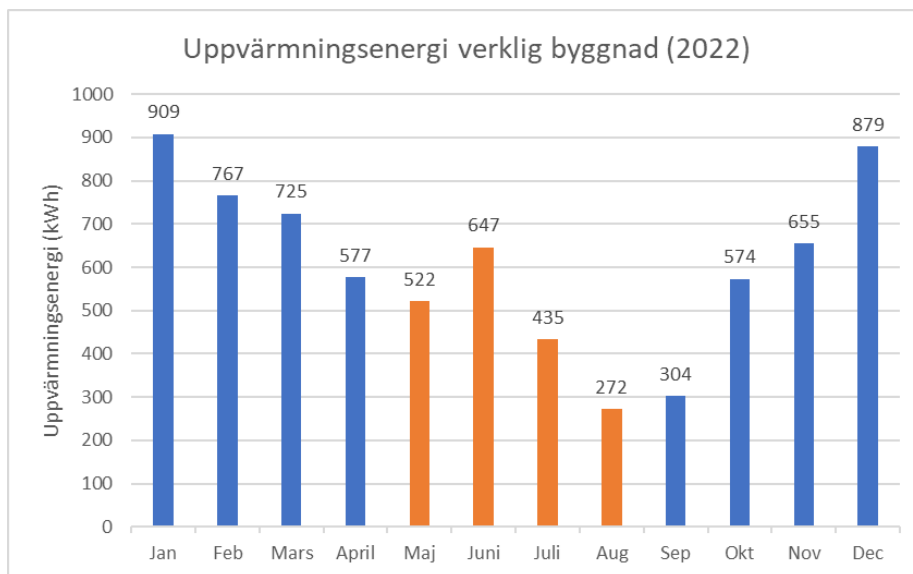
Byggnadens verkliga uppvärmningssystem består av två värmepumpar, varav den ena ytterst sällan används, samt kamin och elslingor i badrummen. För att erhålla ett inneklimat som uppfyller krav från BBR avseende lufttemperatur och koldioxidhalt behövdes anpassningar i IDA ICE göras. Effekten från slingorna i badrummen sattes till 200 W för att uppfylla temperaturen i dessa rum. För att uppnå en inomhustemperatur

på 21 °C i övriga rum placerades ytterligare tre luftvärmepumpenheter i huset. Luftvärmepumpar placerades i vardagsrum, kök, samt i sovrummen. Inställningarna för dessa är i enlighet med den ursprungliga luftvärmepumpen ”Air to air, non-ducted heat pump”.

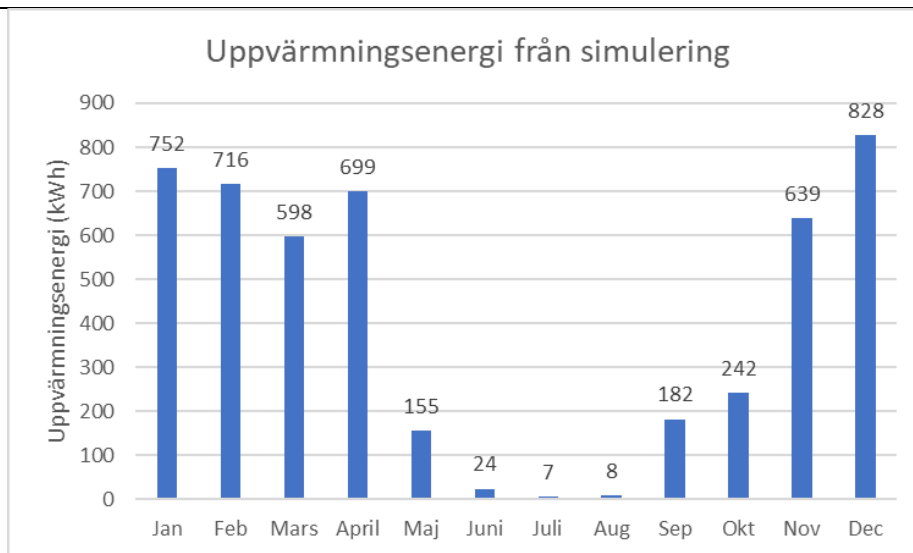
3.3.2.2 Verifiering av IDA ICE – modellen

Detta fallet (Fall 0.1) används som en verifiering av den uppbyggda modellen i IDA ICE. Det vill säga att den simulerade uppvärmningsenergin jämförs med husets faktiska användning som redovisas i Figur 10.

För att kunna jämföra energianvändningen från det tillhandahållna stapeldiagrammet i Figur 10 med resultatet av simuleringen för fallet, har stapeldiagrammet reviderats för att endast omfatta elanvändning för uppvärmning. Utifrån schabloner, hämtade från BEN 2, har elanvändningen för hushållsel och tappvarmvatten subtraherats från staplarna i Figur 10. I det omräknade diagrammet har månaderna under sommarhalvåret färgmarkerats orangea. Detta på grund av att en pool värms upp under sommarhalvåret vilket inte anses vara relevant för denna studie. Som verifiering av byggnadsmodellen jämförs därför endast uppvärmningsenergin under vinterhalvåret. Stapeldiagrammet som endast avser uppvärmningsenergi redovisas i Figur 17. För att få en uppfattning om rimligheten i stapeldiagrammet har den befintliga byggnaden simulerats i IDA ICE och ett stapeldiagram som illustrerar denna simulering presenteras i Figur 18.



Figur 17. Uppmätt, verklig uppvärmningsenergi, befintlig byggnad (omräknat från Figur 10).



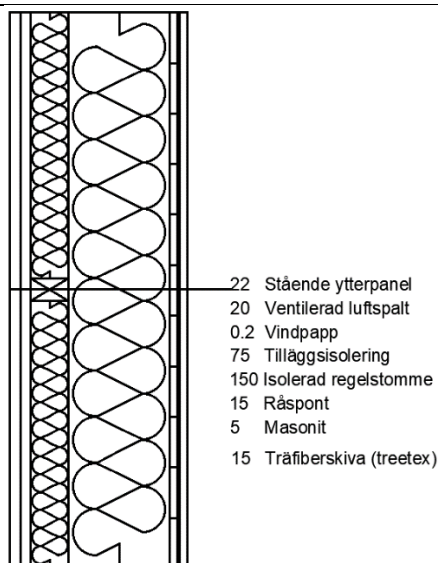
Figur 18. Uppvärmningsenergi för befintlig byggnad från simulering i IDA ICE.

Utifrån en översiktlig jämförelse mellan diagrammen anses modellen vara tillräckligt lik verkligheten. Summeras den uppmätta elenergin för uppvärmning för byggnaden 2022 (de blå staplarna) erhålls 5390 kWh. Uppvärmningsbehovet för simuleringen resulterade i totalt 6181 kWh/år vilket anses vara en tillräckligt bra modell av verkligheten.

I simuleringen används kaminen utifrån schemat redovisat i Tabell 8. En fast kubikmeter ved har ett energiinnehåll på 2500 kWh och en kubikmeter stjälpst värmehalt har cirka 1000 kWh (Skogscentralen u.å.). Fastighetsägaren har uppskattat att det totalt förbrukas 5 kubikmeter ved stjälpst värmehalt per år. Totalt avger den simulerade kaminen 5983 kWh under vinterhalvåret, vilket då medför cirka 6 m³ ved för simuleringsfallet. Kaminens värmeavgivning bedöms därmed vara rimlig.

3.3.3 Tilläggsisolering yttervägg – Fall 1

Husets befintliga yttervägg, bortsett från tillbyggnaden byggd 2021, tilläggsisoleras utifrån. Fasaden och vindpappen avlägsnas från ytterväggen. Till den befintliga ytterväggskonstruktionen enligt Figur 6 adderas en 75 mm djup isolerad regelstomme med c/c-avstånd 1200 mm. Ett nytt vindsydd spänns upp utanpå den tilläggsisolerade konstruktionen. För att göra konstruktionen fuktsäkrare görs en 20 mm vertikalt ventilerad luftspalt. Fasaden hängs upp på den luftspaltsbildande läkten. Den tilläggsisolerade ytterväggen visas i Figur 19.



Figur 19. Ritning av tilläggsisolerad yttervägg.

Till den befintliga ytterväggskonstruktionen modellerad i Fall 0.0 i IDA ICE adderas de tillagda konstruktionslagren. Den tillagda isoleringens värmeledningsförmåga sätts till 0,036 W/mK. Då den befintliga vindpappen byts ut till en modernare och tätare produkt sänks infiltrationen från 0,5 till 0,2 oms/h. Väggens tjocklek och U-värde före respektive efter tilläggsisoleringen redovisas i Tabell 11.

Tabell 11. Tjocklek och U-värde på yttervägg innan och efter tilläggsisolering

Yttervägg	Tjocklek (mm)	U-värde
Innan tilläggsisolering	257	0,33
Efter tilläggsisolering	352	0,20

3.3.4 Fönsteråtgärder

Ytterligare scenarion som undersöks är renovering i form av fönsteråtgärder. Denna undersökning delas vidare in i två olika fall; ett fall där endast en ny glasruta monteras invändigt på de befintliga fönsterna och ett fall där de befintliga fönsterna byts ut och ersätts av nya fönster. Inga åtgärder görs för fönsterna i badrum 1 samt fönstret i sovrum 3 eftersom dessa nyligen blivit utbytta.

3.3.4.1 Extra glasruta – Fall 2.1

Det första fallet av fönsterbyte benämns 2.1 och innebär att en extra ruta tillsätts på insidan av de befintliga fönsterna. Denna åtgärd kan antas vara fördelaktig ur flera perspektiv, man bevarar byggnadens kulturhistoriska värde samtidigt som man håller sig på avfallstrappans högsta nivå: minimera. Enligt Bokalders och Block (2014) kan insättning av extra glasruta sänka fönstrets U-värde med 45 % och ett fönster från 1930-talet kan därmed få ett U-värde på 1,4 W/m²K. Efter erhållen offert från Grundels kan fönsterna få ett U-värde på 1,3 W/m²K om en 4 mm klimatisolerruta med energiglas tillsätts, dessutom reduceras buller med 3 – 4 dB.

Åtgärden med extraruta går inte att applicera i IDA ICE och därför har en förenkling fått göras. För att efterlikna renoveringen med tillsättning av extraruta har istället ett helt nytt standardiserat fönster valts i programmet med U-värde motsvarande 1,4 W/m²K. I samband med åtgärden insättning av extraruta antas klimatskalet förbättras och bli något tätare, därför sänks infiltrationen från 0,5 till 0,4 oms/h.

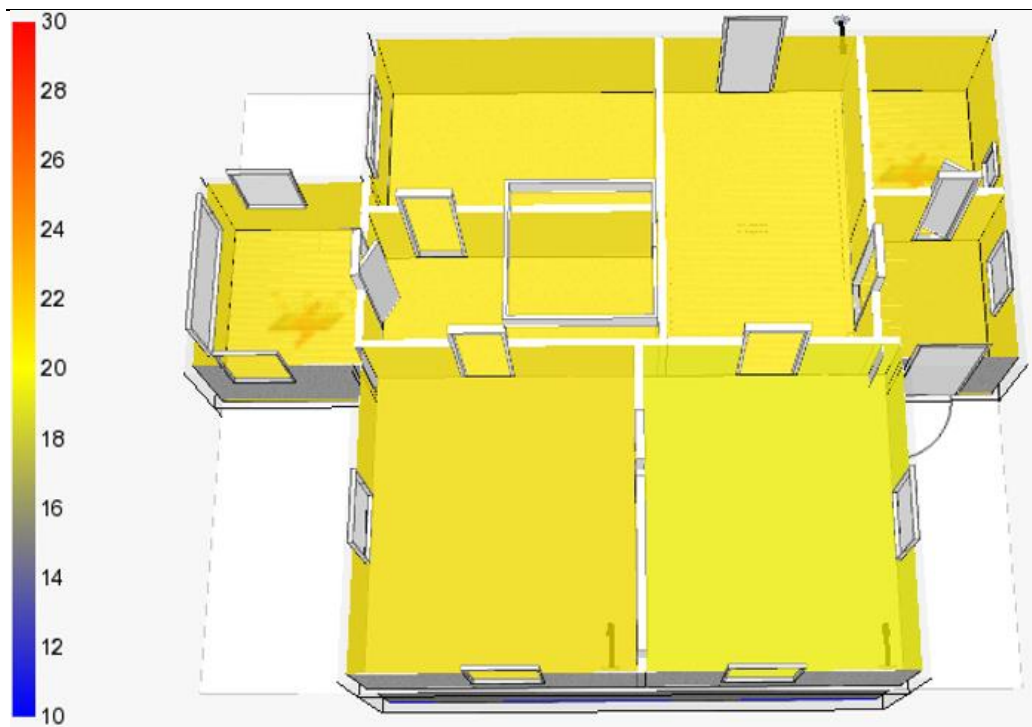
3.3.4.2 Byte av fönster – Fall 2.2

Fönsteråtgärden med byte av fönster benämns som Fall 2.2 och innebär att befintliga fönster byts ut och ersätts av nya. Åtgärden har även större negativ klimatpåverkan än fallet då fönstret bevaras och utrustas med ytterligare en ruta. De nya fönsterna antas följa dagens moderna energieffektiva fönster med U-värde 0,7 W/m²K, g-värdet för det standardiserade fönstret i IDA ICE har värdet 0,5. Fönsterbyte antas göra klimatskalet tätare än åtgärden med tillsats av extraruta och därför sänks infiltrationen från 0,5 till 0,3 oms/h i detta fall.

3.3.5 Luft/luft-värmepump – Fall 3

Det befintliga uppvärmningssystemet i form av direktverkande elradiatorer byts ut mot luft/luft-värmepumpar. Genom en iterativ process där temperaturerna i rummen studerades placerades fem luftvärmepumpenheter ut i huset i följande rum: vardagsrum, kök, sovrum 1, sovrum 2 och sovrum 3. För att temperaturen skulle vara 21 grader i samtliga rum i simuleringen krävdes fem värmepumpenheter vilka kopplades till 2 värmepumpar, dvs inköp av 2 värmepumpar. Att temperaturen hålls konstant är viktig för att möjliggöra jämförelser mellan de olika fallen. Den förprogrammerade värmepumpen vid namn "air to air non ducted heat pump" användes. Värmepumpen har en maxeffekt på 6 kW och ett COP-värde på 3,2. De nyinstallerade värmepumparna antas ha en livslängd på 20 år. De simulerade temperaturerna på bottenvåningen visas i Figur 20.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende



Figur 20. Simulerad inomhustemperatur i januari vid uppvärmning med luftvärmepumpar.

3.3.6 Tilläggsisolering yttervägg och extraruta – Fall 4

Fall 1 och Fall 2.1 kombineras. Detta innebär att husets yttervägg tilläggsisoleras enligt Fall 1 och att fönsterna samtidigt kompletteras med en extra invändig tillsatsruta och därmed sänker U-värdet till $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Infiltrationen genom konstruktionen sätts till $0,2 \text{ oms/h}$.

3.3.7 Tilläggsisolering yttervägg och fönsterbyte – Fall 5

Fall 1 och Fall 2.2 kombineras. Det vill säga att husets yttervägg tilläggsisoleras enligt Fall 1 och att fönsterna samtidigt byts ut mot nya fönster med U-värde $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Infiltrationen genom konstruktionen sätts till $0,2 \text{ oms/h}$.

3.3.8 Tilläggsisolering och luftvärmepump – Fall 6

Fall 1 och Fall 3 kombineras. Det vill säga att husets yttervägg tilläggsisoleras likt i Fall 1 och att husets direktverkande elradiatorer byts ut till luft/luft-värmepumpar, likt Fall 3. Infiltrationen genom konstruktionen sätts till $0,2 \text{ oms/h}$.

3.3.9 Förändrade brukarbeteende

Förutom tekniska renoveringsåtgärder har även olika förändrade brukarbeteenden simulerats. Tre olika vädringsfall och ytterligare två fall, ett med en lägre accepterad

inomhustemperatur och ett med halverade ventilationsflöden, har undersökts. Fall 7.1, 7.2 och Fall 7.3 omfattar inga renoveringsåtgärder utan simulerar endast tre vädringsscenarion för den standardiserade byggnaden (Fall 0.0). Vädringsfallen är uppbyggda utifrån tolkningar av resultat från BETSI avseende vädringsvanor för småhus byggda före år 1960. Majoriteten av byggnadens fönster är sidohängda och består av två delar som öppnas var för sig utåt. Fönsterna är försedda med haspar för att minimera risken att dessa blåser upp när fönsterna är öppna. Fönsternas öppningsgrad vid användning av haspen uppskattas till 0,25 (då endast en av rutorna är öppen). Öppnas en fönsterdel helt (vinkelrätt mot fasaden) sätts öppningsgraden till 0,5. Är båda fönsterrutorna helt öppna (vinkelräta mot fasaden) är öppningsgraden 1. Vinterhalvåret omfattar månaderna september till april och sommarhalvåret maj till augusti. Fall 7.4 omfattar simulering av den standardiserade byggnaden (Fall 0.0) men med en inomhustemperatur på 19 °C istället för 21 °C. Ytterligare fall med förändrat brukarbeteende som undersöks är Fall 7.5 som avser ett halverat ventilationsflöde.

3.3.9.1 Vädringsbeteende 1 – Fall 7.1

Det första fallet avseende vädringsbeteende innebär att brukarna vädrar lite mindre. I vädringsfall 7.1 vädrar brukarna under 10 minuter i sovrummen, tre dagar i veckan under vinterhalvåret med en öppningsgrad (ÖG) på 0,25 (haspläge). Under sommarhalvåret simuleras tvärdrag både på bottenvåningen och ovanvåningen med en fönsterruta helt öppen, vilket motsvarar en öppningsgrad på 0,5. Under de varmaste sommarmånaderna juni – augusti är altandörren i köket helt öppen två timmar om dagen under tre dagar per vecka. Vädringsschemat för Fall 7.1 redovisas i Tabell 12.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Tabell 12. Vädringsschema Fall 7.1

Rum	Sommarhalvår (maj – augusti)			Vinterhalvår (september-april)		
	Tid	ÖG	Frekvens	Tid	ÖG	Frekvens
Sovrum 1	09 – 9.15; 21.30 – 21.40	0,5	5 dagar/vecka	21.30 – 21.40	0,25	3 dagar/vecka
Matplats (öst)	09 – 9.15; 21.30 – 21.40	0,5	5 dagar/vecka	-	-	-
Kök (altandörr)	12 – 14	1	3 dagar/vecka (juni – augusti)	-	-	-
Sovrum 2	21.30 – 21.40	0,5	5 dagar/vecka	21.30 – 21.40	0,25	3 dagar/vecka
Sovrum 3	21.30 – 21.40	0,5	5 dagar/vecka	21.30 – 21.40	0,25	3 dagar/vecka

3.3.9.2 Vädringsbeteende 2 – Fall 7.2

För att få olika scenarion med olika mycket vädring har ett par justeringar gjorts för vädringsfall 7.2. Vädringsfrekvensen ökas till daglig vädring för samtliga fönster och öppningsgraden dubblas från 0,25 till 0,5 för samtliga fönster under vinterhalvåret. Vädringstiderna hålls konstanta för de båda fallen. I Tabell 13 redovisas vädringsschemat för Fall 7.2.

Tabell 13. Vädringsschema Fall 7.2.

Rum	Sommarhalvår (maj – augusti)			Vinterhalvår (september-april)		
	Tid	ÖG	Frekvens	Tid	ÖG	Frekvens
Sovrum 1	09 – 9.15; 21.30 – 21.40	0,5	Varje dag	21.30 – 21.40	0,5	Varje dag
Matplats (öst)	09 – 9.15; 21.30 – 21.40	0,5	Varje dag	21.30 – 21.40	0,5	Varje dag
Kök (altandörr)	12 – 14	1	Varje dag (juni – augusti)	-	-	-
Sovrum 2	21.30 – 21.40	0,5	Varje dag	21.30 – 21.40	0,5	Varje dag
Sovrum 3	21.30 – 21.40	0,5	Varje dag	21.30 – 21.40	0,5	Varje dag

3.3.9.3 Vädringsbeteende 3 – Fall 7.3

Enligt statistiken från BETSI vädrar hälften (50%) av de boende i äldre småhus dagligen under uppvärmningssäsongen. När det gäller hur länge de vädrar uppger 34% att de vädrar några timmar och 12 % hela dagen/natten, dvs ca hälften (46%) vädrar minst några timmar varje dag. För att efterlikna detta scenario har ett extremare fall, Fall 7.3, undersökts med betydligt längre vädringstid (flera timmar) jämfört med de tidigare vädringsfallen. I Tabell 14 nedan redovisas vädringsschema för Fall 7.3.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Tabell 14. Vädringsschema Fall 7.3.

Rum	Sommarhalvår (maj – augusti)			Vinterhalvår (september-april)		
	Tid	ÖG	Frekvens	Tid	ÖG	Frekvens
Sovrum 1	09–11; 20–23	0,5	Varje dag	20–22	0,5	Varje dag
Matplats (öst)	09–11; 20–23	0,5	Varje dag	20–22	0,5	Varje dag
Kök (altandörr)	12–15	1	Varje dag (juni – augusti)	-	-	-
Sovrum 2	20–23	0,5	Varje dag	20–22	0,5	Varje dag
Sovrum 3	20–23	0,5	Varje dag	20–22	0,5	Varje dag

3.3.9.4 Sänkt inomhustemperatur – Fall 7.4

Tredje fallet med förändrat brukarbeteende avser ett fall där brukarna accepterar en lägre inomhustemperatur på 19 °C. Till skillnad från vädringsfallen är syftet med detta fall att undersöka hur mycket energianvändningen för uppvärmning kan minska genom att ansätta en lägre inomhustemperatur än den rekommenderade enligt Boverket. För att göra fallet realistiskt väljs en inomhustemperatur på 19 °C, vilket är en sänkning på 2 °C jämfört med det standardiserade fallet som har inomhustemperaturen 21 °C.

3.3.9.5 Halverat ventilationsflöde – Fall 7.5

Ytterligare ett brukarbeteende som undersöks är då byggnadens ventilationsflöde halveras. Fallet är tänkt att beskriva en situation där husets ventilationsflöden sänks för att snabbt och enkelt reducera energikostnaderna för uppvärmning. Detta kan tänkas vara ett desperat brukarbeteende vid ovanligt höga elpriser. Likt Fall 7.4 undersöks, även i detta fall, energibesparingen vid ett visst brukarbeteende. Utifrån Fall 0.0 sänks ventilationsflödet enligt Boverkets krav på 0,35 till 0,175 l/s och m². Att halvera ventilationsflödet till 0,175 l/s och m² strider mot BBR men bedöms vara ett beteende som förekommer vid höga elpriser. Övriga indata är desamma som Fall 0.0. Energibesparingen tas därefter fram genom en jämförelse med Fall 0.0. För att undersöka hur det reducerade flödet påverkar inomhusklimatet kontrolleras koldioxidhalten för fallet.

3.4 Lönsamhetsbedömning för de olika fallen

För att kunna jämföra de olika fallens ekonomiska lönsamhet beräknas inledningsvis investeringskostnaden för de olika renoveringsåtgärderna. Därefter beräknas de olika åtgärdernas livscykelkostnad och återbetalningstid för att kunna bedöma lönsamheten av åtgärderna. Investeringskostnaden, för åtgärderna med tilläggsisolering och fönsterbyte, beräknas med hjälp av programmet Wikells sektionsdata, som är en databas med prissättningar på material och arbete. Kostnaden för renovering och tillsättning av extraruta (Fall 2.0) tillhandahölls genom en offert från Grundels på 20 915 kr inklusive rotavdrag. Åtgärden med montering av två luft/luftvärmepumpar har antagits innebära en kostnad på 50 000 kr, där installationsavgift om 8 000 kr adderas (Bygghemma 2023). En husägare har idag möjligheten att utnyttja 30 % rotavdrag på arbetskostnaden upp till maximalt 50 000 kronor, vilket har beaktats vid beräkningarna. Utöver rotavdraget kan fastighetsägare även utnyttja ett energibidrag på maximalt 60 000 kr för både klimatskal och uppvärmningssystem. I följande delavsnitt redovisas de beräknade kostnaderna för tilläggsisolering och fönsterbyte mer detaljerat.

3.4.1 Investeringskostnad tilläggsisolering

För framtagning av investeringskostnad för tilläggsisolering undersöktes först fasadarean på byggnaden. De olika fasadernas areor har beräknats sedan tidigare och redovisning av dessa återfinns i avsnitt 3.1.1.1. Totala arean, exklusive badrum 1, uppkom till 76,5 m². Sedan multiplicerades detta värde med priset per m² från Wikells på 1 381 kr/m². I detta pris ingår rivning av befintlig fasad samt montage av isolering och ny fasad. För att utnyttja ROT-avdraget har 30 % av arbetskostnaden dragits av från totala kostnaden, där arbetskostnaden står för 932 kr/m². Därefter kompletterades totala kostnaden med priset för målning av fasad, där priset anges till 113,3 kr/m² och tre strykningar anses vara nödvändigt. Även för målningen subtraheras ROT-avdraget från totala kostnaden. Wikells tillhandahåller inte information om hur stor andel av målningspriset som omfattas av arbetskostnad respektive materialkostnad, en uppskattning om fördelning 70/30 i favör för arbetskostnad har därför gjorts. Arbetskostnad och total kostnad för rivning, montage och målning redovisas i Tabell 15. Nedan följer beräkning av investeringskostnad för tilläggsisolering.

Tabell 15. Arbetskostnad och total kostnad avseende arbete för tilläggsisolering (Wikells).

Arbete	Arbetskostnad (kr/m ²)	Materialkostnad (kr/m ²)	Total kostnad (kr/m ²)
Rivning och montage	932	449	1 381
Målning	79,3	34,0	113,3

Pris efter rivning och montage

$$76,5 \text{ m}^2 \cdot 1381 \text{ kr/m}^2 = 105\,717 \text{ kr}$$

Total investeringskostnad med ROT-avdrag

$$105\,717 \text{ kr} - 76,5 \text{ m}^2 \cdot 932 \text{ kr/m}^2 \cdot 0,3 = 84\,312 \text{ kr}$$

Pris efter målning

$$84\,312 \text{ kr} + 113,3 \text{ kr/m}^2 \cdot 76,5 \text{ m}^2 \cdot 3 = 110\,331 \text{ kr}$$

Slutgiltig investeringskostnad (med ROT-avdrag)

$$110\,331 \text{ kr} - 113,3 \text{ kr} \cdot 0,7 \cdot 76,5 \text{ m}^2 \cdot 3 \cdot 0,3 = 104\,871 \text{ kr}$$

Slutgiltig investeringskostnad (med energibidrag)

$$104\,871 \text{ kr} - 449 \text{ kr/m}^2 \cdot 76,5 \text{ m}^2 \cdot 0,5 = 87\,697 \text{ kr}$$

Utöver att beräkna investeringskostnaden för tilläggsisolering av byggnaden beräknas även investeringskostnaden för att endast byta fasaden på byggnaden. Detta möjliggör en jämförelse mellan att utföra en energieffektiviserande åtgärd mot att endast utföra ett större men nödvändigt underhållsarbete för att upprätthålla ytterväggens funktionalitet. Likt beräkningen för tilläggsisolering dras ROT-avdraget bort från priset för att erhålla det slutgiltiga priset. Priset för fasadbyte antogs till 1 033 kr/m² enligt Wikells med en arbetskostnad på 777 kr/m². Beräkningsgången för framtagning av investeringskostnaden för endast fasadbyte presenteras nedan.

Slutgiltig investeringskostnad endast fasadbyte (med ROT-avdrag)

$$1\,033 \text{ kr/m}^2 \cdot 76,5 \text{ m}^2 - 777 \text{ kr/m}^2 \cdot 76,5 \text{ m}^2 \cdot 0,3 = 61\,177 \text{ kr}$$

3.4.2 Investeringskostnad fönsterbyte

Beräkning av investeringskostnad för fönsterbyte gjordes också med hjälp av Wikells sektionsdata, från vilket priser för tre olika fönstertyper hämtades. Totalt byts sex stora fönster, ett litet fönster i sovrummet på bottenvåningen samt ytterligare ett litet i badrum 2. För samtliga fönster hämtades pris/enhet vilket omfattar både demontering och nytt montage. Även i detta fall utnyttjas ROT-avdrag där 30 % av arbetskostnaden subtraheras från totala kostnaden. Materialkostnad och arbetskostnad för de olika fönsterna redovisas i Tabell 16. Nedan följer beräkning av investeringskostnad för fönsterbyte.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Tabell 16. Arbetskostnader och materialkostnader för fönsterna (Wikells).

Fönster	Arbetskostnad (kr/enhet)	Materialkostnad (kr/enhet)	Total kostnad (kr/enhet)
Stort fönster	4 652	10 599	15 251
Fönster i sovrum	2 753	4 473	7 226
Fönster i badrum	2 407	4 048	6 455

Pris efter demontering och nytt montage

Sex stora fönster:	$15\,251 \text{ kr/enhet} \cdot 6 = 91\,506 \text{ kr}$
Fönster i sovrum:	$7\,226 \text{ kr/enhet} \cdot 1 = 7\,226 \text{ kr}$
Fönster i badrum 2:	$6\,455 \text{ kr/enhet} \cdot 1 = 6\,455 \text{ kr}$
Totalt:	105 187 kr

ROT-avdrag

Sex stora fönster:	$91\,506 \text{ kr} - 4\,652 \text{ kr/enhet} \cdot 6 \cdot 0,3 = 8\,374 \text{ kr}$
Fönster i sovrum:	$7\,226 \text{ kr} - 2\,753 \text{ kr/enhet} \cdot 1 \cdot 0,3 = 826 \text{ kr}$
Fönster i badrum:	$6\,455 \text{ kr} - 2\,407 \text{ kr/enhet} \cdot 1 \cdot 0,3 = 722 \text{ kr}$
Totalt:	9 922 kr

Slutgiltig investeringskostnad (med ROT-avdrag)

$$105\,187 \text{ kr} - 9\,922 \text{ kr} = 95\,265 \text{ kr}$$

Total materialkostnad

$$10\,599 \text{ kr} \cdot 6 + 4\,473 \text{ kr} \cdot 1 + 4\,048 \text{ kr} \cdot 1 = 72\,115 \text{ kr}$$

Utifrån total materialkostnad på 72 115 kr kan ett energibidrag erhållas på 30 000 kr (eftersom 50 % av materialkostnaden överstiger maxbeloppet på 30 000 kr).

Slutgiltig investeringskostnad (med energibidrag)

$$95\,265 \text{ kr} - 30\,000 \text{ kr} = 65\,265 \text{ kr}$$

Enligt offerten från Grundels avseende tillsats av extraruta uppkommer materialkostnaden för denna åtgärd endast till 7 940 kr, med detta belopp uppfylls inte kriteriet för att kunna utnyttja energibidrag. Materialkostnaden för luft/luftvärmepumparna uppgår till 50 000 kr, och energibidraget kan därför utnyttjas med 50 % av materialkostnaden. Investeringskostnaderna för samtliga renoveringar, inklusive ROT-avdrag och energibidrag, redovisas i Tabell 17.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Tabell 17. Investeringskostnader för olika enskilda renoveringsåtgärder.

Åtgärd	Totalt pris inkl. ROT-avdrag (kr)	Totalt pris inkl. ROT-avdrag och energibidrag (kr)
Tilläggsisolering	104 871	87 697
Extraruta	20 915	20 915
Fönsterbyte	95 265	65 265
Luft/luft-värmepump	58 000	33 000

3.4.3 Investeringskostnader för kombinerade åtgärder

I detta avsnitt redovisas beräkning av investeringskostnader för de olika kombinerade fallen, med respektive utan energibidrag. Underhållskostnaderna försummas för samtliga kombinationer av åtgärder eftersom dessa antas vara ungefär lika stora för alla fall. Investeringskostnaderna som beräknas är inklusive ROT-avdrag. Eftersom det totala ROT-avdraget understiger 50 000 kr för samtliga kombinationer av åtgärder kan totala investeringskostnaden beräknas genom att summera de enskilda åtgärdernas slutgiltiga investeringskostnader enligt Tabell 18.

Tabell 18. Investeringskostnader för kombinerade fall utan energibidrag.

Åtgärd	Tilläggsisolering + extraruta (kr)	Tilläggsisolering + fönsterbyte (kr)	Tilläggsisolering + luft/luft-värmepump (kr)
Tilläggsisolering	104 871	104 871	104 871
Extraruta	20 915	-	-
Fönsterbyte	-	95 265	-
Luft/luft-värmepump	-	-	58 000
Total investeringskostnad	125 786	200 136	162 871

För beräkning av total investeringskostnad med energibidrag undersöktes totala energibidraget för de kombinerade åtgärderna. Som tidigare nämnt kan bidraget maximalt uppgå till 30 000 kr för åtgärder avseende klimatskalet och 30 000 kr för åtgärder som energieffektiviserar uppvärmningssystem. Investeringskostnaden för tilläggsisolering med extraruta beräknades genom att summera de enskilda åtgärdernas kostnad. För fallet med tilläggsisolering och fönsterbyte kunde endast energibidraget utnyttjas till 30 000 kr, detta eftersom båda åtgärderna innebär en förbättring av klimatskalet. Därför är endast kostnaden för fönsterbytet reducerad i denna kolumn. För fallet med tilläggsisolering och installation av luft/luft-värmepump kunde energibidraget utnyttjas för båda åtgärderna eftersom de omfattar klimatskal respektive uppvärmningssystem. Investeringskostnader för de kombinerade fallen med energibidrag redovisas i Tabell 19.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Tabell 19. Investeringskostnader för kombinerade fall med energibidrag.

Åtgärd	Tilläggsisolering + extraruta (kr)	Tilläggsisolering + fönsterbyte (kr)	Tilläggsisolering + luft/luft-värmepump (kr)
Tilläggsisolering	87 697	104 871	87 697
Extraruta	20 915	-	-
Fönsterbyte	-	65 265	-
Luft/luft-värmepump	-	-	33 000
Total investeringskostnad	108 612	170 136	120 697

3.4.4 Livscykelkostnad

Den ena metoden som används för att bedöma renoveringsåtgärdernas lönsamhet är analys av dess livscykelkostnad. Livscykelkostnaden beräknas med Energimyndighetens framtagna LCC-verktyg. Kalkylperioden för samtliga beräkningar sätts till 50 år med en kalkylränta på 4 %. Livscykelkostnaden som beräknas är nuvärdesberäknad, vilket betyder att alla framtida drift- och underhållskostnader nuvärdesberäknas med en nusummefaktor som beräknas enligt ekvation 3.2. Nusummefaktorn är beroende av kalkylräntan, r , och antalet år, n , efter investeringsdagen som drift- och underhållskostnaden betalas. Livscykelkostnaden beräknas som summan av investeringskostnaden och de nuvärdesberäknade drift- och underhållskostnaderna enligt ekvation 3.1.

$$LCC = \text{Investeringskostnad} + \sum \text{drift och underhållskostnader} \cdot I(r_k, n) \quad (3.1)$$

[kr]

$$\text{Nusummefaktor} = I(r_k, n) = \frac{1 - (1 + r/100)^{-n}}{r/100} \quad [-] \quad (3.2)$$

För att tydligare kunna bedöma renoveringsåtgärdernas ekonomiska lönsamhet undersöks endast fallen utan kamin. Detta ger en tydligare bild över energibesparingen och därmed även den ekonomiska lönsamheten. Som en känslighetsanalys undersöks tre olika elpriser; 1, 2 respektive 4 kr/kWh. Fallet med den lägsta livscykelkostnaden anses enligt LCC-metoden vara det mest ekonomiskt lönsamma fallet.

I Tabell 20 presenteras den fallspecifika indata som används för att beräkna livscykelkostnaden i Energimyndighetens beräkningsverktyg. Uppvärmningsenergin är den elektriska energi som går åt för uppvärmning av byggnaden utan att kaminen används. Åtgärden ”fasadbyte” avser ingen energieffektivisering utan undersöks endast med syftet att ha något att jämföra fallet med tilläggsisolering mot.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Tabell 20. Fallspecifik indata för beräkning av livscykelkostnader. Uppvärmningsenergi är avläst från IDA ICE.

Åtgärd	Investeringskostnad (kr)	Årligt behov för uppvärmningsenergi (kWh/år)
Ingen åtgärd	-	16 649
Endast fasadbyte	61 177	16 649
Tilläggsisolering	104 871	13 350
Extraruta	20 915	15 394
Fönsterbyte	95 265	14 285
Luft/luft-värmepump	58 000	8 357
Tillägg + extraruta	125 786	12 716
Tillägg + fönsterbyte	200 136	12 338
Tillägg + LVP	162 871	7 892

Eventuella bidrag för energibesparing i småhus som går att söka för tillfället ingår inte i tabell 20.

3.4.5 Återbetalningstid

För att bedöma de tekniska åtgärdernas ekonomiska lönsamhet undersöks även en återbetalningstid för dessa. Denna anses komplettera livscykelkostnaden och ger ett enkelt och tydligt resultat som är lättolkat för gemene man. Återbetalningstid motsvarar hur lång tid i antal år som det tar för investeringen att återbetala sig. Beräkning av återbetalningstid sker enligt ekvation 3.3.

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{\text{Investeringskostnad}}{\text{Energipris} \cdot \text{Energibesparing}} \quad [\text{år}] \quad (3.3)$$

3.4.6 Ekonomisk bedömning av förändrade brukarbeteende

För att undersöka ekonomiska lönsamheten för fallen med förändrade brukarbeteenden beräknas den årliga kostnaden respektive besparingen för dessa fall. Fallen avseende vädring resulterar i ett ökat uppvärmningsbehov och därmed beräknas kostnaden för dessa fall. Fallen med sänkt inomhustemperatur och halverat ventilationsflöde resulterar i ett reducerat uppvärmningsbehov och för dessa fall beräknas därför energibesparingen. Kostnad och besparing beräknas genom att multiplicera energipriset med det ökade eller reducerade uppvärmningsbehovet som åtgärden ger upphov till jämfört med grundfallets uppvärmningsbehov. Även för dessa beräkningar görs en känslighetsanalys där olika energipriser undersöks. Generell ekvation (3.4) för beräkning av kostnader och energibesparing redovisas nedan. I avsnitt 4.2.3 presenteras resultatet.

$$\text{Kostnad/besparing} = \text{energipris} \cdot \Delta \text{uppvärmningsbehov} \quad [\text{kr}] \quad (3.4)$$

4 Resultat

I detta avsnitt redovisas resultat som erhållits från simuleringarna i IDA ICE avseende de olika fallen med tekniska åtgärder och förändrade brukarbeteende samt resultat från ekonomiska lönsamhetsbedömningen för de olika åtgärderna.

4.1 Resultat från IDA ICE

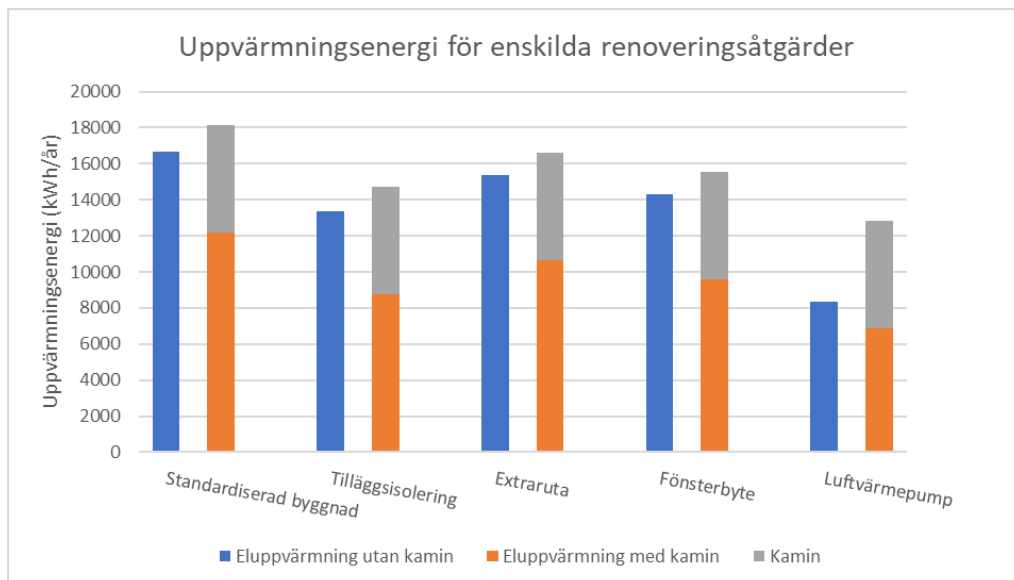
Från simuleringarna i IDA ICE har årligt behov av uppvärmningsenergi avlästs för de olika fallen: de enskilda åtgärderna, de kombinerade fallen samt fallen avseende förändrade brukarbeteenden. Uppvärmningsbehoven från simuleringarna, med och utan kamin, redovisas i Tabell 18. I tabellen presenteras totala årliga energianvändningen för uppvärmning, energianvändning per m² samt hur stor procentuell reduktion eller ökning av uppvärmningsbehov som de olika fallen resulterar i. Den procentuella sänkningen baseras på förhållandet till det standardiserade fallet. För att visuellt förtydliga hur energianvändningen minskar för de olika fallen har tabellen kompletterats med tre stapeldiagram enligt Figur 21 - 23. De två första diagrammen illustrerar värdena från de tekniska åtgärderna enskilt respektive kombinerat och det tredje diagrammet avser de olika brukarbeteendena. För varje fall redovisas två olika staplar, där stapeln till höger motsvarar fallen då byggnaden även har en kamin som uppvärmningskälla. Kaminens energitillförsel till byggnaden är konstant 5983 kWh/år för samtliga fall och illustreras som grå stapel i figurerna. I Tabell 21 nedan är kaminens energitillförsel exkluderad från värdena.

Tabell 21. Årlig energianvändning och besparing för uppvärmning, med respektive utan kamin.

Åtgärd	Utan kamin			Med kamin		
	(kWh/år)	(kWh/m ² år)	(%)	(kWh/år)	(kWh/m ² år)	(%)
Standardiserad byggnad (Fall 0.0)	16 649	168	-	12 158	123	-
Befintlig byggnad (Fall 0.1)	-	-	-	6180	62	-
Endast fasadbyte	16 649	168	-	12 158	123	-
Tilläggsisolering	13 350	135	20	8751	88	28
Extraruta	15 394	155	8	10 639	107	13
Fönsterbyte	14 285	144	14	9 573	96	22
Luft/luft-värmepump	8 357	84	50	6 878	69	44
Tillägg + extraruta	12 716	128	24	8 112	82	33
Tillägg + fönsterbyte	12 338	124	26	7 742	78	37
Tillägg + LVP	7 892	80	52	5 936	60	51
Vädring Fall 7.1	17 011	171	+ 2	12 244	124	+ 1
Vädring Fall 7.2	17 759	179	+ 7	12 909	130	+ 6
Vädring Fall 7.3	25 599	259	+ 54	21 051	213	+ 73
Sänkt inomhustemperatur	14 205	143	15	9 813	99	19
Halverat ventilationsflöde	14 680	148	12	10 117	102	17

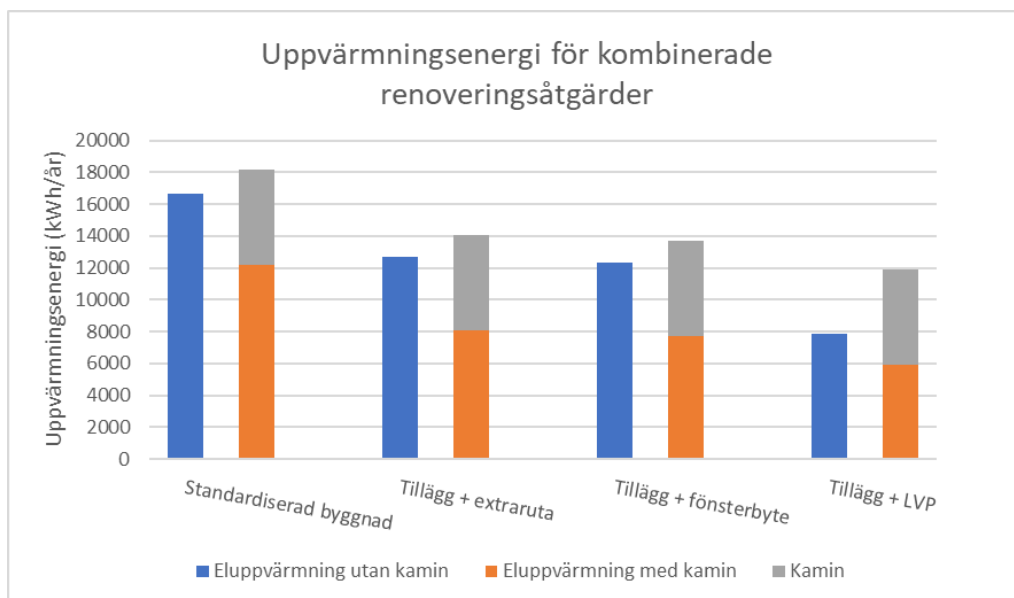
Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Figur 21 illustrerar energibehovet för de enskilda renoveringsåtgärderna (Fall 1 – Fall 3) jämfört med den standardiserade byggnaden (Fall 0.0).



Figur 21. Stapeldiagram över uppvärmningsenergi för enskilda åtgärder.

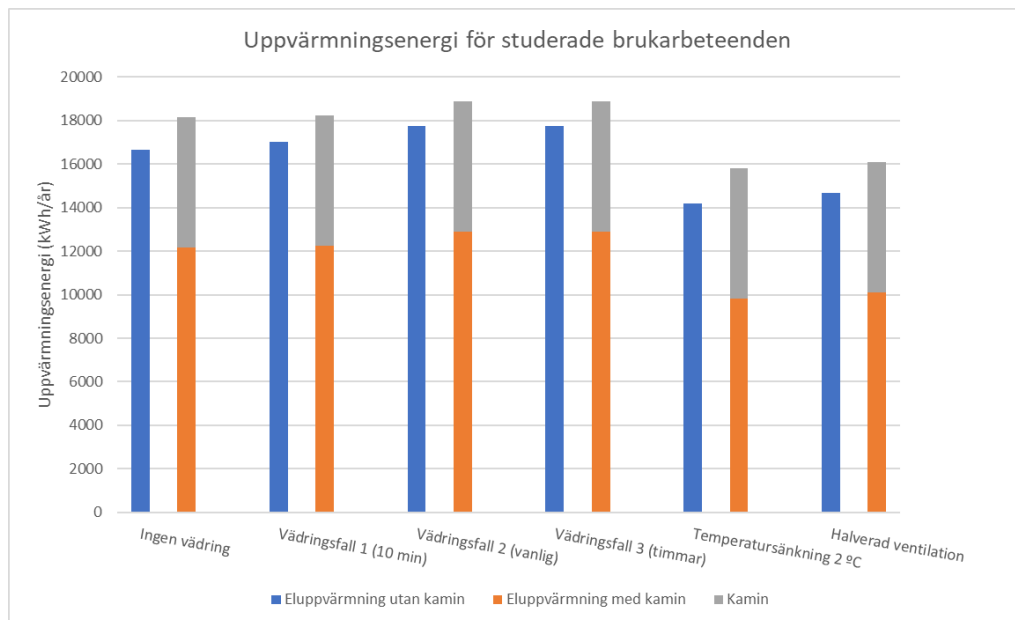
Figur 22 illustrerar energibehovet för de undersökta kombinerade renoveringsåtgärderna (Fall 4 – Fall 6) jämfört med den standardiserade byggnaden (Fall 0.0).



Figur 22. Stapeldiagram över uppvärmningsenergi för kombinerade åtgärder.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Figur 23 illustrerar energibehovet för de fyra undersökta fallen med förändrade brukarbeteende (Fall 7.1 – 7.5) jämfört med den standardiserade byggnaden (Fall 0.0).



Figur 23. Stapeldiagram över uppvärmningsenergi för studerade brukarbeteenden.

4.2 Ekonomisk lönsamhetsbedömning

I följande avsnitt redovisas resultatet från beräkningarna av livscykelkostnaderna för de enskilda och kombinerade renoveringsåtgärderna, samt beräknad återbetalningstid för de olika fallen. De ekonomiska beräkningarna har utförts med investeringskostnader utan energibidrag, detta eftersom bidraget är relativt nytt och att det inte finns någon prognos för hur länge bidraget kommer att betalas ut.

4.2.1 LCC

Livscykelkostnaderna är beräknade utifrån tre olika energipris; 1, 2 och 4 kr/kWh. Livscykelkostnaderna redovisas i Tabell 22 - 25. Energipriset 2 kr/kWh antas vara mest realistiskt utifrån dagens energiprisläge. Rutorna markerade i grönt motsvarar scenario där åtgärder har lägre livscykelkostnad än fallet utan åtgärd för energipriset 2 kr/kWh. Sex av sju undersökta åtgärder visas vara ekonomiskt lönsamma vid detta energipris.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Tabell 22. Livscykelkostnader för olika fall kopplade till tilläggsisolering.

Åtgärd	LCC (kr)		
	Energipris 1 kr/kWh	Energipris 2 kr/kWh	Energipris 4 kr/kWh
Ingen åtgärd	357 657	715 314	1 430 628
Endast fasadbyte	418 834	776 491	1 491 805
Tilläggsisolering	391 658	678 445	1 252 020

Tabell 23. Livscykelkostnader för olika fönsteråtgärder.

Åtgärd	LCC (kr)		
	Energipris 1 kr/kWh	Energipris 2 kr/kWh	Energipris 4 kr/kWh
Ingen åtgärd	357 657	715 314	1 430 628
Extraruta	351 612	682 308	1 343 702
Fönsterbyte	402 138	709 011	1 322 757

Tabell 24. Livscykelkostnad för luft/luft-värmepump.

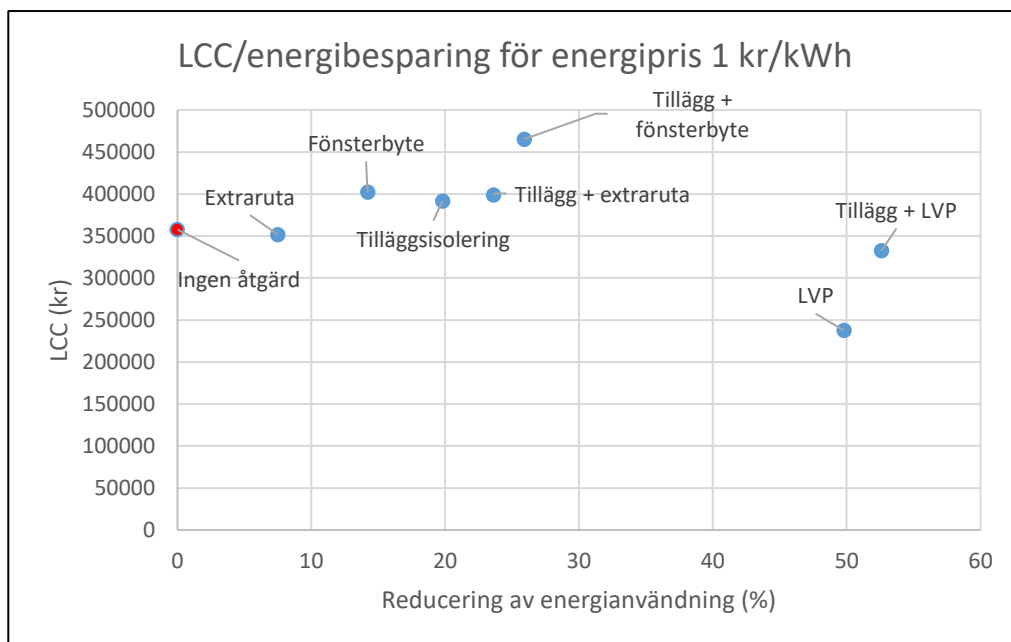
Åtgärd	LCC (kr)		
	Energipris 1 kr/kWh	Energipris 2 kr/kWh	Energipris 4 kr/kWh
Ingen åtgärd	357 657	715 314	1 430 628
Luft/luft-värmepump	263 997	443 524	802 577

Tabell 25. Livscykelkostnader för de kombinerade åtgärderna.

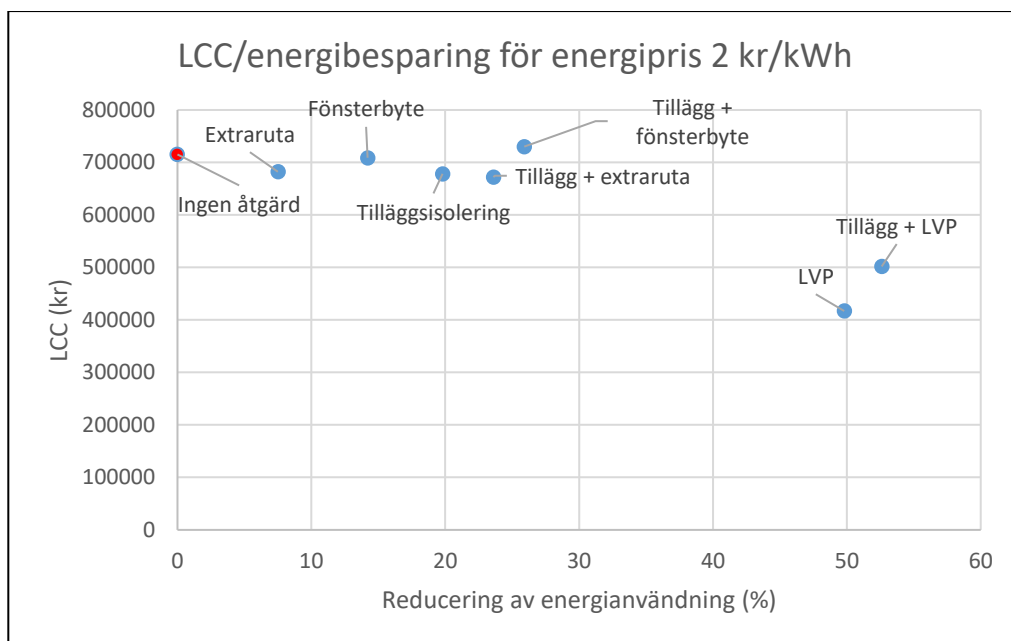
Åtgärd	LCC (kr)		
	Energipris 1 kr/kWh	Energipris 2 kr/kWh	Energipris 4 kr/kWh
Ingen åtgärd	357 657	715 314	1 430 628
Tillägg + extraruta	398 932	672 078	1 218 370
Tillägg + fönsterbyte	465 183	730 230	1 260 325
Tillägg + LVP	332 387	501 903	840 935

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

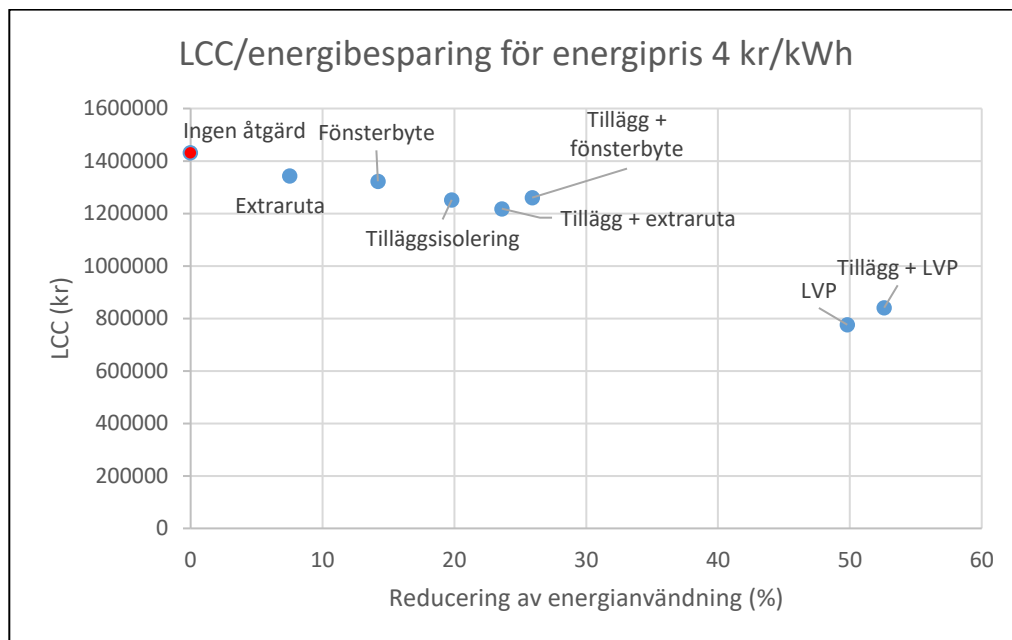
För att kunna jämföra de olika åtgärderna med varandra har tre diagram som beskriver förhållandet mellan LCC och energibesparing skapats. Diagrammen har varierande energipris mellan 1 och 4 kr/kWh och redovisas i Figur 24 - 26.



Figur 24. Förhållandet mellan LCC och energibesparing för åtgärder med energipris 1 kr/kWh.



Figur 25. Förhållandet mellan LCC och energibesparing för åtgärder med energipris 2 kr/kWh.



Figur 26. Förhållandet mellan LCC och energibesparing för åtgärder med energipris 4 kr/kWh.

4.2.2 Återbetalningstid

Resultatet av de tekniska renoveringsåtgärdernas återbetalningstider redovisas nedan i Tabell 26. Beräkning sker enligt ekvation 3.2 där värdet på energibesparing för de olika renoveringsåtgärderna och investeringskostnaden för dessa avläses från Tabell 20 i avsnitt 3.4.4.

Tabell 26. Återbetalningstider för tekniska renoveringsåtgärder.

Åtgärd	Återbetalningstid (år)		
	1 kr/kWh	2 kr/kWh	4 kr/kWh
Tilläggsisolering	32	16	8
Extraruta	17	8	4
Fönsterbyte	40	20	10
Luft/luft-värmepump	7	4	2
Tilllägg + extraruta	32	16	8
Tilllägg + fönsterbyte	46	23	12
Tilllägg + LVP	19	10	5

4.2.3 Ekonomisk bedömning av förändrade brukarbeteenden

Årliga kostnader och energibesparingar för fallen med olika brukarbeteenden redovisas i Tabell 27. För beräkningarna har värden på uppvärmningsbehov avlästs från Tabell 21 i avsnitt 4.1. Negativa värden i tabellen motsvarar kostnadsbesparingar till följd av en mindre energianvändning. Positiva värden i tabellen motsvarar kostnader.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Tabell 27. Kostnader respektive besparingar för olika förändrade brukarbeteenden.

Fall	Kostnad/besparing (kr/år)		
	1 kr/kWh	2 kr/kWh	4 kr/kWh
Vädring Fall 7.1	362	724	1 448
Vädring Fall 7.2	1 110	2 220	4 440
Vädring Fall 7.3	8 950	17 900	26 850
Sänkt inomhustemperatur Fall 7.4	- 2 444	- 4 888	- 9 776
Halverat ventilationsflöde Fall 7.5	- 1 969	- 3 938	- 7 876

4.3 Sammanställning

I Tabell 28 nedan presenteras en sammanställning av de viktigaste resultaten från detta arbete. Värdena i kolumnen ”Totalt U-värde” har hämtats från IDA ICE och avser det totala U-värdet för byggnadens klimatskal. Energibesparingen avser uppvärmningsenergin för byggnaden. För de olika ekonomiska parametrarna (LCC och återbetalningstid) i tabellen har värdena baserats på energipriset 2 kr/kWh.

Tabell 28. Sammanställt resultat (energipris 2 kr/kWh).

Åtgärd	Infilt. (oms/h)	Totalt U-värde (W/m ² K)	Energibesparing (%)	Investeringskostnad (kr)	LCC (kr)	Återbetalningstid (år)
Ingen åtgärd	0,5	0,42	-	-	715 314	-
Tilläggsisolering	0,2	0,38	20	104 871	678 445	16
Extraruta	0,4	0,39	8	20 915	682 308	8
Fönsterbyte	0,3	0,38	14	95 265	709 011	20
Luft/luftvärmepump	0,5	0,42	50	58 000	443 524	4
Tillägg + extraruta	0,2	0,36	24	125 786	672 078	16
Tillägg + fönsterbyte	0,2	0,34	26	200 136	730 230	23
Tillägg + luft/luftvärmepump	0,2	0,38	52	162 871	501 903	10
				Kostnad (kr/år)	Besparing (kr/år)	
Vädring 7.1	0,5	0,42	+ 2	724	-	
Vädring 7.2	0,5	0,42	+ 7	2 220	-	
Vädring 7.3	0,5	0,42	+ 54	17 900	-	
Sänkt inomhustemperatur	0,5	0,42	15	-	4 888	
Halverad ventilation	0,5	0,42	12	-	3 938	

5 Diskussion

De studerade energieffektiviserande åtgärderna valdes ut utifrån vilka som ansågs vara rimliga att utföra på den studerade byggnaden. Exempelvis har tilläggsisolering av taket inte undersökts då detta anses vara ett orimligt stort ingrepp i byggnaden som inte har en kallvind men har ett plåttak i gott skick. Att installera ett FTX-system i byggnaden ansågs även det vara orimligt med tanke på kanaldragningar i byggnaden och dess bristfälliga lufttäthet. Investeringskostnaderna för de studerade fallen ligger mellan 20 000 kr och 200 000 kr vilket anses vara ett rimligt intervall av kostnader för en privatperson att investera i sin bostad. De beräknade livscykelkostnaderna och återbetalningstiderna är idag mer ekonomiskt lönsamma än vad beräkningarna faktiskt visar. Detta på grund av det energibidrag som idag kan betalas ut för energieffektiviserande renoveringsåtgärder. Lönsamhetsberäkningarna visar att sex av sju renoveringsåtgärder är lönsamma utan bidraget över en 50-årsperiod. Samtliga beräkningar har gjorts med investeringskostnad utan energibidrag, med anledning av att bidragets framtid är oviss. Det kan idag användas som incitament för fastighetsägare att energieffektivisera, men det är svårt att förutspå hur länge bidraget kommer existera.

Genom att simulera byggnadens befintliga utformning och därefter jämföra det simulerade uppvärmningsbehovet med husets verkliga energianvändning från 2022 kunde den uppbyggda modellen verifieras. Energianvändningen som tillhandahölls av fastighetsägaren inkluderade både hushållsel och fastighetsel varför statistiken räknades om med BEN 2:s metoder. Denna omräkning bedöms vara rimlig och möjliggör därför verifieringen. Vid jämförelse mellan Fall 0.1 och den omräknade verkliga energianvändningen visade det sig att den uppbyggda modellen hade cirka 10 % högre uppvärmningsbehov (791 kWh/år). Verifiering visar att modellen är tillräckligt nära verkligheten. Anledningarna till den mindre skillnaden kan vara många, exempelvis en varm eller kall vinter eller hur mycket kaminen används en specifik vinter.

Att byggnaden till viss del värms upp med en kamin försvårade simuleringarna och bidrog till att flertalet antaganden och rimlighetsbedömningar behövde göras. För samtliga undersökta fall är byggnadens totala uppvärmningsbehov större då kaminen används som komplement till den huvudsakliga uppvärmningskällan. Till detta kan det finnas flera olika anledningar. En av förklaringarna kan vara att det eldas när det inte finns ett behov för det, det vill säga under ett varmare dygn under vinterhalvåret. Eldningen resulterar då i en övertemperatur istället för att reducera eluppvärmningen vilken styrs av termostater. Då kaminen används värms de angränsande rummen upp till en högre temperatur än 21 grader, vilket tros beskriva verkligheten bra. Att en kamin är varm och avger värme en längre tid efter avslutad eldning är även en svårighet vid simuleringen. Att kombinationen med eluppvärmning och kaminanvändning är högre än endast eluppvärmning bedöms vara ett rimligt resultat då det är brukarna själva som bestämmer när kaminen ska användas och ingen termostat. Termostaterna konstateras därför vara ett effektivt sätt att reglera uppvärmningskällorna som drivs på el, till skillnad från kaminen som regleras av människan. Om det däremot är mer ekonomiskt lönsamt att kombinera kaminanvändning och eluppvärmning ligger utanför studiens syfte.

I följande avsnitt diskuteras och analyseras resultaten från simuleringarna och lönsamhetskalkylerna. Renoveringsåtgärdernas reduktion av uppvärmningsbehovet jämförs med åtgärdernas investeringskostnader, livscykelkostnader och återbetalningstider för att därefter besvara examensarbetets frågeställningar.

5.1 Simuleringsfall

5.1.1 Standardiserad byggnad – Fall 0.0

Den standardiserade byggnaden som värms upp med direktverkande el är det fall som resterande fall huvudsakligen jämförs mot. Elenergin som går åt för uppvärmning av byggnaden resulterade i 168 kWh/m² och år då kaminen inte används. Att den studerade byggnaden har ett större energibehov än genomsnittet på 162 kWh/m² och år kan förmodligen förklaras av byggnadens ålder och därmed en äldre byggstandard.

Ett genomsnittligt småhus i Sverige byggt före 1940 använder 162 kWh/m² och år för uppvärmning vilket endast är 4 % mindre än den standardiserade byggnaden (Energimyndigheten 2011).

Används kaminen under de kalla vintermånaderna reducerades elenergianvändningen för uppvärmning med 27 % till 122 kWh/m² och år. Kaminen tillför då byggnaden totalt 5983 kWh under oktober till mars vilket ger en total uppvärmningsenergi på 182 kWh/m² och år. Resultatet visar således att det går åt mer energi för uppvärmning av byggnaden då kaminen används enligt det uppskattade schemat redovisat i Tabell 8.

5.1.2 Befintlig byggnad – Fall 0.1 (verifiering)

Värmepumparna och de tre lokala värmeväxlarna som installerats av fastighetsägaren har sänkt byggnadens uppvärmningsbehov. Då detta är husets nuvarande förutsättningar används kaminen enligt schemat i Tabell 8 för att fallet ska efterlikna verkligheten så mycket som möjligt. De tre värmeväxlarna både värmer och transporterar luften in och ut genom byggnadens klimatskal. Husets tilluftsflöde genom värmeväxlarna är endast 26 l/s varannan minut. Förenklat motsvarar detta ett luftflöde på 13 l/s eller 0,13 l/s och m², vilket är betydligt mindre än Boverkets krav på ventilationsflöde för en bostad. Då ventilationsflödet i detta verkliga fallet är så pass mycket lägre än de resterande fallen är det svårt att jämföra fallen emellan. Höjs ventilationsflödena så att byggnaden ventileras enligt Boverkets byggregler (0,35 l/s och m²) bör energibehovet för uppvärmning öka. Det är därför svårt att utifrån det simulerade fallet dra en entydig slutsats kring energibesparingen då detta främst fungerar som en verifikation av simuleringsmodellen.

5.1.3 Tilläggsisolering av yttervägg – Fall 1

Renoveringsåtgärden som avser tilläggsisolering av yttervägg visade sig reducera uppvärmningsbehovet från 16 649 kWh/år till 13 350 kWh/år enligt Tabell 21. Endast installation av luft/luft-värmepump gav upphov till en större sänkning. Reduceringen motsvarar en sänkning på drygt 33 kWh/m² och år, vilket innebär att uppvärmningsbehovet minskar med 20 %. Tilläggsisoleringen förbättrar klimatskalet och gör byggnaden tätare, vilket ligger till grund för den reducerade infiltrationen för

detta simuleringsfall. Antagandet om att infiltrationen reduceras från 0,5 till 0,2 oms/h har därmed stor påverkan på uppvärmningsbehovet.

För att kunna göra en realistisk jämförelse av fallet med tilläggsisolering mot den standardiserade byggnaden gjordes ytterligare ett extrafall där endast fasaden byttes ut. Detta för att efterlikna verkligheten där det finns behov av att byta ut fasaden för att upprätthålla dess tekniska funktion. Fallet med fasadbyte leder inte till någon förbättring av klimatskalet ur ett energiperspektiv, utan undersöks endast i syfte att kunna jämföra den ekonomiska aspekten av fallet med tilläggsisolering och standardfallet. Från Tabell 22 framgår det att livscykelkostnaden för fasadbytet är högre än både fallet utan åtgärd och fallet med tilläggsisoleringen oavsett marknadens energipris. Vidare kan man från tabellen avläsa att livscykelkostnaden för tilläggsisoleringen är lägre än för fallet utan åtgärd då energipriset överstiger 2 kr/kWh, vilket för övrigt är ett realistiskt energipris som en småhusägare måste betala per kWh totalt, och ju högre energipris desto större blir skillnaden i livscykelkostnad. I jämförelse med fasadbytet är skillnaden i livscykelkostnaden mot standardiserade fallet ungefär konstant oavsett energipris. Tilläggsisoleras byggnaden i kombination med att en uttjänt fasad ändå behöver bytas finns således ekonomiska vinster att göra, det kan därför anses finnas ett stort incitament för småhusägare att genomföra åtgärden. Resultaten från beräkningarna visar med andra ord att det finns både ekonomiska samt energi- och miljömässiga vinster att göra i samband med en tilläggsisolering om fasaden är i ett sådant skick att den ändå behöver bytas. Känslighetsanalysen med olika energipris påvisar alltså att varierande energipris är en bidragande faktor till om åtgärden är ekonomiskt lönsam.

Tilläggsisoleringens stora energibesparing anses vara rimlig då tidigare studier påvisat samma resultat. Från Högdals rapport *Halvera Mera* framgår det att renoveringsåtgärder på klimatskalet ger den största energibesparingen, dock sker dessa åtgärder mot en hög investeringskostnad, vilket även stämmer överens med vårt fall. Högdals rapport omfattar flerbostadshus, men energibesparingen som sker efter renoveringsåtgärder på klimatskalet anses vara befogad oavsett om det är flerbostadshus eller småhus. Figur 24 - 26 indikerar också på att tilläggsisolering är den enskilda renoveringsåtgärden som reducerar uppvärmningsbehovet mest, men här tydliggörs det att livscykelkostnaden för åtgärden är hög och ju högre energipris desto större blir skillnaden i livscykelkostnad. Med detta kan man hävda att ju högre energipriset är desto mer lönsam är renoveringsåtgärden.

5.1.4 Fönsteråtgärder – Fall 2

5.1.4.1 Extra glasruta – Fall 2.1

Tillsättning av extraruta var den enskilda åtgärd som visade sig påverka uppvärmningsbehovet minst med endast 8 % energibesparing. Dock bör det påpekas att denna åtgärd inte är helt utförd enligt beskrivning i IDA ICE. Tillsättning av extraruta finns inte som inställning i simuleringsprogrammet och förenklingen som gjorts kanske inte motsvarar vad som faktiskt sker i verkligheten för denna renoveringsåtgärd. Teoretiskt borde dock förenklingarna som gjorts motsvara vad som sker i verkligheten, tillsättning av extraruta sänker fönstrets U-värde samtidigt som en tätning av

fönsterkarmen görs. Genom att byta fönster till ett med lägre U-värde och sänka infiltrationen genom byggnaden från 0,5 till 0,4 oms/h anses åtgärden vara så lik verkligheten som möjligt. Infiltrationen bedöms vara något sämre för fallet med extraruta jämfört med fönsterbyte, därför ansätts infiltrationen till 0,3 oms/h för fallet med fönsterbyte.

Från Figur 21 och staplarna i denna framgår det visuellt att åtgärden sänker uppvärmningsbehovet ytterst lite. Detta beror på att fönsterna endast utgör en liten andel av fasadens area. Reduceringen anses vara trovärdig vid en jämförelse med fallet för tilläggsisolering. Ytterväggarna som tilläggsisoleras utgör en betydligt större andel av fasadarean än fönsterna, och en åtgärd på dessa har därmed större påverkan på byggnadens klimatskal. Att fallet med fönsterbyte, som sänker U-värdet ytterligare och som för med sig en högre lufttäthet, reducerar uppvärmningsbehovet mer än tillsättning av extraruta bedöms också vara troligt.

Den ekonomiska lönsamhetsbedömningen med livscykelkostnad enligt Tabell 23 påvisar att åtgärden är lönsam med liten marginal, tack vare den låga investeringskostnaden. Ur känslighetsanalysen framgår det även att energipriset påverkar lönsamheten där högre energipris motsvarar större skillnad i livscykelkostnad jämfört med fallet utan åtgärd. För ett energipris på 1 kr/kWh är den ekonomiska besparingen drygt 6 000 kr för en kalkylperiod på 50 år. För ett energipris på 2 kr/kWh besparas ungefär 30 000 kr och för det mer extrema fallet med ett energipris på 4 kr/kWh sänks livscykelkostnaden med 90 000 kr jämfört med om ingen åtgärd utförs.

5.1.4.2 Fönsterbyte – Fall 2.2

Då fönsterna byts ut mot nya moderna och energieffektiva fönster minskar byggnadens uppvärmningsbehov med 14 %. Utöver att fönsternas U-värden är betydligt lägre förväntas dessutom lufttätheten bli bättre runt fönsterna. Fönsternas egen lufttäthet bör vara betydligt bättre då de har nya tätningslistor, karmar och bågar vilket innebär att dessa bör vara bättre utformade än för de befintliga fönsterna. Utöver energibesparingen bidrar fönsterna till en ökad komfort och en jämnare temperatur i närheten av fönsterna. Dels på grund av ett minskat kalldrag men även genom en bättre lufttäthet.

Att byta fönster i en byggnad är ofta en dyr investering och kan knappast anses vara lönsam om åtgärden endast görs utifrån ett energieffektiviserande perspektiv. Däremot kan vinster göras om fönsternas livslängd lider mot sitt slut och valet att införskaffa energisnålare fönster görs. Utifrån den ekonomiska lönsamhetsbedömningen är det inte lönsamt att byta fönsterna om energipriset är så lågt som 1 kr/kWh, utan investeringen anses lönsam först från ett energipris runt 2 kr/kWh.

Högdal (2013) påvisar med sin studie att fönsterbyte är den renoveringsåtgärd som resulterar i den största energibesparingen. Dock undersöks i Högdals studie ett flerbostadshus som troligtvis består av betydligt fler fönster jämfört med byggnaden som undersöks i denna rapport. Fler fönster borde innebära en större fönsterarea vilket i sin tur leder till större energibesparing vid byte till energisnåla fönster. Utöver fönsterarean på en byggnad påverkar även fönsternas U-värde den potentiella energibesparingen.

5.1.5 Luft/luft-värmepump – Fall 3

Byte av uppvärmningssystem från direktverkande elradiatorer till två stycken luft/luft-värmepumpar minskar uppvärmningsbehovet med upp till 50 % i fallet då ingen kamin används under vinterhalvåret. I simuleringarna placerades fem värmepumpar ut för att inomhustemperaturen skulle nå upp till 21 grader. Uppskattningsvis tros det behövas två stycken luft/luft-värmepumpar med flera enheter/placering i huset. Att värma byggnaden med två värmepumpar istället för fem medför att de två värmepumparna kommer att behöva arbeta hårdare för att värma upp huset vilket gör att dessa också drar mer energi och troligtvis arbetar med en effekt över det tänkta COP-värdet. Detta medför att två värmepumpar troligtvis använder sig av mer elenergi än vad fem stycken hade gjort. Ett möjligt scenario som kan uppstå då huset värms upp med två luft/luft-värmepumpar är att effekten i enskilda rum blir för låg. En effektbrist i enskilda rum medför en lägre inomhustemperatur i rummen. Det kan då vara nödvändigt och lämpligt att komplettera med elradiatorer i de delar av huset där temperaturen är för låg. Att eventuellt komplettera värmepumparna med direktverkande elradiatorer medför att fallet blir något mindre lönsamt och energibesparande.

Investeringskostnaden för de två värmepumparna inklusive installation bedöms vara återbetald inom tidsintervallet två till sju år beroende på energipriset och hur mycket kaminen i byggnaden används. Kostnaden för de två luft/luft-värmepumparna bedöms vara likvärdig kostnaden för de fem mindre värmepumparna som används i simuleringarna. Utifrån livscykelkostnaderna i Tabell 24 framgår det att investeringen anses vara lönsam för samtliga energipriser över en 50-årsperiod. Då luftvärmepumparna endast har en antagen livslängd på 20 år byts dessa ut mot två nya.

5.1.6 Kombinerade åtgärder

5.1.6.1 Tilläggsisolering och extraruta – Fall 4

Kombineras tilläggsisolering av fasaden och installation av extrarutor på fönsterna minskar uppvärmningsbehovet med 24 % jämfört med den standardiserade byggnaden. Extrarutorna bidrar dock endast med en femprocentig minskning av energibehovet jämfört med fallet med endast tilläggsisolering (Fall 1).

Kombinerat har åtgärderna en återbetalningstid mellan 8 och 32 år beroende på energipriset under åren. Att de invändigt renoverade fönsterna är i brukligt skick efter 32 år anses orimligt. Därför bedöms investeringen av extrarutorna vara mer osäker än tilläggsisoleringen av fasaden vilken uppskattas ha en betydligt längre livslängd. Livscykelkostnaden för åtgärderna visar att investeringen inte är lönsam för ett energipris på 1 kr/kWh, men att en mindre vinst däremot kan göras om energipriset stabilt är 2 kr/kWh.

5.1.6.2 Tilläggsisolering och fönsterbyte – Fall 5

Det kombinerade fallet med tilläggsisolering och fönsterbyte sänker uppvärmningsbehovet med 26 % jämfört med det standardiserade fallet. Denna

kombination är endast två procentenheter bättre än det kombinerade fallet med extraruta. Utifrån ett miljöperspektiv kan man argumentera för att renovering i form av kombination med extraruta har ett större värde. Detta eftersom det inte ger lika stora negativa följder för klimatet som fönsterbyte ger upphov till men även att det endast skiljer två procent i energibesparing mellan fallen.

Utifrån ett ekonomiskt perspektiv är fallet med extraruta mer lönsamt än fallet med fönsterbyte. Detta framgår ur Tabell 25 som påvisar att det kombinerade fallet med extraruta har en lägre livscykelkostnad än standardiserade fallet vid energipriset 2 kr/kWh, jämfört med det kombinerade fallet med fönsterbyte som har en lägre livscykelkostnad först vid ett energipris på 4 kr/kWh. Vid jämförelse av återbetalningstid för de olika fallen blir det tydligt att tilläggsisolering med fönsterbyte inte är lika ekonomiskt lönsamt som tilläggsisolering med extraruta. Återbetalningstiden varierar mellan 12 och 46 år för fallet med fönsterbyte, beroende på energipriset. Motsvarande tider för fallet med extraruta visar att återbetalningstiden för detta fall är drygt 30 % kortare.

Med tanke på den låga skillnaden i energibesparing mellan de olika kombinerade fallen med fönsteråtgärder, bör energibesparingen inte vara den avgörande parametern vid bedömning av lönsamhet. Vid en ekonomisk jämförelse uppenbarar sig fallet med extraruta som mer prisvärt och denna åtgärd anses därför vara mer ekonomisk och långsiktigt lönsam.

5.1.6.3 Tilläggsisolering och luft/luft-värmepump – Fall 6

Åtgärderna sänker tillsammans energibehovet med 52 %, till ett totalt uppvärmningsbehov på 80 kWh/m² och år. Vilket är 25 % mindre än energianvändningen för ett genomsnittligt svenskt småhus byggt 2016 med 107 kWh/m² och år. Jämförs kombinationen med enbart installation av två luftvärmepumpar (Fall 3) bidrar tilläggsisoleringen endast med en minskning av uppvärmningsenergin med sex procentenheter. Återbetalningstiden varierar mellan 5 och 19 år beroende på energiprisläget under åren, vilken till stor del beror på luftvärmepumpens energieffektiviserande effekt i förhållande till sitt relativt låga pris. Jämförs livscykelkostnaderna för de olika energipriserna i Tabell 25 konstateras att investeringen anses vara lönsam även då energipriset är 1 kr/kWh, vilket tyder på att kombinationen av åtgärderna är en bra och säker investering.

5.1.7 Förändrade brukarbeteende

Fallen som avser förändrade brukarbeteenden har olika syften. Vädringsfallen ger indikationer på hur mycket energi ”som går förlorad” genom vädring medan fallen med sänkt inomhustemperatur och halverat ventilationsflöde har undersökts för att se hur mycket energi som kan besparas genom att göra uppoffringar i sitt inomhusklimat.

5.1.7.1 Vädringsfallen

De tre vädringsfallen, då vädring sker i tio minuter med olika öppningsgrad och frekvens, samt det extremare fallet, resulterar i en ökning av uppvärmningsbehovet med 2, 7

respektive 54 %. Detta i jämförelse med det standardiserade fallet där ingen vädring sker. Skillnaden mellan vädringsfallen bedöms vara rimlig med tanke på de justeringar som gjordes mellan fallen. För att tydligare belysa hur vädringen kan påverka uppvärmningsbehovet hade ytterligare fler vädringsfall kunnat undersökas i arbetet. Genom att avgränsa till endast tre vädringsfall är det svårt att analysera exakt vilka vädringsbeteenden som har störst påverkan. Dock kan man utifrån de tre undersökta fallen konstatera att vädringstiden har stor påverkan på uppvärmningsbehovet, samt att öppningsgrad och öppningsfrekvens också har en viss påverkan.

Efter närmare ekonomisk undersökning av vädringsfallen framgår det att man årligen kan "förlora" mellan ungefär 400 till 26 850 kr. Beloppet varierar med energipriset och med mängden vädring. De tre undersökta fallen anses vara tre troliga scenarier för en fastighetsägare utifrån BETSI och de beräknade extra kostnaderna för uppvärmning till följd av vädring anses därför vara rimliga. Dock bör det påpekas att vädring är en parameter som är väldigt individuell och vissa brukare förespråkar mycket vädring medan andra föredrar vädring mer sällan eller inte alls. Kostnaden som vädringen kan medföra kan alltså variera väldigt mycket och beloppen från denna undersökning kan därför stiga ytterligare om brukare tenderar att vädra mer. Vidare bör det nämnas att det inte sker någon vädring i det standardiserade fallet (Fall 0.0) vilket är ett orimligt scenario i verkligheten. Fallet möjliggör däremot tydliga jämförelser och ger en tydlig storleksordning på hur mycket vädringen i de tre fallen (7.1, 7.2 och 7.3) ökar uppvärmningsbehovet.

Studiens resultat på ökat uppvärmningsbehov med 3, 11 och 91 kWh/m² och år visar på en större spridning jämfört med Rosengartens studie (2022) som påvisade att olika vädringsbeteenden leder till ökade uppvärmningsbehov mellan 30 – 60 kWh/m². Denna skillnad kan förklaras av att Rosengarten utförde en mer fördjupad studie avseende vädring och i sina simuleringar använde värden från verklig uppmätt vädring för ett frånluftsventilerat flerbostadshus från miljonprogrammet. Värdena till simuleringarna i denna rapport har baserats på statistik från BETSIs undersökningar för kategorin småhus byggda före 1960. Den stora spridningen i uppvärmningsbehov för simuleringarna kan förklaras av det extrema fallet 7.3 som avviker med betydligt längre vädringstid än de andra två vädringsfallen. Översiktlig statistik för vädringsfrekvens och vädringstid avlästes och försökte tolkas till rimliga värden för simuleringarna. Med tanke på att ålderskategorin är väldigt bred och att statistiken inte är så detaljerad kan väldigt olika tolkningar göras av datan från BETSI. Vädringstiden är presenterad i följande rubriker: vädrar hela natten/dagen, vädrar aldrig, vädrar korsdrag samt vädrar några timmar. Utifrån en procentsats kopplad till dessa rubriker har antaganden gjorts om när på dygnet och hur länge på dygnet som ett fönster står öppet. Att jämföra detta med en undersökning som gjorts utifrån verklig uppmätt vädring kan därför anses vara något missvisande. Dock kan man fastställa att Svebys rekommenderade tillägg på 4 kWh/m² och år för uppvärmningsbehov på grund av vädring inte stämmer för alla byggnader och vädringsscenario. Utifrån simuleringarna i denna rapport med tillägg på 3, 11 och 91 kWh/m² och år är det svårt att komma fram till en slutsats om schablon tilläggets rimlighet. Vidare är tillägget väldigt undermåligt jämfört med Rosengartens studie.

Schablontillägget kan därför behöva ses över och kanske definieras tydligare eftersom det inte visar sig stämma för alla byggnader och alla fall.

5.1.7.2 Sänkt inomhustemperatur och halverat ventilationsflöde

Simuleringsfallen avseende sänkt inomhustemperatur och halverat ventilationsflöde gav en indikation på hur stor energibesparing som kan göras när fastighetsägare accepterar sämre förhållanden i inomhusklimatet för att minska uppvärmningsbehovet.

Fallet med sänkt inomhustemperatur resulterade i en sänkning av uppvärmningsbehov på 25 kWh/m², vilket motsvarar en procentuell reduktion på 15 %. Ekonomiskt kan en årlig besparing göras på drygt 2 500 – 10 000 kr beroende på aktuellt energipris. En bedömning av lönsamhet för detta fall är svårare att göra eftersom värderingarna är subjektiva. Vissa människor kan acceptera lägre temperaturer samtidigt som en del vill ha det varmare för att uppleva det termiska inneklimatet som behagligt. Man skulle kunna hävda att en reduktion av kostnaden på 10 000 kr, som för övrigt är extremfallet då energipriset är 4 kr/kWh, inte är en så pass stor besparing att det anses vara lönsamt. Om man fördelar den årliga besparingen på drygt 10 000 kr över uppvärmningssäsongen (september – april) blir det i genomsnitt ungefär 1 250 kr per månad man kan spara. Denna besparing kan anses vara så pass liten att de flesta fastighetsägare troligtvis väljer att behålla temperaturen på 21 °C och betala den ”extra” kostnaden för uppvärmning för att erhålla ett behagligare inneklimat att vistas i.

Åtgärden att halvera ventilationsflödet var inte lika energibesparande som fallet med sänkt inomhustemperatur. Uppvärmningsbehovet reducerades med 20 kWh/m² och procentuellt skedde en förbättring på tolv procent. Även ekonomiskt visade sig detta fall vara mindre effektivt då det endast utgjorde en energibesparing på drygt 2 000 – 8 000 kr. Koldioxidhalten i byggnaden uppgår som högst till 1300 ppm i enstaka rum då ventilationsflödet är halverat. Med dessa siffror kan man konstatera att om man ska göra någon uppoffring med inneklimatet, i syfte att reducera uppvärmningsbehovet, är det mer effektivt att sänka inomhustemperaturen. Det bör också påpekas att ett halverat ventilationsflöde strider mot kraven från BBR och Folkhälsomyndigheten, till skillnad från en sänkt temperatur som är inom ramarna enligt BBR. Lägre ventilationsflöden än kraven leder till en högre exponering av föroreningar för de som vistas i byggnaden. Ur ett hälsoperspektiv kan man diskutera vilket fall som ger den sämsta inomhusmiljön att vistas i. Utan att djupare studera hälsoaspekten kan man konstatera att inget av fallen ger tillräckligt bra förutsättningar för långvarig vistelse i en bostad. Trots BBR och dess riktlinjer blir den enskilda värderingen avgörande för om fastighetsägaren kommer vidta dessa åtgärder för att snabbt och tillfälligt kunna minska kostnaderna för uppvärmning. Om en kombination av de båda fallen görs och man förenklat summerar energibesparingen genom att addera de enskilda fallens besparingar kan den totala besparingen variera mellan 5 000 – 18 000 kr. Denna besparing kan anses vara mer övertygande för en fastighetsägare rent ekonomiskt, men det för också med sig ett försämrat inomhusklimat som inte är bra att vistas i under längre perioder.

5.2 Osäkerheter och felkällor

Ett arbete som till stor del baseras på resultat från ett simuleringsprogram för med sig flera osäkerheter. En förutsättning för att få tillförlitliga svar är att beräkningar som görs i programmet är korrekta. För att genomföra simuleringarna har ett antal antaganden gjorts under arbetets gång. Exempelvis har avsaknaden av ritningar av huset inneburit att uppskattningar och antaganden har fått göras av bland annat materieluppbyggnad och materialegenskaper i konstruktionsdelar för att ta fram U-värden för dessa. Vidare har även kaminens effekt och schema uppskattats och denna har applicerats som en fiktiv internlast i programmet. Hur denna funktion fungerar i programmet är oklart, men den antas efterlikna verkligheten på ett fungerade sätt. Om funktionen inte motsvarar verkligheten där värme sprids till angränsande rum kan uppvärmningsbehovet för bostaden påverkas och resultaten bli missvisande. Ytterligare inställning som kan ha stor påverkan på uppvärmningsbehovet är infiltrationen genom byggnaden. De olika renoveringsåtgärderna antas förbättra klimatskalets täthet och därmed sänka infiltrationen. Exakt hur mycket infiltrationen reduceras för de olika fallen är svårt att uppskatta.

För den ekonomiska lönsamhetsbedömningen har antaganden gjorts om livslängd, kalkylränta och energipriser samtidigt som drift- och underhållskostnader försumrats då de ansetts vara likvärdiga för de olika fallen. Detta kan vara en felkälla som påverkar resultaten, dock bör det inte bli någon avgörande felkälla eftersom förutsättningarna är samma för samtliga fall.

Ytterligare osäkerhet med arbetet finns i vädringsfallens olika vädringsschema. De olika fallens vädringsschema har utformats utifrån avläsning av tabeller från BETSI. Eftersom tabellerna inte ger någon tydlig indikation på vädringstid, varken tid på dygnet eller varaktighet, kan väldigt olika tolkningar göras. Den verkliga öppningsgraden för vädring under längre tid är troligen lägre än den antagna för många fall. Jämförelse med tidigare studier indikerade på att fallens vädringsschema kanske inte var helt verklighetstroga, dock bör det påpekas att det även finns en osäkerhet med att jämföra resultat från detta arbete med resultat från en studie avseende ett frånluftsventilerat flerbostadshus.

5.3 Vidare studier

Som en vidareutveckling på examensarbetet kan det vara intressant att bland annat undersöka hur mycket en svensk småhusägare är beredd att investera i sitt hus för att energieffektivisera detta. Investeringsviljan kan möjligen ha en begränsande faktor på vilka renoveringsåtgärder som är relevanta att undersöka och studera vidare. I relation till investeringsviljan kan det även vara av intresse att bedöma om de krav på energieffektivisering som EU ställer är rimliga att klara utifrån hur mycket svenskarna är villiga att investera i sina småhus.

För att bygga vidare på och vidareutveckla detta examensarbete skulle både fler tekniska åtgärder och brukarbeteenden kunna undersökas. Exempelvis kan det vara av intresse att undersöka andra typer av värmepumpar, anslutning till ett fjärrvärmesystem om så är möjligt och tilläggsisolering av ett vindsbjälklag. Detta examensarbete har endast

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

fokuserat på byggnadens uppvärmningsbehov. För att ge en mer komplett bild av hur en byggnads totala energianvändning kan reduceras bör även resterande energiposter som ingår i primärenergitalet undersökas vidare.

6 Slutsatser

De undersökta renoveringsåtgärderna som studerats i examensarbetet är de renoveringsåtgärder som bedömts vara både de vanligaste men även de rimligaste åtgärderna att utföra på denna typen av småhus.

Resultaten av de utförda simuleringarna påvisar att samtliga undersökta renoveringsåtgärder sänker byggnadens uppvärmningsbehov. Åtgärden som enskilt ger den största energibesparingen är byte av uppvärmningssystem till två stycken luft/luftvärmepumpar, vilket kan resultera i en energibesparing på 50 %. Den minst effektiva enskilda åtgärden visade sig vara tillsats av extraruta som endast reducerar uppvärmningsbehovet med 8 %. Vid undersökning av kombinerade åtgärder konstateras att samtliga kombinationer är mer energieffektiva än de enskilda, där kombinationen tilläggsisolering av fasaden och installation av luft/luftvärmepump ger den största energibesparingen på 52 %.

Europeiska kommissionen hävdar att energianvändningen för uppvärmningsbehov behöver reduceras med 18 % för befintliga byggnader för att utsläppsminskningensmålet på 55 % ska uppnås år 2030. Resultaten från simuleringarna i denna studie indikerar på att de enskilda åtgärderna med tilläggsisolering respektive installation av luft/luftvärmepumpar är de åtgärder som är mest lämpliga att utföra om uppvärmningsbehovet ska reduceras med minst 18 %. Fönsteråtgärder resulterar endast i en reduktion av uppvärmningsbehovet på 14 % och behöver därför kompletteras med ytterligare åtgärder för att uppnå rekommendationen på 18 %.

För att uppnå ytterligare energibesparing finns det anledning att kombinera enskilda renoveringsåtgärder med varandra. Två av tre undersökta kombinerade fall visade sig vara ekonomiskt lönsamma vid ett energipris på 2 kr/kWh. För de kombinerade fallen har kombinationen tilläggsisolering av fasad och luft/luftvärmepump kortast återbetalningstid mellan 5 och 19 år. Av de enskilda åtgärderna har installation av luft/luftvärmepumparna den kortaste återbetalningstiden mellan två och sju år, följt av tillsats av extraruta på befintliga fönster som har en återbetalningstid som varierar mellan 4 och 17 år. Enskilda åtgärden med installation av luft/luftvärmepumpar visade sig även ha lägst livscykelkostnad av samtliga undersökta fall oavsett energipris. Uppvärmningsbehovet reducerades i detta fall från 168 till 84 kWh/m².

De tre vädringsfallen som skapades utifrån BETSIs vädringsstatistik påvisar ett ökat energibehov mellan 3 och 91 kWh/m² och år, vilket motsvarar en ökning av uppvärmningsbehovet inom intervallet 2 till 54 %. Genom att sänka temperaturen i huset med två grader under vinterhalvåret kan uppvärmningsbehovet reduceras med 25 kWh/m² och år, motsvarande en kostnadsbesparing på cirka 4 900 kr för ett energipris på 2 kr/kWh. Ett halverat ventilationsflöde kan sänka uppvärmningsbehovet med 20 kWh/m² och år, motsvarar en kostnadsbesparing på drygt 3 900 kr.

Studiens känslighetsanalys visar att olika energipriser kan påverka om åtgärder är ekonomiskt lönsamma eller inte. Varierande energipriser kan därmed försvåra

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

bedömningen avseende renoveringsåtgärdernas långsiktiga lönsamhet. Exempelvis har åtgärden med tilläggsisolering av fasad högre livscykelkostnad än grundfallet då energipriset är 1 kr/kWh men lägre kostnad då energipriset är 2 kr/kWh. Utifrån tabellerna i avsnitt 4.2.1 framgår det att sex av sju fall med tekniska renoveringsåtgärder anses vara lönsamma vid ett energipris på 2 kr/kWh.

Referenser

Abel, E. & Elmroth, A. (2021). *Byggnaden som system*. Studentlitteratur.

Arfvidsson, J., Harderup, L-E. & Samuelson, I. (2017). *Fukthandbok*. Svensk byggtjänst.

Bagge, H., Fransson, V., Hiller, C., Johansson, D. & Ryden, J. (2018). *Brukarnas påverkan på energianvändning och effektbehov i NNE-byggnader*. Rapport 2018:12, Energimyndigheten.

BFS 2011:16. *Boverkets byggregler – föreskrifter och allmänna råd, BBR*. Boverket

BFS 2017:6. *Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår*. Boverket.

Block, M. & Bokalders, V. (2014). *Byggekologi*. Svensk byggtjänst.

Boverket (2009). *Enkätundersökning om boendes upplevda inomhusmiljö och ohälsa – resultat från projektet BETSI*.

<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2009/betsi--enkätundersokning-om-boendes-upplevda-inomhusmiljo-och-ohalsa.pdf?fbclid=IwAR2GI7l-tYGfXoQ5HWSF-82OgRpPXUimqDNsBFYRCNvZeax7u19-yxj5gGI> [2024-02-22]

Boverket (2020). *Vad är primärenergital?* <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/energihushallning/vad-ar-primarenergital/> [2024-01-25]

Boverket (2022). *Primärenergital och byggnadens energiprestanda*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energihushallningskrav/primarenergital-och-byggnadens-energi-prestanda/> [2024-01-25]

Boverket (2023a). *Bidrag för energieffektivisering i småhus*. <https://www.boverket.se/sv/bidrag--garantier/bidrag-for-energieffektivisering-i-smahus/> [2024-01-29]

Boverket (2023b). *Luft och ventilation i bostäder*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/luft-och-ventilation-i-bostader/#:~:text=Uteluftsfl%C3%B6det%20ska%20%C3%A4gst%20motsvara%20,bev%C3%A4rande%20luft%20eller%20negativa%20h%C3%A4lsoeffekter.> [2024-02-02]

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Boverket (2023c). *Lufttätet*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/om-fukt-i-byggnader/nyproduktion--fuktsakerhetsprojektering/lufttathet/> [2024-01-17]

Boverket (2023d). *Lönsamhet och kalkyler vid energieffektiviserande renovering*. <https://www.boverket.se/sv/energiguiden/energirenovera-smahus/2.lonsamhet/lonsamhetskalkylering/> [2024-01-29]

Boverket (2023e). *Ska din byggnad ha en energideklaration?* <https://www.boverket.se/sv/energideklaration/energideklaration/> [2024-02-01]

Boverket (2023f). *Termiskt klimat*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/termiskt-klimat/> [2024-02-02]

Boverket (2023g). *Öppna data – BETSI är en undersökning om byggnaders tekniska status*. <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/oppna-data/betsi-oppna-data/?tab=fordjupning> [2024-02-22]

Boverket (2024). *Installation av luft-vattenvärmepump eller luft-vattenvärmepump*. https://www.boverket.se/sv/energiguiden/energirenovera-smahus/5.valja_atgarder/luftvarmepump/ [2024-03-04]

Bygghemma (2023). *Så mycket kostar en luftvärmepump i pris och installation*. <https://www.bygghemma.se/reportage-och-guider/sa-mycket-kostar-en-luftvarmepump-i-pris-och-installation/> [2024-03-04]

Dryft (2023). *Energiklass för villor – Vad det är och hur det räknas ut*. <https://dryft.se/energirenovering/energideklaration/energiklass-hus/> [2024-02-06]

Ekström, T., Bernardo, R. & Blomsterberg, Å. (2018). *Cost-effective passive house renovation packages for Swedish single-family houses from the 1960s and 1970s*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817323885?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=859f35442f02be53 [2024-02-05]

Energimyndigheten (2011). *Energistatistik för småhus 2009*. <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/statistik/officiell-statistik/statistikprodukter/energistatistik-i-smahus/rapporter/energistatistik-for-smahus-2009.pdf> [2024-03-20]

Energimyndigheten (2015). *Energimyndighetens syn på viktning- och primärenergifaktorer*. <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/om-oss/stallningstaganden/energimyndighetens-syn-pa-viktningfaktorer.pdf> [2024-04-11]

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Energimyndigheten (2017). *Energistatistik för småhus 2016*.

<https://www.energimyndigheten.se/globalassets/statistik/bostader/energistatistik-for-smahus-2016.pdf> [2024-03-20]

Energimyndigheten (2022a). *Eleffektbrist*. <https://www.energimyndigheten.se/trygg-energiforsorjning/el/eleffektbrist/#:~:text=Vid%20en%20befarad%20eleffektbrist%20f inns,kan%20Svenska%20kraftn%C3%A4t%20aktivera%20st%C3%B6rningsreserven.> [2024-02-03]

Energimyndigheten (2022b). *Energieffektiv ventilation*.

<https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/ventilation/#:~:text=Ett%20t%C3%A4tt%20hus%20%C3%A4r%20en,var a%20p%C3%A5%20v%C3%A4rmen%20i%20fr%C3%A5nluften.> [2024-01-18]

Energimyndigheten (2022c). *Isolering av ytterväggar, golv och källare*.

<https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/tillaggsisolering/isolering-av-yttervaggar-golv-och-kallare/> [2024-01-18]

Energimyndigheten (2022d). *Välj rätt värmepump*.

<https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/se-over-husets-uppvarmningssystem/valj-ratt-varmepump/> [2024-03-22]

Europeiska kommissionen (2020). *En renoveringsvåg för Europa – miljöanpassa våra byggnader, skapa jobb och förbättra liv*.

Europeiska kommissionen (2021). *Making our homes and buildings fit for a greener future*.

Europeiska kommissionen (u.å.). *Renovation Wave – Aiming to improve energy efficiency, boost the economy and deliver better living-standards for Europeans*.

https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en?prefLang=sv [2024-02-03]

Femenias, P., Wahlgren, P., Johannson, P., Thuvander, L. & Eriksson, P. (2019). *Om-renovering – möjligheter för energieffektivisering när äldre flerbostadshus renoveras en andra gång*. Chalmers tekniska högskola, Avdelningen för bygg och teknik.

https://research.chalmers.se/publication/509345/file/509345_Fulltext.pdf [2024-02-05]

FoHMS 2014:17. *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus*. Folkhälsomyndigheten.

FoHMS 2014:18. *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation*. Folkhälsomyndigheten.

Högdal, K. (2013). *Halvera mera*. WSP Environmental, Stockholm.
<https://www.bebostad.se/library/1683/halvera-mera-slutrapport.pdf> [2024-02-06]

Jötul (u.å.). *Hur stor kamin behöver jag?* <https://www.jotul.se/guider-och-tips/kaminvaljaren/hur-stor-kamin-behoover-jag#:~:text=Flera%20faktorer%20p%C3%A5verkar%20valet%20av%20kamin&text=En%20tumregel%20%C3%A4r%20att%20moderna,50%20E2%80%9380%20watt%20er%20kvadratmeter.> [2024-05-03]

Nordquist, B. (2007). *Analys av skolor med fläktförstärkt självdrag*. Lunds universitet.

Poppius, H. (1984). *Villavärmepumpar – Nordisk översikt*. Nordiska Ministerrådet, Stockholm.

RISE (2017). *Branschstandard ByggaL - Metod för byggande av lufttäta byggnader*.
<https://byggal.se/byggae/> [2024-01-17]

RISE (u.å.). *Energieffektivisering av fastigheter – lönsamt på både kort och lång sikt*.
<https://www.ri.se/sv/berattelser/energieffektivisering-av-fastigheter-lonsamt-pa-bade-kort-och-lang-sikt> [2024-01-24]

Rosengarten, S. (2022). *Brukares påverkan av energianvändning i miljonprogramshus – en fallstudie av flerbostadshus i Linero, Lund*. Masteruppsats, Avdelningen för installationsteknik. Lunds universitet. <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9110840> [2024-02-08]

Sellin, N. & Magnusson, R. (2018). *Renoveringsåtgärders och brukarbeteendes effekt på energianvändning och inomhusmiljö i frånluftsventilerade flerbostadshus*. Masteruppsats, Avdelningen för installationsteknik och byggnadsfysik. Lunds universitet.
https://www.eksta.se/content/files/energimiljo/2018_energistipendium/ansokan_-_rapport_sellin_magnusson.pdf [2024-02-08]

Skogscentralen (u.å.). *Kom ihåg de här tipsen när du skaffar och lagrar ved*.
<https://www.minskog-kundtidning.fi/nyheter/kom-ihag-de-har-tipsen-nar-du-skaffar-och-lagrar-ved.html#:~:text=Ved%20s%C3%A4ls%20i%20allm%C3%A4nhet%20i,%C3%A4r%20ca%201%20000%20kWh.> [2024-05-03]

Smartvent (u.å.). *Teknisk specifikation – smart one*.
<https://www.ventilationsbutiken.se/bilder/artiklar/pdf/123240.pdf>
([ventilationsbutiken.se](https://www.ventilationsbutiken.se)) [2024-02-07]

SOU 2017:99. *Effektivare energianvändning*. Regeringen.

Energieffektivisering av befintlig byggnad avseende tekniska åtgärder och brukarbeteende

Sveby (2012). *Brukarindata bostäder*. https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/10/Sveby_Brukarindata_bostader_version_1.0.pdf [2024-02-05]

Polarpumpen (u.å.). *Kazan 25 Extreme Värmepump*. <https://www.polarpumpen.se/varmepumpar/luftvarmepump/mitsubishi-heavy-industries-kazan-25-extreme-luftvarmepump/p-1398211> [2024-02-07]

