



2026-01-22

2025-215077-0003

SLUTRAPPORT

Livscykelbedömningar för hållbart underhåll och renovering av det byggda kulturarvet

Andrea Luciani, Sofia Lidelöw, Farshid Shadram

Energimyndighetens projektnummer: 50053-1



FÖRORD

Spara och bevara är ett forsknings- och utvecklingsprogram som Energimyndigheten initierat för att öka kunskapen om energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Programmet syftar till att utveckla och förmedla kunskap och tekniklösningar som bidrar till en energieffektivisering i dessa byggnader utan att deras värden och inventarier förstörs eller förvanskas.

Den varsamma energieffektiviseringen ska uppnås genom interdisciplinära samarbeten, där teknik möter kulturvård. Målet är att skapa en bestående kunskapsgrund inom området energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader och bidra till en långsiktig, hållbar förvaltning av det äldre fastighetsbeståndet.

Programmet samordnas av Uppsala universitet.

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Energimyndigheten eller Uppsala universitet tar ställning till framförda slutsatser, resultat eller eventuella åsikter.



UPPSALA
UNIVERSITET

SAMMANFATTNING

Nyckelord: Kulturhistoriskt värdefulla byggnader, livscykelanalyser, strategier, renovering, underhåll, energieffektivisering, kulturhistoriska värden

Omfattande renovering är inte alltid den bästa energieffektiviseringsstrategin för kulturhistoriska byggnader. Även om djupgående renoveringar kan ge betydande förbättringar av driftens energiprestanda, långsiktigt och kontinuerligt underhåll kan vara mer hållbart och lämpligt för att bevara sådana byggnaders värde samt minska energianvändningen. Ytterligare forskning krävs dock för att bedöma hur dessa åtgärder påverkar klimatpåverkan för kulturhistoriska byggnader ur ett livscykelperspektiv och för att förstå de kompromisser de kan innebära.

I denna studie har de långsiktiga konsekvenserna av olika underhålls- och renoveringsstrategier på kulturhistoriskt värdefulla svenska bostadshus vad gäller kulturvärden, energianvändning och klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv undersökts. Olika underhålls- och renoveringsåtgärder har klustrats i scenarier, differentierat efter deras förväntade påverkan på kulturhistoriska värden, och sedan bedömts och jämförts i termer av påverkan på driftenergianvändning och klimatpåverkan över 50 år. Resultaten presenteras, analyseras och diskuteras med hänsyn till utmaningar och begränsningar med att tillämpa livscykelanalyser på kulturhistoriska byggnader. Studien visar på strategier och åtgärder för kulturhistoriska byggnader som avsevärt kan minska driftenergianvändningen och klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv, samtidigt som deras värden och kulturella betydelse bevaras.

Målgruppen för studien är ägare, förvaltare, byggtreprenörer och byggnadsantikvarier som är involverade i underhåll och renovering av kulturhistoriska byggnader.

INNEHÅLL

1.	INLEDNING OCH BAKGRUND	6
1.1	BAKGRUND	6
1.2	SYFTE OCH MÅL	7
1.3	OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR	7
2.	GENOMFÖRANDE	8
3.	RESULTAT	9
4.	HUR SKA RESULTATEN KOMMA TILL ANVÄNDNING	10
5.	DISKUSSION	11
6.	SLUTSATSER	12
7.	PUBLIKATIONSLISTA	13
8.	REFERENSER	14

1. INLEDNING OCH BAKGRUND

Projektet "Livscykelbedömningar för hållbart underhåll och renovering av det byggda kulturarvet" genomfördes med Luleå tekniska universitet som huvudman. Deltagande i projektet var:

- Luleå tekniska universitet: Andrea Luciani och Rahaf Kherbhek, forskare Arkitektur, och Sofia Lidelöw och Carolina Lundmark Weinz, forskare Byggproduktion och byggt teknik
- Uppsala Universitet: Farshid Shadram, forskare Byggt teknik och byggd miljö
- Svenska byggnadsvårdsföreningen: Stephan Fickler, bebyggelseantikvarie

1.1 BAKGRUND

Europa står inför ett omfattande renoveringsbehov av det befintliga byggnadsbeståndet. En mycket stor del av byggnaderna, omkring 85 %, är uppförda före år 2000 och har teknisk potential att stå kvar till år 2050 – förutsatt att de underhålls korrekt (European commission, 2020a). Många av dessa byggnader har föråldrad teknisk prestanda och är i behov av renovering.

Renovering av byggnadsbeståndet är också avgörande för att minska energianvändningen och utsläppen av växthusgaser. Byggnader står för en betydande del av energianvändningen och klimatpåverkan, främst kopplat till energidistribution för uppvärmning. I Sverige är situationen liknande, med bygg- och fastighetssektorn som står för ungefär en tredjedel av energianvändningen och en femtedel av utsläppen (Boverket, 2025). EU:s klimatmål – Climate Target Plan 2030 och klimatneutralitet till 2050 – kräver kraftfulla åtgärder för att minska utsläppen (European commission, 2020b).

En betydande del av byggnadsbeståndet är äldre: cirka 25-30 % är byggda före 1945, vilket motsvarar 30–55 miljoner bostäder i EU och nära 1 miljon i Sverige. Genom att minska uppvärmningsbehovet i dessa byggnader kan EU spara upp till 180 miljoner ton CO₂ per år (Trois et al., 2015).

Trots dessa tydliga fördelar är renoveringstakten låg. Under 2020 låg den energirelaterade renoveringstakten på endast 1 % (Europeiska kommissionen, 2020c). Forskare som Wahlström et al. (2020) och Mangold et al. (2016) varnar för att EU:s och Sveriges klimatmål inte kommer att nås om takten inte ökar. Det är därför brådskande att minska energibehovet i byggnadsbeståndet, men detta måste ske med hållbara metoder och med hänsyn till byggnaders hela livscykel (Europeiska kommissionen, 2020a).

I en litteraturöversikt av Lidelöw et al. (2019) framkom att forskningen inom området energieffektivisering av kulturhistoriska byggnader främst har fokuserat på byggnaders driftsenergianvändning, medan ett mer holistiskt livscykelperspektiv i stor utsträckning har saknats. Även en diskussion om hur olika specifika åtgärder för energieffektivisering påverkar kulturhistoriska värden har i stor utsträckning uteblivit.

Livscykelanalyser (LCA) anses vara viktiga för att stödja beslutsfattare och lagstiftare med relevanta riktlinjer och policys för energieffektivisering av historiska byggnader (Mistretta et al., 2020; Paschoalin et al., 2023). Även om användningen av LCA för att studera renovering och underhåll av

befintliga byggnader har ökat, är tillämpningen på byggnader med kulturhistoriska värden fortfarande ovanlig, vilket identifierats i litteraturöversikter av Wise et al. (2019) och Mahmad et al. (2024) – särskilt när det gäller koldioxidutsläpp kopplade till underhålls- och reparationsarbeten. Wise et al. (2023) uppger att större delen av den befintliga forskningen om LCA, inbyggd klimatpåverkan och renovering av historiska byggnader hittills har fokuserat på att jämföra miljönyttan av bevarande och renovering av befintliga byggnader jämfört med att riva och ersätta dem med nybyggda och mer energieffektiva byggnader. En orsak till detta kan vara bristen på teknisk dokumentation om äldre byggnader och bristen på tillgängliga LCA-data, vilket även påpekas av Wise et al. (2023).

1.2 SYFTE OCH MÅL

Projektet syftade till att ta fram ny kunskap och förståelse kring hur energieffektivisering kan integreras med underhåll av kulturhistoriska byggnader ur ett livscykelperspektiv.

Målet var att ta fram och presentera:

- en utvärdering och jämförelse av olika strategier för renovering och underhåll av kulturhistoriska byggnader ur ett livscykelperspektiv
- potentialen för att tillämpa livscykelbedömningar i underhållssituationer för kulturhistoriskt värdefull bebyggelse
- hur och i vilka fall ett sunt underhåll av kulturhistoriska byggnader kan ha gynnsamma effekter jämfört med djupgående energirenoveringar
- resultat som kan involvera olika typer av användare, ägare och förvaltare av kulturhistoriska byggnader där projektet kan stötta dessa i beslutsfattandet om energi och underhåll av deras fastigheter
- utvecklad förståelse hos fastighetsägare, förvaltare, byggentreprenörer och byggnadsantikvarier kring det långsiktiga underhållet av kulturhistoriska byggnader med avseende på energi, kostnader och koldioxidutsläpp ur ett livscykelperspektiv.

1.3 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNING

Projektet bygger på fallstudier av fyra byggnader som bedömts ha kulturhistoriska och arkitektoniska värden, även om alla inte är officiellt skyddade. Detta är i linje med definitionen i EN 16883:2017, enligt vilken en *historisk byggnad* inte nödvändigtvis måste vara officiellt betecknad som kulturarv med ska ses som en särskild typ av byggnad som kan ha värde för både nuvarande och framtida generationer.

Tre strategier för renovering och underhåll – ett "lätt", ett "mellan" och ett "tungt" scenario – har analyserats utifrån påverkan på kulturhistoriska värden samt energi, kostnader och koldioxidutsläpp ur ett livscykelperspektiv. I denna studie kopplas energirenovering till begreppet *renovering* enligt EN 15898:2019, vilket innebär att ett objekt förnyas utan att nödvändigtvis ta hänsyn till dess material eller kulturella värde. De "mellan" och "tunga" scenarierna faller inom denna kategori, men skiljer sig åt i hur mycket de påverkar byggnadernas kulturhistoriska betydelse. De "lätta" scenarierna innebär

åtgärder med minimal påverkan på byggnadens kulturella värde och överensstämmer därför med definitionerna av *underhåll* (regelbundna insatser för att bevara ett objekt i gott skick) och *reparation* (åtgärder för att återställa funktion eller utseende) enligt samma standard. Scenarierna beskrivs mer utförligt i avsnitt 2.

För flera av fallstudiebyggnaderna har livscykelanalyser (LCA) utförts enligt standardiserade metoder (EN 15978) för att kunna jämföra klimatpåverkan mellan scenarierna. Klimatpåverkansindikatorn *global uppvärmningspotential (GWP)* beräknades i kg CO₂-ekvivalenter per funktionell enhet – 1 m² uppvärmd golvyta, A_{temp} – över en period på 50 år. LCA-beräkningen omfattade fyra huvuddelar: 1) *Produktion* av nya material/komponenter som tillförs vid renovering/underhåll (moduler A1–A3), 2) *Transport och montering* på plats (moduler A4–A5.2), 3) *Underhåll och utbyte* av dessa komponenter under användningsfasen (moduler B2–B4), samt 4) *Driftenergi* för hela byggnaden efter renovering/underhåll (modul B6). Endast den första renoveringsomgången inkluderas i produktions- och byggfasen, medan återkommande insatser (t.ex. fönsterreparationer) ingår i användningsfasen. Material som inte påverkas av åtgärdsscenarierna – t.ex. befintliga byggnadsdelar – har utelämnats, då de antas vara oförändrade i alla scenarier. Avfallshantering vid livscykeln slut (modul C) har inte beaktats eftersom denna fas har visat sig bidra mycket begränsat till klimatpåverkan från renoveringsåtgärder för energieffektivisering i kalla klimat i tidigare studier (Kertsmik m.fl., 2023; 2024). Modul C antas därför ha marginell påverkan på jämförelsen mellan scenarier, vilket är fokus för denna studie.

2. GENOMFÖRANDE

Projektet leddes och genomfördes av Luleå tekniska universitet (LTU) i samarbete med Uppsala Universitet (UU). Svenska Byggnadsvårdföreningen (SBF) stöttade forskarna som representant för projektets målgrupp och medlem av referensgruppen.

För att välja och bedöma energibesparande åtgärder i fallstudiebyggnaderna användes en förenklad metod baserad på EN 16883:2017. I det första steget valdes olika åtgärder ut, jämfördes och klassificerades utifrån kriterier som energibesparingspotential, kompatibilitet med historiska material och komponenter samt påverkan på byggnadens användbarhet. Åtgärderna har hållits så lika som möjligt mellan byggnaderna för att underlätta jämförelser.

Därefter bedömdes varje åtgärd utifrån dess påverkan på byggnadens kulturhistoriska värde, med hjälp av tre typer av påverkan: visuell, fysisk och rumslig (Eriksson et al., 2014). Bedömningen gjordes av forskarna i dialog med olika intressenter. Exempelvis diskuterades åtgärder som påverkar användbarheten med fastighetsägare och med hänsyn till användarnas behov, medan bedömningen av kulturvärden baserades både på befintliga dokument från bevarandemyndigheter och samtal med experter inom byggnadsvård.

De olika åtgärderna grupperades efter vilka byggnadskomponenter de påverkar och sammanställdes till paket. Dessa paket utgör tre övergripande och sammanhängande strategier för hela byggnaden, kallade **renoveringsscenarier**: ett lätt, ett mellan och ett tungt scenario. Klassificeringen baseras på hur mycket varje scenario bedöms påverka byggnadens kulturhistoriska värde:

- **Lätt scenario:** Innehåller åtgärder med minimal påverkan på kulturvärdet och motsvarar en bevarandestrategi som rekommenderas för byggnadsminnen, där bevarande prioriteras framför hög energiprestanda. Fokus ligger på regelbundet underhåll av byggnadens befintliga material och komponenter.
- **Mellanscenario:** Innehåller mer omfattande åtgärder, men med respekt för byggnadens karaktärsskapande och värdefulla delar enligt befintliga kulturvärdesbedömningar (i linje med "varsam renovering"). Vissa förändringar av material, utseende och rumslig struktur förekommer, men målet är en rimlig balans mellan bevarande, energieffektivisering och material med låg klimatbelastning.
- **Tungt scenario:** Prioriterar minskad energianvändning i drift framför bevarande och materialval med låg klimatbelastning, även om vissa begränsningar från kulturmiljömyndigheter fortfarande respekteras (t.ex. ingen utvändigt tilläggsisolering). Detta scenario fungerar som ett kontrastfall till de andra två och innehåller praktiskt genomförbara och vanligt förekommande åtgärder bland fastighetsägare.

De enskilda åtgärder som ingår i åtgärdspaketen för respektive fallstudiebyggnad beskrivs och diskuteras mer utförligt i avsnitt 3.

3. FALLSTUDIER OCH RESULTAT

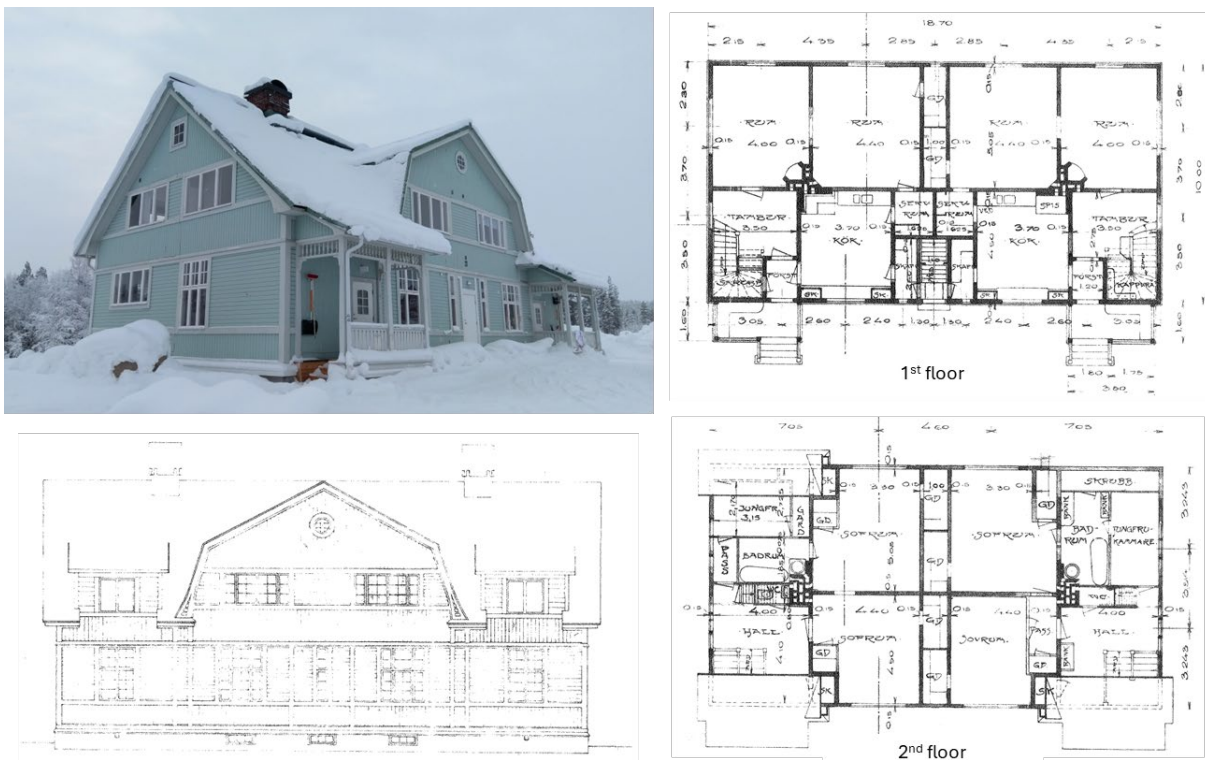
De fyra fallstudiebyggnaderna analyserades utifrån de definierade renoveringsscenarierna och med fokus på kulturhistoriska värden samt energi, kostnader och klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv. Resultaten presenteras här per byggnad.

3.1 Fallstudie 1: PARHUS I KOSKULLSKULLE, GÄLLIVARE KOMMUN

Parhuset är beläget i Gällivare kommun, norr om polcirkeln. Det uppfördes 1911 i trä och jugendstil som bostad för chefer vid gruvbolaget i Malmberget. Byggnaden ägs av LKAB:s fastighetsbolag. Huset har klassats som "mycket betydelsefullt" i kulturmiljöanalysen av Malmberget (Olsson & Paulsson, 2017) och valdes därför ut för flytt till samhället Koskullskulle.

Jugenddetaljerna i fasaden, se Figur 1, och den ursprungliga timmerkonstruktionen är väl bevarade. I samband med flytten byggdes en ny grund, men inga större energieffektiviserande åtgärder har gjorts på utsidan vid studiens tidpunkt. De två lägenheterna i huset som värms med vattenburna radiatorer kopplade till Gällivares fjärrvärme via en undercentral.

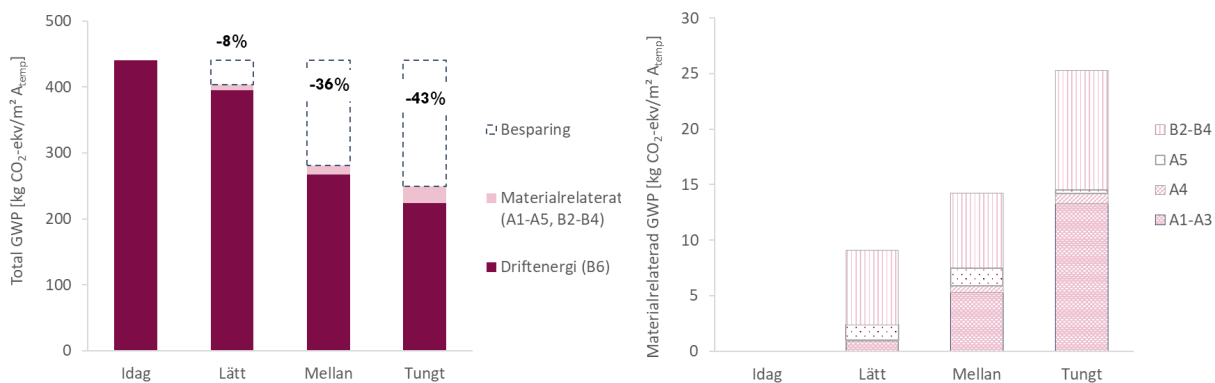
Tabell 1 visar de energibesparande åtgärder som ingår i de olika scenarierna för fallstudie 1. Figur 2 presenterar resultat från LCA-analysen.



Figur 1. Exteriör och planritningar för parhuset. Källa: Andrea Luciani, 2018 och LKAB Fastigheters arkiv.

Tabell 1. Översikt över de lätta (L), mellan (M) och tunga (T) scenarierna för fallstudie 1.

	Före åtgärd	Lätt	Mellan	Tungt
Ytterväggar, isolering	26 mm träfiberskiva	Som idag	+30 mm träfiberskiva på insida	+60 mm träfiberskiva på insida
Kallvind, isolering	175 mm sågspån	+200 mm cellulosa	+400 mm cellulosa	+400 mm cellulosa
Snedtak, isolering	175 mm sågspån	Som idag	Byte till cellulosa	Byte till cellulosa
Fönster, U-värde	Tvåglas, 2.6 W/m ² ,K	+Ny färg, kitt, tätning, injusterings, 2.3 W/m ² ,K	Lätt +löstagbar innerruta på insida, 1.5 W/m ² ,K	Nya treglas, 1.2 W/m ² ,K



Figur 2. Totala klimatpåverkande utsläpp från material och drift (till vänster) respektive materialrelaterade klimatpåverkande utsläpp (till höger) under 50 års referensstudieperiod (RSP) för fallstudiebyggnad 1 idag och för de tre scenarierna. "Besparing" avser totala utsläppsminskningar med hänsyn till förändringar i både materialrelaterad och driftrelaterad GWP för respektive scenario. Beräknade livscykelmoduler: A1-A3 produktion av material/komponenter; A4-A5.2 transport och montage; B2-B4 underhåll och utbyte av material/komponenter; B6 driftenergi.

Alla scenarier leder till större minskningar av driftrelaterade klimatpåverkande utsläpp än öknningar av materialrelaterade utsläpp, vilket resulterar i totala utsläppsbesparingar jämfört med idag. Det tunga scenariot hade de största materialrelaterade utsläppen eftersom det kräver produktion och transport av större mängder nyproducerade material (se moduler A1–A3 och A4 i Figur 3). Trots detta gav det tunga scenariot de största totala GWP-besparingarna över en 50-årig referensstudieperiod, tack vare större besparingar i uppvärmningsenergi och därmed driftrelaterade GWP-utsläpp. Underhålls- och utbytesaktiviteter (moduler B2–B4) bidrog synligt till de materialrelaterade utsläppen i de lätta och medeltunga scenarierna. Detta uppvägs dock inte de högre utsläppen i modulerna A1–A4 för det omfattande scenariot.

För fallstudie 1 genomfördes kompletterade känslighetsanalyser för att undersöka hur fjärrvärmens emissionsfaktor, referensstudieperiodens längd och ett varmare klimat kan påverka utfallet från klimatberäkningarna. Emissionsfaktorn varierades mellan det högsta (0.50 kg CO₂-ekv/kWh) och lägsta (0 kg CO₂-ekv/kWh) värdet för Sveriges lokala fjärrvärmesystem. Resultaten för det högsta värdet visas i figur 3, medan resultatet för det lägsta värdet ses till höger i figur 2 eftersom det är

kräva mindre uppvärmningsenergi utan åtgärder och det tunga scenariot skulle bli mindre fördelaktigt men fortfarande mer fördelaktigt än basfallet och de lättare scenarierna. En lägre emissionsfaktor för energibäraren, i detta fall illustrerat med fossilfri fjärrvärme, skulle dock göra mindre omfattande åtgärder med låg klimatpåverkan vid produktion och transport mer fördelaktiga även om de leder till mindre driftenergi sparas. I det fallet är det lätta och mellanscenarioet bättre val ut klimatsynpunkt, samtidigt som de också respekterar de kulturhistoriska värdena. med mindre omfattande energieffektiviseringsåtgärder.

3.2 Fallstudie 2: RADHUS I LIDINGÖ KOMMUN

Huset ingår i ett komplex med 11 fristående radhus, byggda 1953–1956 i Lidingö, Stockholm. Komplexet ägs och hyrs ut av en privat fastighetsägare. Varje radhus har två våningar ovan mark samt en delvis nedgrävd källare, se figur 4, som används som garage och förråd. Alla våningar värms med vattenburna radiatorer anslutna till fjärrvärme. Husen, enhetligt ritade av arkitekten Holger Blom, bedöms ha hög arkitektonisk och konstruktiv kvalitet och därmed mycket högt kulturhistoriskt värde.

Lidingö kommuns kulturmiljöprogram (Lidingö Stad, 2024) rekommenderar att tegelfasadernas ursprungliga karaktär och övriga typiska detaljer, inklusive träfönster, bevaras och vid behov ersätts med kopior i samma material och form.

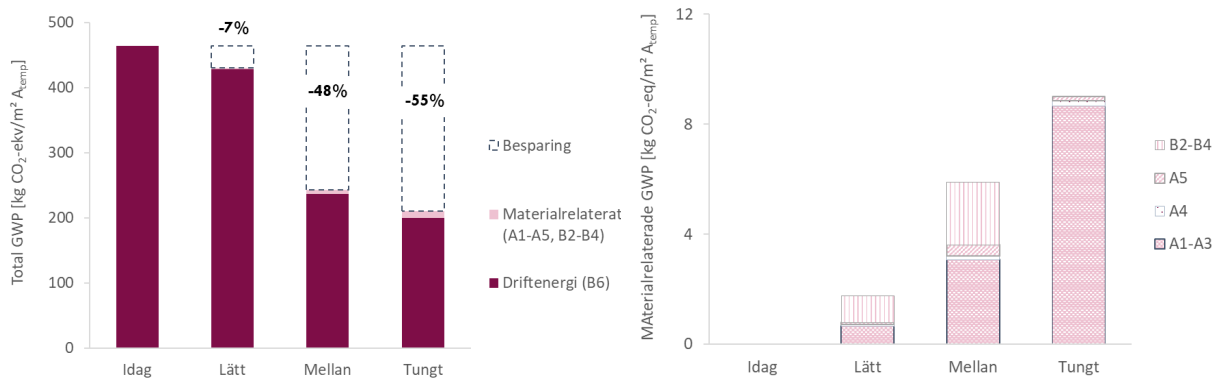
Tabell 2 ger en översikt över energibesparande åtgärder i de olika scenarierna för fallstudie 2. Figur 5 visar resultat från LCA-analysen.



Figur 4. Exteriör för delar av en radhuslänga, samt planritningar för ett typiskt radhus.

Tabell 2. Översikt över de lätta (L), mellan (M) och tunga (T) scenarierna för fallstudie 2.

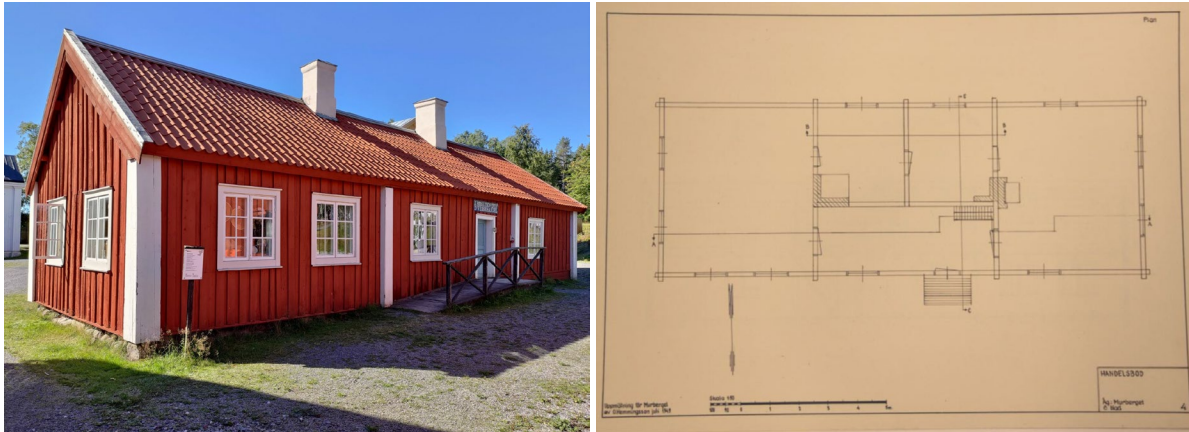
	Före åtgärd	Lätt	Mellan	Tungt
Ytterväggar, isolering	50 mm träullitskiva	Som idag	+40 mm träfiberskiva på insida	+40 mm träfiberskiva på insida
Tak, isolering	200 mm sågspån	+150 mm cellulosa	+150 mm cellulosa	+150 mm cellulosa
Källarväggar, isolering	250 mm betong	Som idag	+40 mm kalciumsilikatskiva på utsida	+100 mm EPS på utsida
Fönster, U-värde	Tvåglas, 2.9 W/m ² ,K	+Ny färg, kitt, tätning, injustering, 2.3 W/m ² ,K	Lätt +löstagbar innerruta på insida, 1.5 W/m ² ,K	Nya treglas, 1.0 W/m ² ,K



Figur 5. Totala klimatpåverkande utsläpp från material och drift (till vänster) respektive materialrelaterade klimatpåverkande utsläpp (till höger) under 50 års referensstudieperiod (RSP) för fallstudiebyggnad 2 idag och för de tre scenarierna. "Besparing" avser totala utsläppsminskningar med hänsyn till förändringar i både materialrelaterad och driftrelaterad GWP för respektive scenario. Beräknade livscykelmoduler: A1-A3 produktion av material/komponenter; A4-A5.2 transport och montage; B2-B4 underhåll och utbyte av material/komponenter; B6 driftenergi.

3.3 Fallstudie 3: LÅNGSTUGAN I HÄRNOSAND KOMMUN

Långstugan, se figur 6, är från 1700-talet och har tidigare fungerat som bostadshus i centrala Härnösand. Huset flyttades till Murbergets friluftsmuseum på 1940-talet, och 1975 öppnades en handelsbod i den östra delen. Idag används byggnaden fortfarande som museibutik, men inom projektets ram har den simulerats som bostadshus, i enlighet med sitt ursprungliga användningsområde. Som en del av det regionala friluftsmuseet har byggnaden ett högt skyddsvärde och renoverades 2020 genom tilläggsisolering av golv och tak.

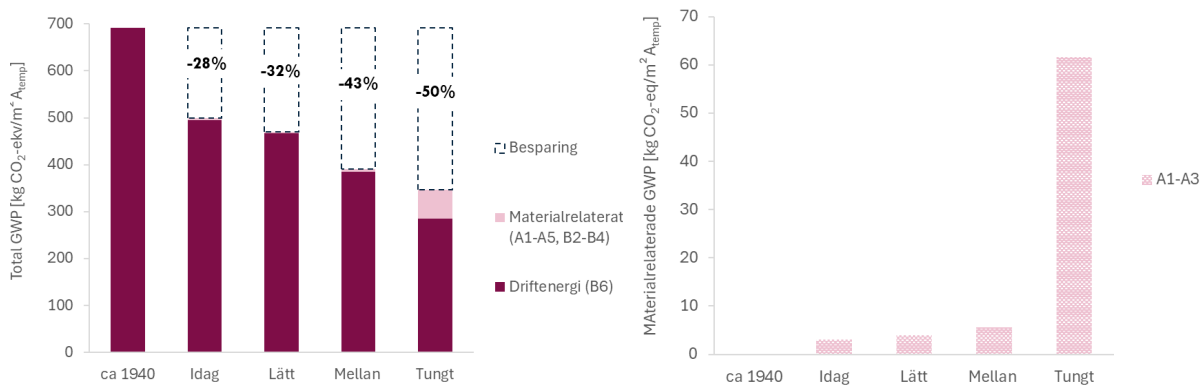


Figur 6. Exteriör och planritning för Långstugan.

Tabell 3 ger en översikt över energibesparande åtgärder i de olika scenarierna för fallstudie visar samtliga energibesparande åtgärder som beaktats i de olika scenarierna för fallstudie 3. Figur 7 visar resultaten från LCA-analysen, där "Idag" motsvarar renoveringen som genomfördes 2020 på den ursprungliga byggnaden.

Tabell 3. Översikt över de lätta (L), mellan (M) och tunga (T) scenarierna för fallstudie 3.

	ca 1940	Före åtgärd (renoverat 2020)	Lätt	Mellan	Tungt
Ytterväggar, isolering	180 mm liggtimmer	Som ca 1940	Som ca 1940	+30 mm träfiberskiva på insida	+60 mm träfiberskiva på insida
Kallvind, isolering	150 mm sågspån	Byte till 150 mm cellulosa	Byte till 300 mm cellulosa	Byte till 300 mm cellulosa	Byte till 300 mm PIR (polyiso)
Golv, isolering	150 mm sågspån	Byte till 150 mm cellulosa	Byte till 150 mm cellulosa	Byte till 150 mm cellulosa	Byte till 150 mm PIR (polyiso)
Fönster, U-värde	Englas plus extra innerruta, 2.5 W/m ² K	Som ca 1940	Som ca 1940	Byte till energiglas i befintlig löstagbar innerruta, 1.8 W/m ² ,K	Nya treglas, 0.8 W/m ² ,K



Figur 7. Totala klimatpåverkande utsläpp från material och drift (till vänster) respektive materialrelaterade klimatpåverkande utsläpp (till höger) under 50 års referensstudieperiod (RSP) för fallstudiebyggnad 3 idag och för de tre scenarierna. "Besparing" avser totala utsläppsminskningar med hänsyn till förändringar i både materialrelaterad och driftrelaterad GWP för respektive scenario. Beräknade livscykelmoduler: A1-A3 produktion av material/komponenter; B6 driftenergi.

3.4 Fallstudie 4: VILLA I REVELSUDDEN, LULEÅ

Villan är ett hus med trästomme uppfört på 1920-talet i Revelsudden, ett område i utkanten av Luleå. Projektet har följt fastighetsägarna under processen att renovera byggnaden – ett övergivet fritidshus – och omvandla det till en permanentbostad, se figur 8. Under studien har det varit möjligt att utvärdera de förbättringsåtgärder som ägarna beslutat om och genomfört, samt att jämföra dessa med alternativa scenarier där energieffektivitet och byggnadens bevarande prioriteras. Genom att kombinera fönsterrenovering med konvertering från direktverkande elvärme till bergvärme, isolering av ytterväggar och tak samt ombyggnad av grund (se Tabell 4) kunde fastighetsägarna erhålla Energiklass C, vilket motsvarar energikraven i dagens byggregler. En jämförelse mellan bergvärmepumpens faktiska energianvändning och simulerad energianvändning med implementerade åtgärder bekräftade resultatens tillförlitlighet. Ytterligare analyser där alternativa scenarier – med t.ex. fönsterbyte, installation av solceller, tjockare isolering – simulerades visade att ägarnas val resulterade i en väl avvägd kompromiss mellan varsamhet, energiprestanda, miljöpåverkan och investeringskostnader.



Figur 8. Exteriör för villan under pågående renoveringsprocess.

Tabell 4. Översikt över husets klimatskal på 1940-talet respektive efter de åtgärder fastighetsägarna valt att implementera för fallstudie 4.

	ca 1940-tal	Före åtgärd (renoverat 2021-2023)
Ytterväggar, isolering	140 mm liggtimmer resp. oisolerad träregelvägg (i utbyggnad)	+25+45=70 mm träfiber på insida
Tak, isolering	Ca 100 mm sågspån	220+70=290 mm träfiber
Golv, isolering	Oisolerad mullbänk resp. 100 mm sågspån mellan plank (endast i kök)	Mullbänk med ca 200 mm perlite resp. ny platta på mark med 300 mm EPS (endast i utbyggnad)
Fönster, U-värde	Tvåglas plus extra löstagbar innerruta (bottenvåning), resp. englas (övertvåning)	Byte till energiglas i befintliga fönster

4. HANDBOK: ETT LIVSCYKELPERSPEKTIV PÅ UNDERHÅLL OCH RENOVERING AV KULTURHISTORISKA BYGGNADER

Projektet bygger på fyra fallstudier och har resulterat i riktlinjer och rekommendationer som kan stödja mer välgrundade beslut vid renovering av historiska byggnader. Syftet är att öka medvetenheten hos aktörer i renoveringsprojekt – från fastighetsägare till bebyggelsesantikvarier, tekniska konsulter, entreprenörer och andra yrkesverksamma inom byggsektorn – om konsekvenserna av olika val.

- **Alla scenarier för energieffektivisering minskade klimatpåverkan totalt sett i de analyserade fallen.** Minskningen under drift är större än ökningen av inbyggd klimatpåverkan under den 50-åriga referensperioden. Detta innebär att utsläppsbesparingarna från lägre energianvändning under drift är större än de utsläpp som uppstår vid de studerade renoverings- eller underhållsåtgärderna. Alla analyserade energieffektiviseringsscenarioer resulterar därför i **en total minskning av utsläpp jämfört med referensfallen** (som representerar byggnadernas nuvarande skick). En generell rekommendation är att genomföra **energieffektiviseringsåtgärder** i historiska byggnader såsom de här studerade, eftersom det **ger lägre energianvändning och klimatutsläpp ur ett livscykelperspektiv**.

Med detta sagt finns det några specifika insikter att beakta för att bättre förstå möjliga konsekvenser och påverkan av olika angreppssätt för energieffektivisering:

- I alla analyserade fall gällde att **varsamma åtgärder som bättre bevarar kulturhistoriska värden ger lägre materialrelaterad klimatpåverkan**. Detta bekräftar att en varsam renovering inte bara är bättre ur ett bevarandeperspektiv, utan också mer hållbar än en omfattande energirenovering om vi ser till den inbyggda klimatpåverkan.
- Vid överväganden om **att behålla eller byta fönster** visade projektresultaten att **reparations- och underhållsåtgärder**, inklusive byte av enstaka delar (moduler B2–B4), som är kopplade till att behålla befintliga fönster i de lätta och mellanscenerierna, **ger lägre klimatpåverkan än att producera och transportera nya fönster i produktions- och byggfasen** (moduler A1–A5) som i de tunga scenarierna. Samtidigt ger **byte till nya fönster större energibesparingar** än reparation och underhåll, vilket kan ge större total minskning av klimatpåverkan. En fördjupad jämförande studie av olika fönsteråtgärder har dock visat att **minska livscykelrelaterad klimatpåverkan genom fönsterbyte inte är garanterat**, eftersom det beror på byggnadens egenskaper och lokala förutsättningar (Sällström Eriksson & Lidelöv, 2025). Detta bör beaktas vid överväganden om att ersätta särskilt värdefulla historiska fönster.
- **Det tunga scenariot**, vars åtgärder kan få oacceptabla konsekvenser ur ett bevarandeperspektiv, **resulterade i den största inbyggda klimatpåverkan** i alla analyserade fall eftersom det kräver produktion och transport av stora mängder nytt material, inklusive nya fönster (se moduler A1–A3 och A4 jämfört med B2–B5 i figurerna 2 och 4). **Samtidigt gav det tunga scenariot de största totala minskningarna av klimatpåverkan över en 50-årig**

referensperiod tack vare bättre energiprestanda och därmed större besparingar i energi och klimatpåverkan för uppvärmning än de lättare scenarierna.

Detta är särskilt tydligt i mycket kalla klimat, där behovet av uppvärmning är som störst. En känslighetsanalys, där fallstudiebyggnad 1 flyttades från Gällivares subarktiska klimat till Malmös tempererade havsklimat, visade att det tunga scenariot gav de största totala minskningarna i klimatpåverkan även då uppvärmningsbehovet är lägre (se figur 3). Dock låg mellanscenarioet närmare det tunga scenariot än det lätta scenariot när det gäller utsläppsminskningar, eftersom den inbyggda påverkan blir mer relevant i ett varmare klimat.

- **Även om omfattande åtgärder kan ge störst utsläppsminskningar ur ett livscykelperspektiv, är de inte alltid den mest lämpliga vägen vid renovering av kulturhistoriskt värdefulla byggnader.** Energibesparingar bör inte vara den enda prioriteringen, även om de innebär lägre utsläpp. Det är viktigt att väga in andra aspekter – som bevarandet av kulturvärden och den inbyggda klimatpåverkan i de material som tillförs – och sträva efter en balans mellan energibesparingar, utsläppsminskningar och varsamhet. Inför val av strategi bör man därför analysera var byggnadens kulturhistoriska värden ligger, så att åtgärderna kan anpassas för att minska klimatpåverkan utan att äventyra dessa värden.
- I de analyserade fallen visade LCA-resultaten att **mellanscenerierna kan leda till en betydande minskning av klimatpåverkan – mellan 35 och 50 % över en 50-årsperiod.** Detta innebär att **betydande energibesparingar och utsläppsminskningar kan uppnås med begränsad påverkan på bevarande av kulturhistoriska värden.** Åtgärderna i mellanscenerierna är därför **de som främst rekommenderas för energieffektivisering** eftersom de uppnår en god balans mellan varsamhet och besparingar.
- Vid val mellan olika åtgärder är det viktigt att **prioritera de som är effektiva när det gäller energi- och utsläppsbesparingar, utan att ha stor påverkan på bevarande och kostnader.** Värdefulla indikationer kan fås genom att studera de åtgärder som har analyserats och simulerats i våra fallstudier. Till exempel hade förbättring av befintlig isolering i det lutande taket i fallstudie 1 en försumbar termisk effekt, medan tilläggsisolering av källarväggar med låg termisk prestanda i fallstudie 2 minskade byggnadens värmegenomgång och därmed utsläppen avsevärt. Fallstudie 3 bekräftade att vissa åtgärder med mycket liten påverkan på kulturvärdet, och som dessutom är relativt enkla och billiga att genomföra – såsom minskning av luftläckage – kan ge betydande energibesparingar och utsläppsminskningar. Fler tips på enkla åtgärder finns bland annat i Energiboken (Svenska byggnadsvårdsföreningen, 2011).
- **Vid beslut om åtgärder på byggnadens klimatskal bör dessa alltid kopplas till inneklimatsystemen** (i svensk bostadskontext främst värme- och ventilationssystem) **och de energibärare som försörjer dem.** Projektresultaten visar att energibärarens emissionsfaktor påverkar hur åtgärder bör prioriteras ur klimatsynpunkt.

Exempelvis värmdes både fallstudie 1 och 2 med fjärrvärme, men den högre emissionsfaktorn i fallstudie 2 förstärkte klimatnyttan av åtgärder som minskar uppvärmningsenergianvändningen (jämför resultat för total klimatpåverkan i figur 2 och 5). I

fallstudie 4, där byggnaden från början värmdes med eldstad, möjliggjorde installationen av en bergvärmepump förbättrad energiprestanda och lägre utsläpp utan omfattande ingrepp i klimatskalet.

En känslighetsanalys i fallstudie 1 visade hur fjärrvärmens emissionsfaktor påverkar resultaten. När faktorn ändrades mellan Sveriges högsta (0,50 kg CO₂-ekv/kWh) och lägsta (0 kg CO₂-ekv/kWh) värden minskade skillnaderna mellan driftrelaterade och materialrelaterade utsläpp vid en låg faktor (se figurerna 2 och 3), medan de förstärktes med en hög faktor. **Slutsatsen är att med en hög emissionsfaktor kan även varsamma, mindre omfattande åtgärder för att minska driftenergianvändningen ge stora utsläppsminskningar. Med en låg emissionsfaktor blir det istället viktigare att välja åtgärder och material med låg klimatpåverkan i bygg- och produktionsskedet. Det är generellt olämpligt att välja en åtgärd med höga materialrelaterade växthusgasutsläpp och stor påverkan på kulturvärden om den inte ger betydande energibesparingar i drift.**

- **Fallstudie 4 visade vikten av och komplexiteten i att beakta fastighetsägarens perspektiv och prioriteringar i en energieffektiviseringsprocess.** Ägarens valda lösning är inte alltid den optimala eller den bästa vare sig ur varsamhetsperspektiv eller klimatsynpunkt. För ägaren är det inte alltid möjligt eller önskvärt att genomföra hela åtgärdspaket, såsom de scenarier som utformades och simulerades i fallstudie 1, 2 och 3. Till exempel valde ägarna i fallstudie 4 att undvika att installera invändig isolering på vissa delar av ytterväggen för att lämna den ursprungliga timmerstrukturen synlig. Beroende på ägarens (eller mer generellt den slutliga beslutsfattarens) prioriteringar kan olika åtgärder enligt olika strategier vara mer eller mindre önskvärda. Trots detta visar studien att **LCA kan vara ett värdefullt verktyg för att stödja och informera komplexa beslutsprocesser kring renovering och underhåll för energieffektivisering i historiska byggnader.**

5. DISKUSSION

Resultaten visar att ju varsammare scenariot är med avseende på bevarande av kulturhistoriska värden, desto lägre blir de materialrelaterade klimatutsläppen. I inget av fallen är dock dessa lägre utsläpp från produktion, transport och montering av nya material och komponenter tillräckliga för att uppväga de större utsläppsminskningarna under användningsfasen, som främst orsakas av att fallstudiebyggnaderna har en relativt hög energianvändning för uppvärmning.

Faktum är att de scenarier som har störst påverkan på byggnadernas kulturvärden också är de som ger lägst totala klimatutsläpp i ett livscykelperspektiv. Detta kan tolkas som ett negativt resultat ur ett bevarandeperspektiv.

Det bör dock understrykas att det tunga energieffektiviseringsscenarioet inkluderades i studien för att undersöka hur mycket klimatutsläppen kan minskas när prioritet ges till att reducera uppvärmningsenergin framför bevarandekrav. Eftersom driftenergin står för betydligt större utsläpp över en 50-årig referensperiod var det väntat att det tunga scenariot skulle minska klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv avsevärt. Detta innebär dock inte att det tunga scenariot bör rekommenderas som strategi, eftersom det per definition har mer negativa konsekvenser för byggnadernas kulturhistoriska värden. Exempelvis anses åtgärder som fönsterbyte i de flesta fall oacceptabla av byggnadsantikvarier. Ett bättre alternativ kan vara att förbättra befintliga fönster genom att lägga till en isolerruta på insida, såsom i mellanscenerierna. Åtgärden förbättrar energiprestandan mycket, om än inte lika mycket som ett byte till helt nya fönster, samtidigt som den är reversibel och respekterar de kulturhistoriska värdena.

Resultaten visar att det är möjligt att uppnå betydande minskningar av energianvändning och klimatpåverkan under användningsfasen även med mer varsamma åtgärder, såsom de mellanscenerier som studerats här. Även om dessa inte når lika långt som det tunga scenariot när det gäller att förbättra energiprestandan, ger de ändå substantiella klimatutsläppsminskningar med begränsad negativ påverkan på kulturvärden.

Det bör också noteras att slutskedet inte ingick i LCA-beräkningarna. Därför omfattar resultaten inte klimatutsläpp från avfallshantering och deponering av material som tas bort i scenarierna, t.ex. utbytta fönster i det tunga scenariot. Dessa ytterligare utsläpp skulle göra det tunga scenariot mindre fördelaktigt. Hur mycket slutskedet skulle påverka skulle vara intressant att undersöka i vidare studier, även om tidigare LCA-studier av byggnadsrenovering i kallt klimat (Kertsmik m.fl., 2023; 2024) pekar på att klimatpåverkan slutskedet är mycket begränsad jämfört med klimatpåverkan under bygg- och användningsfaserna.

En referensperiod på 50 år användes i studien. Detta val kan ha haft ogynnsamma konsekvenser eftersom traditionella material ofta är mer reparerbara och kan hålla längre med minimala insatser. Samtidigt antogs generöst att den återstående livslängden efter renovering skulle vara 50 år utan underhåll eller utbyte av nya komponenter – något som sällan är realistiskt. För att undersöka effekten av en längre livslängd (med fler underhålls- och utbytscyklar) genomfördes en känslighetsanalys där referensperioden förlängdes till 100 år för fallstudie 1, men det tunga scenariot kvarstod som det mest fördelaktiga ur perspektivet minskad klimatpåverkan (se figurerna 2 och 3).

Som Wise et al. (2023) påpekar saknas standardiserade LCA-databaser för produkter och åtgärder kopplade till historiska byggnader. Datainsamling och antaganden i brist på data var en stor utmaning i detta projekt. Tillgång till databaser med klimatdata för historiska byggnader skulle underlätta analysen, som annars är tidskrävande och komplex. En relaterad konsekvens, som även andra forskare har observerat, är att klimatdata ofta är kontextspecifika (Franzoni et al., 2020) och kräver antaganden (Buda & Lavagna, 2018), vilket kan påverka generaliserbarheten och tillförlitligheten. Liknande problem noterades i detta projekt, även om känslighetsanalysen bidrog till att identifiera om kontextuella faktorer hade stor påverkan och därmed förbättra förståelsen av resultaten. LCA-analysen fokuserade på klimataspekten. Andra aspekter av hållbarhet, t.ex. kostnad, potentiellt farliga ämnen eller socioekonomiska faktorer, som inte fullt ut beaktats i analysen kan vara intressanta att inkludera i fortsatta studier.

Valet att samla olika åtgärder i scenarier möjliggjorde en tydlig jämförelse mellan olika strategier för bevarande, underhåll och renovering, samt en tväranalys av olika typer av historiska byggnader. Scenarierna tillämpades på fyra fallstudiebyggnader som representerar vanliga byggnadstyper för svenska bostäder byggda före rekordåren. Samtidigt har dessa byggnader vissa särdrag som kan påverka resultatens generaliserbarhet. Till exempel har fallstudie 1 en helt ny grundkonstruktion som konsekvens av flytt. Om metoden tillämpas på ett bredare urval av byggnader kan den ge värdefulla data för beslutsfattande kring avkarbonisering av befintligt byggnadsbestånd, i linje med tidigare forskning (Mistretta et al., 2020; Paschoalin et al., 2023). Detta förutsätter dock att en kritisk tolkning av resultaten och noggrann bedömning av konsekvenser för kulturvärden. En begränsning med den scenariobaserade metoden för jämförelse är att den förenklar den komplexa processen att välja den mest lämpliga energieffektiviseringsstrategin för en historisk byggnad. Metoden begränsar antalet alternativ och bortser från flera variabler, exempelvis effekten av enskilda åtgärder inom scenarierna.

6. SLUTSATSER

Klimatberäkningar som bygger på livscykelanalyser (LCA) ger värdefulla insikter vid jämförelse av olika strategier för energieffektivisering, men deras användning är fortfarande begränsad, särskilt i samband med underhåll och renovering av kulturhistoriskt värdefulla byggnader.

Denna studie har därför använt LCA för att undersöka, jämföra och utvärdera de långsiktiga effekterna av olika strategier för underhåll och renovering av historiska byggnader, med fokus på energianvändning och klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv, samtidigt som hänsyn tas till kulturhistoriska värden. Strategierna kategoriserades i tre scenarier – lätta, mellan och tunga – som representerar åtgärder från minimala till omfattande ingrepp. Dessa analyserades för fyra fallstudier av historiska byggnader i Sverige.

Resultaten visar att alla analyserade scenarier leder till minskad klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv. Även om vissa åtgärder, såsom uppgradering av befintliga fönster, ökade de materialrelaterade utsläppen under produktions- och byggfasen, uppvägdes dessa ökning tydligen av de utsläppsminskningar som uppnåddes genom förbättrad energiprestanda under användningsfasen.

Det lätta scenariot, som motsvarar ett varsamt och konservativt angreppssätt, kunde minska klimatpåverkan i alla fall. Mellanscenariot, som innebär en betydande energieffektivisering med begränsad påverkan på byggnadernas kulturvärden, kunde minska klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv med en tredjedel till nästan hälften.

Studien visar att det är möjligt att genomföra strategier och åtgärder – såsom mellanscenariot – som avsevärt minskar energianvändning och klimatpåverkan under byggnadens livscykel, samtidigt som kulturhistoriska värden bevaras. Däremot indikerar resultaten att det finns gränser för vad som kan anses vara en rimlig eller önskvärd åtgärd. Det tunga scenariot gav visserligen störst utsläppsminskning, men detta uppnåddes på bekostnad av byggnadernas kulturhistoriska betydelse.

Vilket scenario som ger störst nytta beror också på fastighetsägarens prioriteringar. Ur ett bevarandeperspektiv – och med hänsyn till osäkerheter i att förutsäga framtida klimatutsläpp – bedöms skillnaden i total utsläppsminskning mellan- och tungt scenario inte vara tillräckligt stor för att motivera den betydande negativa påverkan på byggnadens kulturvärden.

7. PUBLIKATIONSLISTA

Altameemi, V. (2020). *Energieffektivisering av ett hus byggt under 1910-talet* [Examensarbete, Luleå tekniska universitet]. DiVA. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1469390/FULLTEXT01.pdf>

Eriksson, L. S., & Lidelöw, S. (2025). A comparative life cycle study of window interventions: Impact of building characteristics and local context. *Journal of Building Engineering*, 113019. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.113019>

Kenno, S. (2025). *Energieffektivisering av ett timmerhus från 1920-talet: Möjligheter och hinder för att uppnå energiklass A, minimera miljöpåverkan och bevara arkitektur* [Examensarbete, Luleå tekniska universitet]. DiVA. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1925762/FULLTEXT01.pdf>

Michael, D. (2025). *Energieffektivisering av kulturhistoriska byggnader med hänsyn till klimatpåverkan och kulturvärden: Långstuga, ett 1700-talshus i Härnösand* [Examensarbete, Luleå tekniska universitet]. DiVA. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1944855/FULLTEXT01.pdf>

Sandberg, O. (2022). Kostnader för varsam renovering: En kartläggning och jämförande livscykelkostnadsanalys av vanliga varsamma renoveringsåtgärder i Norrbotten och Västerbotten [Examensarbete, Luleå tekniska universitet]. DiVA. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1640739/FULLTEXT01.pdf>

8. REFERENSER

Boverket (2025). *Miljöindikatorer – aktuell status*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/>

Buda, A., & Lavagna, M. (2018). LCA methodology to compare alternative retrofit scenarios for historic buildings: A review. Proceedings of the 12th Italian LCA Network Conference – Life Cycle Thinking in decision-making for sustainability: from public policies to private businesses, Messina, Italy, 11-12 June. <https://cutt.ly/WeMPO4ej>

European Commission (2020a). A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives. COM(2020) 662 final. European Commission. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662>

European Commission (2020b). Questions and Answers on the Renovation Wave. Brussels, 14 October 2020. Available at: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_1836

Franzoni, E., Volpi, L., Bonoli, A. (2020). Applicability of life cycle assessment methodology to conservation works in historical building: The case of cleaning. Energy and Buildings, 214, 109844. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109844>

Kertsmik, K. A., Kuusk, K., Lylykangas, K., & Kalamees, T. (2023). Evaluation of renovation strategies: cost-optimal, CO₂e optimal, or total energy optimal?. Energy and Buildings, 287, 112995. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112995>

Kertsmik, K. A., Arumägi, E., Hallik, J., & Kalamees, T. (2024). Low carbon emission renovation of historical residential buildings. Energy Reports, 11, 3836-3847. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.03.030>

Lidelöw, S., Örn, T., Luciani, A., & Rizzo, A. (2019). Energy-efficiency measures for heritage buildings: A literature review. Sustainable cities and society, 45, 231-242. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.029>

Mahmad, M. S., Suratkon, A., & Ismail, S. (2024, June). Embodied carbon consideration for maintenance & repair appraisal in heritage building: a review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1347, No. 1, p. 012024). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1347/1/012024>

Mangold, M., Österbring, M., Wallbaum, H., Thuvander, L., & Femenias, P. (2016). Socio-economic impact of renovation and energy retrofitting of the Gothenburg building stock. Energy and Buildings, 123, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.033>

Mistretta, M., Guarino, F., & Cellura, M. (2020, May). Energy and environmental assessment of heritage building retrofit. In International symposium: New Metropolitan Perspectives (pp. 1392-1401). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48279-4_130

Paschoalin, R., Isaacs, N., & Chicca, F. (2023). The Environmental Impact of Retrofitting Heritage Buildings in New Zealand. In International Conference on Building Energy and Environment (pp. 443-451). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9822-5_47

Svenska byggnadsvårdsföreningen (2011). Energiboken: energieffektivisering för småhusägare. Svenska byggnadsvårdsföreningen.

Sällström Eriksson, L., & Lidelöw, S. (2025). A comparative life cycle study of window interventions: Impact of building characteristics and local context. *Journal of Building Engineering*, 113019.

<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.113019>

Troi, A., & Bastian, Z. (Eds.). (2015). *Energy Efficiency solutions for historic buildings: a handbook*. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783038216506>

Wahlström, Å., & Glader, K. (2020, November). Not even close to the goals-A “snapshot” of Swedish property owners’ energy renovation plans. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 588, No. 2, p. 022020). IOP Publishing.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/2/022020>

Wise, F., Moncaster, A., Jones, D., & Dewberry, E. (2019, September). Considering embodied energy and carbon in heritage buildings—a review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 329, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/329/1/012002>

Wise, F., Moncaster, A., & Jones, D. (2023). Embodied carbon and building retrofit: A heritage example. In *The Routledge Handbook of Embodied Carbon in the Built Environment* (pp. 296-328). Routledge.

Tillgänglig från: <https://cutt.ly/OeMPL66R>