

Avdelningen för Byggnadsfysik
Examensarbete TVBH—22/5120
Lund 2022

Energieffektivisering av miljonprogramshus

- vid renovering när fasaden ska bevaras



Anton Svensson
Albin Vasteresson



LUNDS
UNIVERSITET

Energieffektivisering av miljonprogramshus

- vid renovering när fasaden ska bevaras

Anton Svensson
Albin Vastersson

Examensarbete

Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

© Anton Svensson och Albin Vastersson

ISRN LUTVDG/TVBH—22/5120—SE(70)
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Sammanfattning

- Titel:** Energieffektivisering av miljonprogramshus
- Författare:** Anton Svensson och Albin Vasteresson
- Handledare:** Petter Wallentén, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, avdelningen för byggnadsfysik, Lunds tekniska högskola.

Stephen Burke, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, avdelningen för byggnadsfysik, Lunds tekniska högskola.
- Examinator:** Birgitta Nordquist, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, avdelningen för installationsteknik, Lunds tekniska högskola.
- Bakgrund:** Klimatfrågan är en av de mest aktuella frågorna i dagens samhälle som upptar stort fokus inom många områden. Ett sätt att minska utsläpp och klimatpåverkan är att reducera samhällets energianvändning. Byggnader står idag för en betydande del av energianvändningen i samhället och är därför ett viktigt område för att nå uppsatta klimatmål. Vid nyproduktion av byggnader läggs stor fokus på att upprätta miljövänliga byggnader med god energiprestanda. Men en stor del av Sveriges fastighetsbestånd består av äldre byggnader där energiprestandan och komforten kan vara låg. Det är därför vid åtgärder på de befintliga byggnaderna som den stora energibesparingen kan ske. Renovering av dessa byggnader hade inte enbart kunnat förbättra energiprestandan och därmed ökat chanserna för att nå klimatmålen utan också ökat brukarnas komfort. Det finns många olika sätt att minska energianvändningen i byggnader, och en vanlig energibesparingsåtgärd är att tilläggsisolera fasaden. Detta ändrar dock utseendet på byggnaden och området karaktär. Ibland är det nödvändigt att bevara utseendet på grund av önskemål eller kulturhistoriska märkningar. Detta examensarbete kommer inriktas mot energieffektiviserande renoveringar av miljonprogramshus där fasaden ska bevaras.

Problemställning: I rapporten kommer följande frågor att undersökas:

- I vilken mån är det aktuellt att bevara fasaden hos miljonprogramshus?
- Hur stor andel av miljonprogramshusen är i behov av energieffektivisering?
- Vilka blir effekterna av energieffektiviseringsåtgärderna på energianvändningen i referensprojektet?
- Uppfylls kravet för *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad* gällande energi i referensprojektet?

Syfte: Syftet med examensarbetet är att undersöka energieffektiviseringsåtgärder vid renoveringar av miljonprogramshus när fasaden ska bevaras. Målet är att redovisa effekterna som de undersökta energieffektiviseringsåtgärderna kan ha på energianvändningen i ett referensprojekt.

Metod: Inledningsvis genomförs en litteraturstudie för att undersöka behovet av att bevara fasaden hos miljonprogramshus och hur stor andel av husen som är i behov av renovering och energieffektivisering. Vidare kommer ett miljonprogramshus från ett referensprojekt i Halmstad att användas för att genomföra energisimuleringar där energieffektiviseringsåtgärder testas. Energisimuleringar genomförs i IDA ICE för att analysera effekterna av energieffektiviseringsåtgärderna. En jämförelse mot *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad* gällande energi genomförs.

Slutsatser: Det kan konstateras att upp mot 88 % av byggnaderna från miljonprogrammet är i behov av renovering, därför finns en stor besparingspotential gällande energianvändningen hos dessa byggnader om det samtidigt genomförs energieffektiviserande åtgärder. I referensprojektet sänktes inomhustemperaturen, en ny frånluftsvärmepump installerades, taket tilläggsisolerades, fönsterna byttes och solceller installerades på taket. Dessa åtgärder gjorde tillsammans att primärenergitalet sänktes från 159 kWh/m² till under 75 kWh/m² vilket innebär att byggnaden uppfyller energikravet för *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad*. Om liknande renoveringar genomförs på de miljonprogramshus som har renoveringsbehov skulle en energibesparing på 3,8 TWh ske, motsvarande 2,6 % av de 144 TWh som bostäder och service stod för år 2019 i Sverige.

Allt fler anser att det finns kulturvärden hos byggnader från miljonprogrammet som är värda att bevara för framtida generationer. Därför är det viktigt att hänsyn tas till byggnadernas kulturvärden när renovering och energieffektivisering sker på dessa byggnader.

Nyckelord: Energieffektivisering, miljonprogrammet, renovering, fasad, kulturvärde, bevara, IDA ICE

Abstract

In 2019 buildings and services stood for 39 % of Sweden's total energy use. In new construction of buildings there is a great focus placed at establishing environmentally friendly buildings with good energy performance. But a large part of Sweden's property portfolio consists of older buildings where energy performance and comfort are low. Many of these older buildings also have a cultural value that needs to be preserved. 20 % of Sweden's property portfolio are constructed during The Million Programme and of these 88 % need renovation. Lately several voices have been raised to carry out the renovations of these buildings carefully with regard to the cultural value. In this study, energy use is investigated in a reference project from The Million Programme where the facade must be preserved. A few energy efficiency measures are implemented and simulated in IDA ICE. The result shows that the energy use is halved by the measures and the primary energy number goes from 159 kWh/m² to below 75 kWh/m² and therefore meets the requirement for *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad* which was the aim of the study. If similar energy efficiency was made for the 750 000 homes in need of renovation in The Million Programme, the result would be a total energy saving of 3,8 TWh which was about 2,6 % of the energy use from residences and services in 2019.

Förord

Detta examensarbete på 30 hp är genomfört vid avdelningen Byggnadsfysik på Lunds Tekniska Högskola under vårterminen år 2022, som en avslutning på civilingenjörsutbildningen i Väg- och vattenbyggnad. Idén om att undersöka möjligheten för energieffektivisering av miljonprogramshus där fasaden ska bevaras uppkom när de olika intresseområdena energieffektivisering, miljonprogrammet och kulturvärden diskuterades inför examensarbetet.

Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare, Petter Wallentén och Stephen Burke som med kunskap och engagemang väglett oss genom arbetet. Ett extra speciellt tack riktas till Stephen, som genom sitt jobb på NCC, bidragit med byggnadstekniska handlingar och information kring referensprojektet i Halmstad. Tack för att ni tog er tid att handleda oss.

Lund i maj 2022

Anton Svensson och Albin Vasteresson

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Abstract	v
Förord	vii
Innehållsförteckning	ix
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och Mål.....	2
1.3 Problemformuleringar	2
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Övergripande metod	3
2 Teori och litteraturstudie	5
2.1 Lagar, klassificeringar och märkningar av kulturhistoriskt värdefulla byggnader	5
2.1.1 Märkningar i detaljplan.....	5
2.1.2 Byggnadsminnen	6
2.1.3 Plan- och bygglagen	6
2.2 Miljonprogrammets historia och fakta.....	6
2.2.1 Rekordåren.....	6
2.2.2 Miljonprogrammet.....	7
2.2.3 Hustyper under miljonprogrammet.....	7
2.3 Bevarande av kulturvärden	8
2.3.1 Bevarande av miljonprogramshus	10
2.4 Energieffektivisering	11
2.4.1 Energianvändningen i byggnadsbeståndet och målsättningar	11
2.4.2 Energieffektivisering av äldre byggnader.....	11
2.4.3 Energieffektivisering av miljonprogramshus.....	12
2.4.4 Energieffektiviseringsåtgärder hos byggnader	12
2.5 Pågående projekt.....	14
2.5.1 Spara och bevara.....	14
2.5.2 1900-talets villabebyggelse	14
2.5.3 Energieffektivisering & inomhusklimat i 1970-talets kulturmiljöer i Piteå	14
2.6 Aktuell forskning.....	15
2.6.1 Brukarbeteende	17
3 Metod.....	19
3.1 Referensprojektet.....	19
3.2 IDA-simulering.....	20
3.2.1 Innan renovering.....	21
3.2.2 Efter renovering.....	23
4 Resultat och analys	27
4.1 Grundmodell utan värmepump	28
4.1.1 Kontroll av byggnadsmodell i IDA	29
4.1.2 Analys av grundmodell utan värmepump	32
4.2 Grundmodell med värmepump	32
4.2.1 Analys av grundmodell med värmepump.....	33
4.3 Fall A- Sänkt inomhustemperatur.....	34
4.4 Fall B- Ny frånluftsvärmepump.....	35

4.5 Fall C- Nya fönster	36
4.6 Fall D- Tilläggsisolering av taket	37
4.7 Fall E- Solceller på taket.....	38
4.8 Sammanställning av resultat	40
5 Diskussion	41
5.1 Felkällor.....	42
5.2 Påverkan av avgränsningar	44
5.3 Konsekvenser av resultat	45
5.4 Applicering av resultat på Sveriges byggbestånd	46
6 Slutsatser.....	47
7 Framtida utvecklingsmöjligheter	49
8 Referenser.....	51

1 Inledning

Denna rapport är ett avslutande examensarbete i civilingenjörsutbildningen Väg- och Vattenbyggnad inom byggnadsfysik på Lunds Tekniska Högskola.

1.1 Bakgrund

Klimatfrågan är en av de mest aktuella frågorna i dagens samhälle som upptar stort fokus inom många områden. FN har 17 hållbarhetsmål varav två av dessa rör minskad klimatpåverkan och tillgång till hållbar energi (FN, 2022). Sverige har i sin tur arbetat fram 16 miljömål där ett av dessa är en begränsad klimatpåverkan (Sveriges miljömål, 2021:1). Jämfört med år 1990 ska Sverige minska utsläppen av växthusgaser till atmosfären med 63 % till år 2030 och 75 % till år 2040 för att senast år 2045 ha nettonollutsläpp (Sveriges miljömål, 2021:1).

Ett sätt att minska utsläppen av växthusgaser och klimatpåverkan är att reducera samhällets energianvändning. Sverige har som mål att energianvändningen skall vara 50 % effektivare år 2030 jämfört med år 2005 och att elproduktionen skall vara 100 % förnybar år 2040 (Energimyndigheten, 2020). År 2019 var energiintensiteten 29 % lägre jämfört med år 2005 och andelen förnybar energi var 56 % (Energimyndigheten, 2021).

Byggnader står idag för en betydande del av energianvändningen i samhället och är därför ett viktigt område för att nå uppsatta klimatmål. 2019 var Sveriges energianvändning 369 TWh varav bostäder och service stod för 144 TWh vilket motsvarar 39 % (Energimyndigheten, 2021).

Vid nyproduktion av byggnader läggs stor fokus på att upprätta miljövänliga byggnader med god energiprestanda. Men en stor del av Sveriges fastighetsbestånd består av äldre byggnader där energiprestandan och komforten kan vara låg. Av Sveriges dryga 5 miljoner bostäder är enbart ca 550 000 byggda efter år 2000 (SCB, 2021).

Det är därför vid åtgärder på de befintliga byggnaderna som den stora energibesparingen kan ske. Renovering av dessa byggnader hade inte enbart kunnat förbättra energiprestandan och därmed ökat chanserna för att nå klimatmålen utan också ökat brukarnas komfort. En femtedel av Sveriges bostäder producerades under åren 1965–1974 i det så kallade miljonprogrammet. Många av dessa bostäder är idag i ett stort behov av renovering för att kunna möta dagens krav på komfort och energieffektivitet (Boverket, 2020).

Det finns många olika sätt att minska energianvändningen, och en vanlig energibesparingsåtgärd är att tilläggsisolera fasaden. Detta ändrar dock utseendet på byggnaden och områdets karaktär. Ibland är det nödvändigt att bevara utseendet på grund av önskemål eller klassificering. Bevarande av äldre byggnader från 1800-talet och runt sekelskiftet har under en längre period varit en aktuell fråga, men på senare år

Energieffektivisering av miljonprogramshus

har allt fler röster höjts för att även nyare bebyggelse skall bevaras där byggnader från miljonprogrammet är en viktig del av vårt lands historia. Museiteknikern Lindblom menar att sådan bebyggelse har ett stort kulturvärde och är viktigt att bevara intakt även för framtida generationer (Lindblom, 2003). Ett antal byggnader från miljonprogrammet har blivit klassificerade som kulturhistoriskt värdefulla och skyddade i kommunala byggplaner, men väldigt många har också renoverats ovarsamt där karaktärsdragen och dess kulturella värde minskat. Det är enligt bebyggelseantikvarie Roos därför viktigt att fler byggnader från denna epok blir skyddade om de ska bevaras med sina karaktärsdrag för framtiden (Roos, 2009). Enligt Boverket och Energimyndighetens rapport *Underlag till strategi för energieffektiviserande renovering* är det viktigt att hänsyn tas till kulturvärdet och renovering sker varsamt när byggnader med kulturvärde skall energieffektiviseras (Boverket & Energimyndigheten, 2019). Energimyndigheten har också initierat ett forskningsprogram som heter *Spara och bevara*, med syftet att öka kunskapen om energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Målet är att bidra med kunskap om energieffektiviseringsåtgärder utan att förstöra det kulturella värdet (Spara och bevara, 2022:1).

Detta examensarbete inriktar sig därför mot renoveringar för energibesparing när fasaden ska bevaras.

1.2 Syfte och Mål

Syftet med examensarbetet är att undersöka energieffektiviseringsåtgärder vid renoveringar av miljonprogramshus när fasaden ska bevaras. Målet är att redovisa effekterna som de undersökta energieffektiviseringsåtgärderna kan ha på energianvändningen i ett referensprojekt.

1.3 Problemformuleringar

I rapporten kommer följande frågor att undersökas:

- I vilken mån är det aktuellt att bevara fasaden hos miljonprogramshus?
- Hur stor andel av miljonprogramshuset är i behov av energieffektivisering?
- Vilka blir effekterna av energieffektiviseringsåtgärderna på energianvändningen i referensprojektet?
- Uppfylls kravet för *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad* gällande energi i referensprojektet?

1.4 Avgränsningar

Rapporten kommer inte innehålla någon undersökning kring fukt och innemiljö eller beakta den ekonomiska aspekten. I stället kommer fokus ligga på förändringen i energianvändning av olika effektiviseringsåtgärder. I första hand är det byggnader från miljonprogrammet som kommer undersökas. Vid energisimuleringar tillämpas enbart programmet IDA ICE. I denna rapport görs även avgränsningen att vid renoveringarna skall originalfasad bevaras med undantaget att fönsterbyten är tillåtet. En annan aspekt som avgränsas är brukarbeteenden som ej beaktas. Detta gör att vädring bortses ifrån samt att ingen undersökning av vattenanvändning genomförs.

1.5 Övergripande metod

Inledningsvis genomförs en litteraturstudie för att undersöka behovet av att bevara fasaden hos miljonprogramshus och hur stor andel av husen som är i behov av renovering och energieffektivisering. Vidare kommer ett miljonprogramshus från ett referensprojekt i Halmstad att användas för att genomföra energisimuleringar där energieffektiviseringsåtgärder testas. Energisimuleringar genomförs i IDA ICE för att analysera effekterna av energieffektiviseringsåtgärderna. En jämförelse mot kravet i *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad* gällande energi genomförs.

Energieffektivisering av miljonprogramshus

2 Teori och litteraturstudie

En teoretisk genomgång av bevarande, gällande lagar, miljonprogramshus, energieffektivisering och relevanta genomförda och pågående projekt genomförs för att undersöka relevansen av att bevara fasaden vid energieffektivisering av miljonprogramshus. Litteraturen har hittats via sökningar på LUBSearch, LUBcat, LUP Student papers, Spara och Bevaras kunskapsdatabas, Energimyndigheten och Boverket. Sökorden som används överensstämmer med rapportens nyckelord.

2.1 Lagar, klassificeringar och märkningar av kulturhistoriskt värdefulla byggnader

2.1.1 Märkningar i detaljplan

K-märkning är ett begrepp som ofta används när man pratar om kulturhistoriskt värdefulla byggnader som inte får förvanskas. Detta är dock ingen märkning eller klassificering som i dagsläget finns, utan används som ett samlingsbegrepp för olika typer av lagskydd för byggnadsverk och miljöer. Tidigare kunde områden eller enskilda byggnadsverk bli K-märkta i stadsplanen, men idag används andra märkningar och lagskydd för att bevara värdefull bebyggelse. Kommuner kan genom sitt planmonopol styra över bebyggelsen inom kommunen vilket regleras i Plan- och bygglagen. I detaljplanen kan särskilt värdefulla områden markeras med ett Q, vilket innebär att användningen av området skall anpassas till den befintliga bebyggelsens kulturvärde. Enskilda byggnader som har ett särskilt kulturhistoriskt värde kan bli märkta med q vilket innebär att byggnaden inte får förvanskas. I skyddsbestämmelserna som anges i plankartan preciseras vad som inte får förvanskas vilket också kan gälla icke bygglovspliktiga åtgärder såsom interiören. Detta är det starkaste skyddet en kommun kan ge en byggnad i detaljplanen. (Riksantikvarieämbetet, 2021)

I detaljplanen kan en byggnad också bli k-märkt vilket innebär att byggnadens karaktär måste bevaras och hänsyn tas till dess kulturhistoriska värde vid ombyggnad. Detta preciseras i varsamhetsbestämmelserna i plankartan vilket exempelvis kan vara fasadfärg eller utformning av fönster. Till skillnad från q-märkning kan endast bygglovspliktiga åtgärder regleras med k-märkning. Kommuner kan också förse en byggnad med ett rivningsförbud vilket innebär att byggnaden inte får rivas. Detta skyddar dock enbart byggnadens stomme, vilket gör att det ofta kompletteras med ytterligare varsamhetsbestämmelser för att skydda byggnaden som helhet. (Riksantikvarieämbetet, 2021)

2.1.2 Byggnadsminnen

Utöver skydd som kommuner kan ge i detaljplanen kan även länsstyrelsen ge skydd för historiskt värdefulla byggnader. Detta genom att markera dem som byggnadsminnen. Enligt den första paragrafen i det tredje kapitlet i kulturmiljölagen kan byggnader eller bebyggelse som har ett synnerligen högt kulturhistoriskt värde förklaras som ett byggnadsminne. I 3 kap. § 1 anges att det är länsstyrelsen som ansvarar för att utreda och besluta om vilka byggnader som ska bli byggnadsminne. (SFS 1988:950) Enligt 3 kap. § 3 utformar de även skyddsbestämmelserna som anger vad och hur byggnaden skall bevaras, men det ska i största möjliga mån ske i samförstånd med byggnadens ägare (SFS 1988:950). I 3 kap. § 14 anges att länsstyrelsen även sköter tillsynen av byggnadsminnen och beslutar om ändringar av byggnaden som strider mot skyddsbestämmelserna skall godkännas (SFS 1988:950). Om en fastighetsägare gör något som bryter mot skyddsbestämmelserna kan denne få ett föreläggande och bli skyldig att återställa det som ändrats eller skyldig att betala vite enligt 3 kap. § 16.

Statligt ägda byggnader kan bli statliga byggnadsminnen vilket beslutas av regeringen efter framställning från Riksantikvarieämbetet. Det är då Riksantikvarieämbetet som ansvarar för tillsyn av det statliga byggnadsminnet och ger den berörda myndigheten underlag för rätt förvaltning. De för även ett register över samtliga byggnadsminnen och år 2021 fanns det strax över 2400 byggnadsminnen varav ca 200 statliga byggnadsminnen. (Boverket, 2021)

2.1.3 Plan- och bygglagen

Utöver märkningar och klassificeringar som skyddar byggnadsverk med ett stort kulturellt värde finns det i PBL ett skydd för alla byggnader. Förvanskningförbudet preciseras i 8 kap. § 13 där en byggnad som är särskilt värdefull ur ett kulturhistoriskt perspektiv inte får förvanskas (SFS 2010:900). Varsamhetskravet som anges i 8 kap. § 17 innebär att ändring av en byggnad skall göras varsamt med hänsyn till byggnadens karaktärsdrag så att det kulturhistoriska värdet bevaras (SFS 2010:900). En byggnad måste också underhållas och vårdas så att det kulturhistoriska värdet bevaras och anpassas till omgivningens karaktär enligt 8 kap. § 14 (SFS 2010:900).

2.2 Miljonprogrammets historia och fakta

2.2.1 Rekordåren

Under tidsperioden 1961–1975 byggdes en betydande del av Sveriges bostadsbestånd. Tidsperioden kom att kallas rekordåren då takten på bebyggelse var rekordhög. Anledningarna till denna utbyggnad av bostadsbeståndet var flera och de hade sin grund i de stora samhällsförändringarna som pågick. (Vidén & Lundahl, 1992)

Efter andra världskriget startade en kraftig ekonomisk tillväxt i Sverige till följd av en stor expansion hos industri och näringsliv samt offentliga sektorn. Denna högkonjunktur höjde levnadsstandarden hos befolkningen som nu kunde efterfråga och konsumera på ett annat sätt än tidigare. De vanligtvis stora hushållen splittrades nu och i stället ökade antalet hushåll eftersom allt fler hade råd med egna bostäder. Det

expanderade näringslivet medförde att den urbanisering som tenderat sedan sekelskiftet accelererade, när nu allt fler jobbmöjligheter fanns i städerna. Expansionen var stor och urbaniseringen inte tillräcklig för att täcka det behov av arbetskraft som fanns. Därför rekryterades arbetskraft till industrierna även från utlandet. I samband med en ökad invandring och en bättre levnadsstandard ökade Sveriges befolkning snabbt. Det fanns nu en stor efterfrågan efter bostäder, framför allt kring tätorter och storstäder där en bostadsbrist blev ett faktum. För att möta efterfrågan på bostäder och samtidigt höja boendestandarden inleddes en intensiv byggperiod mellan år 1961–1975, de så kallade rekordåren. (Vidén & Lundahl, 1992)

2.2.2 Miljonprogrammet

Byggtakten hade höjts kraftigt redan under mitten av 1950-talet för att sedan fortsätta öka under början av 1960-talet. Politiker var aktiva i att driva på exploateringen av bostadsmarknaden och år 1965 togs ett riksdagsbeslut om att en miljon bostäder skulle byggas under en tioårsperiod mellan år 1965–1974. (Vidén, 2012) Samtidigt hade ökade byggnadskostnader vid nyproduktion startat en kostnadspress i produktionen och planeringen. Ny byggteknik och maskinella hjälpmedel togs fram, exempelvis prefabricerade byggdelar och kraftigare byggkranar, vilket gav en effektivare produktion och samtidigt planerades projektens utformning noggrannare. (Vidén & Lundahl, 1992) Detta låg till grund för att det så kallade miljonprogrammet kunde genomföras lyckosamt. Totalt producerades 1 005 578 bostäder i Sverige under åren 1965–1974 vilket idag utgör närmare en femtedel av Sveriges bostadsbestånd (Boverket, 2020).

2.2.3 Hustyper under miljonprogrammet

Det byggdes främst flerbostadshus men även villor och andra småhus under miljonprogrammet. Fördelningen av hustyper bland flerbostadshusen varierade där de vanligaste hustyperna var lamellhus, skivhus, punkthus och loftgångshus (Vidén & Lundahl, 1992).

Den hustyp som byggdes mest under miljonprogrammet var lamellhus med två till fyra våningar. I ett syfte att anpassa efter de nya produktionsmetoderna byggdes husen på plangjord mark och parallellställda. Lamellhusens typiska utseende under denna tidsperiod var att de bestod av en betongstomme med genomgående bärande innervägg, hade ett plant eller svagt lutande tak, utanpåliggande eller indragna balkonger och fasadmateriell i tegel, puts, betong eller vit kalksandsten. Utöver husens typiska form av en avlång rektangel, hade de minst två våningar och minst två trapphus samt nästintill fönsterlösa gavlar. Eftersom det var först under 1970-talets slut som hisskrav infördes för byggnader på tre våningar eller fler, byggdes lamellhusen utan hiss. (Björk, Kallstenius & Reppen, 2013)

En annan hustyp som uppfördes frekvent under miljonprogrammets början var skivhus. Hustypen skivhus är höga lamellhus som under denna period vanligen byggdes med åtta till nio våningar. Husens utseende är följaktligen densamma som ovan beskrivna lamellhus fast inkluderat hiss. (Björk, Kallstenius & Reppen, 2013)

Hustypen loftgångshus blev vanligare under miljonprogrammets avslutande år då diskussionen kring hiss blev aktuell. Loftgångshusen har ett liknande utseende som de lamellhus som producerats i stora mängder under tidsperiodens inledning. Det som skiljer dem åt är att loftgångshusen har ett centrerat utanpåliggande trapphus med hiss. Från detta trapphus går sedan loftgångar utanför husfasaden till bostadsentréerna. På detta vis behövdes enbart en hiss för att betjäna hela flerbostadshuset vilket var ekonomiskt fördelaktigt. Loftgångshusen byggdes oftast i tre våningar under miljonprogrammet. (Björk, Kallstenius & Reppen, 2013)

Hustypen punkthus byggdes också under miljonprogrammet men dess utformning skiftade en aning under tidsperioden. Under programmets början karakteriseras punkthusen av ett högt våningsantal och kvadratiska våningsplan för att under slutet minska en aning i våningsantal och få ett mer utbrett våningsplan. Typiskt utseende för punkthus på den här tiden är att trapphuset ligger centralt i husets kärna, det har en betongstomme med bärande innerväggar, ett plant tak utan utsprång, fönster som vetter åt alla håll och fasadmateriäl i tegel, betong eller puts. Vanligtvis innehåller varje våningsplan fyra lägenheter där varje lägenhet har fönster som vetter åt två håll. (Björk, Kallstenius & Reppen, 2013)

2.3 Bevarande av kulturvärden

Vad som är värt att bevaras beror på vem man frågar när det gäller byggnader enligt universitetslektorn i sociologi och arbetsvetenskap Bogdanova (2020). Hon menar att trots de av Riksantikvarieämbetet och museer framtagna arbetsmodeller för bedömning av kulturhistoriska byggnader så finns det stora skillnader beroende på vem som gör bedömningen. Anledningen till skillnaden grundar sig i olika syn på värde och bevarande i olika yrkesgrupper involverade i byggnadsvård, klassificering och värdering. En civilingenjör eller ekonom fokuserar på och ser andra värden än en arkitekt och antikvarie som fokuserar på det estetiska och tidsenliga medan en lekman eller aktivist kan se helt andra värden. Detta gör att värderingar och bedömningar av vilka byggnader, detaljer eller byggnadsdelar som är värda att bevara, och på vilket sätt de skall bevaras skiljer sig. För att få en samlad bild bör därför samarbete ske mellan olika grupper för att på så sätt få en bredare bedömning som speglar samhällets värdering. (Bogdanova, 2020)

Byggnadsvård och bevarande har blivit alltmer populärt under 2000-talet. Enligt museiteknikern Lindblom (2003) som arbetar med byggnadsvård, vill allt fler använda rätt material och byggnadsteknik vid renovering av äldre hus, vilket har lett till att flera byggnadsvårdscentrum öppnat i landet. Många äldre hus bevaras och renoveras varsamt i stället för att rivras och byggas nytt vilket tidigare var vanligare. Men intresset för bevarandet är främst fokuserat mot hus från 1800-talet och äldre. Lindblom menar dock att även nyare bebyggelse har ett lika stort värde och behov av att bevaras för framtida generationer. I sin text Bevara eller förfara skriver han att det idag ofta kritiserats hur ovarsamt äldre bebyggelse hanterades under 1900-talet när väldigt mycket revs och ersattes med modernare byggnader, inte minst under rekordåren. Idag sker dock samma sak med de hus som byggdes då, de renoveras ovarsamt eller rivs för att ge plats åt modernare byggnader. Han menar att de ännu inte blivit tillräckligt

Energieffektivisering av miljonprogramshus

gamla för att deras värde ska uppskattas. Han drar paralleller till hur man under 1980-talet i stor utsträckning gjorde om funkiskök från 30 och 40-talet och ersatte med allmogekök som då var trendigt. Men idag har funkishusen blivit så gamla att de återigen blivit trendiga och många återställer köket funkis eller rentav bygger nytt hus i funkisstil.

I Halland gjordes mellan år 2005 och 2010 en omfattande inventering av länets drygt 130 000 byggnader där 10 000 av dessa ansågs kulturhistoriskt värdefulla. Bebyggelsen beskrevs och klassificerades i projektet som var ett led i arbetet mot att uppnå miljömålet om en god bebyggd miljö. Arbetet var ett samarbete mellan de halländska kommunerna, länsstyrelsen och Kulturmiljö Halland. Genom att kombinera statistik över försäljningar av fastigheter med underlaget från inventeringen visade undersökningen att kulturhistoriskt värdefulla byggnader säljs dyrare än övrig bebyggelse. För att utesluta andra orsaker till marknadens högre värdering av byggnaderna genomfördes undersökningen genom att jämföra förhållandet mellan köpesumman och taxeringsvärdet, vilket visade sig vara större ju större kulturhistoriskt värde byggnaden hade. I en enkätundersökning riktad mot ägare till de undersökta byggnaderna menade en majoritet att de var beredda att betala 10–30% mer för en byggnad där karaktärsdragen bevarats. (Axelsson, 2013)

En liknande studie gjord för byggnader i Oslo visade också att byggnader med kulturhistoriskt värde eller klassificering värderas uppemot 7% högre än övrig bebyggelse när andra faktorer såsom läge och ålder borträknas. Möjliga anledningar till marknadens högre värdering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse är enligt skribenten den tilltalande miljön som byggnaderna bidrar till tillsammans med de arkitektoniska och hantverksmässiga kvaliteter som byggnaderna har, men också den stabilitet de bidrar med genom minskad risk för rivning och förändring i bebyggelsen. (Stige, 2013)

Energieffektivisering och renovering av kulturhistoriskt värdefulla byggnader behöver ske med varsamhet enligt Boverkets & Energimyndighetens rapport (2019), *Underlag till strategi för energieffektiviserande renovering*. För att inte riskera att kulturvärden förloras eller förvanskas måste avvägningar göras med avseende på vilka åtgärder som kan genomföras och hur de skall anpassas till den specifika byggnadens värden. Energieffektivisering måste vägas mot innemiljön och de värden som finns och riskerar att förloras vid vissa åtgärder. Eftersom det finns kulturhistoriskt värdefulla byggnader från medeltiden, men också nutida, måste åtgärderna och tillvägagångssättet anpassas efter varje unik byggnad och dess förutsättningar. Som utgångspunkt bör metoder och material vara samma som byggnaden först byggdes av. Detta både för att inte estetiskt förstöra utseendet, men också då det finns en ökad risk för fuktproblem och mögel om nya byggsystem och material blandas med gamla utan rätt kunskap. Fönsterbyte är en vanlig åtgärd som kan minska energianvändningen, men som också påverkar utseendet och uttrycket på hela byggnaden. Ett felaktigt fönsterbyte kan enligt rapporten göra att kulturvärden och estetiska värden går förlorade, vilket gör det viktigt att beakta de kulturvärden som finns och anpassa åtgärderna efter det. I stället för att byta fönster, kan de befintliga fönsterrutorna invändigt kompletteras med en extra isolerglasruta,

som med rätt teknik blir tämligen diskret, samtidigt som det förbättrar ljudnivån och kan minska byggnadens energianvändning upp till 18 %, utan att skada utseendet och kulturvärdet.

2.3.1 Bevarande av miljonprogramshus

Miljonprogramshus har sedan de byggdes varit mycket omdiskuterade och kritiserade för sin storskalighet och upprepning. Enligt bebyggelseantikvarien Roos har ofta utformningen och arkitekturen beskyllts för att bidra till de problem med segregation och kriminalitet som miljonprogrammet ofta förknippas med. Därför har kommuner och fastighetsägare genomfört mycket förändringar i samband med olika åtgärds paket som lanserats för att höja statusen i många miljonprogramsområden med dåligt rykte. Åtgärderna som genomförts är allt ifrån sociala åtgärder, till renovering och rivning. Men de senaste årtiondena har allt fler röster höjts för att bevara och betrakta även hus från miljonprogrammet som en del av kulturarvet värt att bevara för framtiden. Runt millennieskiftet började uppmärksamheten runt det moderna kulturarvet öka i samband med statliga satsningar och Riksantikvarieämbetets projekt "*Storstadens arkitektur och kulturmiljö*" som pågick 1999–2001. Projektet syftade till att ta vara på och stärka storstadens kulturarv genom att synliggöra och öka kunskapen om dem. Boken "*Förändra varsamt*", utgiven 2004 av Riksantikvarieämbetet tar också upp hur äldre bebyggelse visas mycket större hänsyn jämfört med den från rekordåren som också förtjänar uppmärksamhet och varsamhet. Både intresset och kunskapen om miljonprogrammets värden har ökat och debatterats allt flitigare där Ylva Blank, doktorand vid Göteborgs universitet som studerat miljonprogrammets utveckling, menar att det borde finnas byggnadsminnen från även den epoken, med tanke på att de utgör en fjärdedel av alla lägenheter i Sverige. (Roos, 2009)

Det finns flera exempel där byggnader från denna epok blivit skyddade, tex i Bergsjön i Göteborg där fem 8-vånings punkthus och ett loftgångshus från 60-talet blivit q-märkta i kommunens plan (Roos, 2009). Ett annat projekt från Göteborg är Skolspåret i Hjällbo som fick byggnadsvårdsbidrag för upprustningen av en övertäckt gångväg med stor betydelse för området karaktär. Projektet omfattade även varsam renovering av bostadshuset och väckte stor debatt och diskussioner om att göra Skolspåret till byggnadsminne kom upp, men så blev aldrig fallet. Trots det ökade intresset för bevarande av miljonprogrammet är det fortfarande relativt få byggnader som faktiskt blivit skyddade i kommunernas planer och av kulturminneslagen. Enligt skribenten kan det bero på att de fortfarande på många håll har ett dåligt rykte och dess karaktärsdrag ofta förknippas med utanförskap och problem. Eftersom många områden redan ändrats mycket är det viktigt att byggnader med bevarandevärda karaktärsdrag får skydd om de ska undgå ovarsamma renoveringar och bli bevarade för framtida generationer. (Roos, 2009)

2.4 Energieffektivisering

Begreppet energieffektivisering innebär en minskad energianvändning för en aktivitet samtidigt som den fortfarande ger samma funktion. Förutom den ekonomiska vinningen för fastighetsägaren av en energieffektivare byggnad samt en förbättrad innemiljö, är vinningen med en minskad energianvändning att den energiproduktion som bidrar till utsläpp av koldioxid, kväveoxider, svaveldioxid och partiklar minskas. För att framgångsrikt kunna nå de högt satta energi- och klimatmålen i Sverige är energieffektivisering en nödvändighet. Energieffektivisering kan tillämpas i de flesta aktiviteter som har en energianvändning och det kan uppnås genom antingen tekniska åtgärder eller genom beteendeförändringar. Allt från att isolera byggnader till att utbilda personal om energieffektivt resursanvändande eller tillämpa mer energieffektiva produkter och produktionstekniker är exempel på energieffektivisering. (Naturvårdsverket, 2022)

Vid renoveringar påverkas även inneklimatet och därmed fuktförhållandet i byggnaden och konstruktionen. Det är därför viktigt att vid energieffektiviserande renoveringar beakta hur bland annat fuktsäkerheten och den termiska komforten påverkas av de tänkta åtgärderna.

2.4.1 Energianvändningen i byggnadsbeståndet och målsättningar

På uppdrag av regeringen har Boverket tillsammans med Energimyndigheten tagit fram ett underlag i form av en rapport gällande långsiktig renoveringsstrategi för det nationella byggnadsbeståndet. I denna rapport framgår att byggnadsbeståndet år 2017 stod för hela 39 % av energianvändningen i Sverige. De största energiposterna hos byggnadsbeståndet är uppvärmning och varmvatten som tillsammans utgör cirka 60 % av energianvändningen. Sverige arbetar idag med att minska sin klimatpåverkan och en omfattande del av detta arbete ligger i att minska landets energianvändning. Det finns högt satta energi- och klimatmål om att till år 2030 nå 50 % effektivare energianvändning jämfört med år 2005, att ha ett förnybart elsystem till år 2040 och att ha nettonollutsläpp av växthusgaser år 2045. För att kunna realisera målen krävs en omfattande energieffektivisering i samhället och där är byggnadsbeståndet med sina 39 % av Sveriges totala energianvändning ett område med stor utvecklingspotential. (Boverket & Energimyndigheten, 2019)

2.4.2 Energieffektivisering av äldre byggnader

Sveriges byggnadsbestånd består till stor del av äldre byggnader med låg energieffektivitet och det är främst där som de stora energibesparingarna kan ske. Många av dessa byggnader är idag 40 år eller äldre och om de inte har genomgått renovering kan det antas att ett stort renoveringsbehov råder. Det är vid dessa renoveringar som möjligheter för energieffektiviserande åtgärder finns. Anledningen till att just byggnader med byggår 1980 eller tidigare har en stor potential för energieffektivisering är för att det först år 1980 infördes en ny svensk byggnorm som reglerade maximal energianvändning och satte krav på isoleringsförmågan hos byggnader vilket tidigare inte fanns angivet i byggreglerna. I Boverkets & Energimyndighetens rapport (2019) redovisas att enbart mellan 15–20% av byggnader som är 40 år eller äldre förväntas ha genomgått renoveringar vid år 2020. Det är därför

Energieffektivisering av miljonprogramshus

en stor andel av byggnadsbeståndet som är i behov av renoveringar och om energieffektiviserande åtgärder genomförs vid renoveringarna kommer inte bara den tekniska kvalitén och komforten ökas utan också stora energibesparingar att ske.

Boverket och Energimyndigheten (2019) konstaterar att det sker energieffektivisering i det svenska byggnadsbeståndet vid renoveringar, men att renoveringstakten bland det äldre beståndet inte är tillräcklig gentemot satta energi- och klimatmål. Potentialen för energieffektivisering är stor men hårdare krav och ökade incitamenten behövs för att undanröja kvarstående hinder. Idag har Sverige flera olika styrmedel och strategier som ska ge incitamenten för att genomföra energieffektiviserande renoveringar. Dessa styrmedel delas in i fyra kategorier vilka är ekonomiska, informativa, administrativa och forskning & innovation. Ekonomiska styrmedel kan exempelvis vara energi- och koldioxidskatt samt rotavdrag medan informativa styrmedel kan vara energideklaration och energimärkning. Administrativa styrmedel kan vara hyressättningssystem, byggregler och miljöbalken medan styrmedel i forskning & innovation kan vara projekten *Spara och bevara* samt *Design för energieffektiv vardag*.

2.4.3 Energieffektivisering av miljonprogramshus

En betydande del av Sveriges byggnadsbestånd uppkom under miljonprogrammet och många av de bostäderna är idag i stort behov av renovering. Enligt Boverkets och Energimyndighetens rapport är andelen av befintliga byggnader med ett renoveringsbehov 82 % respektive 88 % för byggnader uppförda mellan åren 1961–1970 respektive 1971–1980. I arbetet med att energieffektivisera byggnadsbeståndet kommer med andra ord energieffektiviserande renoveringar av miljonprogrammets bostäder vara en väsentlig faktor för ett framgångsrikt resultat. (Boverket & Energimyndigheten, 2019)

2.4.4 Energieffektiviseringsåtgärder hos byggnader

Energieffektivisering av byggnader kan ske på flera olika sätt och det finns en rad olika åtgärder som vid renovering kan genomföras med det primära målet av en minskad energianvändning för byggnaden. Det exakta utfallet av en energieffektiviserande åtgärd varierar från byggnad till byggnad och för att uppnå full effekt av vissa åtgärder krävs det att de sker parallellt med vidare åtgärder. Antalet energieffektiviserande åtgärder som kan genomföras vid en omfattande renovering av en byggnad är stort och varje åtgärd har olika påverkan för en minskad energianvändning. Nedan ges exempel på vanliga energieffektiviserande åtgärder med en påtaglig påverkan av energianvändningen hos en byggnad enligt Värmemarknad Sveriges rapport kring energieffektivisering med effekt. (Månborg, Rensfeldt, Haraldsson & Johnsson, 2019)

Injustering av värmesystem: Att justera in värmesystemet innebär att fördelningen av värme till varje lägenhet respektive varje rums radiatorer justeras på ett sådant sätt att inomhustemperaturen i varje rum håller sig korrekt under de perioder som ett uppvärmningsbehov finns för byggnaden.

Energieffektivisering av miljonprogramshus

Tilläggsisolering av ytterväggar: Att tilläggsisolera ytterväggar innebär att isoleringsförmågan i väggarna höjs genom att ny isolering antingen ersätter eller kompletterar den befintliga isoleringen. Tilläggsisolering kan ske både invändigt och utvändigt om ångspärr, men det sker vanligtvis utvändigt eftersom vid invändig tilläggsisolering löper det risk att fuktproblem uppkommer. Utvändigt tilläggsisolering innebär att ett ingrepp i fasaden genomförs.

Tilläggsisolering av vind/tak: Att tilläggsisolera vind eller tak innebär att isoleringsförmågan i takkonstruktionen höjs genom att ny isolering antingen ersätter eller kompletterar den befintliga isoleringen. Det är vanligt i äldre byggnader att isoleringsgraden är låg i takkonstruktionen jämfört med dagens standarder. Vid tilläggsisolering av kallvind kan fuktproblem uppkomma om inte fuktstyrd ventilation installeras.

Fönsterbyte: Att genomföra ett fönsterbyte innebär att befintliga fönster byts ut mot tätare och bättre isolerade fönster. Dagens standard är att nya fönster är av typen 3-glas vilka har en betydligt högre värmeisoleringsförmåga än befintliga fönster som vanligtvis är 2-glas.

Installation av ventilation med värmeåtervinning: Att installera ett ventilationssystem med värmeåtervinning, FTX-system, innebär att värmen i frånluften återvinns i en värmeväxlare och används för att förvärma tilluften.

Byte av ventilationsfläktar: Att byta befintliga ventilationsfläktar mot nya energieffektiva fläktar innebär ett effektivare ventilationssystem. Bytet medför oftast även att styrningen av ventilationen optimeras för byggnaden.

Byte av värmepump: Att installera en ny modern värmepump innebär oavsett värmesystem en ökad värmefaktor, COP-tal, hos värmepumpen vilket medför ett effektivare värmesystem.

Byte av belysningsarmaturer: Att byta befintlig belysning till ny modern belysningsarmatur innebär effektivare belysning. Bytet medför oftast även att styrningen av belysningen optimeras för byggnaden.

Vattenbesparing: Att byta befintlig vattenarmatur till en ny modern snålspolande armatur kan innebära en effektivare användning av vatten.

Installation av solceller: Att installera solceller innebär att byggnaden från solstrålning tillverkar egen förnyelsebar el som den kan använda. Under sommarmånaderna är det vanligt att en överproduktion sker gentemot byggnadens elanvändning och då sker vidareförsäljning till elnätet.

2.5 Pågående projekt

Utöver renoveringen och upprustningen av tidigare nämnda Skolspåret i Hjällbo som gjorts med hänsyn till områdets kulturhistoriska värde redovisas nedan två andra projekt där hänsyn tas till kulturvärdet i byggnader från 1900-talet och miljonprogrammet. Båda är med och finansieras av forskningsprogrammet Spara och bevara som beskrivs nedan.

2.5.1 Spara och bevara

Spara och bevara är ett forskningsprogram som initierats och finansierats av Energimyndigheten. Syftet med programmet är att bidra med kunskap och tekniska lösningar för att energieffektivisera byggnader utan att dess kulturhistoriska värde förvanskas (Spara och bevara, 2022:1). Sedan 2007 har Energimyndigheten finansierat programmet och den fjärde etappen som sträcker sig från år 2019 till år 2024 har en budget på 50 miljoner kronor. Programmet koordineras av Uppsala universitet och inkluderar kulturhistoriskt värdefulla byggnader från alla åldrar och av alla typer (Energimyndigheten, 2019). Under den fjärde etappen har 5 nya projekt beviljats medel från programmet och syftet är att undersöka olika aspekter på energieffektivisering och kulturhistoriska byggnader. Två av dem handlar om bebyggelse från 1900-talet (Spara och bevara, 2020).

2.5.2 1900-talets villabebyggelse

Det ena projektet fokuserar på 1900-talets villabebyggelse där en kartläggning av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse mellan år 1910–1970 görs tillsammans med en undersökning av i vilken utsträckning denna bebyggelse är skyddad mot förvanskning. Syftet med projektet är att bidra till en ökad kunskap om hur energieffektiviseringar kan göras varsamt i kulturhistoriskt värdefulla byggnader utan att dess värde förvanskas. Projektet skall avslutas med en handbok till fastighetsägare med förslag på varsamma energieffektiviseringsåtgärder för 10 vanliga villatyper. Projektet genomförs av Uppsala universitet mellan 2021 och 2024. (Spara och bevara, 2022:2).

2.5.3 Energieffektivisering & inomhusklimat i 1970-talets kulturmiljöer i Piteå

Det andra projektet handlar om energieffektivisering och inneklimat i 1970-talets kulturmiljöer. Syftet är att undersöka hur energieffektivisering av 1970-talets flerbostadshus kan göras på ett varsamt sätt utan att förstöra de kulturhistoriska och arkitektoniska värdena. Det genomförs som en fallstudie på ett flerbostadsområde i Piteå där energianvändning och inneklimat undersöks, tillsammans med kulturvärdering. Ett 3-våningshus och ett 5-våningshus i Zonområdet kommer studeras där inomhusklimat och energianvändningen kommer modelleras, beräknas och mätas under ett års tid, för att sedan kunna studera hur olika åtgärder hade påverkat innemiljön och energianvändningen. Dessa åtgärder analyseras både utifrån tekniska och ekonomiska aspekter för att sedan också undersöka hur de påverkar kulturvärdena på byggnaden och området. Både kommunen, sakkunniga antikvarier och arkitekter, boende och andra berörda skall vara med i analysen och bedömningen av vilka kulturvärden som finns i området, samt hur de riskerar att påverkas av de olika energieffektiviserande åtgärderna som presenteras. Slutligen sammanställs de olika

åtgärds paketerna till olika modeller och scenarier för helhetsbilden med både energiförbättring, inomhusmiljö och kulturvärden för att senare kunna genomföras i praktiken. Tidsplanen för projektet är år 2020–2023. (Spara och bevara, 2022:3).

2.6 Aktuell forskning

Problematiken med att energieffektiviserande åtgärder ofta påverkar utseendet på byggnader är känt sedan länge men har blivit alltmer uppmärksammat under senare år där mer fokus också ligger på byggnader från mitten av 1900-talet däribland miljonprogrammet. Det har redan genomförts forskning om energieffektivisering när de kulturella och arkitektoniska värdena i byggnader och miljöer skall tas hänsyn till och bevaras intakt. Nedan redovisas några forskningsprojekt och studier inom området. Även studier och undersökningar på brukarbeteende och hur det påverkar energianvändningen.

Hållbar och varsam renovering och energieffektivisering av kulturhistoriskt värdefulla byggnader - en förstudie

Energimyndigheten finansierade projektet inom ramen för forskningsprogrammet *Spara och bevara* och det genomfördes av *SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut*. Målet med studien var att sammanställa det nuvarande kunskapsläget, identifiera kunskapsluckor och tillhandahålla kunskap för att minska energianvändningen med 20–40% utan att förstöra byggnadens kulturella värden. Studien visade att det i genomsnitt bör vara möjligt att nå en energibesparing på 20 %, men variationen är stor beroende på den specifika byggnadens egenskaper och eventuella lagskydd. (Ståhl, Lundh & Ylmén, 2011)

Om-renovering: Möjligheten att öka energieffektiviteten och återskapa kulturhistoriska värden

Projektet genomfördes på Chalmers och är en del av *Spara och bevara* med Energimyndigheten som finansiär. Fokus för forskningsprojektet var hur modernisering och energieffektivisering kan ske på byggnader uppförda före år 1945 med bevarande eller till och med återställande av dess kulturella värde. Målet var att ta fram riktlinjer för energieffektivisering till fastighetsägare och kommuner. Ett antal byggnader studerades där resultatet visade att transmissionsförlusterna genom klimatskalet kunde minskas med uppemot 70 %. Dock medför vissa av åtgärderna en ökad risk för fuktproblem i framför allt träbalkar i konstruktionen vilket är viktigt att ta hänsyn till. (Femenías, m.fl., 2019)

Rebo- Strategier för hållbar renovering- fokus på perioden ”folkhemmet”

Projektet genomfördes av Chalmers tillsammans med regioner och kommuner och en rad aktörer inom byggsektorn. Syftet med projektet var att ta fram strategier och beslutsunderlag vid renovering av bostäder från mitten av 1900-talet där både miljö, energi, ekonomi och kulturvärde tas i beaktning. En del av projektet gick ut på att ta fram en strategimatrix som tydligt redovisar hur åtgärder på olika delar påverkar allt ifrån miljö och energi till bevarande och de boende. En fallstudie genomfördes på bostadsområdet Torpa i Göteborg där renovering sedan genomfördes med goda resultat

med ett bredare och tydligare beslutsunderlag än vanligt. (Femenías, Thuvander & Andersson, 2014).

Bevara och energieffektivisera kulturhistoriskt värdefull bebyggelse genom att använda superisoleringsmaterial

Energimyndigheten har genom *Spara och bevara* finansierat projektet som genomförts av Chalmers och Uppsala universitet. Projektet tar upp problematiken om att den största energibesparingspotentialen i byggnader finns i tegelbyggnader, där en utvändigt tilläggsisolering påverkar utseendet och det kulturella värdet. Syftet med projektet var att undersöka vilken effekt ett invändigt superisoleringsmaterial kan ha på energianvändningen i en tegelbyggnad. Två olika material undersöktes och testades i en industribyggnad i Göteborg. Resultaten visade att en 20 mm aerogelbaserad komposit minskade energiförlusterna genom transmission med ca 82 % och ett liknande resultat för vakuumisolerpaneler. Detta hade ungefär motsvarat en 20 % minskning av det totala energibehovet för en byggnad och minskat den förlorade boarean jämfört med vanlig isolering. Dock tydliggjordes problematiken med att praktiskt utföra den invändiga isoleringen på ett effektivt sätt vilket är en utmaning och kräver vidare undersökningar. (Johansson, Wahlgren & Eriksson, 2020)

Energieffektivisering av kulturhistoriska byggnader

Svenska Miljöinstitutet har genomfört projektet tillsammans med aktörer från både näringslivet och akademien som finansierats av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond. Projektet syftar till att undersöka hur energi- och miljökrav kan hanteras vid energieffektivisering och ombyggnad av befintliga byggnader med hänsyn till kulturvärden. Detta eftersom 30 % av byggbeståndet består av byggnader uppförda före andra världskriget, där en besparingspotential finns, men också mycket av landets kulturvärden. Fokus ligger på ifall indikatorerna för Miljöbyggnad behöver justeras och anpassas för byggnader med ett kulturhistoriskt värde. Resultatet visar att vissa indikatorer bör justeras för att byggnader med bevarandebestånd inte ska få en missvisande bedömning utifrån byggnadens förutsättningar där exempelvis utvändigt tilläggsisolering är uteslutet. Främst är det indikatorerna som rör energianvändning, värmeeffektbehov, solvärmelast samt termiskt inneklimat som behöver justeras för dessa byggnader, men också ljudmiljön och byggvarudokumentation för att kunna göra en rättvis bedömning. (Holm & Sandö, 2015)

Byggtekniska åtgärder för energieffektivisering av kulturhistorisk värdefull byggnad

Rapporten är ett examensarbete från Luleå tekniska universitet som syftar till att undersöka och bidra med kunskap om hur kulturhistoriskt värdefulla byggnader kan energieffektiviseras. Studien utgörs av en fallstudie på det gamla rådhuset i Piteå som är en 2-vånings träbyggnad från 1830-talet, där ett antal byggtekniska åtgärder studeras och dess påverkan på energiprestandan undersöks i IDA ICE samtidigt som åtgärdernas påverkan på kulturvärdet bedöms av en expertpanel. Resultatet visade att en minskning av den totala energianvändningen med 20 % är möjligt utan att åtgärderna strider mot reglerna för byggnadsminnesförklaringen som byggnaden har enligt expertpanelen. Den åtgärd som gav störst energibesparing och samtidigt hade en

liten påverkan på kulturvärdet var montering av isolerglas på de befintliga fönsterna samt tilläggsisolering av källaren. (Cruz, 2014)

2.6.1 Brukarbeteende

Brukarbeteende varierar mellan olika personer men det påverkar både energianvändningen och vattenanvändningen i en byggnad. Enligt Owen & Wilhite (1998) kan ändrade brukarbeteenden medföra en besparing på 10–20 % av byggnadens totala energianvändning. I ett projekt från Boverket kallat BETSI har information om bland annat brukarbeteende i svenska byggbeståndet samlats in och sammanställts i rapporter. Vädring är ett brukarbeteende som påverkar både luftkvalitén och energianvändningen. Det rapporteras att 70 % av boende i flerbostadshus vädrar dagligen under uppvärmningssäsongen, där 20 % vädrar hela dygnet medan 50 % vädrar några timmar ([Boverket, 2009](#)). Enligt Svebys brukarindata (2012) genomförs för vädring ett schabloniserat påslag på energianvändningen med 4 kWh/(m² och år).

Energieffektivisering av miljonprogramshus

3 Metod

En studie ska genomföras där energiprestandan hos miljonprogramshus ska utredas och förbättras genom olika energieffektiviserande åtgärder. Ett krav är att fasaden ska bevaras vilket ej möjliggör utvändigt tilläggsisolering, däremot tillåts byte av fönster med förutsättning att likvärdigt utseende bibehålls. Vid studien kommer ett referensprojekt att användas där syftet är att genomföra simuleringar av energieffektiviserande åtgärder vid renovering och inte utvärdera det genomförda projektet. Detta projekt är ett miljonprogramshus som genomgått en energieffektiviserande renovering där fasaden bevarats. Målet med studien är att undersöka vilka effekterna blir i referensprojektet när olika energieffektiviserande åtgärder genomförs och dessutom kontrollera om det är möjligt att uppnå kravet för *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad* gällande energi. Kravet för *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad* gällande energi är att byggnaden har ett primärenergital som är $75 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ eller lägre, vilket motsvarar BBR 29:s nybyggnadskrav för flerbostadshus (2020). Studiens tillvägagångssätt är att simuleringssprogrammet IDA Indoor Climate Energy 4.8 används för att undersöka effekterna av de energieffektiviserande åtgärderna och erhålla indata till beräkningen av byggnadens primärenergital. Framtaget primärenergital jämförs sedan med kravet för *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad*.

3.1 Referensprojektet

Det referensprojekt som ska användas i denna studie finns beläget i Halmstad och trots att byggstart var år 1964 kategoriseras det som ett miljonprogramshus. Byggnaden har genomgått en energieffektiviserande renovering där dess fasad bevarats. Projektet var en del av EU-projektet som heter E2Rebuild och genomfördes av NCC vilket gjort att handledare Stephen Burke, som deltagit i projektet, kunnat bidra med nödvändig information och kunskap kring byggnaden. Byggnaden är ett flerbostadshus med åtta våningsplan samt källare, där bottenplan innehåller lokaler för olika verksamheter och de ovanliggande sju våningsplanen är lägenheter av varierande storlekar, se figur 1 nedan. I denna studie är det enbart energieffektivisering av bostäder som kommer analyseras och därför kommer de sju översta våningsplanen i byggnaden vara de som undersöks. Detta betyder att den uppvärmda ytan, A_{temp} , för referensprojektet är 5998 m^2 .

I boken *Så byggdes husen 1880–2000* identifieras byggnaden som nummer 29, dvs ett skivhus med fasadelement (Björk, Kallstenius & Reppen, 2013). Till att börja med överensstämmer byggstarten väldigt bra med när denna hustyp var som mest populär. Byggnaden har det typiska utseendet som kännetecknar ett skivhus med fasadelement, det består av en betongstomme med genomgående bärande innervägg, har ett plant tak, balkonger är indragna och fasaden består av sandwichelement i betong. Utöver skivhus typiska form av en avlång rektangel, har det dessutom åtta våningar och innehåller två trapphus samt en helt fönsterlös gavel.



Figur 1: Referensprojektet i Halmstad. (Bildkälla: Författarna)

3.2 IDA-simulering

Simuleringsprogrammet IDA Indoor Climate Energy 4.8 används för att undersöka byggnadens energiprestanda och erhålla indata till beräkningen av byggnadens primärenergital. En 3D-modell av byggnaden i befintligt skick före renoveringen byggs upp i IDA ICE utifrån plan- och fasadritningar tillhandahållna från NCC. Grundmodellen modifieras och kompletteras sedan med tänkbara åtgärder vid renovering i form av bättre klimatskal och installationer för att sänka energibehovet och nå gränsen för *Miljöbyggnad Guld befintlig byggnad*. Enbart lägenhetsdelen av byggnaden som består av de 7 översta våningarna medtages i 3D modellen där första våning med butikslokaler och källaren med förråd och tvättstugor bortses ifrån. Eftersom första plan också är uppvärmt antas ingen värmeförlust genom golvet på våning 2. Varje enskild lägenhet ritas som en zon utifrån ritningarna där enbart översta våning och våning 5 ritas för att sedan multipliceras för att motsvara resterande våningsplan med samma planlösning. För att solinstrålningen och skuggningen från omgivande byggnader skall tas med i simuleringen ritas de närmast omgivande byggnaderna in i programmet. Eftersom ingen klimatfil för Halmstad finns i IDA ICE används både placering och klimatdata för Göteborg Säve flygplats. Uppritad 3D-modell av byggnaden i IDA visas i figur 2 nedan.



Figur 2: Uppritad 3D-modell av byggnaden i IDA av grundmodellen med omgivande byggnader. (Bildkälla: Författarna)

3.2.1 Innan renovering

Två olika varianter simuleras för fallet innan byggnaden renoveras. Först simuleras grundmodellen där byggnadens konstruktion ritas upp i IDA med indata presenterad nedanför. I detta fall bortses den frånluftsvärmepump som egentligen finns, för att lättare kunna jämföra modellen med en handberäkning som också genomförs för att verifiera grundmodellen och inställningarna i IDA. Efter verifieringen genomförs ytterligare en simulering av modellen innan renovering, där frånluftsvärmepumpen kopplas in. Denna simulering jämförs sedan med NCC:s energiberäkning, samt en handberäkning för att se om energin till, och besparingen av frånluftsvärmepumpen samt övriga inställningar är i rätt storleksordning.

3.2.1.1 Indata grundmodell utan värmepump

Konstruktionens uppbyggnad och U-värden hämtas från NCC:s energiberäkning som bygger på undersökningar på plats samt typiska konstruktioner för skivhus med fasadelement enligt *Så byggdes husen 1880–2000*. Ytterväggarna består av sandwichelement med ett U-värde på $0,46 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, medan väggarna på balkongerna är träregelväggar med ett U-värde på $0,47 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Yttertaket består av ett betongbjälklag med 80 mm överliggande isolering enligt kontroll av NCC. Takets U-värde är ca $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Det finns både 2-glas och 2+1-glas fönster med U-värde på 3 respektive $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, men i beräkningsmodellen används ett medelvärde på $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ för samtliga fönster i simuleringen.

Byggnadens lufttäthet sätts till $1 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ omslutande area vid en tryckdifferens på 50 Pa vilket baseras på täthetsprovningar utförda av NCC. Enligt inomhustemperaturmätningar gjorda under april och mars år 2009 låg inomhustemperaturen mellan $24 \text{ }^\circ\text{C}$ och $25 \text{ }^\circ\text{C}$, men vid simulering används $23 \text{ }^\circ\text{C}$ då temperaturen vintertid antas vara lägre än under våren då en varmare utomhustemperatur kan ha bidragit till de höga inomhustemperaturerna. Vid en senare mätning med en temperaturlogg under mars var den lägsta uppmätta temperaturen strax över $23 \text{ }^\circ\text{C}$.

Byggnaden ventileras med ett frånluftssystem där ett ventilationsflöde på $0,5 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ används vid simuleringarna. SFP talet är uppskattat till $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ för tidstypiska aggregat. Byggnaden värms huvudsakligen med fjärrvärme via golvvärmslingor. Det finns flera varmvattentankar kopplade till varmvattnet och uppvärmningssystemet med en uppskattad total volym på 10 m^3 , enligt Stephen Burke. I simuleringen av grundmodellen används en Ideal heater i varje zon och simuleringen görs utan värmepump för att lättare jämföra resultatet med handberäkningen. Reglerförlusterna för uppvärmningssystemet sätts till 4 % enligt typiska värden för IDA. Eftersom energianvändningen för tappvarmvatten varierar mycket beroende på brukarnas beteenden används BEN 2:s (2017) schablon för lägenheter på $25 \text{ kWh}/\text{m}^2$ vilket i simuleringen motsvarar $38,5 \text{ l}/\text{person}$ och dygn med en varmvattencirkulationsförlust på $0,5 \text{ W}/\text{m}^2$ och 150 boende i byggnaden. Enligt Burke (2022) var en stor del av ledningarna för varmvattencirkulation oisolerade, och gick genom källare samt oisolerade utrymmen. Därför antas enbart 5 % av förlusterna bidra till uppvärmning av zonerna vilket används i IDA ICE. Reglerförlusterna för uppvärmningssystemet sätts till 5 % likt NCC, där antas också enbart 5 % av dessa förluster komma zonerna till gagn.

Hushållsel antas enligt schablon från BEN 2 (2017) vara $30 \text{ kWh}/\text{m}^2$ där 70 % av denna bidrar till uppvärmningen av zonerna. Omräknat blir detta ca $2,4 \text{ W}/\text{m}^2$ vilket ansätts som lampor med konstant drifttid. Internvärmestillskottet från människor bygger på en uppskattning av att ca 150 personer är skrivna i huset och har en medelaktivitetsnivå på 1 MET. Belysningen i trapphusen ansätts enligt schablon till $2,4 \text{ W}/\text{m}^2$, medan energin till hissar och övrig fastighetsel till pumpar, belysning i källare och utvändigt hämtas från NCC:s energiberäkning. De är tagna från energideklarationen där hissarna årligen använder $18\,200 \text{ kWh}$ medan den övriga fastighetselen är $96\,387 \text{ kWh}$. För att i senare simuleringar kunna tillgodoräkna elproduktion från solceller även för denna fastighetsel sätts hela denna användning in som elutrustning i zon 46. Omräknat blir det $524 \text{ W}/\text{m}^2$ och för att detta inte skall påverka uppvärmningsbehovet i simuleringen ansätts värmeproduktionen från denna utrustning till noll.

3.2.1.2 Kontroll av byggnadsmodell i IDA

Ett sätt för att kontrollera den uppritade modellen av referensprojektet i IDA är att jämföra värdet på byggnadens uppvärmningsbehov vid energisimulering med en handberäkning. Denna kontroll genomförs på byggnaden innan simulering av renoveringen och utan värmepump. För att göra handberäkningarna krävs kännedom

om värmeeffektförbrukning genom alla konstruktionsdelar inklusive köldbryggor samt förlusten genom ventilationen och luftläckage. Först redovisas konstruktionsdelarnas värmeeffektförbrukning följt av köldbryggor och förluster via ventilation och luftläckage innan de summeras till en värmeförlustkoefficient. Med byggnadens transmissions-, ventilations- och infiltrationsförluster summerade till en värmeförlustkoefficient kan gradtimmermetoden tillämpas för att slutligen få ett värde på byggnadens årliga uppvärmningsbehov, vilket ska jämföras med IDA-simuleringens värde. Tillvägagångssätt och resultat från handberäkningen redovisas stegvis under avsnitt 4.1.1.

3.2.1.3 Indata grundmodell med frånluftsvärmepump

I denna simulering används de inställningar som gjorts för grundmodellen, men kompletteras med en frånluftsvärmepump. Det finns två frånluftsvärmepumpar med en effekt på 11 kW varav den ena gick 90 % av årets timmar och den andra gick 10 % av årets timmar under 2008. De är kopplade till både tappvarmvattnet och uppvärmningssystemet som utgörs av golvvärmeslingor. I simuleringar används en förvald värmepump vars effekt korrigeras till 11 kW och COP-talet till 1,5 vilket är uppskattat av NCC utifrån energideklarationen. En cirkulationspump till värmebäraren adderas för att systemet skall fungera. Ideal heatern byts också ut mot radiatorer då ingen golvvärme finns i IDA. Det placeras en radiator i varje zon med en maxtemperatur på 55°C. Resultatet från denna simulering jämförs med resultaten från NCC:s beräkning, samt en handberäkning innan vidare simuleringar med olika renoveringsåtgärder genomförs.

3.2.2 Efter renovering

När grundmodellen är verifierad mot handberäkningen samt jämförd med NCC:s basfall för att säkerställa att alla inställningar är rimliga, genomförs en rad åtgärder för att sänka energianvändningen och slutligen nå målet för *Miljöbyggnad Guld befintlig byggnad*. De olika åtgärderna läggs in i modellen en efter en med utgångspunkt från inställningarna gjorda för grundfallet med en frånluftsvärmepump. Efter varje åtgärd genomförs en simulering samt beräkning av primärenergitalet för att tydliggöra hur åtgärden påverkar husets energiprestanda. Flera av åtgärderna simuleras även separat tillsammans med grundinställningarna, men redovisas inte i resultatet. Nedan presenteras de olika fallen med indata för åtgärderna som fall A till E.

3.2.2.1 Fall A- Sänkt inomhustemperatur

I den första simuleringen efter renovering sänks inomhustemperaturen från 23°C till 21°C. Resultatet av simuleringen presenteras under avsnitt 4.3.

3.2.2.2 Fall B- Ny frånluftsvärmepump

Nästa åtgärd som genomförs är att utöver sänka temperaturen också installera en mer effektiv frånluftsvärmepump för att minska ventilationsförlusterna. För att undvika risken att inställningar blir fel vid egen modellering av värmepumpen väljs en befintlig frånluftsvärmepump i IDA med namnet *SWC 230H*. Den har en värmeeffekt på 22,2 kW, ett COP-tal på 4,32 och därmed en driveffekt på 5,14 kW. Den gamla frånluftsfälkten byts också ut vilket medför en sänkning av SFP talet från 1,5

kW/(m³/s) till 0,75 kW/(m³/s) vilket är ett värde som skall eftersträvas på nya system enligt BBR 29 (2020). Resultatet av simuleringen presenteras under avsnitt 4.4.

3.2.2.3 Fall C- Nya fönster

Utöver de redan gjorda åtgärderna byts också fönsterna ut mot nya lågenergifönster för att minska transmissionsförlusterna. De som väljs är *Elitfönster Original Alu*, vilket är ett 3-glasfönster med isolerruta och ett U-värde på 0,7 W/(m²K). Eftersom detta fönster inte finns i IDA:s databas väljs en annan 3-glasruta med liknande egenskaper, vars U-värde korrigeras till 0,7 W/(m²K). I samband med fönsterbytet förbättras tätningen runt fönsterna som tidigare stod för en stor del av luftläckaget enligt NCC:s undersökningar med spårgas och termografering. Därför antas luftläckaget minska från 1 l/(s·m²) omslutande area till 0,6 l/(s·m²) omslutande area vid en tryckskillnad på 50 Pa enligt NCC. Resultatet av simuleringen presenteras under avsnitt 4.5.

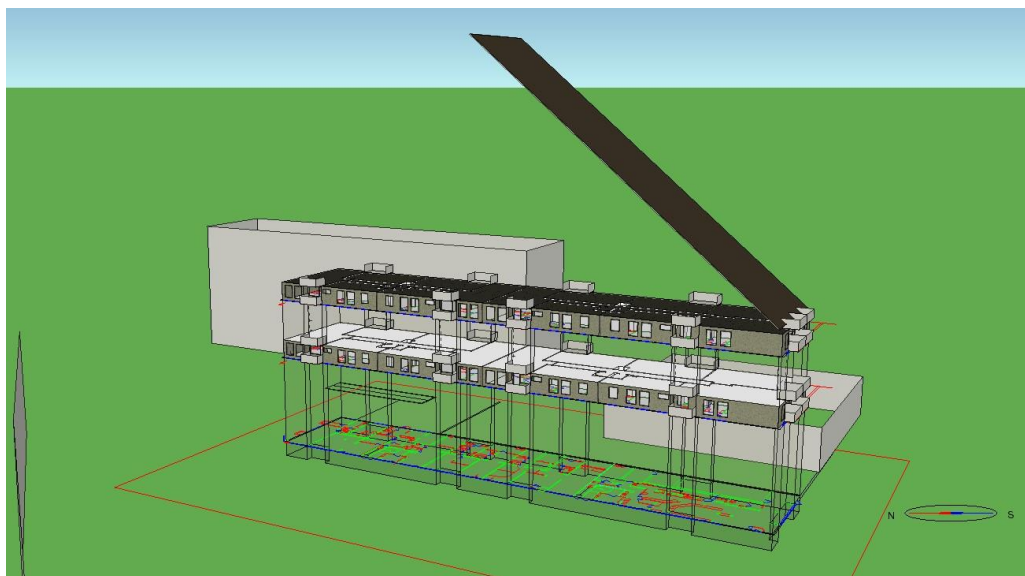
3.2.2.4 Fall D- Tilläggsisolering av taket

För att ytterligare minska byggnadens värmeförlust genom transmission tilläggsisoleras taket. Den tidigare tjockleken på 80 mm isoleringen kompletteras med ytterligare 170 mm till en total isoleringstjocklek på 250 mm. Detta sänker takets U-värde från 0,40 W/(m²K) till 0,14 W/(m²K). Eftersom det finns utrymme i kallvinden hade ett tjockare lager isolering fått plats, men då hade temperaturen sänkts ytterligare i kallvinden vilket ökar risken för fukt och mögelproblem. Dessutom är taket enbart exponerat mot det översta våningsplanet och en allt för tjock isolering påverkar därför inte den totala värmeförlusten i stor utsträckning efter en viss tjocklek. Resultatet av simuleringen presenteras under avsnitt 4.6.

3.2.2.5 Fall E- Solceller på taket

För att minska behovet av köpt el installeras solceller på taket. Den totala takytan är ca 900 m² varav 700 m² uppskattas godtyckligt kunna täckas av solceller placerade i rader utan att de internt täcker varandra och påverkar elproduktionen i stor utsträckning. Verkningsgraden för solcellerna antas till 19 % vilket är i linje med vad som finns på marknaden. Solcellerna vinklas 40° för optimal produktion och följer husets längdriktning vilken är ca 30° från syd mot väst. Endast en stor solcell kan användas i IDA, vilket gör att den börjar på takytan, men lutar 40° och avslutas 44 m över taket i den andra änden vilket gör att skuggningen från andra byggnader blir minimal. Detta antas dock inte påverka elproduktionen och resultatet nämnvärt. Enbart momentan elanvändning får tillgodoräknas från det som solcellerna producerar vid beräkningen av primärenergitalet, vilket är anledningen till att all övrig fastighetsel lagts i zon 46 i IDA vilket beskrivits i avsnitt 3.2.1.1. Resultatet av simuleringen presenteras under avsnitt 4.7. Se uppriktad 3D-modell av byggnaden i IDA av Fall E i figur 3 nedan.

Energieffektivisering av miljonprogramshus



Figur 3: Uppritad 3D-modell av byggnaden i IDA av Fall E med omgivande byggnader och solceller. (Bildkälla: Författarna)

Energieffektivisering av miljonprogramshus

4 Resultat och analys

Nedan redovisas resultaten från studien. Redovisningen sker fall för fall och innehåller en tabell med energianvändning från IDA-simulering samt en sammanställd tabell där byggnadens beräknade primärenergital presenteras. Det framtagna primärenergitalet jämförs sedan med kravet för *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad* gällande energi, vilket är $75 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ eller lägre. Primärenergitalet beräknas enligt BBR 29 (2020) vilket redovisas nedan.

$$EP_{\text{pet}} = \frac{\left(\frac{E_{\text{uppv},fj\ddagger r r}}{F_{\text{geo}}} + E_{\text{tvv}}\right) \times VF_{fj\ddagger r r} + \left(\frac{E_{\text{uppv},el}}{F_{\text{geo}}} + E_f\right) \times VF_{el}}{A_{\text{temp}}}$$








Eftersom byggnaden använder sig av fjärrvärme till uppvärmning av byggnaden och tappvarmvatten samt el för driftsel hos värmepumpen och fastighetsel används viktningsfaktorer, $VF_{fj\ddagger r r} = 0,7$ och $VF_{el} = 1,8$, enligt BBR 29 (2020). Byggnaden är belägen i Halmstad vilket ger den geografiska justeringsfaktorn, $F_{\text{geo}} = 0,9$. De olika energiposterna fås av IDA-simuleringen där $E_{\text{uppv},fj\ddagger r r}$ är *district heating* subtraherat med schablonen för tappvarmvatten, E_{tvv} , då IDA presenterar dessa två poster tillsammans. $E_{\text{uppv},el}$ är driftselen för frånluftsvärmepumpen. E_f är fastighetselen inkluderat invändig belysning, utrustning samt ventilationssystemet. Vid simuleringarna i IDA har energibehovet för tappvarmvatten satts som ett fast schablonvärde och detta värde ändras inte vid de olika studierna trots att tappvarmvattnet egentligen är kopplat till värmepumpen och påverkas av dess besparing. Detta innebär att all besparing från värmepumpen redovisas under energiposten $E_{\text{uppv},fj\ddagger r r}$, även om en del av besparingen egentligen är under energiposten E_{tvv} . Att notera är att vid grundmodellen utan värmepump tas bara hälften av ventilationssystemets el med då ett från- och tilluftssystem har använts i simuleringen trots att byggnaden egentligen har ett frånluftssystem.

I samband med att resultatet i avsnitt 4.1 redovisas för grundmodell utan värmepump redovisas också resultatet av en handberäkning. Kontrollen är till för att säkerställa att den uppritade byggnadsmodellen i simuleringsprogrammet överensstämmer med den verkliga byggnaden och därmed anses vara godkänd för att påbörja studien kring energieffektiviserande åtgärder.

4.1 Grundmodell utan värmepump

I tabell 1 nedan visas resultatet från energisimuleringen i IDA av grundmodellen utan värmepump och detta används som indata i framtagandet av energiposterna. Primärenergitalet för denna modell utan värmepump blir 151 kWh/m² och det redovisas i tabell 2 nedan.

Tabell 1: Resultat från IDA-simulering för grundmodell utan värmepump.

		Purchased energy	
		kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	10862	1.8
	Equipment, facility	113404	18.9
	Electric cooling	0	0.0
	HVAC aux	56766	9.5
	Total, Facility electric	181032	30.2
	District heating	827494	138.0
	Total, Facility district	827494	138.0
	Total	1008526	168.2
	Lighting, tenant	114118	19.0
	Equipment, tenant	0	0.0
	Total, Tenant electric	114118	19.0
	Grand total	1122644	187.3

Tabell 2: Beräkning av byggnadens primärenergital innan renovering och utan värmepump.

Innan renovering utan värmepump		
$E_{\text{uppv, fjärr}}$	678 658	kWh
$E_{\text{uppv, el}}$	0	kWh
E_{tvv}	148 836	kWh
E_f	152 649	kWh
Total specifik energianv.	163	kWh/m²
EP_{pet}	151	kWh/m ²
<i>Miljöbyggnad Guld</i>	75	kWh/m ²

4.1.1 Kontroll av byggnadsmodell i IDA

4.1.1.1 Värmeeffektförlusten genom konstruktionen

De olika konstruktionsdelarnas U-värde är, likt tidigare nämnt, hämtade från tillhandahållet underlag av NCC:s energiberäkning förutom balkongväggarna där en modellering gjorts utifrån en uppskattning från observation på plats och med hjälp av litteraturen *Så byggdes husen 1880–2000* (Björk, Kallstenius & Reppen, 2013). Areor för varje konstruktionsdel har beräknats uppskattningsvis utifrån konstruktionsritningar för byggnaden. Med U-värden och areor kända kan värmeeffektförlusterna genom respektive konstruktionsdel beräknas vilka redovisas och summeras till 3 790 W/K i tabell 3 nedan.

Tabell 3: Beräkning av värmeeffektförlusten genom konstruktionen.

Värmeeffektförlust konstruktion	3 790	(W/K)	
	U-värde (W/m ² K)	Area (m ²)	U · A (W/K)
Yttervägg	0,46	1 946	895
Balkongvägg	0,47	517	241
Tak	0,40	897	362
Fönster och dörrar	2,4	955	2 292
SUMMA		4 315	3 790

4.1.1.2 Värmeeffektförlusten från köldbryggor

Värmeeffektförlusten genom köldbryggorna behöver också beräknas. Eftersom värmeförlustfaktorn, (W/m·K), för de olika köldbryggorna har antagits i IDA-simuleringen till *typical*, kommer även samma värden användas i handberäkningen för att få en rimlighet i kontrollen mellan simuleringen i IDA och handberäkningen. Längderna för varje köldbrygga har beräknats uppskattningsvis utifrån konstruktionsritningar för byggnaden. Med värmeförlustfaktorer och längder kända kan värmeeffektförlusterna genom respektive köldbrygga beräknas vilka redovisas och summeras till 308 W/K i tabell 4 nedan.

Tabell 4: Beräkning av värmeeffektförlusten från köldbryggor.

Värmeeffektförlust köldbryggor	308	W/K	
	Ψ (W/m·K)	Längd (m)	$\Psi \cdot L$ (W/K)
Köldbrygga fönster och dörr	0,1	1 467	147
Köldbrygga yttervägg/takbjälklag	0,18	180	32
Köldbrygga mellanbjälklag	0,07	1 261	87
Köldbrygga ytterväggshörn	0,08	417	33
Köldbrygga innerhörn	-0,1	341	-34
Köldbrygga balkong	0,2	217	43
SUMMA		3 885	308

4.1.1.3 Värmeeffektförlusten från ventilation

Den ventilationen som behövs i byggnaden beräknas utifrån NCC:s antagna luftflöde på 0,5 l/s och $m^2 A_{temp}$ och detta ger därmed en ventilation på 3,14 m^3/s . Vid denna kontrollberäkning antas byggnaden vara utan en värmepump med luftbehandlingsaggregat och därför kan enbart frånluft antas vilket ger en verkningsgrad på 0 % och en drifttid på 100 %. Den värmeeffektförlust som uppkommer från ventilationen i byggnaden beräknas till 3 767 W/K och redovisas i tabell 5 nedan.

Tabell 5: Beräkning av värmeeffektförlusten från ventilationen.

Ventilationsförlust	3 767	W/K
verkningsgrad	0	-
drifttid	1	-
q_{vent}	3,14	m^3/s
$\rho \cdot c$ (luft)	1 200	J/(K· m^3)

4.1.1.4 Värmeeffektförlusten från luftläckaget

Med ett antagande om måttligt avskärmat läge för byggnaden kan vindskyddskoefficienten, e , avläsas till 0,07 i tabell 1 i *FEBY18* (2019). Det specifika läckflödet vid 50 Pa tryckskillnad är satt till 0,001 $m^3/(s \cdot m^2)$ omslutande area enligt NCC:s mätningar. Det totala flödet för läckage är 0,30 m^3/s och med det, tillsammans

Energieffektivisering av miljonprogramshus

med luftens densitet och värmekapacitet, kan värmeeffektförlusten på grund av luftläckage beräknas till 362 W/K vilket redovisas i tabell 6 nedan.

Tabell 6: Beräkning av värmeeffektförlusten från luftläckage.

Läckageförlust	362	W/K
e	0,07	-
q_{50}	0,001	$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$
$q_{\text{läck}} = q_{50} \cdot e \cdot A_{\text{oms}}$	0,30	m^3/s

4.1.1.5 Beräkning av byggnadens uppvärmningsbehov

Med alla ovan beräknade värmeeffektföruster för transmission, ventilation och infiltration kända kan dessa summeras till 8 227 W/K och benämnas till byggnadens värmeförlustkoefficient H_T . För att sedan få byggnadens årliga uppvärmningsbehov tillämpas gradtimmemetoden där värmeförlustkoefficienten multipliceras med antal gradtimmar för en ort vid en viss gränstemperatur. Eftersom IDA-simuleringen är gjord enligt en klimatfil för Göteborg kommer samma ort användas vid framtagning av antal gradtimmar. Antal gradtimmar avläses i en gradtimmetabell där värdet varierar av gällande gränstemperatur samt normalårstemperatur. Gränstemperaturen beror på inomhustemperatur, gratisvärmens i byggnaden och värmeförlustkoefficienten. Med inomhustemperaturen satt till 23 °C och en gratisvärme beräknad utifrån A_{temp} för byggnaden samt satta schablonerna i IDA vilka är 2,7 W/m² för personvärme, 2,4 W/m² för belysning och elektrisk utrustning, kan gränstemperaturen bestämmas till 19,1 °C (Jensen & Warfvinge, 2001). Normalårstemperaturen för Göteborg är 7,9 °C (Jensen & Warfvinge, 2001). Genom interpolering i gradtimmetabellen kan antal gradtimmar avläsas till 99 302 °Ch (Jensen & Warfvinge, 2001). Med all indata framtagen och sammanställd i tabell 7 nedan kan därefter byggnadens uppvärmningsbehov beräknas. Byggnadens årliga uppvärmningsbehov hamnar på 816 978 kWh.

Tabell 7: Beräkning av byggnadens uppvärmningsbehov.

Värmeförlustkoefficient H_t	8 227	W/K
Inomhustemperatur T_{inne}	23	°C
Gratisvärme P_{gratis}	32 020	W
Gränstemperatur T_g	19,1	°C
Normalårstemperatur T_{un}	7,9	°C
Gradtimmars	99 302	°Ch
Uppvärmningsbehov byggnad	816 978	kWh

4.1.2 Analys av grundmodell utan värmepump

Byggnadens uppvärmningsbehov hamnar på 816 978 kWh vilket kan jämföras med IDA-simuleringens uppvärmningsbehov på 678 658 kWh. Det kan konstateras att IDA-simuleringen inte riktigt överensstämmer med handberäkningen och potentiella felkällor till detta kan vara mängdningen av konstruktionens areor samt att IDA-simuleringen beaktar solvärmen, vilket inte handberäkningen tar med. När en kontrollräkning avseende dessa två felkällor görs kan det konstateras att det främst är solvärmen som påverkar differensen mellan handberäkningen och simuleringen, där areaskillnaden utgörs av mellanväggar. När samma konstruktionsareor och solvärme som i IDA-simuleringen används i handberäkningen fås ett resultat på 668 457 kWh, vilket överensstämmer väl med simuleringen och därför anses byggnadsmodellen i IDA vara godkänd för att påbörja studien kring energieffektiviserande åtgärder.

4.2 Grundmodell med värmepump

I tabell 8 nedan visas resultatet från energisimuleringen i IDA av grundmodellen utan värmepump och detta används som indata i framtagandet av energiposterna. Primärenergitalet för denna modell med värmepump blir 159 kWh/m² och det redovisas i tabell 9 nedan.

Tabell 8: Resultat från IDA simulering för grundmodell med värmepump.

		Used energy	
		kWh	kWh/m ²
■	Lighting, facility	10954	1.8
■	Equipment, facility	113381	18.9
■	Electric cooling	32	0.0
■	HVAC aux	42879	7.2
■	Electric heating	113626	19.0
	Total, Facility electric	280872	46.9
■	District heating	559309	93.3
	Total, Facility district	559309	93.3
	Total	840181	140.2
□	Lighting, tenant	115645	19.3
□	Equipment, tenant	0	0.0
	Total, Tenant electric	115645	19.3

Tabell 9: Besparingen av värmepumpen samt beräkning av byggnadens primärenergital innan renovering och med värmepump.

Innan renovering med värmepump		
$E_{uppv,fjärr}$	410 527	kWh
$E_{uppv,el}$	113 626	kWh
E_{tv}	148 782	kWh
E_f	167 214	kWh
Total specifik energianv.	140	kWh/m²
<i>Besparing värmepump</i>	<i>85 020</i>	<i>kWh</i>
EP_{pet}	159	kWh/m ²
<i>Miljöbyggnad Guld</i>	75	kWh/m ²

4.2.1 Analys av grundmodell med värmepump

Primärenergitalet för denna modell med värmepump är mer än det dubbla jämfört med målet på 75 kWh/m². Denna modell anses som studiens startpunkt eftersom den motsvarar byggnaden som den var i referensprojektet innan renovering påbörjades. NCC har i sin energiberäkning enbart tagit fram total specifik energianvändning för byggnaden och deras värde var ca 153 kWh/m² vilket är lite högre än IDA-simuleringens 140 kWh/m². Det är främst byggnadens uppvärmningsbehov, $E_{uppv,fjärr}$, som skiljer sig mot vid NCC:s beräkning samt en genomförd handberäkning. Det finns felkällor i jämförelsen som kan förklara skillnaden, exempelvis olika klimatfiler och versioner av IDA ICE, svårigheten att genomföra beräkningen med exakt samma indata och olika tillvägagångssätt för beräkning. Jämförelsen mellan energiberäkningarna anses ändå vara tillräckligt bra och därför kommer denna modell användas som startpunkt för studien.

4.3 Fall A- Sänkt inomhustemperatur

I Fall A sänks temperaturen i byggnaden från 23 C° till 21 C° och i tabell 10 nedan visas resultatet från energisimuleringen i IDA vilket används som indata i framtagandet av energiposterna. Primärenergitalet, redovisat i tabell 11 nedan sjunker då till 145 kWh/m² vilket fortfarande är över kravet för *Miljöbyggnad Guld*. Det kan konstateras att den stora förändringen sker hos byggnadens uppvärmningsbehov, $E_{uppv,fjärr}$, som minskas kraftigt från grundmodellen med värmepump.

Tabell 10: Resultat från IDA simulering för Fall A.

		Used energy	
		kWh	kWh/m ²
■	Lighting, facility	10954	1.8
■	Equipment, facility	113407	18.9
■	Electric cooling	32	0.0
■	HVAC aux	42043	7.0
■	Electric heating	104675	17.5
	Total, Facility electric	271111	45.2
■	District heating	478222	79.8
	Total, Facility district	478222	79.8
	Total	749333	125.0
■	Lighting, tenant	115645	19.3
■	Equipment, tenant	0	0.0
	Total, Tenant electric	115645	19.3

Tabell 11: Besparingen av värmepumpen samt beräkning av byggnadens primärenergital vid Fall A.

Fall A		
$E_{uppv,fjärr}$	329 398	kWh
$E_{uppv,el}$	104 675	kWh
E_{tv}	148 824	kWh
E_f	166 404	kWh
Total specifik energianv.	125	kWh/m²
<i>Besparing värmepump</i>	<i>81 477</i>	<i>kWh</i>
EP_{pet}	145	kWh/m ²
<i>Miljöbyggnad Guld</i>	75	kWh/m ²

4.4 Fall B- Ny frånluftsvärmepump

I Fall B kompletteras Fall A med att en ny värmepump med bättre prestanda installeras, samt effektivare fläktar. I tabell 12 nedan visas resultatet från energisimuleringen i IDA vilket används som indata i framtagandet av energiposterna. Primärenergitalet, redovisat i tabell 13 nedan, sjunker då till 111 kWh/m² vilket fortfarande överstiger kravet för *Miljöbyggnad Guld*. Det kan konstateras att de stora förändringarna sker dels av en kraftig minskning av värmepumpens driftsel, $E_{uppv,el}$, dels av byggnadens uppvärmningsbehov, $E_{uppv,fjärr}$, som minskas ytterligare från Fall A.

Tabell 12: Resultat från IDA simulering för Fall B.

		Used energy	
		kWh	kWh/m ²
■	Lighting, facility	10954	1.8
■	Equipment, facility	113380	18.9
■	Electric cooling	29	0.0
■	HVAC aux	22141	3.7
■	Electric heating	44792	7.5
	Total, Facility electric	191296	31.9
■	District heating	416500	69.5
	Total, Facility district	416500	69.5
	Total	607796	101.4
■	Lighting, tenant	115645	19.3
■	Equipment, tenant	0	0.0
	Total, Tenant electric	115645	19.3

Tabell 13: Besparingen av värmepumpen samt beräkning av byggnadens primärenergital vid Fall B.

Fall B		
$E_{uppv,fjärr}$	267 689	kWh
$E_{uppv,el}$	44 792	kWh
E_{tvv}	148 811	kWh
E_f	146 475	kWh
Total specifik energianv.	101	kWh/m²
<i>Besparing värmepump</i>	<i>197 721</i>	<i>kWh</i>
EP_{pet}	111	kWh/m ²
<i>Miljöbyggnad Guld</i>	75	kWh/m ²

4.5 Fall C- Nya fönster

I Fall C kompletteras Fall B med ett fönsterbyte till välisolerade 3-glas fönster och i tabell 14 nedan visas resultatet från energisimuleringen i IDA vilket används som indata i framtagandet av energiposterna. Primärenergitalet, redovisat i tabell 15 nedan, sjunker då till 93 kWh/m² vilket fortfarande överstiger kravet för *Miljöbyggnad Guld*. Det kan konstateras att den största förändringen sker hos byggnadens uppvärmningsbehov, $E_{uppv,fjärr}$, som halveras jämfört med Fall B.

Tabell 14: Resultat från IDA simulering för Fall C.

		Used energy	
		kWh	kWh/m ²
■	Lighting, facility	10954	1.8
■	Equipment, facility	113400	18.9
■	Electric cooling	29	0.0
■	HVAC aux	21078	3.5
■	Electric heating	43665	7.3
	Total, Facility electric	189126	31.6
■	District heating	282074	47.1
	Total, Facility district	282074	47.1
	Total	471200	78.6
■	Lighting, tenant	115645	19.3
■	Equipment, tenant	0	0.0
	Total, Tenant electric	115645	19.3









Tabell 15: Besparingen av värmepumpen samt beräkning av byggnadens primärenergital vid Fall C.

Fall C		
$E_{uppv,fjärr}$	133 256	kWh
$E_{uppv,el}$	43 665	kWh
E_{tvv}	148 818	kWh
E_f	145 432	kWh
Total specifik energianv.	79	kWh/m²
<i>Besparing värmepump</i>	<i>191 985</i>	<i>kWh</i>
EP_{pet}	93	kWh/m ²
<i>Miljöbyggnad Guld</i>	75	kWh/m ²

4.6 Fall D- Tilläggsisolering av taket

I Fall D kompletteras Fall C med tilläggsisolering av byggnadens tak. I tabell 16 nedan visas resultatet från energisimuleringen i IDA vilket används som indata i framtagandet av energiposterna. Primärenergitalet, redovisat i tabell 17 nedan, sjunker då till 90 kWh/m² vilket fortfarande överstiger kravet för *Miljöbyggnad Guld*, som minskas något jämfört med Fall C.

Tabell 16: Resultat från IDA simulering för Fall D.

		Used energy	
		kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	10954	1.8
	Equipment, facility	113413	18.9
	Electric cooling	29	0.0
	HVAC aux	20934	3.5
	Electric heating	43443	7.2
	Total, Facility electric	188773	31.5
	District heating	260777	43.5
	Total, Facility district	260777	43.5
	Total	449550	75.0
	Lighting, tenant	115645	19.3
	Equipment, tenant	0	0.0
	Total, Tenant electric	115645	19.3

Tabell 17: Besparingen av värmepumpen samt beräkning av byggnadens primärenergital vid Fall D.

Fall D		
$E_{\text{uppv, fjärr}}$	111 959	kWh
$E_{\text{uppv, el}}$	43 443	kWh
E_{tvv}	148 818	kWh
E_f	145 301	kWh
Total specifik energianv.	75	kWh/m²
<i>Besparing värmepump</i>	<i>189 467</i>	<i>kWh</i>
EP_{pet}	90	kWh/m ²
<i>Miljöbyggnad Guld</i>	75	kWh/m ²

4.7 Fall E- Solceller på taket

I Fall E kompletteras Fall D med att solceller installeras på byggnadens tak. I tabell 18 nedan visas resultatet från energisimuleringen i IDA vilket används som indata i framtagandet av energiposterna. Primärenergitalet, redovisat i tabell 19 nedan, sjunker då till 73 kWh/m² vilket understiger kravet på 75 kWh/m². En ytterligare kontroll görs där ett mer korrekt primärenergital beräknas med vetskapen om att energibesparingen från värmepumpen egentligen sker fördelat på både uppvärmningen och tappvarmvattnet. I denna kontroll har en del av besparingen flyttats från, $E_{uppv,fjärr}$, till, E_{tvv} , så att den procentuella besparingen hos de två energiposterna antagits till ungefär samma. Detta alternativa sätt att beräkna primärenergitalet på ger ett något högre värde eftersom byggnadens uppvärmningsbehov, $E_{uppv,fjärr}$, är justerat av den geografiska justeringsfaktorn $VF_{fjärr}$. Värdet presenterat i tabell 19 nedan blir 74,6 kWh/m² vilket även det understiger kravet på 75 kWh/m² och därmed uppnår byggnaden *Miljöbyggnad Guld*. Det kan konstateras att de stora förändringarna sker tack vare elproduktionen från solcellerna som gör att dels värmepumpens driftsel, $E_{uppv,el}$, minskas samt dels att byggnadens fastighetsel, E_f , minskas jämfört med Fall D. Att notera är det överskott som blir av solcellernas elproduktion då enbart den momentana elproduktionen kan tillgodoräknas i beräkningen av primärenergitalet.

Tabell 18: Resultat från IDA simulering för Fall E.

		Used energy	
		kWh	kWh/m ²
■	Lighting, facility	10954	1.8
■	Equipment, facility	113393	18.9
■	Electric cooling	29	0.0
■	HVAC aux	20934	3.5
■	Electric heating	43423	7.2
	Total, Facility electric	188733	31.5
■	District heating	260722	43.5
	Total, Facility district	260722	43.5
	Total	449455	75.0
■	Lighting, tenant	115645	19.3
■	Equipment, tenant	0	0.0
	Total, Tenant electric	115645	19.3

Energieffektivisering av miljonprogramshus

Tabell 19: Besparingen av värmepumpen och solcellernas överskott samt beräkning av byggnadens primärenergital vid Fall E.

Fall E		
$E_{\text{uppv, fjärr}}$	111 904	kWh
$E_{\text{uppv, el}}$	33 291	kWh
E_{tvv}	148 818	kWh
E_f	100 658	kWh
Total specifik energianv.	66	kWh/m ²
<i>Besparing värmepump</i>	<i>189 523</i>	<i>kWh</i>
<i>Överskott solceller</i>	<i>24 895</i>	<i>kWh</i>
EP_{pet}	73	kWh/m ²
Alternativt EP_{pet}	74,6	kWh/m ²
<i>Miljöbyggnad Guld</i>	<i>75</i>	<i>KWh/m²</i>

4.8 Sammanställning av resultat

I tabell 20 sammanställs samtliga falls primärenergital samt den procentuella minskningen av primärenergitalet gentemot grundmodellen med frånluftsvärmepump. För att påvisa varje åtgärds enskilda påverkan på den totala specifika energianvändningen har simuleringar utifrån grundmodellen med frånluftsvärmepump genomförts. Resultatet redovisas i tabell 21.

Tabell 20: Samtliga falls primärenergital samt den procentuella minskningen av primärenergitalet gentemot grundmodellen med frånluftsvärmepump.

	Primärenergital (kWh/m ²)	Procentuell minskning av primärenergital gentemot grundmodellen (%)
Grundmodell med värmepump	159	-
Fall A	145	8,8
Fall B	111	30,2
Fall C	93	41,5
Fall D	90	43,4
Fall E	74,6	53,1

Tabell 21: Varje åtgärds enskilda påverkan på den totala specifika energianvändningen jämfört med grundmodellen med frånluftsvärmepump.

	Total specifik energianvändning (kWh/m ²)	Procentuell minskning av specifik energianvändning gentemot grundmodellen (%)
Grundmodell med värmepump (före renovering)	140	-
Sänkning av inomhustemperaturen (2 °C)	125	10,7
Ny frånluftsvärmepump och fläkt	115	17,9
Nya fönster	111	20,7
Tilläggsisolering av taket	139	0,7
Solceller på taket	131	6,4

5 Diskussion

Som litteraturstudien visade finns det många olika åsikter om bevarande av befintliga byggnader. Eftersom det handlar om estetik och kulturvärde varierar svaren beroende på vem man frågar och vad den personen har för preferenser. Bevarande kommer ofta i konflikt med energibesparing och ekonomi eftersom flera annars vanliga åtgärder som utvändigt tilläggsisolering och i vissa fall fönsterbyte inte kan genomföras. Det kan göra att personer som värderar energi och miljöpåverkan högt, menar att det väger tyngre än det eventuella kulturvärdet, medan en antikvarie eller kulturintresserad kan resonera att det finns en skyldighet att bevara kulturvärden för framtiden. Dessutom har historien visat att det är svårt att förutse vad framtida generationer anser vara ett kulturvärde värt att bevara. Stora delar av många städers äldre bebyggelse har rivits, inte minst under miljonprogrammet, för att ge plats åt för tiden mer moderna och funktionella byggnader. Det anser många idag har en negativ påverkan på de äldre stadskärnorna då de flesta uppskattar den utsmyckande arkitekturen under exempelvis Jugend och Nationalromantiken. Därför kan det vara klokt att inte förhastat sig med ovarsamma renoveringar utan faktiskt bevara byggnader från alla tidsepoker, inklusive miljonprogrammet som faktiskt är en stor del av den svenska arkitekturen och bebyggelsehistorien.

På senare år har, som litteraturstudien visade, allt fler röster höjts för att det finns kulturvärden även från miljonprogrammet, men lagskyddet ligger efter då relativt få byggnader hittills blivit klassificerade och skyddade enligt lag. För att det skall bevaras byggnader intakta från denna epok krävs att fler byggnader blir skyddade då många fastighetsägare ser ett stort renoveringsbehov men kanske inte har kunskapen eller kan motivera en möjligen mer komplicerad och dyr renovering där hänsyn tas till kulturvärdet. En ökad användning av de riktlinjer och den strategimatrix som Chalmers studie tagit fram hade kunnat bidra med ett bredare beslutsunderlag när miljonprogrammet nu ska rustas upp. För som litteraturstudien visade är underhållet eftersatt på många av miljonprogramshusen där uppemot 88 % är i behov av renovering. Energiprestandan för dessa byggnader är också dålig där en stor besparingspotential finns vilket studiens resultat visade för den undersökta byggnaden.

Med samtliga föreslagna åtgärder genomförda sänktes byggnadens primärenergital med ca 84 kWh/m², från 159 kWh/m² till under 75 kWh/m² vilket innebär att den uppfyller det kravet för *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad*. Detta motsvarar en sänkning på över 50 % vilket kan jämföras med *SP Sveriges Tekniska Forskningsinstituts* studie som visade att en 20 % minskning bör kunna genomföras utan att förstöra de kulturhistoriska värdena. Anledningen till den stora skillnaden på minskningen kan vara att den tidigare studien i högre grad riktat sig mot äldre byggnader samt att ett fönsterbyte genomförts i denna studie, vilket kan vara diskutabelt huruvida det påverkar kulturvärdet eller inte.

5.1 Felkällor

Det finns ett stort antal felkällor som bidrar till en osäkerhet i resultatet. Det är väldigt mycket inställningar i simuleringsprogrammet IDA ICE där flertalet av dessa lämnats orörda på programmets grundinställningar. Vid val av indata till simuleringar och beräkning har det i så stor utsträckning som möjligt valts att göra dessa antaganden på rätt sida så att resultatet inte ska vara missvisande och visa en för optimistisk bild av energieffektiviseringen.

Byggnadens fastighetsel är beräknad utifrån simuleringar i IDA ICE för fläkt- och pumpenergi och inlagda schablonvärden för trapphus, men har också kompletterats med övrig fastighetsel utifrån NCC:s energiberäkning och byggnadens energideklaration. Den totala fastighetselen blir då ca 25 kWh/m² vilket är långt över genomsnittet på ca 15 kWh/m² enligt Sveby (2012). Avvikelsen kan bero på att det är oklart vad som ingår i den övriga fastighetselen, där det utöver belysning möjligen kan vara inkluderat el till tvättmaskiner och de verksamheter som finns på bottenvåningen. Men det kan också vara så att byggnadens installationer är gamla och ineffektiva vilket leder till den höga elanvändningen. I så fall finns det en stor besparingspotential om dessa förnyas och lågenergilampor installeras. För att undersöka detta krävs att energikartläggning genomförs av byggnaden och dess installationer.

Arean solceller på taket har antagits till 700 m² vilket med 1,5 m långa solceller placerade i rader inneburet att det är ungefär 40–50 cm mellan raderna. Sommartid när solen står högt kommer de olika raderna inte skymma varandra, men vintertid när solen står lägre på himlen kommer de göra det. Det har inte gjorts några beräkningar på hur mycket de olika solcellerna skymmer varandra internt, och hur det då påverkar elproduktionen. Eftersom endast en solcell kan användas i IDA ICE blir det en enda lång solcell som börjar på taket och avslutas ca 44 m över taket vilket gör att skuggningen från omkringliggande byggnader blir något mindre än i verkligheten. Detta antas dock vara en liten skillnad som inte påverkar resultatet i märkbar utsträckning. För att solcellerna skall kunna bidra till att minska all fastighetsel placerades en schablon för övrig fastighetsel i Zon 46 vid simuleringar, men IDA ICE använder också solcellernas elproduktion till att minska hushållselen vilket gör att en större del av fastighetselen kunnat borträknas från den momentana elproduktionen om hushållen inte medtagits i simuleringen. Det hade troligtvis haft en relativt liten påverkan på slutresultatet men är en felkälla på rätt sida. Under den tid som solcellerna producerar mer el än vad byggnadens system använder blir det ett elöverskott på ca 25 000 kWh som kan säljas till de boende eller till elnätet vilket resulterat i intäkter för fastighetsägaren. Batterier för lagring hade också kunnat installeras för att ytterligare minska behovet av köpt energi till fastighetselen.

Värmepumpen är en faktor som har stor påverkan på energibesparingen och resultatet. Vid simuleringen av grundmodellen med frånluftsvärmepump visade resultatet en relativt stor minskning av uppvärmningsbehovet, vilket inte stämde överens med den handberäkning som också genomfördes trots att grundfallet utan frånluftsvärmepump stämde väldigt bra överens med handberäkningen. Det är oklart varför skillnaden blir

så pass stor, men det kan bero på vad det är för inställningar gjorda för den valda modellen av frånluftsvärmepumpen i IDA ICE, där dess COP-tal justerats för att likna den verkliga. Vid övriga simuleringen valdes en befintlig frånluftsvärmepump från IDA ICE med ett COP-tal på 4,32 och en värmeeffekt på 22 kW, för att kunna använda den med sina grundinställningar utan att behov av justeringar och då minska risken för ovan nämnda problem. Vid undersökning av frånluftsvärmepumpar på marknaden fanns ett flertal med både bättre COP-tal och högre kapacitet vilket hade minskat behovet av köpt energi ytterligare. En bergvärmepump eller uteluftsvärmepump hade också kunnat installeras för att komplettera frånluftsvärmepumpen och minska behovet av köpt fjärrvärme. Undersökningar av förhållandena på platsen visade att kostnaderna för bergvärme blev väldigt hög och därför inte kunde motiveras ekonomiskt (Burke, 2022).

I simuleringen användes en radiator med en maxtemperatur på 55 °C i varje rum, även om det egentligen är golvvärmeslingor med en avsevärt lägre temperatur. Med en lägre temperatur hade verkningsgraden på frånluftsvärmepumpen ökat och mer energibesparing skett. Dessutom användes enbart en radiator i varje zon, vilket möjligen leder till en ojämn temperaturfördelning i de olika rummen i zonen och då en större energianvändning. Båda dessa förenklingar gör att energianvändningen är något lägre i verkligheten och resultatet är på rätt sida.

Vid beräkningen av primärenergitalet i Fall E görs en alternativ beräkning där en del av besparingen läggs över på tappvarmvattnet, eftersom frånluftsvärmepumpen minskar behovet av köpt energi för både uppvärmningen och tappvarmvattnet. Hur stor del av besparingen som sker på respektive del är dock oklart, men i beräkningen antas den procentuella minskningen för tappvarmvattnet vara något större, eftersom det utanför uppvärmningssäsongen enbart krävs energi till varmvatten. Även om andelarna återvunnen energi ändras så att hela tappvarmvattenbehovet täcks av värmepumpen kommer dock primärenergitalet fortfarande vara under 75 kWh/m² och byggnaden uppfylla kravet för *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad*. Detta är dock inte tekniskt möjligt i verkligheten, eftersom värmepumpar inte klarar av att värma vattnet till rätt temperatur. Därför behövs någon form av spetsvärme i form av fjärrvärme eller en elpatron som tillför den energi som behövs för att uppnå en tillräckligt hög temperatur.

Vid beräkningen antas all elenergi till värmepumpen vara för uppvärmningen som divideras med, F_{geo} , vilket ger ett större värde. Egentligen gäller samma sak som nämnts ovan att en del av denna elenergi är för tappvarmvatten vilket gör att det beräknade primärenergitalet är något högre än verkligheten, dock bedöms skillnaden vara liten och beräkningen på rätt sida.

5.2 Påverkan av avgränsningar

I denna studie har avgränsningen gjorts att inte beakta den ekonomiska aspekten gällande de föreslagna energieffektiviserande åtgärderna. I ett verkligt projekt hade den ekonomiska aspekten spelat en stor roll gällande beslutsfattandet kring renovering. Kostnaderna för de olika åtgärderna varierar mycket där en sänkning av inomhustemperaturen och byte av värmepump och fläktar är förhållandevis billiga gentemot dess verkan, vilket påverkar valet av åtgärder i verkligheten. Att renoveringsbehovet är i storlek uppemot 88 % för befintliga byggnader från miljonprogrammet förklaras främst av att fastighetsägare inte anser renovering som en tillräckligt lönsam investering gentemot att behålla fastigheten i sitt ursprungliga skick. Investeringskostnaderna övervinner den potentiella vinningen och det stoppar de flesta fastighetsägarna från att renovera. Men denna inställning kan snabbt ändras om incitamentet ökar för fastighetsägaren att genomföra renoveringen. En väldigt aktuell fråga i samhället just nu är de höga energipriserna som på senare tid skenat iväg än mer av det rådande världsläget. De ökade energipriserna ger fastighetsägare ökat incitament och återbetalning för energieffektiviserande renovering vilket kan vara precis det som behövs för att sätta fart på renoveringarna hos de nu alltmer eftersatta miljonprogramshusen.

En annan aspekt som avgränsats från i denna studie är fukt och påverkan på inommiljön som renoveringar av denna typ har. En renovering av byggnad där energieffektiviserande åtgärder genomförs, likt de i studien, kommer innebära en mer funktionell, lufttät, och välisolerad byggnad som bidrar till ökad komfort för brukare. Det förekommer att eftersatta byggnader med stort renoveringsbehov diagnosticeras med *Sick building syndrome* som innebär att brukare av byggnaden får sjukdomssymptom på grund av den dåliga inommiljön. Renoveringar som åtgärdar eventuella fuktproblem och ökar byggnadens energi- och installationstekniska prestanda gör att inommiljön förbättras, den termiska komforten för brukare ökar och risken för diagnosen *Sick building syndrome* minskar.

Brukarbeteende har heller inte beaktats i denna studie även om det kan ha påverkan på energianvändningen och därmed resultatet. Både kall- och varmvattenanvändningen samt vädring är exempel på brukarbeteenden som varierar och är svåra att fastställa utan noggrannare undersökningar i den specifika byggnaden och har därför avgränsats. Vattenanvändningen har antagits enligt BEN 2 vilket är ett genomsnitt för flerbostadshus. Vädring har bortsetts ifrån, även om det enligt BETSI förekommer frekvent, och därför har en påverkan på energianvändningen. Enligt Svebys brukardata (2012) bidrar vädring i genomsnitt med en ökad energianvändning på 4 kWh/m². Dock konstateras att vädringen främst beror på för höga inomhustemperaturer och eftersom temperaturen i studien har sänkts till 21 °C, bör behovet av vädring minskats.

5.3 Konsekvenser av resultat

Det finns flera andra åtgärder som hade kunnat genomföras för att ytterligare sänka energianvändningen och behovet av köpt energi. Lågenergilampor är ett exempel och att invändigt tilläggsisolera för att minska byggnadens transmissionsförluster är ett annat. Det hade kunnat kombineras med ett installationsskikt för att dessutom förbättra byggnadens elinstallationer och öka brukarnas komfort. Genomförda simuleringar i IDA visar att ett 45 mm installationsskikt med mineralull sänkt uppvärmningsbehovet med ca 30 000 kWh årligen vilket motsvarar ungefär 5 kWh/m² och primärenergitalet blir då ca 69 kWh/m². Invändig tilläggsisolering gör dock att lägenhetsstorlekarna minskas vilket kan medföra det oönskade scenariot med minskade hyresintäkterna för fastighetsägaren. Dessutom ändras temperaturen och fuktförhållandena i ytterväggen och det ökar risken för fuktproblem vilket gör att en noggrannare undersökning krävs för att säkerställa att inga problem uppstår.

Detsamma gäller för tilläggsisoleringen av taket som innebär en sänkt temperatur i kallvinden, vilken är en känslig aspekt ur fuktsynpunkt. Eftersom det finns gott om plats hade ett tjockare lager isolering kunnat adderas på vinden, men detta hade ytterligare ökat risken för fuktproblem i takets träkonstruktion varför en total tjocklek på 250 mm används i simuleringen. Inga undersökningar av hur fuktproblematiken i kallvinden ser ut och påverkas av tilläggsisoleringen genomförs i studien. Dessutom är enbart översta våningen exponerad mot taket, vilket i ett flervåningshus blir en relativt liten del av den totala ytan och därför har en allt för tjock isolering inte lika stor påverkan på energianvändningen.

Av de undersökta åtgärderna är tilläggsisoleringen av taket, med en besparing på ca 1 kWh/m², den åtgärd som ger minst energibesparing enligt tabell 21. Det kan jämföras med fönsterbytet som med en besparing på 29 kWh/m² är den åtgärd som ger störst effekt på uppvärmningsbehovet medan temperatursänkningen ger en besparing på 15 kWh/m² och installationen av solceller minskar behovet av köpt elenergi med ca 9 kWh/m². Eftersom viktningfaktorn för el är 1,8 mot fjärrvärmens viktningfaktor på 0,7, får elenergisparingen från solcellerna en relativt stor påverkan på primärenergitalet jämfört med ett minskat uppvärmningsbehov.

Installationen av solcellerna sänker primärenergitalet med 17 kWh/m² jämfört med temperatursänkningen som bidrar med en sänkning på 14 kWh/m², trots att den faktiska energibesparingen är mer än 60 % större för temperatursänkningen. Den effektivare frånluftsvärmepumpen och fläkten minskar den specifika energianvändningen med 25 kWh/m² men bidrar ändå med den största sänkningen av primärenergitalet eftersom viktningfaktorn för el är större än viktningfaktorn för fjärrvärme. Installation av en ny frånluftsvärmepump är dessutom en relativt enkel och billig åtgärd då alla ventilationskanaler som behövs redan finns i byggnaden vilket gäller för de flesta byggnader med frånluftssystem. Temperatursänkningen är en annan åtgärd med relativt stor påverkan där kostnaden är minimal. Dessa två åtgärder simuleras tillsammans i Fall B vilket resulterade i en sänkning av primärenergitalet med 48 kWh/m², vilket motsvarar 30,2 % gentemot grundmodellen. Det kan jämföras

med den totala sänkningen i Fall E när samtliga åtgärder genomförs då minskningen blev 53,1 %. Denna stora energibesparing för Fall B, med en förhållandevis liten investeringskostnad, bör vara en effektiv åtgärd och ett bra alternativ jämfört med fönsterbyte, tilläggsisolering och installation av solceller som är betydligt dyrare investeringar.

5.4 Applicering av resultat på Sveriges byggbestånd

Byggnader står idag för en betydande del av energianvändningen i samhället och är därför ett viktigt område för att nå uppsatta klimatmål. År 2019 var Sveriges energianvändning 369 TWh varav bostäder och service stod för 144 TWh, vilket motsvarar 39 %. En enklare överslagsräkning på vad energieffektivisering av miljonprogramshus, likt den i studien, hade kunnat medföra på Sveriges energianvändning visar att en påtaglig förbättring hade uppnåtts. I studien sänks den årliga totala specifika energianvändningen för referensprojektet från 140 till 66 kWh/m². Om överslagsräkningen görs med antagandet att de 88 % av flerbostadshusen i miljonprogrammet får en liknande sänkning i energianvändningen och att det enligt Boverkets & Energimyndighetens rapport (2019) är cirka 50 000 flerbostadshus med i genomsnitt 17 st lägenheter, kommer det vid SCB:s (2021) rapporterade genomsnittliga lägenhetsstorlek på 68 m² innebära att cirka 3,8 TWh kommer kunna sparas i energianvändning. 3,8 TWh får anses som en betydande besparing då det motsvarar omkring 2,6 % av den energianvändning som bostäder och service stod för år 2019.

6 Slutsatser

Syftet med studien var att undersöka i vilken utsträckning det är värt att genomföra varsamma renoveringar med energieffektivisering, där hänsyn tas till det kulturella värdet hos miljonprogramshus och fasaden bevaras. Undersökningen visade att det finns ett stort behov av renovering och energieffektivisering där uppemot 88 % av byggnaderna från miljonprogrammet är i behov av upprustning. Samtidigt är väldigt få av dessa byggnader skyddade mot förvanskning av klassificeringar och planbestämmelser. Detta trots att allt fler röster höjts för att även dessa byggnader har ett kulturellt värde och bör bevaras intakta för framtida generationer då de är en stor del av den svenska arkitekturen och byggnadshistorien.

Det enda skydd majoriteten av dessa byggnader har är *Förvanskningförbudet* och *Varsamhetskravet* som innebär att ändringar skall göras varsamt med hänsyn till byggnadens kulturvärde och karaktärsdrag. Dessutom måste de underhållas och vårdas med hänsyn till områdets karaktär. Detta preciseras i 8 kap. i Plan- och bygglagen och gäller för alla byggnader. Det krävs dock att fastighetsägare och kommuner anser att dessa byggnader har ett kulturhistoriskt värde och karaktärsdrag värda att bevara för att de inte skall förvanskas, vilket blir en bedömningsfråga. Därför kan det vara klokt att inte förhastiga sig med ovarsamma renoveringar utan faktiskt bevara byggnader från alla tidsepoker, inklusive miljonprogrammet som faktiskt är en stor del av den svenska arkitekturen och bebyggelsehistorien.

De genomförda energieffektiviserande åtgärderna hade olika stor effekt på energianvändningen där fönsterbyte hade störst påverkan och minskade energianvändningen med 29 kWh/m². Installation av en effektivare frånluftsvärmepump tillsammans med effektivare fläkt minskade energianvändningen med 25 kWh/m² men bidrog med den största sänkningen av primärenergitalet eftersom viktningfaktorn för el är högre än viktningfaktorn för fjärrvärme. Tilläggsisolering av taket hade lägst påverkan med 1 kWh/m² medan temperatursänkningen från 23 °C till 21 °C bidrog med 15 kWh/m². Solcellernas momentana elproduktion kunde täcka ca 9 kWh/m² av byggnadens elanvändning.

Totalt minskade byggnadens totala specifika energianvändning med 74 kWh/m² från 140 kWh/m² till 66 kWh/m² vilket är över 50 %, och därmed mer än tidigare studier som påvisade att en 20 % minskning bör vara möjlig. Detta innebär att byggnadens primärenergital sänks från 159 kWh/m² till under 75 kWh/m² vilket innebär att den uppfyller kravet för *Miljöbyggnad Guld i befintlig byggnad*, vilket var studiens mål.

Om liknande besparing kan ske på de ca 750 000 bostäder som finns i flerbostadshus från miljonprogrammet finns en betydande energibesparingspotential, utan att dess kulturvärden går förlorade. En överslagsräkning pekar på att 3,8 TWh årligen kan sparas vilket motsvarar 2,6 % av den energianvändning på 144 TWh som samtliga bostäder och service stod för år 2019. Dock är det olika förutsättningar för varje enskild byggnad där åtgärderna måste anpassas till det specifika fallet, vilket gör att den faktiska besparingspotentialen är osvis.

Energieffektivisering av miljonprogramshus

7 Framtida utvecklingsmöjligheter

Det finns flera tänkbara förbättringar och ytterligare studier att genomföra för att få en tydligare och mer nyanserad bild över energieffektivisering av kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Det finns flera tänkbara åtgärder som kan sänka energianvändningen utan att de påverkar det kulturella värdet, exempelvis injustering av värmesystemet och effektivare elinstallationer.

I studien kunde fler simuleringar genomföras där påverkan av var i landet byggnaden är placerad undersökts. En undersökning av flera olika referensprojekt hade också givit en mer nyanserad bild av vilken effekt åtgärderna har, då det är olika förutsättningar i varje enskild byggnad. En jämförelse mellan hus från olika epoker hade också varit intressant, för att se hur lagskyddet för bevarande och besparingspotentialen skiljer sig åt.

Brukarbeteenden och hur de varierar samt påverkar energianvändningen hade också kunnat beaktas i studien, vilket hade givit ett mer korrekt resultat.

Eftersom ekonomi har en avgörande roll vid renoveringar och energieffektiviseringar är det en viktig och intressant aspekt att titta på och använda för att jämföra de olika åtgärderna. Fukt och inomhusmiljö är två andra viktiga aspekter som bör undersökas innan en renovering genomförs.

Eftersom kulturvärde och estetik är subjektiva värden hade en undersökning av vad enskilda människor och samhället tycker är värt att bevara varit intressant, för att få en uppfattning om det finns ett intresse av att bevara byggnader från miljonprogrammet, och hur åsikterna skiljer sig beroende på ålder, profession och bakgrund.

Eftersom en väldigt stor andel av byggnaderna från miljonprogrammet är i behov av renovering hade en undersökning bland fastighetsägare till dessa byggnader varit intressant för att få en uppfattning om varför det inte genomförts och om de tagit hänsyn till kulturvärdet vid en framtida renovering. Behövs fler incitament eller lagkrav för att de ska genomföra en renovering med hänsyn till både miljö och kulturvärde? Det hade bidragit med värdefull kunskap om vad som krävs för att fastighetsägare ska ta till sitt ansvar och bidra till att nå Sveriges miljömål.

Energieffektivisering av miljonprogramshus

8 Referenser

- Axelsson, D. (2013). *Kulturhistoriskt värde- en faktor att räkna med*. <https://byggnadsvard.se/kulturhistoriskt-varde-en-faktor-att-rakna-med/> [2022-04-13]
- BBR 29 (2020). *Boverkets byggregler (2011:6)- föreskrifter och allmänna råd, BBR*. (uppdaterad med ändringar till och med BFS 2020:4). Karlskrona: Boverket.
- BEN 2 (2017). *Boverkets föreskrift om ändringar av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12 om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår*. Karlskrona: Boverket.
- Björk, C., Kallstenius, P. & Reppen, L. (2013). *Så byggdes husen 1880-2000*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Bogdanova, E. (2020). *Att vårda, återställa eller skapa värde*. <https://byggnadsvard.se/att-varda-aterstalla-eller-skapa-varde> [2022-04-13]
- Boverket (2009). *Enkätundersökning om boendes upplevda inomhusmiljö och ohälsaresultat från projektet BETSI*. (ISBN:978-91-86342-45-6). Karlskrona: Boverket.
- Boverket & Energimyndigheten (2019). *Underlag till den tredje nationella strategin för energieffektiviserande renovering* (Rapport 2019:26). Karlskrona: Boverket.
- Boverket (2020). *Under miljonprogrammet byggdes en miljon bostäder*. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/stadsutveckling/miljonprogrammet/> [2022-01-31]
- Boverket (2021). *Byggnadsminnen*. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/stadsutveckling/miljonprogrammet/> [2022-02-18]
- Burke (2022) mejlkorrespondens
- Capener, C. & Elfborg, S. (2014). *D5.3 Data Input to EU Database* (Rapport 260058). E2Rebuild.
- Cruz, R. (2014). *Byggnadstekniska åtgärder för energieffektivisering av kulturhistorisk värdefull byggnad*. Luleå tekniska universitet.
- Energimyndigheten (2019). *Spara och bevara 2019-2024*. <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/omraden-for-forskning/bostader-och-bebyggelse/program/spara-och-bevara/> [2022-02-18]

Energieffektivisering av miljonprogramshus

Energimyndigheten (2020). *Sveriges energi- och klimatmål*. <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/sveriges-energi--och-klimatmal/> [2022-01-31]

Energimyndigheten (2021). *Energiläget 2021- en översikt*. (Rapport ET 2021:10) Eskilstuna: Energimyndigheten.

FEBY18 (2019). *Kravspecifikation för energieffektiva byggnader- Bostäder och lokaler* (kompletterad version). Sollentuna: Forum för energieffektivt byggande.

Femenías, P., Thuvander, M. & Andersson, L. (2014). Strategier för renovering och ombyggnad av flerbostadshus från 1940-1960-talet: Strategimatrix- ett exempel. *Bygg och teknik*, 2014(2), s.12-20.

Femenías, P., Jerome, A., Wahlgren, P., Johansson, P., Thuvander, M. & Eriksson, P. (2019). *Om-renovering: Möjligheter för energieffektivisering och återskapande av kulturvärden när flerbostadshus renoveras på nytt*. Chalmers Tekniska Högskola.

FN (2022). *Globala målen för hållbar utveckling*. <https://fn.se/globala-malen-for-hallbar-utveckling/> [2022-01-31]

Holm, D. & Sandö, P. (2015). *Energieffektivisering av kulturhistoriska byggnader*. IVL Svenska miljöinstitutet.

Jensen, L. & Warfvinge, C. (2001). *Värmebehovsberäkning*. Lund tekniska högskola.

Johansson, P., Wahlgren, P. & Eriksson, P. (2020). *Bevara och energieffektivisera kulturhistoriskt värdefull bebyggelse genom att använda superisoleringsmaterial*. Energimyndigheten.

Lindblom, J. (2003). Bevara eller förfara?. I Segerström, H., Ljungqvist, T., Frost, K. & Ahlm, T. (red.) *Glädjrika sköna*. Köping: Reklamtryckeri i Köping AB, s. 188-194

Månborg, V., Rensfeldt, A., Haraldsson, M. & Johnsson, J. (2019). *Energieffektivisering med effekt*. Värmemarknad Sverige.

Naturvårdsverket (2022). *Energieffektivisering*. Stockholm: Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimat-t-och-energin/energieffektivisering/> [2022-04-13]

Owens, J. & Wilhite, H. (1998), Household energy behaviour in nordic countries- an unrealized energy saving potential, *Energy Vol. 13, No. 12, pp 853-859*.

Riksantikvarieämbetet (2021). *Lagar och ansvar för kulturhistorisk bebyggelse*. <https://www.raa.se/hitta-information/bebyggelseregistret-bebr/stoddokument-bebr/lagar-och-ansvar/> [2022-02-18]

Energieffektivisering av miljonprogramshus

Roos, J. (2009). Miljonprogrammet- ett vårdpaket?. *Byggnadskultur*, 2009(2), s.42-45.

SCB (2021). *Drygt 5 miljoner bostäder i landet*. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/boende-byggande-och-bebyggelse/bostadsbyggande-och-ombyggnad/bostadsbestand/pong/statistiknyhet/bostadsbestandet-31-december-2020/> [2022-01-31]

SFS 1988:950. *Kulturmiljölag*

SFS 2010:900. *Plan- och bygglag*

Spara och bevara (2020). *Fem nya forskningsprojekt beviljade medel i etapp IV*. <http://www.sparaochbevara.se/fem-nya-forskningsprojekt-beviljade-medel-i-etapp-iv/> [2022-02-18]

Spara och bevara (2022:1). *Forskningsprogrammet*. <http://www.sparaochbevara.se/cek/> [2022-01-31]

Spara och bevara (2022:2). *Varsam energieffektivisering av 1900-talets villabebyggelse*. <http://www.sparaochbevara.se/forskningsprogrammet/etapp-iv-forskningsprojekt/varsam-energieffektivisering-av-1900-talets-villabebyggelse/> [2022-02-18]

Spara och bevara (2022:3). *Värdering av åtgärder för energieffektivisering och förbättrat inomhusklimat i 1970-talets kulturmiljöer*. <http://www.sparaochbevara.se/vardering-av-atgarder-for-energieffektivisering-och-forbatrat-inomhusklimat-i-1970-talets-kulturmiljoer/> [2022-02-18]

Stige, M. (2017). *Historiska byggnader är marknadens vinnare*. <https://byggnadsvard.se/historiska-byggnader-ar-marknadens-vinnare/> [2022-04-13]

Ståhl, F., Lundh, M. & Ylmén, P. (2011). *Hållbar och varsam renovering och energieffektivisering av kulturhistoriskt värdefulla byggnader- en förstudie*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Sveby (2012). *Brukarindata bostäder* (Version 1.0). Stockholm: Sveby-programmet.

Sveriges miljömål (2021:1). *Sveriges 16 miljö kvalitetsmål*. <https://www.sverigesmiljomal.se> [2022-01-31]

Sveriges miljömål (2021:2). *Utsläpp av växthusgaser till år 2030*. <https://www.sverigesmiljomal.se/etappmalen/utslapp-av-vaxthusgaser-till-ar-2030/> [2022-01-31]

Energieffektivisering av miljonprogramshus

Vidén, S. & Lundahl, G. (red.) (1992). *Miljonprogrammets bostäder: Bevara-Förnya-Förbättra*. Stockholm: Ljunglöfs Offset AB.

Vidén, S. (2012). Rekordårens bostäder- en viktig resurs för hållbar utveckling. I Johansson, G. & Formas (red.) *Miljonprogrammet- utveckla eller avveckla?*. Stockholm: EDITA AB, s. 21-44