

Potential och policies för energieffektivisering i stora bestånd av kulturhistoriskt värdefulla byggnader

En sammanfattande slutrapport för tre samordnade projekt inom den tredje etappen av Energimyndighetens forskningsprogram Spara och bevara:

- Potential och policies för energieffektivisering i svenska byggnader byggda före 1945 – Energisystemaspekter
- Potential och policies för energieffektivisering i svenska byggnader byggda före 1945 – Antikvariska aspekter
- Kategorisering av det svenska beståndet av kulturhistoriskt värdefulla byggnader



Bahram Moshfegh, Patrik Rohdin, Vlatko Milic, Klas Ekelöv, Linn Liu
(Linköpings universitet)

Tor Broström, Anna Donarelli, Petra Eriksson och Fredrik Berg
(Uppsala universitet)

Tim Johansson
(Gitter AB)

Augusti 2019

Innehållsförteckning

1. Inledning	6
Projektpartners	6
Bakgrund	6
Mål	7
Läsanvisning	7
Författare av olika delar av rapporten	7
2. Övergripande metod	9
Inledning	9
Kategorisering av större byggnadsbestånd	10
Sätt mål för energiprestanda och för bevarande	10
Första urval av åtgärder	10
Teknisk-ekonomisk optimering	10
Riskbedömning med avseende på kulturvärden, inneklimat och fuktskador	11
Analys och iteration	11
Hur kan metoden tillämpas?	11
Europeisk standard och en svensk handbok	11
<i>Inledning och bakgrund</i>	Error! Bookmark not defined.
Europeiska riktlinjer för energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader ...	11
Handbok: Bruka, bevara och energieffektivisera	13
3. Var det bättre förr? Vad säger om energideklarationsdatabasen om äldre byggnaders energianvändning?	14
Inledning	14
Metod	14
Energideklarationsdatabasen	14
Resultat	15
Energianvändning i förhållande till byggnadsår	15
Energi-prestanda i förhållande till byggnadsår	16
Energi-prestanda i förhållande till klimatzon och byggnadstyp	17
Energi-prestanda uppdelat på värmekälla	17
Energisparpotential	17
Diskussion och slutsatser	18
4. Särskilt värdefulla byggnader och kulturvärden	20
Byggnader och särskilt värdefulla byggnader	20

Kulturvärden och karaktärsbärande element	21
Kulturhistorisk värdering och klassificering	22
Metoder och processer för värdering	23
Kulturhistoriska klassificeringssystem	24
Stockholm	24
Halland	24
Den byggnadsantikvariska praktiken	25
5. Fallstudier	26
Visby	26
Stockholm	26
Halland	27
Linköping	28
6. Kategorisering av större byggnadsbestånd	29
Inledning	29
Metod	29
Insamling av data	30
Kategorisering	31
Definiera den fysiska strukturen	31
Avgränsa och vikta kategorierna	31
Underkategorier	31
Identifiera typiska byggnader	31
Ett exempel: Visby Innerstad	32
Insamling av data	32
Kategorisering	32
Resulterande kategorier	34
Val av representativa byggnader	35
Kategori 1	35
Kategori 2	36
Kategori 3	37
Kategori 4	38
Kategori 5	39
Kategori 6	40
7. Geografiska analyser av byggnadsbestånd med fokus på kulturhistoriskt klassificerade byggnader	41

Inledning	41
Mål.....	41
Metod.....	41
Resultat.....	42
Stockholm	42
Halland.....	43
Slutsats.....	44
8. Vidareutveckling av teknisk-ekonomisk potentialbedömning för energibesparing (TEPE)-metodiken	45
Inledning	45
Metodikbeskrivning.....	45
Optimeringsverktyget OPERA-MILP	46
Simuleringsverktyget IDA ICE	48
Systemoptimeringsverktyget MODEST.....	48
Exempel på resultat	48
Byggnadsnivå.....	48
Klusternivå.....	51
Distriktsnivå.....	52
Omgivande fjärrvärmesystemet	52
Samhällsekoniskt perspektiv.....	54
Hur kan metodiken komma till nytta?	54
9. Integrering av antikvarisk bedömning och teknisk ekonomisk optimering av energianvändning och LCC – Visbystudien.....	56
Karaktersbärande element i Visby innerstad	57
Energireoveringsscenarier	57
Resultat av LCC-optimeringarna.....	58
Utfall på byggnadsbeståndsnivå	59
Energianvändning	59
LCC.....	60
Avslutningsvis	Error! Bookmark not defined.
Slutsatser.....	61
10. Effektsignaturer	63
Inledning	63
Metodikbeskrivning.....	64

Inhämtande av data	64
Val av specifika tidsperioder	65
Numeriska beräkningar	65
Exempel på resultat	66
Varmvattencirkulation	66
Specifika värmeförluster	68
Tappvarmvattenanvändning.....	69
Balanstemperatur	70
Energieffektiviseringspotential	71
Hur kan metodiken komma till nytta?	73
11. Potentialbedömning för kostnadseffektiv energieffektivisering	75
12. Policier och riktlinjer	81
Inledning.....	81
Differentierade mål och strategier	81
Byggnader byggda före 1920.....	81
Byggnader byggda 1920 -1964.....	81
Byggnader byggda efter 1964.....	82
Kategorisering	Error! Bookmark not defined.
Kunskap om byggnadsbeståndet	82
Kunskap och kompetens	82
Internationellt samarbete	83
Fortsatt forskning (utvecklas).....	83
13. Publikationer	84

1. Inledning

Detta är en sammanfattande slutrapport för tre samordnade projekt inom den tredje etappen av Energimyndighetens forskningsprogram Spara och bevara:

Potential och policies för energieffektivisering i svenska byggnader byggda före 1945 – Energisystemaspekter

Potential och policies för energieffektivisering i svenska byggnader byggda före 1945 – Antikvariska aspekter

Kategorisering av det svenska beståndet av kulturhistoriskt värdefulla byggnader

Projektpartners

Projektet har genomförts i ett tvärvetenskapligt samarbete mellan Linköpings universitet och Uppsala universitet. Följande personer har medverkat i projektet:

Linköpings universitet: Bahram Moshfegh (projektledare), Patrik Rohdin, Vlatko Milic, Klas Ekelöv, Linn Liu.

Uppsala universitet: Tor Broström (projektledare), Anna Donarelli, Petra Eriksson och Fredrik Berg.

Tim Johansson, Gitter AB, har på konsultbasis bidragit till projektet.

Bakgrund

Oavsett hur vi definierar och avgränsar målgruppen ”kulturhistoriskt värdefulla byggnader” finns här en betydande del av samhällets energianvändning. Sammantaget har den svenska byggnadssektorn en årlig energianvändning för uppvärmning och tappvarmvatten på ca 160 TWh. Omkring en tredjedel av byggnaderna är från före 1945. I Europa finns cirka 55 miljoner bostäder byggda före 1945 med en uppskattad årlig energianvändning på 1400 TWh. Varje sparad procent i byggnader byggda före 1945 motsvarar i Sverige uppskattningsvis 0,6 TWh och i Europa 14 TWh.

De nationella energisparmålen, Boverkets byggregler och den nationella renoveringsstrategin bidrar till en höjd ambitionsnivå för energieffektivisering i det befintliga byggnadsbeståndet. För många kulturhistoriskt värdefulla byggnader skulle uppfyllandet av dessa krav sannolikt innebära stora och dramatiska förändringar. Men regelverken är också tydliga med att hänsyn ska tas till byggnadens kulturvärden. Det handlar alltså inte om att ensidigt uppnå energimålen, utan hur man hittar en långsiktigt hållbar balans mellan att spara energi samt att bevara och utveckla byggnadsbeståndet med hänsyn till dess kulturvärden. Av byggnaderna byggda före 1945 är det bara en liten del som är byggnadsminnen enligt kulturmiljölagen eller skyddas genom detaljplan, de flesta byggnader saknar formellt skydd vilket innebär att det finns ett handlingsutrymme för att bestämma hur den balansen ska se ut. Regelverken ger tydliga direktiv i det att man ska ta hänsyn till byggnadens kulturvärden, men utmaningen ligger i att tillämpa detta systematiskt och kvalitetssäkert. Det behövs därför policies på såväl nationell som lokal nivå för att bättre kunna hantera den avvägningen. Boverket, Riksantikvarieämbetet och Ingenjörsvetenskapsakademien har i tidigare utredningar påtalat behovet av mer kunskap om hinder och möjligheter för energieffektivisering i kulturhistoriskt

värdefulla byggnader, av att belysa målkonflikter inom detta område och ta fram nya styrmedel i form av kunskap, riktlinjer och policies.

Mål

Det övergripande målet med detta projekt var att ge underlag för utveckling av nya policies, riktlinjer och styrmedel för energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader.

Delmålen var att:

- Utveckla metoder och förhållningssätt för att strategiskt hantera energieffektivisering i större bestånd av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse.
- Utveckla en metod för teknisk-ekonomisk potentialbedömning för energibesparing
- Utveckla en metod för kategorisering av större byggandsbestånd
- Utveckla en metod för effektsignatur
- Tillämpa ovanstående metoder i fyra fallstudier
- Analysera energianvändning i det svenska beståndet av kulturhistoriskt värdefulla byggnader utifrån energideklarationsdatabasen Gripen
- Göra en bedömning av den kostnadseffektiva energibesparingspotentialen på nationell nivå
- Utredda vilka hinder och drivkrafter för implementering av kostnadseffektiva energieffektiviserande åtgärder som är specifika för denna del av byggnadsbeståndet samt att ta fram förslag till styrmedel.

Läsavisning

Denna rapport syftar till att ge en handboksmässig beskrivning av hur resultaten från projekten kan komma till användning. För en mer fullständig redovisning av undersökningar, metoder och resultat hänvisas till bakomliggande publikationer, se kapitel 13.

Författare av olika delar av rapporten

Nedan följer en sammanställning över vilka delar var och en har haft ansvaret för och författat, där *Tor Broström* och *Bahram Moshfegh* har haft huvudansvaret för sammanställningen av rapporten.

Kapitel 1 ”Inledning” har skrivits av *Tor Broström*

Kapitel 2 ”Övergripande metod” har skrivits av *Tor Broström och Petra Eriksson*

Kapitel 3 ”Var det bättre förr?– Vad säger om energideklarationsdatabasen om äldre byggnaders energianvändning?” har skrivits av *Anna Donarelli och Tor Broström*

Kapitel 4 ”Särskilt värdefulla byggnader och kulturvärden” har skrivits av *Petra Eriksson*

Kapitel 5 ”Fallstudier” har skrivits av *Petra Eriksson och Vlatko Milić*

Kapitel 6 ”Kategorisering av större byggnadsbestånd” har skrivits av *Anna Donarelli, Fredrik Berg och Tor Broström*

Kapitel 7 ”Geografiska analyser av byggnadsbestånd med fokus på kulturhistoriskt klassificerade byggnader” har skrivits av *Tim Johansson och Petra Eriksson*

Kapitel 8 ”Vidareutveckling av teknisk-ekonomisk potentialbedömning för energibesparing (TEPE)-metodiken” har skrivits av *Vlatko Milić, Patrik Rohdin och Bahram Moshfegh*

Kapitel 9 ”Integrering av antikvarisk bedömning och teknisk ekonomisk optimering av energianvändning och LCC – Visbystudien” har skrivits av *Petra Eriksson och Vlatko Milić*

Kapitel 10 ”Effektsignaturer” har skrivits av *Vlatko Milić, Patrik Rohdin och Bahram Moshfegh*

Kapitel 11 ”Potentialbedömning för kostnadseffektiv energieffektivisering” har skrivits av *Vlatko Milić, Patrik Rohdin och Bahram Moshfegh*

Kapitel 12 ”Policies och riktlinjer” har skrivits av *Tor Broström och Petra Eriksson*

2. Övergripande metod

Detta kapitel bygger på en tidigare publicerad artikel:

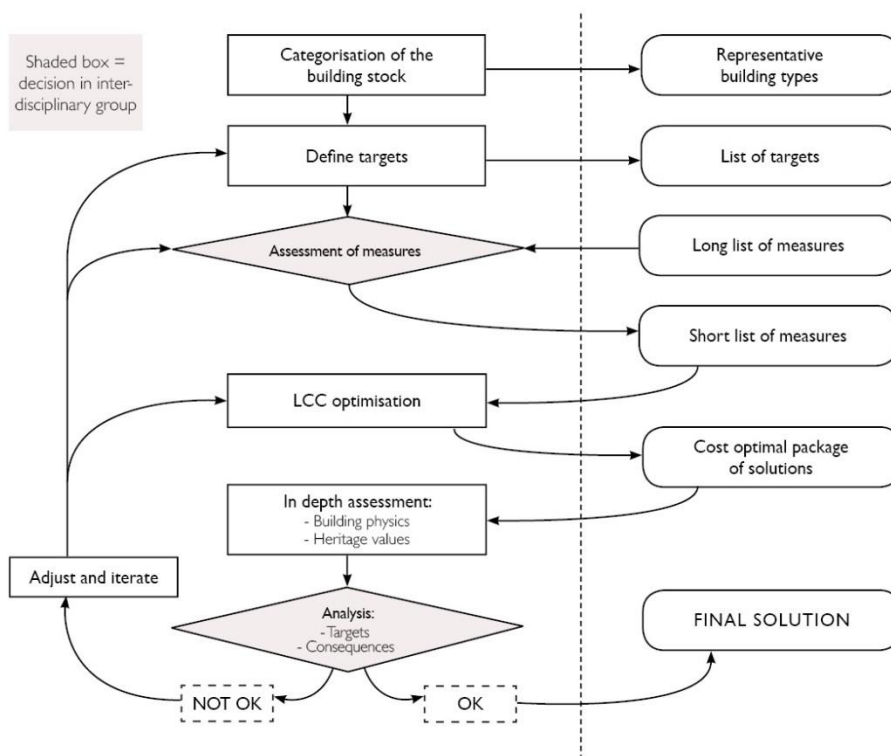
Broström, T., Eriksson, P., Liu, L., Rohdin, P., Ståhl, F., Moshfegh, B. *A Method to Assess the Potential for and Consequences of Energy Retrofits in Swedish Historic Buildings*. *Journal of the Historic Environment*. Vol 5 Issue 2 (2014) pp. 150 – 166.

I slutet av detta kapitel presenteras två skrifter som beskriver processer och förhållningssätt för att arbeta med energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader.

Inledning

Energieffektivisering av kulturhistoriskt värdefulla byggnader måste ses i ett bredare sammanhang av hållbar förvaltning av byggnader. En hållbar användning och bevarande av historiska byggnader kräver breda och långsiktiga kompromisser mellan sociala, antikvariska, ekonomiska och miljömässiga aspekter. Den föreslagna metoden gör det möjligt att väga kulturvärden mot teknisk-ekonomiska faktorer. Metoden omfattar följande steg:

1. Kategorisering av byggnadsbeståndet för att identifiera representativa byggnadstyper.
För varje kategori:
2. Sätt mål för energiprestanda och för bevarande.
3. Ett första urval av åtgärder från en bruttolista med alla möjliga åtgärder.
4. Teknisk-ekonomisk optimering för att det paket av åtgärder som ger lägsta livscykelkostnaden.
5. Riskbedömning med avseende på kulturvärden, inneklimat och fuktskador.
6. Analys av förväntat resultat i förhållande till målen.



Figur 1: Flödesschema som beskriver den föreslagna metoden.

Den föreslagna metoden kan användas för att visa konsekvenserna av olika mål när det gäller energibesparingar och påverkan på kulturvärden. Genom en iterativ procedur kan ägaren och användarna tillsammans med ett tvärfackligt team hitta det scenario som på bästa sätt balanserar nyttan, i form av sparad energi, i förhållande till risker och kostnader. Metoden har utvecklats för användning i planering och policyarbete regionalt och nationellt, men den kan också tillämpas på enstaka byggnad. Det är viktigt att framhålla att metoden inte leder fram till en enda lösning utan att den är ett verktyg för konsekvensanalys av olika scenarier.

Kategorisering av större byggnadsbestånd

En undersökning av energisparpotentialen i ett stort byggnadsbestånd kan inte göras byggnad för byggnad. Byggnadsbeståndet måste på något sätt reduceras till ett hanterbart antal kategorier som ger en tillfredsställande statistisk representation av hela beståndet. Detta möjliggör en detaljerad analys av ett begränsat antal typiska byggnader och extrapolering av dessa resultat för att ge slutsatser om hela beståndet.

Metoden för kategorisering beskrivs i kapitel 6 med ett exempel.

Sätt mål för energiprestanda och för bevarande

Förbättrad energiprestanda är inte ett mål i sig. Energiåtgärder bör baseras på tydligt definierade mål vad gäller kostnader, energianvändning, koldioxidutsläpp och bevarande. Dessa mål måste prioriteras i förhållande till varandra. Målen kan definieras för en enda byggnad, ett område, regionalt eller nationellt. Målen ger en nödvändig referensram för bedömningen av föreslagna åtgärder. I många fall är mål för energiprestanda en given utgångspunkt. På bevarandesidan är mål svårare att definiera om inte byggnaden är formellt skyddad och det finns dokument som direkt eller indirekt ger dessa mål. Ändå är det nödvändigt att på i ett tidigt skede fastställa bevarandemål som så långt som möjligt speglar dels ägarens och användarnas intressen, dels myndigheternas krav på bevarande.

Första urval av åtgärder

Baserat på en bruttolista över de vanligaste energieffektivitetsåtgärderna i Sverige görs ett urval grundat på en bedömning av risker och fördelar för varje byggnadskategori. Detta steg är främst avsett att utesluta olämpliga åtgärder och att identifiera ett begränsat antal möjliga åtgärder. Bedömningen bör utföras av en tvärfacklig grupp av experter. En mer ingående analys av de utvalda åtgärderna görs i nästa steg.

Utifrån sin kunskap och erfarenhet gör gruppen ett urval baserat på en bedömning av:

- Energisparpotential
- Lönsamhet
- Inverkan på kulturvärden
- Fuktrisker
- Inverkan på inomhusmiljön

Teknisk-ekonomisk optimering

Vi har nu identifierat ett antal möjliga åtgärder för varje byggnadskategori. För att identifiera den bästa kombinationen av dessa åtgärder genomförs en livscykelkostnadsanalys (LCC). Detta steg identifierar kombinationen av åtgärder som skulle ge den lägsta livscykelkostnaden. Andra resultat från LCC-analysen är energibehov och koldioxidutsläpp under livscykeln.

Metoden för teknisk-ekonomisk optimering beskrivs mer utförligt i kapitel 8.

Riskbedömning med avseende på kulturvärden, inneklimat och fuktskador

För att möta behovet av ett tydligare och mer transparent beslutsstöd för vilka konsekvenser olika energiförbättringsåtgärder får för det byggda kulturarvet har följande arbetsätt använts:

- Identifiera en byggnads eller ett bebyggelseområdes övergripande kulturvärden
- Identifiera därefter vilka karaktärsbärande element det är som bidrar till eller skapar kulturvärdet.
- Bedöm vilken påverkan energiförbättrande åtgärder har på kulturvärden (hög risk – låg risk)

För ytterligare vägledning hänvisar vi kapitel 4 i denna rapport.

Åtgärder för att förbättra energiprestanda kan påverka inte bara byggnadens kulturvärden utan även dess fuktillstånd och inneklimat. Det är viktigt att det görs en systematisk och transparent riskanalys. Här hänvisar vi till ett annat projekt inom forskningsprogrammet Spara och bevara:

Metoder för riskbedömning av åtgärder i historiska byggnader

<http://www.sparaochbevara.se/handbok-metoder-for-riskbedomning/>

Analys och iteration

Nu har vi en metod för att utvärdera teknisk-ekonomiska prestanda, effekten på kulturarvsvärden, byggnaden och inomhusklimatet. En kritisk del i beslutsprocessen är att hitta sätt att balansera dessa kvantitativa och kvalitativa bedömningar. Vår strategi har varit att underlätta informerade beslut genom att visa konsekvenserna av målen och bedömningarna. Detta är tillämpligt på alla beslutssammanhang. Helst bör det vara en dialog som involverar ägaren, användarna och andra intressenter samt ett tvärvetenskapligt team av professionella. Resultat och konsekvenser utvärderas i förhållande till målen. Om utfallet inte är tillfredsställande kan man lägga till eller ta bort åtgärder och upprepa den teknisk-ekonomiska optimeringen, se figur 1. Vidare kan målen ändras för att analysera konsekvenserna av detta.

Hur kan metoden tillämpas?

I kapitel 9 visas hur metoden har tillämpats för en analys av byggnadsbeståndet världsarvsstaden Visby.

Europeisk standard och en svensk handbok

I överlappande projekt har projektdeltagarna medverkat till att ta fram två skrifter som beskriver processer och förhållningssätt vad gäller energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader.

Europeiska riktlinjer för energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader

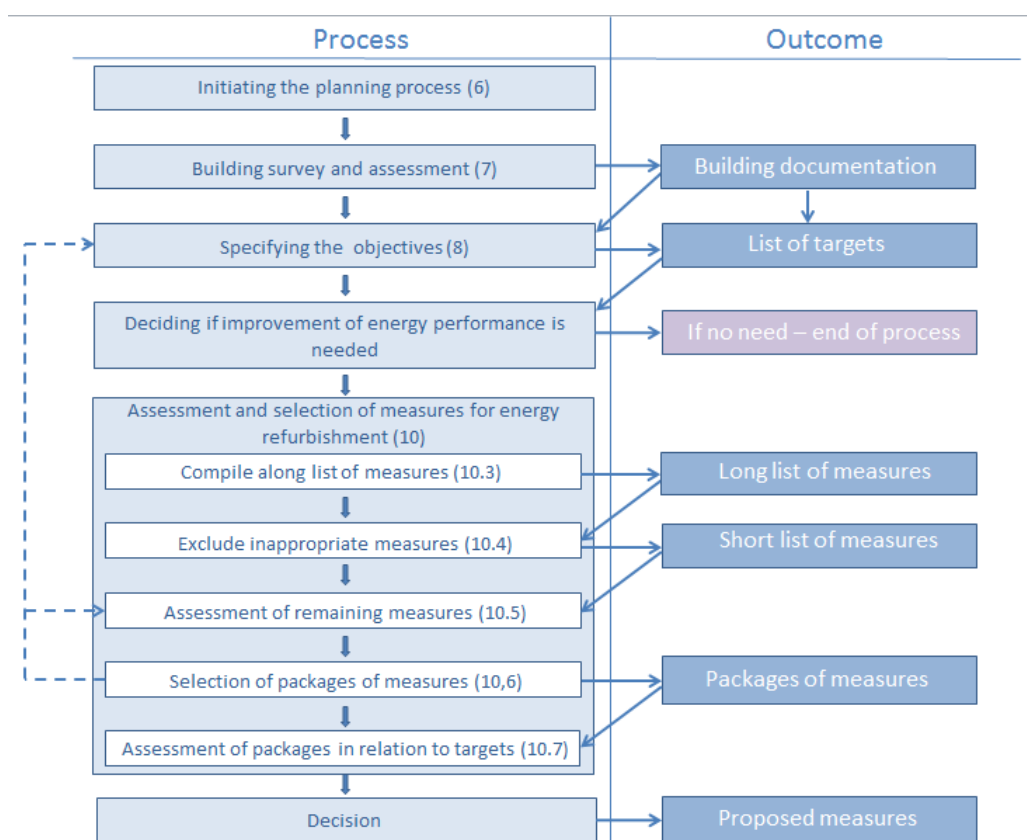
SS-EN 16883:2017 Bevarande av kulturarv – Riktlinjer för förbättring av energiprestandan i historiska byggnader (Conservation of cultural heritage – Guidelines for improving the energy performance of historic buildings)

Standarden presenterar riktlinjer för att på kunna förbättra energiprestanda i kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Riktlinjerna är tillämpbara på många olika byggnader där särskilda hänsyn måste tas för att en hållbar balans mellan byggnadens användning, energiprestanda och konservering ska uppnås den gäller alltså inte bara byggnadsminnen. Standarden beskriver ett systematiskt arbetssätt eller förfarande som gör det lättare att fatta rätt beslut i varje enskilt fall. Den är avsedd att användas av fastighetsägare, myndigheter och personer som arbetar med bevarande och renovering av historiska byggnader.

Flödesdiagrammet nedan ger en överblick och sammanfattning av standarden.

Standarden kan fås kostnadsfritt via nedanstående länk:

<https://www.sis.se/standarder/kpenstandard/forkopta-standarder/kuturarv/>



Figur 1: Flödesschema som beskriver de europeiska riktlinjerna.

Handbok: Bruka, bevara och energieffektivisera

På uppdrag av Sveriges kommuner och landsting skrevs en handbok som har sin utgångspunkt i resultat från projektet:

Broström, T., Eriksson, P. och Norrström H. *Bruka, bevara och energieffektivisera*. Offentliga fastigheter. ISBN 978-91-7585-249-2 (2015).



Boken presenterar en systematisk metod för hitta en balans mellan att spara energi och att bevara kulturvärden i det befintliga byggnadsbeståndet. Den vänder sig till offentliga fastighetsorganisationer och professionella förvaltare. Utgångspunkten är att det redan finns kunskap och metoder för att arbeta med energieffektivisering i byggnader, men att det behövs kompletterande information och riktlinjer för ett metodiskt arbete med kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Den föreslagna metoden syftar till att systematiskt sortera bort åtgärder som inte är lämpliga och identifiera de åtgärder som bäst passar byggnaden i fråga. Förfarandet bygger på en stegvis process med en tvärfacklig dialog där alla väsentliga aspekter bedöms och vägs mot varandra. Genom hela processen krävs tillgång till antikvarisk kompetens. I det första steget av metoden görs en nulägesbeskrivning med avseende på byggnadens tekniska funktion, energiprestanda och kulturhistoriska värden. För att de kulturhistoriska värdena ska kunna användas i beslutsprocessen måste de definieras och kommuniceras på ett tydligt sätt.

3. Var det bättre förr? Vad säger om energideklarationsdatabasen om äldre byggnaders energianvändning?

Denna rapport är en svensk sammanfattning av en vetenskaplig artikel på engelska vilken kommer att publiceras senare.

Inledning

Trots att vi under flera decennier haft en diskussion om energianvändning och energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader så har det funnits en brist på samlad kunskap om hur det ser ut i nuläget. Det följande är ett försök att med en enkel statistisk analys av Energideklarationsdatabasen Gripen kunna säga något om energianvändning i den äldre delen av det svenska byggandsbeståndet.

Metod

De data som används i denna studie kommer från den nationella databasen för energideklarationer, *Gripen*. Byggnaderna är grupperade i årtionden från 1845 och fram till 2014.

Vi har valt följande parametrar från databasen:

- Plats
- Byggnadsår
- Angränsande väggar
- Energianvändning (normalårskorrigerad)
- Energiprestanda (kWh/m² år)

Energideklarationsdatabasen

Energideklarationsdatabasen Gripen innehöll i januari 2017 cirka 650 000 energideklarationer, varav cirka 530 000 bostadshus. Bostadshusen delas in i två kategorier:

- 407 000 enfamiljshus
- 125 000 bostadshus

Den totala uppvärmda golvytan (A_{temp}) för bostadshus i Gripen är cirka 282 miljoner m² (se tabell 1).

Hela det svenska byggnadsbeståndet består av nästan 3 000 000 bostadshus fördelade på följande kategorier [18]:

- 2 750 000 småhus
- 160 000 flerfamiljshus
- 80 000 ospecificerade bostadshus

Omkring 89 % av alla flerfamiljshus är med i Gripen, men endast cirka 15 % av de småhusen. Gripen ger därmed en god representation av flerfamiljshus i Sverige. Urvalet av småhus kan vara något skevt eftersom dessa hus energideklarerar enbart vid försäljning.

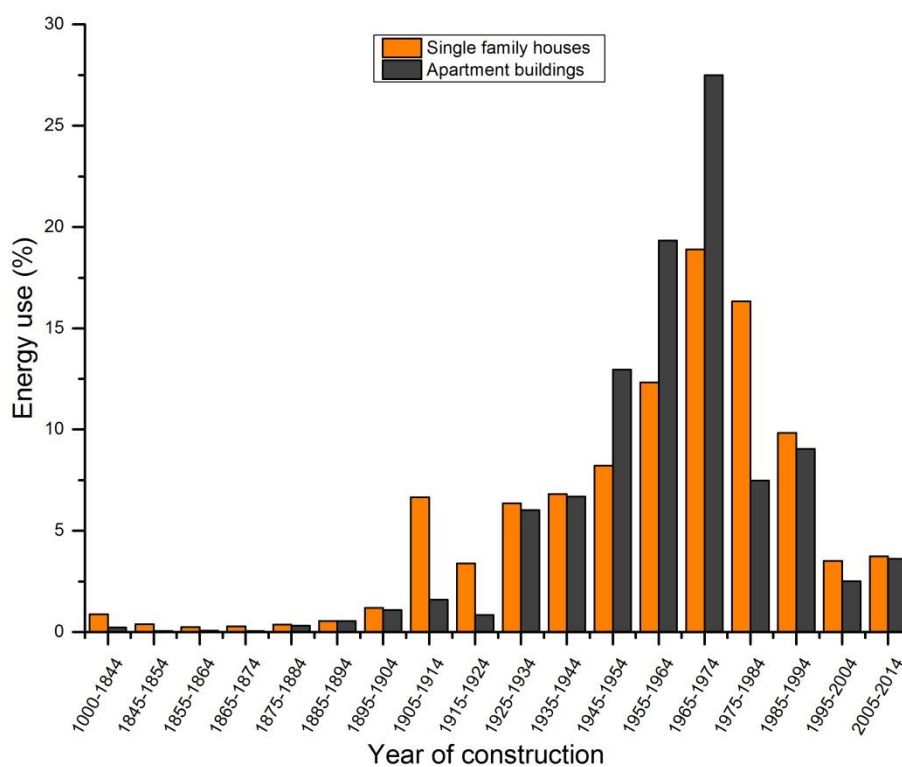
Tabell 1: Antal energideklARATIONER, A_{temp} och energianvändning i Gripen.

	Antal energideklARATIONER	A_{temp} (10^6 m ²)	Energianvändning (TWh)
Flerfamiljshus	124 659	213	30
Flerfamiljshus byggda före 1945	27 852	37	5.3
Flerfamiljshus byggda före 1920	6 362	9	1.3
Småhus	406 802	69	7.5
Småhus byggda före 1945	94 602	17	2
Småhus byggda före 1920	40 070	7	0.9

Resultat

Energianvändning i förhållande till byggnadsår

Figur 1 visar andelen av energianvändningen för småhus och flerfamiljshus i förhållande till byggnadsår. Det är uppenbart att de stora volymerna finns i byggnader från andra hälften av 1900 – talet



Figur 1: Energianvändning i bostadshus i förhållande till byggnadsår.

I tabell 2 ges en sammanställning av hur stor del av energianvändningen som finns i byggnader byggda före ett visst årtal. Byggnader byggda före 1845 står för en mycket liten del av den totala energianvändningen. Byggnader byggda före 1945 står däremot för en betydande del av energianvändningen.

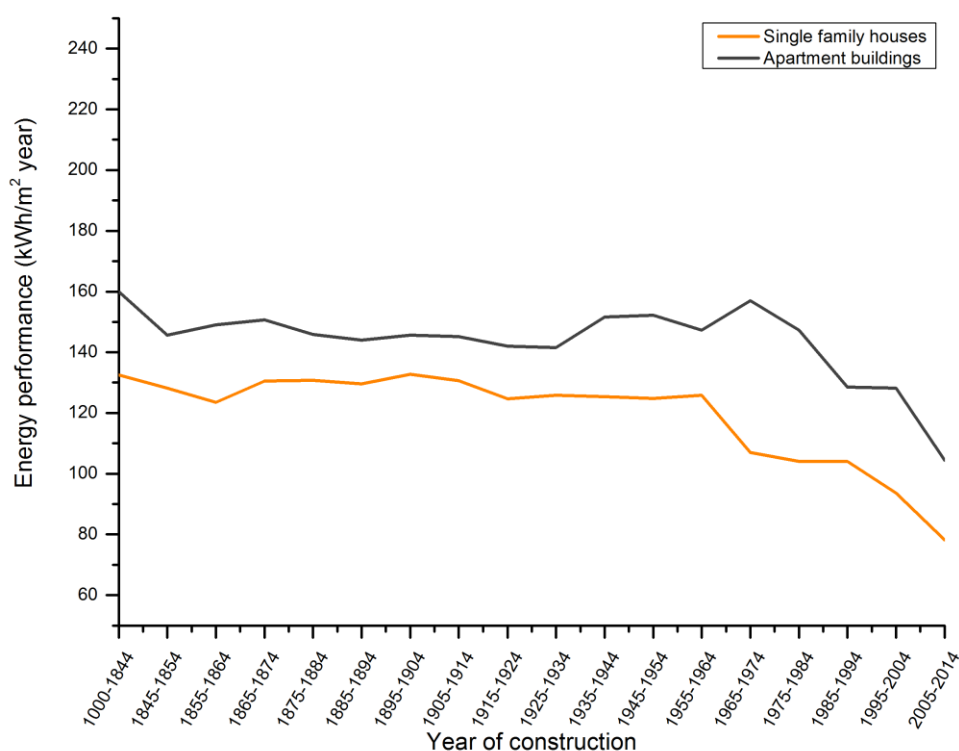
Tabell 2: Andel av energianvändningen som finns i byggnader byggda före ett visst årtal

	Före 1845	Före 1920	Före 1945
Flerfamiljshus	0,2 %	4 %	18 %
Enfamiljshus	0,9 %	12 %	27 %

Energiprestanda i förhållande till byggnadsår

Figur 2 visar energiprestanda i förhållande till byggnadsår för alla bostadshus i Gripen. Det kan ses att den genomsnittliga energiprestandan är något lägre i småhusen. För enfamiljshus byggda före 1965 och flerfamiljshus byggda före 1975 är energiprestanda mer eller mindre oberoende av byggnadsålder, efter det finns en tydlig brytpunkt där energiprestanda stadigt förbättras.

Figur 2 inkluderar byggnader i alla svenska klimatzoner och med alla typer av värme; fjärrvärme, värmepumpar, elvärme och biobränslen. Uppgifterna måste brytas ner ytterligare för att vi ska kunna dra några slutsatser om energiprestanda i förhållande till byggnadens ålder och potentialen för energibesparing inom gruppen äldre byggnader.



Figur. 2: Energiprestanda i förhållande till byggnadsår.

Energiprestanda i förhållande till klimatzon och byggnadstyp

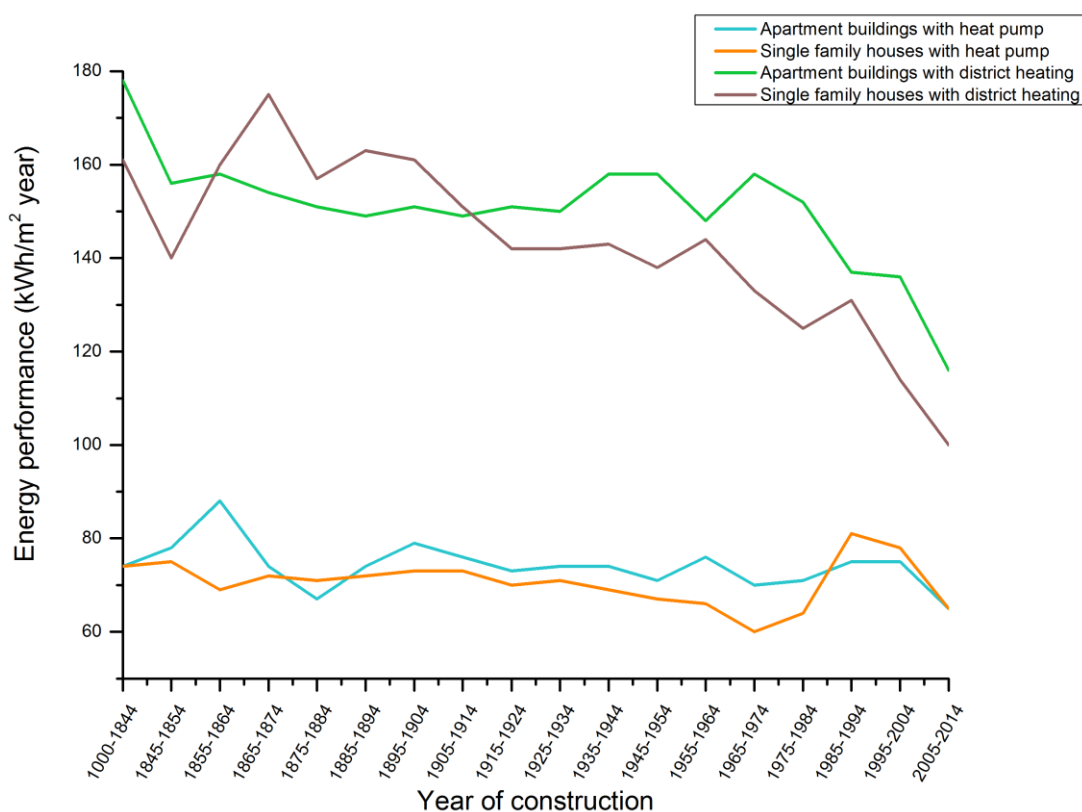
Analysen visade att energiprestanda uppdelat på byggnadsår var ungefär samma i klimatzonerna 2, 3 och 4 medan klimatzon 1 (norra Sverige) låg lite högre.

Vidare visade analysen på små skillnader i energiprestanda beroende på byggnadstyp (formfaktor). Huruvida byggnaden är fristående eller inte verkar inte ha stor inverkan på energiprestanda.

I den följande analysen har vi valt ut byggnader från klimatzonerna 2,3 och 4 och alla byggnadstyper.

Energiprestanda uppdelat på värmekälla

Genom att välja byggnader uppvärmda endast med fjärrvärme eller värmepump (vattenburen värme) skapas en mer homogen grupp av byggnader. Figur. 3 visar att det, som väntat, finns stor skillnad i energianvändning mellan byggnader uppvärmda med fjärrvärme och värmepumpar. Byggnaderna med fjärrvärme använder i genomsnitt ungefär dubbelt så mycket energi jämfört med de byggnader som har värmepumpar.



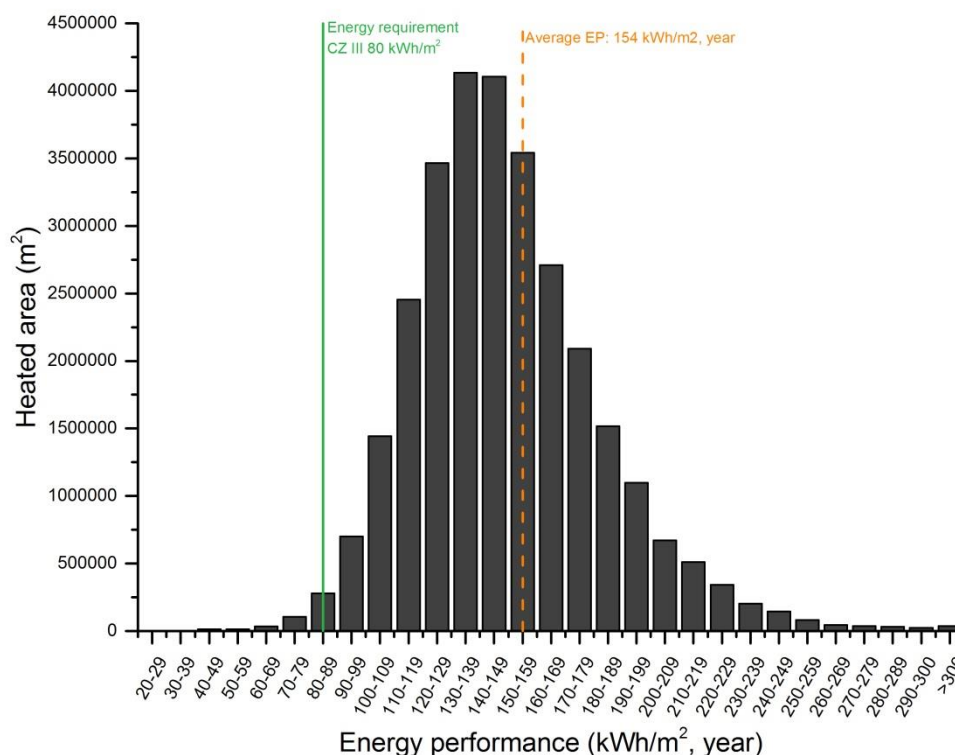
Figur 3. Energiprestanda beroende på byggårsår i byggnader med antingen fjärrvärme eller värmepump.

Energisparpotential

För att få ett urval av jämförbara byggnader har vi valt endast flerfamiljshus i klimatzon 2, 3 och 4 med fjärrvärme. Urvalet omfattar 18 889 byggnader med totalt upp till 30 miljoner m²

uppvärmd yta. Figur 4 visar fördelningen av energiprestanda för byggår mellan 1845 och 1944.

Förutsatt att byggnaderna i denna har liknande förutsättningar för energibesparing, kan vi utifrån detta resonera kring olika scenarier där vi baserar våra antaganden på energibesparingspotential på den nuvarande energianvändningen i byggnaderna. Om vi antar att alla byggnader i denna grupp skulle kunna uppnå den genomsnittliga energiprestanda för dessa byggnader ($154 \text{ kWh/m}^2, \text{ år}$) skulle vi spara cirka 7 % och cirka 316 GWh per år. Om vi istället antar att vi kan förvänta oss att alla tillhör den grupp där de flesta ligger (medianvärdet), $130 - 139 \text{ kWh/m}^2, \text{ år}$ sparar vi 14 %, cirka 603 GWh per år. Men vi är fortfarande långt ifrån energibehovet för nya och renoverade byggnader som är 80 kWh/m^2 i klimatzon 3.



Figur 4 Fördelning av energiprestanda i med fjärrvärme, byggår mellan 1845 och 1944. Den gröna linjen visar energikravet för byggnader i klimatzon III (där 62 % av dessa byggnader finns). Den orange streckade linjen visar den genomsnittliga energiprestanda för byggnaderna i denna grupp.

Diskussion och slutsatser

Denna rapport visar hur en relativt enkel statistisk analys av stora byggbestånd kan ge en översikt och ge vägledning för planerare och beslutsfattare.

Det finns osäkerheter i det statistiska materialet, de diskuteras mer utförligt i den ovan nämnda artikeln, vi menar att resultaten ändå ger en bättre bild av nuläget än vad som funnits tidigare.

Energianvändningen i byggnader som byggdes före 1945 står för en betydande del av energianvändningen i den svenska byggnaden. Det är cirka 27 % av all energi som används i enfamiljshus och 18 % av den energi som används i flerfamiljshus.

Byggnaderna som byggdes före 1945 står för en betydande del av den nationella energianvändningen och bör inte automatiskt undantas från samhällets krav på lägre energianvändning. Detta är också ett ålderssegment av byggnadsbeståndet där välplanerade åtgärder kan ge betydande energibesparingar på nationell nivå med begränsade effekter på kulturvärdena.

Boverket har en allmän rekommendation att byggnader som byggdes före 1920 ska betraktas som särskilt värdefulla, Energianvändningen i byggnaderna som byggdes före 1920 är 4 % i hyreshus och 12 % i enfamiljshus. Detta är fortfarande en betydande del av energianvändningen, särskilt för enfamiljshus, men det är rimligt att vara mer restriktiv när det gäller mål och åtgärder.

Byggnader som byggdes före 1845 står för en mycket liten del av energianvändningen för byggnader, 0,9 % i enfamiljshus och 0,2 % i hyreshus. Dessa byggnader har i allmänhet högre kulturvärden och är därmed mer känsliga för renoveringsåtgärder än resten av byggnadsbeståndet. Ur nationell synvinkel bör denna del av byggnadsbeståndet således inte vara en prioriterad grupp byggnader när det gäller att uppnå nationella mål för energibesparing. Detta betyder inte att dessa byggnader saknar potential för energibesparingar, snarare att mål och åtgärder bör baseras på förutsättningarna i den enskilda byggnaden.

I den allmänna diskussionen har framförts olika åsikter om äldre byggnaders energiprestanda, att äldre byggnader skulle vara sämre eller till och med bättre än nya byggnader. Resultaten visar att man bör vara försiktig med att göra antaganden om energiprestanda baserat på ålder. Energiprestanda är mer eller mindre densamma för äldre byggnader tills den når en brytpunkt där energiprestanda gradvis blir bättre. Brytpunkten inträffar på 1960 – talet för enfamiljshus och på 1970 – talet för flerfamiljshus. Fortsatt forskning behövs för att utveckla bilden och förklara orsaker.

En analys av aggregerade data för byggnader med olika värmekällor kan indikera en besparingspotential som inte kan förverkligas. Trubbiga politiska mål för energibesparingar, till exempel 20 % eller 50 %, är inte väl lämpade för kulturhistoriskt värdefulla byggnader, eftersom de kan leda till allvarliga negativa effekter på byggnadens kulturvärden. Undersökningen pekar på både ett behov av differentierade mål men också på metoder för att uppnå detta.

Statistik för grupper av jämförbara byggnader kan användas för att ta fram en realistisk potential för energibesparing. Medelvärdet eller medianvärdet för gruppen kan antas vara ett mer realistiskt mål snarare än de nationella målen för nya byggnader. Med denna metod kan vi dessutom enkelt identifiera byggnader eller grupper av byggnader som representerar best practice, eller tvärtom, hitta de sämsta byggnaderna.

4. Särskilt värdefulla byggnader och kulturvärden

Byggnader som har kulturvärden och särskilt värdefulla byggnader är idag inte undantagna från några av energikraven i Boverkets Byggregler (BBR). Samtidigt är det ett nationellt mål att kulturvärden i bebyggelsen skall beaktas och bevaras långsiktigt, att förändringar i byggnader skall ske med varsamhet och att särskilt värdefulla byggnader inte får förvanskas. Det innebär att alla energieffektiviseringsåtgärder på befintliga byggnader behöver ske med kunskap om byggnadernas kulturvärden. Att förstå och fokusera på byggnaders kulturvärden i relation till energieffektivisering är centralt för detta projekt.

Vad som betraktas som värdefullt ur ett kulturhistoriskt perspektiv i byggnader är till vissa delar relativt av vem som gör bedömningen. Detta är ett dilemma som har lett till försök att skapa tydligare ramverk kring värderingsmomentet. Att bedöma kulturvärden är inget som görs utan att först ha en god kunskapsgrund för bedömningen. Den grunden består av kunskap om byggnaden, dess byggnadstekniska och materialmässiga utförande, dess historia, arkitektur och användning. Att bedöma kulturvärden är således ett professionellt ställningstagande som utförs av byggnadsantikvarier eller av personer med motsvarande kompetens.

Energieffektivisering av byggnader påverkar byggnaderna på olika sätt beroende på vilka åtgärder som skall utföras. Den förändring av en byggnad som energieffektiviseringsåtgärder innebär skall bedömas utifrån vilken påverkan den får på byggnadens kulturvärden innan den kan genomföras. Man skulle kunna tala om byggnaders tålighet eller sårbarhet i förhållande till olika förändringar.

Detta kapitel kommer att fokusera på kulturvärden i byggnader och med vilka metoder bedömningen av kulturvärden görs samt hur bedömning av risker för kulturvärden görs i samband med energieffektiviseringsåtgärder. Det kommer således att beröra såväl teorin kring vad kulturvärden i byggnader är som den praktik som är en förutsättning för att peka ut och bestämma kulturvärden.

Byggnader och särskilt värdefulla byggnader

Då det är byggnaders kulturvärden som står i fokus kommer en introduktion till begreppen byggnad och särskilt värdefull byggnad att inleda avsnittet om kulturvärden i relation till hur dessa förhåller sig till befintlig lagstiftning som rör ändring av byggnad.

Begreppet byggnad innefattar både själva byggnadsskalet (golv, väggar och tak) och de tekniska system som krävs för att byggnaden skall fungera t.ex. de system som styr inomhusklimatet såsom värme och ventilation. Den definitionen återfinns i den nationella standarden för bevarande av kulturarv; *Riktlinjer för förbättring av energiprestandan i historiska byggnader (SS-EN 16883:2017)*. I nationell statistik om byggnader görs oftast en indelning i bostadsbyggnader som kan delas in i småhus och flerbostadshus och lokaler som kan delas in i byggnader som används för industri och handel, byggnader som används för sociala och kulturella ändamål. Alla byggnader oavsett ålder eller användningsområde omfattas av den generella varsamhetsbestämmelsen som finns i Plan- och Bygglagens (PBL) åttonde kapitel 17§ som säger att alla ändringar skall göras varsamt så att byggnadens värden ej går förlorade. Det innebär att hänsyn ska tas till byggnadens karaktärsdrag och att dess tekniska, historiska, kulturhistoriska, miljömässiga och konstnärliga värden ska beaktas. Detta gäller för alla byggnader.

En skarpare bestämmelse finns i PBLs åttonde kapitel 13§ som behandlar särskilt värdefulla byggnader eller bebyggelseområden. En särskilt värdefull byggnad får inte förvanskas vad gäller byggnadens historiska, kulturhistoriska, miljömässiga eller konstnärliga värden. Förvanskingsförbudet innebär att åtgärder som förändrar byggnadens karaktärsdrag eller skadar byggnadens tekniska egenskaper inte får genomföras. I en föreskrift till Boverkets Byggregler (BFS 2016:6 BBR 23) som är ett allmänt råd till byggreglerna ges vägledning till hur begreppet särskilt värdefull byggnad skall tolkas. En byggnad eller ett bebyggelseområde anses vara särskilt värdefullt om det:

- Tydliggör tidigare samhällsförhållanden och samhällsutvecklingen som tiden för 1800-talets jordbruksreform, industrisamhällets framväxt eller satsningen att bygga en miljon bostäder mellan 1964 – 1974 mm.
- Tidigare har varit en vanlig byggnadskategori/konstruktion men som idag har blivit sällsynt.
- Belyser tidigare sociala förhållanden och villkor, arkitektoniska ideal och värderingar.
- Representerar lokala funktioner såsom kommunhus, badhus, bibliotek och stationsbyggnader och deras miljöer.
- Varit förebild, stilbildande eller särskilt uppmärksammas i sin samtid.
- Är en källa till kunskap om traditionella material och tekniker som använts vid uppförandet av äldre byggnader.
- Är uppförd före 1920 – talets bebyggelseexpansion, och där den huvudsakliga karaktären är bevarad.

Förtydligandet i föreskriften anger en tidshänvisning, 1920-tal, och pekar ut byggnader från tiden innan den stora bebyggelseexpansionen som särskilt värdefulla om de har sin karaktär bevarad. Detta har betydelse för de energieffektiviserande potentialbedömningarna som görs i projektet samt får också genomslag i de övergripande förslagen till policys som projektet presenterar.

Kulturvärden och karaktärsbärande element

För att kunna hantera förvanskingsförbudet och varsamhetskravet i PBL i relation till energisparkrav och energieffektiviseringsåtgärder är det väsentligt att veta vad byggnadernas kulturvärden består av mer specifikt samt vilka karaktärsbärande element i byggnaden som är viktiga att bevara för att kulturvärdet inte skall minska, ändras eller helt försvinna. I en förändringsprocess är det av stor vikt att kunna identifiera de karaktärsbärande elementen och kommunicera detta till alla som deltar i förändringsarbetet. Detta skall ske av en person som är sakkunnig avseende kulturvärden, dvs. en person som har den kompetens som krävs för att arbeta med frågor som rör kulturvärden i byggnader.

Kulturvärden i byggnader är ett mångfacetterat och komplext område där många dimensioner behöver vägas in. I vägledningen som Boverket ger i Kunskapsbanken till begreppet presenteras tre perspektiv på kulturvärden; det kulturhistoriska perspektivet, det estetiska och det sociala. Det kulturhistoriska perspektivet kan handla om byggnadens betydelse för en viss plats eller en viss tid och hur den förhåller sig till andra skeenden i historien. Det estetiska perspektivet handlar om byggnaden som arkitektur och vilken visuell eller rumslig betydelse byggnaden har. Det sociala perspektivet utgår från människans relation till byggnaden. Kulturvärden innefattar både materiella värden som har att göra med byggnadens material, konstruktion, ålder, ursprunglighet mm och immateriella värden som har med hur byggnaden betyder och uppfattas av brukare, besökare eller betraktare. Ibland talar man om detta även som dokumentvärden och upplevelsevärden.

Byggnadens karaktärsbärande element är de byggnadstekniska och arkitektoniska delarna i byggnaden som gör det möjligt att förstå byggnadens tidsmässiga och rumsliga kontext. Med vilka material och tekniker som byggnaden har uppförts och med vilket formspråk som byggnaden har klätts är en väsentlig del av förståelsen av en byggnad. De karaktärsbärande elementen i en byggnad relaterar till byggnadens kulturvärden och övergripande kulturhistorisk betydelse på följande sätt (se figur 1):



Figur 1. Värden i byggnader kan förstås på tre olika nivåer beroende på vad som är syftet med att lyfta fram värdena.

I sammanhang energirenoveringar som kan innebära förändringar i byggnadsskalet eller i byggnadens tekniska system är det väsentligt att inför sådana förändringar ha kunskap om vad det är i byggnaden som bidrar till dess kulturvärden. I det enskilda fallet görs den bedömningen oftast i en antikvarisk förundersökning. Men om byggnaden ligger inom ett detaljplanerat område är det troligt att det också finns vägledning att hämta i planeringsunderlaget. För Visby som har utgjort ett av projektets fallstudier finns det en byggnadsordning framtagen som beskriver bebyggelsens karaktärsdrag. Dessa karaktärsdrag skall beaktas i alla förändringsärenden och ligga till grund för att bedöma om den föreslagna förändringen är varsam och inte förvanskande i förhållande till byggnadens kulturvärden.

Kulturhistorisk värdering och klassificering

Att värdera byggnader utifrån dess kulturhistoriska kontext har en historia som går tillbaka till den restaureringsideologiska debatten som startade under 1800-talet i England, Frankrike och Tyskland. Det handlade då om olika förhållningssätt till originalutförandet vid restaurering av monumentala byggnadsverk såsom kyrkor, slott och ruiner. Olika skolor etablerades där de två dominerande var den stildogmatiska skolan och dess motpol som också var en motreaktion mot stilrestaureringarna, den konservativa skolan där materialens åldrande förskönades i ruinromantisk anda. Exempel på den stildogmatiska skolan är restaureringarna av kyrkor och städer i Frankrike under ledning av arkitekten Viollet le Duc medan den mer konservativa skolan får exemplifieras av det som skulle bli grunden för en mer modern syn på restaurering i Storbritannien och där Arts & Crafts rörelsen har spelat en väsentlig roll. När vi kommer in på 1900-talet utvecklades en syn på byggnadsmonumenten och dess värden av forskare inom konst och arkitektur såsom Alois Riegl som utvecklar värdebegreppet till att omfatta såväl de historiska värden en byggnad kan ha som de värden den har i och för sin samtid såsom bruksvärden. Olika värdetyper har senare utvecklats med Riegl som

utgångspunkt. I England talar man på nationell nivå i den vägledning för bevarande som Historic England har publicerat om evidensvärden, historiska värden, estetiska värden och lokala värden. I Burradeklarationen talar man om estetiska, historiska, vetenskapliga och sociala värden i, ett dokument som fått stort genomslag även i Sverige och vars kulturvårdsprocess presenteras nedan. Dessa värdetypologier är snarlika den terminologi som återfinns i PBL där man talar om en byggnads historiska, kulturhistoriska, miljömässiga eller konstnärliga värden. Men detta handlar om byggnaders kulturvärden utifrån ett större perspektiv. När vi kommer fram till vad som är möjligt att förändra utan att skada kulturvärden i en byggnad måste förståelsen för kulturvärden omvandlas till de faktiska elementen i byggnaden som bidrar till kulturvärdet.

Metoder och processer för värdering

För att göra värderings- eller klassificeringsprocessen transparent behöver det finnas etablerade metoder för hur bedömningarna av byggnaders värden görs. Detta för att inte bedömningen skall uppfattas som godtyckligt genomförd och enbart avspegla en persons eller en grupp av personers tyckande. En av de grundläggande förutsättningarna är därför att bedömningen alltid görs av aktörer med relevant kompetens, se mer om det under rubriken *Den byggnadsantikvariska praktiken* sist i detta kapitel.

Värdering av vår omvärld är en ständigt pågående mental process. Det kan vara en värdering som resulterar i att dela in objekt eller byggnader i fina eller fula, funktionella eller odugliga, välskötta eller ovårdade. Dessa bedömningar gör vi alla oavsett kompetens och med ett mycket varierat resultat beroende på förkunskaper, intressen och andra personliga preferenser. Den professionella bedömningen av en byggnads kulturhistoriska värden kan om den inte utförs strukturerat och systematiskt uppfattas som godtycklig. Behovet av väl utvecklade och kända metoder för hur klassificering och värdering utförs är därför stort.

Sammanhanget inom vilket värderingen görs är väsentlig för att identifiera och beskriva som en del av själva metoden. Det finns processmodeller framtagna som avspeglar olika situationer där kulturhistoriska värderingar görs som ett viktigt instrument för att komma vidare i en förändrings- eller utvecklingsprocess. Två processmodeller som särskilt kommer att beskrivas här är den process som är beskriven i Burra deklARATIONEN samt den process som utvecklades i samverkan mellan flera nordiska aktörer och som har kommit att kallas för DIVE processen.

The Burra Charter kom till som en utveckling och anpassning av Venedigdokumentet till de förhållanden som råder i Australien vad gäller vård och förvaltning av kulturarvet dess innehåll har fått stort genomslag i resten av den kulturarvsförvaltande världen och blivit en viktig i arbetet med att modernisera och professionalisera kulturarvsförvaltningen. Framförallt genom att deklARATIONEN också presenterar en arbetsprocess för hur vård och förvaltning kan ske och var i processen den kulturhistoriska värderingen kommer in och på det viset vilken betydelse den har. Processen för förvaltning av kulturarvet består av tre grundsteg

- Förstå betydelsen av objektet ifråga,
- Utveckla riktlinjer för förvaltning och
- Förvalta med riktlinjerna som utgångspunkt.

DIVE processen är en ett försök att strukturera arbetet inför ett utvecklings- och eller förändringsarbete som oftast innefattar större områden. DIVE är en förkortning av de steg i processen som utgör kärnan i arbetet med att ta fram ett underlag för att fatta beslut om vilken förändring en utpekad plats tål. Processen startar med ett beskrivande steg (Describe) som

handlar om att skapa sig en kunskapsbas över platsens karaktär och historia. Detta sammanställs som ett underlag för att kunna tolka (Interpret) platsen och skapa en bild av vilken betydelse platsen har haft i olika historiska skeenden. När det är gjort finns det en bra grund för att kunna värdera (Valuate) platsen utifrån dess betydelse och på så sätt kunna bedöma sårbarhet eller förändringskapacitet. Först när dessa steg är utförda är det möjligt att agera (Enable) och fatta beslut om vilka förändringar som är möjliga och ta fram strategier och principer för framtida förändringar.

Projektets processer är influerade av Burra deklARATIONEN och DIVE-processen så tillvida att framtagande av underlag för beslut om strategier och policier skall vara välgrundade och att vägen till besluten skall vara transparenta.

Kulturhistoriska klassificeringssystem

Med de kulturhistoriska värdena som utgångspunkt har olika klassificeringssystem utvecklats som ett sätt att gradera byggnaders kulturvärden. Det mest etablerade och tidigast förekommande systemet för klassificering är Stockholms stads arbete med att klassa byggnader i olika värdekategorier.

När värdering av en byggnad är utförd kan värderingen ligga till grund för en bedömning om hur stort eller högt värdet är. Det övergår då till en klassificering av värdet. Olika klassificeringssystem finns framtagna och används idag som underlag för beslutsfattande i framförallt stadsbyggnadssammanhang och bygglovshantering i några av landets kommuner. De kulturhistoriska klassificeringarna i Stockholm och Halland har varit av intresse för projektet och legat till grund för att arbeta med energieffektiviseringspotentialen på beståndsnivå. Nedan följer en kort beskrivning av klassificeringssystemet i Stockholm respektive Halland.

Stockholm

Stockholms stadsmuseum har sedan 1920-talet arbetat med att klassificera byggnader utifrån deras kulturhistoriska värde. Tanken med klassificeringen är att underlätta för både för fastighetsägare och handläggare på stadsbyggnadskontoret när det gäller att fatta beslut om ändringar av byggnaderna. Klassningen har färgkodats så att de högst klassade byggnaderna markeras med blått på klassificeringskartan, de näst högst klassade byggnaderna är gröna och sedan följer den gula klassen. De två högsta klasserna markerar de byggnader i staden som skall tolkas vara särskilt värdefulla byggnader och därmed faller under förvanskingsparagrafen i PBL. Skillnaden mellan de blåklassade och grönklassade byggnaderna är att de blåklassade även håller byggnadsminnesnivå enligt Kulturmiljölagen och anses vara inte bara särskilt värdefulla utan synnerligen värdefulla.

Blåklassade byggnader – Synnerligen värdefulla byggnader, byggnadsminnesklass.

Grönklassade byggnader – Särskilt värdefulla byggnader.

Gulklassade byggnader – Byggnader med vissa värden som bidrar till stadsbilden.

Halland

Byggnadsbeståndet av kulturhistoriskt värdefulla byggnader i Hallands län har inventerats av Hallands länsmuseum och klassificerats som ett resultat av att leva upp till miljömålet en god bebyggd miljö där en förutsättning är för att nå målet om att bevara, använda och utveckla det byggda kulturarvet förutsätter att det är känt. Inventeringen omfattar 10% av det halländska

byggnadsbeståndet. Klassificeringen har gjorts efter en tregradig skala där bokstäverna A-C används för klassificeringsskalan.

Klass A – byggnader som är av nationellt intresse

Klass B – byggnader som är av regionalt intresse

Klass C – byggnader som är av lokalt intresse

Den byggnadsantikvariska praktiken

Den byggnadsantikvariska praktiken har fått rubricera den sista delen i detta avsnitt då det handlar om en kunskap och ett kunnande hos den yrkeskår som arbetar med byggnader och bebyggda miljöer utifrån kulturhistoriska perspektiv. Sedan 2010 finns det en föreskrift för sakkunniga avseende kulturvärden som tillkom för att tydliggöra behovet av antikvarisk kompetens då byggnader och bebyggelsemiljöer förändras och utvecklas. Kommunernas stadsbyggnadskontor kan ställa krav, och skall ställa krav, på att antikvariskt sakkunniga finns med i dessa processer och att frågor som rör kulturvärden blir en del av den kontrollplan som upprättas och skall följas i alla ärenden som rör bygglov. Detta gäller särskilt för särskilt värdefulla byggnader.

5. Fallstudier

Inom projektet har fyra huvudsakliga fallstudieområden använts för att utveckla och testa metoder för att hantera energieffektivisering och kulturvärden på byggnadsbeståndsnivå. Dessa har varit den historiska stadskärnan i Visby, det klassificerade byggnadsbeståndet av flerbostadshus i Stockholms kommun, det kulturhistoriskt inventerade byggnadsbeståndet i Halland samt Vasastaden i Linköping. Nedan presenteras fallstudieområdena kortfattat genom en beskrivning av respektive plats och dess byggnadsbestånd.

Visby

Visby historiska stadskärna har varit ett av de fallstudieområden som använts för att utveckla metodiken om energieffektivisering på byggnadsbeståndsnivå. Motivet till valet av Visby var att det fanns insamlad information om bebyggelsen som gjorde det möjligt att utveckla en metod för kategorisering av beståndet. Samtidigt är Visby en utmaning eftersom de kulturhistoriska värdena i bebyggelsen är uppenbara både genom statusen som ett av Sveriges världsarv, att det finns ett stort antal byggnadsminnen enligt Kulturmiljölagen samt att det är förhöjd bygglovplikt enligt detaljplan för Visby innerstad. Fallstudien Visby har använts för att utveckla kategoriseringsmetoden och för att testa optimeringsverktyget Opera samt för att studien om beståndsanalys av energisparpotential.

Visby innerstad karaktäriseras framförallt av dess medeltida ursprung som syns i vägnät och i ett fåtal bevarade byggnader, en utbredd småhusbebyggelse i trä från 17 – och 1800 – talen samt det offentliga och privata stenhusbyggandet under sent 1800 – tal och tidigt 1900-tal. Funktionsmässigt är Visby en blandad stad där boende, olika administrativa funktioner och handel dominerar stadsbilden. Under modern tid har staden blivit en allt viktigare besöksplats för turistnäringen vilket påverkar stadens funktioner.

I fallstudien har 1049 byggnader i den historiska stadskärnan varit utgångspunkt för arbetet med potentialbedöma energieffektiviseringskapaciteten, se figur 1. Byggnaderna är uppförda under en lång tidsperiod från medeltid och fram till 1945. Byggnadsbeståndet i Visby användes som underlag för att ta fram arketyppbyggnader som representerar beståndet.



Figur 1. Exempel på två byggnader som representerar arketypen småhus i trä samt arketypen flerfamiljshus i sten.

Stockholm

Stockholms byggnadsbestånd representerar den storstadens bebyggelse med byggnader från olika tidsperioder. Bebyggelsen i Stockholm går tillbaka till medeltiden då Stadsholmen

(Gamla stan) bebyggdes. Den stora utbyggnadsperioden sker under sent 1800 – talet med industrialiseringen och fortgår än idag. Stockholms stadsmuseum har sedan lång tid tillbaka har arbetat med att klassificera byggnaderna i byggnadsbeståndet utifrån deras kulturvärden och sedan lagrat information om byggnaderna i det nationella bebyggelseregistret. Detta var bidragande till att använda Stockholm som fallstudieområde för att belysa frågor om relationen mellan ålder, energiprestanda, kulturvärden och potentiell energibesparing i hela och delar av beståndet. Studien gjordes på den del av beståndet som utgör flerbostadshus, se figur 2.



Figur 2. GIS-karta över centrala Stockholm med de kulturhistoriska klassificeringarna markerade med den färgskala som används för att markera graden av kulturvärde.

Antal flerbostadshus i Stockholm uppgår till ca 25 000 varav närmare 13 500 flerbostadshus ingår i studien då de har pekats ut i den kulturhistoriska inventering som Stockholms stadsmuseum har gjort samt är anslutna till fjärrvärmenätet. Energiprestandan ligger på 160 kWh/m² utslaget på hela det studerade byggnadsbeståndet.

I Stockholm har arbetet bestått i att samla de databaser som finns över byggnadsbeståndet och analysera det utifrån kulturhistorisk klassning och åldersindelning. Målet har varit att se hur energisparpotentialen ser ut i olika delar av beståndet med utgångspunkt i dessa parametrar.

Halland

Halland valdes ut som en av fallstudierna (se figur 3) då det finns en inventering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse på länsnivå och på grund av att den bebyggelsen representerar landsbygdens och småstädernas bebyggelse på ett annat sätt än vad som är fallet i Visby och Stockholm. Den kulturhistoriska inventeringen finns dessutom inlagd och är tillgänglig i den nationella databasen Bebyggelseregistret. Hallands totala byggnadsbestånd uppgår till ca 130 000 byggnader och av dessa har 10 % eller 10 300 tillmätts ha kulturvärden som är värda att beakta. I det inventerade byggnadsbeståndet återfinns både bostadshus och lokaler för olika typer av ändamål. I studien ingår de byggnader som har energideklarerats 729 småhus (en- och tvåbostadshus) samt 425 flerbostadshus. Målet med studien var att undersöka energisparpotentialen i olika delar av ett byggnadsbestånd genom att utgå från och sammanlagra informationen från flera olika databaser.



Figur 3: 3D-modell över Falkenberg med de kulturhistoriskt utpekade byggnaderna färgmarkerade och exemplifierade.

Linköping

Vasastaden är ett område beläget i centrala Linköping har valts ut som fallstudieområde för att utveckla energisignaturmetoden, se figur 4. Vasastaden består till övervägande del av flerfamiljshus byggda före 1960, varav en betydande andel är byggnadsbeståndet som uppfördes 1945 eller tidigare. Området karaktäriseras av hyresbostäder med cirka 6 000 invånare.



Figur 4: Området Vasastaden i Linköping (Källa: Google Earth).

Vasastaden är beläget inom det lokala fjärrvärmenätet i Linköping och överlag värms byggnaderna med fjärrvärme. 73 byggnader inom Vasastaden har valts som studieobjekt för forskningen kopplad till effektsignaturer. Fjärrvärmeanvändning mellan 2014 och 2016 med timvis upplösning har inhämtats på det lokala fjärrvärmeföretaget Tekniska Verken AB. Utomhustemperaturdata för motsvarande tidsperiod och tidsupplösning har erhållits från SMHIs väderstation i Malmslätt, belägen cirka 8 km väster om Vasastaden. Den genomsnittliga utetemperaturerna för 2014, 2015 och 2016 är 8,4 °C, 8,3 °C och 7,8 °C, respektive. Temperaturen under de tre åren kännetecknas av generellt högre temperaturer från november till mars jämfört med ett normalår. Vidare, uppvärmd area för byggnaderna erhålls från energiprestandaregistret GRIPEN.

6. Kategorisering av större byggnadsbestånd

Denna rapport är en sammanfattning en tidigare publicerad vetenskaplig artikel

Broström, T., Donarelli, A. Berg F. *For the Categorisation of historic Buildings to Determine Energy Saving*. AGATHÓN 01 | 2017 - International Journal of Architecture, Art and Design ISSN: 2464-9309 - ISSN: 2532-683X (online) - DOI 10.19229/2464-9309/1212017 (2017).

Inledning

För att kunna arbeta strategiskt med energieffektivisering i större bestånd av byggnader krävs att byggnadsbeståndet på något sätt reduceras till ett hanterbart antal kategorier som ger en tillfredsställande statistisk representation av hela beståndet, se figur 1. Kategorierna kan i sin tur representeras av ett antal utvalda byggnader, provbyggnader eller arketyper för en mer ingående av potentialen för energisparande. Slutligen kan dessa resultat extrapoleras för att ge en uppskattning av potentialen för byggnadsbeståndet i sin helhet. Dessa resultat kan användas för att utveckla planer, riktlinjer och realistiska mål för att förbättra energieffektivitet och samtidigt bevara det byggda kulturarvet. Den här rapporten presenterar översiktligt en metod för att kategorisera ett historiskt byggnadsbestånd och visar hur denna metod kan tillämpas i ett specifikt fall för att välja representativa byggnader för energianalysen. För mer detaljerad information hänvisas till ovanstående artikel.



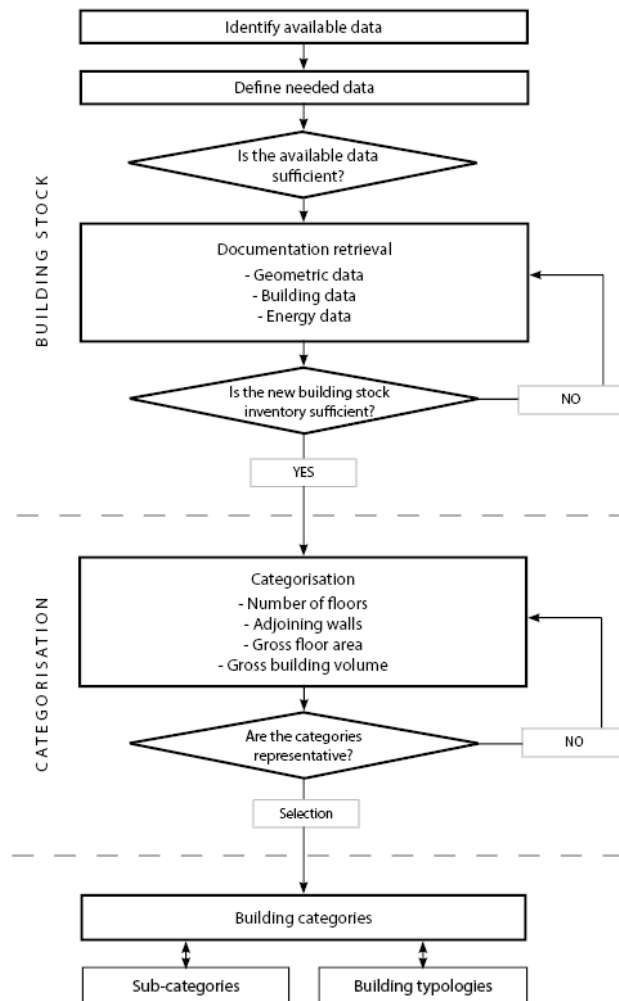
Figur 1: Kategorisering innebär att byggnadsbeståndet representeras av ett begränsat antal typbyggnader.

Metod

Den föreslagna metoden för kategorisering av en byggnadsmassa består av tre steg:

1. Insamling av data
2. Kategorisering
3. Val av typiska byggnader

Processen beskrivs översiktligt i figur 2.



Figur 2: Flödesschema för den föreslagna metoden.

Insamling av data

Det första steget i processen för att kategorisera ett byggnadsbestånd är att identifiera och samla in tillgängliga uppgifter om det aktuella området. Statistiska data och befintliga databaser är normalt de primära källorna. Vid behov måste ytterligare data samlas in på plats. Tillgången till byggnadsdata kan vara en begränsande faktor, vilket kan kräva en flexibel strategi för att anpassa sig till datatillgängligheten.

Som ett minimum krävs följande data för varje byggnad:

- Byggnadsidentitet
- Antal våningar
- Golvyta
- Antal angränsande väggar

Om möjligt skall också följande uppgifter tas in:

- Byggnadsår
- Typ av konstruktion
- Användningsområde

- Värmesystem
- Bevarandeföreskrifter

Kategorisering

Definiera den fysiska strukturen

- Steg 1 – Indelning efter antal våningar
- Steg 2 – Indelning efter antal angränsande väggar
- Steg 3 - Bestäm golvyta
- Steg 4 - Volym: Bestäm byggandsvolym

Avgränsa och vikta kategorierna

Efter att de fysiska kategorierna har definierats måste de avgränsas och viktas. Den vikt som ges till en kategori baseras på antalet byggnader i kategorin och den genomsnittliga byggnadsvolymer för kategorin. Om de kategorierna innehåller byggnader som uppenbarligen är atypiska är det möjligt att utesluta dem manuellt. Ett exempel är enstaka byggnader med stora ytor och volymer som kan snedvridera medelvärdena för kategorin.

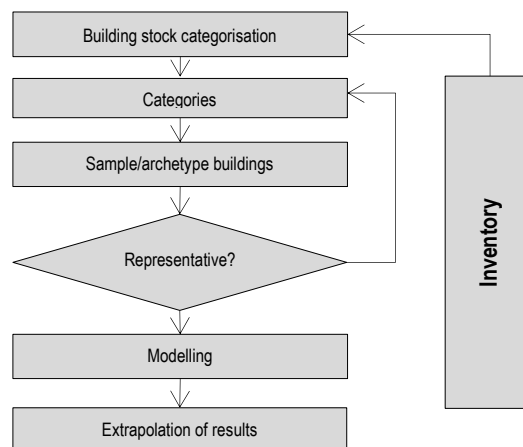
Underkategorier

Efter att ha etablerat de fysiska kategorierna kan underkategorier läggas. Detta möjliggör en djupare analys av tekniska eller historiska egenskaper utan att förlora de grundläggande egenskaperna, till exempel genom att fokusera på konstruktions-, termiska och driftsparametrar.

Efter att ha etablerat avgränsade fysiska kategorier kan underkategorier läggas till att möjliggöra en djupare analys av tekniska eller antikvariska egenskaper.

Identifiera typiska byggnader

Det finns två olika sätt att välja en typisk byggnad. Antingen väljs en verklig byggnad inom kategorin eller så skapas en generisk byggnad, en arketyp, utifrån det statistiska underlaget. Typbyggnaden väljs så att den ligger nära medelvärdet för byggnadsvolym och är representativ vad gäller ålder, användning och konstruktionstyp, se figur 2.



Figur 3: Flödesschema för att välja en typisk byggnad.

Ett exempel: Visby Innerstad

Visby innerstad är listad av UNESCO som världsarv. En inventering av byggnaderna i Visby genomfördes 2013. Cirka 1200 byggnader registrerades och dokumenterades med uppgifter om ålder, storlek och konstruktion, m m.



Insamling av data

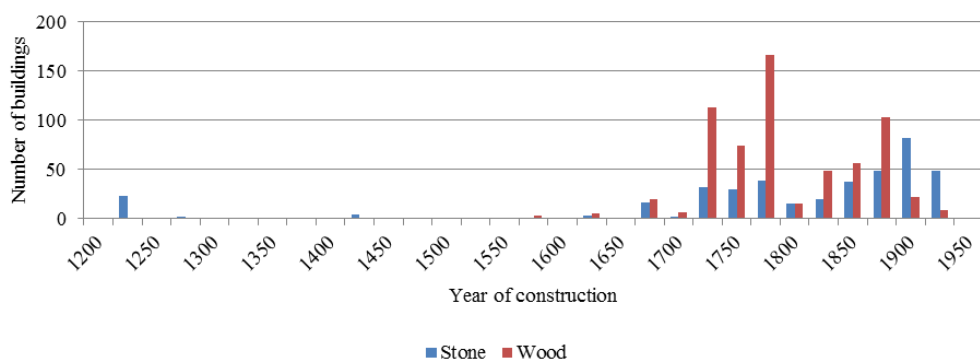
I detta fall fanns en mängd tillgängliga byggnadsuppgifter databaser, litteratur och kommunala GIS-kartor. Följande information registrerades för varje byggnad där dessa uppgifter var tillgängliga:

- Konstruktionstyp och material
- Användning
- Status för kulturskydd
- Byggnadsvolym och yta
- Antal våningar
- Ålder-
- Energiförbrukning
- Värmesystem

Mängden tillgängliga data för varje byggnad varierade; det fanns energideklarationer för endast 10 % av byggnaderna, medan ålder och restaureringshistoria var väl dokumenterade.

Kategorisering

Visby innerstad mestadels av relativt låga fristående byggnader uppförda i sten och trä. Men det finns också några få större byggnader som representerar en stor del av beståndets totala uppvärmda volym. Figur 4 visar antalet byggnader från olika tidsperioder.



Figur 4: Antal byggnader fördelat på byggandsår och typ.

Steg 1: Byggnaderna grupperas efter antal våningar (se tabell 1). Detta ger en första grov sortering av mindre och större byggnader.

Tabell 1: Byggnadsbeståndet delas in i två grupper into two groups; en- och flervåningshus.

	1048 byggnader totalt	
Typ	En våning	Flera våningar
Antal byggnader	722 (68.9 %)	326 (31.1 %)

Steg 2: I nästa steg delas varje sig varje grupp i fristående, halvfristående och terrasserade byggnader (se tabell 2). En majoritet av byggnaderna visar sig vara fristående eller semi-fristående.

Tabell 2: Byggnadsbeståndet uppdelat på fristående, halvfristående och terrasserade byggnader

	1048 byggnader totalt					
Type	En våning (68.9 %)			Flera våningar (31.1 %)		
Intelligande väggar	0	1	2-3	0	1	2-3
Antal byggnader	412 (39.3 %)	258 (24.6 %)	52 (5.0 %)	121 (11.5 %)	121 (11.5 %)	84 (8.0 %)

Steg 3: Bestäm medelvärden för byggnadsvolymen i varje kategori

Tabell 3: Medelvärden för byggnadsvolym i varje kategori

	1048 byggnader totalt					
Type	1-storey buildings			Multi-storey buildings		
Intelligande väggar	0	1	2-3	0	1	2-3
Medelvolym	300 m ³	320 m ³	425 m ³	1380 m ³	1300 m ³	1350 m ³

Avgränsning och viktning: För att eliminera atypiska byggnader, antingen för stora eller för små, utesluts byggnaderna med volymer som hamnar utanför standardavvikelsen för varje kategori. Detta innebär att 128 byggnader (13 %) och 30 % av den totala byggvolymen utesluts, med andra ord få men relativt stora byggnader.

Resultaterande kategorier

Resultatet av kategoriseringen var sex huvudkategorier, vilka representerar 87 % av byggnaderna och 70 % av den totala byggvolymen, se tabell 4. Varje huvudkategori delades sedan in i trä- respektive stenbyggnader.

Nästan 90 % av den uteslutna byggnadsvolymen används inte som bostäder; de offentliga eller kommersiella byggnaderna. Det är en grupp byggnader som är av stort intresse för energibesparande åtgärder men bör studeras var för sig eftersom de inte är typiska byggnader varken i användning eller fysiska egenskaper.

Tabell 4: Kategorier för Visby innerstad. *S/V = Surface/Volume Ratio; **Form factor = Envelope area/heated area

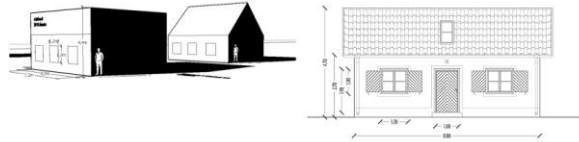
Kategori	Antal byggnader	Trä/Sten	Byggnadsvolym (m3)	Medel (m3)	Viktning	S/V*	Formfaktor wood/stone**
I	364 (34,7 %)	309 / 55	60 - 550	250	14 %	0,74	1,82 / 2,05
II	212 (20,2 %)	166 / 46	80 - 560	260	8 %	0,62	1,52 / 1,71
III	41 (3,9 %)	25 / 16	100 - 750	320	2 %	0,60	1,30 / 1,45
IV	108 (10,3 %)	33 / 75	140 - 2520	1050	17 %	0,47	1,19 / 1,29
V	113 (10,8 %)	30 / 83	200 - 2820	1000	17 %	0,39	1,00 / 1,08
VI	82 (7,8 %)	18 / 64	100 - 3500	980	12 %		0,81 / 0,88
<i>Sum: 920</i>					<i>Sum: 70 %</i>		

Val av representativa byggnader

I det följande presenteras de representativa byggnader som valdes ut, både i form av typiska (verkliga) byggnader och arketyper.

Kategori 1

Den typiska byggnaden är fristående och har 1½ plan, se figur 5.



Figur 5: Kategori 1: Arketypp (överst) och typisk byggnad.

Kategori 2

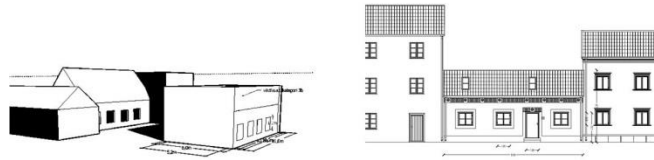
Den typiska byggnaden är har 1½ plan och en intilliggande vägg, se figur 6.



Figur 6: Kategori 2: Arketypp (överst) och typisk byggnad.

Kategori 3

Den typiska byggnaden har 1½ plan, och två intilliggande väggar se figur 7.



Figur 7: Kategori 3: Arketypp (överst) och typisk byggnad.

Kategori 4

Den typiska byggnaden är ett fristående hus med 2½ plan, se figur 8.



Figur 8: Kategori 4: Arketyp och typisk byggnad

Kategori 5

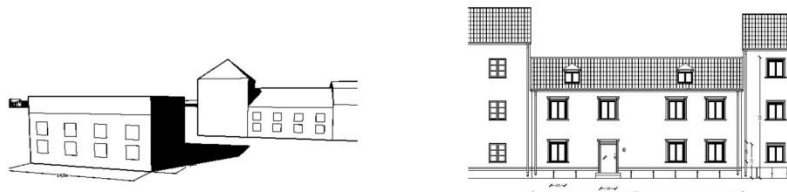
Den typiska byggnaden 2½ plan och en intilliggande vägg, se figur 9.



Figur 9: Kategori 5: Arketyp och typisk byggnad.

Kategori 6

Den typiska byggnaden har 2½ plan med två intilliggande väggar, se figur 10.



Figur 10: Kategori 6: Arketyp och typisk byggnad

7. Geografiska analyser av byggnadsbestånd med fokus på kulturhistoriskt klassificerade byggnader

Detta kapitel är en sammanfattning av rapporten: Johansson, T., Geografiska analyser av byggnadsbestånd med fokus på kulturhistoriska byggnader. Teknisk rapport, Gitter AB. 2017

Inledning

Information om byggnader finns idag i flera olika databaser som hanteras av olika myndigheter. Ingen databas har den information som krävs för att bedöma energieffektiviseringspotentialen på byggnadsbeståndsnivå där hänsyn tas till kulturvärden. Bristerna i data som beskriver det svenska byggnadsbeståndet samt de omfattande dataseten kräver en specifik kompetens inom datatransformering och integration. Kategoriseringen av det svenska byggnadsbeståndet kräver därför utveckling av metoder för att hantera de brister som finns i olika byggnadsregister om dessa ska användas vid olika scenarier och som indata i statistiska analyser.

Kulturhistoriska inventeringar av byggnader har ofta hanterats som ett särintresse och inte som en del av en samlad samhällsinformation som kan användas strategiskt och generellt på mer övergripande nivåer i samhället. När vi ställs inför större utmaningar som t.ex. klimat- eller energiomställningsutmaningen kräver det kunskap om byggnadsbeståndet som också innefattar information om byggnadernas betydelse och dess kulturvärden. I det sammanhanget ser vi att det finns behov av att koppla den information som de kulturhistoriska institutionerna samlar in med övrig data om byggnader som återfinns i Lantmäteriets fastighetsregister samt i Boverkets databas Gripen som samlar information från utförda energideklarationer. Denna studie är huvudsakligen gjord med utgångspunkt i informationen som finns om byggnadsbeståndet i Stockholms kommun och i Hallands län i framförallt Riksantikvarieämbetets Bebyggelseregister. Fokus har legat på de delar av beståndet som är inventerat och kulturhistoriskt bedömt och klassificerat av Stockholms stadsmuseum och Hallands länsmuseum.

I den här sammanfattningen ger vi en översiktlig beskrivning av metoden och ett urval av resultat. För en mer fullständig redovisning hänvisa till den ovan nämnda rapporten.

Mål

Målet med detta arbete var att visa på möjligheterna till att slå samman informationen från olika databaser för att kunna visa på hur stor potentialen för energibesparing ser ut i olika delar av byggnadsbeståndet och även peka på konsekvenser av att lägga restriktioner på energieffektivisering i högt värderade och klassade byggnader.

Metod

Metoden som har använts för datahanteringen är Extract, transform and load (ETL) samt Geografiska informationssystem (GIS). Det är en metod som tidigare har utvecklats med syfte att utveckla en nationell renoveringsatlas. Det som är unikt för denna studie är att metoden används för att även integrera information som finns om det kulturhistoriska byggnadsbeståndet. Med data om byggnadsbeståndet genomfördes sedan variabelanalys, regressionsanalys och klusteranalys som presenteras i diagram och 3D modeller.

De huvudsakliga datakällorna var:

Lantmäteriet(LM):

Från LM hämtades byggnadsytor för visualisering, spatial joins, byggnadsläge och beräkning av byggnadshöjder. Laserdata och nationella höjdmodellen för att bestämma genomsnittlig takhöjd. Höjddata, grid 2+ för att bestämma genomsnittlig marknivå för byggnaderna.

Fastighetsregistret för data gällande byggnader, fastigheter, taxering och adresser har använts för att integrera data samt för att få attribut gällande ombyggnadsår, värdeår och olika ägarekategorier. Ursprungligen var data i textfiler som omvandlades till sqlite databas för att snabbare ställa frågor mot databasen och på så sätt extrahera ut rätt data.

Bebyggelseregistret(BeR):

Bestod av ett punktskikt innehållande klassificering av byggnader i Halland och Stockholm stad. Detta har kompletterats med andra register. Data integrerades med hjälp av i huvudsak joins på byggnadsnivå.

Gripen:

Bestod av energideklarationer för en- och tvåfamiljshus och flerfamiljshus i form av excelark som omvandlades till en sqlitedatabas. Variation i data då då merparten av flerfamiljshusen är deklarerade medan endast en liten andel av en- och tvåfamiljshusen är deklarerade.

Stockholms Stadsmuseums kulturhistoriska klassificering(KHK):

Indata var ett Excelark med polygoner(areor) med tillhörande klassificering (blå, grön, gul, grå och streckad) som senare omvandlades till byggnadsytor.

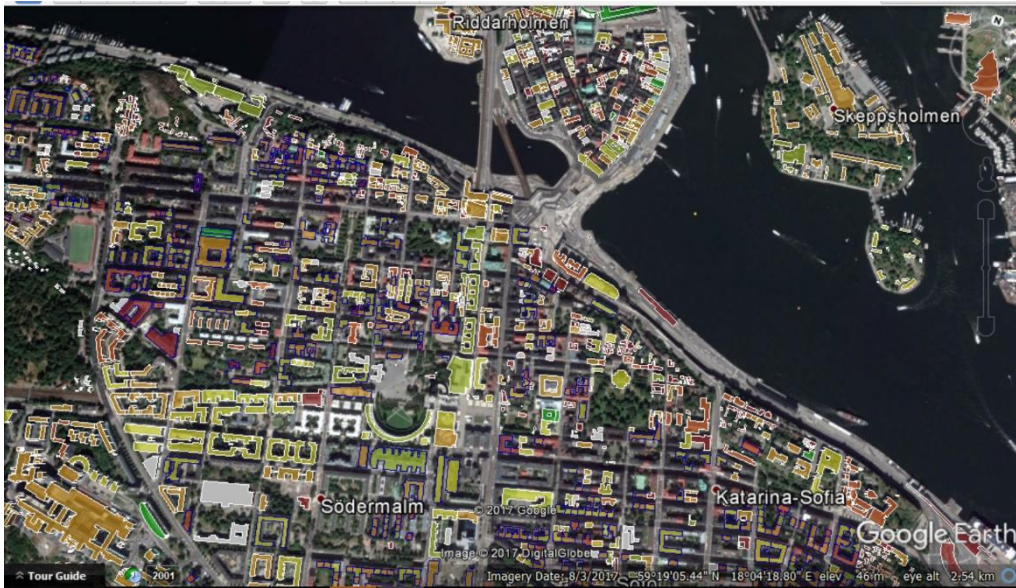
Resultat

Nedan följer en sammanfattning av resultaten för det kulturhistoriskt klassificerade byggnadsbeståndet i Stockholm och Halland. I Stockholm arbetar man med ett tregradigt klassificeringssystem som är färgkodat och där de högst klassade byggnaderna är blåmarkerade, de näst högst klassade byggnaderna är gröna och sedan följer gulmarkerade byggnader på den klassificeringskarta som finns tillgänglig digitalt för fastighetsägare, tjänstemän och övrig allmänhet. I Halland återfinns den tregradiga klassificeringsskalan men här används istället för färger en bokstavsskala för de olika klasserna där klass A har de högsta kulturhistoriska värdena följt av klass B och sedan klass C.

Stockholm

En 3D-modell har tagits fram för Stockholm där byggnaderna har delats in efter energiklass och kulturhistorisk klassificering, se figur 1. Den genomsnittliga energiprestandan uppdelat på de olika kulturhistoriska klassificeringsgrupperna visar att de byggnader som är högst klassade och markerade med blått i bilden nedan har avsevärt sämre energiprestanda än de andra klasserna. Detta gäller både såväl en- och tvåfamiljshusen som för flerbostadshusen. När man delar in energiprestanda på byggnadsår och kulturhistorisk klassificering ser man att de högst klassade byggnaderna har den sämsta energiprestandan i alla åldersgrupper. För att få fram energieffektiviseringspotentialen har skillnaden mellan byggnadernas nuvarande energianvändning och nybyggnadskraven uppdelat på värdeår, dvs det år som större genomgripande förändringar på byggnaden har utförts, och klassificering tagits fram. Det kan sägas vara ett mått på den tekniska besparingspotentialen. Beståndet med kulturhistorisk

klassificering blå står för en väldigt liten del av en den totala besparingen medan gul, grön och streckad har en stor potential.



Figur 1. 3D-modell över Södermalm.

Halland

Arbetet med Halland har skett med samma utgångspunkter som för Stockholm. En 3D-modell har tagits fram där byggnaderna har delats efter energiklass och kulturhistorisk klassificering, se figur 2. Energiprestandan i de kulturhistoriskt klassade byggnaderna är 10-20 % högre än i de oklassade byggnaderna. Precis som för Stockholm har värdeår använts för att ta fram den potentiella energieffektiviseringspotentialen. Resultatet visar att besparingspotentialen i de byggnader som är kulturhistorisk klassificerade är låg oberoende av värdeår.



Figur 2: 3D-modell över Falkenberg.

Slutsats

Vi har i denna sammanfattning lyft fram några resultat, men det väsentliga är den framtagna och testade metoden som ger möjlighet att ta fram bättre underlag för planering, mål och strategier vad gäller energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader.

I både Halland och Stockholm framgår att flertalet av de klassade byggnaderna har sämre energiprestanda än byggnadsbeståndet i övrigt. De högst klassade byggnaderna står för en mycket liten del av den totala energianvändningen vilket bidrar till slutsatsen att det är bevarandemål som bör prioriteras vid energirenovering av de högst klassade byggnaderna.

8. Vidareutveckling av teknisk-ekonomisk potentialbedömning för energibesparing (TEPE)-metodiken

Inledning

Vid energirenoveringsprojekt i bostadshus är lönsamhet av yttersta vikt. För att bedöma de ekonomiska konsekvenserna av energirenovering är livscykelkostnadsanalys (LCC analys) ett lämpligt verktyg [1]. Med hjälp av optimering är det möjligt att beräkna en byggnads lägsta LCC. Utöver ekonomiska vinster av energirenovering i byggnader, finns andra incitament, som till exempel förbättrad miljöprestanda [2].

Flera tidigare studier har fokuserat på lönsamheten under energirenoveringar. Påverkan på det omgivande energisystemet av genomförda renoveringar i byggnader har däremot inte studerats i någon högre utsträckning. Vid energirenovering av byggnader kommer det omgivande fjärrvärmesystemet oundvikligen påverkas då dess lönsamhet och miljöprestanda är direkt beroende av byggnadernas energianvändning. Detta betyder att lönsamma energirenoveringslösningar i bostadshus inte nödvändigtvis är kostnadseffektiva för fjärrvärmeleverantören.

Metodikbeskrivning

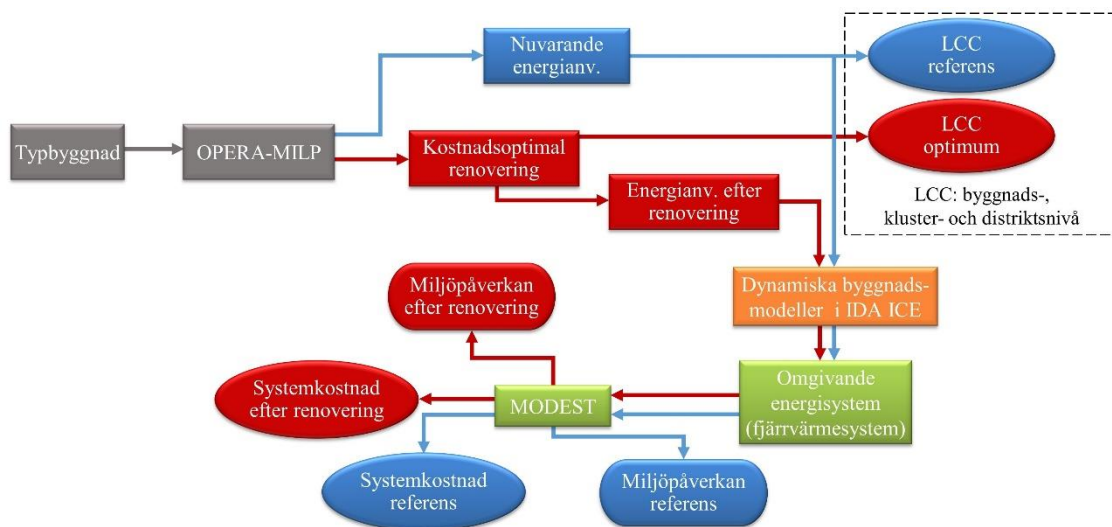
En metodik som utvecklades vid avdelningen Energisystem på Linköpings universitet, under projektet ”Potential och Policies för energieffektivisering i byggnader byggda före 1945 – etapp II” har använts för teknisk-ekonomisk potentialbedömning av energibesparing (TEPE 2.0), samt bedömning av påverkan på det omgivande energisystemet av kostnadsoptimal renovering av ett byggnadsområde. Metodiken är en vidareutveckling av TEPE 1.0-metodiken som utvecklades under projektet ”Potential och Policyer för energieffektivisering i byggnader byggda före 1945 – etapp I”, en tidigare omgång av Spara och Bevara. TEPE 1.0 har tidigare tillämpats i flertalet vetenskapliga studier, se [3-5]. En mer utförlig beskrivning av TEPE 1.0 finns i doktorsavhandlingen ”A systematic approach for major renovation of residential buildings” [6] skriven av Linn Liu och finansierad inom programmet Spara och Bevara.

Figur visar hur den vidareutvecklade metodiken fungerar. TEPE 2.0 innefattar användandet av tre olika verktyg; nämligen OPERA-MILP, IDA ICE och MODEST vilka beskrivs mer ingående senare i kapitlet. I den tidigare versionen av TEPE-metodiken undersöktes endast den tekno-ekonomiska potentialbedömningen för enstaka byggnader vilket innebär att påverkan på omgivande energisystem av kostnadsoptimal energirenovering av ett byggnadsområde inte omfattades i TEPE 1.0. För att möjliggöra en bedömning av renovering av byggnadsområde är det nödvändigt att ta fram typbyggnader (se vänster i

Figur), som är representativa för området sett till bland annat layout och byggnadskonstruktion. Med optimeringsverktyget OPERA-MILP beräknas typbyggnadernas nuvarande energianvändning och LCC. Den kostnadsoptimala energirenoveringsstrategin och LCC erhålls också med OPERA-MILP tillsammans med energianvändningen efter renovering. Renoveringsstrategin innefattar kostnadseffektiva energieffektiviseringsåtgärder,

till exempel tätning och isolering av ytterväggarna. Det är möjligt att extrapolera energianvändning och LCC för byggnaderna på kluster- och distriktsnivå då byggnaderna är representativa för det studerade byggnadsbeståndet. Byggnadssimuleringsverktyget IDA ICE används för att modellera dynamiska byggnadsmodeller av respektive typbyggnad och möjliggör en bedömning av kostnadsoptimal energirenovering av respektive typbyggnad, byggnadskluster och för hela byggnadsområdet, på det omgivande energisystemet. Slutligen undersöks miljöpåverkan och systemkostnad för det omgivande fjärrvärmesystemet med optimeringsverktyget MODEST före och efter kostnadsoptimal energirenovering (se

Figur).



Figur 1: Illustration av TEPE 2.0-metodiken.

Optimeringsverktyget OPERA-MILP

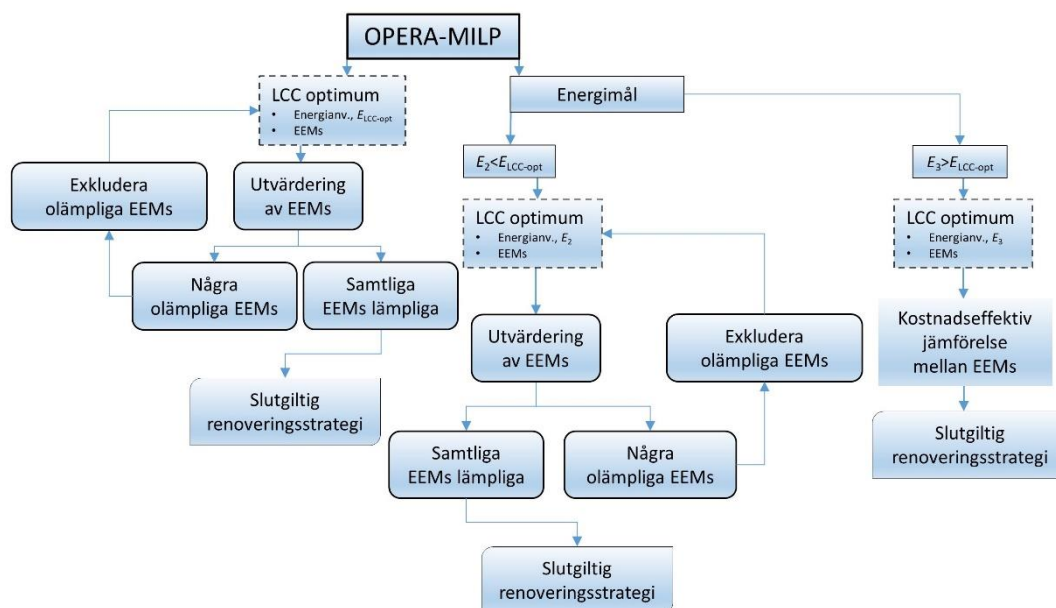
Under energirenovering av byggnader är LCC-analys ett lämpligt verktyg utifrån ett ekonomiskt perspektiv. För att identifiera den kostnadsoptimala energirenoveringsstrategin för en byggnad krävs optimering. Optimeringsverktyget OPERA-MILP (Optimal Energy Retrofit Advisory- Mixed Integer Linear Program), utvecklat av avdelningen Energisystem på Linköpings universitet, har använts för att bestämma den kostnadsoptimala energirenoveringsstrategin för den studerade byggnaden. Tidigare har OPERA-MILP använts i flera studier, till exempel [3-5, 7, 8], för att identifiera kostnadsoptimala energirenoveringsstrategier för olika typer av bostadshus. Kostnader som inkluderas är utgifter relaterade till energiåtgärder. Således består LCC för en byggnad av tre typer av kostnader; (1) investeringskostnader, (2) driftkostnader och (3) underhållskostnader. Baserat på dessa tre typer av kostnader, beräknar OPERA-MILP byggnadens lägsta LCC.

Indata till programmet omfattar grundläggande information om byggnaden, till exempel ventilationsflöden, U -värden, fönsterstorlek och riktning, renoveringskostnader och månatlig utomhustemperatur. Bivillkoren i OPERA-MILP fastställer byggnadens energianvändning för att hålla inomhustemperaturen på en förbestämd nivå. För att identifiera byggnadens lägsta LCC finns ett antal energieffektiviseringsåtgärder implementerade i programmet. OPERA-MILP utvecklas kontinuerligt för att kunna hantera olika typer av prismodeller för

energitillförsel och utöka antalet åtgärder implementerade i mjukvaran. Idag inkluderar de implementerade energieffektiviseringsåtgärderna:

- Takisolering
- Golvisolering
- Ytterväggisolering invändigt och utvändigt
- Fönsterbyte till tre olika typer av fönster
- Tätning
- Till- och frånluftssystem med värmeåtervinning (FTX)
- Uppdatering av energitillförselsystem

En fördel med OPERA-MILP är den effektiva optimeringsproceduren som tar ungefär en sekund processortid på en dator med 2.2 GHz processor. Detta möjliggör tidseffektiv LCC-analys av byggnader. Beroende på det fördefinierade målet med LCC-analysen, förekommer tre olika optimeringsprocedurer med avseende på LCC och energianvändning vilka visas i Figur 2. I alla procedurer inkluderas en bedömning av de föreslagna energieffektiviseringsåtgärderna (EEMs), innefattande energitillförselsystem och EEMs på byggnadens klimatskal, efter optimering. Bedömningen adresserar lämpligheten av de föreslagna EEMs och kan genomföras exempelvis med hänsyn till kulturhistoriska värden. Om en åtgärd föreslås som inte anses vara lämplig att implementera i byggnaden, genomförs en ny LCC-optimering där åtgärden exkluderas som en möjlig åtgärd. Således möjliggörs en analys av det potentiella energieffektiviseringsgapet när kulturhistoriska värden beaktas och vice versa. Utöver påverkan på byggnadens energieffektiviseringspotential är det värt att nämna att även LCC påverkas.



Figur 2: Optimeringsprocedurer med användande av verktyget OPERA-MILP.

Som visas till vänster i Figur 2: I den första optimeringsproceduren erhålls byggnadens lägsta LCC tillsammans med motsvarande energianvändning, $E_{LCC-opt}$. Den kostnadsoptimala energirenoveringsstrategin väljs, bestående av ett energitillförselsystem och EEM på byggnadens klimatskal under förutsättning att de är lönsamma. Om någon av de valda EEM anses vara olämplig på grund av påverkan på kulturhistoriska värden, genomförs en ny optimering utan dessa EEM.

Liknandes den ovan beskrivna optimeringsproceduren kan LCC-optimering utföras genom att sätta den tillåtna energianvändningen, E_2 , till ett lägre värde än vid den kostnadsoptimala punkten, illustrerat i mitten av Figur 1. Därmed utförs optimering av LCC med ett givet bivillkor på tillåten energianvändning. Som i den tidigare beskrivna optimeringsproceduren, utförs en ny LCC-optimering om någon av de föreslagna EEM anses vara olämplig.

Den tredje optimeringsproceduren visas till höger i Figur 2, där energianvändningen, E_3 , sätts till ett högre värde än i LCC optimum. Detta innebär att en jämförelse av kostnadseffektiviteten (baserad på kostnad per kWh sparad) av de valda EEM utförs, med den dyraste EEM borttagen först tills den önskade energianvändningen uppnås. Ingen bedömning av lämpligheten i åtgärder krävs då åtgärder som inte är lämpliga är borttagna i den kostnadsoptimala punkten enligt den första optimeringsproceduren.

Simuleringsverktyget IDA ICE

Det kommersiella byggnadssimuleringsverktyget IDA ICE [9] används för att modellera dynamiska byggnadsmodeller av respektive typbyggnad och på så sätt möjliggöra bedömning av kostnadsoptimal energirenovering av respektive typbyggnad, byggnadskluster eller för hela byggnadsdistriktet på det omgivande fjärrvärmesystemet. Verktöget fungerar som en brygga mellan OPERA-MILP och MODEST där påverkan på fjärrvärmesystemets last över tid av föreslagen renovering kan beräknas. IDA ICE möjliggör en dynamisk helårssimulering av en byggnad. Energibalansen beräknas beroende på byggnadsgeometri, solstrålning, interna värmelaster, HVAC (uppvärmning, ventilation och luftkonditionering) och konstruktionsdata. Verktöget beaktar även klimat- och väderförhållanden med timupplösning. IDA ICE är idag en av de vanligast förekommande mjukvarorna inom BES för validering av byggnadsenergimodeller som används i vetenskapliga studier.

Systemoptimeringsverktyget MODEST

Systemoptimeringsverktyget MODEST (Model for Optimisation of Dynamic Energy Systems with Time-dependent components and boundary conditions), utvecklat av avdelningen Energisystem på Linköpings universitet, används för modellering och optimering av fjärrvärmesystemet i staden Visby, samt för att undersöka effekterna av kostnadsoptimal energirenovering av ett historiskt byggnadsområde inom fjärrvärmesystemets täckningsområde. I MODEST är hela systemet representerat som ett nätverk av energiflöden vilket inkluderar primär energiförsörjning, energikonvertering och fjärrvärmeefterfrågan. Detta inkluderar både tillförsel- och behovsrelaterade noder. Systemet optimeras genom linjär programmering där hela systemets totala nuvärdeskostnader, det vill säga den totala systemkostnaden, över studieperioden, ska minimeras. Nuvarande och potentiella installationer, samt energiflöden, beaktas och den optimala kombinationen av dessa erhålls genom optimeringsproceduren. MODEST har en flexibel tidsdelning som kan spegla efterfrågetoppar samt dagliga, veckovisa och säsongsvariationer i energibehov och andra parametrar, till exempel bränsle- och elpris. MODEST har applicerats på el- och fjärrvärmesystem för cirka 50 lokala anläggningar [10].

Exempel på resultat

Detta avsnitt presenterar exempel på resultat erhållna med användandet av TEPE 2.0-metodiken. Resultaten visas på byggnads-, kluster- och distriktsnivå, samt påverkan på det omgivande fjärrvärmesystemet och på en samhällsekonomisk nivå. Delar av resultatet är sedan tidigare publicerade i välrenommerade vetenskapliga journaler, se [4, 5].

Byggnadsnivå

Med LCC-optimering har kostnadsoptimala energirenoeringsstrategier identifierats för de historiska byggnaderna i Visby. För att möjliggöra en tekno-ekonomisk utvärdering av genomförd renovering har ett referensfall (Fall 1) modellerats där byggnadernas nuvarande LCC beräknats utan energibesparande åtgärder implementerade. LCC-optimeringen är genomförd för tre fall: nämligen LCC optimum (Fall 2), en minskning med 50 % i energianvändning jämfört med före renovering (Fall 3) och ett energimål på 83 kWh/m² och 79 kWh/m² (Fall 4) för enfamiljshus och flerbostadshus, respektive, enligt Boverkets Byggregler (BBR). Valet av EEMs på klimatskalet för de studerade fallen visas i Tabell 1 där valet av isoleringsåtgärder är presenterat med antalet cm. Påverkan av kostnadsoptimal energirenoering sett till årlig specifik energianvändning och LCC under en optimeringsperiod på 50 år är presenterade i Tabell 2, samt den procentuella skillnaden jämfört med före renoveringen. Resultaten som presenteras i denna handbok är framtagna där fjärrvärme används som energitillförselsystem före och efter renovering för att möjliggöra undersökning av påverkan på omgivande fjärrvärmesystem från implementeringen av EEM på klimatskalet i ett historiskt byggnadsområde. I den vetenskapliga artikeln ”Evaluation of energy renovation strategies for 12 historic building types using LCC optimization” [5] skriven av forskare inom ”Potential och Policies för energieffektivisering i byggnader byggda före 1945 – etapp II” har däremot LCC-optimeringen även inkluderat valet av kostnadsoptimalt energitillförselsystem.

Som visas i Tabell 1 är nya tvåglasfönster lönsamma i de flesta optimeringarna. Det är viktigt att nämna att optimeringarna har genomförts med bivillkoret att den återstående livslängden är satt till 0 år på fönstren, vilket betyder att fönsterbyte är oundvikligt. Dessutom antas tätning vara en bieffekt av fönsterbyte då de nya fönstern antas vara lufttäta. En intressant observation gällande fönsterbyte kan noteras för byggnad 6W i Fall 3, där fönstren med bäst termisk prestanda väljs för att uppnå 50 % lägre energianvändning jämfört med innan renovering.

Det är viktigt att vara medveten om att den kostnadsoptimala energirenoeringsstrategin är unik för varje byggnad på grund av unika byggnadsförhållanden i form av layout och konstruktion. Däremot är renoveringsstrategierna väldigt lika inom varje byggnadskluster då byggnadsegenskaperna i hög grad är likartade. Exempel på detta är valet av 26 cm golvisolering, 12 cm takisolering och ingen isolering av ytterväggen i LCC optimum (Fall 2) för byggnaderna i Kluster I, det vill säga enfamiljshus i trä. Andra likheter i valet av renoveringsstrategi för de olika klustren som kan härledas ur Tabell 1 inkluderar bland annat:

- Golvisolering mellan 24 – 32 cm är lönsamt i Fall 2 – Fall 4 i Kluster I och Kluster III (byggnader stående på kryppgrund) på grund av höga transmissionsförluster före renovering
- Takisolering är generellt kostnadseffekt i alla klustren på grund av låga renoveringskostnader trots låga U -värden före renovering.
- Ytterväggisolering på insidan av ytterväggen är lönsamt för alla stenbyggnader, Kluster III och Kluster IV, på grund av höga U -värden före renovering. Anledningen till att isolering väljs på insidan och inte utsidan av ytterväggen beror på lägre renoveringskostnader

Den specifika energianvändningen varierar mellan 99,1 och 200,1 kWh/m² för träbyggnaderna och 143,2 – 324,0 kWh/m² för stenbyggnaderna före energirenoering. Den generellt bättre termiska prestandan i träbyggnaderna jämfört med stenbyggnaderna är

resultatet av lägre U -värde för ytterväggen i träbyggnaderna. Det bör noteras att den specifika energianvändningen (uppvärmning och tappvarmvattenanvändning) för byggnader uppförda före 1940 i Sverige är i genomsnitt 125 kWh/m^2 för enfamiljshus och 146 kWh/m^2 för flerbostadshus [11]. Detta betyder att enfamiljshusen i denna studie har högre energianvändning (varierande mellan $161,2 - 324,0 \text{ kWh/m}^2$) än det nationella genomsnittet.

Tabell 1: Valet av kostnadseffektiva EEM på klimatskalet för byggnaderna och de studerade fallen. Valet av isoleringsåtgärder är givna med antalet centimeter föreslagna i optimeringen.

Kluster		I			II			III			IV		
Byggnadstyp		1W	2W	3W	4W	5W	6W	1S	2S	3S	4S	5S	6S
Fönster	Fall 2	2G*	2G	2G	2G	2G	2G	2G	2G	2G	2G	2G	2G
	Fall 3	2G	2G	2G	2G	2G	3GE**	2G	2G	2G	2G	2G	2G
	Fall 4	2G	2G	2G	2G	2G	2G	2G	2G	2G	2G	2G	2G
Golvisolering	Fall 2	26	26	26	0	0	0	24	24	24	0	0	0
	Fall 3	24	32	26	0	20	36	24	24	24	0	0	0
	Fall 4	24	32	26	0	0	0	24	24	24	0	0	0
Takisolering	Fall 2	12	12	12	18	16	16	10	10	10	16	16	16
	Fall 3	10	18	12	24	24	40	0	0	0	10	10	10
	Fall 4	10	18	4	24	24	6	0	0	0	16	16	10
Ytterväggisolering på insida	Fall 2	0	0	0	0	0	0	20	20	20	20	20	20
	Fall 3	2	0	0	24	22	38	2	2	2	4	4	6
	Fall 4	8	2	0	6	4	0	20	14	6	12	8	4

* 2G: Tvåglas fönster, ** 3GE: Treglas fönster + lågemissivt glas

Tabell 2: Påverkan av kostnadsoptimal energirenovering på specifik energianvändning och LCC, samt procentuell skillnad jämfört med före renovering.

Kluster		I			II			III			IV		
Byggnadstyp		1W	2W	3W	4W	5W	6W	1S	2S	3S	4S	5S	6S
Fall 1	kWh/m ²	200,1	178,6	161,2	128,1	115,4	99,1	324,0	266,2	218,0	219,8	187,3	143,2
	kSEK/m ²	5,6	5,0	4,4	3,7	3,3	2,7	8,1	6,8	5,6	5,5	4,8	3,6
Fall 2	kWh/m ²	111,5 (-44)	93,5 (-48)	80,2 (-50)	97,6 (-24)	88,0 (-24)	76,4 (-23)	79,3 (-76)	72,3 (-73)	67,8 (-69)	73,5 (-67)	69,1 (-63)	64,7 (-55)
	kSEK/m ²	4,3 (-23)	3,7 (-26)	3,1 (-30)	3,2 (-14)	2,9 (-12)	2,4 (-11)	5,6 (-31)	4,7 (-31)	3,8 (-32)	4,0 (-27)	3,5 (-27)	2,7 (-25)
Fall 3	kWh/m ²	97,7 (-51)	91,1 (-49)	80,2 (-50)	69,7 (-46)	61,9 (-46)	51,4 (-48)	147,0 (-55)	117,4 (-56)	99,7 (-54)	99,2 (-55)	89,4 (-52)	73,1 (-49)
	kSEK/m ²	4,8 (-14)	3,7 (-26)	3,1 (-30)	3,6 (-3)	3,2 (-3)	3,1 (+15)	6,3 (-22)	5,2 (-24)	4,2 (-25)	4,2 (-24)	3,7 (-23)	2,8 (-22)
Fall 4	kWh/m ²	81,8 (-59)	81,4 (-54)	83,1 (-48)	77,6 (-39)	75,9 (-34)	78,7 (-21)	83,1 (-74)	82,0 (-69)	82,1 (-62)	77,6 (-65)	76,9 (-59)	77,5 (-46)
	kSEK/m ²	4,7 (-16)	4,1 (-18)	3,2 (-27)	3,5 (-8)	3,2 (-3)	2,4 (-11)	5,7 (-30)	4,8 (-29)	3,9 (-30)	4,0 (-27)	3,5 (-27)	2,9 (-19)

För flerbostadshusen varierar energianvändningen mellan $99,1 \text{ kWh/m}^2$ och $219,8 \text{ kWh/m}^2$ där fyra av sex byggnader (4W – 6W och 6S) har lägre energianvändning än det nationella

genomsnittet. Gällande Fall 2, LCC optimum, är påverkan av kostnadsoptimal energirenovering störst på byggnaderna på kryppgrund (Kluster I och Kluster III) och stenbyggnaderna (Kluster III och Kluster IV) på grund av tilläggsisolering av golvet och ytterväggen, samt ursprungligen dålig termisk prestanda. Av enfamiljshusen uppnår byggnad 3W och samtliga byggnader i Kluster III, 1S – 3S, BBR:s krav på 83 kWh/m² (Fall 4) vid LCC optimum. Byggnad 6W och samtliga byggnader i Kluster IV, 4S – 6S, uppnår BBR:s krav på 79 kWh/m² (Fall 4) för flerbostadshus vid LCC optimum. Således är energianvändningen vid LCC optimum lägre än energimålet i BBR för samtliga stenbyggnader. Att uppnå en minskning i energianvändning på 50 % (Fall 3) är möjligt i samtliga byggnader vilket resulterar i energianvändning varierande mellan 51,4 kWh/m² och 147,0 kWh/m².

Gällande LCC sänks utgifterna under en optimeringsperiod på 50 år med 11 – 32 % i LCC optimum jämfört med innan den renovering som visas i Tabell 2. I Fall 3, sänks LCC med mellan 3 % och 30 % i 11 av 12 optimeringar. En ökning i LCC sker i byggnad 6W med 15 % då fönstren med bäst termisk prestanda och högst investeringskostnad väljs för att uppnå en minskning med 50 % i energianvändning. Motsvarande minskning i LCC för Fall 4, BBR:s energikrav, är 3 – 30 %. Det är viktigt att notera att den största procentuella minskningen i LCC sker i de byggnader där energianvändningen också har minskat mest.

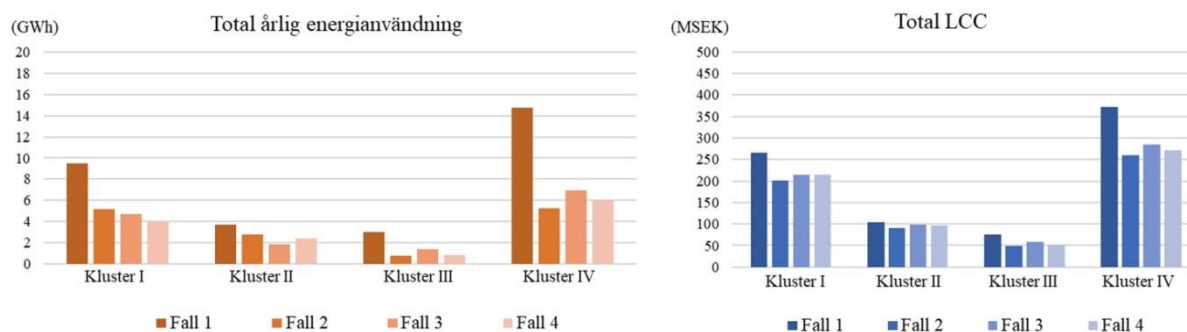
Klusternivå

Specifik energianvändning och LCC för Fall 1 till 4 visas i Tabell 3 för de fyra klustren tillsammans med den procentuella skillnaden i Fall 2 till Fall 4, jämfört med före renovering (Fall 1). Den specifika energianvändningen och LCC varierar mellan 117,1 kWh/m² och 284,9 kWh/m², och 3,3 – 7,2 kSEK/m² i Fall 1. Motsvarande siffror i Fall 2 till 4 är 62,7 – 128,1 kWh/m² och 2,9 – 5,5 kSEK/m². Av de undersökta klustren har Kluster III störst procentuell minskning i specifik energianvändning (74 %) och LCC (31 %) i LCC optimum. Kluster II har minst procentuell minskning i specifik energianvändning (24 %) och LCC (12 %). Anledningen till den stora differensen i procentuell minskning mellan dessa två kluster är att Kluster II har bäst termisk prestanda före renovering och Kluster III sämst. Sett till Fall 3 och 4, visas det i Tabell 3 att energirenovering enligt dessa energimål är lönsamt i samtliga optimeringar.

Tabell 3: Specifik energianvändning och LCC i Fall 1- 4 för de olika klustren.

Kluster	I			II			III			IV		
	1W	2W	3W	4W	5W	6W	1S	2S	3S	4S	5S	6S
Byggnadstyp												
Antal byggnader	309	166	25	33	30	18	55	46	16	75	83	64
Energianv. före renovering – Fall 1 (kWh/m ²)	190,7			117,1			284,9			185,8		
LCC optimum – Fall 2 (kWh/m ²)	103,7 (-46 %)			89,4 (-24 %)			74,7 (-74 %)			69,3 (-63 %)		
Minskning med 50% i energianv. – Fall 3 (kWh/m ²)	94,5 (-50 %)			62,7 (-47 %)			128,1 (-55 %)			88,1 (-53 %)		
BBR – Fall 4 (kWh/m ²)	81,7 (-57 %)			77,2 (-34 %)			82,5 (-71 %)			77,3 (-58 %)		
LCC före renovering – Fall 1 (kSEK/m ²)	5,3			3,3			7,2			4,7		
LCC optimum – Fall 2 (kSEK/m ²)	4,0 (-25 %)			2,9 (-12 %)			5,0 (-31 %)			3,4 (-28 %)		
Minskning med 50% i energianv. – Fall 3 (kSEK/m ²)	4,3 (-19 %)			3,3 (0 %)			5,5 (-24 %)			3,6 (-23 %)		
BBR – Fall 4 (kSEK/m ²)	4,4 (-17 %)			3,1 (-6 %)			5,1 (-29 %)			3,5 (-26 %)		

Årlig energianvändning och total LCC under optimeringsperioden på 50 år visas i Figur 3 för de fyra klustren i Fall 1 – Fall 4. Kluster IV har högst energianvändning och LCC i samtliga studerade fall, följt av Kluster I, II och III. Den årliga energianvändningen varierar mellan 0,7 – 14,8 GWh för de olika fallen och klustren. Motsvarande variation i LCC är 49 – 373 MSEK. Utöver varje enskild byggnads termiska prestanda före renovering och uppvärmda yta, vilket har diskuterats i tidigare avsnitt, är den totala energianvändningen, samt LCC, kraftigt beroende av varje klusters totala uppvärmda yta. Som visas i Figur 3 har Kluster I och Kluster IV märkbart högre energianvändning och LCC än Kluster II och Kluster III, vilket i stor utsträckning kan förklaras av den stora uppvärmda ytan för dessa kluster (Kluster I ~ 49 800 m² och Kluster IV ~ 79 400 m²) jämfört med Kluster II och Kluster III som har en uppvärmd yta på ~ 31 300 m² respektive ~ 10 500 m².



Figur 3: Årlig energianvändning och total LCC under optimeringsperioden 50 år.

Distriktsnivå

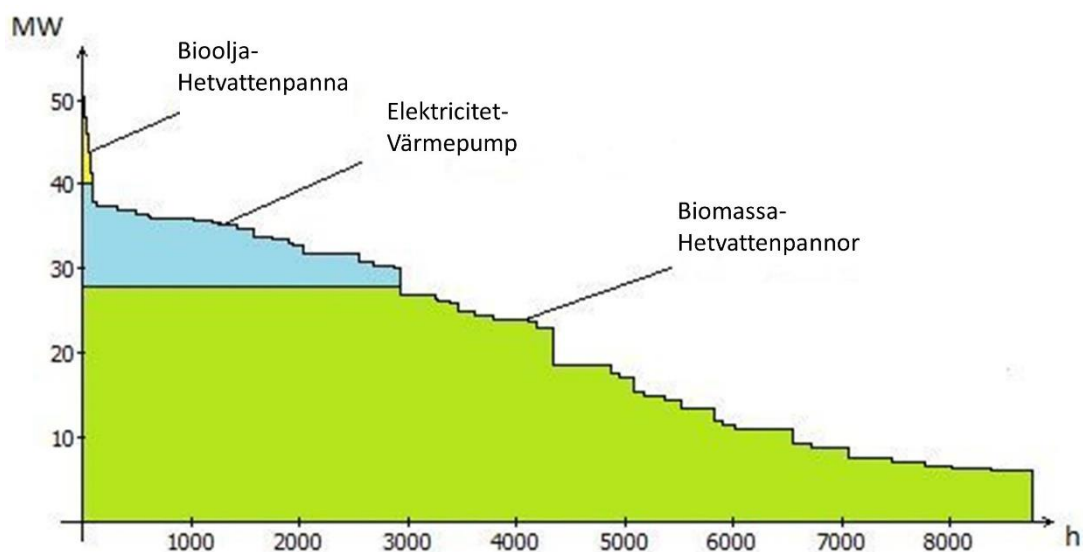
Detta avsnitt presenterar påverkan av kostnadsoptimal energirenovering på byggnadsområdet (de 4 byggnadsklustren) sett till LCC och energianvändning. Således kan resultaten användas av olika intressenter som vägledning vid undersökning av tekno-ekonomiska möjligheter med renovering av byggnadsområden. Total energianvändning och LCC för de 920 byggnaderna i området, det vill säga de fyra klustren, visas i Tabell 4. Energinvändningen sänks mellan 16 GWh och 18 GWh i Fall 2 till 4 jämfört med före renovering (Fall 1). Det bör noteras att minskningen i energianvändning är snarlik för LCC optimum (55 %) och de två energimålen (52 % i Fall 3 och 57 % i Fall 4). När det gäller LCC under optimeringsperioden på 50 år, är LCC är beräknad till 818 MSEK, 600 MSEK, 655 MSEK och 632 MSEK för Fall 1, Fall 2, Fall 3 och Fall 4, respektive. Detta betyder att ekonomiska vinster mellan 163 – 218 MSEK möjliggörs genom kostnadsoptimal renovering.

Tabell 4: Energinvändning och LCC för byggnadsområdet i Fall 1-Fall 4.

Fall	Energinvändning (GWh)	LCC (MSEK)
Energinvändning före renovering – Fall 1	31	818
LCC optimum – Fall 2	14 (-55%)	600 (-27%)
Minskning med 50% i energianvändning – Fall 3	15 (-52%)	655 (-20%)
BBR – Fall 4	13 (-57%)	632 (-23%)

Omgivande fjärrvärmesystemet

Genom kostnadsoptimal energirenovering av byggnadsområdet påverkas det omgivande fjärrvärmesystemet, sett både till lönsamhet och miljömässiga prestanda. Den optimala årliga fjärrvärmeproduktionen vid de olika anläggningarna i fjärrvärmesystemet, beräknad med optimeringsverktyget MODEST, presenteras i ett varaktighetsdiagram i Figur 4 före energirenovering. Fjärrvärmebehovet (184,6 GWh) produceras av biomassabaserade hetvattenpannor (164,7 GWh), värmepump (18,0 GWh), biooljabaserade hetvattenpannor (0,5 GWh) för topplasten, samt deponigas med 1,4 GWh (ej synligt i Figur 4 eftersom den är så liten). Lokala och globala CO₂-utsläpp är 1667 ton/år respektive 8648 ton/år. Systemkostnaden, definierad som nuvärdet av kapitalkostnader, fasta kostnader, effektrelaterade kostnader och utgifter associerade med mängden energi som används, är 727 MSEK under optimeringsperioden 50 år.



Figur 4: Optimal fjärrvärmeproduktion i Visby illustrerat i ett varaktighetsdiagram.

Effekterna från kostnadsoptimal energirenovering i LCC optimum (Fall 2), en minskning med 50 % i energianvändning (Fall 3) och enligt energimålen i BBR (Fall 4) sett till lönsamhet, bränsleanvändning, och miljöprestanda för fjärrvärmesystemet presenteras i Tabell 5. Tendenserna sett till optimal bränsletillförsel är liknande för samtliga fyra fall: biomassabaserade hetvattenpannor genererar den största delen av fjärrvärmebehovet och värmepump, deponigas och biooljabaserade hetvattenpannor tillför den resterande mängden värme till nätet. Vid samtliga renoveringar sänks systemkostnaden och CO₂-utsläppen. Den största skillnaden sett till CO₂-utsläpp och systemkostnad jämfört med före renoveringen sker i Fall 4, där den totala fjärrvärmeproduktionen också reduceras mest. Här sänks systemkostnaden under 50 år från 727 MSEK till 546 MSEK som resultat av minskad bränsletillförsel och användning av elektricitet. Lokala och globala CO₂-utsläpp är beräknade till 1592 ton/år (4 % minskning jämfört med Fall 1) respektive 4921 ton/år (43 % minskning jämfört med Fall 1). Detta betyder att kostnadsoptimal energirenovering av byggnadsområdet är ett steg mot att Sverige senast 2045 ska ha nettonollutsläpp jämfört med 1990 (varav minst 85 % av reduktionen ska vara nationell) och att EU ska minska utsläppen av växthusgaser med 40 % till 2030 jämfört med 1990.

Tabell 5: Summering av MODEST-resultaten för samtliga fall.

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
--	--------	--------	--------	--------

Fjärrvärmeanvändning (GWh/år)	184,6	168,4	168,5	167,6
Bränsletillförsel (GWh/år)				
Biomassa	149,7	143,40	143,44	143,04
Elektricitet	7,2	3,60	3,62	3,4
Bioolja	0,64	0,33	0,33	0,32
Lokala CO ₂ -utsläpp (ton/år)	1667	1596	1597	1592
Globala CO ₂ -utsläpp (ton/år)	8648	5103	5106	4921
Systemkostnad (MSEK/år)	39,8	34,9	34,9	29,9
Systemkostnad under 50 år (MSEK)	726,7	637,3	637,3	546,0
Ekonomisk lönsamhet (MSEK/år)		+4,9	+4,9	+9,9
Ekonomisk lönsamhet under 50 år (MSEK)		89,4	89,4	180,7

Samhällsekonomiskt perspektiv

Detta avsnitt sammanfattar utfallet av kostnadsoptimal energirenovering av ett byggnadsområde omfattande 920 byggnader ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Total LCC för byggnadsdistriktet beaktas, samt systemkostnaden för det omgivande fjärrvärmesystemet. Samhällskostnaden visas i Tabell 6 för samtliga fall. Samhällskostnaden sänks med mellan 253 MSEK (16 %) och 367 MSEK (24 %) under en period på 50 år. Således är kostnadsoptimal energirenovering lönsam för samhället i helhet beaktat såväl fastighetsägarens kostnader som fjärrvärmesystemets. Samhällskostnaden blir lägst då energirenoveringen genomförs enligt energimålen i BBR (Fall 4), vilket också motsvarar fallet med lägst energianvändning i byggnadsområdet (se Tabell 4).

Tabell 6: Samhällskostnad under 50 år för samtliga fall.

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
Samhällskostnad (MSEK)	1 545	1 237 (-20 %)	1292 (-16 %)	1178 (-24 %)

Hur kan metodiken komma till nytta?

Att undersöka påverkan av kostnadsoptimal energirenovering av ett historiskt byggnadsdistrikt på det omgivande fjärrvärmesystemet byggnadsområde har tidigare inte studerats vetenskapligt. Detta har möjliggjorts genom utveckling av metodiken teknisk-ekonomisk potentialbedömning för energibesparing (TEPE) 1.0 och framtagande av en unik metodik, benämnd TEPE 2.0. Vikten av att undersöka effekterna på omgivande fjärrvärmesystem från kostnadsoptimal byggnadsrenovering ökar på grund av den höga andelen fjärrvärme i landet (cirka 50 % av all uppvärmning av lokaler och bostäder). Forskningsresultaten är således särskilt relevanta för regioner där fjärrvärmebaserad uppvärmning är brett använd, såsom i Nordeuropa.

Resultaten från denna forskning påvisar att med användandet av TEPE 2.0 är det möjligt att förutse de ekonomiska och miljömässiga konsekvenserna på det omgivande fjärrvärmesystemet av kostnadsoptimal energirenovering av ett historiskt byggnadsområde, både med avseende på LCC och specifika energimål. Det bör nämnas att den övergripande metodiken är tillämpbar oberoende av byggnadskarakteristik och prestanda. Övriga fördelar med användandet av TEPE 2.0 inkluderar:

- Identifiera kostnadsoptimal energirenoveringsstrategi för en byggnad med tillhörande LCC och energianvändning
- LCC-optimeringen kan utföras med förbestämda energimål vilket betyder att optimeringen kan utföras baserad på till exempel nationella energimål
- Möjlighet att extrapolera resultaten till kluster- och distriktsnivå
- Förutsäga systemkostnaden före och efter kostnadsoptimal energirenovering av byggnader, byggnadskluster eller byggnadsområden
- Förutsäga miljöpåverkan före och efter kostnadsoptimal energirenovering av byggnader, byggnadskluster eller byggnadsområden
- Förutsäga samhällsekonomisk påverkan före och efter kostnadsoptimal energirenovering av ett byggnadsområde

Som visats ovan finns det många fördelar med att använda TEPE 2.0. Identifierade kostnadsoptimala energirenoveringsstrategier kan användas som vägledning för bostadsägare av olika typer vid energirenovering av historiska byggnader belägna i nordeuropeiskt klimat. Detta kan även påvisa vilka delar av byggnadsbeståndet som besitter den högsta tekno-ekonomiska energieffektiviseringspotentialen. På så sätt kan policyutformare rikta sina resurser mot de delar av byggnadsbeståndet där energirenoveringar kan genomföras med störst lönsamhet. Policyutformare, både på lokal och regional nivå, kan med TEPE 2.0 få en systematisk bild över påverkan från genomförda renoveringar, både från bostadsägarnas perspektiv och fjärrvärmenätets, sett till lönsamhet och miljöprestanda. Således går det att få en holistisk överblick över sambanden mellan energirenoveringar i byggnadsbeståndet och det omgivande energisystemet.

Referenser

- [1] P. Gluch, *Perspektiv på LCC - En bok om långsiktiga beslut och styrning vid hållbar och energieffektiv renovering av byggnader*. ISSN: 1652-9162, 2014
- [2] I. Artola, K. Rademaekers, R. Williams, and J. Yearwood, *Boosting Building Renovation: What potential and value for Europe?* PE 587.326, 2016.
- [3] L. Liu, P. Rohdin, and B. Moshfegh, "LCC assessments and environmental impacts on the energy renovation of a multi-family building from the 1890s", *Energy and Buildings*, vol. 133, pp. 823-833, 2016.
- [4] V. Milić, K. Ekelöw, and B. Moshfegh, "On the performance of LCC optimization software OPERA-MILP by comparison with building energy simulation software IDA ICE", *Building and Environment*, vol. 128, pp. 305-319, 2018.
- [5] V. Milić, K. Ekelöw, M. Andersson, and B. Moshfegh, "Evaluation of energy renovation strategies for 12 historic building types using LCC optimization", *Energy & Buildings*, vol. 197, pp. 156-170, 2019.
- [6] L. Linn, "A systematic approach for major renovation of residential buildings. ISBN: 978-91-7685-507-2", Doktorsavhandling. ISBN: 978-91-7685-507-2, Avdelningen Energisystem, Linköpings universitet, Linköping, 2017.
- [7] L. Liu, P. Rohdin, and B. Moshfegh, "Investigating cost-optimal refurbishment strategies for the medieval district of Visby in Sweden", *Energy and Buildings*, vol. 158, pp. 750-760, 2017.
- [8] T. Broström, P. Eriksson, L. Liu, P. Rohdin, F. Ståhl, and B. Moshfegh, "A method to assess the potential for and consequences of energy retrofits in Swedish historic buildings", *The Historic Environment: Policy and Practice*, vol. 5, pp. 150-166, 2014.
- [9] EQUA. *Ida Indoor Climate and Energy*. Available: <http://www.equa.se/en/ida-ice> (Last accessed: 2019, May 22).

- [10] D. Henning, S. Amiri, and K. Holmgren, "Modelling and optimization of electricity, steam and district heating production for a local Swedish utility", *European Journal of Operational Research*, vol. 175, pp. 1224-1247, 2006.
- [11] Energimyndigheten. *Energistatistik*. Available:
<http://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/alla-statistikprodukter/> (Last accessed: 2019, Februari 20).

9. Integrering av antikvarisk bedömning och teknisk ekonomisk optimering av energianvändning och LCC – Visbystudien

Kapitlet ger en sammangattning av artikeln:

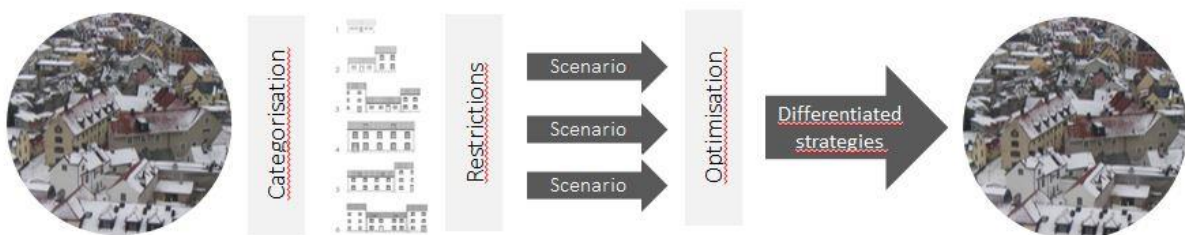
Eriksson, P., Milić, V., Broström, T., *Balancing preservation and energy efficiency in building stocks*. (Inskickad för publicering till International Journal of Building Pathology and Adaptation)

Denna studie presenterar en metod som tar tillvara bebyggelsens karaktär på en specifik plats. I arbetet med att skapa förutsättningar att arbeta integrerat med frågor som rör bevarande av byggnaders kulturvärden och möjligheter att energieffektivisera detsamma. Målet är att utmana och undersöka hur relationen som uttrycks som en grundläggande byggnadsvårdsprincip; Gör så mycket som är nödvändigt men så lite som möjligt, för att hitta en balans mellan energisparande och bevarande.

Med Visby som utgångspunkt ville vi testa en metod där de antikvariska aspekterna arbetas in i den övergripande metoden för livscykelkostnadsoptimering av energieffektiviseringsåtgärder. Utgångspunkten var att se hur olika restriktionsnivåer för energieffektiviseringsåtgärder påverkade energisparpotentialen i byggnadsbeståndet. Vi ville också tydliggöra vilka vinster och förluster för energibesparing respektive bevarande av byggnadernas kulturvärden olika vägval kan ge. Med utgångspunkt i resultaten från studien har det varit möjligt att ta fram differentierade energirenoveringsstrategier på beståndsnivå som ska leda till att välgrundade riktlinjer och policies utarbetas för större byggnadsbestånd.

Den övergripande metoden ser ut på följande sätt, se figur 1:

1. Kategorisering av byggnadsbeståndet- för Visby resulterade det i 12 arketyppbyggnader.
2. Definiering av restriktioner för energieffektiviserings scenarier med utgångspunkt i bebyggelsens utpekade kulturvärde och karaktärsbärande element.
3. Livscykelkostnads (LCC)-optimering av de 12 arketyppbyggnader.
4. Uppskalning och analys av energieffektiviseringspotential och bevarandepotential på beståndsnivå.
5. Framtagande av differentierade energirenoveringsstrategier.



Figur 1: bild som beskriver forskningsmetodiken för att komma fram till strategier på beståndsnivå.

Detta kapitel kommer främst att behandla hur restriktionsnivåerna i energirenoveringsscenarierna definierades med utgångspunkt i byggnadernas kulturvärden samt vilken effekt scenarierna fick på energisparpotentialen för hela byggnadsbeståndet. Samt vilken potential det finns i att arbeta med differentierade renoveringsstrategier för hela byggnadsbestånd.

Karaktärsbärande element i Visby innerstad

Det är de karaktärsbärande elementen i byggnaderna i Visby som är utgångspunkten för att kunna identifiera och sätta restriktioner för de olika energirenoveringsscenarierna. I Byggnadsordningen är de karaktärsbärande elementen beskrivna utifrån den indelning som görs av stadens byggnader i olika tidsperioder. Tidsperiodernas ideal och byggnadsskick påverkar byggnaderna både utseendemässigt och konstruktionsmässigt. Tidsperioderna är också viktiga utifrån ett samhällsbyggnadshistoriskt perspektiv. Att utgå från tider och stilar är det vedertagna arbetssättet inom den byggnadsantikvariska praktiken. **Medeltidens** (1000 – 1500) byggnader karaktäriseras av stenbyggandet med murade väggar, stenslagna kryss- eller tunnvalv och bjälklag i trä. Det finns en del huggna stendetaljer, trappor och putsytor bevarade från tiden. **Residensstadens** (1500 – 1720) byggnader är framförallt byggnader uppförda i trä i någon av de traditionella byggnadsteknikerna; liggtimmer, korsvirke eller skiftesverk. Några enstaka tegelhus finns också från denna tid. Karaktäristiskt är att byggnadstekniken är synlig i byggnadsstommen som t.ex. det synliga korsvirket eller de prismahuggna bräderna i skiftesverkshusen. Det finns också en del fönster och dörrar i originalutförande kvar från denna tid. **Trästaden** (1720 – 1830) är en period som karaktäriseras av ett ökat bostadsbyggande i staden och där små trähus etableras på områden som tidigare har varit obebyggda. Byggnaderna får ofta en väl definierad grundmur på vilken ett skiftesverkshus uppförs. Trästommen är dock sällan synlig då man valde att revetera väggarna med en kalkputs. I det här byggnadsbeståndet som utgörs av mer än 500 skiftesverkshus är det taken, takfallen, takmaterialen, skorstenarna, stommarna, socklar, fönster och dörrar samt där det finns dekorativa listverk som karaktäriserar byggnaderna och därmed utgör grunden för dess kulturvärden. **Borgarstaden** (1830 – 1920) är en period i Visbys byggnadshistoria som präglas av det offentliga byggandet som krävs för den moderna staden som nu börjar ta form. Det byggs skolor, banker, sjukhus mm. Dessa byggnader uppförs ofta av sten medan bostadsbyggandet fortfarande sker på samma sätt som under den föregående perioden. Karaktärsbärande element i byggnaderna från denna tid är de putsade fasaderna med sina dekorativa listverk, huggna stendetaljer, markerade socklar, dekorativa plåtarbeten, fönster och dörrar i originalutförande mm. Den **moderna stadens** byggnader uppförs från 1920 och framåt är en heterogen samling byggnader som karaktäriseras av att de i de flesta fall smälter väl in i stadsbilden med sina putsade fasader och med tegeltäckta tak.

Byggnadsordningen har också ett särskilt avsnitt som tar upp hur man bör förhålla sig till förändringar som relaterar till energibesparande åtgärder. Tekniska installationer är generellt inte tillåtna på byggnadernas fasader eller tak. Utvändig isolering är inte tillåten om det förändrar karaktären på fasaden. Fönster skall bevaras så långt som möjligt och om de behöver ersättas skall det göras med fönster så nära originalutförandet som möjligt.

Energirenoveringsscenarier

I projektet har vi jobbat med att hantera frågor om respekt för kulturvärden genom att sätta restriktioner för vad som är möjligt att förändra i byggnaderna vid en energirenovering. Restriktionsnivåerna för Visby sattes med utgångspunkt i den byggnadsordning som finns för Visby innerstad. Byggnadsordningen är en bilaga till detaljplanen för innerstaden och är gällande som detaljplanen vid alla ändrings-, ombyggnads-, tillbyggnads- eller andra ärenden som rör bebyggelsen i Visby innerstad. Eftersom vi ville hur olika restriktionsnivåer påverkade energieffektiviseringspotentialen och därmed också bevarandepotentialen i staden jobbade vi med tre olika scenarier. Ett **restriktivt scenario** där alla åtgärder som innebar ingrepp i fasad och väggar samt fönster blockerades. Ett **balanserat scenario** där invändig ytterväggisolering tilläts samt ett **optimalt scenario** där den mest kostnadseffektiva

kombinationen av åtgärder kan beräknas av optimeringsverktyget. För att ha något att jämföra med och utgå från har också ett **referensfall** optimerats där scenariot är att status quo råder, dvs ingenting förändras, förutom att kostnader för underhåll finns med i beräkningen för fönster.

Scenarierna representerar tre risknivåer för hur energieffektiviserande åtgärder påverkar byggnadernas karaktärsdrag, hög risk – det optimala scenariot, låg risk – det restriktiva scenariot och däremellan det balanserade scenariot som kan innebära viss risk för att de utpekade karaktärsdragen kan skadas. Vi valde att arbeta utifrån denna tregradiga nivåskala för scenarierna då det har varit vedertaget i forskning inom området att utgå från skalor från låg risk för påverkan på kulturvärden till hög risk. Den restriktiva nivån innebär att alla åtgärder som bedöms skada byggnadernas kulturvärden är bortplockade. Detta är åtgärder som skulle komma att förändra de utpekade karaktärsdragen i byggnaderna. Åtgärderna som tillåts i den balanserade nivån har låg risk eller liten påverkan på byggnadernas kulturvärden. Medan den optimala nivån inte har några restriktioner till val av åtgärder.

Resultat av LCC-optimeringarna

LCC-optimeringsverktyget OPERA-MILP (OPTimal Energy Retrofit Advisory-Mixed Integer Linear Program) används för att bestämma kostnadsoptimal energigirenoveringsstrategi för arketyppbyggnaderna i de fyra scenarierna. OPERA-MILP är utvecklat vid avdelningen energisystem på Linköpings universitet och utvecklas kontinuerligt av forskare verksamma på avdelningen. Vid användning av verktyget erhålls den kostnadsoptimala energigirenoveringslösningen utifrån givna förutsättningar. Se avsnittet om OPERA MILP för mer ingående beskrivningar av verktyget. Nedan sammanfattas utfallen av LCC-optimeringen för de presenterade energieffektiviseringsscenarioer som är framtagna för Visby innerstad.

I referensfallet genomförs inte några nya åtgärder och byggnaderna antas värmas med fjärrvärme.

Det **optimala scenariot** resulterar i följande åtgärder:

1. Fönsterbyte i alla byggnader.
2. Isolering av takbjälklag i alla byggnader
3. Golvbjälklagsisolering på mellan 24-26 cm i småhusen konstruerade av både sten och trä (1-3 W/S).
4. Invändig isolering av ytterväggar i alla stenbyggnader.
5. Lufttätning av alla byggnader
6. Byte av värmesystem i flerfamiljshusen.

Anledningen till att det optimala scenariot resulterar i invändig isolering av ytterväggar på alla stenbyggnader och inte på några av träbyggnaderna beror på att stenbyggnaderna har sämre termisk prestanda än träbyggnaderna. Då isolering av ytterväggen är en relativt dyr åtgärd är det inte kostnadseffektivt att isolera träbyggnaderna.

Det **balanserade scenariot** resulterar i följande:

1. Isolering av takbjälklag på alla byggnader.
2. Golvbjälklagsisolering för alla småhus konstruerade både i sten och trä (1-3W and 1-3S).
3. Invändig isolering av ytterväggar på alla stenbyggnader (1-3S and 4-6S).

4. Lufttätning av alla byggnader.
5. Byte av värmesystem i flerfamiljshusen konstruerade både i sten och trä (4-6W and 4-6S).

En skillnad mellan det optimala scenariot och det balanserade är att det satt en maximal tjocklek på isolering till 16 cm för golv och väggisolering. Energianvändningen är högre i stenbyggnaderna än i träbyggnaderna jämfört med det optimala scenariot. LCC är också högre än i det optimala scenariot men lägre än i referensfallet.

Det **restriktiva scenariot** resulterar i följande åtgärder:

1. Isolering av takbjälklag på alla byggnader.
2. Golvbjälklagsisolering för alla småhus konstruerade både i sten och trä (1-3W and 1-3S).
3. Lufttätning av alla byggnader.
4. Byte av värmesystem I alla byggnader förutom småhusen konstruerade I trä (1-3W).

Då det restriktiva scenariot inte tillåter vare sig fönsterbyte eller isolering av yttervägg föreslås åtgärder som alla är varsamma mot förändringar som påtagligt ändrar byggnadens karaktärsdrag.

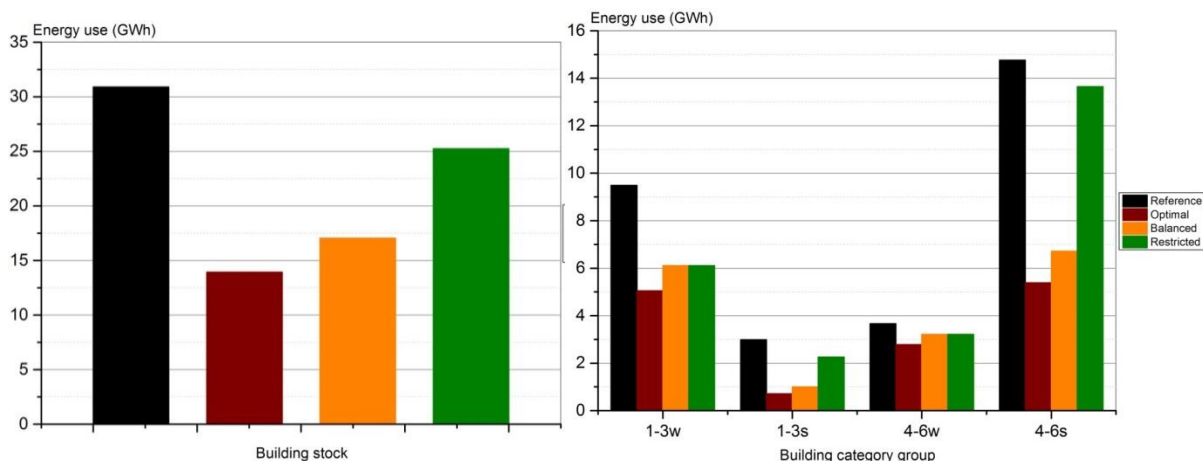
Utfall på byggnadsbeståndsnivå

För att kunna identifiera och analysera vilka konsekvenser resultaten för de presenterade scenarierna får på byggnadsbeståndsnivå skalades resultaten för varje arketyppbyggnad upp i förhållande till hur stor andel av byggnadsbeståndet som representeras av respektive typbyggnad utgjorde. Detta gjorde det möjligt att se vilken effekt scenarierna får för alla byggnadskategorier men också för de fyra huvudsakliga grupperna av byggnadskategorier som har utkristalliserats. Analysen presenteras först för energianvändning och sedan för LCC.

Energianvändning

När man skalar upp resultaten för energianvändningen i de fyra scenarierna ser man att det är en avsevärd skillnad mellan scenarierna - men också mellan de olika grupperna av byggnader, se figur 2. I ett första steg tittar vi på det totala byggnadsbeståndets energisparpotential för varje scenario som är optimerat. Det optimala scenariot skulle reducera energianvändningen med 16,9 GWh/år eller 55 % jämfört med referensfallet. Energibesparingspotentialen är något lägre för det balanserade scenariot, 45 %, och det restriktiva scenariot, 18 %, jämfört med referensfallet. Värt att notera är att det också är avsevärda skillnader mellan det balanserade och det restriktiva scenariot i förhållande till det optimala scenariot.

I nästa steg ser vi hur resultatet avseende energisparpotentialen ser ut för hela byggnadsbeståndet men uppdelat i de fyra huvudsakliga byggnadskategori grupperna. Detta gör det möjligt att analysera ännu närmare i vilka delar av byggnadsbeståndet det är möjligt att göra de stora energisparvinsterna.



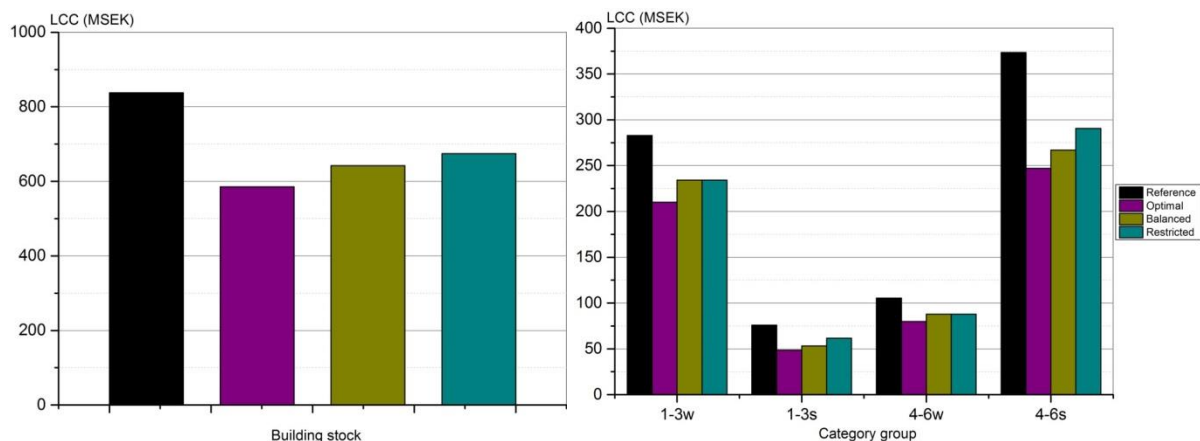
Figur 2 : Energianvändning uppskalat för hela byggnadsbeståndet samt uppdelat på byggnadskategorierna.

Referensfallet uppvisar den högsta energianvändningen för alla byggnadskategorierna. I relation till detta ser man att det optimala energirenoeringsscenariot skulle reducera energianvändningen med 48 % (4,5 GWh/år) för småhusen i trä (1-3W) medan det balanserade och det restriktiva scenariot skulle reducera energianvändningen med 36 % (3,4 GWh/år). För småhusen i sten ser situationen något annorlunda ut. Skillnaden mellan referensfallet och det optimala energirenoeringsscenariot resulterar i en energieffektiviseringspotential om 77 % (2,3 GWh/år) medan det balanserade scenariots skulle resultera i en energibesparing om 67 % (2 GWh/år) och det restriktiva scenariot i en energibesparing på 25 % (0,7 GWh/år).

När vi tittar på resultaten för flerfamiljshusen så uppträder samma fenomen som för småhusen, dvs att för trähusen är det inte någon skillnad mellan det balanserade och det restriktiva scenariot avseende energianvändning. Eftersom denna byggnadskategori utgör en liten del av den totala uppvärmda ytan av byggnadsbeståndet så är energisparpotentialen marginell. 0,9 GWh/year) och för det balanserade och optimala scenariot är energieffektiviseringspotentialen ännu lägre 14 % (0.5 GWh/år). När vi går till flerfamiljshusen i sten ser vi att det finns en stor energisparpotential i denna del av beståndet. Det optimala scenariot skulle ge en energibesparing på 9,4 GWh/ år jämfört med referensfallet och det balanserade scenariot med hela 8,1 GWh/år. Det restriktiva scenariot skulle innebära en besparingspotential om 1,2 GWh/år.

LCC

När vi tittar på hur det förhåller sig när det gäller livscykelkostnad så ser tendensen likadan ut som för energianvändningen men det är mindre skillnader mellan de olika scenarierna, dvs att referensfallet är det mest kostsamma och det optimala scenariot är det som är mest lönsamt, se figur 3. LCC är dessutom intressant beroende på hur ägarförhållandena i byggnadsbeståndet ser ut. Om det är en stor ägare av ett byggnadsbestånd så är det naturligt att väga in LCC som en viktig aspekt för beslutsfattande.



Figur 3: LCC uppskalat för hela byggnadsbeståndet samt uppdelat på de olika byggnadskategorierna.

Som ett resultat av de föreslagna energieffektiviseringsåtgärderna i det optimala LCC scenariot är att både kostnader och energianvändning är märkbart lägre än för det restriktiva och det balanserade scenariot för arketyppbyggnaderna. Vilken effekt detta får på byggnadsbeståndsnivå presenteras nedan.

Diskussion

Av studien framgår att för ett heterogent byggnadsbestånd är generella riktlinjer och strategier för energibesparing inte ändamålsenliga. Det gäller rent energibesparingsmässigt men framförallt vilket också har varit fokus för denna studie när det gäller att ta hänsyn påverkan på byggnaders kulturvärden. En av studiens viktigaste resultat är att vi tydligt kan visa att det finns skäl till att utveckla differentierade energirenoveringsstrategier för att klara målsättningen att både spara energi och att bevara byggnaders kulturvärden. Olika delar i ett byggnadsbestånd har olika energibesparingspotential som beror på tekniska förutsättningar, såsom byggnadernas storlek, konstruktion, byggmaterial, ålder, design mm, samt byggnadernas kulturvärden som avspeglas i karaktärsbärande element i byggnaderna.

Det vi har kunnat se i Visbyfallet är att det finns en avsevärt större energisparpotential i byggnadsbeståndets stenbyggnader på grund av sämre termisk prestanda. En förutsättning för att ta vara på denna potential är att utforma riktlinjer för stenhus respektive trähus. Eftersom flerfamiljshusen utgör den största andelen uppvärmd yta skulle det vara mest fördelaktigt att börja energiförbättra denna del av byggnadsbeståndet.

Slutsatser

Slutsatserna av arbetet med Visby kan delas in i två delar; hur metoden fungerar på Visbys byggnadsbestånd samt hur resultaten av metoden kan användas för att utveckla arbetet med att kombinera energieffektiviseringsmål med bevarandemål.

- Kategoriseringen av byggnadsbeståndet och framtagandet av 12 arketyppbyggnader har varit tillfredsställande som representation av beståndet. Metoden kräver dock mycket och detaljerad information om varje enskild byggnad i beståndet.
- Målsättningen med att bevara Visbys byggnadsbestånds karaktärsdrag och som har uttryckts i gällande detaljplan med tillhörande byggnadsordning har fungerat som utgångspunkt för att utforma energirenoveringsscenarier med hänsyn till kulturvärden. Detta har gjorts genom att omvandla målsättningar för bevarande och hänsyn till

kulturvärden till restriktionsnivåer för vad som är tillåtet att göra vid en energirenovering.

- Energirenoveringsscenarierna representerar tre nivåer vad gäller risker för förvanskning av de karaktärsbärande elementen i Visbys byggnadsbestånd. Det restriktiva scenariot är ett lågrisksscenario medan det optimala scenariot är ett högrisksscenario om utgångspunkten är att bevara kulturvärden i bebyggelsen.
- Resultaten från LCC-optimeringen av energirenoveringsscenarierna på arketyppbyggnaderna kan skalas upp till beståndsnivå och användas för att utveckla differentierade energirenoveringsstrategier för hela eller delar av byggnadsbeståndet i Visby.
- För att kunna uppnå balansen mellan byggnadsvårdsprincipen; gör så lite som möjligt men så mycket som är nödvändigt, behöver differentierade energirenoveringsstrategier utarbetas som bygger på de olika förutsättningar som de olika byggnadskategorierna i byggnadsbeståndet har. Vi har visat inom vilka delar av byggnadsbeståndet som det är mest optimalt att göra insatser utifrån både livscykelkostnadsperspektiv som energisparperspektiv. Det är tex möjligt att spara mer energi relativt sett i stenhus i Visby än i trähus. Den kostnadseffektiva energieffektiviseringspotentialen är således högre bland stenbyggnaderna i fallstudien på grund av sämre termisk prestanda jämfört med träbyggnaderna.

Studien har bidragit till att visa hur det är möjligt att balansera bevarandebeståndet med energisparmål genom en systematisk metod i gränslandet mellan antikvariska och tekniska intressen.

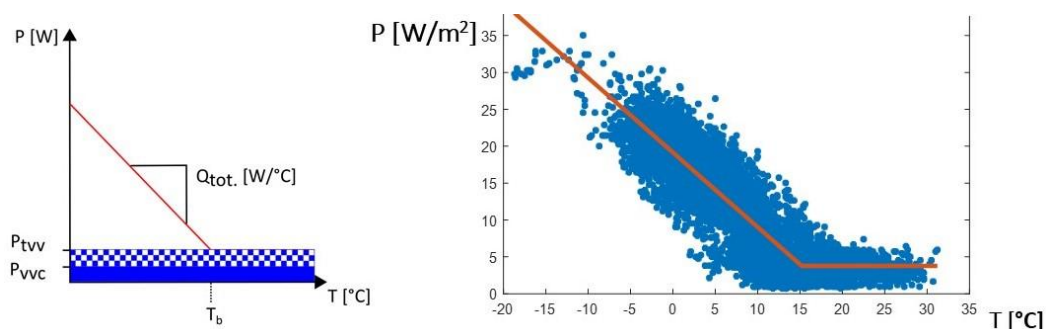
10. Effektsignaturer

Inledning

Vid uppskattning av en byggnads energieffektiviseringspotential är det viktigt att korrekt beskriva den nuvarande energiprestandan. I allmänhet anges en byggnads prestanda i specifik energianvändning (kWh/m^2). Detta är ett osäkert mått bland annat på grund av varierande beteendemönster i byggnader. En byggnads specifika energianvändning ger alltså inte en rättvis beskrivning av byggnadens nuvarande termiska egenskaper och energieffektiviseringspotential. Däremot är det möjligt att med statistisk analys bestämma en byggnads effektsignatur (vanligen kallad energisignatur) som anger en byggnads prestanda baserat på antal parametrar såsom specifika värmeförluster ($\text{W}/^\circ\text{C}$) och balanstemperatur ($^\circ\text{C}$) genom att använda sig av faktorer, till exempel från fjärrvärmebolag, och utomhustemperatur.

Att beräkna de specifika värmeförlusterna Q_{tot} , är viktigt då Q_{tot} beskriver byggnadens termiska prestanda baserat på transmissionsförlusterna från köldbryggor, väggar, golv, tak och fönster, samt infiltrations- och ventilationsförluster. Övriga parametrar som vanligen kvantifieras i en effektsignatur innefattar den temperaturoberoende lasten, nämligen varmvattencirkulation (VVC) och tappvarmvattenanvändning (TVV). Således, anger en effektsignatur byggnadens effektbehov som en funktion av utomhus-temperaturen vilket till hög grad kan filtrera bort varierande beteendemönster i en byggnad. På så sätt är effektsignatursmetodiken en bättre indikator av en byggnads termiska prestanda än specifik energianvändning.

Med den höga andelen kulturhistoriska byggnader centralt belägna i städer, där fjärrvärme oftast är det vanligast förekommande uppvärmningssättet, kan effektsignaturmetodiken tillämpas på det byggnadsbestånd som Spara och Bevara är ämnat för. Ett exempel på en effektsignatur med tre parametrar visas till vänster i Figur 5 där lutningen beskriver specifika värmeförluster Q_{tot} ($\text{W}/^\circ\text{C}$), balanstemperatur visar den fiktiva uppvärmningstemperaturen T_b ($^\circ\text{C}$) och den temperaturoberoende lasten, det vill säga varmvattencirkulation, P_{vvc} (W), och tappvarmvatten, P_{tvv} (W), illustreras av det blåmarkerade området. Till höger i Figur 5 visas en effektsignatur med tre parametrar baserad på timvis fjärrvärmedata.



Figur 5: Exempel av en effektsignatur med tre parametrar; nämligen specifika värmeförluster = Q_{tot} ($\text{W}/^\circ\text{C}$), balanstemperatur = T_b ($^\circ\text{C}$) och den temperaturoberoende lasten från varmvattencirkulation, P_{vvc} (W), och tappvarmvatten, P_{tvv} (W). Till höger visas motsvarande effektsignatur baserad på timvis fjärrvärmedata.

Metodikbeskrivning

En unik metodik, utvecklad vid avdelningen Energisystem på Linköpings universitet, baserad på statistisk analys under specifika tidsperioder har använts för att kvantifiera byggnaders termiska prestanda och energieffektiviseringspotential. Egenskaper som kvantifieras inkluderar specifika värmeförluster ($W/^\circ C$), VVC (W), TVV (W) och balanstemperatur ($^\circ C$). I området Vasastaden i Linköping, har 73 flerbostadshus, uppförda 1908-1945 använts som fallstudie. Metodiken omfattar tre övergripande steg, vilket visas i Figur 6. Först (1) inhämtas timbaserad fjärrvärmedata och utomhustemperatur över en kontinuerlig tidsperiod på minst ett år, samt byggnadsdata, (2) därefter väljs specifika tidsperioder baserade på säsongsmässiga och dagliga mönster gällande utomhusklimat och användning av byggnaden för att möjliggöra differentiering av olika byggnadsegenskaper och (3) slutligen numeriska beräkningar, implementerade i mjukvaran Matlab, för att kvantifiera byggnadens termiska egenskaper. Bland fördelarna med metodiken finns kvantifieringen av flera nyckelparametrar avseende byggnadsprestanda, varav endast fjärrvärmedata rörande uppvärmning, VVC och TVV användes.

Baserat på omfattande litteraturstudier inom området är metodiken unik. När metodiken väl är implementerad i Matlab kan också tidseffektiva studier av den termiska prestandan i ett stort antal byggnader göras; det vill säga, större byggnadsbestånd kan undersökas utan att analysen tar så mycket längre tid. Att undersöka den termiska prestandan och energieffektiviseringspotentialen av aggregerade byggnadsbestånd är huvudsyftet med metodiken. Det bör understrykas att lägenhetsspecifika data, såsom elanvändning och inomhustemperatur, inte behöver inhämtas. Att skaffa denna typ av information är ofta oerhört tidskrävande, om inte omöjligt, vid studier av större byggnadsbestånd, speciellt efter införandet av The General Data Protection Regulation (GDPR) i EU vilket hindrar energibolag att dela med sig av individuella kunders energidata (se mer i avsnitt *Inhämtande av data*).



Figur 6: Illustration av de tre övergripande stegen i metodiken för bestämning av en byggnads termiska prestanda.

Inhämtande av data

Den första fasen består av inhämtande av timvisa fjärrvärmedata för de studerade byggnaderna, samt utomhustemperatur för motsvarande tidsperiod. Som sagt krävs det tillstånd för att få tillgång till individuella hushållsuppgifter efter införandet av GDPR i EU. Genom att använda data för flerfamiljshus, vilket är fallet i denna forskning, kan inte energianvändningen kopplas till de olika hushållen och bostäderna i respektive byggnad. Användningen av endast fjärrvärmedata är en av de främsta fördelarna med metodiken. Det finns inget behov av tidskrävande inhämtning av hushållsspecifika uppgifter och därmed möjliggörs också studier av energiprestandan för större byggnadsbestånd. Vidare inhämtas andra byggnadsdata såsom uppvärmd yta och byggår. Förslagsvis kan energideklarationsregistret GRIPEN, som innehåller energideklarationer för hundratusentals byggnader, användas för detta.

Val av specifika tidsperioder

En byggnad används olika beroende på säsong och tid på dagen. Exempel på detta är att det krävs mer uppvärmning under vintern än under sommaren på grund av kallare utomhustemperaturer, samt att det är vanligare att duscha och sätta på diskmaskiner när människor är hemma och inte på jobbet. Det senare fallet påverkar direkt mängden tappvarmvatten som används i byggnaden. Sammanfattningsvis, visar exemplen ovan att värmeförlusten beror på säsongsmässiga och dagliga mönster gällande klimat och beteendemönster i byggnaden. Därför möjliggörs differentiering av olika byggnadsegenskaper, baserat på total köpt fjärrvärme för VVC, TVV och uppvärmning, genom att undersöka specifika tidsperioder. Valet av dessa tidsperioder för numeriska beräkningar av Q_{tot} , VVC, TVV och balanstemperatur presenteras med en kort motivering, i Tabell 7.

Tabell 7: Specifika tidsperioder, med tillhörande motivering, för numeriska beräkningar av byggnadsegenskaper.

Byggnadsegenskaper	Val av tidsperiod	Kort motivering
Varmvattencirkulation (W)	Fyra timmedelvärden med lägst energianvändning under juli månad	Höga utetemperaturer vilket betyder liten mängd uppvärmning. Vanligaste månaden med boenden på semester och därmed frånvarande från bostäderna med låg tappvarmvattenanvändning som konsekvens.
Specifika värmeförluster (W/°C)	Januari och februari mellan kl. 00.00 – 05.00	Låga utetemperaturer vilket betyder stor differens mellan inne- och utetemperatur. Påverkan av mänskliga aktiviteter minimal Ingen solinstrålning.
Tappvarmvattenanvändning (W)	Juni	Människor närvarande i bostäderna vilket betyder att tappvarmvattnet används. Utomhustemperaturer ofta högre än balanstemperaturen vilket möjliggör till stor del beräkning av TVV (se mer i avsnitt 0).
Balanstemperatur (°C)	Hela året	Stort dataset ger hög tillförlitlighet.

Numeriska beräkningar

Det sista steget innefattar numeriska beräkningar implementerade i Matlab. Vissa antaganden är också gjorda före beräkningarna för att möjliggöra kvantifieringar av byggnadens termiska egenskaper. Detta inkluderar till exempel värmexchangers verkningsgrad och inomhustemperatur. De numeriska beräkningarna är utförda i fyra övergripande steg:

1. *Beräkning av VVC.* Först beräknas byggnadens VVC baserat på timmedelvärden för dygnets 24 timmar. Medelvärdet av de fyra timmarna med lägst energianvändning sätts till byggnadens VVC. Anledningen till att de fyra timmarna med lägst energianvändning väljs förklaras av detaljerad analys av energianvändningen som visar en tydlig baslast under cirka fyra timmar varje dygn.
2. *Beräkning av specifika värmeförluster.* Byggnadens specifika förluster (W/°C) beräknas som värmebehovet, exklusive VVC, dividerat med temperaturskillnaden mellan inomhus och utomhus för varje timme under januari-februari mellan kl. 00.00-05.00. Det genomsnittliga värdet i datasetet sätts till Q_{tot} .
3. *Beräkning av TVV och balanstemperatur.* I det tredje steget beräknas TVV och byggnadens balanstemperatur T_b baserat på iterationsberäkningar. Balanstemperaturen

sätts till ett värde i första iterationen och TVV antas vara det genomsnittliga värmebehovet, exklusive VVC, som sker i juni månad vid utetemperaturer ovanför T_b . Därefter beräknas T_b på nytt, baserat på medelvärdet för varje timme av värmebehovet (exklusive VVC och TVV), $Q_{tot.}$ och utomhustemperaturen, och jämförs med det tidigare satta värdet på T_b . Beräkningen upprepas tills en godtagbar differens mellan den skattade och beräknade balanstemperaturen uppnås. I detta steg beräknas också byggnadens nyttiga gratislaster i form av värme från elektriska apparater, människor, och solinstrålning.

4. *Beräkning av energieffektiviseringspotential.* I det sista steget beräknas den faktiska energieffektiviseringspotentialen baserat på byggnadens tekniska prestanda i form av specifika värmeförluster, $Q_{tot.}$. Tidigare kvantifierade egenskaper från steg 1 – 3 används i denna beräkning. Då byggnadens balanstemperatur påverkas av en ändring i specifika värmeförluster genomförs också en ny beräkning av balanstemperaturen.

Exempel på resultat

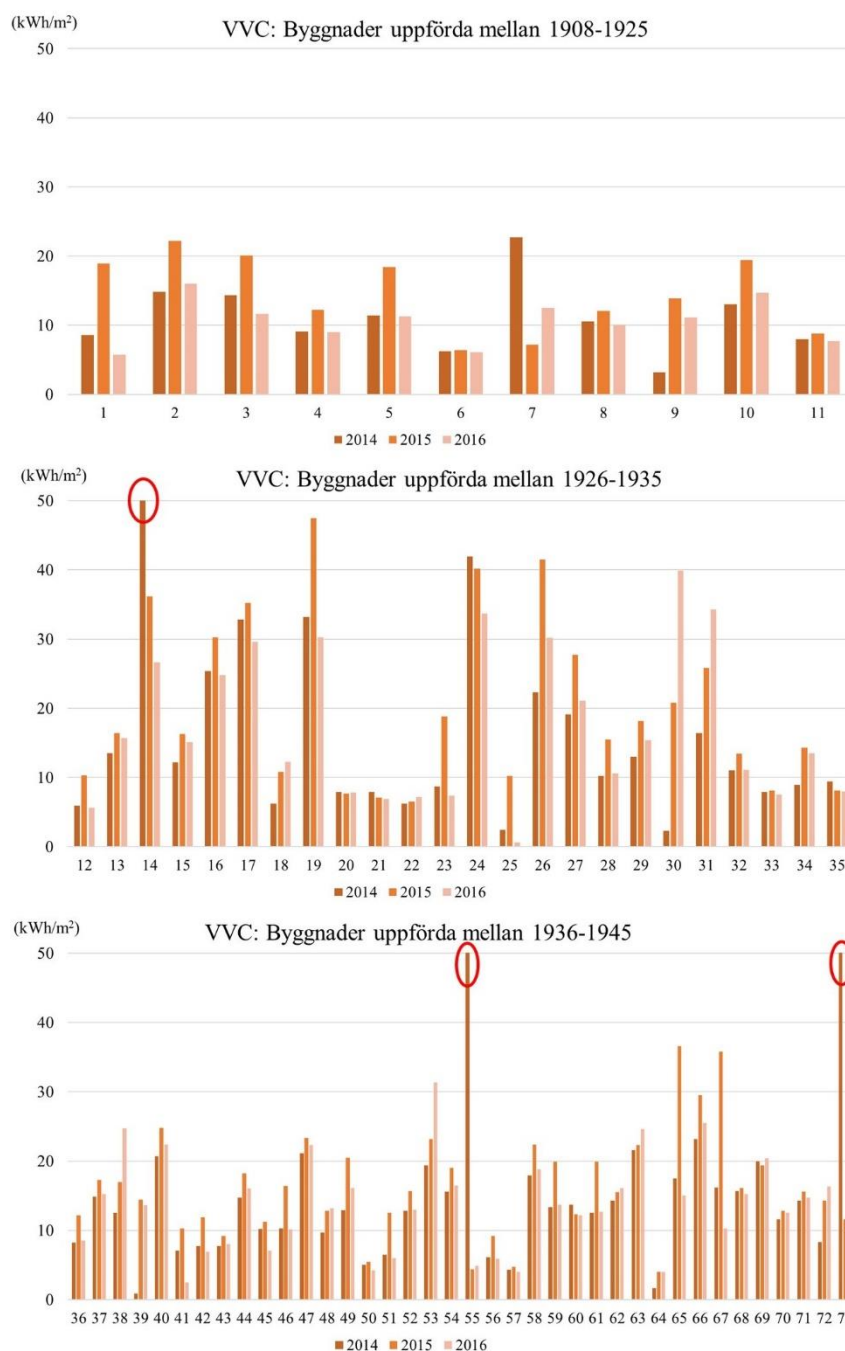
Detta avsnitt presenterar exempel på erhållna resultat baserade på metodiken. Resultaten inkluderar varmvattencirkulation, specifika värmeförluster, tappvarmvattenanvändning och balanstemperatur. Delar av resultatet är tidigare presenterade på den vetenskapliga konferensen ”The 3rd International Conference on Energy Efficiency in Historic Buildings” riktad mot forskning inom energieffektivisering i historiska byggnader [1].

Varmvattencirkulation

Genom att använda fjärrvärmedata under juli månad för 2014, 2015 och 2016 har VVC beräknats för respektive år, se Figur 7. Högst upp i Figur 7 visas byggnader uppförda 1908 – 1925, i mitten 1926 – 1935 och längst ner åren 1936 – 1945. (Samma presentationsstruktur har figurerna i de kommande avsnitten.) Beräknad VVC är relativt konstant för respektive byggnad under de tre åren. Energianvändningen per år för VVC varierar generellt mellan 5 och 30 kWh/m² för byggnadsbeståndet. Detta är i samma storleksordning som nämns i BELOK, 4 kWh/m² till 25 kWh/m² för flerbostadshus [2], och i en studie genomförd av Bebo (samarbete mellan Energimyndigheten och fastighetsägare) omfattande 12 flerbostadshus där resultaten visade att VVC varierar från 2,3 till 28 kWh/m² [3].

Det är viktigt att notera att fjärrvärmedata består av avrundade kWh till närmaste heltal vilket påverkar säkerheten i beräkningarna särskilt för byggnader med låg VVC, vilket oftast även är byggnader med liten uppvärmd area. Detta beror på att den procentuella skillnaden varierar kraftigt om VVC är antingen 1 kW eller 2 kW till skillnad från en skillnad mellan 10 kW och 11 kW.

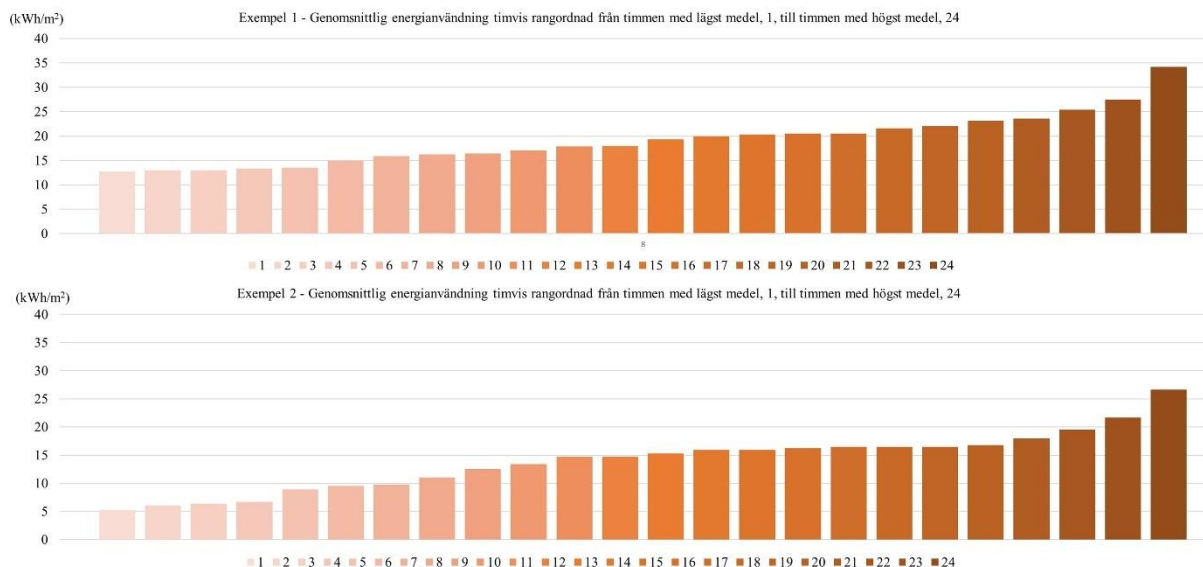
Det är också viktigt att notera att det tack vare metodiken är möjligt att urskilja byggnader som har avvikande baslast i juli, vilket indikeras med röda cirklar i Figur 7 för byggnader där $VVC > 50$ kWh/m². Byggnad 14 är ett exempel på detta där VVC är beräknad till 80 kWh/m² under 2014. Vid djupare analys av datasetet ser man att energianvändningen under tidsperioden (juli 2014) är relativt konstant, samt i genomsnitt cirka 50 % av den energianvändning som skedde under januari månad 2014, vilket t.ex. indikerar läckage i byggnaden eller någon typ av verksamhet. Då metodiken är anpassad för bedömning av aggregerade byggnadsbestånd påverkar inte avvikande mönster i enstaka byggnader potentialbedömningen för området.



Figur 7: Beräknad varmvattencirkulation per m² uppvärmd area för åren 2014-2016 användas fjärrvärmedata under juli månad.

Det är viktigt att visa att byggnadens VVC kan beräknas med hög tillförlitlighet med den föreslagna metodiken. Som nämnt i Tabell 7 är VVC beräknat som medelvärdet av de fyra timmarna med lägst energianvändning under juli månad. Två exempel på den genomsnittliga energianvändningen, timvis, rangordnad från timmen med lägst medel till timmen med högst medel, kan ses i Figur 8 med hjälp av fjärrvärmedata under juli månad 2014. Vid djupare analys av den genomsnittliga energianvändningen timvis för övriga byggnader i beståndet är de övergripande tendenserna snarlika exemplen nedan, det vill säga en stabil baslast som sker under de cirka 4 – 5 timmarna med lägst energianvändning. Detta stämmer väl överens med en tidigare forskningsstudie genomförd av Widén et al. [4] där studien baserades på två olika

dataset; det första bestående av 29 personer i tio hushåll och det andra av två flerbostadshus med 40 personer i 24 hushåll. Resultaten visade att ingen tappvarmvattenanvändning sker under cirka 4–5 timmar dagligen vilket betyder att energianvändningen under de tidpunkterna endast utgörs av VVC om ingen uppvärmning behövs.



Figur 8: Två exempel på den genomsnittliga energianvändningen timvis rangordnad från timmen med lägst genomsnittlig energianvändning, indikerad med 1, till timmen med högst energianvändning, indikerad med 24, baserat på juli månad 2014.

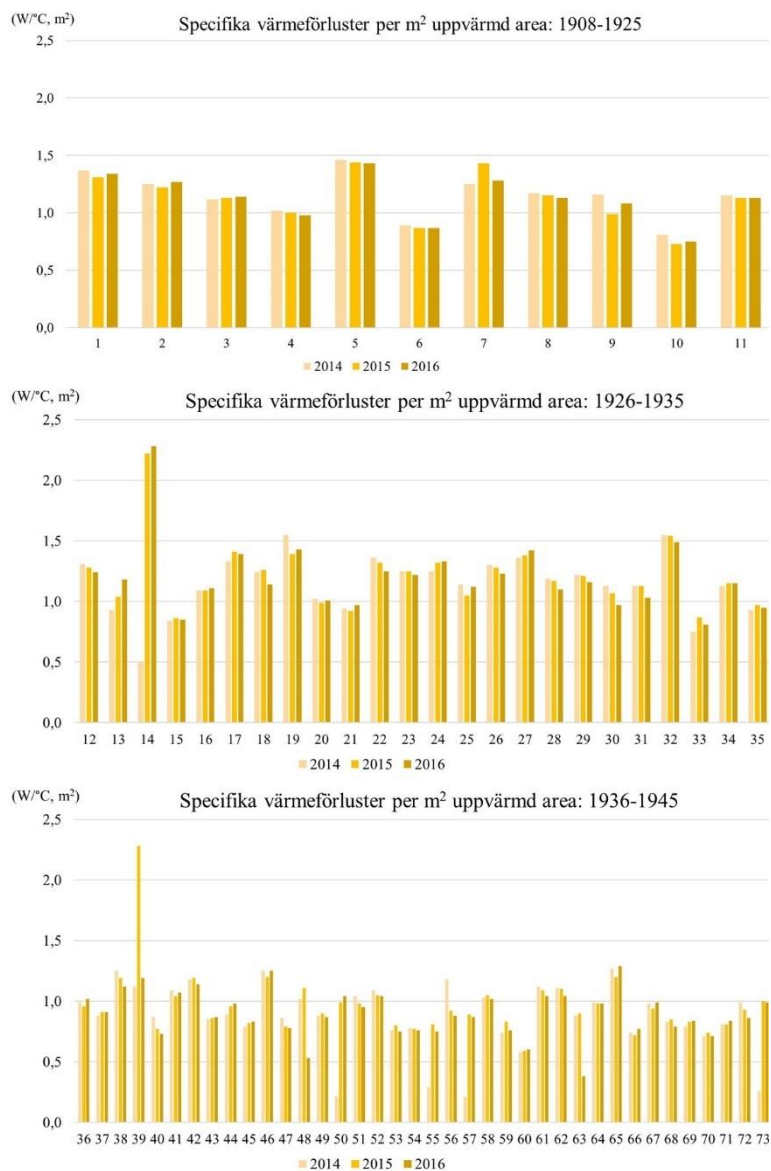
Specifika värmeförluster

Beräknade specifika värmeförlusterna per m² uppvärmd area (W/°C, m²) presenteras i Figur 9 för åren 2014, 2015 och 2016. I dessa beräkningar har fjärrvärme- och utetemperaturdata under januari-februari mellan kl. 00.00 – 05.00 använts. Tidsperioden karakteriseras över lag av låga utomhustemperaturer vilket resulterar i stora mängder uppvärmning för att bibehålla önskad inomhustemperatur, minimal påverkan av mänskliga aktiviteter och ingen solinstrålning. Således, genom att studera denna tidsperiod möjliggörs beräkningar av byggnadens faktiska termiska prestanda relativt oberoende av yttre faktorer såsom beteendemönster i byggnaden. Vid jämförelse av de specifika värmeförlusterna per m² uppvärmd area mellan de tre åren kan det konstateras att de kvantifierade förlusterna är väldigt stabila. Detta indikerar att varierande aktivitetsgrad i byggnaden etc. i hög grad kan filtreras bort med den föreslagna metodiken. Värmeförlusterna varierar generellt mellan 0,75 och 1,5 W/°C per m² uppvärmd area i byggnadsbeståndet.

Vid djupare analys av resultaten kan det noteras att det finns en korrelation mellan byggnadsår och specifika värmeförluster; det vill säga att ju äldre byggnad, desto högre specifika värmeförluster per m² uppvärmd area. Däremot, med tanke på det relativt få byggnader i beståndet (73) menar författarna att denna korrelation bör analyseras grundligare med fjärrvärmedata för ett större byggnadsbestånd.

Som tidigare nämnts i avsnitt 0 är det möjligt att urskilja avvikande tendenser med den föreslagna metodiken. Byggnad 39, längst ner i Figur 9, exemplifierar detta då de specifika värmeförlusterna per m² är ungefär dubbelt så stora under 2015 jämfört med 2014 och 2016.

En rimlig förklaring till de höga förlusterna är läckage, dåligt fungerande värmesystem eller någon typ av verksamhet. Det bör påpekas att kontinuerlig inhämtning av fjärrvärmedata och användande av den föreslagna metodiken möjliggör detektering av avvikande tendenser hos värmesystemets prestanda.

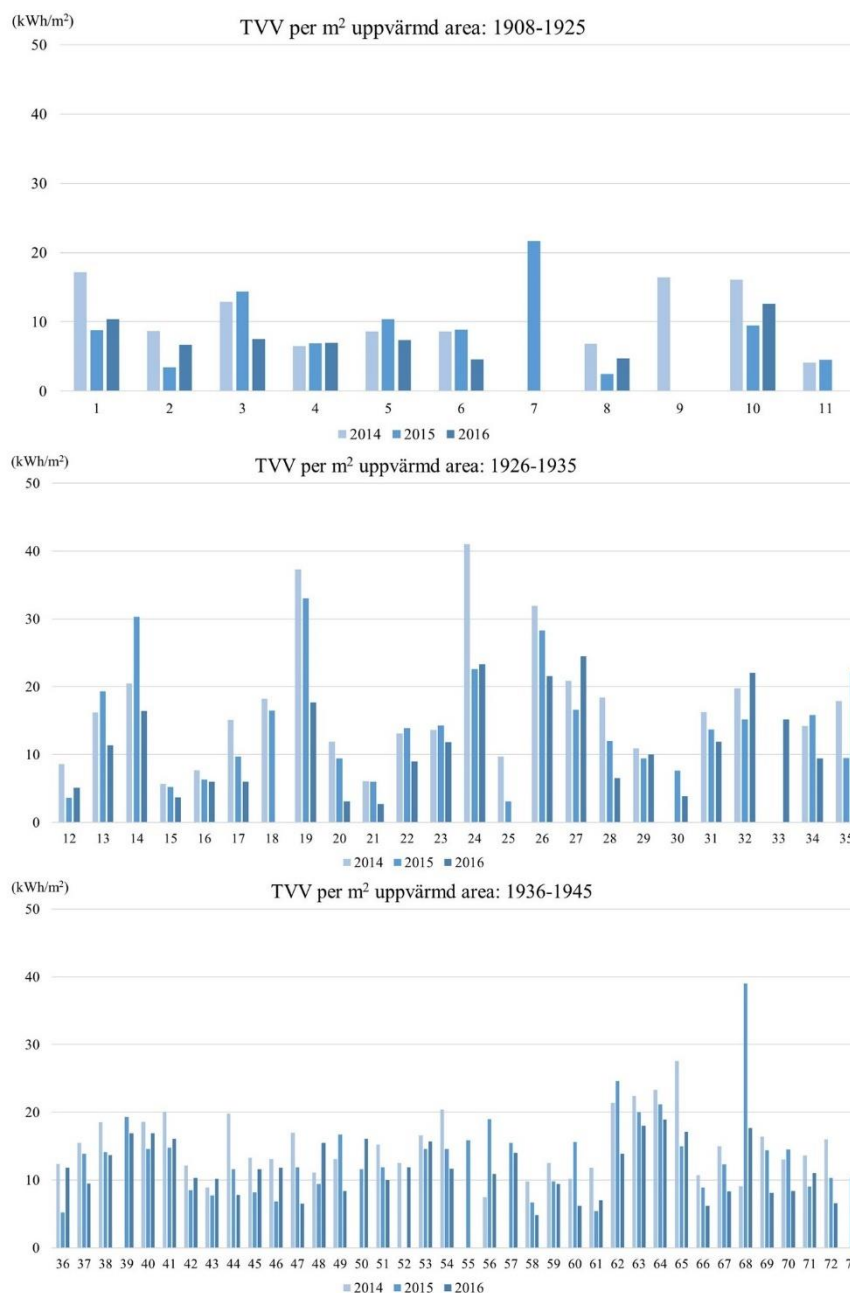


Figur 9: Beräknade specifika värmeförluster per m² uppvärmd area för åren 2014-2016 med fjärrvärme- och utetemperaturdata under januari-februari.

Tappvarmvattenanvändning

Beräknad TVV per m² uppvärmd area presenteras i Figur 10 för åren 2014, 2015 och 2016. Här har fjärrvärmedata för juni använts, som visas i Tabell 7, och därmed antas vara representativa för hela året. TVV är direkt kopplat till beteendemönster i byggnaden och varierar därför beroende på typ av boenden, men även från år till år. Tendenser i form av varierande värmetillförsel för TVV kan också ses i Tabell 7 för de tre åren. Sett över samtliga byggnader och år varierar TVV generellt mellan 10 och 30 kWh/m² uppvärmd area, vilket kan

jämföras med Svebys brukarindata för bostäder där TVV uppskattas till 25 kWh/m² för flerbostadshus [5].

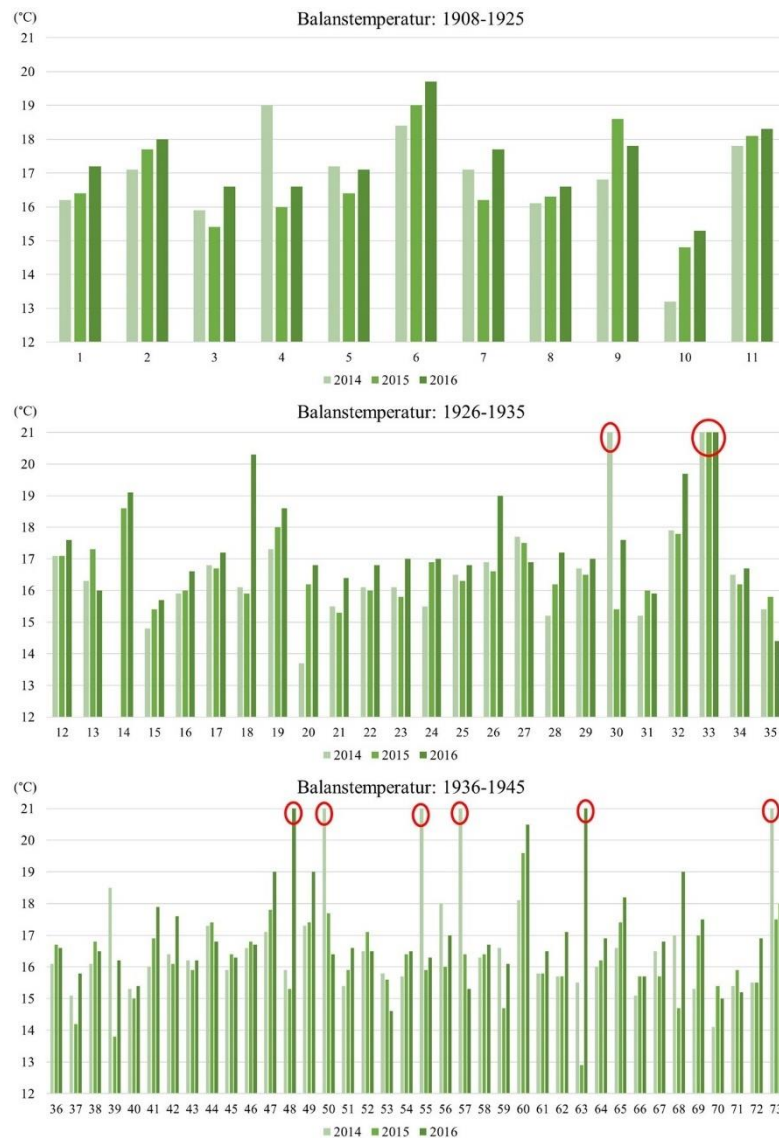


Figur 10: Beräknad tappvarmvattenanvändning per m² uppvärmd area för åren 2014-2016 med fjärrvärme- och utetemperaturdata under juni månad.

Balanstemperatur

Beräknade balanstemperaturer, det vill säga då ingen värme behöver tillföras byggnaden, presenteras i Figur 11. Kontinuerliga och kompletta fjärrvärme- och utetemperaturdata på helårsbasis har använts i beräkningarna, samt en antagen inomhustemperatur på 21°C baserat på rekommendationer från folkhälsomyndigheten [6]. Vid jämförelse av beräknade balanstemperaturer för de tre åren kan det noteras att resultaten är relativt lika. Balanstemperaturen varierar generellt från 17°C till 18°C vilket är rimligt för byggnader från

denna tid. Byggnader med en beräknad balanstemperatur över den antagna inomhustemperaturen 21°C är indikerade med röda cirklar i Figur 11. Att balanstemperaturen är högre än 21°C är inte möjligt då den motsvarar den fiktiva uppvärmningstemperaturen. Då beräkningarna av balanstemperaturen är direkt kopplade till tidigare beräkningar, indikerar orimliga balanstemperaturer avvikande prestanda, annan typ av verksamhet eller beteendemönster i byggnaden. Två exempel på detta nedan är byggnad 55 och 73 år 2014 där balanstemperaturen är beräknad till över 21°C. Som tidigare visats i Figur 7 har byggnad 55 och 73 under 2014 inte rimlig VVC, beräknad till 155 kWh/m² och 180 kWh/m², respektive. Följden av detta blir även en orimlig balanstemperatur vilket framgår av Figur 11.



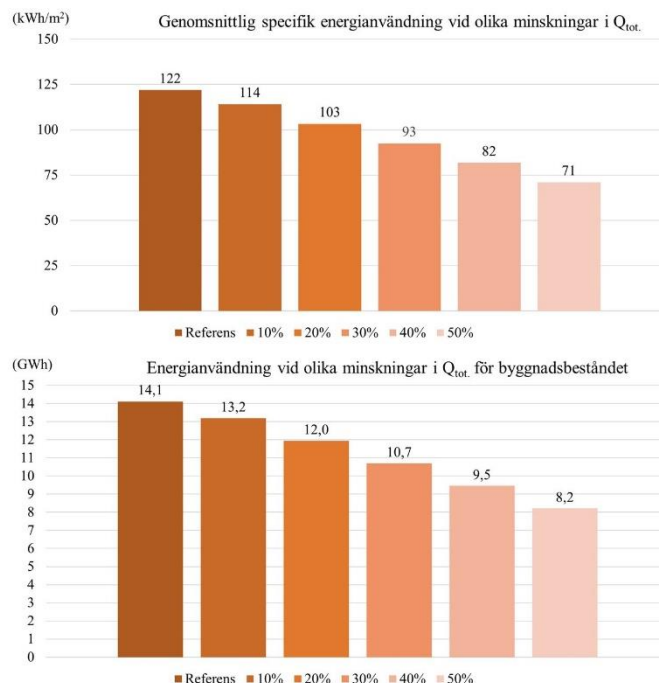
Figur 11: Beräknad balanstemperatur för åren 2014-2016 med fjärrvärme- och utetemperaturdata kontinuerligt under ett år.

Energieffektiviseringspotential

Genom att beräkna byggnadernas nuvarande energiprestanda möjliggörs uppskattning av energieffektiviseringspotentialen i byggnadsbeståndet. Vanligtvis uppskattas potentialen beroende på nationella energimål, till exempel BBR:s nybyggnadskrav, eller vad potentialen

är i förhållande till förbestämda energimål med avseende på byggnadens ursprungliga prestanda. Detta kan inkludera minskningar i energianvändning med 10 %, 20 %, 30 %, 40 % och 50 %. Som nämnts i avsnitt 0 är byggnadens energianvändning ett osäkert mått på en byggnads prestanda på grund av sådana faktorer som beteendemönster i byggnaden, vilket direkt påverkar energianvändningen. I metodiken beräknas byggnadernas termiska prestanda i form av specifika värmeförluster, det vill säga $Q_{tot.}$, där yttre faktorer så som beteendemönster i hög grad har filtrerats bort. Således är det möjligt att prediktera faktisk energi-effektiviseringspotential relativt oberoende av faktorer som beteendemönstret i byggnaden, speciellt på aggregerade byggnadsbestånd. Resultaten i detta avsnitt presenterar vad den potentiella minskningen i energianvändning är, per m^2 och för hela beståndet, då byggnadernas specifika värmeförluster, det vill säga $Q_{tot.}$, minskas med 10 %, 20 %, 30 %, 40 % och 50 %, se Figur 12.

Den genomsnittliga specifika energianvändningen i nuvarande tillstånd (Referens) är 122 kWh/m². Energinvändningen för olika minskning i specifika värmeförluster varierar mellan 71 kWh/m² (minskning med 50 % i $Q_{tot.}$) och 110 kWh/m² (minskning med 10 % i $Q_{tot.}$). BBRs nybyggnadskrav för flerbostadshus belägna i Linköping är 85 kWh/m² vilket betyder att de specifika värmeförlusterna från byggnaderna måste sänkas med nästan 40 % för att nå det angivna energimålet. Den totala energianvändningen för byggnadsbeståndet är beräknat till 14,1 GWh i byggnadernas nuvarande tillstånd. Minskningen i energianvändning för de olika energimålen varierar mellan 0,9 och 5,9 GWh. Slutligen, bör det noteras att ungefär 10 % av byggnaderna har exkluderats vid beräkning av energieffektiviseringspotentialen. Detta beror på att orimliga värden har beräknats för dessa byggnader vid kvantifieringen av byggnadsegenskaperna, Värden som till exempel kan härledas till högre energianvändning under sommaren än under vintern eller kraftig nattsänkning av inomhustemperaturen. Detta tyder på en annan typ av verksamhet i byggnaden.



Figur 12: Genomsnittlig specifik energianvändning för byggnadsbeståndet, samt total energianvändning, vid olika minskningar i specifika värmeförluster, $Q_{tot.}$.

Hur kan metodiken komma till nytta?

För att bedöma energieffektiviseringspotentialen i en byggnad är det nödvändigt att beräkna byggnadens nuvarande termiska prestanda. Den faktiska energianvändningen, vilken vanligen används för att beskriva termisk prestanda, är ett bristfälligt mått på grund av faktorer som varierande injustering av värmesystem och olika beteendemönster hos de boende från byggnad till byggnad. Genom att beräkna en byggnads effektsignatur beskrivs byggnadens effektbehov som en funktion av utomhustemperaturen. Därmed kan faktiska byggnadsprestanda beräknas. Med användande av timvisa fjärrvärme- och utomhustemperaturdata har en unik effektsignaturmodell tagits fram, baserad på val av specifika tidsperioder vid kvantifiering av olika byggnadsegenskaper, som möjliggör tidseffektiv analys av byggnaders termiska prestanda. Metodiken är implementerad i mjukvaran Matlab och den framtagna modellen är även applicerbar på större byggnadsbestånd. Detta beror på att nödvändig indata endast innefattar timvis värmeförsel som består av uppvärmning, varmvattencirkulation och tappvarmvattenanvändning på fastighetsnivå, samt motsvarande utetemperaturdata. Metodiken möjliggör prediktion av energieffektiviseringspotentialen i byggnadsbestånd baserat på faktisk termisk prestanda vilket är av intresse för fastighetsägare under förstadiet av energireoveringsprojekt.

Vid användande av den föreslagna effektsignaturmodellen visar resultaten att det är möjligt att beskriva byggnaders nuvarande termiska prestanda i form av specifika värmeförluster, $Q_{tot.}(W/°C)$, bestående av transmissions-, ventilations- och infiltrationsförluster. Övriga byggnadsegenskaper som kan kvantifieras inkluderar varmvattencirkulation, tappvarmvattenanvändning och balanstemperatur. I forskningen har det historiska byggnadsbeståndet i Vasastaden i Linköping, använts som fallstudie omfattande totalt 73 byggnader uppförda åren 1908 – 1945. Samhällsnyttan, eller fördelarna med metodiken, kan sammanfattas enligt följande:

- Beräkning av byggnaders termiska prestanda baserat på faktiska förluster från transmission, ventilation och infiltration
- Prediktion av energieffektiviseringspotentialen både för enstaka byggnader och byggnadsbestånd
- Tidseffektiv analys av byggnadsbestånd möjliggörs då metodiken är implementerad i mjukvaran Matlab
- I metodiken används endast värmeförsel på fastighetsnivå, med tillhörande utomhustemperatur
- Möjligt att upptäcka läckage, avvikande beteendemönster i byggnaden etc. vid kontinuerlig inhämtning av fjärrvärmedata

Som visas ovan är fördelarna med metodiken flerfaldiga. Möjligheten att med endast fjärrvärmedata (och tillhörande utomhustemperatur) genomföra en tidseffektiv analys av enstaka byggnaders och byggnadsbestånds termiska prestanda är värdefull för alla fastighetsägare. Genom identifiering av byggnader med sämre termisk prestanda blir dessa potentiella objekt för framtida energireovering. Vid kontinuerlig inhämtning av fjärrvärmedata kan också avvikande prestanda för byggnaders fjärrvärmesystem detekteras och åtgärdas. Då endast värmeförsel på fastighetsnivå innefattas i metodiken är det föreslagna tillvägagångssättet främst anpassat för en primär scanning av det studerade området. Mer detaljerade slutsatser kräver mer specifik information om byggnaden, såsom interna värmelaster, fönstertyper med mera. Just användandet av data som är enkla att inhämta är en av huvudfördelarna med metodiken. Ingen tidskrävande inhämtning av lägenhetsspecifika data behövs. Slutligen, då byggnadens termiska prestanda beräknas i

termer av byggnadens specifika värmeförluster ($W/^\circ C$) kan energieffektiviseringspotentialen förutspås baserat på transmissions-, ventilations- och infiltrationsförluster eftersom den inte påverkas märkbart av omgivande faktorer som varierande beteendemönster i byggnaden.

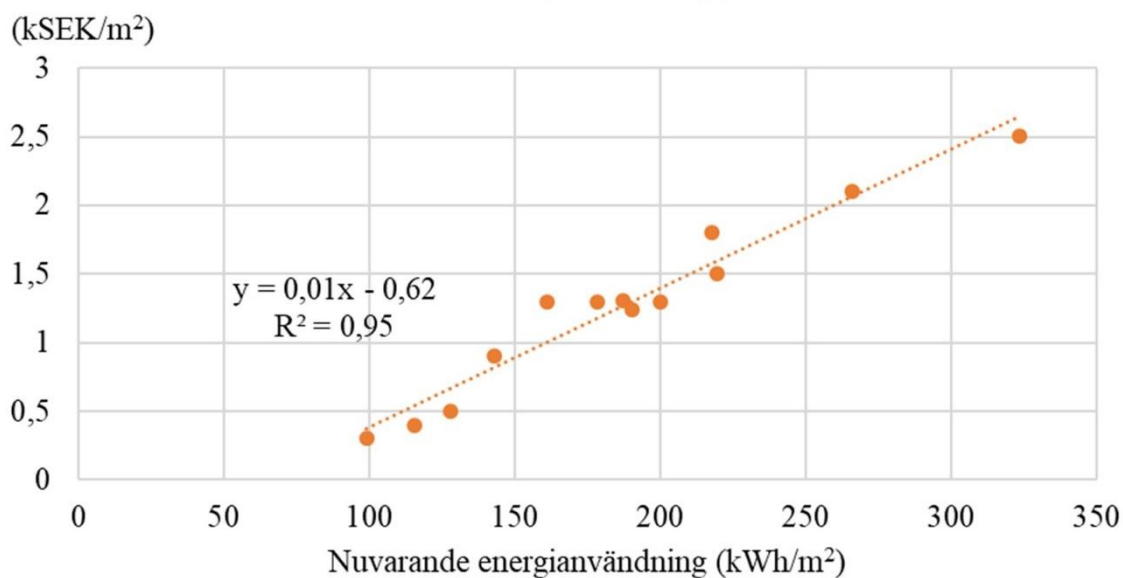
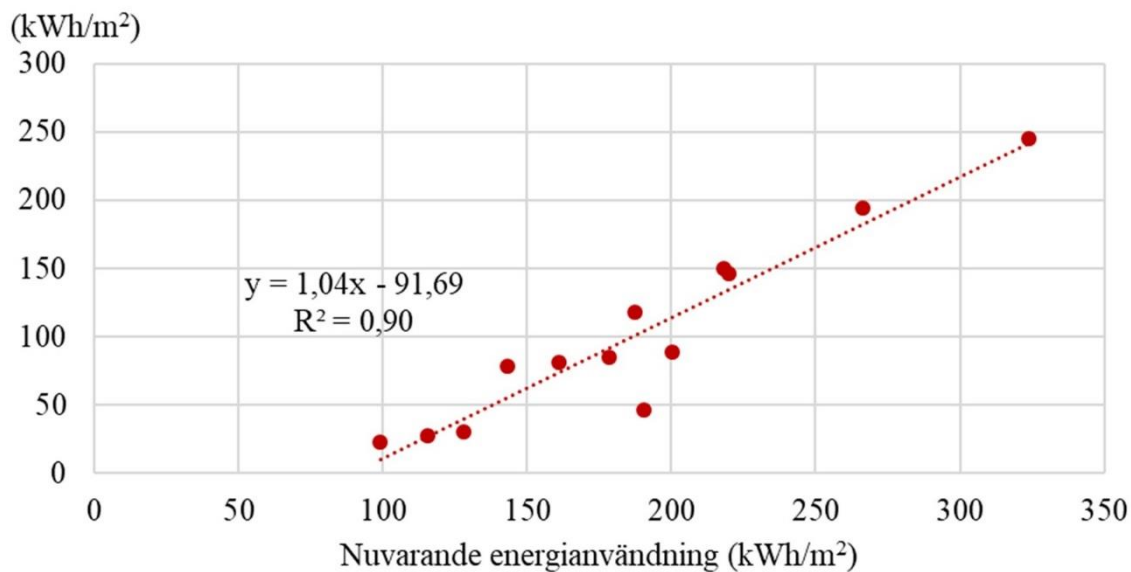
Referenser

- [1] P. Rohdin, V. Milić, M. Wahlqvist, and B. Moshfegh, "On the use of change-point models to describe the energy performance of historic buildings", presented at the Energy Efficiency in Historic Buildings 2018, Visby, Sverige, 2018.
- [2] BELOK, "Energieffektiva tappvarmvattensystem i lokaler", 2017.
- [3] BEBO, "Kartläggning av VVC-förluster i flerbostadshus - mätningar i 12 fastigheter", 2015.
- [4] J. Widén, M. Lundh, I. Vassileva, E. Dahlquist, K. Ellegård, and E. Wäckelgård, "Constructing load profiles for household electricity and hot water from time-usedata—Modelling approach and validation", *Energy and Buildings*, vol. 41, pp. 753-768, 2009.
- [5] Sveby, "Brukarindata bostäder", 2012.
- [6] Folkhälsomyndigheten, "Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus. FoHMFS 2014:17", 2014

11. Potentialbedömning för kostnadseffektiv energieffektivisering

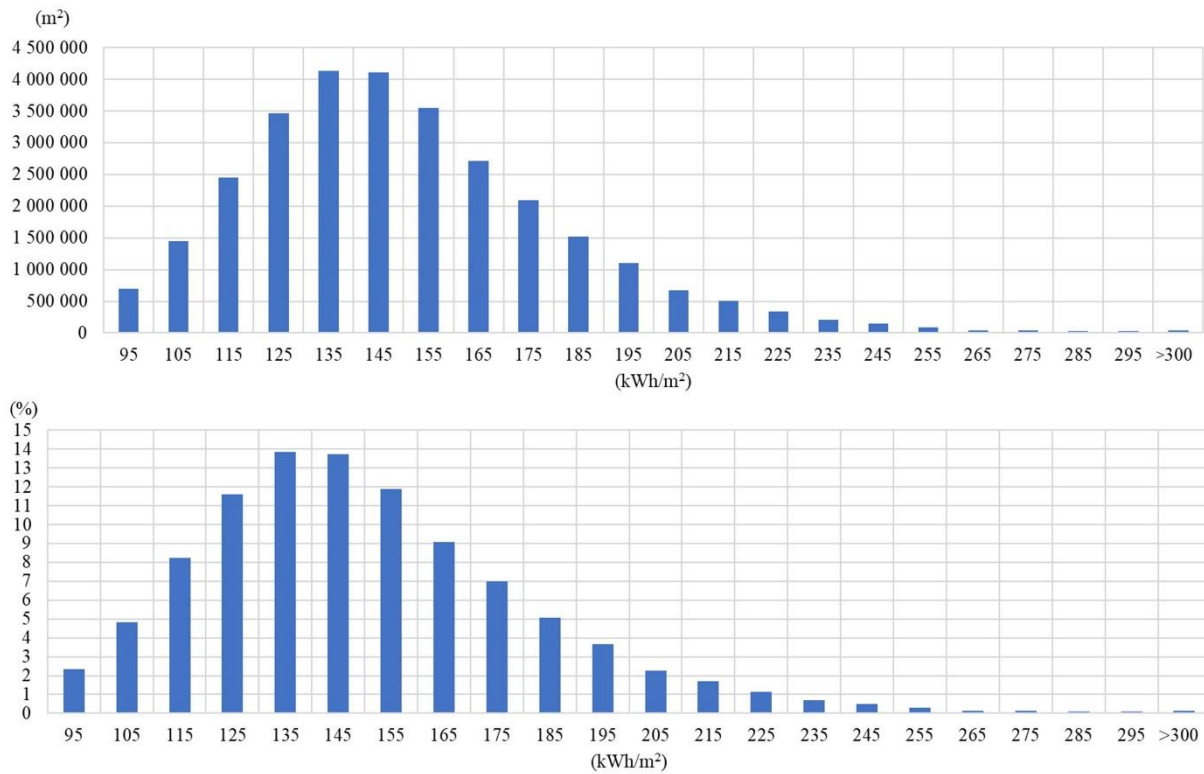
En bedömning av den faktiska kostnadseffektiva energieffektiviseringspotentialen i ett nationellt historiskt byggnadsbestånd har aldrig tidigare genomförts. Problematiken är bl.a. att kunskapen om historiska byggnader är lagrad i olika databaser och att tillgängliga data oftast inte fungerar för potentialbedömningar. Genom att använda Boverkets energideklarationsregister, GRIPEN, och nya publicerade forskningsresultat från livscykelkostnads (LCC)-optimering av fjärrvärmeanslutna historiska byggnader i Sverige har vi uppskattat den kostnadseffektiva energieffektiviseringspotentialen i det nationella byggnadsbeståndet uppfört mellan 1845 – 1944. De använda resultaten från LCC-optimeringen har delvis publicerats i vetenskapliga artiklar skrivna av forskare verksamma inom forskningsprojektet, se [1, 2]. Tolv historiska byggnadstyper, representativa för Visbys historiska byggnadsbestånd, och en byggnad från 1890, belägen i Stockholm, har använts som studieobjekt. De 13 byggnaderna har varierande termisk prestanda och den årliga energianvändningen varierar mellan 99 – 324 kWh/m². LCC under en studieperiod på femtio år varierar från 2,7 kSEK/m² till 8,1 kSEK/m². Således har byggnaderna en stor variation i energianvändning och LCC, vilket möjliggör en uppskattning av hur både energi-effektiviserings- och kostnadsbesparingspotentialen varierar beroende på en byggnads energianvändning. Med hjälp av data från GRIPEN i termer av A_{temp} , uppvärmd area, för olika energiklasser (årlig energianvändning) är det möjligt att extrapolera den kostnadseffektiva energieffektiviseringspotentialen till nationell skala. Nedan följer en mer detaljerad beskrivning av tillvägagångssättet och resultaten samt fördelar och brister med metodiken.

Den linjära trendlinjen för datapunkterna, som beskriver hur mycket energieffektiviserings- eller besparingspotentialen ökar med stigande energianvändning i en byggnad, predikteras först. För att undersöka anpassningen av linjen till datapunkterna beräknas också R^2 . Figur 13 visar den kostnadsoptimala energieffektiviseringspotentialen som funktion av byggnadernas nuvarande energianvändning/år (överst) och kostnadsbesparingspotentialen under femtio år (nederst) där även trendlinjen och R^2 är angivna. Figuren visar att anpassningen är god i båda fallen med $R^2 \geq 0,90$. Detta indikerar en tydlig korrelation mellan hög energianvändning och hög kostnadseffektiv energieffektiviseringspotential. Energi-effektiviseringspotentialen per år varierar mellan 23 – 245 kWh/m² och kostnads-besparingspotentialen från 0,3 kSEK/m² till 2,5 kSEK/m². De framtagna linjära funktionerna används senare, tillsammans med data från GRIPEN, för att prediktera energieffektiviseringspotentialen och kostnadsbesparingspotentialen för Sveriges byggnads-bestånd uppfört mellan 1845 och 1944.

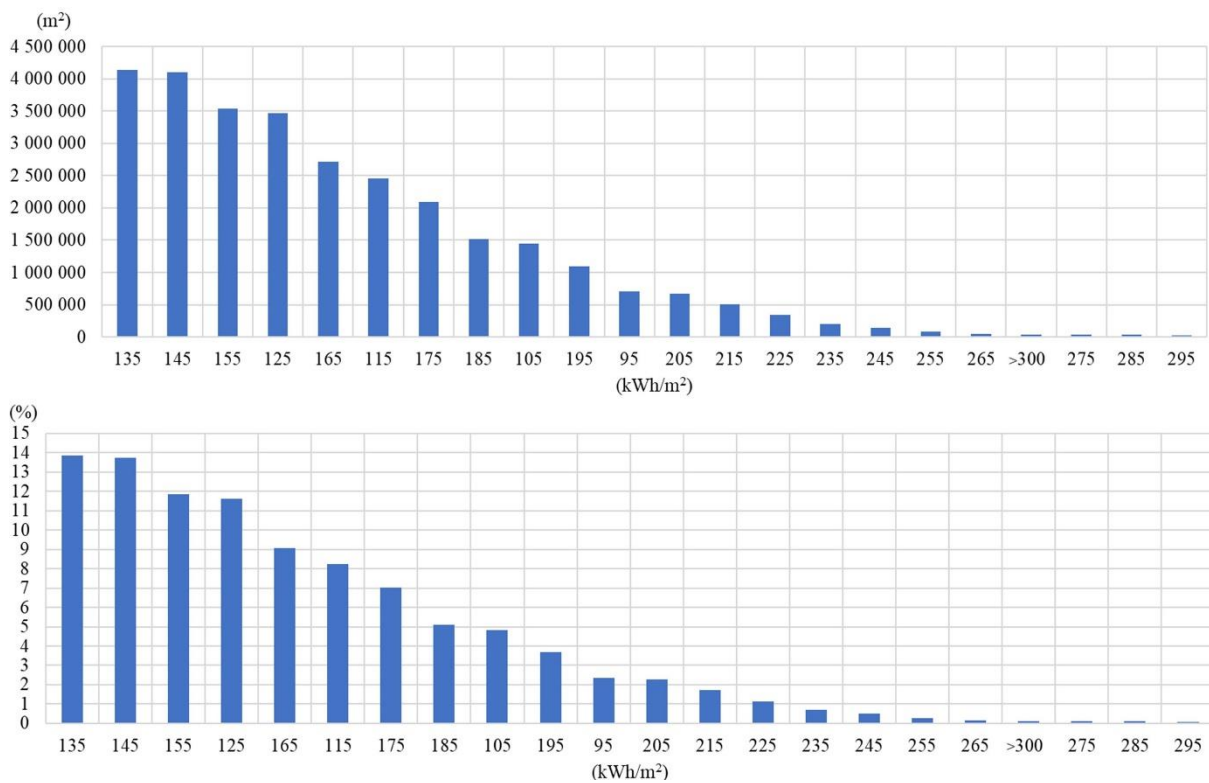


Figur 13: Överst visas kostnadsoptimal energieffektiviseringspotential som en funktion av byggnadernas nuvarande energianvändning och nederst kostnadsbesparingspotentialen under 50 år.

För att möjliggöra prediktionen av den kostnadseffektiva energieffektiviseringspotentialen krävs data om det nationella byggnadsbeståndet, som nämnts ovan. Med hjälp av data från GRIPEN har den uppvärmda arean för Sveriges byggnadsbestånd uppfört mellan 1845 och 1944 tagits fram av Uppsala universitet. Den uppvärmda arean är differentierad beroende på byggnadernas nuvarande energianvändning, benämnda energiklasser, se Figur 14. Motsvarande resultat i fallande ordning visas i Figur 15. Intervall om 10 kWh/m² med variationerna 90 – 99 kWh/m², 100 – 109 kWh/m², 110 – 119 kWh/m² osv. har använts och medelvärdet (det vill säga 95 kWh/m², 105 kWh/m², 115 kWh/m²...) har plottats på *x*-axeln. Överst i figurerna visas den totala uppvärmda arean och nederst procentandelen av den totala uppvärmda arean för respektive energiklass. Som Figur 14 och Figur 15 visar är byggnader med en energianvändning mellan 120 – 159 kWh/m² vanligast förekommande, vilket motsvarar 15,2 miljoner m² eller 51 % av byggnadsbeståndet. Det bör noteras att de studerade studieobjekten har en energianvändning mellan 99 kWh/m² och 324 kWh/m² vilket innebär att spridningen i energianvändning är i linje med spridningen visad i Figur 14 och Figur 15.

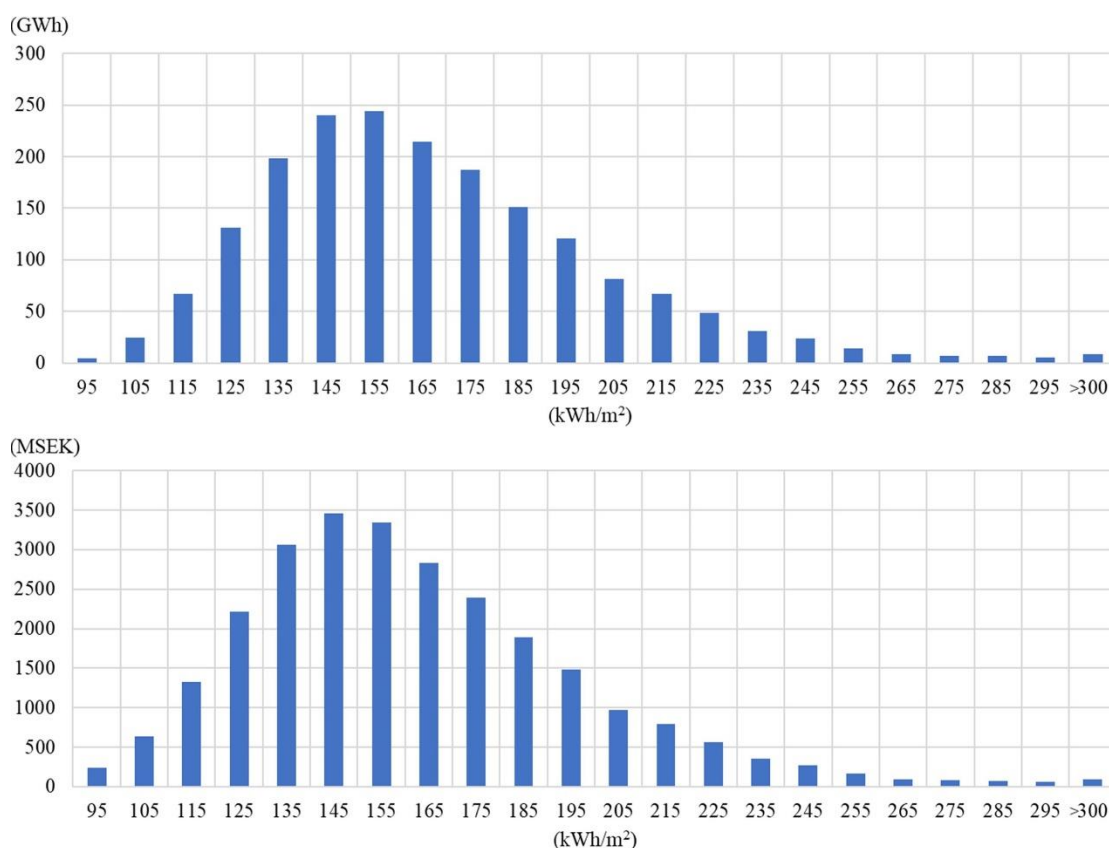


Figur 14: Överst visas uppvärmd area för respektive energiklass och nederst procentandelen av den totala uppvärmda arean för respektive energiklass (källa: databasen GRIPEN).

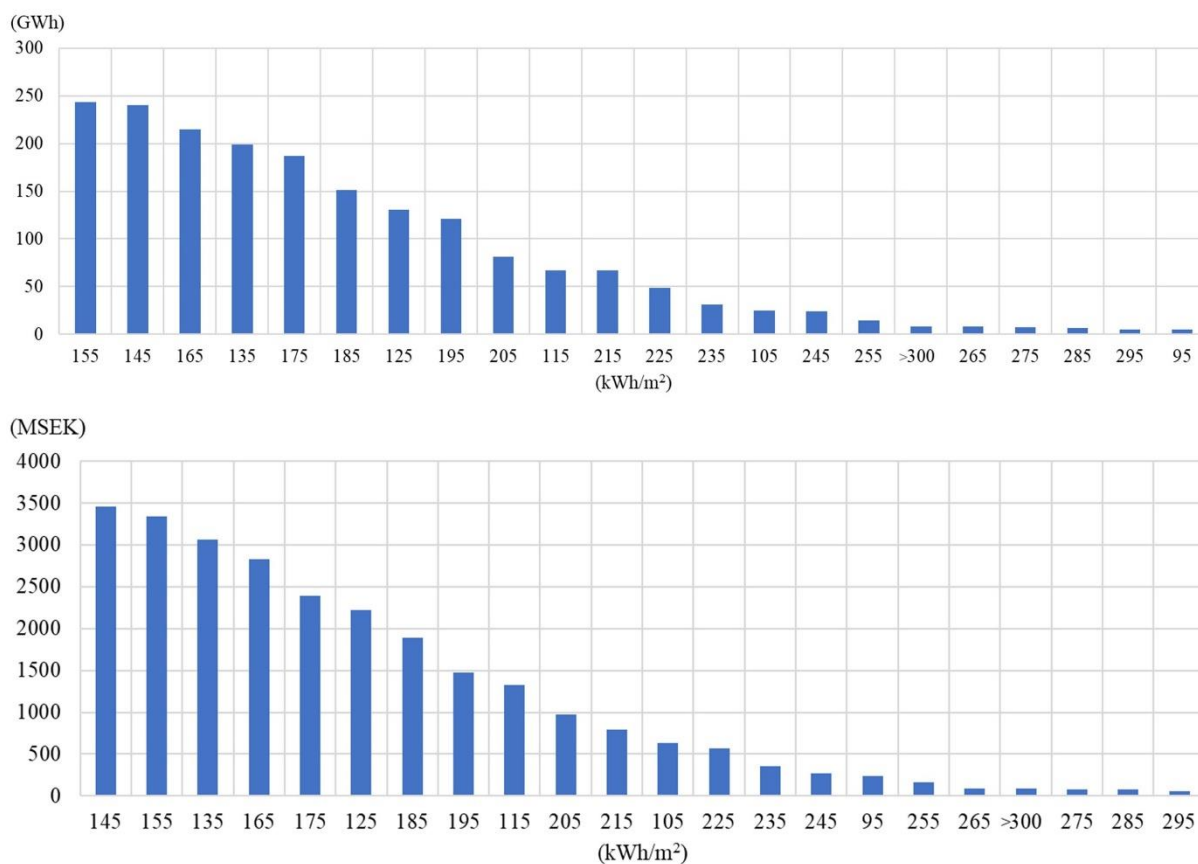


Figur 15: Överst visas uppvärmd area för respektive energiklass och nederst procentandelen av den totala uppvärmda arean för respektive energiklass, i fallande ordning (källa: databasen GRIPEN).

Med resultaten från Figur 13 och Figur 14 har den årliga energieffektiviseringspotentialen för respektive energiklass beräknats (visat överst i se Figur 16), samt potentialen i kostnadsbesparing, miljoner SEK på y-axeln, under femtio år (visat nederst i Figur 16). Motsvarande resultat i fallande ordning visas i Figur 17. Den totala årliga energieffektiviseringspotentialen är beräknad till 1,9 TWh. Kostnadsbesparingspotentialen är beräknad till 26,4 miljarder SEK under en period på femtio år eller 1,4 miljarder SEK årligen baserat på 5 % realränta. Det bör noteras att kostnadsbesparingen är utifrån fastighetsägarens perspektiv, vilket kan vara staten eller ett bostadsföretag, under förutsättning att kostnadsoptimala energireoveringar, d.v.s. investeringar, genomförs. Den största potentialen, både sett till energieffektivisering och kostnadsbesparing, finns i byggnader med en energianvändning mellan 130 – 179 kWh/m². Dessa byggnader motsvarar årligen 1,1 TWh (58 %) av den totala energieffektiviseringspotentialen och 15,1 miljarder SEK (57%) av potentialen i kostnadsbesparing under femtio år (827 miljoner SEK i nuvärde). En jämförelse mellan Figur 14 och Figur 4 visar att byggnader med en energianvändning mellan 160 och 169 kWh/m² har större kostnadseffektiv energieffektiviseringspotential än byggnader med en energianvändning mellan 120 och 129 kWh/m² trots att andelen byggnader som har en energianvändning i intervallet 120 – 129 kWh/m² är högre. Anledningen till detta beror på att ju sämre termisk prestanda en byggnad har, ju högre är den kostnadseffektiva energieffektiviseringspotentialen.



Figur 16: Årlig energieffektiviseringspotential för respektive energiklass (överst), samt kostnadsbesparingspotentialen under en period på 50 år (nederst).



Figur 17: Årlig energieffektiviseringspotential för respektive energiklass (överst), samt kostnadsbesparingspotentialen under en period på 50 år (nederst), i avtagande ordning.

Slutligen, vid användande av metodiken är det viktigt att påvisa dess möjligheter, men också dess brister. Fördelarna inkluderar:

- Möjlig prediktion av den kostnadseffektiva energieffektiviseringspotentialen i ett nationellt byggnadsbestånd
- Identifiering av sambandet mellan kostnadseffektiv energieffektiviseringspotential och byggnaders energianvändning
- Identifiering av byggnader med högst potential sett till energieffektivisering och kostnadsbesparing
- Möjlig kostnadseffektiv potentialbedömning baserad på olika energimål

Bristerna inkluderar:

- Avsaknaden av forskningsresultat kring LCC-optimeringar på historiska byggnader belägna i Sveriges olika klimatzoner. Utomhusklimatet påverkar utfallet av LCC-optimering då kallare klimat innebär högre lönsamhet för renoveringar, till exempel tilläggsisolering, och vice versa.
- Bristen på forskningsresultat kring LCC-optimeringar på historiska byggnader med olika fjärrvärmeprismodeller i Sverige. Det rörliga energipriset (fjärrvärmekostnaden) påverkar direkt den kostnadseffektiva energieffektiviseringspotentialen. Låga energipriser innebär lägre lönsamhet för energirenovering och vice versa (under förutsättning att byggnaderna har samma initiala termiska prestanda).

- Avsaknaden av mer detaljerade data av byggnadernas nuvarande energianvändning jämfört med tillgängliga data i GRIPEN. Med uppmätta fjärrvärmedata möjliggörs en mer precis prediktion av den kostnadseffektiva energieffektiviseringspotentialen.
- Kontinuerlig uppföljning av byggnadsbeståndets termiska prestanda. Således möjliggörs utvärdering av energianvändningen i beståndet över tid
- Kostnader. Framtida kostnader är svåra att beräkna på grund av konjunktur, realränta, och lokala prisvariationer.

Referenser

- [1] V. Milić, K. Ekelöw, M. Andersson, and B. Moshfegh, "Evaluation of energy renovation strategies for 12 historic building types using LCC optimization", *Energy & Buildings*, vol. 197, pp. 156-170, 2019.
- [2] L. Liu, P. Rohdin, and B. Moshfegh, "LCC assessments and environmental impacts on the energy renovation of a multi-family building from the 1890s", *Energy and Buildings*, vol. 133, pp. 823-833, 2016.

12. Policier och riktlinjer

Inledning

Enligt det Europeiska direktivet om byggnaders energiprestanda ska varje medlemsstat fastställa en strategi för energieffektiviserande renovering. En sådan strategi ska innehålla bl a:

- En översikt över det nationella byggnadsbeståndet
- Identifiering av kostnadseffektiva metoder
- En översikt över strategier och åtgärder för byggnader med sämst energiprestanda
- En evidensbaserad skattning av förväntade energibesparingar.

I underlaget till den svenska strategin står det under rubriken ”Kombinera energieffektivisering och bevarande”:

”I byggnadsbeståndet i Sverige finns miljöer, byggnader och områden som har höga kulturhistoriska värden. Det innebär att speciella hänsyn måste tas vid renovering och energieffektivisering. Vissa åtgärder såsom till exempel tilläggsisolering, fönsterbyte och kanaldragningar kan bli extra känsliga. Genom att öka kunskapsbasen och diskussionen kring varsamhet och kulturvärden i kombination med energieffektiviseringsåtgärder minskar risken för att fel åtgärder ska bli genomförda. Det är inte bara kulturvärden som kan gå förlorade, det finns också risk för att byggnader som renoveras ovarsamt får fukt och mögelproblem.”

Vår förhoppning är resultaten ska kunna bidra till att utveckla den nationella strategin för energieffektiviserande renovering och andra nationella policier så de beskriver HUR det går att kombinera energieffektivisering och bevarande. I det följande lyfter vi fram några områden där resultat från våra projekt skulle kunna ha bäring på nationella policier och riktlinjer.

Differentierade mål och strategier

Projektet visar både på ett behov av differentierade mål och strategier och vägar att uppnå detta. En grundläggande utgångspunkt är att identifiera delar av det svenska byggnadsbeståndet där en betydande energieffektivisering kan uppnås med en acceptabel inverkan på kulturvärdena. Omvänt kan vi också peka på de delar av byggnadsbeståndet där det finns generellt stora kulturvärden men den totala energisparpotentialen är liten.

Byggnader byggda före 1920

Byggnader byggda före 1920 ska, enligt Boverkets allmänna råd, anses vara särskilt värdefulla om deras huvudsakliga karaktärsdrag är bevarade. Här finns 4 % av energianvändningen i flerfamiljshus och 12 % för småhus. I denna del av det totala byggnadsbeståndet är det rimligt att bevarande prioriteras före energieffektivisering vad gäller mål och strategier, det är inte här som Sverige ska förverkliga de nationella energimålen. Det finns naturligtvis möjligheter att minska energianvändningen även i dessa bygganden, Men det ska ske utan att byggnaderna förvanskas och bedömning skall ske i det enskilda fallet med stöd från antikvariskt sakkunniga.

Byggnader byggda 1920 -1964

I denna del av byggnadsbeståndet finns byggnader med olika grader av kulturhistoriskt värde och en stor andel av energianvändningen bland Sveriges bostäder. Här handlar det om att på ett medvetet och systematiskt sätt balansera energianvändning och bevarande när mål och

strategier ska bestämmas. I andra delar av denna rapport har vi visat hur man i ett tvärfackligt arbete kan arbeta med livscykelanalyser på olika kategorier av byggnader för att ge underlag till reaktiska mål och strategier.

Byggnader byggda efter 1964

Generellt sett finns det ett mindre antal särskilt värdefulla byggnader och byggnader med höga kulturvärden i denna del av byggnadsbeståndet och energieffektivisering kan vara ett prioriterat mål. Varsamhetskravet enligt PBL gäller alla byggnader och även här krävs en genomtänkt avvägning mellan bevarande och energieffektivisering.

Beståndsanalys

En förutsättning för att kunna ta fram differentierade mål och strategier är att det finns metoder för analys av större byggnadsbestånd. Att utgå från att varje byggnad är unik och måste hanteras utifrån sina egna specifika förutsättningar har varit det rådande förhållningssättet inom kulturmiljösektorn och den byggnadsantikvariska praktiken. När samhället står inför nya utmaningar för att möta klimatmålen behövs verktyg för att hantera frågan om energieffektivisering i större byggnadsbestånd där bevarandeperspektivet är integrerat som en av förutsättningarna.

Resultaten från detta projekt visar på att heterogena byggnadsbestånd kan delas in i homogena kategorier som representerar beståndet och vilka kan användas som utgångspunkt för att modellera olika scenarier för att kunna bedöma effekterna av olika strategier.

Resultaten visar också att det är möjligt att arbeta med olika databaser för att få fram en bild av energieffektiviseringspotentialen i olika delar av det kulturhistoriskt värdefulla byggnadsbeståndet genom att använda informationen som finns från kulturhistoriska inventeringar som finns lagrade i det nationella bebyggelseregistret.

Kunskap om byggnadsbeståndet

Den samlade kunskapen om det svenska byggnadsbeståndet är i nuläget otillräcklig och fragmenterad. Riksantikvarieämbetets bebyggelseregister innehåller information om kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Runt om i landet finns ett antal områden där det har gjorts och görs inventeringar av byggnadsbeståndets kulturvärden, t ex Stockholm och Halland. Projektet visar på hur data från olika databaser kan sammanlagras och kvalitetssäkras för att på så vis ge underlag för beståndsanalyser där också byggnaders kulturvärden kan tas hänsyn till. Vi menar att det behövs ett nationellt övergripande register med gemensam systematik och struktur. Det är ett generellt behov som inte bara handlar om kulturhistoriskt värdefulla byggnader utan om hela byggnadsbeståndet.

Kunskap och kompetens

Kunskap och kompetens är en grundläggande förutsättning för att på ett varsamt sätt kunna ta vara på den potential för energieffektivisering som finns i vårt bestånd av kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Det handlar dels om att utveckla ny kunskap (se Forskning nedan) men framförallt om att befintlig kunskap kommer till användning.

Den teknisk-ekonomiska kompetensen är en nödvändig men inte tillräcklig del i arbetet med energieffektivisering av kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Det krävs också tillgång till

antikvarisk kompetens genom hela processen. Byggnadernas kulturhistoriska värde måste på ett tidigt skede beskrivas på ett konkret sätt.

Det krävs kunskap och kompetens om processer och arbete i tvärfackliga grupper, inte minst i de tidiga skedena. Det är viktigt att inse att energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla är en delmängd av mer övergripande renoveringsprocesser. De processer som här presenteras borde på sikt kunna integreras i de renoveringsprocesser som utvecklats inom Energimyndighetens nätverk BeBo och Belok.

Det behövs kunskap och kompetens för att utveckla mer detaljerade data av byggnadernas nuvarande energianvändning jämfört med tillgängliga data i GRIPEN. Med uppmätta fjärrvärme- och elanvändning möjliggörs en mer precis prediktion av den kostnadseffektiva energieffektiviseringspotentialen. Denna utveckling möjliggör också en kontinuerlig uppföljning av byggnadsbeståndets termiska prestanda. Således möjliggörs utvärdering av energianvändningen i beståndet över tid.

Internationellt samarbete

Tack vare Spara och bevara har Sverige haft ett internationellt försteg inom området energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Nu är det ett internationellt etablerat område både vad gäller forskning och praktik. Det finns anledning att aktivt bevaka utvecklingen i andra länder och ta del av de resultat som publiceras i internationella tidskrifter och konferenser.

Fortsatt forskning

Forskning är fortsatt ett viktigt styrmedel. Projekten pekar på ett antal möjliga områden för fortsatt forskning:

Småhus står för en betydande del av den totala energianvändningen. För småhus finns ett stort kunskapsglapp vad gäller hur energieffektiviseringspotentialen förhåller sig till byggnadernas kulturvärden. Detta kompliceras av att ägandet är privat, beslutsprocesser, hinder och drivkrafter är annorlunda jämför med professionella aktörer.

Som nämnts ovan behövs ett nationellt övergripande fastighetsregister, som också innefattar energiprestanda och kulturvärden. Ett sådant register skulle i sin tur kunna ligga till grund för en mer högupplöst analys av det svenska byggnadsbeståndet.

Tolkningen av begreppet ”särskilt värdefull byggande” är av central betydelse för bedömning av energisparpotentialen i större bestånd. Det finns ett behov att undersöka hur bedömningen går till och om den förändras över tid och om det finns regionala variationer.

Resultatet från projektet visar att det svenska byggandsbeståndet kan delas in ganska stora grupper av jämförbara byggnader. Här finns en möjlighet att i kommande projekt ta fram best practice lösningar för sådana grupper.

13. Publikationer

Vetenskapliga artiklar med peer review

Eriksson, P., Milić, V., Broström, T., *Balancing preservation and energy efficiency in building stocks, inskickad för publicering.*

Eriksson, P., Hermann, C., Hrabovszky-Horváth, S., Rodwell, D., "EFFESUS methodology for assessing the impacts of energy-related retrofit measures on heritage significance" *The Historic Environment: Policy & Practice*, Volume 5:2, 2014

Milić, V., Ekelöw, K., Andersson M., Moshfegh, B. *Evaluation of energy renovation strategies for 12 historic building types using LCC optimization.* *Energy and Buildings* 197 (2019), pp. 156 – 170.

Milić, V., Ekelöw, K., Moshfegh, B. *On the performance of LCC optimization software OPERA-MILP by comparison with building energy simulation software IDA ICE.* *Building and Environment*, 128 (2018) pp. 305 – 319.

Liu, L. Rohdin P., Moshfegh, B. *Investigating cost-optimal refurbishment strategies for the medieval district of Visby in Sweden.* *Energy and Buildings*, 158 (2018) pp. 750 – 760.

Broström, T., Donarelli, A. Berg F. *For the Categorisation of historic Buildings to Determine Energy Saving.* AGATHÓN 01 | 2017 - *International Journal of Architecture, Art and Design* ISSN: 2464-9309 - ISSN: 2532-683X (online) - DOI 10.19229/2464-9309/1212017 (2017).

Liu, L., Rohdin, P., Moshfegh, B. *LCC assessments and environmental impacts on the energy renovation of a multi-family building from the 1890s.* *Energy and Buildings*, 133 (2016) pp. 823 – 833.

Rohdin, P., Dalewski, M., Moshfegh, B. *Combining a survey approach and energy and indoor environment auditing in historic buildings,* *Journal of Engineering, Design and Technology* 14(1), (2016), pp. 182-195.

Liu, L., Rohdin, P., Moshfegh, B. *Evaluating indoor environment of a retrofitted multi-family building with improved energy performance in Sweden.* *Energy and Buildings*, 102 (2015) pp. 32 – 44.

Sahin, C. Arsan, Z., Tuncoku, S., Broström, T., Akkurta, G. *A transdisciplinary approach on the energy efficient retrofitting of a historic building in the Aegean Region of Turkey.* *Energy and buildings* 96 (2015) pp. 128 – 139.

Alev, Ü., Eskola, L., Arumägi, E., Jokisalo, J., Donarelli, A., Siren, K., Broström, T., Kalamees, T. *Renovation alternatives to improve energy performance of historic rural houses in the Baltic Sea region.* *Energy and Buildings* volume 77, (2014), pp. 58 – 66.

Broström, T., Eriksson, P., Liu, L., Rohdin, P., Ståhl, F., Moshfegh, B. *A Method to Assess the Potential for and Consequences of Energy Retrofits in Swedish Historic Buildings.* *Journal of the Historic Environment*. Vol 5 Issue 2 (2014) pp. 150 – 166.

Liu, L., Moshfegh, B., Akander, J., Cehlin M. *Comprehensive investigation on energy retrofits in eleven multi-family buildings in Sweden.* *Energy and Buildings*, 84 (2014) pp. 704 – 715.

Bok

Broström, T., Eriksson, P. och Norrström H. *Bruka, bevara och energieffektivisera*. Offentliga fastigheter. ISBN 978-91-7585-249-2 (2015).

Standards

SS-EN 16883:2017 *Bevarande av kulturarv – Riktlinjer för förbättring av energiprestandan i historiska byggnader*. (Conservation of cultural heritage – Guidelines for improving the energy performance of historic buildings) (2017).

Konferenser

Moshfegh, B., Rohdin, P. Milić, V. Donarelli, A, Eriksson, P., Broström, T. *A method to assess the potential for and consequences of energy retrofits in Swedish historic districts*. Proc. of the 3rd International Conference on Energy Efficiency in Historic Buildings (EEHB2018), Visby, Sweden, September 26–27, (2018).

Eriksson, P., *Character defining elements - Relations between heritage regulations, user perspectives and energy saving objectives*, Proc. of the 3rd International Conference on Energy Efficiency in Historic Buildings (EEHB2018), Visby, Sweden, September 549-556 (2018).

Rohdin, P., Milić, V., Wahlqvist. M., Moshfegh, B. *On the use of change-point models to describe the energy performance*. Proc. of the 3rd International Conference on Energy Efficiency in Historic Buildings (EEHB2018), Visby, Sweden, September 26–27, (2018).

Eriksson, P., Egusquiza, A., Broström, T., *“The potential for implementing a decision support system for energy efficiency in the historic district of Visby”* in EECHB16 Brussels, Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings, ed: de Bouw, Michael, Dubouis Samuel, Dekeyser Liesbeth Vanhellefont Yves, Brussels October 19-21 (2016).

Liu, L., Rohdin P., Moshfegh, B. *Methodology of life Cycle Cost optimization of energy retrofits: OPERA*. Proc. of the *IBPSA-Nordic Conference*, Aalto University, Esbo, Finland, September 25–26 (2014).

Ståhl, F., Gustavsson T., Broström T., Eriksson, P., Liu L., Rohdin P., Moshfegh, B. *Hygrothermal performance of energy saving measures in a wooden building from the 1920s*. Proc. of the 10th Nordic Symposium on Building Physics (NSB), Lund, Sweden, June 15–19 (2014).

Broström, T., Bernardi, A., Egusquiza, A., Frick, J., Kahn, M. *A method for categorization of european historic districts and a multiscale data model for the assessment of energy interventions*. 3rd European Workshop on Cultural Heritage Preservation, Bolzano, September (2013).

Broström, T. Eriksson, P. Rohdin, P., Ståhl, F., T, *A method to assess the effect of energy saving interventions in the Swedish stock of historic buildings*. Heritage 2012, Porto (2012).

Doktorsavhandling

Liu, L, *A systematic approach for major renovation of residential buildings*, ISBN 978-91-7685-507-2, ISSN 0345-7524 Linköping University Dissertation on studies in science and Technology No. 1860 (2017).

Examensarbeten

Wahlqvist, M. *Modellering av energisignatur för flerbostadshus En studie över möjligheter och begränsningar*, Examensarbete Uppsala University (2018).

Torgén, J., *Kategorisering av Arbogas byggnadsbestånd byggt före 1945*. Examensarbete i Byggt teknik vid Uppsala universitet. ISRN-UTH-INGUTB-EX-B-2017/06-SE (2017).

Eriksson, R., *Energien i huset: En undersökning av energianvändning och energiprestanda i svenska bostadshus uppförda före 1945 utifrån energideklarationsregistret Gripen*. Magisteruppsats i kulturvård. Uppsala Universitet. (2017).

Berg, F., *Categorising a historic building stock - an interdisciplinary approach*. Magisteruppsats i kulturvård. Uppsala Universitet. (2015).

Publikationer inom EU-projektet EFFESUS

<http://www.fffesus.eu/dissemination/booklet>

<http://www.fffesus.eu/dissemination/publications>