



Metod för omställning av urbana byggnadsbestånd



Metod för omställning av urbana byggnadsbestånd

Magnus Österbring, Chalmers

Liane Thuvander, Chalmers

Érika Mata, IVL

Filip Johnsson, Chalmers

Holger Wallbaum, Chalmers



Energimyndighetens projektnummer: 38896–1

E2B2



Förord

E2B2 Forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende är ett program där akademi och näringsliv samverkar för att utveckla ny kunskap, teknik, produkter och tjänster.

I Sverige står bebyggelsen för cirka 35 procent av energianvändningen och det är en samhällsutmaning att åstadkomma verklig energieffektivisering så att vi ska kunna nå våra nationella mål inom klimat och miljö. I E2B2 bidrar vi till energieffektivisering inom byggande och boende på flera sätt. Vi säkerställer långsiktig kompetensförsörjning i form av kunniga människor. Vi bygger ny kunskap i form av nyskapande forskningsprojekt. Vi utvecklar teknik, produkter och tjänster och vi visar att de fungerar i verkligheten.

I programmet samverkar över 200 byggtreprenörer, fastighetsbolag, materialleverantörer, installationsleverantörer, energiföretag, teknikkonsulter, arkitekter etcetera med akademi, institut och andra experter. Tillsammans skapar vi nytta av den kunskap som tas fram i programmet.

Metod för omställning av urbana byggnadsbestånd är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av *Chalmers tekniska högskola* och har genomförts i samverkan med *NCC Construction Sverige AB*.

För att uppnå en hållbar tillväxt av fastigheterna i städerna krävs en helhetssyn som saknas idag. Projektet har utvecklat en ny metodik för analys av hur städernas byggnadsbestånd kan förändras i enlighet med ett mer hållbart energisystem. Genom att angripa problem på områdesnivå kan det gå att hitta lösningar som snabbar på omställningen. Metodiken går ut på att kombinera en tidigare utvecklad byggnadsbeståndsmodell, geografiska informationssystem (GIS) och livscykelanalys.

Stockholm, 21 juni 2018

Anne Grete Hestnes,

Ordförande i E2B2

Professor vid Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.



Sammanfattning

Även om den teoretiska och tekniska potentialen för att minska energianvändningen i befintliga byggnader är stor, är den faktiska besparingspotentialen mindre känd. Syftet med projektet är att utveckla en metodik för att identifiera renoverings-, tillbyggnads- och nybyggnadsalternativ för urbana byggnadsbestånd som är miljömässigt och ekonomiskt gynnsamma och där energibesparingsåtgärder ligger i centrum. Projektet utgår från existerande beräkningsmodeller men kombinerar dessa på nytt sätt. En tidigare utvecklad byggnadsbeståndsmodell integrerad i geografiska informationssystem kombineras med en byggnadsfysikalisk modell för större byggnadsbestånd (ECCABS modellen - Energy, Carbon and Cost Assessment for Building-Stocks) samt livscykelanalys. Genom att använda byggnadsspecifik information och hantera byggnader i deras lokala kontext kan en mer holistisk syn uppnås. Tillgängliga databaser med byggnadsspecifika data har samlats och processats för flerbostadsbeståndet i Göteborg. Data används för beskrivningar av flerbostadshusbeståndets energiprestanda och framtida renoveringsbehov som i sin tur används som input för beräkningar av energibehoven. Beskrivningen och analysen tar hänsyn till byggnadens ålder, värdeår, ägare, geometri som länkas till ett geografiskt läge, och används för modelleringen av byggnadernas energiprestanda. Byggnadsbeståndsbeskrivningen hanterar varje byggnad som unik och tillåter på så sätt differentierade beskrivningar av byggnadsbestånd, dvs resultaten kan aggregeras på önskad skala för att passa olika intressenters behov. Bland annat har olika renoveringsscenarios tagits fram för att undersöka energisparpotentialen fram till år 2035. Resultaten visar att trots potential att minska den specifika energianvändningen i det befintliga beståndet så förblir den totala energianvändningen i flerbostadshusbeståndet i det närmaste oförändrad på grund av den tillkommande energianvändningen i nybyggnationen.

I detta projekt har flerbostadshusbeståndet i Göteborg studerats men metodiken är generell tillämpbar oavsett geografiskt område. Metodiken kan användas för prioritering av olika energieffektiviseringsåtgärder vid renovering där fastighetsförvaltare, i nuläget främst bostadsbolag, är den huvudsakliga målgruppen. Även andra beslutfattare såsom kommunala energiplanerare och stadsplanerare kan stödjas i sitt beslutsfattande för att uppnå en hållbar transformation av urbana byggnadsbestånd. Genom implementeringen av metoden i ett geografiskt informationssystem ges inte bara möjlighet att undersöka vilka besparingsåtgärder som är gynnsamma för en effektivare energi- och resursanvändning utan också att prioritera vilka geografiska områden som får mest ut av dessa åtgärder. Den framtagna metodiken kan ses som ett första steg i ett försök att formalisera och strukturera modellering, visualisering och kommunikation av resultat. Ytterligare forskning behövs för att kunna bedöma och utvärdera potentialen genom kvalitativa, fördjupade behovsstudier riktade till bostads- och fastighetsbolag. Ett annat spår är att utvidga beståndet som studeras till att även inkludera andra byggnadsbestånd som till exempel lokaler och kontor.

Nyckelord: byggnadsbestånd, bottom-up modell, energieffektiviseringsåtgärder, energi scenarios, fastighetsägare, renovering, visualisering



Summary

Although the theoretical and technological potential for reducing energy use in existing buildings is high, the actual saving potential is less known. The aim of the project was to develop a methodology to identify options for renovation, extensions and new construction of urban building stocks that are environmentally and economically beneficial and where energy saving measures are at the center. The project has its starting point in existing calculation models but combines them in a new way. A previously developed building stock model integrated into geographic information systems is linked with a building physics model for larger building stock (ECCABS model - Energy, Carbon and Cost Assessment for Building Stocks) and life cycle analysis. By incorporating building-specific information and considering the building in its local settings, a more holistic view can be achieved. Available databases containing building-specific information has been gathered and processed for the multi-family building stock of the city of Gothenburg. The available data is used to describe the energy performance of the stock, future renovation needs and is used to create a description of the stock used as input for calculating the energy demand. Building attributes such as year of construction, value year, property owner, geometric data and energy performance are spatially linked as well as used in modelling the energy performance of buildings. The building stock description treats every building as unique allowing results to be provided at any level of aggregation to suit the need of the specific stakeholders involved. Among others, various renovation scenarios have been developed to investigate the potential for energy savings by 2035. The results show that despite the potential for reducing the energy use in the existing stock, the total energy use in the multi-family housing stock remains virtually unchanged due to the additional energy use in new construction.

Even if the multi-family housing stock in Gothenburg has been studied in the project, the methodology is generally applicable regardless of geographical area. The methodology can be used to prioritize different energy efficiency measures. Property managers, currently mainly housing managers, are the main target group but other decision makers such as municipal energy planners and urban planners can also be supported in their decision making towards a sustainable transformation of urban building stock. Through the implementation of the methodology in a geographic information system, it is not only possible to investigate which saving measures are beneficial for efficient energy and resource use but it also allows to prioritize which geographical areas that make the most of these measures. The developed methodology can be seen as a first step in an attempt to formalize and structure modeling, visualization and communication of results. Further research is needed to assess and evaluate potentials through, for example, qualitative in-depth needs studies directed at residential and real estate companies. Another track is to expand the stock being studied to include other building stocks, such as premises and offices.

Keyword: building stock, bottom-up model, energy efficiency measurements, energy scenarios, property owner, renovation, visualization,



INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	7
2	METOD OCH GENOMFÖRANDE	9
3	RESULTAT	11
4	DISKUSSION	17
5	PUBLIKATIONSLISTA	19
6	REFERENSER	20



1 Inledning och bakgrund

Det befintliga byggnadsbeståndet står för en betydande användning av resurser och energi men utgör samtidigt en stor potential för energibesparingsåtgärder som är nödvändiga för att vi skall kunna uppnå ett hållbart byggnadsbestånd med minskad klimatpåverkan.

I Europa är byggnadsinfrastrukturen och byggnadsbeståndet till stor del redan på plats. Detta innebär att en stor del av de byggnader som kommer att finnas år 2050, när klimatutsläppen och energianvändningen måste ha minskats drastiskt, redan existerar idag. Dessa byggnader kommer enbart att renoveras ett fåtal gånger fram till år 2050 och det är därför viktigt att rätt energisparåtgärder görs vid renovering och tillbyggnation men även i kombination med nybyggnation så att denna tidsbegränsade möjlighet utnyttjas på bästa sätt.

För enskilda projekt och enstaka byggnader har man kunnat visa stora besparingspotentialer ur ett energi- och klimatpåverkansperspektiv, men dessa lösningar är inte alltid skalbara till ett större bestånd då förutsättningar skiljer sig åt. Just spetsprojekten marknadsförs kraftigt och även om de visar på vad som är tekniskt möjligt och fungerar som inspirationskälla så är de få och, sätt till hela beståndet, utgör de en liten del. Det som saknas är ett helhetsgrepp som kan få ett kraftigare genomslag än vad enskilda spetsprojekt kan uppnå.

Även om den teoretiska och tekniska potentialen för att minska energianvändningen i byggnadsbeståndet är stor, är den faktiska potentialen mindre känd och renoveringstakten är i praktiken långsam. Dessutom finns det även andra faktorer än den tekniska energisparpotentialen som man behöver ta hänsyn till. Exempel på sådana faktorer är livscykelanalys, sociala aspekter, befintlig arkitektur och kostnader. Tidigare projekt hanterar delvis dessa faktorer men ingen har tagit ett helhetsgrepp för ett större bestånd. Idag saknas den här typen av kunskap och stödverktyg för att fatta beslut där man undviker den suboptimering det innebär att försöka lösa problem byggnad för byggnad.

1.1 Kunskapsläget

De senaste åren har tillgängligheten av olika data ökat, bland annat finns förbättrade geodata och energideklarationer, för att modellera större byggnadsbestånd som till exempel alla byggnader i en stad eller alla byggnader som ägs och förvaltas av bostadsföretag.

Byggnadsbeståndsmodellering har tidigare använts för att beräkna energianvändningen i befintligt bestånd (Ascione et al. 2013; Fabbri, Zuppiroli, and Ambrogio 2012) samt att undersöka potentiella förändringar (Mata, Kalagasidis, and Johnsson 2013; Sartori, Wachenfeldt, and Hestnes 2009). Dessa modeller bygger på en bottom-up metodik för att beskriva och simulera energianvändningen för byggnadsbestånd (Swan and Ugursal 2009; Kavgić et al. 2010) och har utvecklats från applikation på nationell nivå till urban skala genom användning av GIS. Användandet av GIS har flera fördelar då det underlättar databashantering samtidigt som det möjliggör för spatial analys och visualisering av resultat. Likväl har energimodellering som används vid simulering av byggnadsbestånd blivit mer sofistikerad och närmar sig den detaljnivå man ser vid energiberäkning av enskilda byggnader (Reinhart and Cerezo Davila 2016). Även om energimodellering har blivit mer sofistikerad och användningen av GIS har möjliggjort att studera mer lokala byggnadsbestånd så har ingen utveckling



skett när det gäller indata till dessa modeller. Denna utgörs av ett fåtal generiska representativa byggnader som skalas upp för att representera ett större bestånd. Den typen av indata gör att resultaten måste skalas upp till en högre nivå för att blir rättvisande. Ofta baseras denna uppskalning på viktningsfaktorer där byggnader med ett liknande byggår antas ha liknande energiprestanda. Detta är problematiskt, särskilt för äldre delar av beståndet där olika renoveringslösningar har gjort beståndet än mer heterogent och energiprestandan skiljer sig kraftigt från originalbyggnaden före renovering (Eriksson 1993; Aksoezen et al. 2015) .

I vårt projekt tar vi tillvara befintlig kunskap på byggnadsnivå för att skala upp det till att omfatta hela bestånd. Genom vårt projekt vill vi underlätta prioritering av olika renoveringsåtgärder för att uppnå en hållbar utveckling och transformation av byggnadsbestånd.

1.2 Syfte, mål och avgränsningar

Syftet med projektet är att utveckla en metodik för att identifiera renoverings-, tillbyggnads- och nybyggnadsalternativ som är miljömässigt och ekonomiskt gynnsamma för urbana byggnadsbestånd med fokus på energibesparingsåtgärder. Målet är att med hjälp av metodiken kunna stödja beslutfattare såsom bostadsbolag, både kommunala och privata, och kommunala myndigheter såsom energiplanerare och stadsplanerare för att uppnå en omställning till ett långsiktigt hållbart byggnadsbestånd. Projektet skapar också möjlighet för, till exempel, fastighetsägare och förvaltare att tillvarata potentialen i sin underhållsplanering. Metodiken som utvecklas är generellt tillämpbar oavsett geografiskt område men fokus för detta projekt är flerbostadshus i Göteborg.

1.3 Projektdeltagare

För att kunna adressera olika perspektiv har projektet genomförts som ett tvärvetenskapligt projekt i samverkan mellan institutionerna för Arkitektur och samhällsbyggnad (ACE, fram till maj 2017 två institutioner: Bygg och Miljö och Arkitektur) samt institution för Rymd, geo- och miljövetenskap (RGM, fram till maj 2017 institution för Energi och Miljö) på Chalmers tekniska högskola tillsammans med NCC Construction Sverige AB. En av forskarna har under projektet gång bytt arbetsplats och fortsatt sitt deltagande från den nya institutionen, IVL. Vårt forskarteam har därmed haft en bred kompetens med kunskap om byggnadsteknologi, energiteknik och arkitektur.

Forskningen har i huvudsak genomförts av en industridoktorand, Magnus Österbring på ACE, tillsammans med bihandledarna docent Liane Thuvander (renovering, geodata och visualisering), även hon på ACE, och doktor Érika Mata (energimodellering) på RGM/IVL. Två seniorforskare med lång erfarenhet och kunskap inom ämnet, professor Filip Johnsson (energiteknik) på RGM och professor Holger Wallbaum (byggnadsbestandsmodellering och hållbart byggnader) på ACE har bidragit med värdefull kunskap. Wallbaum har också varit huvudhandledare och projektledare.



2 Metod och genomförande

Projektet bygger på en tidigare utvecklad byggnadsbeståndsmodell integrerad i geografiska informationssystem (GIS) (Heerena, Wallbauma, and Jakobb 2012; Heeren et al. 2013; Thuvander 2002) och kombinerar den med en byggnadsfysikalisk modell för större byggnadsbestånd (ECCABS modellen - Energy, Carbon and Cost Assessment for Building-Stocks (Mata, Kalagasidis, and Johnsson 2013) samt livscykelanalys.

För att kunna utvärdera renoveringspotentialen i det befintliga beståndet i en urban kontext måste lokala och platsspecifika förutsättningar tas hänsyn till. Metoden utgår därför från individuella byggnader som sedan skalas upp till att beskriva flerbostadshusbestånd, det vill säga en bottom-up ansats tillämpas. Genom att utnyttja byggnadsspecifik information och hantera byggnader i sitt lokala sammanhang ges en mer rättvisande bild av statusen i det befintliga beståndet. Byggnadsspecifika data har inhämtats från olika källor, sammanställts och länkats samman via geografiska informationssystem, dvs. via kartbaserade system. Utifrån detta har en spatialt differentierad byggnadsbeståndsmodell på komponentnivå utvecklats.

Arbetet har genomförts i följande steg:

- Skapa byggnadstypologier som är representativa för Göteborg, uppdelade i klasser baserat på verksamhet och byggnadsår samt karaktärisering av lokalt flerbostadshusbestånd i Göteborg, se Österbring et al. (2016).
- Sammanställning och analys av tillgängliga (geo)data, se Mangold, Österbring, and Wallbaum (2015); Mangold et al. (2016); Österbring (2016); Thuvander et al. (2015).
- Beräkning av individuella byggnaders geometri (flerbostadshus i Göteborg) och länkning av nybyggnadsår, typologi inklusive U-värde i GIS.
- Länkning av byggnader till den byggnadsfysikaliska beräkningen i ECCABS-modellen.
- Identifiering av renoveringsgrad och -behov samt utveckling av renoveringsscenarios med olika energieffektiviseringsåtgärder, se till exempel Thuvander et al. (2015); Österbring et al. (2018).
- Analys och validering av resultatet från tillämpning av ECCABS på lokalt bestånd i Göteborg samt känslighetsanalys och förfinad analys, se till exempel Österbring et al. (2018), Mata et al. (2018a,b).
- Utveckling av LCA-komponent och utökad analys för att möjliggöra bedömning av materialpåverkan i samband med renoverings, nybyggnads och tillbyggnadsalternativ.

En röd tråd genom projektet har varit hur resultaten från modellen ska aggregeras och visualiseras med hjälp av GIS för att kunna tillgodose olika målgruppers behov (Österbring et al. 2018).



2.1 Datakällor

De huvudsakliga datakällorna som har använts i projektet är det nationella Byggnads- och fastighetsregistret med bland annat data om nybyggnadsår, värdeår, ägare, som förvaltas av Lantmäteriet; databas Gripen med energideklarationerna som förvaltas av Boverket; samt geodata gällande byggnaders geometri och Göteborg kommuns administrativa gränser som tillhandahålls av Göteborgs stad. Vidare har Riksbyggens fastighetsportfölj med flerbostadshus använts för att validera resultaten i energimodellen. För en mer utförligt beskrivning av den information som har inhämtats se (Österbring 2016).

2.2 ECCABS-modellen

I ECCABS-modellen beräknas energiprestandan för varje byggnad matematiskt i Simulink/Matlab som ett linjärt explicit diskret tidsvariantsystem (Mata, Kalagasidis, and Johnsson 2013). ECCABS-modellen följer klassificeringen för beräkningsförfaranden enligt ISO 13790 (tidspecifika ingångsdata och resultat) och är dynamisk (tar hänsyn till byggnadens termiska massa i varje modelleringssteg).

2.3 Renoveringsscenarios

Ett antal utvecklingsscenarios med olika renoveringstakter har simulerats för att undersöka realistiska utvecklingsvägar för energibesparingar. Dessa baseras på aktuell renoveringstakt och energibesparing vid renovering (Boverket 2016). Utöver antaganden kring renoveringstakt så antas nybyggnation följa Göteborgs stads strategiska utvecklingsprogram (City of Gothenburg 2014). Antagen energianvändning för planerad nybyggnation baseras på Boverkets senaste remiss (Boverket 2018).

2.4 Visualisering och målgruppsanpassning

Spatial visualisering har använts för en visuell validering av ECCABS-modellen på basområdesnivå och primärområdesnivå (Göteborg Stads administrativa indelningar) för att förstå den geografiska spridningen och betydelsen av ingångsdata. Därutöver har olika förslag på hur visualisering i GIS kan göras för att nå olika intressenter arbetats fram tillsammans med en diskussion om vilken typ av information som bör visualiseras, se (Österbring et al. 2018).

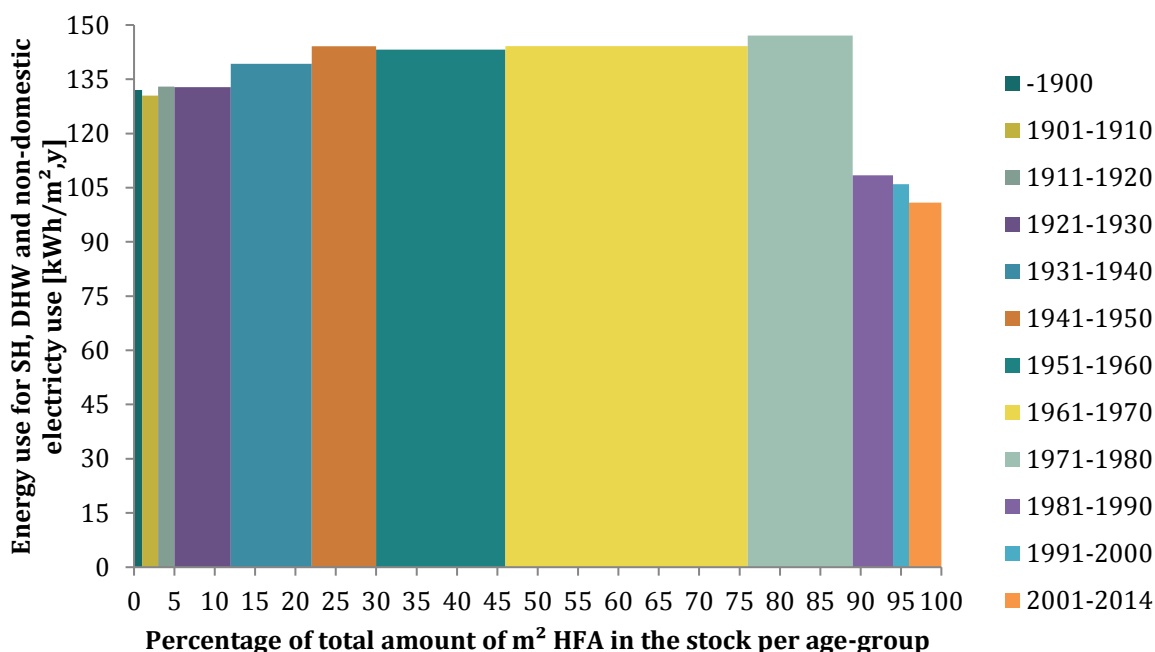


3 Resultat

Av de många resultat som framkommit i projektet beskrivs här ett urval. Fler resultat finns publicerade i (Österbring et al. 2017; Österbring 2016; Thuvander et al. 2015; Österbring et al. 2016, 2018). Resultaten beskriver läget år 2014 och inkluderar totalt cirka 6000 flerbostadshus.

3.1 Energianvändning i byggnadsbeståndet

I figur 1 visas energianvändningen i byggnadsbeståndet i Göteborg utifrån de energideklarationer som inhämtats. Energianvändningen visas som genomsnittlig specifik energianvändning där beståndet är uppdelat efter byggnadsår och där bredden på staplarna representerar $m^2 A_{temp}$ per ålderskategori. Den genomsnittliga energianvändningen för värme, varmvatten och fastighetsel ligger relativt stabilt omkring 140 kWh/ m^2 , år fram till 1980 då en kraftig reduktion kan ses. Detta är troligen en följd av de skärpningar gällande energiprestanda som genomfördes till byggreglerna 1975 (SBN75) som en följd av oljekrisen 1973. Det är också tydligt av figur 1 att majoriteten av beståndet är byggt före 1980 och framför allt under miljonprogramstiden. Till skillnad från äldre delar av beståndet har dessa hus till stor del aldrig genomgått omfattande renovering.

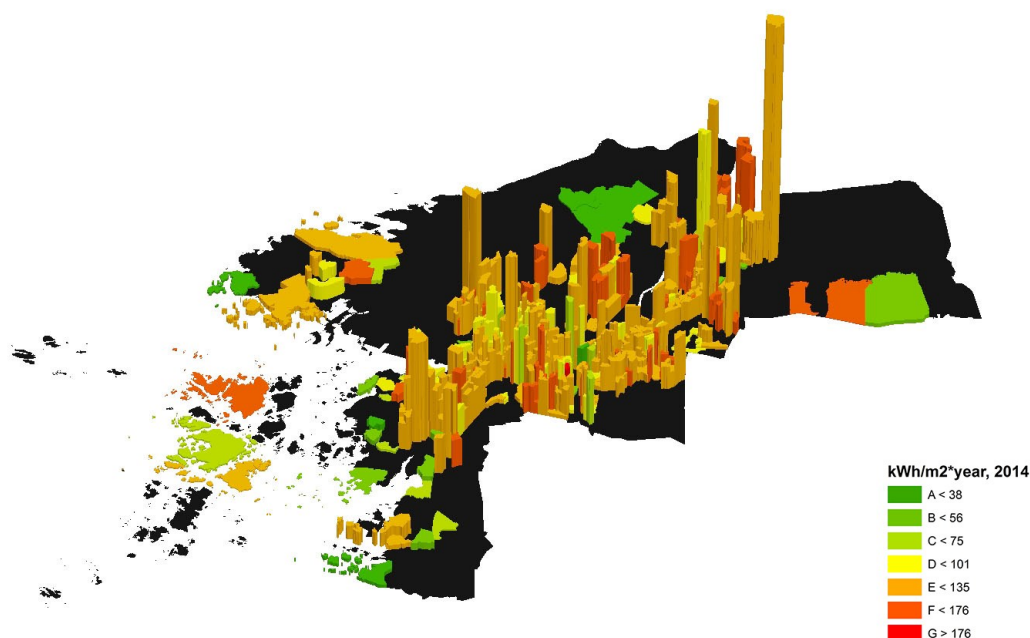


Figur 1. Energianvändningen (värme, varmvatten, och fastighetsel) per $m^2 A_{temp}$, år i byggnadsbeståndet i Göteborg uppdelad i olika bygpperioder. Figuren har publicerats i (Österbring 2016).

I figur 2 visas den spatiala spridningen av energianvändningen i flerbostadshusbeståndet i Göteborg. Höjden på staplarna representerar den totala energianvändningen aggregerad till basområden



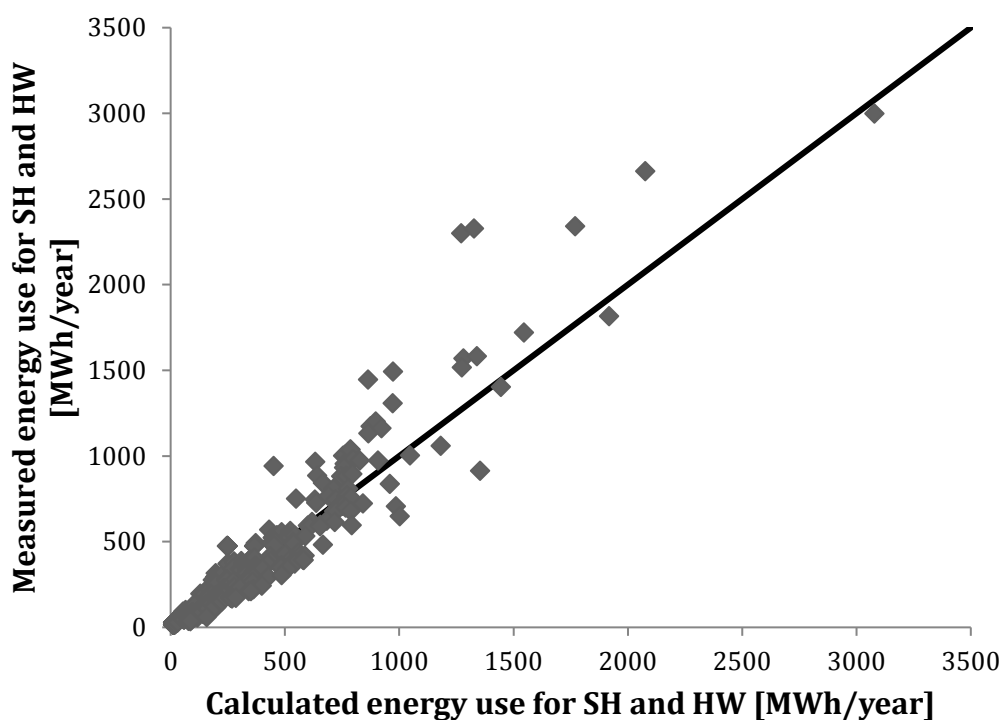
medan färgen motsvarar genomsnittlig energiprestanda där skalan från energideklarationen används. Detta visar dels vilka områden som använder mycket energi samtidigt som man får en uppfattning om potentialen för energieffektivisering. Då vissa områden är mer tätbebyggda än andra kan det vara missvisande att enbart se på total energianvändning. Samtidigt så kan det också vara missvisande att enbart se till specifik energianvändning om man vill lokalisera energibesparingspotential då den totala energianvändningen är låg.



Figur 2. Geografisk spridning av energianvändningen i flerbostadshusbeståndet i Göteborg. Figuren har publicerats i (Österbring et al. 2018).

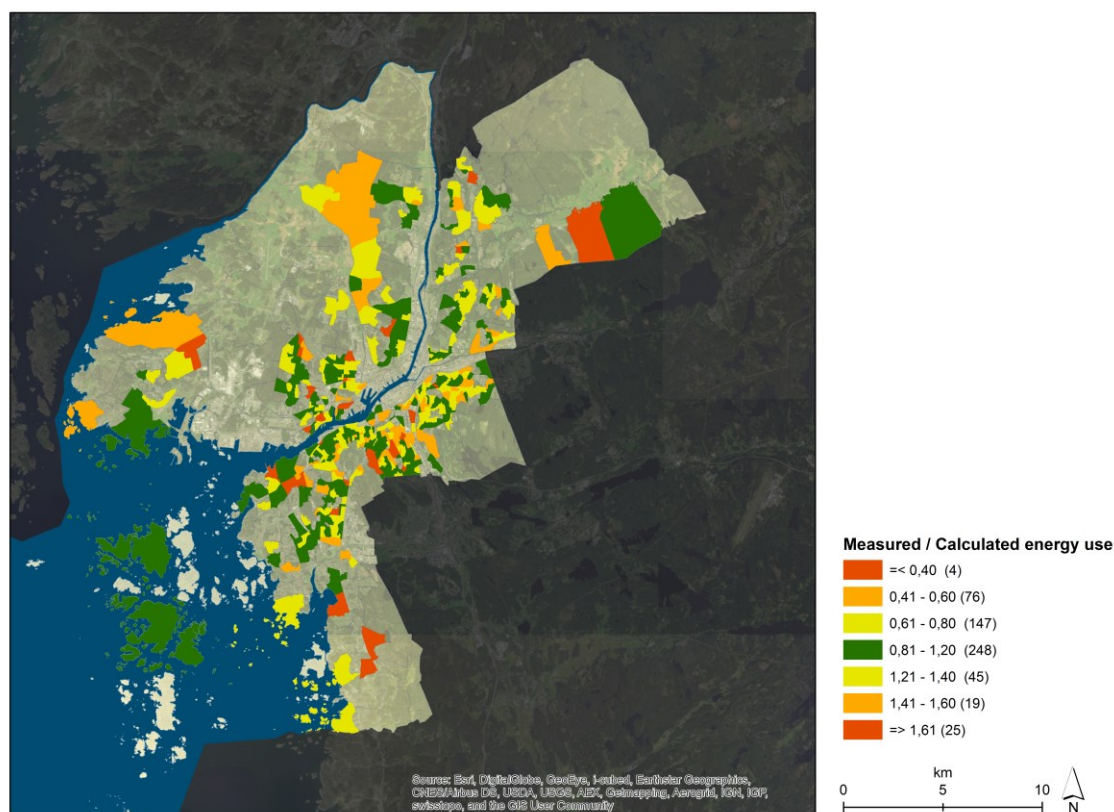
3.2 Validering av beräkningsresultat

Figur 3 visar en validering av beräkningsresultat för 433 flerbostadshus som förvaltas av samma företag där den beräknade energianvändningen jämförs med angiven energianvändning från energideklarationerna. För de 433 byggnaderna skiljer sig beräknat resultat med mindre än 3 % från uppmätta värden. För enskilda byggnader uppstår dock större skillnader. Ungefär hälften av de bedömda byggnaderna hamnar inom en felmarginal på 20 %. Ett flertal åtgärder har implementerats för att förbättra beräkningsnoggrannheten där bland annat beskrivning av U-medelvärde har ersatts av u-värde för enskilda komponenter och ytterligare åtgärder gällande kalibrering har föreslagits.



Figur 3. Validering av beräkningsresultat för 433 flerbostadshus i Göteborg där beräknad energianvändning jämförs med angiven energianvändning i energideklarationerna. Figuren har publicerats i (Österbring et al. 2016).

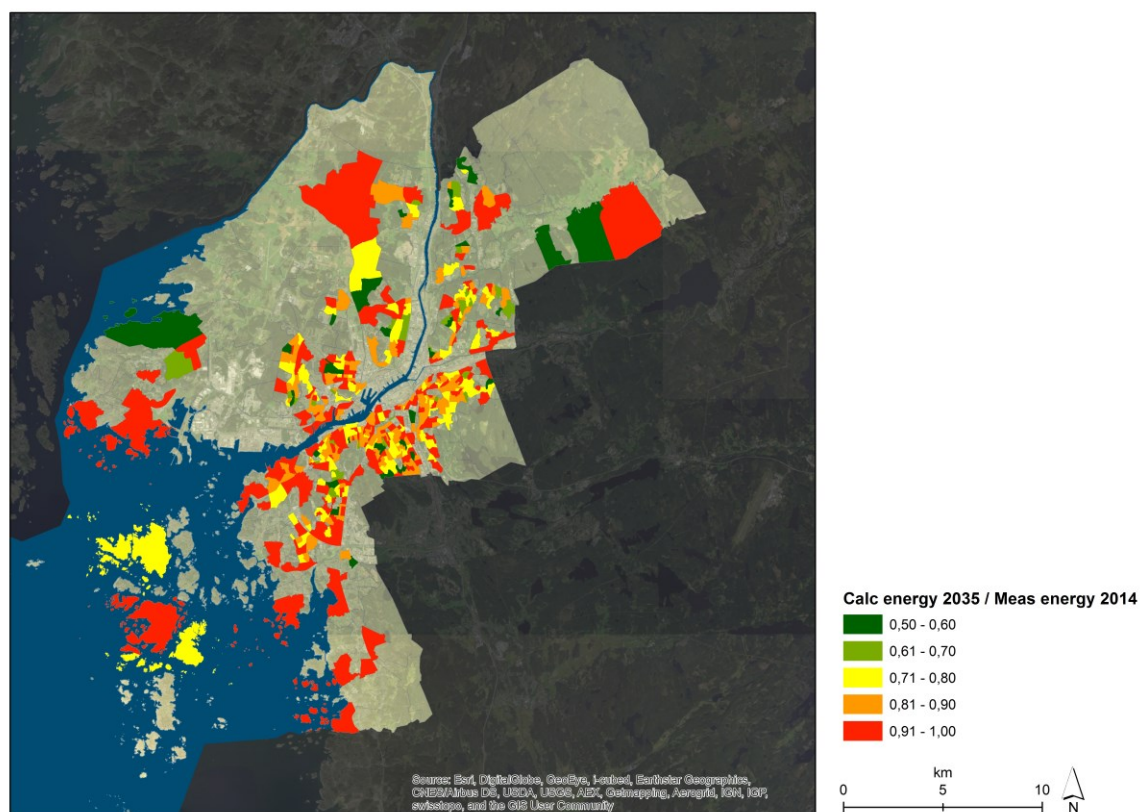
Figur 4 visar på den spatiala skillnaden mellan beräknad och uppmätt energianvändning där resultat aggregerats till basområdesnivå. Generellt fås en god överensstämmelse där majoriteten av basområden ligger inom en felmarginal på 20 %. De basområden med stora avvikelser är de med få byggnader som ofta är av en mer unik karaktär där den 2.5D modell (platta tak) som används för att beräkna omslutande area är otillräcklig. I vissa fall förekommer uppenbara fel i energideklarationerna som gör att jämförelsen blir missvisande där exempelvis en byggnad med tre våningar är angiven som en byggnad med åtta våningar.



Figur 4. Skillnad mellan beräknad och uppmätt energianvändning aggregerat till basområdesnivå. Visuell validering av energimodellen. Siffran i parentesen anger hur många byggnader som modellerats. Figuren har publicerats i (Österbring et al. 2018).

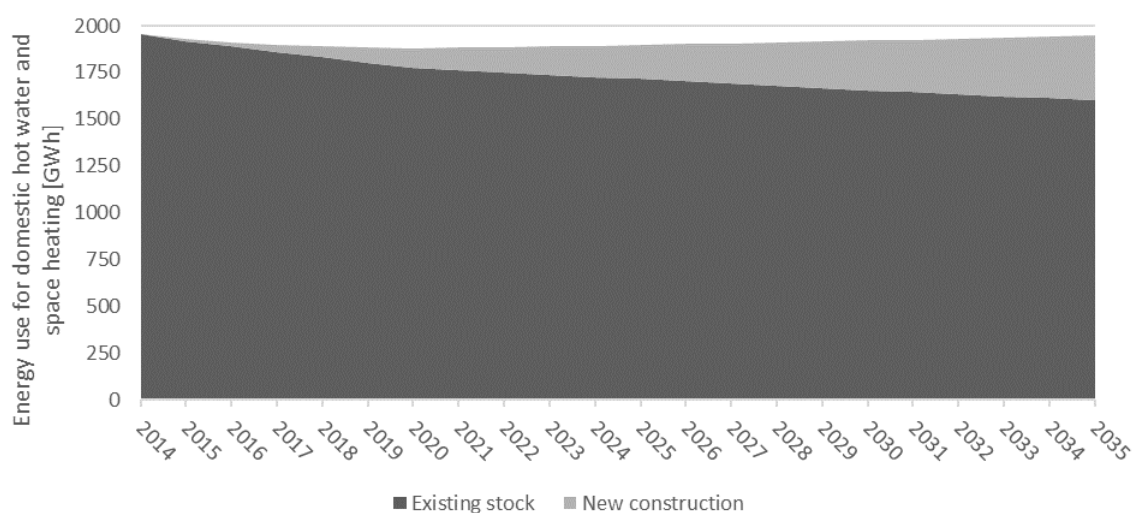
3.3 Energibesparing

Figur 5 visar på energibesparingen i befintligt bestånd i Göteborg som andel av nuvarande energianvändningen till följd av renovering fram till 2035. Antaganden om att energibesparingsåtgärder först genomförs i de delar av beståndet som har lägst energiprestanda tycks inte ge något större avtryck i spatial spridning.



Figur 5. Energibesparing i befintligt bestånd i Göteborg som andel av nuvarande energianvändningen och till följd av renovering fram till 2035. Figuren har publicerats i (Österbring et al. 2018).

Figur 6 visar på utveckling av energianvändning i flerbostadshusbeståndet där även planerad nybyggnation inkluderas. Utifrån antaganden om nybyggnadstakt och framtida energikrav för byggnader så vägs den minskade energianvändningen i befintligt bestånd upp av ökad energianvändning på grund av nybyggnation fram till 2035. Även om den specifika energianvändningen minskar så förblir den totala energianvändningen i det närmaste oförändrad.



Figur 6. Beräknad utveckling av energianvändning i flerbostadshusbeståndet i Göteborg där både befintligt bestånd och planerad nybyggnation inkluderas. Figuren har publicerats i (Österbring et al. 2018).



4 Diskussion

Projektet har utvecklat en metodik som kan beskriva, analysera och modellera byggnadsbestånd inte bara utifrån vilka energibesparingsåtgärder som är gynnsamma för en effektivare energi- och resursanvändning utan den kan också prioritera vilka geografiska områden som får mest ut av dessa åtgärder. Projektet har fokuserat på Göteborg.

Den genomsnittliga energiprestandan i flerbostadshusbeståndet i Göteborg är relativt lika för byggnader byggda före 1980, omkring 140 kWh/m², år. Siffran kan anses som låg, dels i en europeisk kontext där samma del av beståndet ofta uppvisar siffror kring 200 kWh/m², år och dels i svensk kontext där det fram till 2012 var 110 kWh/m², år som gällde vid nybyggnation. Även om den genomsnittliga energiprestandan är relativt lika för de olika ålderskategorierna så finns det vissa skillnader. Byggnader uppförda mellan 1960 och 1975 utgör 42 % av beståndet och har en något sämre energiprestanda än övrigt bestånd. Dessutom är det bland dessa byggnader som renoveringsbehovet är som störst. Inom de olika ålderskategorierna finns det också väldigt stora skillnader i energiprestanda. Vill man uppnå större energibesparingar vid renovering bör fokus i första hand vara att inom detta bestånd identifiera byggnader med låg energiprestanda och ett eftersatt renoveringsbehov.

Den kombinerade effekten av energieffektiviseringstakt i befintligt bestånd med planerad nybyggnation för flerbostadshus i Göteborg visar att det totala energibehovet är oförändrat fram till 2035. Då detta baseras på ett antal antaganden om framtida utveckling av beståndet är osäkerheten stor men pekar på ett antal viktiga punkter. Då planerad utveckling av flerbostadshusbeståndet i Göteborg inte medför någon energibesparing och således inte heller minskad klimatpåverkan krävs andra åtgärder för att åstadkomma detta. Detta kräver att antingen renoveringstaken ökar, att energieffektivisering vid renovering blir mer långtgående, att planerad nybyggnadstakt inte uppnås, att energiprestanda för nybyggnation vida överstiger de krav som föreslås i Boverkets senaste remiss angående nära-noll energi hus eller att klimatpåverkan från energiproduktion minskar. För fortsatta studier kan andra scenarion för framtida utveckling av beståndet användas, exempelvis backcasting metoder eller kopplat till fysisk planering (Ranhagen 2012).

Genom metodiken kan lösningar identifieras som inte är lönsamma för enskilda byggnader men som på områdesnivå kan visa sig vara ekonomiskt försvarbara. Detta gäller särskilt lösningar som förändrar energiförsörjningssystemet där man på områdesnivå kan nyttja detta på ett effektivare sätt. Genom att angripa problematiken ur ett större perspektiv med avseende på systemgränser, materialpåverkan genom livscykelanalys (LCA) och ekonomiska aspekter kan man hitta lösningar som är hållbara och undvika den suboptimering som annars kan ske. En analys på områdesnivå kan bidra till målsättningen att fler och större renoveringsprojekt kan komma till stånd vid rätt tidpunkt så att lokala mål om energibesparing och klimatpåverkan kan uppnås. Metodiken möjliggör också för användning av urbana typologier där man kan identifiera liknande stadsbilder med samma typ av möjligheter och behov (Troglio, Haas, and Doni 2011).



5 Slutsatser

Projektet *Att beskriva och analysera urbana byggnadsbestånd* har utvecklat en metod för att beskriva urbana flerbostadshusbestånd. Metoden baseras på en bottom-up modellering där enskilda byggnader beskrivs och byggspecifika data används. De olika databaserna har sammanlänkats spatialt i en GIS miljö för att utgöra en solid grund för fortsatt modellering. Parallellt har en beskrivning av flerbostadshusbeståndet i Göteborg utvecklats för att bestämma U-värden för byggnader baserad på arkitekturhistoria, byggregler samt tidigare undersökningar av byggnadsbestånd. Baserat på geometrier från 3D-modellen, information om U-värden från byggnadsbeskrivningen samt information om tekniska system från energideklarationer har beräkningar utförts för beståndet. För en delmängd av dessa, 433 flerbostadshus om ca 1 000 000 m², visar beräkningar mycket god överensstämmelse (1-2 % felmarginal) med uppmätt data för det undersökta beståndet. Vid uppskalning till hela beståndet ökar felmarginalen något till ca 10 %.

Olika renoveringsscenarios har sedan tagits fram för att undersöka energisparpotentialen i Göteborgs flerbostadshusbestånd fram till år 2035. Resultaten visar på att även om det finns potential till energibesparingar i det befintliga beståndet så förblir den totala energianvändningen i flerbostadshusbeståndet i det närmaste oförändrad då nybyggnation ger en ökad energianvändning i samma storlek.

Implementeringen av metoden i ett GIS ger utmärkta visualiseringsmöjligheter. Projektet har visat att parametrar som till exempel byggnadsfysikaliska data, ålder på byggnader, ägarformer, samt renoveringsbehov kan analyseras och illustreras med hjälp av GIS. Informationen om ägare är särskilt intressant då det ger möjlighet att direkt visa enskilda fastighetsägare hur olika renoveringsalternativ och utvecklingsstrategier påverkar deras byggnadsbestånd och byggnadernas energiprestanda. Visualisering och kommunikation av resultat har därför utformats för att rikta sig till specifika intressenter, som identifierades med Göteborg som fallstudie. Visualiseringen av analysresultat bedömer vi vara av stor betydelse för framförallt fastighetsägare och förvaltare men även kommunala aktörer som till exempel energiplanerare och stadsplanerare. Förutom att visualisering av resultat i kartor ökar förståelsen av resultaten så underlättar och stödjer den också kommunikationen mellan olika aktörer.

Den GIS-integrerade byggnadsbeståndsmodelleringen som tagits fram inom projektet kan ses som ett första steg i ett försök att formalisera och strukturera modellering, visualisering och kommunikation av resultat kring energisparpotentialer och effektiviseringsåtgärder utförda i samband med en renovering och deras på miljöpåverkan ut ett livscykelperspektiv. Medan den omfattande användningen av byggspecifik information sannolikt kommer att vara en begränsande faktor för att överföra tillvägagångssättet till andra städer är anpassningen av visualisering och kommunikation av resultat genom att inrikta sig på specifika lokala intressenter mer allmänt tillämplig. Ytterligare forskning behövs för att kunna bedöma och utvärdera potentialen genom kvalitativa, fördjupade behovsstudier riktade till bostads- och fastighetsbolag. Ett annat spår är att utvidga beståndet som studeras till att även inkludera andra byggnader som till exempel lokaler och kontor.



6 Publikationslista

Thuvander, L., Österbring, M., Mangold, M., Mata, E., Wallbaum, H., & Johnsson, F. (2015). Spatial exploration of the refurbishment dynamics of urban housing stocks. In *Proceedings of Computers in Urban Planning and Urban Management conference, CUPUM*, 7th-10th July MIT in Cambridge, Massachusetts, USA.

Mata É., Bergfors L. & Wanemark J. (2018a). *Dynamic modelling of renovation scenarios for the existing multifamily buildings in Gothenburg up to year 2050*, A report within the project "Developing sustainable trajectories for urban building-stocks", funded by E2B2 programme, March 2018; IVL Swedish Environmental Research Institute.

Mata É., Wanemark J, Österbring M, Thuvander L, & Wallbaum H, (2018b). Decision-Making in Building Retrofitting: Lessons from Dynamic Modelling of Scenarios for Gothenburg City, 5th *European Conference on Behaviour and Energy Efficiency*, 5-7 September 2018, Zurich, Switzerland.

Österbring, M., Thuvander, L., Mata, É., & Wallbaum, H. (2018) Stakeholder Specific Multi-Scale Spatial Representation of Urban Building-Stocks. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2018, 7(5), 173.

Österbring, M., Rosado, L., Wallbaum, H., & Gontia, P. (2018). An Approach to Identify Resource Patterns on a Neighborhood Level. In *Factor X* (pp. 317-323). Springer, Cham.

Österbring, M., Thuvander, L., Mata, É., & Wallbaum, H. (2017). Renovation Needs and Potential for Improved Energy Performance Depending on Ownership – A Location Based Study of Multi-Family Buildings. In *World Sustainable Built Environment WSBE17*, 5th-7th June, Hong Kong.

Österbring, M. (2016). *Spatial analysis of urban housing stock*. Licentiate thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

Österbring, M., Thuvander, L., Mata, É., & Wallbaum, H. (2017). Hur mycket energi kan vi spara i våra flerbostadshus? Byggnadsbeståndsmodellering för anpassade renoveringar av flerbostadshus, *Bygg och Teknik*, 2/2017, 10-14.

Österbring, M., Mata, É., Thuvander, L., Mangold, M., Johnsson, F., & Wallbaum, H. (2016). A differentiated description of building-stocks for a georeferenced urban bottom-up building-stock model. *Energy and Buildings*, 120, 78-84.

Österbring, M., Mata, É., Johnsson, F., & Wallbaum, H. (2014). A methodology for spatial modelling of energy and resource use of buildings in urbanized areas. In *World Sustainable Building Conference WSB14*, 28th-30th October, Barcelona.



7 Referenser

- Aksoezen, Mehmet, Magdalena Daniel, Uta Hassler, and Niklaus Kohler. 2015. 'Building Age as an Indicator for Energy Consumption'. *Energy and Buildings* 87:74–86. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.074>.
- Ascione, Fabrizio, Rosa Francesca De Masi, Filippo de Rossi, Romano Fistola, Maurizio Sasso, and Giuseppe Peter Vanoli. 2013. 'Analysis and Diagnosis of the Energy Performance of Buildings and Districts: Methodology, Validation and Development of Urban Energy Maps'. *Cities* 35. Elsevier Ltd:270–83. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.04.012>.
- Boverket. 2016. 'Underlag till Den Andra Nationella Strategin För Energieffektiviserande Renovering. Ett Samarbete Mellan Boverket Och Energimyndigheten'. Karlskrona.
- . 2018. 'Remiss: Förslag till Ändring I Boverkets Byggregler (2011:6) – Föreskrifter Och Allmänna Råd.' Karlskrona.
- City of Gothenburg. 2014. 'Development Strategy Göteborg 2035'. Gothenburg. https://international.goteborg.se/sites/international.goteborg.se/files/field_category_attachments/development_strategy_goteborg_2035.pdf.
- Eriksson, Bengt. 1993. *Energisparpotentialer I Bostadsbeståndet: Värmebalansmodell*. Statens Institut för byggnadsforskning.
- Fabbri, Kristian, Marco Zuppiroli, and Keoma Ambrogio. 2012. 'Heritage Buildings and Energy Performance: Mapping with GIS Tools'. *Energy and Buildings* 48. Elsevier B.V.:137–45. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.018>.
- Heeren, Niko, Martin Jakob, Gregor Martius, Nadja Gross, and Holger Wallbaum. 2013. 'A Component Based Bottom-up Building Stock Model for Comprehensive Environmental Impact Assessment and Target Control'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 20. Elsevier:45–56. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.064>.
- Heerena, Niko, Holger Wallbauma, and Martin Jakobb. 2012. 'Towards a 2000 Watt Society - Assessing Building-Specific Saving Potentials of the Swiss Residential Building Stock'. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development* 3 (1):43–49. <https://doi.org/10.1080/2093761X.2012.673917>.
- Kavgic, M., A. Mavrogianni, D. Mumovic, A. Summerfield, Z. Stevanovic, and M. Djurovic-Petrovic. 2010. 'A Review of Bottom-up Building Stock Models for Energy Consumption in the Residential Sector'. *Building and Environment* 45 (7). Elsevier Ltd:1683–97. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.021>.
- Mangold, Mikael, Magnus Österbring, and Holger Wallbaum. 2015. 'A Review of Swedish Residential Building Stock Research'. *International Journal of Environmental Sustainability* 11 (2).
- Mangold, Mikael, Magnus Österbring, Holger Wallbaum, Liane Thuvander, and Paula Femenias. 2016. 'Socio-Economic Impact of Renovation and Energy Retrofitting of the Gothenburg Building Stock'. *Energy and Buildings* 123. Elsevier B.V.:41–49. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.033>.
- Mata, Érika, Angela Sasic Kalagasidis, and Filip Johnsson. 2013. 'A Modelling Strategy for Energy, Carbon,



- and Cost Assessments of Building Stocks'. *Energy and Buildings* 56. Elsevier B.V.:100–108. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.037>.
- Ranhagen, Ulf. 2012. 'Att Integrera Hållbarhets-Och Energifrågor I Fysisk planering–Metoder Och Verktyg Etapp 2'. *KTH, Department of Urban Planning and Environment. Stockholm*.
- Reinhart, Christoph F., and Carlos Cerezo Davila. 2016. 'Urban Building Energy Modeling - A Review of a Nascent Field'. *Building and Environment* 97. The Authors:196–202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001>.
- Sartori, Igor, Bjørn Jensen Wachenfeldt, and Anne Grete Hestnes. 2009. 'Energy Demand in the Norwegian Building Stock: Scenarios on Potential Reduction'. *Energy Policy* 37 (5):1614–27. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.031>.
- Swan, Lukas G., and V. Ismet Ugursal. 2009. 'Modeling of End-Use Energy Consumption in the Residential Sector: A Review of Modeling Techniques'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033>.
- Thuvander, Liane. 2002. *Towards Environmental Informatics for Building Stocks. Doktorsavhandlingar Vid Chalmers Tekniska Högskola*.
- Thuvander, Liane, Magnus Österbring, Mikael Mangold, Érika Mata, Holger Wallbaum, and Filip Johnsson. 2015. 'Spatial Exploration of the Refurbishment Dynamics of Urban Housing Stocks'. *Cupum 2015*, no. August.
- Troglio, Elisabetta, Tigran Haas, and Matteo Doni. 2011. 'Urban Typologies and Heat Energy Demand. A Case-Study in the Italian Context'. Louvain-la-Neuve: European Regional Science Association (ERSA).
- Österbring, Magnus. 2016. 'Thesis for the Degree of Licentiate of Engineering'. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/235187/235187.pdf>.
- Österbring, Magnus, Érika Mata, Liane Thuvander, Mikael Mangold, Filip Johnsson, and Holger Wallbaum. 2016. 'A Differentiated Description of Building-Stocks for a Georeferenced Urban Bottom-up Building-Stock Model'. *Energy and Buildings* 120. Elsevier B.V.:78–84. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.060>.
- Österbring, Magnus, Leonardo Rosado, Holger Wallbaum, and Paul Gontia. 2017. 'An Approach to Identify Resource Patterns on a Neighborhood Level', 317–23.
- Österbring, Magnus, Liane Thuvander, É Mata, and Holger Wallbaum. 2018. 'Stakeholder Specific Multi-Scale Spatial Representation of Urban Building-Stocks'. <https://doi.org/10.3390/ijgi7050173>.



unt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

E2B2 genomförs i samverkan mellan
IQ Samhällsbyggnad och Energimyndigheten
åren 2013–2017. Läs mer på www.E2B2.se.

