

Forskarskolan Program Energisystem

Kunskapsutveckling genom samverkan
mellan teknik- och samhällsvetenskap



Slutrapport



Forskarskolan Program Energisystem

Kunskapsutveckling genom samverkan
mellan teknik- och samhällsvetenskap



Slutrapport 2016

**Forskningssyntes för konsortiet
Byggnader i energisystem**



Arbetsnotat nr 53
ISSN 1403-8307

Sammanfattning

Denna rapport ger en kortfattad översikt och syntes av tvärvetenskapliga forskningsresultat från verksamheten i konsortiet Byggnader i energisystem inom forskarskolan Program Energisystem. Tonvikten ligger på tiden från forskarskolans start 1997 till dess 15-årsjubileum 2012, men hänvisningar görs även till forskning publicerad därefter. Utgångspunkten har varit att lyfta fram det tvärvetenskapliga inom forskningen för att visa hur forskarskolan har bidragit till tvärvetenskaplig kunskaps- och metodutveckling.

I rapporten ges en översikt över fallstudier och avhandlingar inom konsortiet och de tvärvetenskapliga forskningsresultaten sammanfattas inom tre huvudsakliga tematiska områden: (1) Passivhus: boende och energieffektiva byggnadstekniker,

(2) Energieffektivisering: processer och aktörer, samt (3) Energianvändning, vardagsaktiviteter och småskalig solenergi i hushåll. Tvärvetenskapliga metoder och resultat sammanfattas och utvecklingen av samarbeten och angreppssätt beskrivs. Rapporten avslutas med några sammanfattande reflektioner kring hur framgångsrik tvärvetenskaplig forskning bör bedrivas.

Förord

Det tar tid att utveckla och skapa effektiva former för tvärvetenskaplig forskning. Det krävs många möten, diskussioner, konflikter och misslyckanden för att lyckas utveckla förståelse för varandras metoder och perspektiv. Inom Program Energisystem har vi antagit den utmaningen och ser att detta är en mognadsprocess som främjar tvärvetenskaplig kunskapsbildning och leder till många nya frågeställningar och lösningar som är hållbara ur både tekniskt och samhälleligt perspektiv.

Detta är huvudrapporten i slutrapporteringen från Program Energisystem som består av fem delar:

- Huvudrapport
- Forskningssynes för konsortiet Byggnader i energisystem
- Forskningssynes för konsortiet Industriella energisystem
- Forskningssynes för konsortiet Lokala och regionala energisystem
- Publikationer från Program Energisystem

Till slutrapporteringen ska också läggas alla avhandlingar och artiklar, konferensbidrag, arbetsnotat mm som producerats under Program Energisystems 20-åriga liv.

I rapporterna beskriver vi det tvärvetenskapliga samarbetet i forskning och forskarutbildning, både om metoder och resultat. Det främsta resultatet av Program Energisystem är 81 examinerade doktorer och licentiater med unika energisystemkompetenser, men också den goda publiceringen och de nätverk som byggts.

Program Energisystem finansierades vid starten 1997 av Stiftelsen för Strategisk Forskning. Energimyndigheten har varit vår huvudfinansör från antagningen 2001 till och med den sista antagningen 2010, där doktorandantagningar genomförts i princip vartannat år. Linköpings universitet har bidragit ekonomiskt till programledningsfunktionen. Andra forskningsfinansörer, näringsliv, kommuner och organisationer har lämnat viktiga bidrag. Tack!

Vi hoppas att rapporterna ger dig som läsare en god bild av Program Energisystem och av vad vi åstadkommit – trevlig läsning!

Göteborg, Linköping, Stockholm och Uppsala i oktober 2016, då merparten av texten sammanställdes, med uppdateringar i april 2019.

<i>Per Alvfors</i>	Kungliga Tekniska Högskolan
<i>Kajsa Ellegård</i>	Linköpings universitet
<i>Simon Harvey</i>	Chalmers
<i>Magnus Karlsson</i>	Linköpings universitet
<i>Bahram Moshfegh</i>	Linköpings universitet
<i>Jenny Palm</i>	Linköpings universitet
<i>Mats Söderström</i>	Linköpings universitet
<i>Joakim Widén</i>	Uppsala universitet

Förord till Forskningssynes för konsortiet Byggnader i energisystem

Syftet med denna rapport är att ge en kortfattad översikt och synes av tvärvetenskapliga forskningsresultat från verksamheten i konsortiet Byggnader i energisystem sedan starten av forskarskolan 1997 (konsortiet startade 1999). Vi har valt ut de tvärvetenskapligt mest relevanta delarna av de flera tusen sidor avhandlingstext som har producerats genom åren. Efter en indelning i ämnesområden och gjordes ett urval av de mest relevanta delarna av avhandlingarna. Innehåll och slutsatser från de utvalda delarna sammanfattades och integrerades utifrån ett antal frågeställningar. Grundarbetet har utförts gemensamt av de medverkande författarna. Arbetet har också diskuterats vid konsortiemöten och i arbetsgrupper.

Linköping och Uppsala i oktober 2016, då merparten av texten sammanställdes, med uppdateringar i april 2019

<i>Joakim Widén</i> (konsortieledare)	Uppsala universitet
<i>Helena Karresand</i>	Linköpings universitet
<i>Linn Liu</i>	Linköpings universitet
<i>Joakim Munkhammar</i>	Uppsala universitet
<i>Josefin Thoresson</i>	Linköpings universitet
<i>Anna Wallsten</i>	Linköpings universitet
<i>Magnus Åberg</i>	Uppsala universitet

Innehåll

Inledning	1
Syfte	2
Avgränsningar	2
Metod och arbetsgång	2
Disposition	3
Bakgrund och översikt	4
Doktorsavhandlingar	4
Fallstudier	6
Identifierade tvärvetenskapliga ämnesområden	7
Passivhus: boende och energieffektiva byggnadstekniker	9
Tvärvetenskaplig analys av lågenergibygnader	9
Hur lär man sig att leva i ett passivhus?	11
Ett vidare systemperspektiv på lågenergibygnader	12
Fönster för lågenergibygnader	13
Energieffektivisering: processer och aktörer	14
Förutsättningar för framgångsrika byggprocesser	14
Eldsjälar	14
Integrering av kunskaper och praktiker	15
Inkludering av de boende	16
En genomtänkt och förankrad strategi	17
Energianvändning, vardagsaktiviteter och småskalig solenergi i hushåll	20
Vardagliga aktiviteter och energianvändning	20
Beräkning av energianvändning från tidsanvändningsdata	21
Användning av solex och solvärme i hushåll	23
Solenergi i ett systemperspektiv	23
Solenergitekniker och system	24
Avslutande reflektioner	25
Referenser	26
Doktorsavhandlingar	26
Tvärprojektrapporter	27
Andra publikationer	28

Inledning

Program Energisystem bildades som en nationell tvärvetenskaplig forskarskola 1997. I forskarskolan har följande fem avdelningar från fyra universitet och högskolor ingått:

- Avdelningen för Energisystem, Linköpings universitet
- Tema Teknik och social förändring, Linköpings universitet
- Institutionen för teknikvetenskaper (Fasta tillståndets fysik) vid Uppsala universitet.
- Avdelningen för Energiprocesser, KTH
- Värmeteknik och maskinlära vid Chalmers (ingår sedan 2016 i avdelningen för Energiteknik)

Avdelningarna har haft egna forskningsinriktningar, men inom forskarskolan sker ett kontinuerligt tvärvetenskapligt utbyte som breddar dessa inriktningar. Forskarskolan finansierades från början av Stiftelsen för strategisk forskning och från 2001 huvudsakligen av Energimyndigheten.

Det övergripande syftet med Program Energisystem har varit att utveckla mångsidig kunskap som gynnar skapandet av uthålliga och effektiva energisystem. En grundläggande tanke vid bildandet var att många av de problem som vi i Sverige och övriga världen står inför gällande framtida energiförsörjning behöver hanteras med ett bredare angreppssätt än vad som ofta är fallet inom traditionell forskning. Energisystem bör betraktas, analyseras samt om- och utformas med hjälp av kunskaper från tekniska, ekonomiska och samhällsvetenskapliga områden. Forskningen inom Program Energisystem har från 1999 bedrivits inom tre olika konsortier där varje konsortium har haft deltagare i form av doktorander och seniorer från minst två av programmets deltagande forskningsavdelningar. På så sätt skapas förutsättningar för tvärvetenskapligt utbyte. Konsortiernas inriktningar är:

- Byggnader i energisystem
- Industriella energisystem
- Lokala och regionala energisystem

Konsortiet Byggnader i energisystem har sedan forskarskolans start bedrivit forskning om byggnader som system och byggnader som delar i det omgivande energisystemet. Forskningen har, inom detta övergripande område, haft flera olika inriktningar, t.ex. energieffektiva byggnadskomponenter, boendes vardagsaktiviteter och energianvändning, aktörers roller i byggprocesser, småskalig solel- och solvärmeproduktion i byggnader och byggnaders koppling till fjärrvärme- och elsystem.

Forskningen har i huvudsak bedrivits inom doktorandprojekt, både tekniska och samhällsvetenskapliga, och en viktig sammanhållande funktion hos forskarskolan har varit att organisera tvärvetenskaplig samarbete mellan doktoranderna. Med denna syntesrapport vill vi lyfta fram det centrala inom dessa samarbeten för att visa på mervärdet av samverkan inom forskarskolan. Vilken tvärvetenskaplig kunskapsuppbyggnad har skett inom konsortiet och vilka kunskapsluckor har fyllts? Var skulle vi ha varit idag utan konsortiet?

Syfte

Syftet med denna rapport är att ge en kortfattad översikt och syntes av tvärvetenskapliga forskningsresultat från verksamheten i konsortiet Byggnader i energisystem sedan starten av forskarskolan 1997. Fokus ligger på de 15 åren från 1997 till och med 2012, men hänvisningar görs även till forskning publicerad senare. Utgångspunkten har varit att lyfta fram det tvärvetenskapliga inom forskningen för att visa hur forskarskolan har bidragit till tvärvetenskaplig kunskaps- och metodutveckling.

Avgränsningar

Inom konsortiet har genom åren en mängd olika samhällsvetenskapliga och tekniska studier genomförts med olika grad av tvärvetenskaplighet och ämnesöverskridande samarbeten. Grundstommen i forskningen är de medverkande doktorandernas avhandlingar. I den här rapporten sammanfattas däremot inte alla de enskilda avhandlingarnas fullständiga innehåll, utan endast sådant som faller inom ett antal för konsortiet gemensamma tvärvetenskapliga teman eller som är resultatet av regelrätt tvärvetenskapligt samarbete.

De forskningsarbeten som vi har strukturerat syntesen utifrån, och som utgör huvuddelen av det material som den bygger på, är *doktorsavhandlingar* inom konsortiet. Andra arbeten har inkluderats i den mån det har befunnits relevant, men ingen systematisk genomgång har gjorts av dessa.

Metod och arbetsgång

Det huvudsakliga arbetet med forskningsyntesen har varit att välja ut de tvärvetenskapligt mest relevanta delarna av de flera tusen sidor avhandlingstext som har producerats genom åren. I ett första steg gjordes en indelning i ämnesområden och därefter ett urval av de mest relevanta delarna av avhandlingarna. I ett andra steg sammanfattades innehåll och slutsatser från

de utvalda delarna och i ett tredje steg integrerades innehållet utifrån ett antal frågeställningar.

Grundarbetet har utförts gemensamt av de medverkande författarna. Arbetet har också diskuterats vid konsortiemöten och i arbetsgrupper.

Disposition

I bakgrundskapitlet ges en bakgrund till byggnadskonsortiet samt en översikt över forskningen och de forskningspublikationer som har studerats i syntesarbetet. De tvärvetenskapliga forskningsområden som behandlas i syntesen introduceras också. I de följande kapitlen presenteras och diskuteras forskningen inom de tre identifierade huvudsakliga forskningsområdena. Avslutande reflektioner återfinns i det sista kapitlet.

Bakgrund och översikt

Konsortiets tvärvetenskapliga samarbeten har utgått från s.k. tvärprojekt, där doktoranderna tidigt i utbildningen och inom ramen för ett tvärvetenskapligt kurspaket har gjort en gemensam fallstudie av en byggnad eller ett område med energifokus. Dessa fallstudieobjekt har under doktorandernas fortsatta arbete kunnat utnyttjas för vidare studier och har i många fall legat till grund för fortsatt tvärvetenskapligt samarbete mellan doktoranderna.

Ett tvärvetenskapligt metodpaket har under åren byggts upp, där tekniska metoder (framför allt mätningar och simuleringar) och samhällsvetenskapliga metoder (t.ex. enkäter, intervjuer och tidsdagböcker) kompletterar varandra och/eller kombineras, vilket kommer att framgå i denna syntes. En viktig metod inom konsortiet har varit fallstudiemetodik, som har tillämpats på de olika fallstudieobjekten. En mer utförlig sammanställning av metoder har tidigare gjorts inom Program Energisystem (Karlsson m.fl., 2011), där mer information finns om de enskilda metoderna.

I det här avsnittet presenteras doktorsavhandlingarna och de olika fallstudieobjekten för att ge en översikt inför presentationen av konsortiets forskning i de kommande avsnitten.

Doktorsavhandlingar

Doktorsavhandlingarna inom konsortiet presenteras kortfattat i Tabell 1. Året som anges är publikationsår för avhandlingarna.

Tabell 1. Avhandlingar inom konsortiet Byggnader i energisystem publicerade mellan 1997 och 2017.

Författare	År	Titel	Lärosäte
Joakim Karlsson	2001	Windows: Optical performance and energy efficiency	Uppsala universitet
Monika Adsten	2002	Solar thermal collectors at high latitudes: Design and performance of non-tracking concentrators	Uppsala universitet
Björn Rolfsman	2003	Interaction between energy systems of buildings and utilities in an ever-changing environment	Linköpings universitet
Maria Brogren	2004	Optical efficiency of low-concentrating solar energy systems with parabolic reflectors	Uppsala universitet
Anna Green	2006	Hållbar energianvändning i svensk stadsplanering: Från visioner till uppföljning av Hammarby Sjästad och Västra Hamnen.	Linköpings universitet
Mari-Louise Persson	2006	Windows of opportunities: The glazed area and its impact on the energy balance of buildings	Uppsala universitet

Wiktor Glad	2006	Aktiviteter för passivhus: En innovations omformning i byggprocesser för energisnåla bostadshus	Linköpings universitet
Tobias Boström	2006	Solution-chemically derived spectrally selective solar absorbers	Uppsala universitet
Fredrik Karlsson	2006	Multi-dimensional approach used for energy and indoor climate evaluation applied to a low-energy building	Linköpings universitet
Anna Werner	2007	External water condensation and angular solar absorptance: Theoretical analysis and practical experience of modern windows	Uppsala universitet
Erica Löfström	2008	Visualisera energi i hushåll: Avdomeesticeringen av sociotekniska system och individ- respektive artefaktbunden energianvändning	Linköpings universitet
Patrik Rohdin	2008	Energy efficiency and ventilation in Swedish industries: Barriers, simulation and control strategy	Linköpings universitet
Magdalena Lundh	2009	Domestic heating with solar thermal: Studies of technology in a social context and social components in technical studies	Uppsala universitet
Charlotta Isaksson	2009	Uthålligt lärande om värmen? Domesticering av energiteknik i passivhus	Linköpings universitet
Andreas Jonsson	2010	Optical characterization and energy simulation of glazing for high-performance windows	Uppsala universitet
Joakim Widén	2010	System studies and simulations of distributed photovoltaics in Sweden	Uppsala universitet
Pia Grahn	2014	Electric vehicle charging impact on load profile	KTH
Johannes Persson	2014	Low-energy buildings: Energy use, indoor climate and market diffusion	KTH
Magnus Åberg	2014	System effects of improved energy efficiency in Swedish district-heated buildings	Uppsala universitet
Helena Karresand	2014	Appliances, activities and actors : Low energy housing - resources and restrictions for energy orders	Linköpings universitet
Joakim Munkhammar	2015	Distributed photovoltaics, household electricity use and electric vehicle charging: Mathematical models and case studies	Uppsala universitet
Mattias Hellgren	2015	Energy use as a consequence of everyday life	Linköpings universitet
Josefin Thoresson	2015	Omställning - Tillväxt - Effektivisering: Energifrågor vid renovering av flerbostadshus	Linköpings universitet
Linn Liu	2017	A systematic approach for major renovation of residential buildings	Linköpings universitet
Anna Wallsten	2017	Assembling the Smart Grid: On the Mobilization of Imaginaries, Users and Materialities in a Swedish Demonstration Project	Linköpings universitet

Fallstudier

Följande fallstudier har legat till grund för avhandlingar och tvärvetenskapliga samarbeten inom konsortiet fram t.o.m. 2015. I figur 1 visas var de studerade objekten är lokaliserade.

1. *Hammarby Sjöstad*. Stadsbyggnadsprojekt vid Hammarby sjö, Stockholm, med hållbarhets- och miljöfokus. Byggstart 1999. Fallstudie i Brogren och Green (2001) och Green (2006).
2. *Västra Hamnen*. Hållbar stadsdel i Malmö som planerades och började uppföras inför bostadsmässan Bo01. Byggstart 2000. Fallstudie i Green (2006).



Figur 1. Lokalisering av de tio fallstudieobjekten i konsortiets forskning. Se listan under avsnittet Fallstudier ovan för vilka objekt de olika siffrorna motsvarar.

3. *Lindås Park*. Bostadsområde med 20 bostadsrättslägenheter i lågenergi-
hus utanför Göteborg. Byggstart 2000. Fallstudie i Boström m.fl. (2003),
Glad (2006), Karlsson (2006), Persson (2006) och Isaksson (2009).
4. *Bottnevägen*. Bostadsområde med lågenergihus (par- och radhus) i Tors-
landa, Göteborg. Byggstart 2005. Fallstudie i Glad (2006).
5. *Oxtorget*. Bostadsområde i Värnamo med 40 lägenheter i lågenergihus.
Byggstart 2005. Fallstudie i Glad (2006).
6. *Anneberg*. Bostadsområde i Danderyd, norr om Stockholm, med 50 lä-
genheter i parhus och radhus. Uppvärmning av byggnader och förvärm-
ning av tappvarmvatten med takintegrerade solfångare anslutna till ett
borrhållslager. Byggstart 2000. Fallstudie i Jonsson m.fl. (2005), Löfström
(2008) och Lundh (2009).
7. *Lambohov*. Stadsdel i Linköping, där nio lägenheter med passivhusstan-
dard studerades, med byggstart 2006. Fallstudie i Karresand m.fl. (2009).
8. *Norra Djurgårdsstaden*. Stadsdel i Stockholm med miljöprofil som bör-
jade planeras i början av 2000-talet och beräknas vara fullt utbyggd om-
kring 2030. De första bostäderna började byggas 2011. Fallstudie i Grahn
m.fl. (2011).
9. *Stolplyckan-Magistratshagen*. Bostadsområde i centrala Linköping som
började renoveras 2006. Fallstudie i Küller m.fl. (2011).
10. Östra Sättra. Stadsdel med miljonprogramsbebyggelse i Gävle med en för-
sta renoveringsetapp klar under 2013. Fallstudie i Thoresson (2015).

Identifierade tvärvetenskapliga ämnesområden

Under arbetets gång identifierades tre huvudsakliga ämnesområden, inom vilka forskningsprojekten svarat på liknande frågeställningar och där tvärvetenskapliga samarbeten skett. Dessa är:

Passivhus: boende och energieffektiva byggnadstekniker. Hur fungerar energieffektiva byggnader? Här är fokus på funktion, upplevelse och domesticering av teknik och nya användningsmönster. Här ingår också frågor kring utveckling och utvärdering av komponenter i byggnadsskal och funktion hos byggnaden som helhet. Vilken påverkan får energieffektivisering på det omgivande energisystemet?

Energieffektivisering: processer och aktörer. Här ligger fokus istället på processen för energieffektivisering – hur uppnår vi energieffektiva byggnader,

antingen genom nybyggnation eller renovering? Vilka är förutsättningarna och hindren? Hur kan/bör processerna se ut?

Energianvändning, vardagsaktiviteter och småskalig solenergi i hushåll.

Här är fokus på den faktiska energianvändningen (el och värme) i bostäder och hur den kan tillgodoses med aktiv solenergi (solel och solvärme). Hur används energi i hushållen, kopplat till deras vardagliga aktiviteter, och hur kan solenergisystem utformas för att tillgodose den egna energianvändningen?

Resten av rapporten redovisar de huvudsakliga forskningsresultaten inom dessa områden.

Passivhus: boende och energieffektiva byggnadstekniker

Ett centralt tema för konsortiets forskning har varit tvärvetenskaplig analys av energieffektiva byggnaders funktion på olika systemnivåer, från enskilda byggnadskomponenter – med fokus på fönster – till hela byggnader och deras samverkan med omgivande energisystem. På alla nivåer finns också aktörer som gör val av tekniker. I det här avsnittet sammanfattas detta forskningsområde med tonvikt på hur tvärvetenskapliga undersökningar kan genomföras, som involverar både de boende och de tekniska installationerna. Avsnittet avslutas med en diskussion kring ett systemperspektiv på energieffektiva byggnader.

Tvärvetenskaplig analys av lågenergibygnader

Karlsson (2006) pekar på vikten av ett systemperspektiv på lågenergibygnader och att välja systemgräns beroende på vad som studeras. I avhandlingen förordas ett multidimensionellt angreppssätt, där byggnaden utvärderas ur många synvinklar och med olika systemgränser (t.ex. med gränsen runt ett enskilt rum, byggnadsskalet eller hela det omgivande energisystemet). I avhandlingen studeras lågenergibygnader med mätningar, energisimuleringar, CFD-simuleringar, kvalitativa intervjuer med boende och miljöutvärderingar, allt med syftet att möjliggöra en så bred analys som möjligt. Metoderna kan integreras eller komplettera varandra. Till exempel kan CFD integreras med byggnadssimulering och simuleringar kan kompletteras eller jämföras med mätningar. Intervjuer kan jämföras med mätningar och simuleringar för att studera hur de tekniska utvärderingsresultaten stämmer med de boendes egna upplevelser.

Åtminstone två stora fördelar med att kombinera metoder lyfts fram av Karlsson (2006): dels kan resultaten sammantaget ge en mer nyanserad bild av studieobjektet, som i fallet mätningar och intervjuer. I det fallet bör det inte ses som ett problem om man får olika svar (till exempel om simuleringar visar en sak men de boende hävdar något annat) eftersom det kan ge värdefull information om metodbegränsningar och visar att människor gör olika tolkningar av sina upplevelser. Dels kan resultaten stärka varandra. Om flera olika metoder ger exakt samma resultat ger det ett starkare stöd för ens slutsatser än om endast en metod hade använts.

Ett praktiskt exempel på ovanstående är den tvärvetenskapliga studie som Isaksson och Karlsson (2006) gjorde av lågenergihuset i Lindås Park (se Figur 2). I studien kombinerades mätningar av inomhusklimatet i byggnaderna med intervjuer med de boende. I vissa fall stämde den uppmätta

inomhustemperaturen inte överens med de boendes egna upplevelser, vilket förklarades av att placeringen av termometrar gjorde att en högre temperatur uppmättes än den som de boende vanligtvis hade erfarenhet av. I de flesta fall stämde dock de boendes upplevelser överens med mätningarna, vilket ökar trovärdigheten hos studiens resultat – till exempel angående temperaturskillnader mellan våningsplan och mellan olika byggnader.

Ett annat exempel är studien av Karlsson, Rohdin och Persson (2006) där tre olika simuleringsverktyg användes för att studera samma byggnad. För den studerade byggnaden var den största avvikelsen mellan simuleringsverktygens beräkningar av byggnadens energibehov omkring 2 procent. Genom en sådan undersökning kan man visa vilken osäkerhet som introduceras genom val av simuleringsmetod för samma fallstudie.

Detta forskningsspår har även fortsatt i konsortiets senare forskning. Persson (2014) har använt en tvärvetenskaplig metodik med bl.a. enkäter, intervjuer och simuleringar för att studera lågenergibygnader ur olika perspektiv och på olika systemnivåer.



Figur 2. Passivhusen i Lindås Park utanför Göteborg. Bilder från Boström m.fl. (2003).

Hur lär man sig att leva i ett passivhus?

Mätningar, simuleringar och intervjuer i kombination kan ge svar på hur lågenergibygnader fungerar och upplevs av de boende. För att få en djupare förståelse för hur hushållen uppfattar och tar till sig tekniken krävs mer djupgående studier och analyser.

Isaksson (2009) undersöker i sin avhandling närmare hur boende i passivhus lär sig att använda värmesystemet och göra det begripligt – hur de tekniska installationerna *domesticeras* i hemmet. En central aspekt som tas upp i avhandlingen är hur det sociala sammanhanget påverkar utfallet av passivhusets ”passiva principer”. Isaksson menar att utvecklingarna av konceptet har antagit att passivhuset fungerar för vilket hushåll som helst, medan avhandlingen på ett konkret sätt visar att så inte är fallet. När hushållsmedlemmarna själva ska bidra till värmen med sina aktiviteter och apparater spelar både tolkningar och förhållningssätt till värmekomfort och deras användning av energieffektiv teknik in. De boende måste lära sig att använda tekniken i ett socialt sammanhang i samspel med andra, både i det egna hushållet men också bland andra aktörer som grannar och bostadsbolag.

Isaksson visar också att synen på hushållsapparaterna förändras. Från att bara ha varit hushållsapparater får en del av apparaterna i hushållet plötsligt värmealstrande egenskaper, vilket skulle kunna resultera i så kallade *rebound effects*, vilket i så fall är ett misslyckande för energienergikonceptet. Ett annat viktigt bidrag handlar om vilka förutsättningar hushållen har att bo på ett energisnålt sätt i ett passivhus. Dels gäller det om hushållsmedlemmarna är hemma i så stor utsträckning att bostaden kan hålla en komfortabel inomtemperatur, dels om hushållets storlek och de aktiviteter som pågår där.

Framför allt visar Isaksson att det finns stora skillnader mellan hushållen och att det kan vara vanskligt att planera och bygga energieffektiva bostäder för ett ”medelhushåll”, då dylika knappast existerar. Att skillnaderna mellan hushålls energianvändning är stor har också visats i andra delar av konsortiets forskningsresultat, t.ex. i Karlsson och Widén (2008). Avhandlingen visar också att behovet av fördjupad forskning kring ”hur människor lever i verkligheten” är stort, framförallt i förhållande till de satsningar på energieffektivisering som planeras i framtiden.

Skillnaderna mellan hushåll poängteras också av Karresand (2014) som studerar hushållens energianvändning i passivhus med fokus på hushållens aktiviteter, och hur genomförandet av dessa påverkas av resurser, restriktioner och möjligheter av olika slag.

Ett vidare systemperspektiv på lågenergibygnader

En lågenergibygnad samverkar i allmänhet med det omgivande energisystemet på ett eller annat sätt – mest uppenbart om byggnaden är ansluten till ett fjärrvärmenät. Utöver att utvärdera energiprestandan hos enskilda byggnadstekniker och byggnader är det viktigt att lyfta blicken och studera vilken

påverkan energieffektivisering har på det omgivande energisystemet. En viktig forskningsfråga är hur effektiviseringsåtgärder i byggnadsbeståndet påverkar de lokala fjärrvärmesystemen.

Rolfsman (2003) studerar hur förändringar i byggnaden som energisystem påverkar och påverkas av omgivande energisystem, med fokus på byggnader i fjärrvärmesystem. I fem delstudier undersöker Rolfsman hur energisparåtgärder, som extra isolering och fönsterbyten i byggnadens klimatskärm, samt installation av alternativa värmesystem, påverkar det lokala fjärrvärmesystemet. De huvudsakliga slutsatserna är till stor del metodologiska; de metoder och olika typer av modeller som appliceras på lokala energisystem i avhandlingen kan vara värdefulla i vidare studier av hur byggnader interagerar med omgivande energisystem. Rolfsman menar också att de ingående delstudierna utgör specifika exempel på hur byggnader energimässigt påverkar och påverkas av sin omgivning samt att vissa av resultaten i delstudierna pekar på att ett samarbete mellan värmeproducenter och användare skulle vara önskvärt.

Åberg (2014) fortsätter på detta forskningsspår och undersöker effekterna av energieffektivisering i byggnader på fjärrvärmesystem med hjälp av optimeringsmetoder. Slutsatserna från forskningen är att en reducerad värmelast i byggnaderna minskar fjärrvärmesektorns koldioxidutsläpp. Även Liu (2017) visar på viktiga samband mellan energibesparing i byggnader och koldioxidutsläpp och primärenergianvändning beroende på energisystemlösning och omgivande energisystem.

Fönster för lågenergibygnader

En ytterligare forskningsinriktning inom konsortiet har varit utveckling och utvärdering av energieffektiva fönster för lågenergibygnader. Till exempel gjorde Karlsson (2001) en utvärdering av optiska och termiska egenskaper hos olika typer av fönster och utvecklade en modell för att jämföra energieffektivitet hos fönster i olika klimat. Persson (2006) studerade hur fönsterareans storlek i en byggnad påverkar energibalansen. Werner (2007) studerade vinkelberoendet hos fönsters absorption av solljus och utvärderade kondensbildning på välisolerade fönster. Jonsson (2010) använde energisimuleringar för att utvärdera olika fönster, i synnerhet elektrokroma och antireflexbehandlade fönster. Många av de enskilda resultaten från dessa avhandlingar är användbara vid utformning av lågenergibygnader, men är för tekniskt fokuserade för att behandlas mer i detalj.

Energieffektivisering: processer och aktörer

En forskningsfråga som har varit gemensam för ett antal avhandlingar inom konsortiet är hur goda förutsättningar för energieffektivisering kan skapas vid nybyggnation, renovering, drift och verksamhet i byggnader. I Sverige har ett antal bostadsområden med energieffektiva byggnader uppförts, där uppfyllelsen av uppsatta energimål har varit låg eller oklar. Hur kan detta förklaras? Vilka är drivkrafterna, hindren och förutsättningarna för en framgångsrik planerings- och genomförandeprocess och vilken roll spelar olika aktörer?

Förutsättningar för framgångsrika byggprocesser

Hinder, drivkrafter och förutsättningar för processer för energieffektivt byggande har huvudsakligen studerats i två avhandlingar inom konsortiet. Anna Greens avhandling (Green, 2006) fokuserar på två större stadsplaneringsprojekt, Västra Hamnen i Malmö och Hammarby Sjöstad i Stockholm (se Figur 3). Wiktorija Glads avhandling (Glad, 2006) behandlar byggprocessen för tre mindre bostadsområden, Lindås Park i Göteborg (inom projektet *Hus utan värmesystem*), Bottnevägen i Göteborg och Oxtorget i Värnamo. I båda avhandlingarna studeras hur planerings- och byggprocesserna för områdena såg ut; vilka de inblandade aktörerna var och vilka roller de hade, hur och varför olika tekniska lösningar utnyttjades eller inte utnyttjades och hur kunskaper och erfarenheter spreds och tillämpades i projekten. Utöver dessa inkluderar Patrik Rohdins avhandling (Rohdin, 2008) en kartläggning av hinder och drivkrafter för energieffektivisering i tre olika typer av företag, vilket kan jämföras med resultaten från byggprocesserna. I konsortiets senare forskning har Thoresson (2015) även studerat arbete med energifrågor vid renovering av flerbostadshus byggda under miljonprogrammet.

Fyra huvudsakliga förutsättningar för framgångsrika processer för implementering av energieffektiv teknik har kunnat identifieras i konsortiets forskning på området: (1) eldsjälur som är drivande i processen, (2) integrering av olika typer av kunskaper och praktiker, (3) inkludering av boende, samt (4) en genomtänkt och väl förankrad strategi. Dessa förutsättningar diskuteras i de härpå följande fyra avsnitten.

Eldsjälar

Engagerade och drivande aktörer är en viktig förutsättning för att en byggprocess som involverar ny teknik som kan vara oprövad eller som det saknas kunskap om hos inblandade aktörer ska vara framgångsrik. Green (2006),

Glad (2006) och Rohdin (2008) pekar alla på vikten av personer med engagemang och ambitioner som kan vara drivande i processerna. Rohdin (2008) visar, i tre olika studier av hinder och drivkrafter för energieffektivisering i olika typer av företag, att personer med höga ambitioner och möjligheter att genomdriva åtgärder för energieffektivisering är en av de viktigaste drivkrafterna. I icke-energiintensiv industri är information om effektiviseringspotential och kostnader för att utreda möjliga effektiviseringsåtgärder avgörande hinder för effektivisering. På samma sätt har det i byggbranschen funnits brist på kunskap om olika energieffektiva byggnadstekniker och vikten av personer med kunskap, engagemang och nätverk har därför varit stor.

Enligt Glad (2006) var det till exempel i projektet *Hus utan värmesystem* viktigt att passivhuskonceptet ansågs trovärdigt och att det fanns en *bärare* av konceptet som involverade personer i sitt nätverk för att starta och driva forsknings- och byggprojektet och som förespråkade och försäkrade konceptets funktion. Det var i det fallet arkitekten Hans Eek som under projektets genomförande höll fast vid konceptet, förmedlade det till massmedia och lyckades mobilisera flera aktörer som fyllde viktiga funktioner. Glad (2006) använder begreppet *eldsjäl* för att beskriva Eeks roll: "Eldsjälar har ett engagemang utöver det vanliga och kan sätta igång projekt som för utomstående verkar ogenomförbara".

Exakt vilken teknik som används i ett visst projekt varierar och åtminstone till viss del beror detta på om det finns ett personligt engagemang för en viss teknik hos aktörerna i processen. Green (2006) konstaterar, liksom många andra har gjort, att byggbranschen är konservativ, svår att förändra och vanligtvis använder beprövad teknik. Om det inte finns aktörer från alternativa byggkulturer med i ett projekt minskar förutsättningarna för att ny teknik ska användas. Glad (2006) visar att olika tekniker användes i de tre studerade projekten och att detta berodde på alla tekniker inte hade bärare som förespråkade dem i processen.

Integrering av kunskaper och praktiker

När ny teknik ska tillämpas i en byggprocess är det till att börja med viktigt att konceptet överförs från tidigare genomförda projekt och att erfarenheter och kunskaper kan utnyttjas. Glad (2006) visar att det var viktigt att konceptet "hus utan värmesystem", som utvecklades i Tyskland, anpassades till svenska förhållanden och en svensk publik. Det kommunala Egnahemsbolaget, som var byggherre, behövde också visuella intryck från studiebesök i Tyskland för att övertygas att satsa på konceptet. I ett tvärprojekt från 2011 (Küller, Liu, & Thoresson, 2011) visade det sig på samma sätt att studiebesök och visuella intryck från ett tidigare renoveringsprojekt i Sverige var

viktiga erfarenheter i planeringen för ett byggprojekt, i detta fall för hur renoveringen skulle utformas och vilka åtgärder som ingår i renoveringen.

En viktig förutsättning för effektiva byggprocesser gäller också kunskapsöverföringen *inom* ett projekt, *mellan* de inblandade aktörerna. I synnerhet gäller detta förhållandet mellan teoretisk kunskap och praktisk erfarenhet, där den förstnämnda oftast innehas av forskare och konsulter och den senare innehas av entreprenörerna som genomför själva byggnationen. Glad (2006) visar att det i genomförandet av *Hus utan värmesystem* var svårt att förena teori och praktik. Teorin diskuterades ofta av forskare på de seminarier som arrangerades, praktiken under projekteringsmötena av byggen-treprenören, som ansåg att det inte gick att bygga som experterna föreslog. Entreprenören, som gavs rollen att ensam genomföra byggandet, fortsatte forma konceptet och anpassa teknikerna för att passa deras gängse verksamhet. Det fick till exempel resultatet att andra fönster än de arkitekten tänkt sig köptes in och att andra vitvaror än de av bästa energiklass valdes. Hur kunskapsöverföringen organiseras och uppmuntras är alltså avgörande i en byggprocess.

Inkludering av de boende

Något som tydligt framhålls i avhandlingarna är vikten av att inkludera de boende tidigt i processen. Green och Glad (2007) konstaterar att ett gott slutresultat främjas av att de inblandade aktörerna har ett långsiktigt intresse för energifrågor och byggnadernas hela livscykelperspektiv, vilket talar för att involvera de boende. I de studerade svenska projekten har det inte skett i någon större utsträckning och de boende har inte varit väl informerade om vad som har krävts av dem. I *Hus utan värmesystem* utredde forskare grundligt vad teknikens funktion skulle kunna vara, men de som skulle bo i byggnaderna och de boendes energianvändning eller relation till tekniken var inte inkluderade i planeringen (Glad, 2006).

Green (2006) visar också att de boende ofta hade en undanskymd roll i byggprocesserna. I Västra Hamnen och Hammarby Sjöstad flyttade inte de boende till områdena för deras miljöprofiler, miljöfrågor har inte heller lyfts fram i byggherrarnas reklam, och det har inte ställts några miljörelaterade krav på de som flyttar in. Detta trots att det i de tidiga plandokumenterna framgick att beteendeförändringar skulle krävas för att energimålen skulle uppnås. De boende fick främst skriftlig information och inkluderades inte i planeringsprocesserna, men de ville vara med och påverka och har i efterhand varit aktiva och uppmärksammat fel och brister.

Att försöka påverka och ändra människors beteende lyfts ofta fram som viktigt av byggherrar och politiker. Green (2006) poängterar dock att det är svårt att ändra beteende när informationen varit så begränsad som den var i Hammarby Sjöstad och Västra Hamnen. Något som kan ta tillvara på potentialen för beteendeförändringar är genomtänkta system och installationer för att underlätta vissa typer av förändringar. I Hammarby Sjöstad fanns underlättande system för sophantering, vilket gjorde att flera av de boende sopsorterade, men inga sådana verktyg – till exempel individuell mätning – fanns vad gällde energianvändningen.

Även i senare svenska projekt har inkludering av boende saknats. Tvärprojektet Küller et al. (2011) visar att de boende inte heller i renoveringen av Stolplyckan-Magistratshagen inkluderades i planeringsprocesserna, trots att det i det fallet till och med fanns boende på plats.

En genomtänkt och förankrad strategi

Rohdin (2008) visar att förekomsten av en långsiktig strategi är en avgörande drivkraft för energieffektiviseringsåtgärder i företag, vid sidan av drivande och engagerade personer. För projekt inom energieffektivt byggande är det på samma sätt viktigt med en genomtänkt strategi för planerings- och byggprocessen, som är förankrad hos de deltagande aktörerna, och där det finns en insikt om de olika aktörernas intressen, verkliga syften och möjliga intressekonflikter.

Avhandlingarna visar att det är viktigt att inblandade aktörer är medvetna om och ärliga kring sina respektive grundläggande intressen och vilka de verkliga syftena med projekten är. Detta kan – och bör – påverka vilka aktörer som deltar och på vilket sätt. I Hammarby Sjöstad var till exempel det medverkande energibolaget inte i grunden intresserat av alternativa energilösningar eftersom tillgång till fjärrvärme fanns och det låg i deras intresse att utnyttja den (Green, 2006). En avgörande drivkraft bakom flera aktörers medverkan verkar istället ha varit Hammarby Sjöstads roll i Stockholms OS-ansökan. Projektet kunde ge strålgång åt satsningen och medverkande företag kunde visa synlig och ny teknik i marknadsföringssyfte. Detta bekräftas också av att intresset för nya energilösningar och satsningar i Hammarby Sjöstad minskade när OS inte kom till Stockholm. Liknande intressen var viktiga i Västra Hamnen, som byggdes för den stora bomässan Bo01 (Green, 2006).

Hammarby Sjöstad och Västra hamnen präglades också av en intressekonflikt mellan marknadstänkande och energieffektiviseringsåtgärder inom den kommunala stadsplaneringen. Hammarby Sjöstad och Västra Hamnen är

enligt Green (2006) exempel på ny stadspolitik som handlar om att främja förutsättningar för tillväxt, med ökat marknadstänkande som följd och där privata aktörer fått ökat inflytande över planprocessen. Bostadsbyggandet är idag avreglerat och stora byggprocesser för energieffektivisering sker på marknadens villkor. Green pekar på att detta bidrog till försumlighet i strävanden mot att bygga energisnåla hus. Å ena sidan vill kommunen planera för låg energianvändning som uppenbart inte är kortsiktigt kostnadseffektiv, men å andra sidan åstadkomma detta inom en marknadsdriven stadspolitik.

Hur bör då planerings- och byggprocessen för energieffektiva byggnader och energieffektivt boende organiseras strategiskt? För att lyckas med kunskapsöverföring och hantering av byggbranschens tröghet är det viktigt att byggentreprenören är med tidigt och känner till och involveras i planerna. Glad (2006) visar att det är viktigt att entreprenörerna ska känna till grundtanken med projekten för att sedan ha möjlighet att omsätta idéerna i byggfasen. Green (2006) antyder även att en mer integrerad process skulle kunna behövas i större stadsplaneringsprojekt. Kommunen ger ofta byggherrarna i stora byggprojekt friheten att själva välja tekniska lösningar under förutsättning att energimålen uppnås, vilket inte har visat sig vara så lyckosamt. Detta visar på att samordning och kommunikation under hela planerings- och byggprocessen är viktig. Av de tre projekt som Glad studerade var Oxtorget det projekt där glappet mellan teori och praktik var som minst, och där involverades entreprenören mycket tidigt. Även inkludering av de boende, som ska utnyttja husen, är viktigt, liksom påföljande driftsfas och förvaltning.

En välplanerad och välförankrad process är viktig för att komma tillrätta med ett annat hinder under byggprocesser för energieffektiva byggnader, nämligen att det är vanligt att projekt är under stark tidspress. Det gör att projektet inte har tid att exempelvis förhandla kring nya energilösningar som behövs för att sådana ska kunna realiserars. Varje timme kostar i byggbranschen och kommunen hade press på sig att producera nya bostäder, vilket också ledde till att det i vissa av de studerade projekten byggdes i högt tempo som resulterade i många byggfel (Green, 2006).



Figur 3. Stadsdelarna Hammarby Sjöstad i Stockholm (överst) och Västra Hamnen i Malmö (underst). Bilder från Wikimedia Commons.

Energianvändning, vardagsaktiviteter och småskalig solenergi i hushåll

Solenergi har från forskarskolans start varit ett centralt tema i byggnadskon-sortiets forskning. Forskningen har under åren utvecklats från rent teknisk forskning kring utveckling och utvärdering av solenergisystem till bredare systemanalyser kopplade till energianvändning. Hur kan till exempel människors behov av energi i bostäder tillgodoses med sol och solvärme? Hur inverkar de boendes vardagliga aktiviteter på utnyttjandet av småskalig sol och solvärme? I det här avsnittet sammanfattas forskningen, med fokus på det tvärvetenskapliga metodpaketet som har utvecklats för att studera dessa frågor.

Vardagliga aktiviteter och energianvändning

Under senare år har konsortiets forskning kring solenergi utgått från ett mycket brett systemperspektiv. En viktig del i detta har varit utvecklingen av en tvärvetenskaplig metod för att studera och modellera aktiviteter och energianvändning i hushåll. Grunden till den tvärvetenskapliga ansatsen lades framför allt av Widén (2010) och har fortsatt att utvecklas i ett antal pågående forskningsprojekt. En central del av denna forskning är tidsanvändningsdata som samlas in med hjälp av dagböcker där hushållsmedlemmar noterar sina vardagliga aktiviteter med hög tidsupplösning.

Löfström (2008) diskuterar tidsdagböcker både som metod för kartläggning av vardagliga aktiviteter i hushåll och som ett verktyg för att göra hushållen medvetna om sina egna energirelaterade aktiviteter. I avhandlingen studerades ett antal hushåll i Anneberg utanför Stockholm. I de studerade hushållen skrev informanterna dagböcker och fick återkoppling genom att de angivna aktiviteterna visualiserades i datorprogrammet Vardagen. Hushållen intervjuades i samband med detta och fick diskutera hur de upplevde tidsdagböckerna och återkopplingen. Tanken med visualiseringen var att synliggöra det komplexa vardagslivets väv av aktiviteter för informanterna.

Löfström diskuterar olika fördelar och nackdelar med metoden och redovisar vilka reaktioner informanterna har på resultaten av visualiseringen. Till exempel insåg en informant hur fragmenterad vardagen var och hur stressig dennes tillvaro framstod som. En annan informant reagerade över hur inrutat vardagslivet var. Studien visar att visualisering av tidsdagböcker kan ligga till grund för ökad medvetenhet och förändringar i de boendes vardagsliv. Däremot noterar Löfström att det inte är uppenbart att informanterna kan relatera sina aktiviteter till energianvändning eftersom själva energianvänd-

ningen inte visualiseras. Som en utvecklingsmöjlighet nämner Lofström att just visualisera mätdata för elanvändningen tillsammans med aktiviteter.

Karlsson & Widén (2008) byggde vidare på denna idé i en tvärvetenskaplig studie av ett antal hushåll. Undersökningen gjordes som del i en stor mätstudie som genomfördes av Energimyndigheten mellan 2005 och 2008. De studerade hushållen fyllde i tidsdagböcker samtidigt som deras elanvändning mättes upp, med hög tidsupplösning och uppdelat på enskilda apparater. Detta möjliggjorde en mycket detaljerad återkoppling där dagböckerna visualiserades tillsammans med elanvändningsprofiler för olika apparatkategorier. Till skillnad från en visualisering av enbart tidsanvändningsdata gjorde detta kopplingen mellan aktiviteter och elanvändning tydligare och det var möjligt för hushållen att bedöma vilka aktiviteter som var mest relevanta för att förklara elanvändning och bedöma möjligheter till besparingar.

I konsortiets senare forskning studerade Wallsten (2017) tillkomsten av smarta elnät och svenska hushålls del i dessa. Studien visade att det finns en outnyttjad potential hos hushållen ”vars deltagande dikteras av marknadsmässiga villkor och ekonomiska incitament snarare än ansvar och delaktighet”.

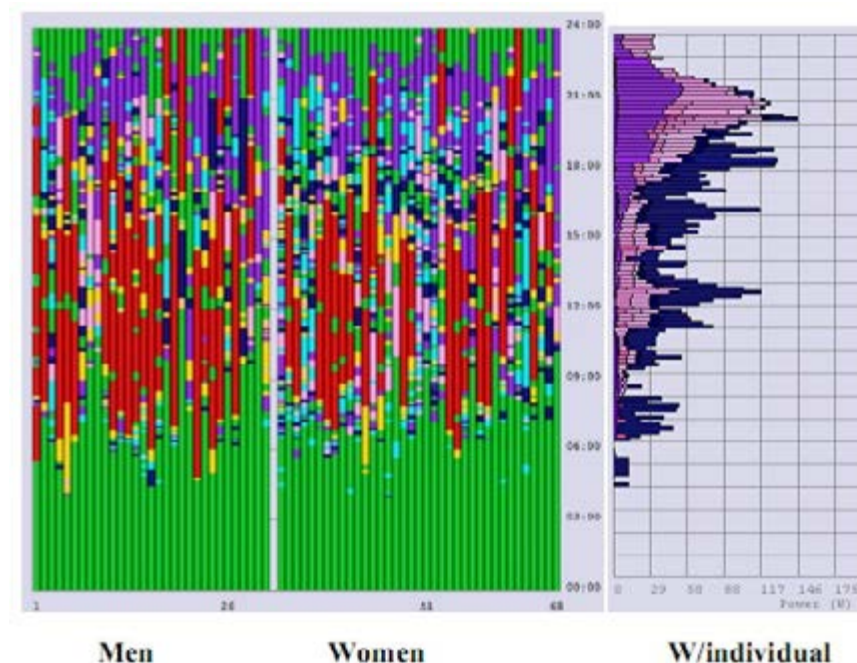
Beräkning av energianvändning från tidsanvändningsdata

Ett alternativ till att mäta energianvändning i hushåll är att modellera energianvändningen utifrån tidsanvändningsdata insamlade via tidsdagböcker. Detta underlättar dels återkoppling till hushåll med samtidig visualisering av aktiviteter och energianvändning eftersom utrustning för mätning av elanvändningen kan undvikas, dels möjliggör det generering av energianvändningsprofiler i hushåll för ett stort antal möjliga tillämpningsområden. Metoden utvecklades inom byggnadskonsortiet, främst av Widén (2010), som utnyttjade den för studier av användning av småskalig solcell i hushåll, och till viss del av Lundh (2009), som använde den för studier av solvärmesystem.

De energianvändningsmodeller som har utvecklats inom konsortiet kan delas upp i *deterministiska* och *stokastiska* modeller. I den deterministiska modellen konverteras sekvenser av aktiviteter till profiler för energianvändning genom att specifika aktiviteter kopplas till en viss typ av elektrisk utrustning eller ett visst tappställe för varmvatten. Resultatet är en gemensam el- eller varmvattenanvändningsprofil för varje hushåll som har noterat sina aktiviteter i en tidsdagbok. Typiska lastkurvor kan på det sättet tas fram för olika typer av hushåll om man har tillgång till en stor population med tidsanvändningsdata. Metoden har även integrerats i datorprogrammet Visual-TimePACTS för samtidig visualisering av aktiviteter och elanvändning

(se Figur 4). Senare har Hellgren (2015) undersökt mer i detalj hur människors dagliga sekvenser av aktiviteter är sammanvävda med energianvändning. I dessa analyser användes bl.a. den deterministiska modellen för att uppskatta energianvändning vid olika aktiviteter.

I den stokastiska modellen (Widén, 2010) utnyttjas de stora dataset för tidsanvändning som samlas in av Statistiska Centralbyrån (SCB) med jämna mellanrum. Modellen utgörs av en s.k. Markov-kedja (en stokastisk process) där sannolikheter för övergångar mellan olika aktiviteter skattas från det stora antalet aktivitetsprofiler i SCB-datat. I modellen kan syntetiska aktivitetsprofiler genereras för ett godtyckligt antal personer över en valfri tidsperiod. Dessa kan sedan omvandlas till lastkurvor för energianvändning på samma sätt som i den deterministiska modellen. Den stokastiska modelleringen möjliggör flexibel generering av realistiska användarprofiler till olika energisystemsimuleringar med ett minimum av indata. Widén m.fl. (2012) sammanfattar alla typerna av modellering och beskriver hur modellen kan utvidgas och tillämpas inom ett flertal områden, t.ex. för beräkning av interna värmelaster i byggnadssimulering samt laststyrning.



Figur 4. Aktiviteter och beräknad elanvändning i Visual-TimePACTS. Bild från Karlsson m.fl. (2011).

Användning av solex och solvärme i hushåll

I ett flertal studier har konsortiets tvärvetenskapliga metodpaket använts för att studera användning av småskaliga anläggningar för solex och solvärme i hushåll. Widén (2010) studerade egenanvändning av solex i hushåll med egen solexproduktion, dels utifrån modellerna som beskrevs ovan, dels utifrån mätdata. En viktig slutsats var att egenanvändningen av solex normalt är låg och att det utan stödformer för egen elproduktion var svårt att få någon ekonomi i småskaliga solcellsanläggningar, åtminstone vid studiernas genomförande. En central observation är också att variationerna i energianvändning mellan olika hushåll – både när det gäller total energianvändning och lastprofiler – är mycket stora. I en studie (Widén och Karlsson, 2009) kunde vanor och rutiner i hushållen kartläggas via intervjuer och användas för att förklara skillnader i lastkurvor – till exempel varför viss elanvändning sker vid olika tidpunkter på dagen och varför hushållen använder olika mycket energi till olika sysslor. Detta visar återigen vilken nytta som finns i att kombinera metoder i ett tvärvetenskapligt angreppssätt.

Lundh (2009) använde varmvattenprofiler modellerade från aktivitetsdata med modellen som beskrevs ovan för att studera småskaliga solvärmesystem i byggnader. Målet var att utreda hur olika användarprofiler påverkar de energibesparingar som kan uppnås med ett solvärmesystem. Resultaten visade på en viss inverkan från varmvattenprofilen på systemens funktion, även om varmvattentanken i solvärmesystem gör att skillnader i varmvattenanvändning jämnas ut på ett helt annat sätt än vad som är fallet för elanvändningsprofiler i enskilda hushåll.

Solenergi i ett systemperspektiv

En viktig del av konsortiets forskning om solenergi är hur solenergitillämpningar fungerar i större system. Vilka är utmaningarna med att integrera solex och solvärme i omgivande energisystem? Här är konsortiets tvärvetenskapliga forskningsmetodik central, eftersom den möjliggör inkludering av människors vardagliga aktiviteter i analysen.

Widén (2010) studerade omfattande utbyggnad av småskaliga solcellsanläggningar på olika nivåer i det svenska kraftsystemet. Utifrån den stokastiska modellen som beskrevs ovan gjordes detaljerade simuleringar av eldistributionsnät med stora mängder solexproduktion ansluten. Den detaljerade simuleringen gjorde det möjligt att se hur nätspänningar, förluster och effektflöden påverkas av variationer i elanvändningsprofiler och massiv lokal solexproduktion. Även studier av hur variationer i solexproduktion sammanlagras över Sverige och vilken påverkan en omfattande anslutning av sol-

cellsanläggningar skulle ha på det svenska kraftsystemet diskuteras i Widén (2010) utifrån simuleringsresultat.

Lundh (2009) och Löfström (2008) gjorde en socioteknisk utvärdering av ett storskaligt solvärmesystem med borrhålslager i Anneberg utanför Stockholm, vilket är ytterligare ett exempel på en studie där intervjuer och mätningar kombinerades. Tvärvetenskapligheten bestod i att en teknisk undersökning av systemet kombinerades med intervjuer med boende. Den tekniska utvärderingen visade att systemet i stort sett fungerade som det var tänkt, medan intervjuerna visade att de boendes upplevelser av systemet var en annan. En viktig förklaring till att de boende var missnöjda visade sig dock vara att de hade förväntningar på systemet som inte införades. En viktig slutsats är att information till de boende, liksom deras medverkan, är avgörande och att en tvärvetenskaplig studie kan ge en mer mångfacetterad bild än ensidigt tekniska eller samhällsvetenskapliga studier.

I konsortiets senare forskning har Munkhammar (2015) och Grahn (2014) gjort simuleringsstudier av solex och laddning av elbilar i ett systemperspektiv.

Solenergitekniker och system

En del av konsortiets forskning om solenergi har också varit inriktad på teknikutveckling och systemutformning för effektivare utnyttjande av solenergi och reduktion av kostnader. Adsten (2002) studerade koncentrerande solfångare vid höga breddgrader, med fokus på den s.k. MaReCo-solfångaren (Maximum Reflector Collector), där reflektorer används för att koncentrera solinstrålningen mot en absorbatör. I avhandlingen behandlas utformning av systemet, tester och optimering av systemorientering. Brogren (2004) studerade också reflektorer, men för solcellssystem och kombinerade solcells- och solvärmesystem. I avhandlingen presenteras resultat kring material, systemutformning och modellering. En viktig slutsats är att paraboliska reflektorer kan öka utbytet från solceller och minska kostnader. Boström (2006) utvecklade en kemisk process för att ta fram ytbeläggningar för solabsorbatorer, även här med målet att minska kostnader, i det här fallet för spektralselektiva solfångare.

Avslutande reflektioner

Forskningssyntesen och erfarenheterna från Program Energisystems byggnadskonsortium har gett oss insikt i hur tvärvetenskaplig systemforskning om byggnader i energisystemet framgångsrikt bör bedrivas:

- Gemensamma fallstudier som påbörjas tidigt under doktorandtiden är en bra bas för tvärvetenskapligt samarbete och har i många fall lett till fortsatt samarbete och legat till grund för en stor del av avhandlingsarbetet.
- Forskningen inom konsortiet visar att kombinationer av tekniska och samhällsvetenskapliga metoder på ett konkret sätt kan ge upphov till nya angreppssätt och ge ny kunskap. De kan t.ex. både skapa en mer nyanserad bild av ett forskningsobjekt och förstärka slutsatser om det.
- En viktig del i konsortiets forskning har varit att gå från medelvärden (t.ex. energianvändning per år) och aggregat (t.ex. total tidsanvändning för aktiviteter i en hel population) till att uppmärksamma skillnader mellan hushåll och sekventiella data för energi- och tidsanvändning med hög tidsupplösning.
- Från konsortiet finns också exempel på framgångsrika tvärvetenskapliga samarbeten mellan doktorander och seniorforskare från olika vetenskapsområden (t.ex. Joakim Widén, UU, och Kristina Karlsson, LiU) och mellan doktorander från olika antagningsomgångar. En förutsättning för detta är att det finns en kontinuitet med överlappande doktorandgenerationer och deltagande av seniorforskare.

Referenser

Doktorsavhandlingar

- Adsten, M. (2002), Solar thermal collectors at high latitudes: Design and performance of non-tracking concentrators, Uppsala universitet.
- Boström, T. (2006), Solution-chemically derived spectrally selective solar absorbers, Uppsala universitet.
- Brogren, M. (2004), Optical efficiency of low-concentrating solar energy systems with parabolic reflectors, Uppsala universitet.
- Glad, W. (2006), Aktiviteter för passivhus: En innovations omformning i byggprocesser för energisnåla bostadshus, Linköpings universitet.
- Grahn, P. (2014), Electric vehicle charging impact on load profile, KTH.
- Green, A. (2006), Hållbar energianvändning i svensk stadsplanering: Från visioner till uppföljning av Hammarby Sjöstad och Västra Hamnen, Linköpings universitet.
- Hellgren, M. (2015), Energy use as a consequence of everyday life, Linköpings universitet.
- Isaksson, C. (2009), Uthålligt lärande om värmen? Domesticering av energiteknik i passivhus, Linköpings universitet.
- Jonsson, A. (2010), Optical characterization and energy simulation of glazing for high-performance windows, Uppsala universitet.
- Karlsson, F. (2006), Multi-dimensional approach used for energy and indoor climate evaluation applied to a low-energy building, Linköpings universitet.
- Karlsson, J. (2001), Windows: Optical performance and energy efficiency, Uppsala universitet.
- Karresand, H. (2014), Appliances, activities and actors : Low energy housing – resources and restrictions for energy orders, Linköpings universitet.
- Liu, L. (2017), A systematic approach for major renovation of residential buildings, Linköpings universitet.
- Lundh, M. (2009), Domestic heating with solar thermal: Studies of technology in a social context and social components in technical studies, Uppsala universitet.
- Löfström, E. (2008), Visualisera energi i hushåll: Avdomesticeringen av sociotekniska system och individ- respektive artefaktbunden energianvändning, Linköpings universitet.
- Munkhammar, J. (2015), Distributed photovoltaics, household electricity use and electric vehicle charging: Mathematical models and case studies, Uppsala universitet.

- Persson, J. (2014), Low-energy buildings: Energy use, indoor climate and market diffusion, KTH.
- Persson, M.-L. (2006), Windows of opportunities: The glazed area and its impact on the energy balance of buildings, Uppsala universitet.
- Rohdin, P. (2008), Energy efficiency and ventilation in Swedish industries: Barriers, simulation and control strategy, Linköpings universitet.
- Rolfsman, B. (2003), Interaction between energy systems of buildings and utilities in an ever-changing environment, Linköpings universitet.
- Thoreson, J. (2015), Omställning – Tillväxt – Effektivisering: Energifrågor vid renovering av flerbostadshus, Linköpings universitet.
- Wallsten, A. (2017), Assembling the Smart Grid, On the Mobilization of Imaginaries, Users and Materialities in a Swedish Demonstration Project, Linköpings universitet.
- Werner, A. (2007), External water condensation and angular solar absorptance: Theoretical analysis and practical experience of modern windows, Uppsala universitet.
- Widén, J. (2010), System studies and simulations of distributed photovoltaics in Sweden, Uppsala universitet.
- Åberg, M. (2014), System effects of improved energy efficiency in Swedish district-heated buildings, Uppsala universitet.

Tvärprojektrapporter

- Boström, T., Glad, W., Isaksson, I., Karlsson, F., Persson, M.-L., Werner, A. (2003), Tvärvetenskaplig analys av lågenergihusen i Lindås Park, Göteborg, Arbetsnotat 25, Program Energisystem, Linköpings universitet.
- Brogren, M., Green, A. (2001), Solel i bostadshus – vägen till ett ekologiskt hållbart boende? En undersökning av aktörerna och processerna bakom satsningen på byggnadsintegrerade solceller i Hammarby sjöstad samt en teknisk bedömning av de installerade solcellssystemen, Arbetsnotat 17, Program Energisystem, Linköpings universitet.
- Grahn, P., Hellgren, M., Munkhammar, J. (2011), Photovoltaics, electric vehicles and energy users. A case study of the Royal Seaport Visions and energy user expectations, Arbetsnotat 50, Program Energisystem, Linköpings universitet.
- Jonsson, A., Lundh, M., Löfström, E. (2005), Hushåll med solvärme – ett svenskt pilotprojekt i Anneberg, Arbetsnotat 30, Program Energisystem, Linköpings universitet.

- Karresand, H., Molin, A., Persson, J., Åberg, M. (2009), How passive are your activities? An interdisciplinary comparative energy analysis of passive and conventional houses in Linköping, Arbetsnotat 42, Program Energisystem, Linköpings universitet.
- Küller, A., Liu, L., Thoresson, J. (2011), När sanering blir energieffektivisering, Arbetsnotat 51, Program Energisystem, Linköpings universitet.

Andra publikationer

- Green, A., Glad, W. (2007), Mellan visioner och resultat – planeringsprocessens betydelse för att energisnåla bostadshus ska bli en realitet, i Ellegård, K., Wäckelgård, E. (red.), *Energianvändning i bebyggelse – Boendes och aktörers val av teknik*, Program Energisystem, 2007.
- Isaksson, C., Karlsson, F. (2006), Indoor climate in low-energy houses – an interdisciplinary investigation, *Building and Environment* 41: 1678-90.
- Karlsson, F., Rohdin, P., Persson, M-L. (2007), Measured and predicted energy demand of a low energy building – important aspects when using building energy simulation, *Building Services Engineering Research and Technology* 28: 1-13.
- Karlsson, K., Widén, J. (2008), Hushållens elanvändningsmönster identifierade i vardagens aktiviteter, Arbetsnotat 330, Tema Teknik och social förändring, Linköpings universitet.
- Karlsson, M., Palm, J., Widén, J. (Eds.), *Interdisciplinary Energy System Methodology: A compilation of research methods used in the Energy Systems Programme*, Program Energisystem, Arbetsnotat 45, 2011.
- Widén, J., Karlsson, K. (2009), The influence of Swedish households' everyday activities and electricity-use patterns on the utilization of small-scale photovoltaic systems, *Proceedings of the eceee 2009 Summer Study, La Colle-sur-Loup, France, June 1-6, 2009*.
- Widén, J., Molin, A., Ellegård, K. (2012), Models of domestic occupancy, activities and energy use based on time-use data: deterministic and stochastic approaches with application to various building-related simulations, *Journal of Building Performance Simulation* 5: 27-44.

