



Hitta balansen!

Boende, innemiljö och energi

Slutrapport för projektet *Samverkan energisystem, inomhusmiljö och hyresgäster*
– *holistiskt synsätt för ökad energieffektivitet vid renovering av flerfamiljshus*

2020

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Samverkan energisystem, inomhusmiljö och hyresgäster – holistiskt synsätt för ökad energieffektivitet vid renovering av flerfamiljshus	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska The interaction of energy system, indoor environment and tenants - holistic approach to improve energy efficiency in the renovation of multi-family buildings	
Universitet/högskola/företag Lunds universitet	Avdelning/institution Arkitektur och byggd miljö
Adress Box 118, 221 00 Lund	
Namn på projektledare Eja Pedersen, docent i miljöpsykologi, eja.pedersen@arkitektur.lth.se	
Namn på ev övriga projektdeltagare • Günter Alce, biträdande universitetslektor i arbetsmiljöteknik, gunter.alce@design.lth.se • Jonas Borell, universitetslektor i arbetsmiljöteknik, jonas.borell@design.lth.se • Héctor Caltenco, Senior Researcher at Ericsson, hector.caltenco@ericsson.com • Chuansi Gao, universitetslektor och docent i termisk miljö, chuansi.gao@design.lth.se • Lars-Erik Harderup, universitetslektor och avdelningsföreståndare i byggnadsfysik, lars-erik.harderup@byggtek.lth.se • Yujing Li, universitetslektor i byggteknik, yujing.li@mauh.se • Birgitta Nordquist, universitetslektor i installationsteknik, birgitta.nordquist@hvac.lth.se • Yuliya Omelekhina, doktorand i aerosolteknologi, yuliya.omelekhina@design.lth.se • Jakob Petersson, doktorand i arbetsmiljöteknik, jakob.petersson@design.lth.se • Kristian Stålne, universitetslektor i byggteknik, kristian.stalne@mauh.se • Petter Wallentén, universitetslektor i byggnadsfysik, petter.wallenten@byggtek.lth.se • Aneta Wierzbicka, universitetslektor och docent i aerosolteknologi, aneta.wierzbicka@design.lth.se	
Nyckelord: 5-7 st Hyreshus, renovering, energibehov, inomhusmiljö kvalitet, förståelse, beteende, transdisciplinärt.	

Förord

Hus är till för att ge oss skydd, bl.a. från kyla och regn. För att skapa en behaglig inomhusmiljö med tillfredställande värme och god luftkvalitet tillförs energi genom värme- och ventilationssystem. De boende påverkar sin miljö genom de aktiviteter som de ägnar sig åt och reglerar den med hjälp av termostater, fönstervädring och ventiler. Boende, inomhusmiljö och energi utgör alltså ett system. Det här projektet handlar om hur detta socio-tekniska system fungerar och om balansen mellan boendes välbefinnande, hälsosam inomhusmiljö och optimerad energianvändning.

För att studera boende, inomhusmiljö och energi ut ett holistiskt perspektiv har forskare från olika discipliner samverkat. Forskargruppen består av elva forskare och två doktorander verksamma vid universiteten i Lund och Malmö. En viktig intention har varit att inte arbeta var och en med sitt, utan att genom ständiga diskussioner och reflektioner komma fram till slutsatser som når längre än vad enbart en sammanställning av resultat kan göra. I den här rapporten redovisar vi enskilda metoder och resultat, men fokuserar på den helhet som framstår efter fyra års arbete.

Projektet har genomförts parallellt med projektet "Sustainable indoor environment in multi-family housing after renovation" (Formas 2016-077). Resultat från de två projekten har berikat varandra och skapat en större helhetsbild. I utåtriktade aktiviteter har forskargruppen och de två projekten kallats PEIRE (People – Environment – Indoor – Research – Energy). PEIRE är också knutet till Centre for Healthy Indoor Environments (CHIE; www.chie.lth.se).

Mätningar har gjorts i hyresgästers hem och mycket data har samlats in, vilket har krävt noggranna etiska övervägningar och godkännande av Regionala Etikprövningsnämnden (Dnr 2016/841).

Samarbeten har varit nödvändiga för projektets genomförande. Bostadsbolaget LKF AB, energibolaget Kraftringen och Lunds kommun arbetade redan tillsammans i demonstrationsprojektet Cityfied (www.cityfied.eu) och har varit aktiva partners också i detta projekt. Tack för stor hjälp och många positiva och fruktbara dialoger! Vi vill också tacka hyresgästombud, områdesansvariga och andra som hjälpt oss praktiskt och med upplysningar som behövts för genomförandet, och deltagare på våra seminarier som genom sina kommentarer och frågor gett oss nya insikter. Ett stort tack går också till alla hyresgäster som tålmodigt svarat på frågor och upplåtit sina hem för mätningar. Tack!

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	6
Bakgrund	7
Ett bostadsbestånd med flerfamiljshus som behöver renoveras	7
Boende, inomhusmiljö och energi hör ihop	7
Många faktorer skapar god inomhusmiljö	7
Mekaniska frånluftssystem kräver hyresgästers medverkan	8
Studiens intention	9
Genomförande	10
Bostadsområdet före och efter renovering	10
Många mätningar i samma lägenheter	11
Hyresgästernas förståelse fångades med hjälp av systemanalys	12
ADS mäter aktiviteter med teknik	13
Koldioxid, temperatur, relativ fuktighet och små luftburna partiklar	13
Luftflöden mättes över frånluftsdon och detaljerat med spårgas	14
Ett index för termisk komfort	14
Energianvändningen beräknades i IDA-ICE	15
Fokusgruppsintervjuer i andra områden för att få fler perspektiv	15
Att arbeta transdisciplinärt men ändå vara expert inom sitt område	15
Resultat	17
Stor variation mellan lägenheter och hyresgäster	17
Hyresgästernas vädringsvanor ger stora variationer i energibehov	18
Hyresgästernas aktiviteter leder till partiklar i luften	20
Höga halter koldioxid i sovrummen indikerar otillräckliga luftflöden	21
Oklart för hyresgäster hur systemet fungerar	23
Oklart för hyresgäster hur systemen ska regleras	24
Om det blev ”bättre” termiskt klimat beror på vilka data vi använder och tolkar	25
Diskussion och slutsatser	27
Minskat energibehov men beteende lika viktigt	27
God inomhusmiljö viktigt för optimerad energianvändning	27
Multi-metod i fält gav nya svar men kräver överväganden	27
Etiska överväganden	28
Transdisciplinaritet ger nya insikter men kräver också nya former för samverkan och reflektion	28
Svar på projektets frågor	28
Praktiska implikationer	30
Publikationslista	32
Filmer	32
Studentrapport	33
Vetenskaplig rapportering	33
Referenser	35
Bilagor	37

Sammanfattning

Bostadssektorn står för en betydande andel av energianvändningen i Sverige och i samband med renoveringar av det äldre bostadsbeståndet görs ofta energieffektiviserande åtgärder. De är till stor del fokuserade på byggnaden och de tekniska system som reglerar värme och ventilation. För att nå en hållbar utveckling av bostäder och nå uppsatta energimål, men också god inomhusmiljö för de boende till rimliga kostnader, måste bostad och byggnaden ses som en del av ett system där boende, inomhusmiljö och energi samverkar.

Vi har studerat hyreshusområden byggda i slutet av 1960-talet i Lund. I tio utvalda lägenheter utfördes omfattande mätningar av parametrar som styr värmebehovet och på aspekter av inomhusmiljön av betydelse för hälsa och välbefinnande under tre på varandra följande vintersäsonger: före och efter en omfattande renovering, samt vid en uppföljning ett år senare. I studien ingick också registrering av de boendes aktiviteter och intervjuer vid alla tre mättillfällena. Lägenheterna var utrustade med ett vattenburet värmesystem och mekanisk frånluftsventilation med utsug i badrum och kök, och intag av luft via ventiler, vädringsluckor och fönster i fasaden. Som komplement till de tio lägenheterna genomfördes fokusgruppsintervjuer med hyresgästerna i områden som underhållits och renoverats olika mycket.

Studien visar att renoveringsåtgärder leder till sänkt energibehov, men att människors beteende kan påverka energianvändningen i samma storleksordning, sett på lägenhetsnivå. Eftersom det var stor skillnad mellan hushållens aktiviteter går det inte att räkna om till totalt energibehov för ett bostadsområde, men det kan förklara en del av det gap som tidigare observerats mellan förväntad och verklig energianvändning. Renoveringen ledde generellt till bättre inomhusmiljö, men även här var det stora variationer. Luftkvaliteten inomhus bestämdes till stor del av hur ofta de boende t.ex. lagade mat, duschade och tände ljus, och hur de interagerade med spiskåpor, innerdörrar, vädringsluckor och fönster. Intervjuerna visade att den här typen av komplexa system är svåra att förstå och intresset för att ta till sig information var lågt. Få av de intervjuade nämnde samband mellan eget beteende och energianvändning.

Framtida renoveringar bör planeras utifrån ett systemtänkande där människan utgör en viktig del. För det krävs både teknisk och beteendevetenskaplig expertis. Energieffektivisering kan inte förlita sig på de boendes förståelse, utan måste utgå ifrån människors olika behov och respons på upplevelser av inomhusmiljön. Gränssnitt mellan de boende och de tekniska systemen bör utformas så att de kan användas intuitivt, utan att någon speciell information behövs, och så att god inomhusmiljö kvalitet bibehålls utan onödig energianvändning.

Summary

The housing sector accounts for a significant share of energy use in Sweden, and energy efficiency measures are being taken in connection with renovations of the older housing stock. These are mainly focused on the building and the technical systems that regulate heating and ventilation. In order to achieve a sustainable development of housing and set energy goals, including a good indoor environment for the residents at reasonable costs, the building must be seen as part of a system where residents, indoor environment and energy interact.

We have studied rental housing areas built in the 1960s in Lund. Extensive measurements of parameters that control the heat demand and on aspects of the indoor environment that are important for health and well-being were carried out in ten selected apartments during three consecutive winter seasons: before and after a renovation, and at a follow-up one year later. The study also included registration of the residents' activities and interviews at all three measurement occasions. The apartments were equipped with a water-borne heating system and mechanical exhaust ventilation with extraction in the bathroom and kitchen, and intake of outdoor air via valves, ventilation shutters and windows in the façade. As a complement to the ten apartments, focus group interviews were conducted with the tenants in areas with similar building design that have been maintained and renovated to varying degrees.

The study shows that renovation measures lead to reduced energy needs, but that people's behaviors could affect energy use in the same order of magnitude. As there were large differences between household activities, it is not possible to convert the energy need from one flat to total energy need for a residential area. However, this may explain part of the previously observed gap between expected and actual energy use. The renovation also generally led to a better indoor environment in general, but even here there were large variations. The indoor air quality was largely determined by how often the residents e.g. cooked, showered or burned candles, and how they interacted with cooker hoods, interior doors, vents and windows. The interviews showed that this type of complex system is difficult to understand and the interest in getting acquainted with information was low. Few mentioned connections between their own behavior and energy use.

Future renovations should be planned based on a more thorough system thinking, where people are included as an important part of the system. This requires both technical and behavioral science expertise. Energy efficiency cannot only rely on the residents' understanding, but must also be based on people's different needs and response to experiences of the indoor environment. Interfaces between the residents and the technical systems should be designed so that they can be used intuitively, without the need for any special information or training, and so that good indoor environmental quality is maintained without unnecessary energy use.

Bakgrund

Ett bostadsbestånd med flerfamiljshus som behöver renoveras

Bostadssektorn står i den tempererade delen av världen för en stor andel av energianvändningen och det görs stora ansträngningar för att nya byggnader ska vara energieffektiva. Men det kommer att ta lång tid innan de energisnåla bostäder som byggs idag blir en betydande del av det totala beståndet och under överskådlig framtid kommer de flesta fortsätta att bo i dagens mer konventionella hus. Många bostäder i Europa byggdes efter andra världskriget, från 1946 till 1970. Andelen varierar från 17 % av bostäderna i Frankrike till 46 % i Tyskland, med Sveriges 37 % där emellan (Ministry of the Interior and Kingdom Relations, 2010). Karaktäristiskt för Sverige är att 50 % av dessa bostäder finns i flerfamiljshus, varav 77 % byggdes före 1970, med en topp på 1960-talet (Dahlblom, 2020). De här byggnaderna, som är ungefär ett halvt sekel gamla, har nyligen renoverats eller ska renoveras, både med syfte att rusta upp dem generellt och för att göra dem mer energieffektiva (Blomsterberg & Pedersen, 2015). För att renoveringarna ska klassificeras som hållbara måste sociala aspekter övervägas (Chileshe et al., 2013) och renoveringarna inte bli så kostsamma så att hyran behöver höjas mer än vad hyresgästerna har råd med. Det är därför vanligt att renoveringar av flerfamiljshus i Sverige inkluderar grundläggande reparationer som att byta ut fönster och justera ventilationen, men utan avancerade högteknologiska lösningar.

Boende, inomhusmiljö och energi hör ihop

Tidigare studier har visat att energianvändningen i flerfamiljshus inte alltid motsvarar den förväntade och glapp mellan den beräknade energianvändningen efter en renovering och den verkliga har observerats (Gram-Hansen, 2014; DellaValle et al., 2018). Det kan bero på att planeringen av renoveringen fokuserar på de tekniska åtgärderna, utan att se dem som delar av ett komplext system där även människor ingår (Sibilla & Kurul, 2020). Även om en byggnads fysiska och tekniska åtgärder bidrar till minskat energibehov och bättre inomhusmiljö, är den slutliga prestandan beroende av hur hyresgäst och system samverkar (La Fleur et al., 2017). Vädringsvanor, justeringar av termostater och samspelet mellan hushållsaktiviteter och inställningar för tekniska installationer bidrar väsentligt till resultatet. Energit behovet bör därför förstås ur ett helhetsperspektiv och som ett resultat av ett komplext system där interaktioner mellan tekniska, fysiska och mänskliga faktorer ständigt pågår (Wierzbicka et al., 2018).

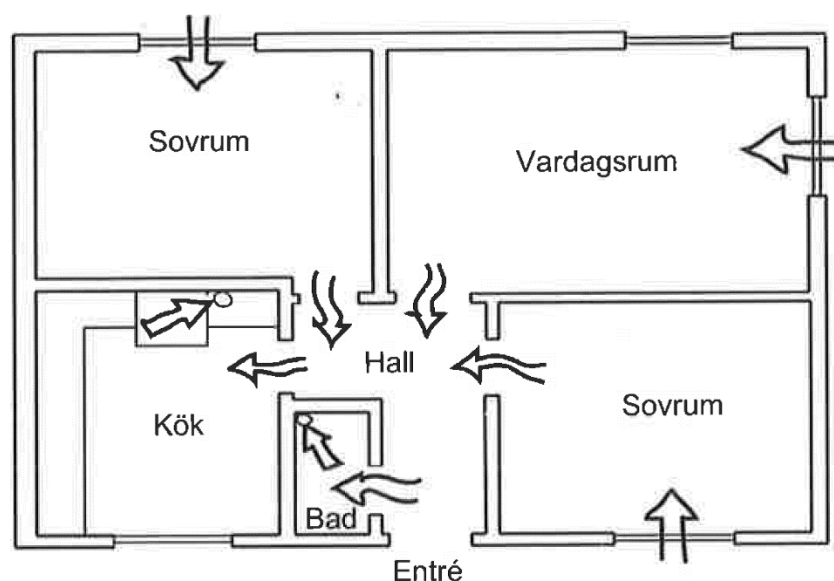
Många faktorer skapar god inomhusmiljö

God inomhusmiljö är viktig för välbefinnande och hälsa, speciellt i bostäder eftersom det är här människor i den tempererade delen av världen tillbringar större delen av sin tid (Klepeis et al., 2001; Leech et al., 2002; Brasche & Bischof, 2005; Wu et al., 2007). Inomhusmiljön består av olika aspekter, varav termisk komfort, god luftkvalitet, avsaknad av buller och tillgång till dagsljus har visat sig vara

viktigast för de boende (Frontczak & Wargocki, 2011). Termisk komfort är viktigt för att vi ska känna välbefinnande. Känslan av att det är för varmt eller för kallt, eller att temperaturen är ojämn och bostaden upplevs som dragig, orsakar termiskt obehag (Fanger & Christensen, 1986; Fanger et al., 1988, Olesen & Parsons, 2002). Dålig luftkvalitet är något som inte alltid märks, men som kan ge effekter på hälsan. Luftkvaliteten inomhus bestäms av närvaron av luftföroreningar som partiklar och gaser. De kommer dels utifrån från t.ex. biltrafik i närheten eller från industriutsläpp, dels från källor inomhus såsom byggmaterial, inredning, och de boendes aktiviteter (t.ex. matlagning och rengöring). Föroreningsnivåerna inomhus ökar med otillräcklig ventilation, det vill säga när ventilationen inte tillför ren luft och avlägsnar eller spär ut utsläpp från inomhuskällor. Effekterna av exponering för luftföroreningar sträcker sig från kortvarig irritation i ögon, hals och näsa eller huvudvärk och trötthet (Wells et al, 2017) till långvariga hälsoeffekter som cancer, luftrörsproblem, kardiovaskulära sjukdomar och störningar i hormonsystemet (Loomis et al., 2013; Singh & Li, 2011; Ventrice et al., 2013). Buller som tränger in i bostaden orsakar irritation, och sänker välbefinnande och livskvalitet (Pedersen, 2015). Bullerstörning kan också aktivera fysiologiska stressreaktioner som på lång sikt leder till hjärt-kärlsjukdomar, vilket gör buller till en folkhälsofråga (WHO, 2018). Tillgång till tillräckligt med dagsljus inomhus har historiskt varit en förutsättning för att kunna utföra uppgifter och ses idag som ett sätt att minska elektrisk belysning och därmed energianvändning (Bournas & Dubois, 2019). Exponering för dagsljus påverkar också hälsan, och kan förbättra sömnen och lindra psykiska sjukdomar (Aries et al., 2015).

Mekaniska frånluftssystem kräver hyresgästers medverkan

I ett mekaniskt frånluftssystem förs inomhusluften ut via don i badrum och köskåpa i kök (Figur 1). I hyresrätter ansvarar fastighetsägaren för justeringen av frånluften så att det rekommenderade uteluftsflödet på över 0,35 l/s m² golvyta uppfylls. Uteluftsflödet bör heller inte understiga 4 l/s person (Folkhälsomyndigheten, 2014). Tilluft utifrån ska tillföras där människor vistas mest, dvs. i sovrum och vardagsrum, via öppningar i fasaden. Luften kommer alltså in direkt utifrån utan att värmas upp. Hur mycket luft som kommer in, och därmed också hur mycket tillförd kallluft som ska värmas upp, bestäms av hur ventiler, vädringsluckor och fönster öppnas och stängs. De boende kan för det mesta påverka öppningsgraden och det kan även vara deras ansvar. Luften ska sedan strömma genom lägenheten till de mest förorenade rummen, dvs. badrum och kök, så att föroreningar i alla rum ventileras ut (Boverket, 2019). Det förutsätter att det finns luftvägar mellan rummen.



Figur 1. Schematisk bild över luftflöden i en lägenhet i en byggnad med mekaniskt frånluftssystem (Warfvinge, Dahlblom, 2010).

Studiens intention

Forskargruppens övergripande ambition är att bidra till att renoveringar av flerfamiljshus som utförs med syfte att energieffektivisera både leder till lägre energibehov och hälsosammare inomhusmiljö. För att detta ska kunna ske krävs att tekniska system som reglerar inomhusmiljö kvalitet och därmed också energianvändningen samverkar positivt med varandra, men också med de boendes behov och beteenden. Projektet som presenteras i den här rapporten hade därför som mål att öka kunskapen om vad som händer vid renoveringar av flerfamiljshus med följande frågeställningar:

- Hur förändras energianvändning som effekt av renoveringen?
- Hur påverkas uppmätt och upplevd inomhusmiljö kvalitet av renoveringen?
- Hur förstår de boende de tekniska och reglerande systemen i lägenheten och sambandet med energianvändning och inomhusmiljö kvalitet, och hur interagerar de boende med systemen?
- Vilka är några av nyckelfaktorerna, med ett holistiskt synsätt, för att renoveringar av flerbostadshus med energieffektivitetsmål ska bli framgångsrika i ett långsiktigt hållbarhetsperspektiv?

Genomförande

Bostadsområdet före och efter renovering

Huvudstudien utfördes i området Eddan på bostadsområdet Linero i Lund (figur 2). Eddan består av 323 lägenheter fördelade på 14 trevåningsbyggnader med källare. Området byggdes 1969-1972 som en del av miljonprogrammet. Arkitekt var Sten Samuelsson. Kvarteret Eddan på Linero ägs idag av det kommunala bostadsbolaget LKF som också äger och förvaltar många liknande områden. Eddan utmärkte sig för att de hade högre energikostnader än motsvarande områden, 138 kWh/(m² A-temp/år; fjärrvärme och fastighetsel; genomsnitt 2009-2013), och problem med obalans i värmesystemet eftersom det bara fanns en undercentral till de 14 byggnaderna. För att vissa lägenheter skulle få tillräckligt med värme tillfördes onödigt mycket till andra. Området har mekanisk frånluftsventilation (med utsug i badrum och över spisen i köket) och det fanns klagomål på att det drog kallt när vädringsluckan för ingående luft hölls öppen. När också försäkringsärendena ökade med t.ex. vattenskador i badrummen som indikerade att det var dags för stambyte, beslöt LKF att renovera byggnaderna. Samtidigt genomfördes en stadsdelsförnyelse med nybyggnation, förbättrad utemiljö och upprustning av det lokala torget med butiker och serviceinrättningar.



Figur 2. En av de fjorton byggnaderna på Eddan, Linero. Fasad mot norr före renovering.

Renoveringarna genomfördes under 2018 och hade 30 % energibesparing som mål. På Linero är hyrorna relativt låga och för att de dåvarande hyresgästerna skulle kunna bo kvar även efter renoveringen var det viktigt att inte kostnaderna blev för höga. De förändringar som gjordes kan beskrivas som rimliga för de flesta bostadsområden som är byggda på 1960- och 1970-talet. Den enda undercentralen för värme ersattes med sex nya, och nya kulvertar och reglersystem installerades. Takbeläggningen byttes ut och vindarna isolerades. Fläktarna till ventilationen, som är placerad på taket, byttes ut, och nya kökskåpor installerades i lägenheterna. Fönsterfasaderna på sydsidan byttes ut på första och andra våningen (tredje våningen hade bytts vid ett tidigare tillfälle). Ett större vädringsfönster ersattes av en ventil i fasaden (figur 3). På norrsidan installerades en spalt i vädringsluckan. Både värme- och ventilationssystem injusterades. Individuell debitering av varmvatten infördes.



Figur 3. Vädringsluckor, vädringsfönster och ventiler före och efter renoveringen.

Forskargruppen har inte varit delaktig i renoveringarna eller val av åtgärder, utan har använt området och renoveringen av lägenheterna som ett fall att studera.

Många mätningar i samma lägenheter

Forskarprojektets ambition var att studera boende, inomhusmiljö och energi som ett system. Därför mättes många parametrar i utvalda lägenheter. Tio lägenheter på området studerades före renoveringen, efter renoveringen och vid en uppföljning ett år senare (figur 4). För att rekrytera deltagare knackade vi dörr i området. Ett hushåll avstod från deltagande vid andra mättillfället och ersattes av ett i en liknande lägenhet. Vid tredje mätningen var det ytterligare ett hushåll som avstod från medverkan. Dessutom hade två lägenheter fått nya hyresgäster. Det är alltså i själva verket 12 lägenheter som har mätts, 8 som har mätts alla tre omgångarna och 6 som har mätts tre gånger och med samma hyresgäster.

Lägenhet nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mätning 2017												
RENOVERING												
Mätning 2018												
INJUSTERING												
Mätning 2019	Ny hyresgäst								Ny hyresgäst			

Figur 4. Lägenheter med samma hushåll (markerat med grönt) och lägenheter med nya hyresgäster (markerat med gult) som mättes under de tre mätomgångarna.

Urvalet av lägenheter har styrts av vilka som ville delta, men med målet att få en stor variation i storlek, placering och hushållssammansättning (tabell 1).

Tabell 1. De studerade lägenheternas storlek och placering, åtgärder vid renoveringen och antal personer i hushållet. I lägenhet 9 bodde tre personer vid de två första mätningarna och två personer vid den tredje mätningen.

Lägenhet nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Golvarea, m2	65	86	94	65	86	87	46	97	46	65	66	66
Antal rum	2	4	4	2	3	3	1	4	1	2	2	2
Våning	2	3	1	3	2	3	2	1	3	1	2	3
Fönsterbyte	Ja		Ja		Ja		Ja	Ja		Ja	Ja	
Endast söderfasad							Ja		Ja			
Två badrum			Ja					Ja				
Sovrum i söder			Ja				Ja	Ja	Ja			
Gavel		Ja	Ja	Ja							Ja	
Antal personer	2	2	2	1	3	4	1	2	3/2	1	2	2

De flesta mätningarna utfördes under uppvärmningssäsongen under två veckor i varje i lägenhet. De var omfattande och för att inte störa hyresgästerna mer än nödvändigt gjordes ett schema. Hänsyn togs också till att vissa mätningar inte kunde utföras samtidigt som andra eftersom de störde varandra t.ex. genom att apparaturen alstrade värme.

Förutom de mätningar som beskrivs nedan mättes ljudisoleringen i fasaden, ljudtrycksnivåer från installationer i köket och dagsljusinsläpp i vardagsrummet. Ljud- och ljusförhållandena var goda och förändrades inte med renoveringen, så resultaten redovisas inte i den här rapporten.

Hyresgästernas förståelse fångades med hjälp av systemanalys

Varje mätomgång startade med att en eller två personer i hushållet intervjuades, vilket gav 29 intervjuer (vid ett tillfälle avböjde ett hushåll att medverka). Intervjuerna spelades in och transkriberades. Intervjuerna handlade om de boendes relation till inomhusmiljön – hur de upplever den, vad de inkluderar i begreppet och hur de påverkar den. Analyserna har utgått ifrån att fler samband mellan olika faktorer som påverkar inomhusmiljön, mer detaljer och mer korrekta uppfattningar ger bättre förutsättningar för att kunna ta en aktiv roll för ett bra inomhusklimat utan onödig energianvändning. Intervjuerna analyserades därför genom att explicita uttryck av orsak-verkan identifierades. Baserat på identifierade samband skapade vi Causal loop diagrams (CLD), diagram som visar samband mellan olika faktorer som orsak och effekt och som därmed illustrerar individens förståelse i form av system. Först skapades ett diagram per intervju och sedan ett samlat som omfattar alla de samband som totalt uttryckts i alla intervjuer tillsammans. Det är viktigt att komma ihåg att intervjuer fångar bara vad de intervjuade sa vid tillfället och inte sådant de tog för givet eller inte råkade nämna i stunden.

ADS mäter aktiviteter med teknik

För att fastställa när det var någon hemma i lägenheten, om fönster eller vädringsluckor var öppna, och om det pågick matlagning utvecklades ett Activity Detection System (ADS). Det består av en kontrollenhet och ett flertal trådlösa sensorer som går att köpa ute i handeln och som är relativt billiga. Systemets sensorer är magnetbrytare, rörelsedetektorer, termometrar och hygrometrar. Kontrollenheten innehåller tre delar: en Raspberry-Pi 3B-dator, en 433 MHz radiostyrenhet (Telldus® Tellstick Duo) och ett 4G mobilt internetmodem. Sensorerna placerades fullt synliga, men diskret, på dörrar, fönster och under köksfläkten (figur 5).



Figur 5. Exempel på hur sensorer fästes på dörrar, fönster och över spisen.

Sensorer skickade data till ADS-kontrollenheten med ett 433 MHz ISM-licensfritt radioband. Data från systemet loggades lokalt på ett SD-kort. 4G-modemet användes för att fjärrövervaka systemets status via en molntjänst. Med hjälp av algoritmer kunde vi identifiera tidsperioder när det var sannolikt att någon var hemma och perioder när det pågick matlagning. Vi kunde också se hushållens vädrings-mönster, dvs. hur många fönster och vädringsluckor som stod öppna och hur länge.

Koldioxid, temperatur, relativ fuktighet och små luftburna partiklar

Flera mått på luftkvaliteten användes i studien. Koldioxidhalt (ppm) i sovrummet mättes som en indikator på luftkvalitet och ventilationssystemets förmåga att föra bort föroreningar. Mätaren (Senseair ansluten till en Onset HOB0 logger) kunde registrera halter upp till 2 000 ppm CO₂ och mätte var 15 minut under längre tid (typiskt 6-12 månader per mätomgång) samt var 5 minut för de intensiva mätperioderna på en vecka. Resultatet redovisas utifrån medeltal för varje lägenhet av maxvärden per natt.

Inomhustemperatur (°C) och relativ fuktighet (%) mättes under samma period med samma mätsystem som ovan (Onset HOB0) samt med Testo sensorer (Testo Solutions Division). HOB0 mätarna var placerade i sovrum (i närheten av sängen), vardagsrum (på ca 1,7 m höjd), inuti frånluftskanalen i köket och inuti frånluftskanalen i badrummet. Dessa mätare loggades med samma intervall som ovan, dvs. var 15 minut under 6-12 månader under respektive mätperiod. Testo-sensorerna var placerade i vardagsrummet (typiskt ovanför dörröppningen cirka 2,2 meter över golvet) och i köket i närheten av spisen. Resultaten från HOB0 loggarna redovisas även som ånghalt (g/m³).

Värden för temperatur och relativ fuktighet utomhus under projektiden hämtades i första hand från en lokal mätstation i Lund. När det saknades värden från den kompletterades dessa i första hand med andra lokala mätningar och i andra hand med data från Sveby Lund. De lokala mätningarna skedde var 15:e minut, medan värden från Sveby är timvärden.

Luftburna partiklar mindre än 100 nanometer mättes inomhus i vardagsrummet eller köket som antalet ultrafina partiklar (UFP) med en NanoTracer (Oxility Inc). Massan av partiklar (PM_{2.5}, mindre än 2.5 mikrometer) mättes med en DustTrack DRX Aerosol Monitor 8533 (TSI Inc.) och massan av sot (black carbon – BC) med en Microaethalometer (AE51, AethLabs). Mätningarna pågick en vecka per lägenhet vid varje mätomgång. Samtidigt mättes partikelhalten utomhus för att se hur stor del av partiklarna som kom utifrån och hur mycket som alstrades inomhus. Under mätningarna ombads de boende att i dagböcker ange aktiviteter som har betydelse för luftkvaliteten, t.ex. när de var i lägenheten, när de lagade mat, tände stearinljus, använde rengöringsprodukter, dammsög eller öppnade fönster.

Luftflöden mättes över frånluftsdon och detaljerat med spårgas

Frånluftsflöden (l/s) i badrum och kök mättes vid ett tillfälle per mätomgång med SWEMA Air 300 tillsammans med stos SWEMA Flow 125 Air Flow. Värdena jämfördes med kravet på 0,35 liter/s m² för varje lägenhet, där arean är hela lägenhetens golvyta. Vid renoveringen var även målet att injustera frånluftsflödena till 10 l/s i köks-kåpan och 15 l/s i badrummet.

Detaljerade luftflöden (l/s) mättes i sex lägenheter före och efter renovering samt i ytterligare fyra lägenheter vid olika tillfällen under projektet. Mätningarna skedde med hjälp av avklingningsmätningar vid spårgasutsläpp framförallt i sovrum. Med hjälp av avancerade passningsräkningar kunde sedan uteluft, frånluft och luftflöden mellan rum beräknas (l/s). Värdena användes för att studera påverkan på ventilationseffektiviteten på rumsnivå av öppna och stängda vädringsluckor och ventiler, samt i vissa fall inverkan av öppna och stängda dörrar i lägenheten. Jämförelse med rekommendationen 4 l/s tilluft per person i sovrum kunde då också göras.

Ett index för termisk komfort

Ett standardiserat termiskt komfortindex (Predicted Mean Vote; PMV) för bedömning av människans upplevelse av det termiska klimatet beräknades utifrån mätningar i vardagsrummet vid ett tillfälle per mätomgång och lägenhet. Lufttemperatur, luftfuktighet, strålningstemperatur, lufthastighet och asymmetrisk strålningstemperatur mättes samtidigt under två timmar med en Lumasense INNOVA 1221. Ett index baserat på tidigare studier av hur människor upplever termiskt komfort beräknades och presenteras som antingen positiva värden som motsvarar för varmt och negativa för kallt, och där värden kring noll är önskvärda. Temperatur i höjdled mättes samtidigt med en MSR 145 där sensorerna

placerades 0,1 m, 0,6 m, 1,1 m och 1,7 m över golvet för att utvärdera temperaturskillnad mellan huvudhöjd och golvnivå.

Energianvändningen beräknades i IDA-ICE

Energianvändningen och betydelsen av vädring studeras genom energisimuleringar i det dynamiska datorprogrammet IDA-ICE. Speciellt för det här projektet var att en modell av ett av flerbostadshusen byggdes upp där varje rum i byggnaden representerades av en zon i modellen, vilket gjorde att det gick att studera luftflöden, temperatur och energiåtgång mycket detaljerat. Energimodellen, som omfattar fjärrvärme och fastighetsel, validerades genom jämförelser med data från energibolaget. Öppningsgrader av fönster och vädringsluckor hämtades som exempel från observationer i de 10 lägenheterna där fältmätningar gjorts. Utdata är årlig energianvändning (kWh/m^2), uteluftsflöde som tillförs rummen (l/s m^2) och hur temperaturen varierar över året.

Fokusgruppsintervjuer i andra områden för att få fler perspektiv

För att bredda förståelsen för hyresgästernas upplevelser genomfördes fokusgruppsintervjuer i tre liknande bostadsområden i Lund som ägs av samma bostadsbolag och byggdes 1965-1968: Klostergården (400 lägenheter, endast underhåll, mekanisk frånluftsventilation), Offerkällan (352 lägenheter, renoverat 2011-2014, mekanisk frånluftsventilation i de flesta byggnaderna) och Labben (72 lägenheter, renoverat 2015-2016, nytt ventilationssystem med mekanisk frånluft och tilluft och värmeväxlare, s.k. FTX). Hyresgästerna blev via brev inbjudna att delta i samtal om inomhusmiljön i deras lägenheter. Tolv fokusgruppsintervjuer med totalt 42 deltagare genomfördes. Samtalen ägde rum i lokaler i eller i anslutning till respektive bostadsområde och tog cirka en och en halv timme. Frågorna berörde värme, ventilation, dagsljusinsläpp och buller, och var formulerade för att fånga upplevelse och förståelse, hur deltagarna uppfattat den information man fått om hur systemen fungerar och ska regleras, i vilken mån de upplevde att de kunde kontrollera sin inomhusmiljö, och hur de kopplade systemen och sitt beteende till energianvändning. Intervjuerna spelades in och transkriberades.

Att arbeta transdisciplinärt men ändå vara expert inom sitt område

En viktig intention i projektet har varit att arbeta transdisciplinärt, dvs. att forskarna inte bara arbetar som experter var och en inom sitt område, utan som en grupp med ett gemensamt perspektiv där kunskap, teorier och metoder efterhand delas. Under det fyraåriga projektet ordnades därför seminarier där både inbjudna experter och forskare inom gruppen föreläste. Seminarierna vara också öppna för andra intresserade och det gavs utrymme för diskussioner som tillförde gruppen gemensamma kunskaper. Under gruppens interna möten introducerades begrepp som kollektivt ledarskap och lärande, och aktiviteter som att formulera etiska principer. För att utvärdera hur intentionen att arbeta transdisciplinärt genomförts och vad som på ett mer generellt plan krävs genomfördes en intervjustudie med projektets forskare.

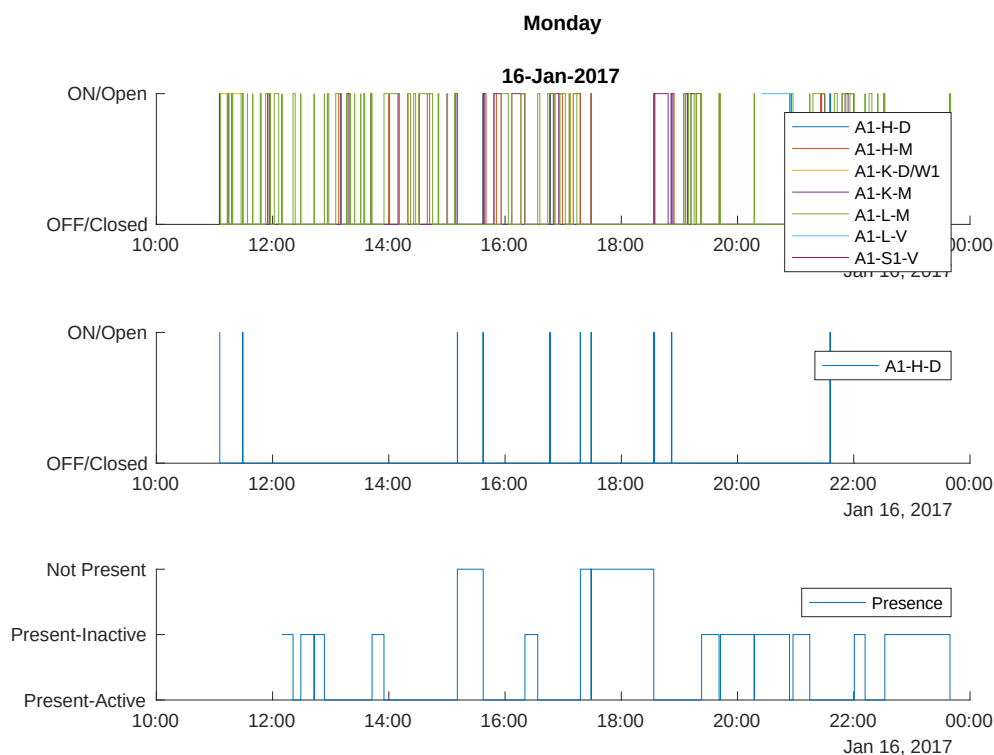
Forskare i gruppen har arbetat med flera metoder och tillsammans, men har tillfört olika expertis. Kristian Stålne, universitetslektor i byggteknik och kunnig inom vuxenutveckling, och Yujing Li, universitetslektor i byggteknik, har ansvarat för utvecklingen av gruppen och för systemanalyser. För tillförandet av beteendevetenskaplig kunskap och metod står Eja Pedersen, docent i miljöpsykologi, och Jonas Borell, psykolog, universitetslektor och human factors-specialist. Jonas har också varit delaktig i utvecklingen av ADS, tillsammans med Héctor Caltenco, seniorforskare på Ericsson och specialist inom bärbar teknologi, och Günter Alce, biträdande universitetslektor i interaktionsdesign och IoT specialist. Aneta Wierzbicka, docent i aerosolteknologi, och doktorand Yuliya Omelekhina har varit projektets experter på luftburna partiklar. Chuansi Gao, docent i termisk miljö, med doktorand Jakob Petersson har ansvarat för det termiska komfortindexet. Birgitta Nordquist, universitetslektor i installationsteknik, och Petter Wallentén, universitetslektor i byggnadsfysik, har tillfört kunskap om, och utfört mätningar av, ventilation, luftflöden, temperatur och relativ fuktighet, samt ansvarat för beräkningar av energibehov tillsammans med Lars-Erik Harderup. Lars-Erik Harderup, universitetslektor i byggnadsfysik, är expert på fukt i byggnader och har också haft den rollen i projektet. Dessutom har studenter vid LTH, Lund universitet, bidraget genom examensprojekt. Stor insats gjordes av Niklas Sellin och Robert Magnusson.

Projektledare och huvudansvarig för sammanställning av rapporten var Eja Pedersen.

Resultat

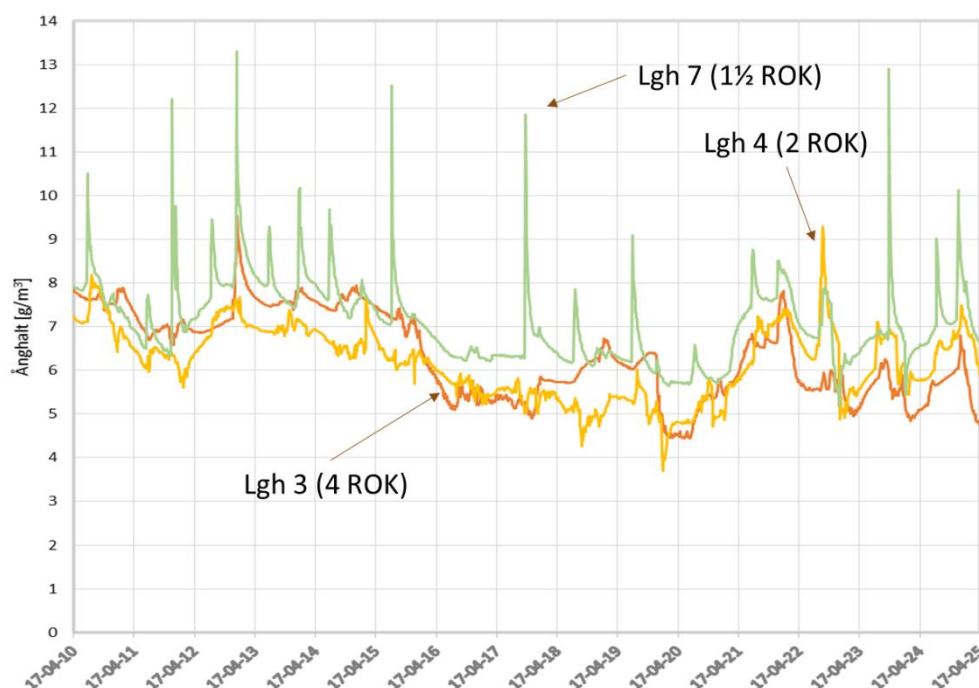
Stor variation mellan lägenheter och hyresgäster

Mätningarna av hyresgästernas beteende med ADS visar att det var stor skillnad mellan hushåll i hur ofta de var hemma och hur mycket de öppnade vädringsluckor och fönster (figur 6). Det fanns inga typiska mönster, utan varje hushåll i sin specifika lägenhet var unik.



Figur 6. De två översta diagrammen visar vädrings-mönster i två lägenheter av motsvarande storlek och design. De undre diagrammet visar hur ADS-systemet användes för att kunna anta om de boende var hemma eller ej.

De här olikheterna visade sig också i mätningarna av inomhusmiljön. Okulära besiktningar visade att det inte var något problem med fukt i någon av lägenheterna, varken före eller efter renoveringen, och mätningar av ånghalten i luften bekräftade att risken var låg. Mätningar av luftens fukttinnehåll visar dock att det var stora skillnader mellan lägenheterna, t.ex. i vardagsrummet (figur 7). Skillnaderna kan förklaras av de boendes beteende kopplat till lägenhetens planlösning. Högsta tillfälliga värden återfanns i en av de mindre lägenheterna som endast hade fasad mot söder och inget fönster i badrummet. Topparna indikerar att badrumsdörren stod öppen efter att duschen hade använts, och att fuktig luft därför spreds till vardagsrummet.



Figur 7. Ånghalt (g/m³) uppmätt i vardagsrum i tre lägenheter under två veckor.

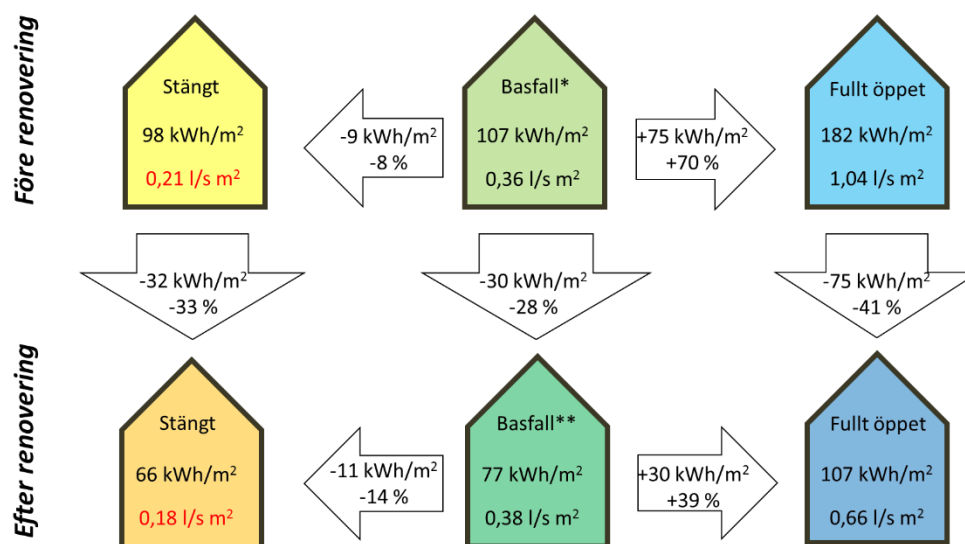
Den enkät som hyresgästerna fyllde i visade också på stora variationer, både i upplevelse och självrapporterat beteende. Av de tio hushållen rapporterade två före renoveringen att det ofta var för kallt i lägenheten under vinterhalvåret, samtidigt som sex ansåg att det var för kallt ibland och en att det aldrig inträffade. Det självrapporterade vädringsmönstret såg också olika ut. Fem uppgav att de vädrade dagligen, två ungefär en gång i veckan och en mer sällan. Variationerna bestod även efter renoveringen och vid uppföljningen, och bekräftades i intervjuerna.

Variationerna i resultaten från både tekniska och beteendevetenskapliga mätningar visar att analyser där flera parametrar studeras i första hand bör göras på var lägenhet för sig, inte utifrån medeltal, och bekräftar behovet av en studiedesign som utgår ifrån ett systemperspektiv.

Hyresgästernas vädringsvanor ger stora variationer i energibehov

De stora variationerna i hur de boende reglerar luftinsläpp hade betydelse för energibehovet enligt datorberäkningarna. Lägst var energibehovet om alla ventiler och fönster hölls stängda, men då uppfylldes inte kravet på luftflöde 0,35 l/s m². För att nå kravet (basfall) före renoveringen behövde vädringsluckor i norra fasaden vara öppna 10 % och vädringsfönstret i södra fasaden 5 %. Energibehovet (värme och fastighetsel) i lägenheterna var då enligt beräkningarna 107 kWh/m² (figur 8). Observationer visade att en del hushåll föredrog att ha mer öppet. Ifall vädringsluckorna i norr var helt öppna och vädringsfönstret i söder fullt öppet året om (de gick att öppna till ca 30 %) så ökade energibehovet med 70 %.

Renoveringsåtgärderna minskade energiåtgången för basfallet, som med de ändrade luftintagen i fasaden innebar att alla de nya spalterna i vädringsluckorna i norrfasad och ventiler i söderfasad var öppna, men också att vädringsluckorna var öppna 10 % efter som det inte kom in tillräckligt med luft annars. Energibehovet minskade med 30 kWh/m², vilket motsvarar 28 % och stämmer väl med bostadsbolagets ambition på 30 % minskning. Minskningen blev ännu större i de fall som hushållen vädrade mer än i basfallet, vilket är en indikation på att de nya spalterna och ventilerna i fasaden var en betydelsefull åtgärd. Det var dock även efter renoveringen fortfarande stora skillnader mellan basfallet och fullt öppet, ett fall som efter renoveringen innebar spalter och ventiler öppna och dessutom vädringsluckor i norrfasad öppna. Skillnaden i energiåtgång mellan basfallet och fullt öppet var 30 kWh/m².



Figur 8. Energibehov (uppvärmning och fastighetsel) och uteluftsflöden före och efter renovering när ventiler och vädringsluckor hålls stängda (vänster), är tillräckligt öppna så att kravet på 0,35 l/s m² uppfylls (mitten) och är fullt öppna (höger) beräknade i IDA-ICE. *BASFallet före renovering: vädringsluckor 10 % öppna i norra fasaden och vädringsfönster 5 % öppet i södra fasaden. **BASFallet efter renovering: alla spalter 100 % öppna och vädringsluckor 10 % öppna i norra fasaden.

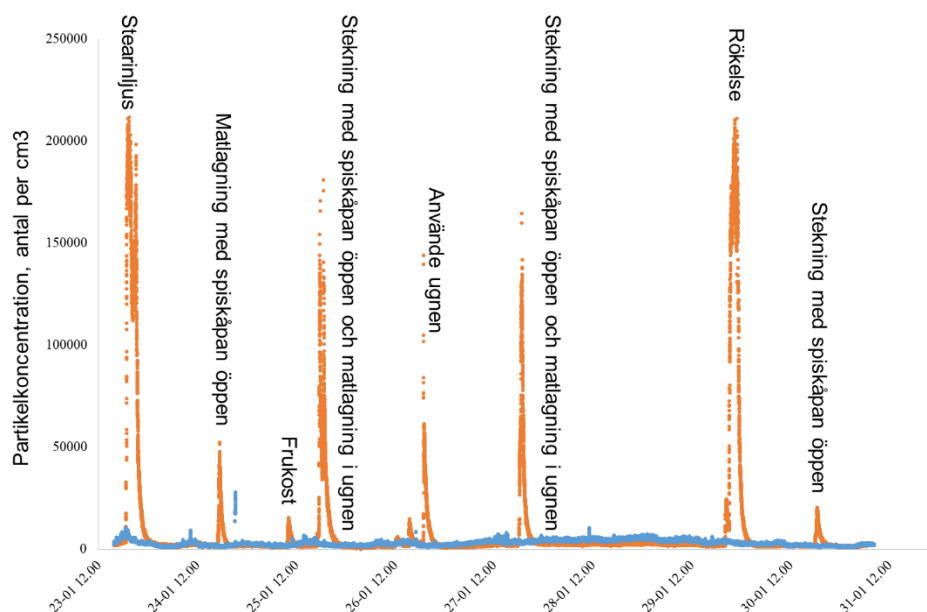
De tekniska åtgärderna innebar alltså en minskning av energibehovet på 30 kWh/m². Efter renoveringen var skillnaden mellan att öppna för tillräckliga uteluftsflöden i fasaden och att öppna helt också 30 kWh/m² enligt beräkningarna. Det är naturligtvis inte så att alla hyresgäster vädrar på samma sätt eller har fullt öppet, och inte heller samtidigt. Beräkningarna ska ses som en indikation av hur stor betydelse beteendet har på lägenhetsnivå, och att effekten på energibehovet kan vara av samma storleksordning som de tekniska åtgärderna. Observera också att inget av fallen innebär att balkongdörren står öppen, något som vi såg i vissa lägenheter.

Beräkningarna visar också att det efter renoveringen inte räckte att hålla spalter och ventiler öppna för att få tillräckliga inflöden. Hyresgästerna behövde också aktivt reglera vädringsluckorna för att luftflödet skulle klara det officiella kravet. I enkätsvaren från de uppmätta lägenheterna ser vi ingen skillnad i hur lätt de boende tycker det är att reglera ventilationen före och efter renoveringen, eller hur ofta de vädrade. Resultat från en enkätstudie som vände sig till alla boende i området och som utfördes inom ramen för det Formasfinansierade projektet visar dock att de svarande upplevde att möjligheten att vädra och ventilerat blivit bättre efter renoveringen i jämförelse med före.

Hyresgästernas aktiviteter leder till partiklar i luften

Den del av partiklarnas massa (PM_{2,5}) som trängde in i lägenheterna utifrån minskade från 58 % före renovering till 7 % vid uppföljning, troligen som en följd av isolering av fasaden med byte av fönster och bättre tätning, och de nya spaltventilerna. Det är positivt att exponeringen för utomhuspartiklar från t.ex. vägtrafik minskade.

En stor andel partiklar alstrades dock inomhus, bl.a. genom de boendes egna aktiviteter (figur 9). Genom jämförelser med de boendes dagböcker och ADS-mätningarna kunde tillfälliga höga koncentrationer kopplas till specifika aktiviteter.



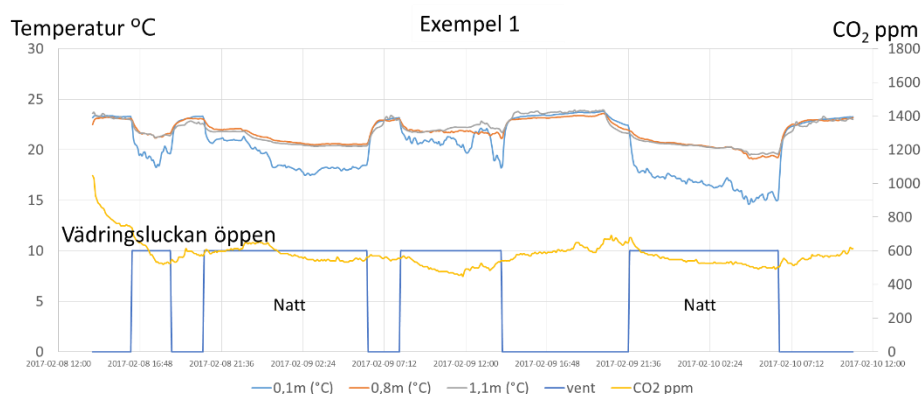
Figur 9. Exempel på koncentration av partiklar (<2,5 nanometer) per m³ inomhus i en lägenhet under en vecka. Blått visar koncentrationen av partiklar som kommer utifrån, orange visar koncentration av partiklar som genererats inomhus.

För en hälsosam miljö måste partiklarna avlägsnas så snart som möjligt. Mätningarna visade att partikelhalten hade minskat i genomsnitt med 15 % efter renovering, troligen som en följd av det förstärkta frånluftssystemet,

kompletterande komponenter och nya spiskåpor. Uppföljningen ett år senare visade emellertid högre koncentrationer än både före och efter renoveringen. Det kunde förklaras med att mängden inomhusaktiviteter under uppföljningen var två gånger högre jämfört med tidigare års mätningar. Det indikerar att det nya och förbättrade frånluftssystemet inte var tillräckligt för att föra bort höga partikelkoncentrationer från inomhusaktiviteter, t.ex. vid ofta förekommande och intensiv matlagning.

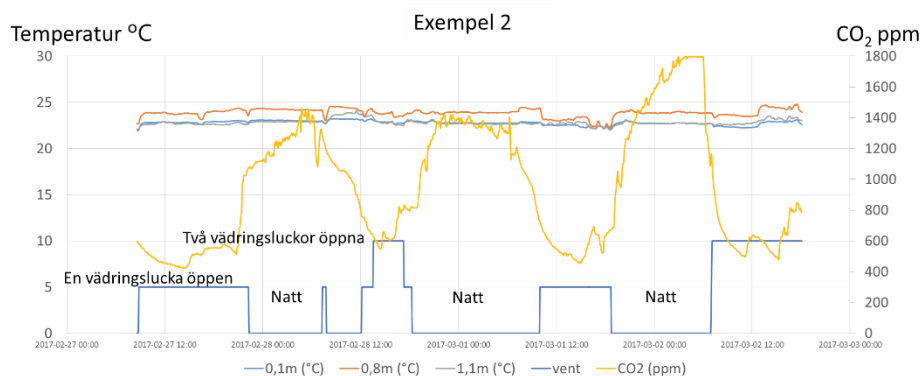
Höga halter koldioxid i sovrummen indikerar otillräckliga luftflöden

Det genomsnittliga maxvärdet för koldioxidhalt i sovrummet nattetid översteg 1 000 ppm i fyra av de mätta lägenheterna före renoveringen. De höga halterna kunde delvis förklaras med om vädringsluckorna var öppna eller stängda (figur 10). I exempel 1 ser vi ett sovrum där vädringsluckorna är öppna nattetid, och ibland också på dagtid. Koldioxidhalterna håller sig kring 600 ppm, men temperaturen går ner, speciellt strax över golvet.



Figur 10. Exempel på koldioxidhalt och temperatur i ett sovrum under två dygn före renovering.

En del hyresgäster valde att stänga vädringsluckorna nattetid, troligen för att undvika kyla. Det resulterade i höga koldioxidhalter som i exempel 2 (figur 11). Temperaturen håller sig då relativt konstant, men koldioxidhalterna överstiger 1 000 ppm, i det här fallet tre nätter i rad.



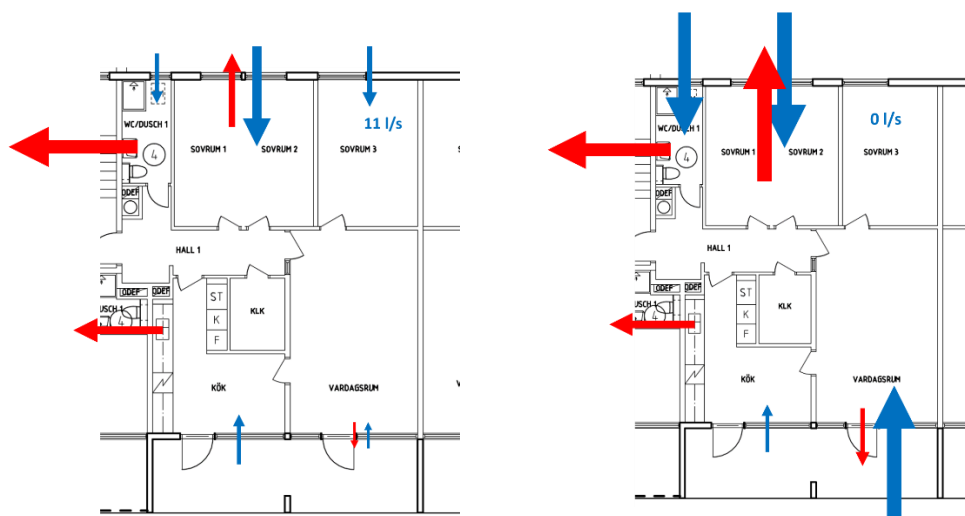
Figur 11. Exempel på koldioxidhalt och temperatur i ett sovrum under tre dygn före renovering.

Efter renovering minskade koldioxidhalterna nattetid i sovrummet i de flesta lägenheterna vilket tyder på att renoveringsåtgärderna, bl.a. komplettering med nya spaltventiler i vädringsluckan i sovrum och nya ventiler i vardagsrum och injusterade ventilationsflöden, bidrog till reducerade koldioxidhalter. Det var dock fortfarande vid mätningarna efter renoveringen två lägenheter som hade halter över 1 000 ppm. Vid uppföljningen hade ett nytt hushåll på två personer flyttat in och koldioxidhalterna minskat till under 1 000 ppm i den ena lägenheten. Halter över 1000 ppm tillkom dock i två andra lägenheter vid uppföljningen. I både dessa var det andra boende än vid tidigare mätomgångar.

För ett tillfredsställande luftflöde genom lägenheten utan onödig energianvändning krävs, förutom tillräckligt utflöde i kök och badrum, att tillräckligt med luft kommer in på rätt ställen och att den kan röra sig fritt. Spårgasmätningarna visar att det ofta är bra flöden, men att det finns situationer som det är viktigt att tänka på.

Efter renoveringen fanns fler möjligheter för hyresgästerna att reglera inflödet. De nya spalterna i vädringsluckorna var utformade så att de kunde stå öppna för det mesta vilket gav ett bättre inflöde. Spårgasmätningarna visar att det också är viktigt att se till att luften kan passera mellan rummen. I ett exempel hämtat från före renoveringen i en av de mindre lägenheterna som endast hade fasad mot söder kom det in 8 l/s utifrån i sovrummet när sovrumsdörren ut till vardagsrummet stod öppen. När den var stängd reducerades inflödet i sovrummet till 3 l/s, vilket troligen inte var tillräckligt för att hålla koldioxidhalterna på en tillfredsställande nivå. Det här fallet var speciellt eftersom överluftsdon ovan innerdörren, som fanns i andra lägenheter, saknades just i denna lägenhet.

De flesta lägenheterna i studien var försedda med öppningsbara fönster i badrummet och det kan upplevas naturligt att öppna fönstret för att vädra ut t.ex. efter en dusch. Det är känt sedan tidigare att om fönstret öppnas under uppvärmningssäsongen sker en luftväxling som inte bara för ut den fuktiga luften, men ger ett kraftigt inflöde av kall luft som är kraftigast i början när temperaturskillnaden är hög. Resultaten från spårgasmätningarna visar att luftflödena också ändras i hela lägenheten. I ett exempel observeras att när badrumsfönstret var stängt kom det in 11 l/s i det sovrum som var längst bort från badrum och kök (figur 12). Om badrumsfönstret hölls öppet uppstod en luftväxling direkt genom fönstret till frånluftsdonet och inflödet i det borte sovrummet minskade markant.



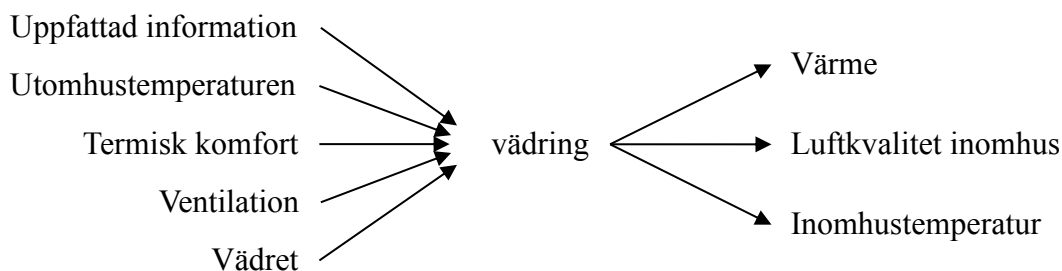
Figur 12. Luftflöden i en lägenhet efter renovering med badrumsfönstret stängt (vänster) och med badrumsfönstret öppet (höger).

Luftflödena varierar mycket mellan olika lägenheter och vid olika tillfällen beroende på vädret, t.ex. vindstyrka och vindriktning, men också beroende på hur ventiler, vädringsluckor och fönster regleras och om innerdörrar är öppna eller stängda. Om det inte finns balans, t.ex. om badrumsfönstret är öppet och luft kommer in den vägen, riskerar utelufttillförseln i övriga rum att inte vara tillfredsställande och situationer med onödig energianvändning kan uppstå när de boende kompenserar genom att öppna fönster.

Oklart för hyresgäster hur systemet fungerar

Intervjuerna med boende i de utvalda lägenheterna visade att det var stor variation mellan de intervjuade i hur de uppfattade sin inomhusmiljö och vad de tänker påverkar värme, luftkvalitet och andra faktorer. För att få en bild av de boendes förståelse fokuserade analyserna av intervjuerna på hur samband mellan olika faktorer som påverkar inomhusmiljön beskrevs. I de 29 intervjuerna hittades totalt 84 olika samband, men variationen var mycket stor, från 1 uttryckt samband per intervju till 26 samband i en intervju. Det förekom också stor variation mellan de olika intervjutillfällena (före och efter renovering, och vid uppföljning) med samma person.

De samband som ofta uttrycktes var direkta, och omfattade korta, direkta orsak-verkan-samband. Ett exempel är vädring. Som faktorer som påverkade vädringsbeteende angav de boende orsaker som hade att göra med *uppfattad information, inomhustemperaturen, termisk komfort, ventilation, och vädret* (figur 13). I 20 av de 29 intervjuerna nämnde de boende att de använder vädring för att sänka inomhustemperaturen året om, och några säger att de vädrar nästan jämt. Det var ingen generell skillnad i hur de intervjuade uttryckte sig vid intervjutillfället efter renoveringen jämfört med före.



Figur 13. Exempel på orsak-verkan-samband som uttrycktes av de boende i intervjuerna.

De flesta såg sig som både påverkade av inomhusmiljön och som en som påverkade den, men i övrigt uttrycktes få samband med flera led. De boende verkade inte uppfatta inomhusmiljön som ett komplext system där vad som ändras får betydelse i andra delar av systemet eller därutöver. Det går därför inte att utgå ifrån att hyresgästerna ska reglera sin inomhusmiljö utifrån en förståelse om vad det får för vidare konsekvenser för inomhusmiljö, energianvändning och miljöbelastning.

Oklart för hyresgäster hur systemen ska regleras

De hyresgäster som deltog i fokusgruppsintervjuer i de tre bostadsområdena som inte ingick i mätstudien var engagerade i sin inomhusmiljö. Viktiga aspekter som fördes fram var att det inte skulle vara för kallt och dragigt på vintern, att ventilationen skulle fungera så att det inte kom in lukt från grannarna eller kändes för dragigt, att buller från grannarna inte skulle vara så omfattande att det var störande, och att utomhusbelysning inte placerades så att oönskat ljus trängde in i lägenheten. Det var liknande berättelser i de tre områdena, trots olika grad av renovering, men kyla och drag tycktes vara en vanligare källa till irritation i det ännu inte renoverade området. Bostadsbolaget pekades ut som ansvarig för en god inomhusmiljö och det vara också dem som deltagarna kontaktade ifall de inte upplevde situationen som tillfredsställande. Samtidigt ville flertalet kunna reglera värme och ventilation själva vid behov.

De flesta som påpekat brister till bostadsbolaget var nöjda med deras åtgärder, men i vissa fall hade de inte fått den respons de önskade eller haft ett problem som inte gick att lösa. De hade då ordnat situationen på annat sätt. En relativ vanlig åtgärd om lägenheten upplevdes som för kall var att skaffa en elektrisk värmeblädd. Det innebar dock att värmekostnaden överfördes från bostadsbolaget till hyresgästen och det var delade meningar bland deltagarna om det var värt det eller inte.

Deltagarna hade svårt att komma ihåg om de hade fått information om hur det skulle göras, och om de visste var det gick att hitta den, t.ex. på bostadsbolagets web-sida, berättade de att de ändå inte tagit del av den. Istället tycks den mesta informationen komma via hantverkare och servicepersoner som kom in i lägenheten för att åtgärda något. Det gjorde att vissa deltagare hade fått

motstridiga instruktioner om t.ex. ifall ventilerna i fasaden skulle vara öppna eller stängda.

Deltagarna hade olika sätt att förhålla sig till de reglerande systemen såsom termostater och ventiler. Några berättade att de aldrig hade ändrat något, trots att de bott länge i samma lägenhet. Det framgick också att det inte var entydigt hur reglagen skulle skötas. Termostaterna på elementen var graderade, men eftersom det numera matades fram vatten av en temperatur som anpassats till behovet motsvarade inte en siffra på reglaget en viss temperatur på elementen. Det gav upphov till diskussioner om termostaterna verkligen fungerade. Hur luftflödet i lägenheten skulle regleras var inte heller tydligt för flera av deltagarna. Så här diskuterade deltagarna i en av grupperna.

BOENDE 1: Det finns frånluftsventil i badrummet och sen så köksfläkten går ju. Den kan vi inte styra själva, utan den ...

*BOENDE 2: Men alltså är inte det också ventilation, de här som sitter här bakom? [allmänt medhåll]
Men de sitter inte i alla rum tror jag, va?*

BOENDE 1: Nej.

BOENDE 3: Vad är det du pekar på när du säger ...?

BOENDE 1: Bakom radiatorerna här så sitter det en så här stor ungefär.

BOENDE 3: Ja, ja, just det. Är det också ...? [allmänt medhåll]

BOENDE 1: Och den kan du stänga och det är en spak som du ska dra åt. Och när du stänger den så får du ingen frisk luft. Jag kommer inte ihåg vilket håll det är på, men det kan du testa. Öppnar du mer så får du in mer kallluft.

BOENDE 3: Du får nästan ha något verktyg för att komma åt den, någon liten längre grej att pilla med.

BOENDE 1: Vissa kan man nå med handen så här.

Även om deltagarna i flera fall berättade att de aktivt hade valt leverantör av hushållsel var de inte speciellt intresserade av den övriga energianvändningen i bostaden. Det ansvaret lades också på bostadsbolaget och de flesta tycktes anta att det sköttes på lämpligt sätt.

Det står efter analys av fokusgruppsintervjuerna klart att det som bostadsbolag inte går att förlita sig på att information når fram även om den är lätt tillgänglig. Det går inte heller att förutsätta att hyresgästerna reglerar värme och ventilation så att systemen samverkar med behovet och att onödig energianvändning undviks.

Om det blev ”bättre” termiskt klimat beror på vilka data vi använder och tolkar

Det är viktigt att balansera värmetillförseln för att minska onödig energianvändning direkt, men också indirekt. I enkäten som hushållen i de mätta lägenheterna fyllde i ser vi före renoveringen att den vanligaste orsaken till vädring under vinterhalvåret var upplevelsen av instängd luft (n = 7), att ventilationen var otillräcklig (n = 5), och att vädringen var en rutin (n = 2), men också att det användes som åtgärd när det var för varmt (n = 2). Mönstret förändrades inte efter renovering eller vid uppföljningen.

Korttidsmätningar där ett termiskt komfortindex (PMV) beräknades visade att i två av lägenheterna var indexet över +2,0 före renoveringen, en avvikelse från det neutrala noll som indikerade att det termiska klimatet i lägenheten var varmt eller

mycket varmt. Enligt PPD (Predicted Percentage Dissatisfied), som är ett tillägg till PMV och anger andelen av en normalpopulation som förutsägs vara missnöjd vid ett visst PMV-värde, så motsvaras +2,0 av 75 % missnöjda. Efter renoveringen och vid uppföljningen låg indexet omkring $\pm 0,5$, ett resultat som visar på en förbättring som i en större population förväntas leda till att endast 10 % är missnöjda. Det borde också göra att vädring för att sänka temperaturen förekommer mer sällan. Korttidsmätningarna visar vidare att temperaturen i höjdd led blev jämnare efter renoveringen vilket minskar risken för lokal termisk diskomfort, vilket annars kan vara ett problem även när punktmätningarna indikerar komfortabla nivåer.

De längre mätningarna av temperatur, som pågick i flera månader per mätomgång, uppvisar ett delvis annat mönster och att temperaturen under uppvärmningssäsongen steg i vissa lägenheter. Injusteringen efter renoveringen av det vattenburna värmesystemet tog längre tid än planerat. Under de första åren efter renoveringen blev det därför varmare än önskvärt i några lägenheter och kallare i några. En lärdom från projektet är att det är viktigt att beakta att det kan ta flera säsonger innan en injustering är genomförd. Det går inte att efter de mätningar som gjordes i den här studien under två vintersäsonger efter renoveringen att ge något entydigt svar på om de åtgärder som gjordes förbättrade de termiska förhållandena i lägenheterna på ett sätt som både tillfredsställde kravet på minskad energianvändning för uppvärmning och hyresgästernas upplevelse av god komfort.

Diskussion och slutsatser

Minskat energibehov men beteende lika viktigt

Resultaten visar att renovering av flerfamiljsbostäder byggda på 1960-talet med ambitionen att inte bli så kostsamma så att hyrorna måste höjas orimligt mycket kan minska energianvändningen betydligt. Injusteringarna av värmesystemet har dragit ut på tiden vilket innebär att det är svårt att göra en rättvisande jämförelse mellan före och efter renoveringen, men målsättningen 30 % minskning är enligt muntlig redovisning från bostadsbolaget uppfyllt. Det stämmer också väl med de noggranna beräkningar som gjordes inom projektet. Resultaten visar samtidigt att de boendes beteende, i detta fall hur de reglerar ingående luft, kan påverka energianvändningen i samma storleksordning på lägenhetsnivå. Mätningar inom projektet bekräftade att det var stora variationer mellan hushållens värdringsmönster och några av de intervjuade uppgav att de alltid hade vissa värdringsfönster öppna.

God inomhusmiljö viktigt för optimerad energianvändning

God inomhusmiljö innebär att kvaliteten är tillräcklig för att risken för negativa hälsoeffekter ska vara försumbar. Det kräver bl.a. tillräcklig luftväxling, som ur energisynpunkt ska utformas så att luften kommer in där den ska och sedan flödar genom lägenhet till utflödet. Dåliga luftflöden ska inte behöva kompenseras med ökade inflöden av kalluft eller kraftiga utsug. Inomhusmiljön ska också *upplevas* som bra av de boende, en viktig faktor för välbefinnande. Om inomhusmiljön inte stämmer överens med det behov en person har, så är det naturligt att försöka reglera miljön. Ojämn temperatur i lägenheten, oönskade lukter och bullriga fläktar är exempel på situationer som hyresgäster i fokusgruppsstudien försökt att åtgärda med privata värmebläktar och igenstoppade luftflöden som kräver ökad vädring genom fönster. Vi menar att en god inomhusmiljö främjar inte bara hälsa och välbefinnande, men minskar också risken för onödig energianvändning.

Multi-metod i fält gav nya svar men kräver överväganden

I projektet användes många metoder samtidigt. Resultat från ADS som mätte de boendes aktiviteter visade sig användbara vid tolkningen av andra insamlade data och gav möjlighet att koppla ihop t.ex. höga halter av föroreningar i inomhusluften med de boendes aktiviteter. Med hjälp av resultat från ADS-mätningarna, i kombination med de dagböcker som de boende fyllde i, kunde de högre partikelhalterna vid uppföljningsmätningarna förklaras med ökade aktiviteter bland de boende, istället för att tolkas som försämrad ventilation. ADS gav också realistiska underlag till energiberäkningarna i IDA-ICE. Systemet behöver dock utvecklas ytterligare. ADS, som bestod av komponenter i form av konsumentprodukter som går att köpa på den öppna marknaden, men där systemet designades inom projektet, fungerade generellt väl redan första året, men om två närbelägna lägenheter mättes samtidigt interfererade mätningarna. Detta åtgärdades till året därpå.

Alla mätningar utfördes i verkliga miljöer vilket ger hög så kallad ekologisk validitet. För att få en så god helhetsbild som möjligt överfördes i vissa fall metoder som vanligtvis används i laboratoriemiljö till den här fältstudien. Det gäller spårgasmätningarna som genom noggrann planering kunde utföras i en så pass utmanande miljö med både kända och okända luftvägar. Ansträngningarna gav frukt och resultaten visar hur viktigt det är att också förstå hur luftflödena rör sig inom en lägenhet. En utmaning för forskning som inkluderar energimätningar före och efter renoveringar av byggnader är de långa tiderna för färdigställande och injustering som egentligen kräver uppföljning över flera år.

Inom projektet användes mätinstrument som var av hög kvalitet och kalibrerade, liksom validerad och standardiserad mätprocedurer. En sådan vetenskaplig ansats är nödvändig för att inte resultaten ska bli missvisande, t.ex. vid mätningar av partikelhalter som här utfördes med parallella mätningar inomhus och utomhus, och med kontinuerlig loggning av mänskliga aktiviteter som påverkar nivåerna.

Etiska överväganden

Projektet har genererat mycket data kopplade till hyresgästernas beteende. Alla data har kodats så att de inte går att koppla till namn eller adress. Projektet innebar att vi var inne i privata hem, men redovisningarna av resultaten innehåller inte beskrivningar eller fotografier som kan härledas till dessa. ADS-mätningarna gav binära signaler som tolkades med hjälp av algoritmer, men inga inspelningar av ljud och bild gjordes. Den här typen av studier kräver, förutom formellt godkännande, mycket noga etiska överväganden och kunskap om hur känsliga data ska hanteras och bör därför utföras av eller tillsammans med universitet som lyder under speciella etiska regelverk.

Transdisciplinaritet ger nya insikter men kräver också nya former för samverkan och reflektion

En förutsättning för att uppfylla studiens mål var samarbetet mellan forskare från olika discipliner. I intervjuer med de deltagande forskarna framkom att de medvetet sökt sig till forskargruppen eftersom de ville få svara på frågor som den egna disciplinen inte kunde besvara. De såg också ett värde i att få sin egen forskning reflekterad i andras syn på det gemensamma studieobjektet. Att arbeta inte bara multi-disciplinärt, utan att också överföra teorier och metoder till varandra, krävde att de deltagande forskarna tog sig tid att förklara sina tankar och ta del av andras. Den organisatoriska strukturen kring externfinansierad forskning och resultatredovisning är inom och utanför akademien ofta uppbyggd kring fördefinierade ämnen. Vi hoppas att fler forskargrupper i framtiden får den möjlighet som vi fick att arbeta trans-disciplinärt och därmed bidra med nya infallsvinklar på samhällsproblem.

Svar på projektets frågor

Hur förändras energianvändning som effekt av renoveringen?

Energianvändningen minskade, men problemen med injustering av värmen gjorde att det inte blev en direkt minskning, och det har inte gått att få fram rättvisande siffror. Kanske beror en del av det glapp mellan förväntad och uppmätt energianvändning som beskrivits tidigare i litteraturen av att det i praktiken alltid pågår justeringar och uppstår driftsfall som gör att energianvändningen varierar. Fortsatta studier bör utreda hur mycket sådana svårigheter bidrar till energianvändningen i större skala och föreslå åtgärder.

Samtidigt som de tekniska renoveringsåtgärderna minskade energibehovet ser vi att de boendes beteende kan påverka utfallet i samma storleksordning. De nya spalterna och ventilerna för inflöde av luft genom fasaden gjorde det möjligt att minska risken för att varm luft transporterades ut genom fasadöppningar. Det var dock även efter renoveringen inte tillräckligt att i alla situationer bara låta dessa stå öppna för att få in tillräckligt med luft, och de boende förväntas även i fortsättningen öppna den större vädringsluckan i vissa fall.

Hur påverkas uppmätt och upplevd inomhusmiljö kvalitet av renoveringen?

Mätningarna visar att inomhusmiljön förbättrades i flera fall, t.ex. i fler lägenheter som klarade kraven på luftflöden, minskad temperaturskillnad i höjddled, förbättrat PMV-index och lägre CO₂-halter i sovrum nattetid. Förbättringarna berodde troligtvis på det förbättrade ventilationssystemet och den minskade värmetransporten genom den södra fasaden. I vissa fall observerades inga förbättringar, eller till och med försämringar, t.ex. ökade partikelhalter vid uppföljningsmätningarna. Dessa kunde förklaras med ökade aktiviteter som genererade partiklar, vilket visar hur viktigt det är med adekvat design av studier som rör luftburna partiklar så att felaktiga slutsatser undviks.

En enkätstudie i området som utfördes inom det parallella Formas-projektet visade att de boende upplevde inomhusmiljön i medeltal som förbättrad, men att det var stora individuella skillnader. Det var också förvånansvärt små skillnader i upplevelse av inomhusmiljön mellan de tre områdena där fokusgruppsintervjuerna ägde rum. I det område som bara varit föremål för underhåll var det mer intensiva diskussioner om låg temperatur och drag vintertid, men i övrigt var berättelserna om olägenheter likartade.

Hur förstår de boende de tekniska och reglerande systemen i lägenheten och sambandet med energianvändning och inomhusmiljö kvalitet, och hur interagerar de boende med systemen?

Det finns en direkt koppling mellan de boendes beteende och energianvändningen (t.ex. vädring), och mellan de boendes beteende och kvaliteten av inomhusmiljön (t.ex. matlagning). Renoveringen gav möjlighet till minskad energianvändning (t.ex. nya spalter) och bättre inomhusmiljö (t.ex. nya spiskåpor), men samtidigt bidrog ändrat beteende till att effekterna inte blev så stora (t.ex. genom fler matlagningstillfällen som gav högre partikelhalter). Det ändrade beteendet kan i det här fallet inte kopplas direkt till renoveringen, men är en intressant observation som kan ligga till grund för fortsatt forskning.

Det tycks inte finnas någon enkel koppling mellan de boendes förståelse för systemen å ena sidan och energianvändning eller inomhusmiljökvalitet å den andra. Analyserna av intervjuer med de boende indikerar att det inte är förståelse för systemen som styr beteendet, utan snarare, som framkom i fokusgruppsintervjuerna, behovet av komfort i stunden. En komplex och korrekt förståelse är en god grund för att medvetet kunna påverka sin inomhusmiljö, men kan inte tas för givet. Bostäder och deras installationer bör utformas så att de boende inte behöver någon särskild systemförståelse eller utbildning för att ta sin roll i att reglera sin inomhusmiljö med ett beaktande av energianvändningen.

Vilka är några av nyckelfaktorerna, med ett holistiskt synsätt, för att renoveringar av flerbostadshus med energieffektivitetsmål ska bli framgångsrika i ett långsiktigt hållbarhetsperspektiv?

Planering inför renovering bör göras i ett helhetsperspektiv där möjlig minskning av energibehovet per åtgärd utvärderas med ett systemtänkande så att andra konsekvenser som åtgärden för med sig, och vidare effekter, synliggörs. Genomgående bör de boendes behov, förståelse och beteende finnas med i sådana analyser, inte bara som standardiserade genomsnitt, utan med hänsyn tagen till individuell variation. På så sätt kan andra åtgärder än de som traditionellt kopplas till energieffektivisering visa sig värdefulla att genomföra. Systematiska intervjuer med de boende före en renovering också ge underlag till utveckling av gränssnittet mellan människa och tekniska system som kan få positiva långsiktiga effekter. Ett utvecklat ventilationssystem där alla komponenter dimensioneras med hänsyn tagen till de boendes behov och med design av gränssnitten som ger intuitiv förståelse för hur de ska regleras skulle kunna vara ett exempel på en energieffektiviseringsåtgärd, men varje renovering har sina förutsättningar.

Praktiska implikationer

Utifrån resultaten har vi formulerat slutsatser av betydelse för energieffektivisering av det äldre bostadsbeståndet i Sverige som en del av en hållbar utveckling.

Inomhusmiljön måste tillåta olikheter

Se till att inomhusmiljön är av tillräckligt bra kvalitet för de flesta hyresgäster, även för de som lagar mycket mat och duschar ofta, och för de som vill sova med sovrumsdörren stängd.

Luften ska flöda genom hela lägenheten

Det är naturligtvis viktigt att fortsätta hålla koll på utflöden i den Obligatoriska Ventilationskontrollen OVK, men se också till att luftspalter och ventiler där luften kommer in är rätt dimensionerade, och att luften kan flöda genom lägenheten. Kontrollera att det finns möjlighet för luftöverföring genom öppningar ovan eller under innerdörrar, eller att eventuella genomföringar i lister är rätt monterade.

Det ska gå att enkelt reglera värme och ventilation vid behov

De reglerande systemen ska klara av att ge en god inomhusmiljö, men ge hyresgästerna möjlighet att finjustera, och se till att de upplever att de har kontroll över sitt hem.

Förbättra miljön utan krav på hyresgästers förståelse

Räkna inte med hyresgästernas förståelse för hur systemen fungerar eller att de tar till sig information. Interventioner som syftar till förbättrad inomhusmiljö med samtidig minskad energianvändning ska inte utformas utifrån att hyresgästerna själva ska ta till sig information.

Gränssnitten ska vara intuitiva så att det är lätt att göra rätt

Utforma reglage och fast inredning så att det är intuitivt hur de ska användas, utan att det behövs någon speciell kunskap eller information. Är det krångligt riskerar reglagen att alltid stå i samma läge, oavsett behov. Ventiler för ingående luft som alltid står öppna kan orsaka onödig energianvändning, samtidigt som ventiler som alltid är stängda leder till otillräcklig ventilation.

Energioptimering ska inte kräva hyresgästernas medverkan

Ta ansvar för optimerad energianvändning utan att räkna med hyresgästerna – är de intresserade får det ses som bonus. Hoppas inte för mycket på information eller återkopplingssystem som baseras på att de boende vill följa energianvändningen.

Betrakta boende, inomhusmiljö och energi som ett system

Genom en helhetssyn och en förståelse för att energi ingår som en del av ett socio-tekniska system där de ingående komponenterna påverkar varandra finns det möjlighet att skapa goda inomhusmiljöer och samtidigt optimera energianvändningen. Det behövs därför olika kompetenser, inte bara inom forskningen utan också i praktiken, vid planering och genomförande av energieffektivitets-åtgärder. Sådana samarbeten bör inkludera teknisk expertis såväl som beteendevetenskaplig.

Publikationslista

Filmer

Länkar till filmerna finns på projektets websida www.peire.lth.se.

Hitta balansen! Boende, inommiljö och energi. Projektet redovisat i tolv korta filmer inspelade vid slutkonferensen 16 september 2020 i Lund.

Hälsa och inomhusmiljö i bostäder. Filmat seminarium med utblick Danmark.

- Hälsa och inomhusklimat – hur hänger det ihop? Torben Sigsgaard, professor och forskningsledare, och doktor Grethe Elholm, adjunkt, Sektionen för Miljø, Arbejde og Sundhed
- BE-READY och RE-VALUE – helhetssyn på renovering och boendes hälsa. Charlotte Gabel, doktorand vid Sektionen för Miljø, Arbejde og Sundhed
- Mätningar av inomhusklimatet i allmännyttans bostäder i Danmark. Steffen Petersen, lektor vid Indoor Climate and Energy
- En boendes upplevelse av inomhusklimatet - antropologiskt perspektiv. Mia Kruse Rasmussen, senior antropolog vid Alexandra Institutet.

Vad händer när hyresgästerna får betala för varmvattnet? Filmat seminarium på temat varmvattenförbrukning.

- Det är ju ett slags guldkant på tillvaron att duscha länge. Helena Köhler, Linköpings universitet, har intervjuat hyresgäster om deras syn på varmvattenförbrukning och vad som styr deras beteende.
- Stor variation mellan boende - statistisk analys av mätdata från 1500 lägenheter. Victor Fransson, LTH, ger oss siffror på vad som händer.
- Individuell varmvattendebitering på Eddan. Eja Pedersen, LTH, och Victoria Silfverberg, LKF berättar om hur varmvattendebitering infördes på Linero och hur det påverkade förbrukningen.

How can we study and understand the complex interaction between technical systems and humans – theory building and experiences from indoor environments in multifamily housing. Filmat seminarium. På engelska.

- Building meta-theories for complex systems. Mark Edwards, Jönköping University
- Building meta-theories for buildings. Kristian Stålné, Malmö University, the Peire-project
- Co-analysing measurements from indoor environments. Yujing Li, Malmö University and Birgitta Nordquist, Lund University.

Hur kan vi förstå och ta hänsyn till boendes beteenden vid energieffektivisering av bostäder? Filmat seminarium kring temat hur olika teorier kan användas för att förstå de boendes roll.

- Boendes vardagspraxis, bostadsrenovering och energianvändning. Kirsten Gram-Hanssen, professor i hållbart vardagsliv vid Statens Bygghörsningsinstitut, Ålborgs universitet i Köpenhamn.
- Boende är människor som påverkas och påverkar. Eja Pedersen, docent i miljöpsykologi vid LTH, Lunds universitet.
- Boendes förståelse och beteende – några aspekter från det pågående forskningsprojektet PEIRE. Jonas Borell, psykolog och biträdande lektor i arbetsmiljöteknik, LTH, Lunds universitet.

Studentrapport

Sellin, N., Magnusson, R., 2018. Renoveringsåtgärders och brukarbeteendes effekt på energianvändning och inomhusmiljö i frånluftsventilerade flerbostadshus, avd. för Installationsteknik, LTH.

http://www.hvac.lth.se/fileadmin/hvac/TVIT-5062NS_RM_web.pdf

Vetenskaplig rapportering

Cold Climate HVAC 2018, Kiruna, 12-15 mars. Publicerade i: D. Johansson, H. Bagge, & Å. Wahlström (Eds.), *Cold Climate HVAC 2018: Sustainable Buildings in Cold Climates* (pp. 802-812). Cham, Switzerland: Springer.

- Pedersen, E., Borell, J., Caltenco, H., Dahlblom, M., Gao, C., Harderup, L.-E., Li, Y., Nordquist, B., Stålné, K., Wallentén, P., Wierzbicka, A. Challenges in transdisciplinary research: Example from a study on people as part of energy and ventilation systems in residential buildings (PEIRE).
- Dahlblom M, Nordquist B, Wallentén P, Harderup L-E, Jensen L. Vertical temperature gradients in apartments with hydronic radiator heating.
- Wierzbicka, A., Licina, H., Omelekhina, Y., P.T Nilsson, P.T. Gudmundsson, A. Black Carbon Concentrations Inside and Outside Occupied Residences.

Omelekhina, Y., Pedersen, E., Nordquist, B., Wallenten, P., Nilsson, P.T. Wierzbicka, A. Indoor-to-outdoor ratios of ultrafine particles in Swedish residences. Proceedings of 5th Working and Indoor Aerosol Conference, Cassino, Italy, 2018

Borell, J., Caltenco, H., Wierzbicka, A., Omelekhina, Y., & Pedersen, E. (2018). Method for measuring occupant behaviors affecting indoor air quality in apartments. In M. Hackenfort, V. Carabias-Hütter, C. Hartmann, M. Janser, N. Schwarz, & P. Stücheli-Herlach (Eds.), *BEHAVE 2018. 5th European Conference on Behaviour and Energy Efficiency. Book of Abstracts.* (pp. 62-63). Zurich: ZHAW Zurich University of Applied Sciences.

The International Societies of Exposure Science (ISES) and Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ), 18 – 22 augusti 2019 i Kaunas, Litauen, publicerade <http://isesisiaq2019.org/abstracts/>

- Stålné K., Pedersen E., Borell J., Li Y. Indoor environments as complex systems and the need for metatheories. p. 72.
- Borell J., Alce G. Measuring the occupant behaviour aspect of indoor air in apartments. p. 72.
- Omelekhina Y., Pedersen E., Nordquist B., Wallentén P., Nilsson P.T., Wierzbicka A. Influence of the renovation on ultrafine particle concentrations in occupied Swedish residences p. 43.
- Wallentén P., Nordquist B., Harderup L-H. Measurements of how users affect air flows between rooms in renovated apartments with exhaust ventilation. p. 73.
- Lundgren Kownacki, K., Halder, A., Petersson, J., Kuklane, K., Wierzbicka, A., Pedersen, E., Gao, C. Does a building renovation improve the indoor thermal comfort? A thermal environment evaluation before and after renovation. p. 74.
- Petersson P., Wallentén P., Nordquist B., Harderup L-E. Measured and perceived thermal comfort in apartments, before and after renovation, p. 74.
- Magnusson R., Sellin N., Nordquist B., Wallentén P., Harderup L-E. Calculations of how users affects energy use and indoor environment by interaction with the ventilation system in apartments with exhaust ventilation systems, p. 87.
- Pedersen, E., Gabel, C., Alce, G., Li, Y., Lundgren Kownacki, K., Nordquist, B., Omelekhina, Y., Stålné, K., Wallentén, P. & Wierzbicka, A., 2019, Disentangling the complex interactions in dwellings between tenant behaviour, indoor environmental qualities, public health and heating energy demands. (Unpublished). 3 p.
https://lucris.lub.lu.se/admin/files/70495643/Summary_Kaunas_final.pdf

Wallentén, Petter. 2021. Measurement of air flows in apartments using Levenberg Marquardt Optimization. IBPSA 2021 (International Building Simulation Association).

Fortsatt vetenskaplig redovisning av projektet på konferenser och i vetenskapliga tidskrifter pågår. Den som är intresserad är välkommen att kontakta oss, se e-postadresser på titelsidan av den är rapporten.

Referenser

- Aries, M.B.C., Aarts, M.P.J., van Hoof, J. (2015). Daylight and health: a review of the evidence and consequences for the built environment, *Light. Res. Technol.* 47, 6–27.
- Blomsterberg, Å., Pedersen, E. (2015). Tenants' acceptance or rejection of major maintenance and energy renovation of blocks of flats – IEA ANNEX 56. 6th International Buildings Physics Conference (IBPC) in Turin, 14 – 17 June.
- Bournas, I., Dubois, M.-C. (2019). Daylight regulation compliance of existing multi-family apartment blocks in Sweden. *Building and Environment*, 150, 254-265. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.013>.
- Boverket (2019). Välj ventilationssystem när du bygger eller renoverar. <https://www.boverket.se/sv/boende/halsa--inomhusmiljo-i-ditt-boende/luft-och-ventilation-i-bostader/valja-ventilationssystem/> Hämtad 2020-11-15
- Brasche S., Bischof W. (2005). Daily time spent indoors in German homes - Baseline data for the assessment of indoor exposure of German occupants. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 208, 247-253.
- Chileshe, N., Khatib, J.M., Farah, M. (2013). The perception of tenants in the refurbishment of tower blocks. *Facilities*, 31, 119–137. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1108/02632771311299403>.
- Dahlblom, M. (2020). Towards sustainability with building services systems – by focusing on material choices, energy use and thermal indoor climates in residential buildings. Thesis, Lund University.
- DellaValle, N., Bisello, A., Balest, J. (2018). In search of behavioural and social levers for effective social housing retrofit programs. *Energy & Buildings* 172, 517 – 524. DOI 10-1016/j.enbuild.2018.05.002.
- Fanger, P.O., Christensen, N.K (1986). Perception of draught in ventilated spaces, *Ergonomics*, 29, 215-235. DOI: 10.1080/00140138608968261
- Fanger, P. O., Melikov, A. K., Hanzawa, H., Ring, J. (1988). Air turbulence and sensation of draught. *Energy & Buildings*, 12, 21–39. [https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/0378-7788\(88\)90053-9](https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/0378-7788(88)90053-9)
- Folkhälsomyndigheten. (2014). Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation, FoHMFS 2014:18. ISSN (tryckt) 2001-7790. ISSN (online) 2001-7804.
- Frontczak, M., Wargocki, P. (2011) Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment* 46, 922 – 937.
- Gram-Hanssen, K. (2014). New needs for better understanding of household's energy consumption – behaviour, lifestyle or practices? *Architectural Engineering and Design Management* 10, 91-107.
- Klepeis N., Nelson W., Ott W., Robinson J., Tsang A., Switzer P., Behar J., Hern S., and Engelmann W. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 11, 231-252.

- La Fleur, L., Moshfegh, B., Rohdin, P. (2017). Measured and predicted energy use and indoor climate before and after a major renovation of an apartment building in Sweden. *Energy and Buildings*, 146, 98–110. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.enbuild.2017.04.042>
- Leech J., Nelson W., Burnett R., Aaron S., and Raizenne M. (2002). It's about time: A comparison of Canadian and American time-activity patterns. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 12, 427-432. Loomis et al., 2013
- Ministry of the Interior and Kingdom Relations (2010). Housing Statistics in European Union. The Hague.
- Nilsson, A. (2003). Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö. Licentiatavhandling.
- Olesen B.W., Parsons K.C. (2002). Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. *Energy and Buildings*, 34, 537-538
- Pedersen E. (2015). City dweller responses to multiple stressors intruding into their homes: noise, light, odour, and vibration. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12, 3246-3263. doi:10.3390/ijerph120303246
- Sibilla, M., Kurul, E (2020). Transdisciplinarity in energy retrofit. A conceptual framework. *Journal of Cleaner Production* 250, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119461>
- Singh, S., Li, S.S.L. (2011). Phthalates: toxicogenomics and inferred human diseases. *Genomics*, 97, 148-157.
- Warfvinge C, Dahlblom M. (2010). Projektering av VVS-installationer. ISBN 978-91-44-05561-9. Studentlitteratur AB, Lund.
- Ventrice, P., Ventrice, D., Russo, E. and De Sarro, G. (2013). Phthalates: European regulation, chemistry, pharmacokinetic and related toxicity. *Environmental toxicology and pharmacology* 36, 88-96.
- Wells, J.R., Schoemaeker, C., Carslaw, N., Waring, M.S., Ham, J.E., Nelissen, I., Wolkoff, P., (2017). Reactive indoor air chemistry and health—A workshop summary. *International journal of hygiene and environmental health*, 220, 1222-1229.
- WHO, (2018). Environmental noise guidelines for the European region. Copenhagen.
- Wierzbicka, A., Pedersen, E., Persson, R., Nordquist, B, Stålné, K., Gao, C., Harderup, L.-E., Borell, J., Caltenco, H., Ness, B., Stroh, E., Li, Y., Dahlblom, M., Lundgren-Kownacki, K., Isaxon, C., Gudmundsson, A., Wargocki, P. (2018). Healthy Indoor Environments: The Need for a Holistic Approach. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 15, 1874; <https://doi.org/10.3390/ijerph15091874>
- Wu, F., Jacobs, D., Mitchell, C., Miller, D, Karol, M.H. (2007). Improving Indoor Environmental Quality for Public Health: Impediments and Policy Recommendations. *Environmental Health Perspectives*, 115, 953.

Bilagor

Administrativ bilaga.

Resultat från forskning om samspelet mellan boende, inomhusmiljö och energi 2016-2020. 8 s. LTH, 2020. [Broschyr till hyresgäster.]