

Artikelförfattare: **Karin Engvall**
 Sysselsättning: **Uppsala universitet**

Egil Öfverholm

**egil.ofverholm@
gmail.se**

Per Levin
 Projekt-
 engagemang AB
**per.levin@projekt-
 engagemang.se**

Per Wickman
 Aton Teknikkonsult AB
**per.wickman@
 aton.se**

Erik Lampa
 Uppsala
 universitet
**erik.lampa@
 medsci.uu.se**

Byggnad, förvaltning eller brukare – vad är viktigast?

Energianvändningen för att värma våra byggnader varierar kraftigt. Ofta finns det naturliga förklaringar som byggnadens ålder och typ av tekniska installationer. Men det finns också många frågetecken när till synes samma typ av byggnad använder olika mycket energi. Beror det på byggnadens design, entreprenören, de tekniska konsulter som används, eller på byggnadens drift och skötsel, och vad kan egentligen sägas bero på brukarna? En tvärvetenskaplig studie av 472 flerbostadshus har studerat hur dessa faktorer samvarierar när det gäller energi-användning för uppvärmning.

Ökade krav på energieffektiva byggnader genererar nya verktyg för att ge bättre energiprestanda i nybyggda hus och införa val av olika åtgärder för energieffektivisering i befintliga byggnader. Sådana verktyg är till exempel olika certifieringssystem som används för att klassificera hållbara byggnader sett till energianvändning, hälsa och välbefinnande. Framtagningen av den så kallade Sveby-standardens är ett annat sådant verktyg (Standardisera och verifiera energiprestanda i byggnader). Här har bygg- och fastighetsbranschen enats om tolkningarna av ställda funktionskrav enligt BBR och utifrån dessa gjort olika antaganden för hur mycket brukarnas användning av byggnaden kommer att påverka energianvändningen. Syftet är att standardiserade indata om brukarnas inverkan ska användas för energiberäkningar. Myndigheternas användning av olika styrmedel kan också ses som verktyg för ett mer hållbart samhälle. Stockholms stads miljöprogram för nybyggnad innehåller till exempel krav

på att blivande byggherrar ska redovisa den förväntade energianvändningen och även följa upp med den faktiskt uppmätta. Om en byggnad inte uppfyller förväntningarna startar en diskussion om varför man inte lyckats uppfylla förväntningarna, och var ligger i så fall ansvaret att åtgärda felet?

Inom forskningen finns i dag en ökad efterfrågan på multidisciplinära studier för att bättre kunna förstå hur olika faktorer påverkar energianvändning och energieffektivisering i den byggda miljön. Hittills studeras ofta en fråga i taget inom olika, berörda discipliner. I dag finns dock en bred samsyn på att den samhälleliga energianvändningen och därmed koldioxidutsläppen inte bara påverkas av teknisk effektivitet utan också av livsstil och sociokulturella faktorer.

För att kunna identifiera vilka faktorer som enskilt har störst påverkan på energianvändningen för uppvärmning måste olika relevanta faktorer inom varje disciplin (byggnadsdesign, inomhusklimat, förvaltning, fastighetsskötsel, beteendevetenskap,

miljömedicin) ingå samtidigt i en analysmodell då många av dessa är kopplade till varandra. I denna artikel presenteras resultaten från en multifaktoriell analys av energianvändningen för uppvärmning i Stockholms flerbostadshus.

Datamaterial

Det datamaterial som använts i studien kommer ifrån 3H-projektet [1] och är ett stratifierat, slumpmässigt urval bestående av 472 flerbostadshus i Stockholm, där en vuxen per lägenhet från totalt 7554 lägenheter har besvarat Stockholms Innemiljöenkät (SIEQ). Följande datakällor har använts:

- 3H-data från Boendeenkät och Fastighetsägarenkät kompletterat med fastighetsdata från Fastighetsregistret och Stockholms byggnadsregister samt vissa kompletteringsdata från Stockholms kommunala bostadsbolag, Fortums debiteringsmätningar av värme och hushållsel
- Boverkets data från inlämnade energideklarationer samt Stockholms stads byggnadsdatabas Kartago – för att stämma av byggnadens areauppgift.



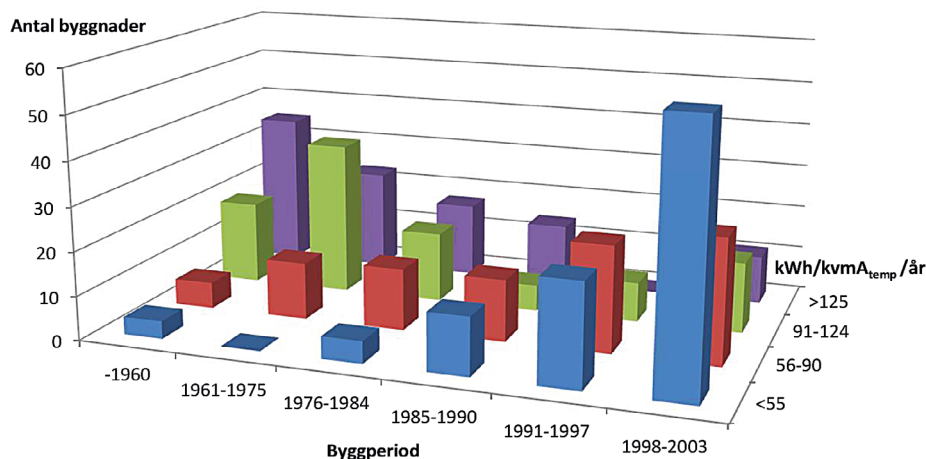
När man i multidisciplinära studier integrerar data från olika databaser som innehåller både kategoriska och kontinuerliga variabler och lägger samman dessa till en enda stor databas, är det viktigt att formatet för datahanteringen kan hantera alla former av information. I denna studie har standarden Fi2 använts [2]. En särskild metod för att kvalitetssäkra energidata, dels med hänsyn till byggnadens och mätarens identitet, dels med hänsyn till varje hus definition av area per kvadratmeter A_{temp} , har genomförts och avrapporterats tidigare [3, 4]. Analysen i denna tvärvetenskapliga studie omfattar slutligen 374 byggnader med 6 156 hushåll, där en vuxen per lägenhet har besvarat enkäten, och omfattar brukardata, fastighetsdata och kvalitetssäkrade energidata om energianvändning för uppvärmning i varje enskild byggnad [5].

Uppmätt energi för uppvärmning

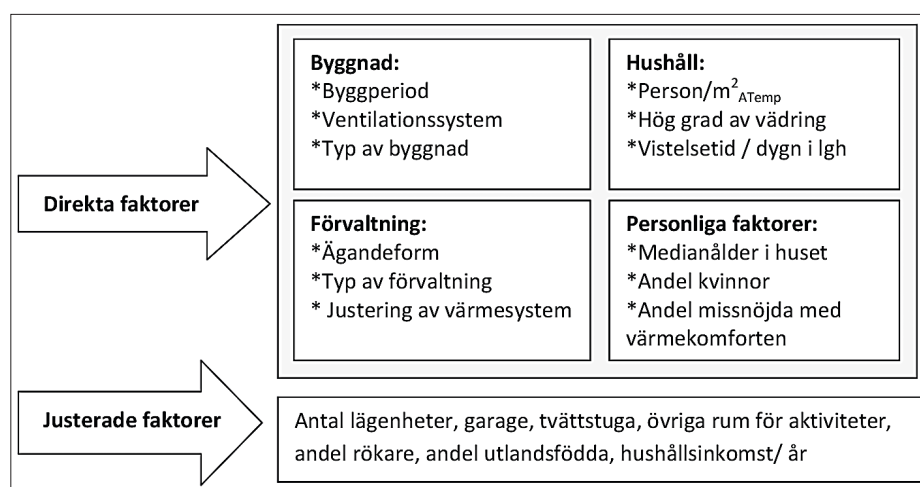
Enkätundersökningen genomfördes januari–april 2005 och uppmätt energi för uppvärmning för varje enskild byggnad inhämtades för perioden mars 2004 till mars 2005. Värdet för energianvändning för uppvärmning är beräknat på $kWh/kvMA_{temp}$. I värdet ingår inte energi för tappvarmvatten eller kulvertvärme. Detta för att få ett värde som bäst överensstämmer med vad som kan ligga i själva byggnaden respektive i de boendes beteende. Energi för uppvärmning är också ett relevant värde att koppla till de boendes komfortupplevelse. Resultat från studien visar att byggnader med låg energianvändning oftast var byggda senare än 1990, och de med hög före 1976. Värt att uppmärksamma är att 23 procent av de nya husen, byggda efter 1998, använde mer än 90 kWh/kvM och år och 32 procent av äldre byggnader, byggda före 1976, använde mindre än 91 kWh/kvM , figur 1.

Tvärvetenskaplig analysmodell

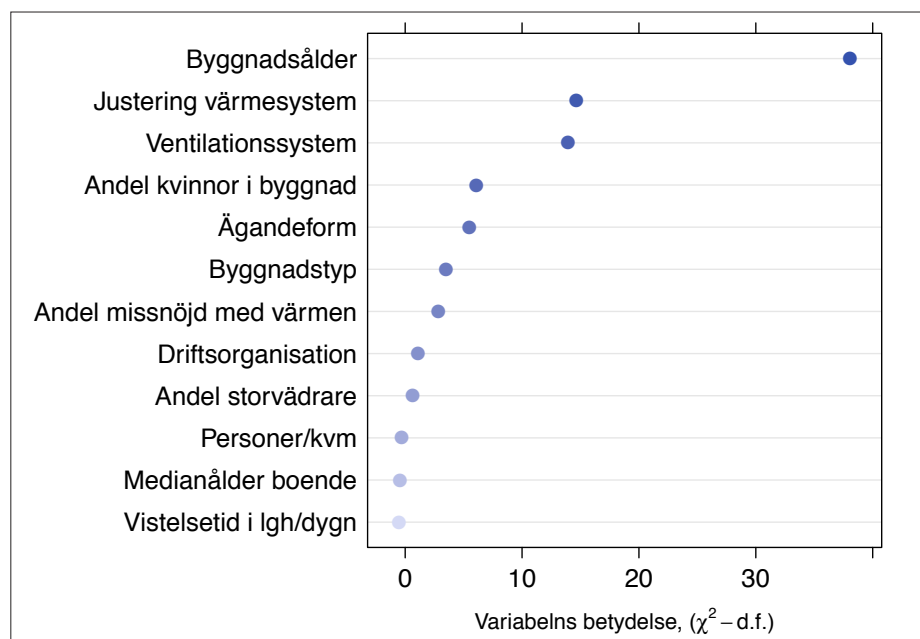
För att få till stånd en tvärvetenskaplig analysmodell och studera vad som kan påverka energianvändningen för värme, har ett större antal relevanta faktorer kopplade till byggnadens design, fastighetsförvaltning, lägenhet, hushåll och individ valts ut från frågeformulären och registerdata. Urvalet av dessa faktorer har utgått ifrån tidigare forskning inom varje område, men också från vad som diskuterats i branschen när det gäller hur olika livsstilsfaktorer kan tänkas påverka energianvändningen. En bra tvärfacklig referensgrupp har betytt mycket i ett projekt som detta. Med hjälp av en så kallad hierarkisk klusteranalys, har beroenden mellan olika variabler tagits fram för att bedöma om kluster av variabler kan representeras av endast en av variablerna. Denna klusteranalys resulterade i 32 olika faktorer, som var för sig visade samband med energianvändningen. Ett antal av dessa faktorer låg dock alltför



Figur 1: Energianvändning för uppvärmning i Stockholms flerbostadshus 2005 efter byggnadsperiod ($kWh/kvMA_{temp}$ och år).



Figur 2: Analysmodell för energianvändning i flerbostadshus i Stockholm.



Figur 3: Variabler av betydelse för energianvändning för uppvärmning – ett högre värde innebär större vikt i regressionsmodellen.

nära varandra, till exempel antal barn och lägenhetens storlek, varför antalet faktorer kunde minskas ner och representeras av 19 olika typer av faktorer i en slutlig regressionsmodell.

Då uppmätt energianvändning för upp-

värmning låg på byggnadsnivå fick de enskilda faktorer som inte var konstanta inom varje byggnad, till exempel boendes ålder, kön, vädningssvanor och inkomst resumeras för varje byggnad. Vissa variabler var uteslagna från början på grund av

dålig spridning, som exempelvis variabeln för värmesystem där 90 procent av byggnaderna var försedda med fjärrvärme, liksom att nästan alla byggnaderna hade vattenburet värmesystem med radiatorer. Sambandet mellan den sista uppsättningen av de oberoende variablerna och energianvändning för uppvärmning prövades med hjälp av linjär regression i byggnader med svar från minst tio lägenheter, *figur 2*.

Komplexa orsaker och samband

I analysmodellen ingår därför inte bara tvärvetenskapliga analyser av samband mellan byggnadsutformning, underhåll och energianvändningen för uppvärmning, utan också kopplingen mellan personliga eller andra livsstilsfaktorer och energianvändning. I modellen ingår tre faktorer inom vardera; byggnad, förvaltning, hus-håll och individ, som alla ofta visat sig ha ett enskilt samband med energi för uppvärmningen. I analysmodellen justeras också för huset storlek, förekomst av garage, tvättstuga, andra utrymmen i byggnaden samt för andel rökare, invandrare och medianinkomst för de boende i huset.

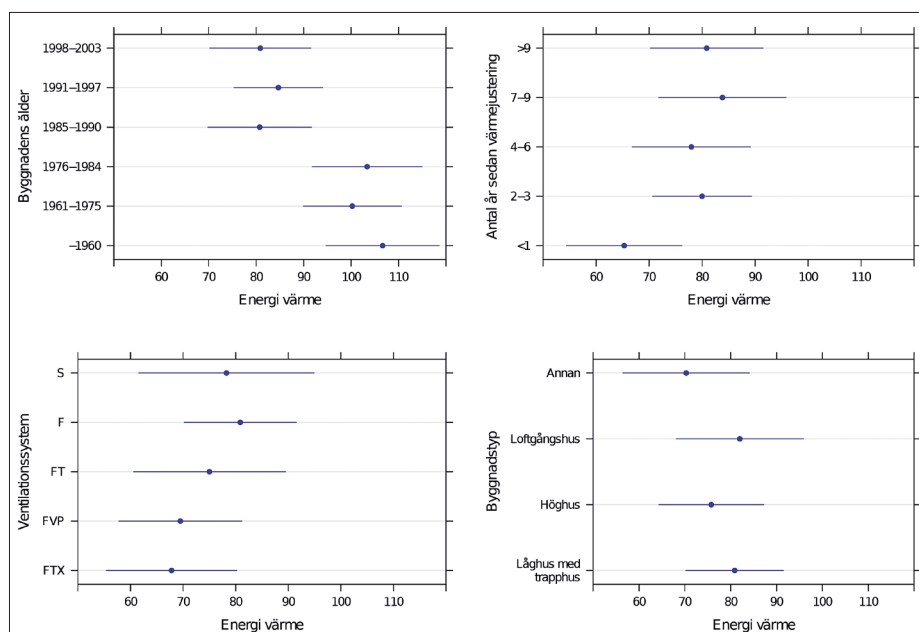
Samband mellan byggnadsdesign, förvaltning, brukande och olika personliga faktorer och energianvändning analyserades genom så kallad viktad multipel logistisk regression med de 19 utvalda variablerna inne i modellen samtidigt.

Byggnad, förvaltning och brukare – vad är viktigast?

Betydelsen av varje enskild faktor som är med i modellen visas i *figur 3* (föregående sida). Av den framgår att signifikant absolut störst enskild betydelse för energi för uppvärmning, alla andra faktorer lika, är byggnadens ålder. Ett logiskt resultat sett till utvecklingen av såväl samhällets normkrav som sättet att bygga. Överraskande på andra plats är tiden sedan senaste justeringen av värmesystemet, tätt följt av typ av ventilationssystem i huset. Därefter kommer andel kvinnor i huset, ägarförhållande, typ av byggnad och andel av de boende som är missnöjda med värmekomforten, som var och en visar på signifikant enskild betydelse för energianvändningen för uppvärmning i huset, alla andra faktorer lika. Faktorer som driftorganisation, hög andel storvädrare, boendetäthet och medianålder och hög vistelsetid i lägenheterna visade sig ha viss betydelse men utan att uppnå statistisk säkerhet.

Byggperiod viktigast

Skillnader mellan byggperioder i studien representerar inte endast utvecklingen av byggreglerna, utan också tekniska system och lösningar för termisk isolering, fönsters U-värde, olika byggmaterial etcetera. Andra studier av energianvändning relaterade till byggår, design och arkitektoniska variabler har visat att energianvändningen



Figur 4: Enskilda byggnadsfaktorer som signifikant påverkar energi för värme (kWh/kvm A_{temp} och år) – alla andra faktorer i modellen lika.

även påverkas av ett antal faktorer relaterade till själva bygg- och förvaltningsprocessen. I denna studie ingår många av dessa yttre faktorer i variabeln "byggperiod". Studeras diagrammet i *figur 4* för hur energianvändningen för värme varierar mellan olika byggår är det en signifikant skillnad mellan hus byggda före och efter 1985.

En förklaring till detta bör vara att byggreglerna skärptes väsentligt med SBN 75 som trädde i kraft 1978. Det kan spåras i bättre energiprestanda för byggperioden 1985–90. I nybyggnadsreglerna 1988 togs det så kallade begränsningskravet för fönsterarea bort och 1994 togs kravet på värmeåtervinning i flerbostadshus med förnybara bränslen bort. Att våra resultat visar en något ökad energianvändning för hus byggda 1991–1997 kan kanske vara en konsekvens av dessa förändringar. Minskningen av energianvändningen för hus byggda 1998–2003 beror sannolikt på Stockholms stads betydligt strängare krav i ett "Program för ekologiskt byggande" som kom 1997.

Injustering av värmen lika viktigt som typ av ventilationssystem

Det var förväntat att hitta skillnader i energianvändning för uppvärmning med avseende på olika ventilationssystem. Byggnader med värmeåtervinningssystem använder mindre värme än de utan, *figur 4*. Detta kan vara en effekt av en högre luftomsättning i bostadshus med frånluftsventilation som rapporterats i den landsomfattande Elib-studien 1993 [5]. Observera dock att vi relaterar enbart till energi för värme. Fläktens eller värmepumpens elanvändning är inte medräknad.

Denna studie visar att energianvändningen för en byggnad vars fastighetsägare

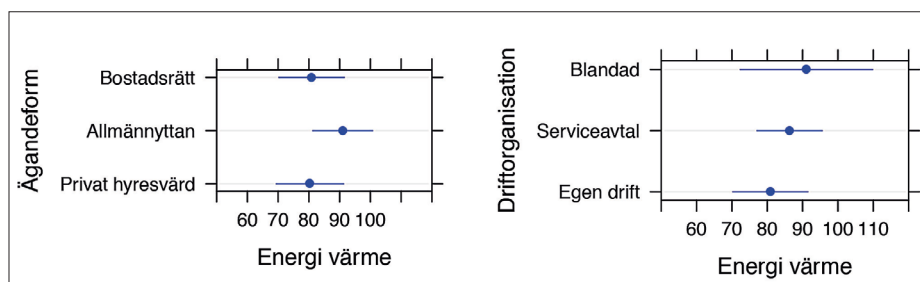
injusterat värmesystemet för ett år sedan verkar vara 10–15 kWh/kvm och år lägre än de som gjorde så för sju–nio år sedan, när alla andra faktorer i modellen är lika, *figur 4*. Noteras kan att i en tredjedel av Stockholms flerbostadshus var det mer än sju år sedan värmesystemet justerats. Frågan är om intervallens längd har koppling till ett större engagemang i driften generellt.

Byggnadens utformning

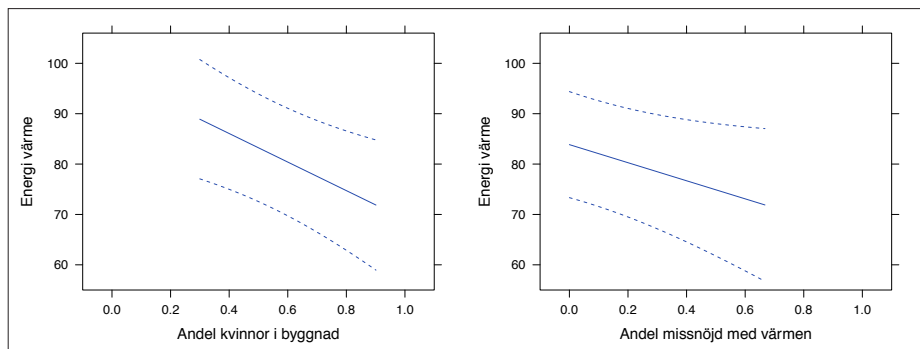
Byggnadsutformning var också signifikant relaterad till energianvändning för uppvärmning även om skillnaderna är förhållandevis små. Loftgångshusen har dock en något högre energianvändning än lamellhus, punkthus och den grupp av hus som fastighetsägaren inte kunde klassificera, *figur 4*. Detta kan bero på att loftgångshus har fler köldbryggor på grund av loftgångarna.

Upplåtelseformens betydelse

Energi för uppvärmning visade sig vara 25 procent lägre i flerbostadshus med bostadsrätter och hus med privat hyresvärd än i hus med "kommunal" hyresvärd. Den var högst i allmännyttans flerbostadshus, alla andra faktorer lika, även demografiska och socioekonomiska förhållanden, *figur 5*. Så beror skillnaden på valet av teknik eller val av åtgärder för energieffektivisering? Kan skillnaden bero på att förvaltningen ägnas större uppmärksamhet i byggnader upplåtna med privat ägande eller hålls en lägre temperatur i dessa hus? Andra studier [5] har visat på stora skillnader i engagemang för energieffektivisering mellan de som äger och de som hyr sin bostad, liksom att boende i bostadsrätter ofta håller en lägre inomhustemperatur jämfört med boende i hyreslägenheter.



Figur 5: Enskilda förvaltningsrelaterade faktorer som signifikant påverkar energi för värme (kWh/kvm A_{temp} och år) – alla andra faktorer i modellen lika.



Figur 6: Enskilda brukarrelaterade faktorer som signifikant påverkar energi för värme (kWh/kvm A_{temp} och år) – alla andra faktorer i modellen lika.

Av figur 5 framgår också att i byggnader där fastighetsägaren sköter förvaltningen i egen regi är energianvändningen för uppvärmning något lägre än om man anlitar annat förvaltningsbolag, skillnaden är dock inte statistiskt säkerställd. Resultaten tyder på att det krävs ytterligare studier för att hitta framgångsfaktorer i förvaltningen av flerbostadshus.

Upplevd termisk komfort och energi för värme

Lägre energianvändning för uppvärmning var tydligt relaterad till en högre andel boende som uttryckte missnöje med värmekomforten i lägenheten under vintersäsongen, figur 6. Sambandet gäller när alla andra faktorer är lika i modellen inklusive byggnadsutformning, förvaltning och socioekonomiska faktorer som inkomst, utrikes födda och medianåldern i byggnaden. Flera forskare har visat på sambandet mellan uppfattad termisk komfort och mätt temperatur inomhus. Andra forskare har påvisat att energianvändningen kommer att öka 5–10 procent per grad av ökad inomhustemperatur beräknad utifrån att inomhustemperaturen ökar från 20 °C. En rekommendation för upplevd inomhusmiljö i riktlinjerna från Ashrae (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) [5] och krav från certifikatutfärdare av miljöbyggnader är, att 80 procent av invånarna i bostadshus ska vara nöjda med den termiska komforten inomhus. Om vi följer vår graf för förhållandet mellan upplevt missnöje med värmekomforten och energi för uppvärmning, visar den att mer än 20 procent av de boende uttryckt termiskt obehag i byggnader med mindre än 80 kWh/kvm A_{temp}

och år för uppvärmning, figur 6. Det kan kanske förklaras med en lägre inomhustemperatur i dessa byggnader? En annan förklaring kan vara stora fönsterytor med följande kallstrålning och kalldrag.

Kvinnors betydelse

Överraskande resultat var att i hushåll där en kvinna besvarat inomhusmiljöenkäten fanns ett starkare samband med energianvändning för uppvärmning, än för andra brukarrelaterade faktorer i modellen. En högre andel kvinnor i huset, gav lägre energianvändning för uppvärmning, alla andra faktorer lika, figur 6. De studier som lyfter fram genusperspektivet i samband med energianvändning har oftast tittat på elanvändning och inte på energianvändning för uppvärmning. Studier [5] har dock visat att kvinnor mer allmänt är mer miljömedvetna än män. I en studie från Naturvårdsverket [5] var ett resultat att kvinnor i större utsträckning än män kan tänka sig minska sin elanvändning, och de var också mer redo att sänka temperaturen inomhus. Detta kanske kan ge en del av förklaringen till våra resultat. En annan förklaring kan vara att sättet att mäta andelen kvinnor i huset var för grov. Men resultaten bör uppmuntra till ett genusperspektiv vid analyser av miljömässiga ambitioner

3H

Stockholms stad genomförde 2005 en omfattande kartläggning av upplevd inomhusmiljö och hälsa i Stockholms flerbostadshus. Kartläggningen ingår i projektet "Hälsomässigt Hållbara Hus -3H", ett tvärvetenskapligt samarbetsprojekt som inkluderar både forskning och implementering.

när det gäller energianvändning för uppvärmning.

Slutsats

Ungefär hälften av energianvändningen i flerbostadshus används till uppvärmning. Som ett resultat av den förbättrade kvaliteten av termiska egenskaper hos byggnader, tillsammans med internationella och nationella energiförordningar [5], minskar energianvändningen för uppvärmning. Detta leder till att betydelsen ökar av att i analyser för vad som påverkar energianvändningen ha med olika faktorer kopplade till boende och förvaltning. Vilket i sin tur pekar på nödvändigheten av ett mer integrerat perspektiv på hur samverkan mellan användare, teknik och förvaltning av byggnaden ser ut. Ett antal variabler inom varje aktörs ansvar (byggnad, förvaltning, brukare) hade högsta effekt på energianvändning för uppvärmning när de används samtidigt i modellen inklusive alla övriga faktorer lika. Variablerna var för byggnad: byggperiod, ventilationssystem, typ av byggnad; för förvaltning: ägandeform, driftorganisation, tidsintervall för värmejustering; för brukarna: andel kvinnor, andel missnöjda med värmekomforten.

I PBL (Plan och Bygglagen) har det länge stått att byggnader ska underhållas så att deras egenskaper bibehålls. Frågan är om detta räcker eller om det finns ett behov av regler för underhåll för att främja energieffektivitet? Studien visar att i framtiden bör större fokus läggas på förvaltningen av byggnaden under dess livscykel och speciellt hur byggnaden tas om hand i driftsfasen. Men också att de boendes miljömedvetenhet sannolikt har stor betydelse.

Studien har finansierats med bidrag från forskningsrådet Formas, Fastighetsägarna Sverige, Fastighetsägarna Stockholm och Stockholms stad inklusive de kommunala bostadsbolagen och AB Fortum Värme. [e](#)

Referenser

- [1] Stockholms väg mot Hälsomässigt Hållbara Hus -3H 2009. Miljöförvaltningen i Stockholm. ISBN 978-91-885125-37-1 och www.ammuppala.se/3H.
- [2] www.fi2.se.
- [3] Engvall K, Wickman P. Metod för kvalitetssäkring av energidata i 472 flerbostadshus i en tvärvetenskaplig studie om hälsomässigt hållbara hus i Stockholm (3HE-studien). Rapport nr 1/2011 Arbets- och Miljömedicin, Uppsala.
- [4] Öfverholm E, Wickman P, Levin P, Engvall K. Kan man lita på kWh och kvm? Energi & Miljö 10/2011.
- [5] Engvall K, Lampa E, Levin P, Wickman P, Öfverholm E. Interaction between building design, management, household and individual factors in relation to energy use for space heating in apartment buildings. Energy and Buildings 81 (2014) p 457–465.