

Energianvändning i moderna flerbostadshus - Resultat från mätningar i 200 lägenheter

Hans Bagge, Byggnadsfysik LTH

Användning av energianvändning för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel, hushållsel och solvärmekostnader har studerats i flerbostadshus på nio fastigheter. Målet med projektet har bland annat varit att presentera nyckelvärden relaterade till energianvändning. Nyckelvärden som kan användas när krav ska ställas på energianvändning, nyckelvärden som kan användas när energiberäkningar görs för att projektera för att uppfylla krav samt nyckelvärden för att kritiskt granska resultat från beräkningar.

För djupare beskrivning av analysmetoder och resultat hänvisas till licentiatavhandlingen "Energy Use in Multi-family Dwellings – Measurements and Methods of Analysis" som finns tillgänglig från Byggnadsfysik LTH.

Hållbar energianvändning

I det kvalitetsprogram som togs fram för bomässan Bo01 stod att all energi som används på området också ska produceras på området. Över året ska det råda en balans mellan den energi som produceras och den energi som används. Värme produceras av en värmepump som tar värme från en akvifer och från havet. Solfångare finns på flera av byggnaderna och bidrar med värme. El genereras av ett vindkraftverk och i mindre omfattning av solceller på byggnaderna. Värme- och elproduktionssystemen på området är anslutna till Malmös stadsnät genom vilket fastigheterna får sin energi. Därigenom är det möjligt att använda el och värme från stadsnätet när produktionen understiger användningen och på motsvarande sätt leverera el och värme till stadsnätet när produktionen är större än användningen.

För att uppnå balansen mellan producerad och använd energi på området ställdes krav på att byggnaderna på fastigheterna skulle projekteras för att inte använda mer energi än 105 kWh/m² vilket inkluderar uppvärmning av hus och tappvarmvatten, fastighetsel och hushållsel. Notera att detta krav är betydligt strängare än kraven i byggreglerna som kräver energianvändning lägre än 110 kWh/m² exklusive hushållsel. Byggherrarna använde olika teknik för att klara kravet på 105 kWh/m² och innan bygglov beviljades skulle beräkningar presenteras som visade att fastigheterna skulle klara Bo01:s krav. Bo01's Kvalitetsprogram krävde dessutom att energianvändningen skulle mätas när byggnaderna var i drift för att verifiera hur de uppfyllde kraven.

De studerade fastigheterna

Tabell 1 och Tabell 2 beskriver översiktligt data för byggnaderna. Sju av fastigheterna har både höghus och radhus och två av fastigheterna har endast höghus.

Tabell 1. Antal lägenheter i höghus och radhus och olika areor av intresse.

	Antal lägenheter i höghus	Antal lägenheter i radhus	Total area	Uppvärmd golvarea exkl. garage	Lägenhetsarea
			/m ²	/m ²	/m ²
Fastighet 1	37	4	7550	5463	4001
Fastighet 2	9	2	1570	1445	1242
Fastighet 3	16	7	4749	3546	2002
Fastighet 4	15	5	4075	2623	1657
Fastighet 5	23	-	6251	3115	2656
Fastighet 6	8	3	1750	1739	1309
Fastighet 7	27	-	4322	3467	2667
Fastighet 8	21	1	3772	2437	2686
Fastighet 9	13	5	3366	2390	1621

Fastighet 1, Fastighet 5 och Fastighet 8 har verksamheter i bottenplan: Fastighet 1 har två klädbutiker, Fastighet 5 ett café och Fastighet 8 två restauranger och en klädbutik.

Tabell 1. Värmedistributionssystem, ventilationssystem och ventilationsvärmeåtervinning.

	Värmedistributionssystem			Ventilationssystem		Värmeåtervinning	
	Vattenburna radiatorer	Vattenburen golvvärme	Elektrisk värme i badrum	Mekanisk frånluft	Mekanisk till- och frånluft	Frånluftvärmepump, uppvärmning av hus	Frånluftvärmepump, tappvarmvatten
Fastighet 1	x		x	x		x	
Fastighet 2	x		x		x	x	x
Fastighet 3	x		x	x		x	
Fastighet 4	x		x	x			
Fastighet 5		x	x	x		x	
Fastighet 6	x		x		x	x	x
Fastighet 7	x	x		x			
Fastighet 8		x		x			
Fastighet 9	x		x	x			

I Fastighet 2 och Fastighet 6 har varje lägenhet egna lägenhetsggregat med fläktar för till- och frånluft och en frånluftvärmepump. Frånluftvärmepumpen prioriterar uppvärmning av tappvarmvatten och värmer i andra hand tilluften i ventilationen.

Den totala energianvändningen

Figur 1 redovisar den totala energianvändningen i de olika fastigheterna under 2005.

Energianvändningen är fördelad på följande poster:

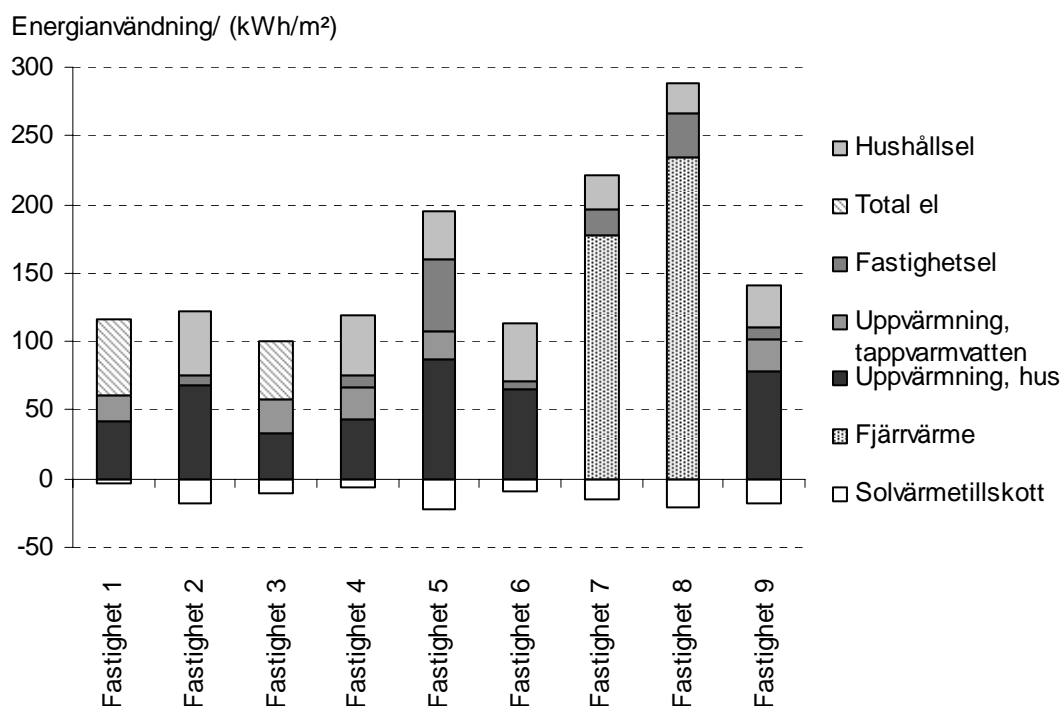
- Uppvärmning av hus
- Uppvärmning av tappvarmvatten
- Fastighetselanvändning

- Hushållselanvändning

I figur 1 redovisas solvärmertilskottet genom fönster in i bostaden som negativa staplar för att möjliggöra redovisning i samma diagram.

För Fastighet 7 och Fastighet 8 var det inte möjligt att mäta/beräkna energianvändning för uppvärmning av tappvarmvatten. Därför presenteras den totala värmeanvändningen för dessa fastigheter utan uppdelning på uppvärmning av hus och uppvärmning av tappvarmvatten.

För Fastighet 1 och Fastighet 3 mäts fastighetsel och hushållsel inte separat, därför redovisas total elanvändning. Alla byggherrar projekterade sina byggnader för att klara ett gemensamt mål vad gäller energi. Det är anmärkningsvärt att uppmätt energianvändning varierade med en faktor tre mellan högsta och lägsta användning och att medelvärdet på den uppmätta användningen på inget sätt överensstämmer med medelvärdet på predikteringarna. Endast en av fastigheterna uppfyller kravet i kvalitetsprogrammet om total energianvändning lägre än 105 kWh/m².



Figur 1 Energianvändning för de olika fastigheterna under 2005. Solvärmertilskott, som inte är en köpt energi, presenteras som negativa staplar för att passa i diagrammet.

Tre fastigheter använde mer än 190 kWh/m², fem fastigheter använde mellan 110 kWh/m² och 140 kWh/m² och en fastighet använde 100 kWh/m². Total energianvändning var i medeltal för alla fastigheter 157 kWh/m². Om fastigheter som använder golvvärme som huvudsakligt värmedistributionssystem exkluderas var den totala energianvändningen i medeltal 119 kWh/m².

Uppmätt fjärrvärmeanvändning

Den genomsnittliga fjärrvärmeanvändningen var 104 kWh/m² under 2005 med en spridning mellan 58 kWh/m² och 234 kWh/m². Den genomsnittliga beräknade fjärrvärmeanvändningen var 60 kWh/m². Den uppmätta och normalårskorrigerade fjärrvärmeanvändningen var med andra ord i medeltal 73 % högre än den beräknade.

Sedan 2002 har fjärrvärmeanvändningen sjunkit i sju av nio fastigheter. För de flesta fastigheter minskar fjärrvärmeanvändningen från år till år. I en fastighet har fjärrvärmeanvändningen minskat med 30 % mellan 2002 och 2005, medan fjärrvärmeanvändningen ökat 10 % under samma period i en annan av fastigheterna.

Resultatet visar på en stor spridning mellan fastigheternas fjärrvärmeanvändning, en faktor fyra mellan den högsta och den lägsta användningen. De fastigheter som har låg fjärrvärmeanvändning har någon form av ventilationsvärmeåtervinning. Men det finns undantag där en het utan värmeåtervinning har den näst lägsta fjärrvärmeanvändningen och en fastighet med frånluftsvärmepump har hög fjärrvärmeanvändning.

Fjärrvärmeanvändningen för de fastigheter som använder vattenburen golvvärme var 173 kWh/m². Användningen i de fastigheter som använder vattenburna radiatorer var 70 kWh/m², notera att i två av dessa användes inte fjärrvärme för att värma tappvarmvatten.

En säkerhetsfaktor på 2 för att räkna rätt på värme

De svenska byggreglerna ställer krav på att predikterad energianvändning ska konfirmeras genom mätningar i den färdiga byggnaden. För att säkra att den faktiska energianvändningen överensstämmer med den predikterade rekommenderas i byggreglerna att säkerhetsfaktorer används i beräkningar. Det ges inga riktlinjer om vilka säkerhetsfaktorer som ska användas.

Prediktionerna av energianvändning för Bo01 fastigheterna utfördes av konsulter som arbetar med energifrågor. Trots det är den faktiska värmeanvändningen mer än 70 % högre än predikterad. Om detta är representativt vad gäller skillnad mellan uppmätt och predikterad användning skulle en säkerhetsfaktor på 2 vara aktuell för att med god sannolikhet få predikterad värmeanvändning att överensstämma med uppmätt användning. Men, en sådan hög säkerhetsfaktor vore orealistisk och skulle förklara de inblandade parterna och beräkningsprogram för inkompetenta.

Det är av yttersta vikt att energiberäkningar görs med omsorg och med lämpliga indata och inte minst att resultat från beräkningar granskas kritiskt. Vidare måste även det som byggs och installeras utföras på ett sådant sätt och vara av sådan kvalitet att det matchar projekteringsdata.

Uppmätt uppvärmning av tappvarmvatten

Uppvärmning av tappvarmvatten har beräknats utifrån uppmätt fjärrvärmeanvändning under sommaren och en antagen variation under året. Medelanvändningen för uppvärmning av tappvarmvatten var 23 kWh/m² och varierade mellan 19 and 25 kWh/m² i de olika fastigheterna. I fastigheter som inte inkluderade verksamheter var användningen per lägenhet 3310 kWh. Byggherrarna predikterade att uppvärmningen av tappvarmvatten i medeltal skulle vara 33 kWh/m² eller 4320 kWh per lägenhet. Alltså, den predikterade användningen var i storleksordningen drygt 30 % högre än den uppmätta.

När Byggreglerna kräver att predikterad energianvändning ska verifieras med mätningar är det angeläget att det installeras mätare så att uppvärmning av tappvarmvatten kan mätas separat. För att mätningarna ska kunna möjliggöra analyser som kan förklara eventuella skillnader mellan predikterad och uppmätt användning krävs att energianvändningen kan fördelas på lämpliga energiposter. Om hög värmeanvändning ska skyllas på brukarbeteende så måste detta kunna styrkas med adekvat data.

Solvärme genom fönster

Assimilering av solvärmestillskott har beräknats utifrån mätningar av fjärrvärme, utetemperatur och global solstrålning. Alla fastigheter använde mindre värme under soliga dagar jämfört med molniga dagar. Soliga dagar definieras här som de med en ackumulerad global solstrålning över 3000 Wh/m² och molniga dagar som de med en ackumulerad global solstrålning mindre än 500 Wh/m².

I medeltal minskade värmeeffekten med 5 W/m² under en solig dag jämfört med en molnig. Minskningen varierade mellan 1.8 W/m² and 7.8 W/m² i de olika fastigheterna. De soliga dagarna förekommer typiskt under sommaren när det inte finns något uppvärmningsbehov och det är vanligare med dagar med mindre solstrålning under uppvärmningssäsongen. Det gör att det är relativt få dagar som värmeeffekten minskar med 5 W/m² på grund av solstrålning.

Med uteklimat som under 2005 sparades i medeltal 14 kWh/m² på grund av assimilerad solstrålning vilket motsvarar 17 % av uppvärmningsenergin. Detta varierade mellan 3 kWh/m² and 22 kWh/m² i de olika fastigheterna.

Fönsterarea i relation till uppvärmd area varierar mellan 21 % och 37 % för de olika fastigheterna. De fem som har fönsterarea mindre än 30 % av uppvärmd area hade en besparing på i genomsnitt 20 % av uppvärmningsenergin medan de fyra med mer än 30 % fönster hade en besparing på i genomsnitt 14 % av uppvärmningsenergin. Detta indikerar att när fönsterarean ökar, ökar transmissionsförlusterna mer än vad solvärmestillskottet ökar. På vintern när det är få timmar med dagsljus kommer stora fönster att fungera som en dåligt isolerad transparent vägg. Troligtvis kan mer energi sparas om transmissionsförlusterna begränsas med en mindre fönsterarea jämfört med ett större solvärmestillskott genom stora fönster.

Uppmätt fastighetselanvändning

Fastighetsel definieras här som den elanvändning som fastighetsägaren betalar för. Det inkluderar elanvändning för att driva byggnadens tekniska system såsom fläktar och pumpar, utebelysning och belysning i gemensamma utrymmen, hissar och ventilations värmeåtervinning. Byggreglerna ställer krav på total användning av uppvärmning och fastighetsel. Det innebär att fastighetsel måste mätas i alla nya byggnader för att verifiera att byggreglerna efterlevs.

Under 2005 var medelanvändningen av fastighetsel i Bo01 fastigheterna 19,5 kWh/m², och varierade mellan 6 kWh/m² och 52 kWh/m² i de olika fastigheterna. Skillnaden mellan de olika fastigheterna var mycket stor, en faktor nio.

Skillnaderna kan delvis förklaras med vilka tekniska system som fastighetselen betjänar. Fastigheter som använder mekanisk frånluft utan någon form av värmeåtervinning använde i medeltal 18 kWh/m². Fastigheter som har läghetsaggregat med ventilation som försörjs med hushållsel hade en låg fastighetselanvändning på i medeltal 6,5 kWh/m².

För att avgöra huruvida användningen av fastighetsel är hög eller låg krävs en kvalitativ bedömning. Att jämföra användning av fastighetsel utan att samtidigt studera värmeanvändning och hushållselanvändning kan ge missvisande resultat. En högre fastighetselanvändning kan i många fall åtföljas av en lägre värmeanvändning medan en lägre fastighetselanvändning i vissa fall kan förklaras med en högre hushållselanvändning.

Om fastighetselen är hög på grund av att den driver någon form av värmeåtervinning borde det resultera i lägre värmeanvändning och hög fastighetselanvändning på grund av gemensamma tvättstugor borde leda till lägre hushållselanvändning.

Detta exemplifierar att det är viktigt att studera byggnaden och dess system som en helhet och att endast studera enskilda parametrar sannolikt leder till felaktiga slutsatser.

Om fläktar och andra tekniska system såsom återvinningsaggregat försörjs med hushållsel måste denna elanvändning mätas separat för att möjliggöra mätning av den energi som faktiskt används för uppvärmning.

Uppmätt hushållselanvändning

Hushållselanvändningen fördelad på uppvärmd area var under 2005 i medeltal 35 kWh/m² och varierade mellan 22 kWh/m² och 47 kWh/m² i de olika fastigheterna. Per lägenhet var användningen i medeltal 4700 kWh och varierade mellan 2500 kWh och 6800 kWh för de olika fastigheterna.

Om hushållselanvändningen fördelas på läghetsarea, det vill säga den area där den faktiskt används, var medelanvändningen 47 kWh/m² och varierade mellan 28 kWh/m² och 68 kWh/m². Skillnaden i användning mellan de olika fastigheterna kan delvis förklaras med att hushållselen används till sådant som inte direkt räknas som hushållsel samt att det är olika läghetsstorlekar.

Där hushållsel endast används till sådant som traditionellt räknas till hushållsel var användningen i medeltal 2800 kWh per lägenhet. I de fall elektrisk värme används i badrum, till exempel handdukstorkar och golvvärme, och försörjs med hushållsel ökade användningen till 4900 kWh per lägenhet. Om det dessutom finns lägenhetsaggregat för ventilation och värmeåtervinning via värmepump, som värmer tappvarmvatten och försörjs med hushållsel, ökade användningen ytterligare till 6200 kWh per lägenhet.

Om hushållselen inkluderar uppvärmning såsom elvärme i badrum och försörjning av tekniska system såsom fläktar och värmeåtervinning måste dessa numera mätas separat för att möjliggöra verifiering av kraven i byggreglerna. Det innebär att ett antal mätare måste installeras i byggnader där det är aktuellt. I många fall är lägenhetsinnehavarna inte medvetna om att elektrisk golvvärme och elektriska handdukstorkar belastar den egna hushållselen.

Detta visar än en gång på hur viktigt det är att studera byggnaden och dess system som en helhet och att det är den totala energianvändningen fördelad på ett antal energiposter som måste studeras för att ge rättvisande bedömningar.

Solvärmetillskott och fönster

De tre fastigheter som hade högst total energianvändning har tre saker gemensamt. De är de tre fastigheter som har störst fönsterarea i förhållande till uppvärmd area, de tre som har vattenburen golvvärme som huvudsakligt värmedistributionssystem och de är de tre fastigheter som har högst värmeanvändning. Mätdata visar att under soliga dagar minskar värmeanvändningen betydligt på dessa fastigheter men trots det blir värmeanvändningen mycket hög.

Fastighet 4 hade mycket lägre energianvändning trots stor fönsterarea, 30 % i förhållande till uppvärmd area. Trots de stora fönsterareorna och en majoritet av fönstren orienterade mot öster och väster visar mätdata att det assimilerade solvärmetskottet är mycket litet i denna fastighet. Det kan bero på att de fönster som vetter mot väster är skydda av de hus som ligger mot havet. Trots det låga solvärmeutnyttjandet är fjärrvärmeanvändningen för uppvärmning av huset mycket låg och i nivå med hus som använder ventilationsvärmeåtervinning. En orsak kan vara att Fastighet 4 har de bäst isolerade väggarna och tak. Detta pekar på att det är med enkla medel som isolering som det är enkelt att uppnå låg energianvändning.

Det exemplifierar även att låg användning av energi för uppvärmning kan uppnås även med förhållandevis stor fönsterarea. Fastighet 4 använder radiatorer för värmedistribution medan de tre övriga husen med fönsterarea strax över 30 % använder golvvärme. Det kan vara så att det är golvvärmen och inte stora fönster som har lett till den höga energianvändningen, eller kan det vara så att det är stora fönster i kombination med golvvärme som lett till den mycket höga energianvändningen för uppvärmning.

Värmeåtervinning i ventilation och isolering i klimatskärmen

Byggnaderna på Fastighet 4 och Fastighet 5 är de enda byggnaderna som uppfyller kravet på värmeisolering i byggreglerna som var gällande vid tiden 2000-2001. U-värdena är på inget sätt speciellt låga med dagens mått mätt. Den totala energianvändningen i Fastighet 4 var näst lägst på området och lägre än flera hus som använde frånluftvärmepumpar. Detta visar än en gång på hur viktigt ett välisolerat klimatskal är för att möjliggöra låg energianvändning.

De två fastigheter som hade högst värmeanvändning har ingen form av ventilationsvärmeåtervinning. Samtidigt har de som tidigare nämnts, vattenburen golvvärme och mycket stora fönster. Kombinationen av dessa tre karakteristika synes vara synnerligen olyckligt ur energisynpunkt.

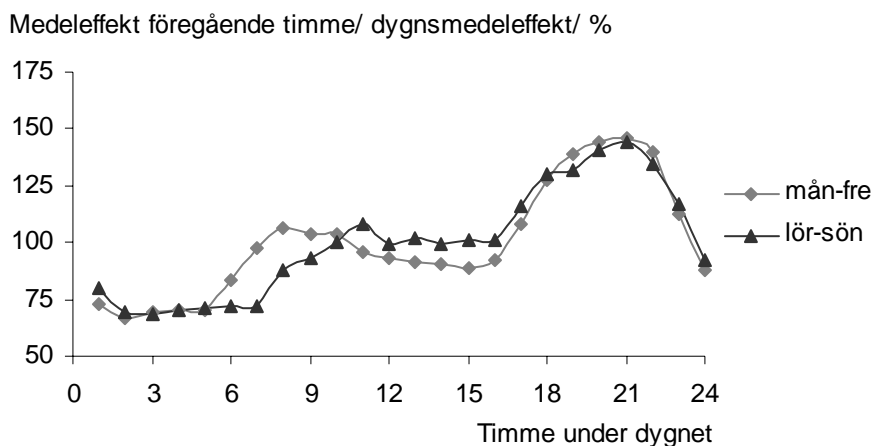
Värmeanvändningen för fastigheter som använde någon form av ventilationsvärmeåtervinning var i de flesta fall lägre än för fastigheter som inte använde någon återvinning. Men det är inte nödvändigtvis så att den totala energianvändningen är lägre. Då är det viktigt att studera den totala

energianvändningen och inte bortse från viktiga delar i en byggnads energibalans, som till exempel hushållselen, som kan innefatta delar av uppvärmningsenergin, direkt eller indirekt.

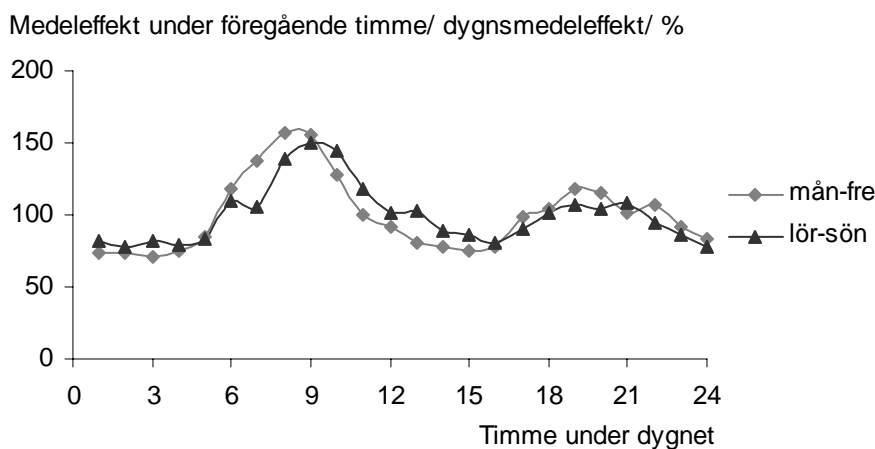
Olika användning vid olika tider

När uteklimatet varierar under året kommer även behovet av uppvärmning att variera eftersom det till största del beror på uteklimatet och särskilt utetemperaturen. Med svenskt klimat innebär det att behovet av uppvärmning kommer att vara störst under vintermånaderna december, januari och februari, och lägst under sommarmånaderna juni, juli och augusti. Även typiskt brukarrelaterade energiposter som hushållsel och uppvärmning av tappvarmvatten varierar mycket under året. Användningen av hushållsel och tappvarmvatten är båda störst under vintern och lägst under sommaren.

När energiberäkningar utförs antas i de flesta fall användning av både hushållsel och tappvarmvatten vara konstanta under året. Genom att anta en konstant användning av hushållsel under året beräknas uppvärmningen felaktigt då spillvärme från hushållselen kan stå för en stor del av uppvärmningen. Uppvärmningsbehovet kommer då att överskattas under vintern och kylbehovet kommer att underskattas under sommaren. På samma sätt så kommer tappvarmvattenanvändningen att underskattas under vintern och överskattas under sommaren vilket resulterar i att beräknat behov av total värme kommer att underskattas under vintern och överskattas under sommaren. Detta är särskilt viktigt att ta hänsyn till om uppmätt energianvändning under kortare perioder jämförs med beräknad användning.



Figur 2. Exempel på hushållselen variation under dygnet i Fastighet 9



Figur 3. Exempel på variation i uppvärmning av tappvarmvatten under dygnet i Fastighet 9

Användningen av hushållsel och uppvärmning av tappvarmvatten varierar inte bara under året utan även under dagen. Variationerna under dagen har liknande egenskaper för både hushållsel och tappvarmvatten vilket exemplifieras i figur 2 och figur 3. Det är ”peakar” vid samma tider under morgon och kväll. Tappvarmvattnet har den största ”peaken” under morgonen medan hushållselen har den största ”peaken” under kvällen. Även dessa variationer under dygnet bör tas hänsyn till när energianvändning simuleras för att ge bättre prediktioner.

Samma funktion olika system

En tillsynes låg värmeanvändning kan bero på att del av värmen ligger dold i andra energiposter. Exempelvis kan tappvarmvatten vara eluppvärmt. Detta är fallet på två fastigheter där tappvarmvattnet värms med ett lägenhetsaggregat som inkluderar en frånluftsvärmepump försörjd med hushållsel. Dessa byggnader har mycket låg användning av fastighetsel vilket beror på att lägenhetsventilationsaggregaten drivs med hushållsel. Om endast fjärrvärmeanvändning och fastighetsel används som mått på energianvändning kommer det att ge missvisande värden för byggnader med dessa system.

I två fastigheter är handdukstorkar i badrum vattenburna och värms med fjärrvärme. I övriga hus värms handdukstorkar med hushållsel. Handdukstorkarna kan ses som dold värme och ofta vet inte lägenhetsinnehavarna att elektrisk värme i badrum belastar deras hushållsel. På fastigheter med handdukstorkar som går på hushållsel kommer därför en del av uppvärmningen vara i form av direktverkande el. Dessutom används komfortvärme i badrum, golvvärme och handdukstorkar, även utanför uppvärmningssäsongen när det inte finns något egentligt behov av värmen annat än för att i fallet med golvvärme; kompensera för golvmaterial med låg kontakttemperatur.

Det är omöjligt att bedöma en byggnad utan att ha tillgång till den totala energianvändningen fördelat på att antal underposter samt kunskap om den byggteknik och de tekniska system som är aktuella.

Slutsatser

Mätningarna visar att det är energi för uppvärmning som varierar mest och som avviker mest från beräknad användning och inte de energiposter, hushållsel och tappvarmvatten, som mer direkt påverkas av brukaren. Detta talar mot att det är den brukarrelaterade energianvändningen som gör att energiberäkningar slår fel.

För att möjliggöra en detaljerad analys av en byggnads energianvändning och möjlighet att hitta orsaker till eventuella avvikelser mellan uppmätt och beräknad användning krävs att den totala energianvändningen studeras med tillräckligt tidsupplöst data fördelad ett antal energiposter.

För att bedöma en byggnads energianvändning måste den totala energianvändningen studeras och det går inte att bortse från viktiga delar i en byggnads energibalans, som till exempel hushållselen, som kan innefatta stora delar av uppvärmningsenergin, direkt eller indirekt.

I fallet med Bo01 resulterade ett gemensamt energimål för fastigheterna i en spridning med en faktor tre mellan högsta och lägsta energianvändning och endast en fastighet som uppfyllde målet. Resultatet betonar vikten av högre kvalitet på prediktioner av energianvändning för att möjliggöra projektering av byggnader som uppfyller mål om låg energianvändning.