

Jämförande mätstudie av fyra flerbostadshus

Author Eje Sandberg, ATON Teknikkonsult AB

Adress: Blockv. 12 B, 19251 Sollentuna

eje.sandberg@aton.se

Sammanfattning

En mätuppföljning av tre lågenergihus och en referensbyggnad har genomförts med syftet att få mer kunskap om avvikelser i byggprocessen, vad de kan bero på och hur de ska undvikas.

I mätstudien kan konstateras att två av byggnaderna har påfallande högre energiåtgång uppmätt som årsenergi och uppmätt som värmeförlusttal vinterperioden. Avvikelserna har en rad tänkbara förklaringar som tillsammans bidrar till slutresultatet. Bygghandlingarna för dessa två byggnader hade påtagliga brister vad avser mät- och uppföljningsrutiner för byggprocessen, dvs vad som ska följas upp, hur, när och av vem. Framgångsfaktorer var den byggare som utsåg en energiansvarig, gjorde riskanalyser och hade genomarbetade uppföljningsrutiner för byggprocessen.

I mätstudien har mätosäkerheter bedömts och kvantifierats och uppgår till ca 30% för uppmätt årsvärme för ett passivhus om också osäkerheter i de beteenderelaterade delarna tas med.

Metoder för mätbestämning av byggnadens värmeförlusttal vid dimensionerande utetemperatur redovisas och diskuteras.

keywords: Passivhus, mätstudie, årsenergi, värmeförlusttal, mätosäkerhet, kontrollprogram



Varför en mätstudie?

Mätuppföljningar från lågenergihus kan ge oss kunskaper både om vad som fungerar och vad som inte fungerar. Hur mycket kan uppmätt skilja sig från kalkylerad och varför? Vidare finns de olika metoder för att bestämma prestandavärden.

Det har byggts ett antal flerbostadshus i Sverige fram till idag. Både första, andra och tredje generationens vad avser byggföretag som byggt och redan lärt sig av tidigare misstag och framsteg. I nu genomförd studie (Sandberg 1012) mäts byggnader uppförda under 2010 av två olika byggföretag och som alla representerar första generationens byggnader.

Två av fastigheterna (B1 och B2) är kalkylerade för passivhus (varav en består av två byggnader och en av fyra byggnader, men med gemensam undercentral för fastigheten), en byggnad (B3) är beräknad till att ligga något över kraven för passivhus och den fjärde är en referensbyggnad (B4) som precis klarar kraven enligt byggreglerna. Samtliga är fjärrvärmda och har värmeåtervinning ur frånluften med FTX-system utom referensbyggnad B4 som har frånluft med värmepump. För att skapa jämförbarhet mellan dessa fyra byggnader anges värme och summa värme som netto energi. Det innebär för B4 att värmen mäts efter värmepump, dvs den värmeenergi som byggnaden behöver för sin uppvärmning.

Uppmätt årsenergi

Såväl beräknade värden som uppmätt årsenergi per kvadratmeter uppvärmd area (bostadsarea och biareor) för värme och total energianvändning framgår av tabell 1. Beräkningar är genomförda med simuleringsprogrammet Energihuskalkyl¹ (ver 2.0), som tillämpar de referensvärden som rekommenderats av branschsamarbetsprojektet Sveby: Innetemperatur 21 grader, persontäthet 41 m²/person, varmvattenanvändning 25 kWh/m², hushållsel 30 kWh/m².

Tabell 1 Jämförelse mellan beräknade och uppmätta värden för de fyra projekten. I posten värme ingår även varmvattencirkulationsförluster och i total energianvändning ingår värme, varmvatten och fastighetsel.

(kWh/m ²)	Beräknat värme	Beräknat total	Uppmätt värme	Uppmätt total	Normaliserat total	Normaliserat värme
B1.	14	43	22	58	51	22
B2.	20	49	30	77	65	28
B3.	25	58	46	78	86	53
B4 (5 mån)	49	--	48	--	--	--

Uppmätt normaliserad värmeanvändning är normaliserad med avseende på utetemperatur och spillvärme från hushållsel och fastighetsel. Det kan direkt konstateras att uppmätt värmeenergi avsevärt överstiger beräknade värden, speciellt för byggnad B3. Under denna byggnad ligger ett kallt garage. Det kalla garaget blev inte kallare än + 14 grader beroende på stora värmeläckage i värmeledningssystem och från varmvattencirkulationsledningar som går genom garaget (se bild).

¹ Programmet är utvecklat av författaren och följer beräkningsstandard ISO 13790 och beräknar byggnadens värmeförlusttal fritt tillgängligt via en nättjänst och årsenergi (licens) på www.energihuskalkyl.se.



Bara varmvattencirkulationsförlusterna (VVC) uppskattades i detta projekt till 12 kWh/m^2 , men en del av detta har byggnaden nytta av. Vidare kan värmeförluster via väggkonstruktioner och golv ner till garaget vara betydande. Därtill bedöms värmeförlusterna från byggnaden även i övrigt vara väsentligt högre än beräknat. Om det beror på underskattade värden för köldbryggor, om betongelementen som användes hade sämre isoleregenskaper än uppgivet, eller om värmeåtervinningen via FTX-aggregatet inte gått som förväntat kan vi inte veta. Någon mätutrustning fanns inte installerad för att kunna läsa av värmeåtervinningssystemets funktion under drift.

För byggnad B2 användes samma byggelement och även här är värmeförlusterna avsevärt högre än förväntat. Såväl i byggnad B2 och B4 ingick också en förskoleavdelning som kan påverka resultatet. I B2 ingick även en del kulvertförluster som inte var med i den ursprungliga kalkylen. Referensbyggnaden (B4) mättes endast under perioden jan – maj, dvs 5 månader.



Eftersom mätningarna genomfördes under första vintersäsongen så kan även uttorkning av betongstommen påverkat resultatet. En påverkan på nivån $2 - 4 \text{ kWh/m}^2$ har uppskattats, men vår kunskap om uttorkningsförlopp i energieffektiva täta byggnader där värmeåtervinning i detta fall sker med roterande växlare som också återvinner en del fukt är ganska begränsad. Det innebär att vi inte vet när under året uttorkningen sker och inte heller hur spridningen ser ut för de olika åren efter inflyttningen.

Övriga energiposter

Hushållens energianvändning , fastighetsel, varmvatten och VVC- förluster redovisas i tabell 2.

Tabell 2 Uppmätta värden för hushållsel, fastighetsel (FEL) och varmvatten (VV) i de fyra projekten per uppvärmd area.

(kWh/m ²)	Hushållsel	FEL		VV		VVC	Antal Lgh
		Ber.	Köpt	Köpt	Beräknat		
B1.	26	9	9	27	3,6	97	
B2.	26	10	12	35	2,4	30	
B3.	21	15	13	19	10	39	
B4	19	-	-	-	-	15	
Referensvärde	30			25			

Variationerna vad gäller övriga energiposter mellan olika byggnader visar att mätdata för köpt energi behöver normaliseras inte bara mot normalår, utan också vad avser varmvatten och spillvärme från hushållsel eftersom dessa uppvisar betydande variationer mellan olika byggnader.

VVC-förlusterna ingår in de tidigare redovisade värdena för värme och har i detta projekt beräknats (B3) eller uppskattas med en schablon per lägenhet. I B3 tillkommer förluster i värmeledning förlagd i kallt utrymme som beräknats specifikt för detta projekt. Skillnaden i elanvändning i hushållen mellan B2. och systerhuset B4. kan förklaras med dold elvärme och icke tidsstyrda handdukstorkar i B2.

Även i B1. kan kompletterande elvärme ingå trots att det finns fast installerade elvärmare och som kontoförs under värmeposten. Som genomsnittsvärde för de fyra objekten blir elanvändningen för hushållsel 23 kWh/m², dvs klart under de svenska referensvärdena och trots inslag av elvärme.

Även spillvärme från fastighetens elanvändning påverkar värmebehovet. I köpt energi tas dock hänsyn till detta genom att både värmebehov och fastighetsel ingår i summan.

Avvikelserna mellan beräknad och köpt fastighetsel har varit låg trots att en förskoleavdelnings ventilationssystem tillkom i en byggnad och styrning för belysning i garage och förråd fallerat i en annan. Det visar att det går ganska bra att kalkylera fastighetsel i förväg.

Avvikelser i varmvattenanvändning jämfört med referensvärden varierar påtagligt men är enkelt att normalisera.

VVC-förlusterna kan vara stora och bör uppmärksammas bättre. En förklaring att det inte sker är att VVC-förlusterna inte är så enkelt att beräkna. En annan att en del beräkningsprogram inte tydligt har indatafält för denna systemdel. Här finns ett tydligt behov av att informera projektörer och projektledare och information till arkitekter att rita lägenheter så inte horisontella VVC-ledningar måste dras i bjälklaget (B3).

Betydande mätosäkerhet

När verkliga mätdata jämförs med simulerade värden uppstår en del tolkningsproblem. Det finns en betydande osäkerhet i de data vi använder vid simuleringen som inte har med byggnaden att göra utan med spillvärme och beteende, solinstrålning, mm. Eftersom Sveriges byggregler är kopplade till faktisk energianvändning, så utgör dessa osäkerheter en realitet. I länder där kraven är kopplade till en teoretisk modell slipper man dessa osäkerheter, men har heller inget incitament till uppföljande mätningar eller att förstå uppkomna avvikelser.

Osäkerheterna ligger såväl i de modeller vi har vid simulering, i de referensvärden som används för spillvärme som andel av verksamhetens elanvändning (hushållsel) och i en rad beteendemässiga parametrar som vi inte kan eller vill mäta och slutligen rena osäkerheter i mätarnas noggrannhet. I de teoretiska beräkningarna (simulering) ger hushållsel en betydande osäkerhet eftersom vi är osäkra på hur mycket av hushållselen som blir nyttigt spillvärme. I detta avsnitt betraktas alla osäkerheter från simulering till uppmätning och som påverkar när vi ska bestämma en avvikelse för en byggnad (entreprenörens åtagande), som mätosäkerheter.

Om utgångspunkten är en utförd simulering och en mätning ska visa om avvikelser finns från vad en entreprenör utlovat vad avser byggnadens fysiska prestanda så finns betydande osäkerheter, inte bara vad gäller mätarnas osäkerheter utan också vad avser andra parametrar som kan påverka resultatet och som vi har svårt att fastställa mätmässigt.

Mätrelaterade osäkerheter uppskattas till ca 20% för ett passivhus vilket ger en möjlig avvikelse på drygt 4 kWh/m², se tabell 3.

Tabell 3 Osäkerheter mätrelaterade parametrar för byggnad på passivhusnivå

Mätning		Avvikelse (%)
Mätare fjärrvärme		3
Mätare VV		5
Temperatur VV	2 grader	4,4
Utetemperatur	normalår	10
Spillvärme HEL	+/- 0,9 W/m ²	17
Spillvärme FEL	+/- 0,17 W/m ²	3,3
Osäkerhet	%	21
Årsenergi	kWh/år	4,3

Vi kan normalårskorrigera mätdata med en rad olika metoder, men studier utförda av Sveby² visar att dessa inte minskar osäkerheten för lågenergihus. För hushållsel ligger osäkerheten i hur mycket av uppmätt el som ger spillvärme.

Beräknad energianvändning avser ett normalt boende, en given innetemperatur, ett normalt klimatår, normal fönstervädring och hur solen skuggas, mm. Men om vi inte mäter och korrigerar dessa tillkommer ytterligare osäkerheter på samma osäkerhetsnivå, se tabell 4.

² www.sveby.org

Tabell 4 Osäkerheter för beteenderelaterade parametrar

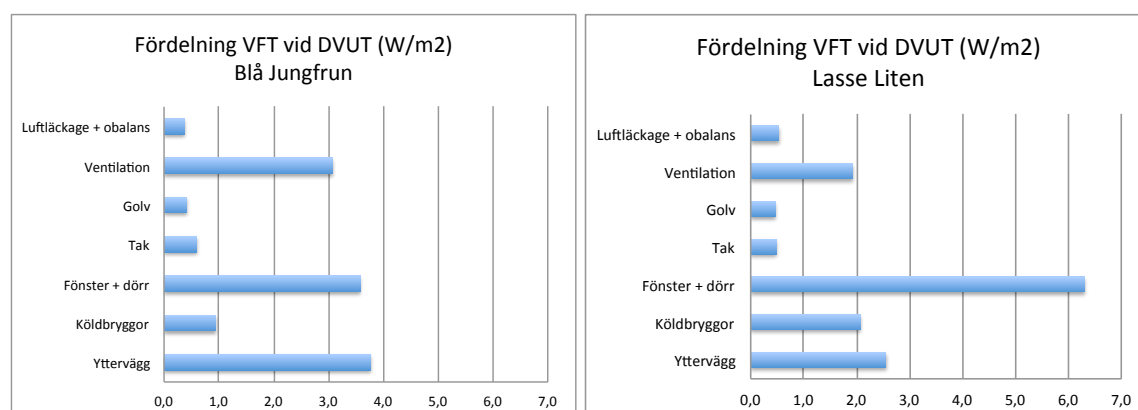
Beteende		Avvikelse (%)
Personvärme	+/- 0,6 p/lgh	5
Persienne vår/höst	50%	8
Vädring	+/- 3 kWh/m ²	15
Innetemperatur	1 grad	10
Osäkerhet	%	20
Årsenergi	kWh/ m ²	4,1

Om vi kan anse att dessa osäkerheter är oberoende av varandra så blir den sammanlagda "mätosäkerheten" nära 30% eller ca 6 kWh/m².

Sen kan alltid diskuteras om t.ex vädring är en osäkerhet för simuleringskalkylen eller en beteendemässig osäkerhet men i arbetet med att förklara en avvikelse kan vi ändå betrakta det som en "mätosäkerhet".

Mätning av byggnadens värmeförlusttal

För ett passivhus är uppvärmningssäsongen kort, men vid dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT) så finns värmeförluster som måste till del måste tillföras. I de svenska passivhuskriterierna finns ett krav på max värmeförlusttal (VFT) vid DVUT. Hur förlusterna vid DVUT fördelar sig på två byggnader som ingick i studien framgår av figur 1.



Figur 1 Projekteringsvärden för värmeförluster vid dimensionerande utetemperatur för två objekt beräknade med Energihuskalkyl (www.energihuskalkyl.se).

VFT kan mätas enligt metod i rapport Mätning och verifiering [Sandberg 2009] och sker genom en korttidsmätning omfattande minst 3 veckor under den mörka perioden v 47 – v 6 (dvs en period med små störningar från solinstrålning) som också är en kall period vilket innebär att spillvärmens får en mindre betydelse. Mätningen är statisk, dvs en avläsning vid mätningens start och avslutning är tillräcklig och mätperiodens längd motiveras av att inlagring och utlagring ur väggstommen vid ändrade utetemperaturer inte ska störa, dvs de dynamiska värmeförloppen ska minimeras till en nivå där de kan försummas. Resultaten från mätning av VFT för de fyra objekten framgår av tabell 5. Även för VFT har mätosäkerhet analyserats och bedömts uppgå till 7 – 8%.

Tabell 5 Värmeförlusttal VFT (W/m^2) beräknat och uppmätt för de fyra projekten

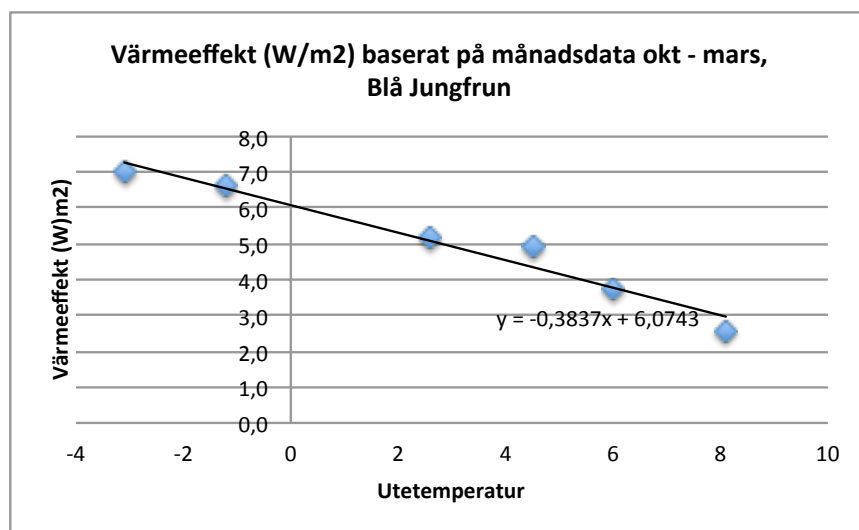
(W/m^2)	Uppmätt	Uppmätt + osäkerhet	Beräknat
B1.	16	13	13
B2.	21	19	16
B3.	22	19	16
B4. referens	33	30	29

Av tabell 4 framgår att uppmätt värmeförlusttal är väsentligt högre än kalkylerat med projekteringsdata, men efter avdrag för möjlig osäkerhet vid mätning är det endast två objekt som tydligt avviker med högre värmeförlusttal. En betydande osäkerhet vid mätning under första vintersäsongen är upptorkning av kvarvarande fukt i byggkonstruktionen där vi idag har för lite kunskaper. Vidare har samtliga objekt haft vissa driftproblem.

Metodikerna med statistisk mätning har två svagheter:

- Mätavläsningar ska göras på plats
- Tillfälliga driftstörningar och injusteringar kan få genomslag

Som alternativ har därför testats alternativa metodansatser baserat på trendanalys med månadsdata för fjärrvärme under vinterperioden okt – mars, se figur 2. Därefter läggs spillvärme till från personer, apparater och solinstrålning för januari månad och sedan dra av det genomsnittliga effektbehovet för varmvatten vid DVUT- perioden utifrån varmvattenanvändningens årsdata eller från mätdata på varmvattenbehovet för den perioden.



Figur 2 Värmeeffekt ($W/m^2, K$) okt – mars, Blå Jungfrun

Nyttan med en mätning av värmeförlusttalet är att det möjliggör en snabbare återkoppling till projektet än med årsenergimätning och ger en tydligare koppling till byggnadens egenskaper. Osäkerheten vad gäller uttorkningsförlopp under första driftåret innebär dock att resultaten mer kan användas för en indikativ bedömning att byggnaden inte har allvarliga brister i sitt utförande, till dess vi har mer kunskap om uttorkningsförloppen.

Rutiner och kontrollplaner

Hur energikrav för byggnaden ska hanteras i byggprocessen måste vara tydlig i byggprojektets handlingar. Här återfinns tydliga brister för två av objekten i hela kedjan från projektering, bygghandling, installation, kontroll- och besiktning fram till slutlig prestandamätning. Brister som kan

förklara en hel del av det försämrade utfallet för dessa. Kedjan brister om krav formulerats men inte förts in operativt i den utförande byggorganisationen.

Här kunde även brister ses vad gäller tydliga energikrav i anbudshandlingar för de olika underentreprenörerna. Då är det svårt att i efterhand få gehör för dessa. I genomförande saknades specifikt energiansvarig och i kontrollplanen har inte prestandaprovning ingått.

För det objekt som lyckats bättre har det funnits en särskild ansvarig för energiberäkningar och uppföljning genom hela projektet. Projektet har drivits som partneringentreprenad med starkt fokus på energifrågorna vilket verkar ha gynnat uppföljningen. En särskild checklista för ansvarsfördelning och riskanalys kopplat till energiuppföljningen har tagits fram.

I ett lågenergihus är ventilationsaggregatet den mest strategiska komponenten för att minimera byggnadens värmeförluster. Dess funktion svarar för mer än en halvering av byggnadens värmeförluster i ett lågenergihus. Drift- och underhåll av aggregaten kan läggas ut på extern driftorganisation förutsatt att dess funktion är uppmätt och verifierad och lämpligen även finns uppkopplad via web-baserad övervakning. Ett övervakningssystem, med larmnivåer för aggregatets verkningsgrad under vinterperioden rekommenderas. I ett av projekten har två av fyra aggregat med centrala roterande växlare haft interna läckflöden som påtagligt sänkt verkningsgraden, men som kunde identifieras via övervakningssystemet.

Närvarostyrning av belysning i garage och trapphallar är en förutsättning för låg elanvändningsnivå. I ett av projekten har ljudsensorn inte justerats in och belysningen har varit på konstant. Detta är dock en fråga som bör kunna klaras i samband med funktionskontrollen.

Slutsatser

Detta uppföljningsprojekt visar att kvalitetsarbetet måste vara högre och mer genomtänkt om energieffektiva byggnader med säkerhet ska nå uppsatta mål i bostadsbyggandet än vad som tidigare varit fallet.

Studien visar också att betydande mätosäkerhet finns och att en väl tilltaget osäkerhetsintervall måste läggas på resultaten. Speciellt för byggnader med roterande växlare och betongkonstruktioner tillkommer osäkerhet vad gäller uttorkning som en tillkommande osäkerhet eftersom vi saknar kunskaper om hur uttorkningsförlopp i dessa byggnader ser ut.

Referenser

Sandberg, Eje., (2012). Lågenergihus – jämförande mätstudie av fyra flerbostadshus. LÅGAN. Aton rapport 1202.

Sandberg, Eje., (2009) Mätning och verifiering – underlag till kriteriedokument för Passivhus och Minienergihus/ Forum för Energieffektiva Byggnader, ATON rapport 0904 (www.aton.se) 33 sidor.