

# Energiberäkningar

Avvikelser mellan projekterat och uppmätt energibehov  
- Förstudie -

Utarbetad av  
Peter Filipsson  
Jan-Olof Dalenbäck

Installationsteknik,  
Chalmers tekniska högskola

Göteborg, juni 2014

Beställargruppen lokaler, BELOK, är ett samarbete mellan Energimyndigheten och Sveriges största fastighetsägare med inriktning på kommersiella lokaler. BELOK initierades 2001 av Energimyndigheten och gruppen driver idag olika utvecklingsprojekt med inriktning mot energieffektivitet och miljöfrågor.

Gruppens målsättning är att energieffektiva system, produkter och metoder tidigare skall komma ut på marknaden. Utvecklingsprojekten syftar till att effektivisera energianvändningen samtidigt som funktion och komfort förbättras.

Gruppens medlemsföretag är:

- Akademiska Hus
- Castellum/Corallen
- Diligentia
- Fabege
- Fortifikationsverket
- Hufvudstaden
- Jernhusen
- Locum
- Lokalförvaltningen – LF
- Malmö Stad Serviceförvaltningen
- Midroc
- Skolfastigheter i Stockholm – SISAB
- Specialfastigheter
- Statens Fastighetsverk
- Swedavia
- Vasakronan
- Västfastigheter

Till gruppen är även knutna:

- Statens Energimyndighet
- Boverket
- Byggherrarna
- CIT Energy Management

## SAMMANFATTNING

Uppmätt energibehov i byggnader är ofta större än projekterat. Skillnaden är större i byggnader projekterade som lågenergihus och den här förstudien kan inte bekräfta att det bara är den relativa skillnaden som ökar.

I förstudien presenteras olika orsaker till avvikelser, vad som idag görs och vad som framgent bör göras för att undvika dem.

Det finns idag stort utrymme för den som genomför energiberäkningar att trots fastställda förutsättningar styra resultatet genom val av indata, klimatfil och beräkningsprogram.

Med anledning av detta är Svebys brukarindata och pågående arbete med att ta fram standardiserade klimatfiler samt IEA:s arbete med ny verifieringsmetod för beräkningsprogram mycket motiverat.

En annan källa till avvikelser är brister i kommunikation mellan olika skeden i byggprocessen. SP:s arbete med ByggaE-metoden kan få en viktig roll för att undvika detta. Till skillnad från i beräkningsfall så kräver verkliga byggnader ett omsorgsfullt idrifttagande med injustering, verifiering och finjustering. Lågenergibygnader har ofta mer komplexa installationer än vanliga byggnader varför det är väldigt viktigt att inte förbise detta.

För att ytterligare undvika avvikelser bör det tas fram uppdaterade och väl avvägda riktlinjer för hur man hanterar köldbryggor, värmeåtervinning, VVC-förluster och horisontavskuggning i energiberäkningar för lågenergihus.

I denna förstudie undersöks byggnader som tillhör Lokalförvaltningen i Göteborg. Lokalförvaltningen har tydliga och väl utarbetade anvisningar för hur konsulter ska genomföra energiberäkningar och ofta stämmer beräkningarna bra med utfallet. Det är mycket sannolikt situationen är betydligt värre hos fastighetsägare som inte har samma tydliga styrning av energiberäkningar.

Eftersom det är omöjligt att helt och hållet undvika avvikelser mellan en beräkningsmodell och verkligheten så ges förslag dels på hur man i förväg kan storleksuppskatta avvikelserna och dels hur man i efterhand kan hitta orsakerna till avvikelserna.

SAMMANFATTNING .....	3
1 BAKGRUND .....	5
2 INLEDNING .....	6
3 OSÄKERHETER OCH ANDRA ORSAKER TILL AVVIKELSER .....	8
3.1 Beräkningsunderlag .....	10
3.2 Indata .....	11
3.3 Beräkning .....	14
3.4 Avvikelse .....	15
3.4.1 Bygg .....	16
3.4.2 Drift .....	17
3.4.3 Brukande .....	18
3.4.4 Sammanfattande resultat av avvikelser .....	19
3.5 Mätfel .....	20
4 ATT MED HJÄLP AV AVVIKELSER IDENTIFIERA ORSAKER .....	22
5 DISKUSSION OCH SLUTSATSER .....	28
6 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE .....	30
Bilaga A Beräknat och uppmätt energibehov i referensbyggnaderna .....	31
Bilaga B Resultat av justeringar i referensbyggnadernas energiberäkningar .....	35

## 1 BAKGRUND

Uppmätt energibehov i många nya byggnader, i synnerhet i byggnader planerade för lågt energibehov, är ofta betydligt högre än det beräknade energibehovet. Problemet är väl känt och har uppmärksammats i en rad artiklar och rapporter de senaste åren. En vanlig förklaring är att när energiprestandakraven skärps så får små fel i energiberäkningarna mycket större utslag i resultatet. Exempel på detta är vädring, VVC-förluster och köldbryggor, faktorer som tidigare orsakade en mindre del av energibehovet men blir betydligt mer framträdande i lågenergihus.

Inom Energimyndighetens program för byggnader med mycket låg energianvändning, LÅGAN, gjordes 2013 en sammanställning av lågenergibygnader i Sverige<sup>1</sup>. Underlag till sammanställningen kom bland annat från ett enkätutskick som gick ut till drygt tusen branschaktörer. För de byggnader som hade data om både projekterad och uppmätt energiprestanda skiljde det i genomsnitt 19 % mellan värdena. Inga signifikanta skillnader fanns mellan lokalbyggnader och bostadshus och det var lika vanligt att uppmätt energibehov var lägre än projekterat som motsatsen. Det fanns dock inga krav på att både projekterad och uppmätt energiprestanda skulle redovisas men i de fall detta gjordes så avgjorde det uppmätta värdet byggnadens energiklass. Ett rimligt antagande är att de som hade lägre uppmätt än projekterat energibehov var mer benägna att ange bägge värdena än motsatsen.

Att minimera avvikelser mellan projekterat och uppmätt energibehov är förstås mycket angeläget. Med anledning av detta finns Sveby<sup>2</sup>, bygg- och fastighetsbranschens utvecklingsprogram som syftar till att standardisera hur energiprestanda skall beräknas och verifieras.

Med syfte att kvalitetssäkra energieffektiva byggnader har Sveriges Tekniska Forskningsinstitut SP utvecklat ByggaE-metoden<sup>3</sup>. Den bygger på att man genom hela byggprocessen dokumenterar allt som rör byggnadens energibehov och därmed undviker informationskollaps mellan processens olika skeden.

---

<sup>1</sup> Sammanställning av Lågenergibygnader i Sverige, P. Filipsson, C. Heincke, Å. Wahlström, 2013.

<sup>2</sup> [www.sveby.org](http://www.sveby.org)

<sup>3</sup> [www.byggae.se](http://www.byggae.se)

## 2 INLEDNING

Föreliggande förstudie är huvudsakligen uppdelad i tre delar. I den första delen identifieras och analyseras olika orsaker till avvikelser. Syftet är att få en förklaring på varför det finns avvikelser, i vilken mån de kan minimeras och hur detta i så fall kan genomföras.

I den andra delen ställs hypotesen att man kan identifiera orsakerna till avvikelser genom att enbart studera avvikelserna. Syftet är att underlätta för fastighetsägare att hitta orsakerna så att de enklare kan åtgärdas och i framtida projekt helt undvikas.

I den tredje delen finns en sammanfattning av konkreta lärdomar som förstudien föranlett och en diskussion med förslag på fortsatt arbete som krävs för att lösa problemet med avvikelser mellan projekterat och uppmätt energibehov.

Ett viktigt skäl till att man gör energiberäkningar är att fastighetsägaren på förhand ska veta hur mycket energi som behöver tillföras byggnaden när den är i bruk. Ett annat viktigt skäl är att man på samhällsnivå vill säkerställa en viss energieffektivitet i bebyggelsen och formulerar därför lagar och regler där energiberäkningar har en central roll. Olika strategier har utvecklats för att ta hänsyn till eller slippa undan problematiken med bristande träffsäkerhet i energiberäkningar. Här följer en kort genomgång av några av dessa.

### Räkna med säkerhetsmarginal

Om man upptäcker att det verkliga energibehovet ofta avviker från projekterat så kan man välja att alltid göra beräkningarna med säkerhetsmarginal. Metoden går förstås att förfina med olika säkerhetsmarginaler för olika typer av byggnader och systemlösningar men det bygger på att man har ett stort antal erfarenhetsvärden och problem kan uppstå i och med att alla byggnader är unika.

### Direktmetoden

Direktmetoden bygger på att man tar hänsyn till att alla indata till en beräkning är förknippade med en viss osäkerhet. Detta gör att beräkningen inte ger ett specifikt värde för energibehovet utan istället ett sannolikt intervall för energianvändningen. Om man använder metoden kan man ställa krav som är formulerade som att byggnaden med 90 % sannolikhet ska behöva mindre än 55 kWh/m<sup>2</sup>år. Metoden härstammar från dimensionering av olika mekaniska konstruktioner ur hållfasthetssynpunkt men hur den kan tillämpas vid beräkning av byggnaders energibehov finns utförligt beskrivet i en rapport från Lund Tekniska Högskola<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Analys av osäkerhet i beräkning av energianvändning i hus och utveckling av säkerhetsfaktorer. L. Jensen, LTH 2008

En av nackdelarna med metoden är att den kräver att man uppskattar osäkerheten i alla indataparametrar samt korrelationen mellan dessa.

### Komponentkrav

Istället för att formulera krav på resultatet av en energiberäkning kan man ställa krav på komponenter och därmed de parametrar som påverkar energibehovet, exempelvis U-värden, luftflöden och verkningsgrader. Detta sätt att formulera krav leder till en mer energieffektiv bebyggelse men den hjälper inte fastighetsägaren att förutse energibehovet. En fördel är att det är enkelt att kontrollera och följa upp krav på komponenter.

### Bilindustrimetoden

När myndigheter ställer krav på energibehovet i t.ex. bilar så gör man inte det på det faktiska behovet. Kraven ställs istället under mycket väldefinierade förutsättningar, exempelvis med avseende på inneklimat, uteklimat, last och hastighet. Genom att göra motsvarande för byggnader fås en standardiserad uppskattning byggnadens energiprestanda. Precis som i fallet med komponentkrav så bidrar metoden till en mer energieffektiv bebyggelse men ger fastighetsägaren begränsad hjälp att förutse energibehovet.

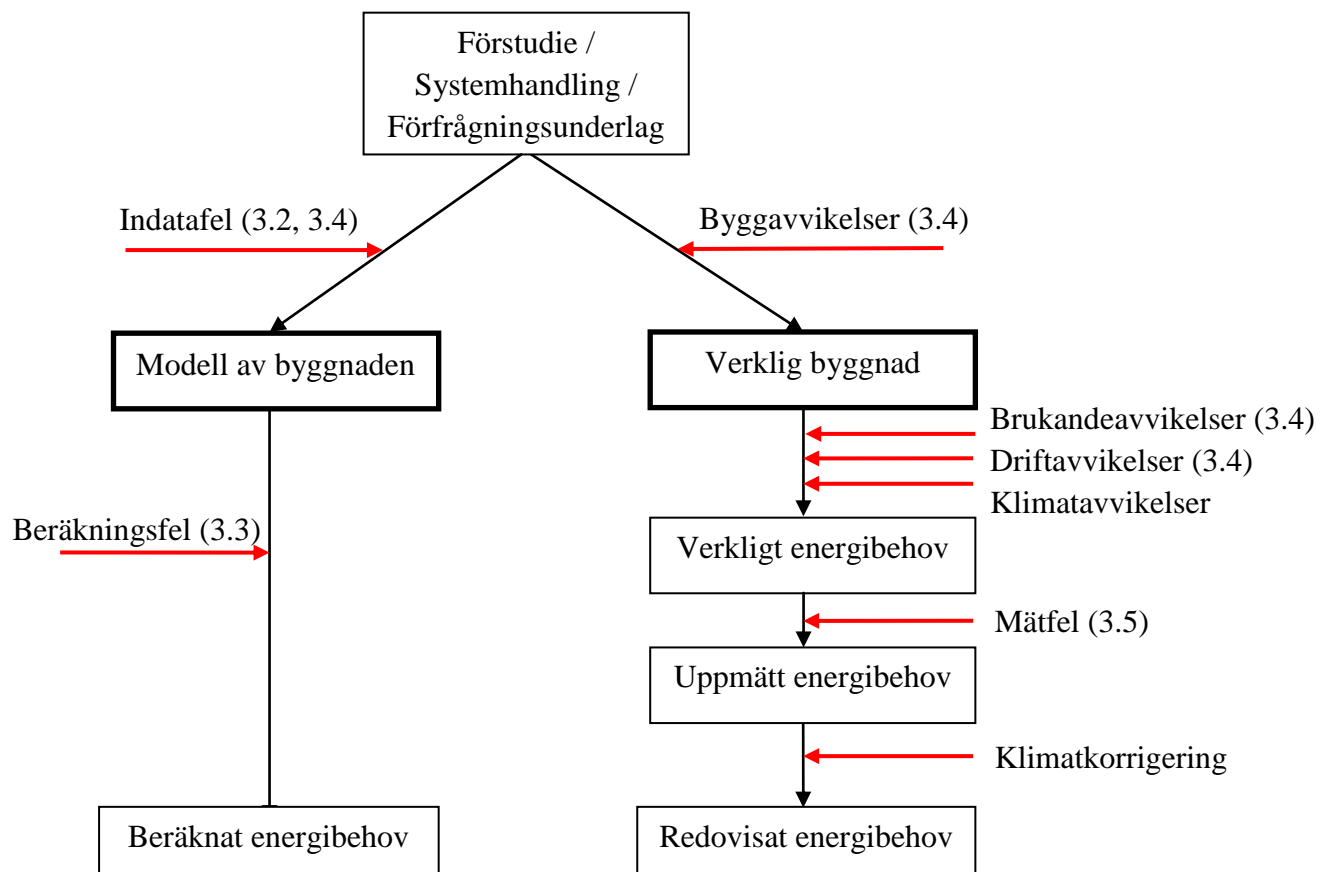
### 3 OSÄKERHETER OCH ANDRA ORSAKER TILL AVVIKELSER

Att beräknat och uppmätt energibehov inte stämmer överens kan bero på ett stort antal orsaker och det ligger utanför denna förstudies avgränsningar att försöka kartlägga alla dessa.

I det här avsnittet grupperas ett urval av orsaker och exempel ges på hur betydelsefulla olika typer av orsaker är.

Det är viktigt att skilja på osäkerheter och orsaker till avvikelser. En osäkerhet kan vara en orsak till avvikelse men behöver inte vara det. En avvikelse orsakad av en osäkerhet är ofta slumpmässig (t.ex. årlig solinstrålning) medan avvikelser orsakade av fel, slarv, misstag eller missförstånd i större grad är systematiska och gör oftast att det uppmätta behovet blir högre än det beräknade. Båda typerna av avvikelser kan reduceras, men inte undvikas helt.

Avvikelser som beror på variationer i uteklimat och bristande normalårskorrigerig tas inte upp i den här förstudien men man ska vara medveten om att det förekommer.



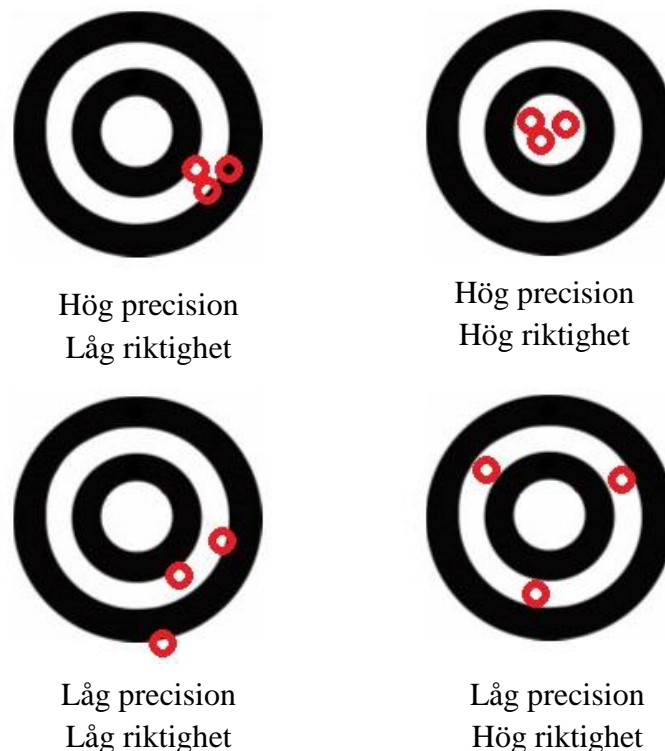
**Figur 1** Schematisk bild över orsaker till avvikelser (inom parantes visas i vilket avsnitt orsaken beskrivs)



I följande lista sammanfattas vad avsnitt 3.1–3.5 handlar om.

- Avsnitt 3.1 handlar om hur stor betydelse det har i vilket skede av byggprocessen energiberäkningen görs.
- Avsnitt 3.2 handlar om hur mycket beräkningsresultatet kan variera enbart beroende på vem som gör beräkningen.
- Avsnitt 3.3 handlar om hur mycket resultatet varierar enbart beroende på vilket beräkningsprogram som används.
- Avsnitt 3.4 handlar om hur mycket av felet som kan bero på avvikelser mellan beräkningsmodell och verklighet, hur mycket som beror på hur man bygger, driftar, och brukar byggnaden.
- Avsnitt 3.5 handlar om hur mycket av osäkerheten i resultatet som kan bero på energimätningen.

Avsnitt 3.1 rör både precision och riktighet, avsnitt 3.2, 3.3 och 3.5 rör huvudsakligen precision och avsnitt 3.4 rör riktighet. Begreppen precision och riktighet framgår av följande figur.



**Figur 2** Förklaring av skillnaden mellan precision och riktighet, som tillsammans utgör noggrannheten (träffsäkerheten) för en energiberäkning.

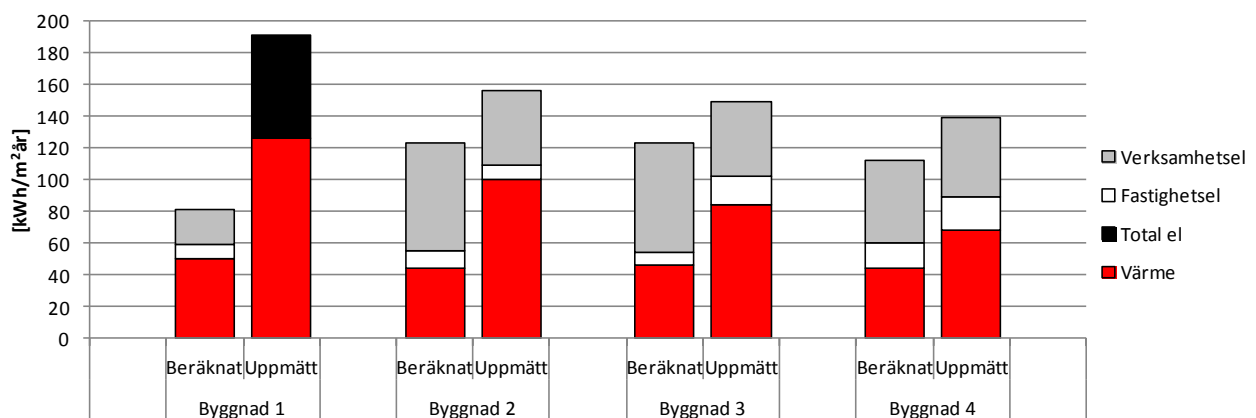
## 3.1 Beräkningsunderlag

En energiberäkning börjar med att man har ett beräkningsunderlag. För att beräkningsmodellen av byggnaden ska bli så lik den verkliga byggnaden som möjligt så måste förstas beräkningsunderlaget representera den verkliga byggnaden. En energiberäkning som baseras på underlag från ett tidigt skede i byggprocessen blir naturligtvis mer osäker än om underlaget kommer från ett senare skede. Detta är extra påtagligt om det är olika aktörer som genomför olika skeden i processen, vilket ofta är fallet i projekt som omfattas av lagen om offentlig upphandling. En uppfattning om detta ges i tabell 1. Tabellen innehåller fyra byggnader som tillhör Lokalförvaltningen i Göteborg. För samtliga byggnader är uppmätt energibehov högre än beräknat, men avvikelserna är mindre i byggnad 3 och 4 där underlaget till energiberäkningarna kommer från förfrågningsunderlaget, jämfört med fallen 1 och 2 där systemhandlingarna använts som underlag för energiberäkningarna. Beräknade värden är direkt utdata ur energiberäkningsprogram. I praktiken lägger konsulter ofta på en erfarenhetsmotiverad säkerhetsmarginal vilket gör att avvikelserna ur fastighetsägarens synvinkel ser mindre ut än vad som redovisas här. Byggnaderna värms med fjärrvärme, ventileras med FTX-system och i ingen av byggnaderna finns komfortkyla. Uppmätta energibehov är normalårskorrigerade. Dessa fyra byggnader kommer hänvisas till även i fortsättningen av denna förstudie och en mer detaljerad bild av avvikelserna ges i bilaga A.

**Tabell 1** Avvikelser i fyra byggnader

Byggnad	Uppmätt energibehov jämfört med beräknat			Verksamhet	A <sub>temp</sub> [m <sup>2</sup> ]	Underlag till energiberäkning
	Värme	El	Totalt			
1	+ 150 %	+ 112 %	+ 135 %	BmSS*	694	Systemhandling
2	+ 123 %	- 28 %	+ 27 %	BmSS*	973	Systemhandling
3	+ 82 %	- 15 %	+ 22 %	Förskola	1364	Förfrågningsunderlag
4	+ 55 %	+3 %	+ 23 %	Äldreboende	6700	Förfrågningsunderlag

\*bostad med särskild service



**Figur 3** De fyra byggnadernas beräknade och uppmätta normalårskorrigerade energibehov. Uppmätt årligt elbehov har inte funnits fördelat på fastighets- resp. verksamhetsel. Fördelningen har här uppskattats m.h.a. mätningar gjorda mellan januari och mars. Dock ej för Byggnad 1.

### 3.2 Indata

Även om underlaget är helt korrekt så innebär inte det att indata till beräkningsprogrammet blir korrekt. Detta beror dels på handhavandefel och dels på olika begränsningar att ange indata i energiberäkningsprogram.

År 2010 arrangerade Sveby en energiberäkningstävling<sup>5</sup>. Syftet var att få en uppfattning om hur mycket energiberäkningsresultat påverkas av användare och val av programvara. Eftersom alla tävlanden fick exakt samma underlag kan tävlingsbidragens indata användas för att uppskatta hur stor osäkerhet som beror på vem som genomför beräkningen. Tävlningen genomfördes i två steg, i steg ett fick de 18 deltagarna A-, K- och VVS-ritningar samt information om byggnadens orientering, lägenhetsfördelning, fönstrens egenskaper och typ av ventilationsaggregat. I steg två fick deltagarna även tillgång till uppmätta värden för tappvarmvatten, driftel, hushållsel, innetemperaturer, luftflöden, utomhusklimat, temperaturverkningsgrad, uthyrningsgrad samt resultat av tryckprovning och termografering i sex av lägenheterna. Redovisad indata efter steg ett har använts i följande analys. Vissa indata är extremt avvikande, dessa har inte tagits med i analysen men man bör ändå vara medveten om att det förekommer. Hänsyn har tagits till att tävlanden redovisar indata på olika sätt (t.ex. att vissa inkluderar köldbryggor i U-värden och andra särredovisar dem).

I tabell 2 listas ett antal indataparametrar och ett mått på hur mycket dessa varierar beroende på vem som gör energiberäkningen. Osäkerheten uttrycks som relativ standardavvikelse av redovisad indata. Osäkerheten för parametrarna listade nedanför tappvarmvatten är inte från Svebys energiberäkningstävling utan bara grundlöst uppskattade. Beräkningarna är gjorda för Byggnad 1 som är ett loftgångshus vilket förklarar att ytterdörrarnas U-värde får relativt stor påverkan på resultatet.

---

<sup>5</sup> Resultat från energiberäkningstävling för ett flerbostadshus, P. Levin, 2011

**Tabell 2** Osäkerheter i indata och dess påverkan på beräknat energibehov

Parameter	Osäkerhet [%]	Totalt elbehov [%]	Totalt värmebehov [%]	BBR-energi [%]
Atemp	3	0	2	1
Takarea	6	-	1	1
Fasadarea	11	-	2	2
Area mot mark	4	-	0	0
Fönsterarea	16	-	1	1
Dörrarea	11	-	2	1
Rumshöjd	4	-	0	0
U-värde dörrar	29	-	5	4
U-värde fasad	9	-	2	1
U-värde tak	14	-	2	1
U-värde platta mot mark	17	-	1	1
Fönster andel glas	9	-	1	1
U-värde fönster	5	-	1	1
Solfaktor fönster	15	-	2	2
Ofrivilligt luftläckage	14	-	1	1
SFP	14	4	1	1
Temperaturverkningsgrad	7	0	7	6
Ventilationsluftflöden	9	3	2	3
Tilluftstemp	8	-	1	1
Inomhustemperatur	3	-	5	5
Belysning och utrustning	24	18	6	5
Vädning	0	-	0	0
Personvärme	32	-	4	4
Tappvarmvatten	21	-	9	7
Termisk tyngd fasad	Lätt / tung	-	0	0
Termisk tyngd tak	Lätt / tung	-	0	0
Termisk inre tyngd	Lätt / tung	-	1	1
Vindförhållanden	Normalt resp. blåsig läge	-	3	3
Horisontavskuggning	0° / 20°	-	4	3
Solavskärmning på byggnad	Fast homogent solskydd / inget solskydd	-	2	2
Klimatdata	Göteborg Meteonorm 1961- 1990 / Chalmers mätcentral 1990 - 1994	-	4	3
Köldbryggor	0 / 20 % påslag på U-värden i fasad, tak och platta på mark	-	5	3

Om man antar att parametrarnas osäkerhet är helt oberoende av varandra kan den sammanlagda osäkerheten i beräknad BBR-energi uppskattas som roten ur kvadratsumman av alla beräknade osäkerheter i BBR-energi. Detta ger för denna byggnad att standardavvikelsen för beräknat BBR-energibehov är 15 % enbart med avseende på vem som gör energiberäkningen.

Vädringsvanor påverkar givetvis en byggnads energiprestanda. I tabell 2 framgår däremot att vädringsvanornas påverkan på beräknat energibehov inte alls påverkas av vem som gör energiberäkningen. Detta beror på att det i Svebys indatarekommendationer tydligt står att 4 kWh/m<sup>2</sup>år är ett lämpligt schablonpåslag. Detta användes av samtliga 18 tävlingsbidrag och är ett bra exempel på något som leder till hög precision men inte nödvändigtvis hög riktighet (se figur 2).

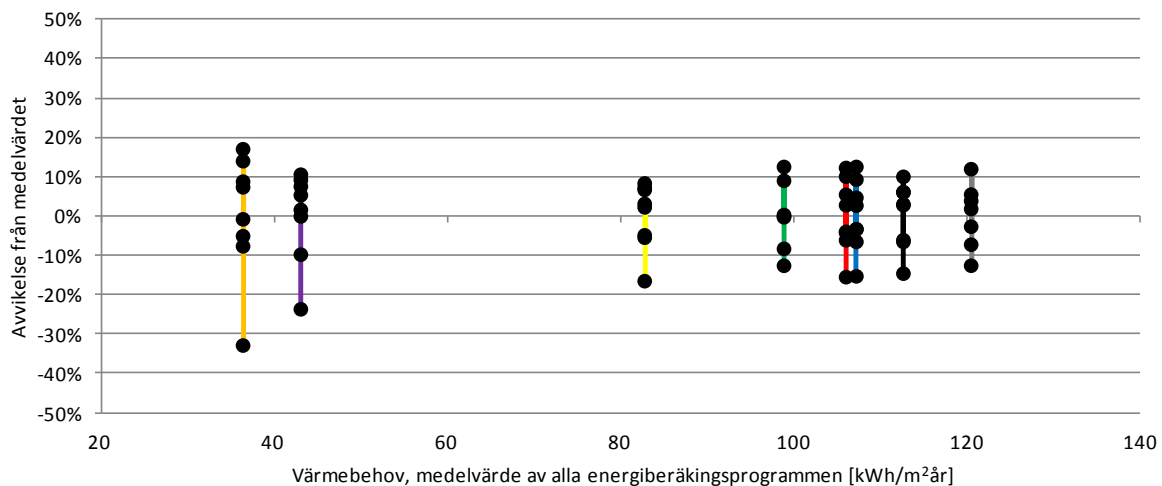
Klimatfilens inverkan på osäkerheten kan vara betydligt större än vad som framgår ovan. I en artikel i Energi & Miljö från januari 2014<sup>6</sup> finns en jämförelse mellan fyra klimatfiler som representerar Stockholm. Resultatet visar att skillnaden i beräknat årligt energibehov för uppvärmning mellan den klimatfil som gav lägst respektive högst värde är 18 % för ett flerbostadshus och 44 % för ett kontorshus.

---

<sup>6</sup> Klimatfilens inverkan på energiberäkningen, F. Karlsson och D. Burman, Energi & Miljö nr 1 2014

### 3.3 Beräkning

Även om samtliga indata är helt korrekta så är inte det beräknade energibehovet helt tillförlitligt. Detta beror på att beräkningarna i sig har en osäkerhet. Den vanligaste metoden att säkerställa att ett energiberäkningsprogram ger bra resultat är att jämföra resultatet med resultat från andra beräkningsprogram. ASHRAE Standard 140 som anger hur energiberäkningsprogram ska utvärderas hänvisar till att jämföra resultatet med hjälp av IEA BESTEST. Ligger resultatet från det aktuella beräkningsprogrammet i paritet med resultatet från beräkningsprogrammen i IEA BESTEST så bedöms programmet vara godkänt. En uppskattning av beräkningsfelens storlek kan därför göras genom att titta på exempelberäkningarna i IEA BESTEST. I figuren nedan visas åtta av beräkningsfallen i IEA BESTEST. Varje punkt motsvarar ett beräkningsprogram.



**Figur 4** Värmebehov för åtta olika beräkningsfall beräknat med åtta olika energiberäkningsprogram.

Exempelresultaten i IEA BESTEST utvecklades på 90-talet men används fortfarande för att validera energiberäkningsprogram över hela världen. Arbete med att uppdatera metoden påbörjades under 2013 och beräknas vara klar om ett par år<sup>7</sup>.

Energiberäkningsprogram har antagligen förbättrats väsentligt sedan 90-talet, vilket isåfall kommer synas om ett par år i den uppdaterade versionen och kommer ställa hårdare krav på träffsäkerhet i energiberäkningsprogram.

<sup>7</sup> Twenty years on!: updating the IEA BESTEST building thermal fabric test cases for ASHRAE standard 140, R. Judkoff och J. Neymark, 2013

### 3.4 Avvikelser

En förutsättning för hög träffsäkerhet i energiberäkningar är förstås att indata stämmer med verkligheten. I tabellen nedan listas ett urval av parametrar som kan stå för en stor del av avvikelserna. Några av parametrarna avgörs av hur byggnaden byggs, några av hur den drifas och några av hur den brukas. I tabellen framgår vilka värden som antogs vid energiberäkningarna av de fyra referensbyggnaderna. Dessa kan jämföras med värden som man nu har kunnat mäta eller på annat sätt uppskatta bättre än när man gjorde de ursprungliga energiberäkningarna. Hur detta gjorts framgår av avsnitt 3.4.1 – 3.4.3. De fyra ursprungliga energiberäkningarna gjordes av fyra olika konsulter.

**Tabell 3** Indata från ursprungliga energiberäkningar i jämförelse med nu uppmätta/uppskattade

		Antaget i energiberäkningen				I efterhand uppskattat/uppmätt			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Bygg	Byggnad								
	Köldbryggor (påslag på genomsnittligt U-värde) [%]	20	20	20	20	40	40	40	40
	Täthet vid 50 Pa [l/sm <sup>2</sup> <sub>oms</sub> ]	0,15	0,3	0,4	0,4	0,34	0,17	0,72	0,26
	VVC-förluster [MWh/år]	0	0	0	0	22	16	5	149
Drift	Energiutnyttjningsgrad [%]	80	80	80	80 (kök 55)	70	70	75	75 (kök 55)
	Medelluftflöden, FTX (Till-/Frånluft) [l/s]	460/460	550 / 550	1 050 / 950 (vardagar)	4 200 / 4 200 (kök 625/625)	320/260	550/550	840 / 630 (vardagar)	4 200 / 4 200 (kök 625/625)
	Medelluftflöden, frånluft [l/s]	0	10	150 (vardagar)	0	60	10	210 (vardagar)	0
	Inomhus-temperatur (dag/natt) [°C]	22,0	21,0	20,0	22,0 (kök 20,0/18,0)	21,7	23,9	21,4	21,6 (kök 21,2/21,5)
Brukande	Tappvarmvatten [MWh/år]	20,1	14,0	19,3	141,8	12,7	24,2	14,2	86,8
	Vädring [kWh/m <sup>2</sup> år]	0	0	0	0	8	4	4	4

### 3.4.1 Bygg

#### Köldbryggor

Att beräkna köldbryggor är tidskrävande, både detaljerat enligt SS-EN ISO 10211:2007 och mer schablonmässigt enligt SS-EN ISO 14683:2007. Därför är det vanligt att man utnyttjar Boverkets följande rekommendation<sup>8</sup>.

*”Ett alternativt sätt att ta hänsyn till inverkan av linjära köldbryggor kan vara att inte ta med några  $\Psi$ -värden vid beräkning av  $U_m$  utan istället göra ett generellt påslag om 20 % på framräknat  $U_m$ -värde inkluderande de köldbryggor som finns i klimatskärmen.”*

I motsvarande rekommendationer i andra nordiska länder beror det schablonmässiga påslaget på typ av byggnad, typ av material, typ av köldbryggor etc. I Tyskland är motsvarande rekommendation ett påslag på klimatskalets  $U_m$ -värde med  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ <sup>9</sup> (påslaget får dock halveras om man har minimerat köldbryggorna enligt en viss DIN-standard). För ett  $U_m$ -värde på  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  blir påslaget för köldbryggor därmed lika stort med den tyska som med den svenska metoden. Men lågenergihus byggs med betydligt lägre  $U_m$ -värde. Som exempel kan tas Byggnad 1 vars  $U_m$ -värde är  $0,169 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Här blir värmeförlusterna genom köldbryggor tre gånger större med den tyska rekommendationen än med den svenska. En mer korrekt metod torde ligga någonstans mellan de två extremfall som dessa två metoder utgör.

I ett examensarbete från Lunds tekniska högskola beräknas köldbryggorna i fyra lågenergihus (tre flerbostadshus och ett småhus)<sup>10</sup>. En slutsats i rapporten är att schablonvärden vid beräkning av köldbryggor är olämpligt, men om man ändå vill använda schablonvärden så bör de för lågenergihus vara 35-40 % av byggnadens  $U_m$ -värde.

Köldbryggor har antagits motsvara ett påslag på 40 % av byggnadens  $U_m$ -värde.

#### Täthet

Alla fyra byggnaderna är täthetstestade. Några byggnader endast delvis men resultatet har antagits representera hela byggnaderna. I Byggnad 3 mättes läckaget till  $0,87 \text{ l/sm}^2_{\text{omsl}}$  varpå man åtgärdade otätheter. I samband med tätningen mätte man endast i ett rum där läckaget minskade från 2,50 till  $2,06 \text{ l/sm}^2_{\text{omsl}}$ . För byggnaden har antagits att åtgärden sänkte byggnadens läckage till  $0,72 \text{ l/sm}^2_{\text{omsl}}$  ( $0,87 \cdot 2,06/2,50$ ).

<sup>8</sup> Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler – Utgåva 2, Boverket, 2012

<sup>9</sup> Calculation of thermal bridges in (Nordic) building envelopes – Risk of performance failure due to inconsistent use of methodology, B. Berggren och M. Wall, Energy and Buildings 65, 2013

<sup>10</sup> Köldbryggor i lågenergihus – Byggnadssystemens inverkan på transmissionsförluster. M. Danebjer och M. Ekström, LTH 2012.



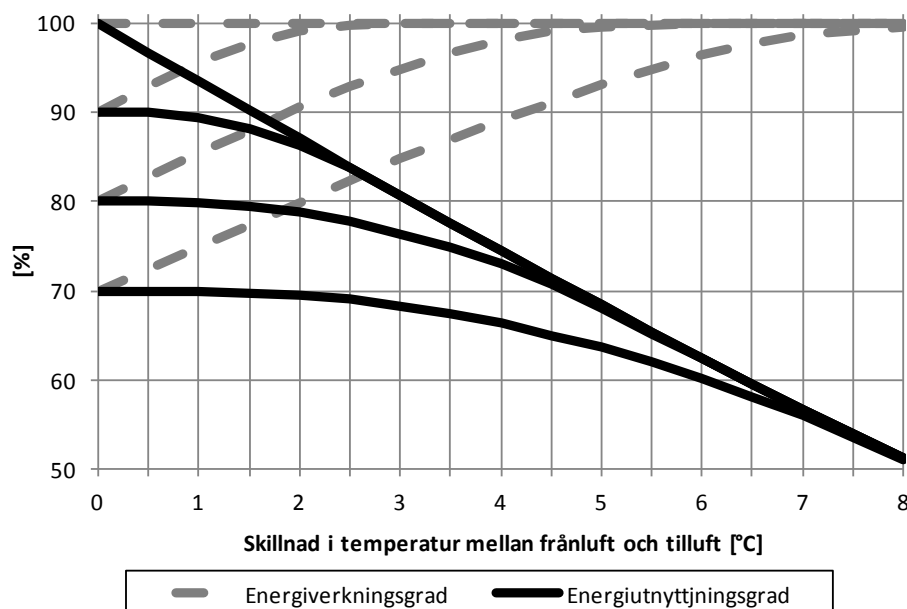
## VVC-förluster

VVC-förluster och tappvarmvattenbehov har antagits vara konstant över året. VVC-förlusterna har uppskattats som mängden köpt värme mitt på sommaren minus beräknat värmebehov under samma period (dels tappvarmvattenbehov beräknat m.h.a. mätningar och dels uppvärmningsbehovet beräknat efter gjorda justeringar m.a.p övriga parametrar). Detta innebär att denna post även inkluderar andra eventuella orsaker till att man har sommarvärmebehov som inte togs hänsyn till vid energiberäkningen.

### 3.4.2 Drift

#### Värmeåtervinningens prestanda

I det aktuella energiberäkningsprogrammet anges inte värmeåtervinningens prestanda som en temperaturverkningsgrad. Inte heller som energiverkningsgrad definierad som förhållandet mellan återvunnen värme och till tilluften totalt tillförd värme vilket annars är en vanlig definition<sup>11,12,13</sup>. Istället anges värmeåtervinningens prestanda som hur stor del av energiinnehållet i frånluften som återvinns. För att hålla isär begreppen kallas detta fortsättningsvis *Energiutnyttjningsgrad*. Är frånluftstemperaturen samma som tilluftstemperaturen så är både energiverkningsgraden och energiutnyttjningsgraden lika hög som temperaturverkningsgraden. Men med undertempererad tilluft ökar energiverkningsgraden medan energiutnyttjningsgraden minskar.



**Figur 5** Energiverkningsgrad och energiutnyttjningsgrad för värmeväxlare med temperaturverkningsgrader på 70, 80, 90 resp. 100 % som funktion av temperaturskillnaden mellan frånluft och tilluft.

<sup>11</sup> *Projektering av VVS-installationer*, C. Warvinge & M. Dahlblom, 2010

<sup>12</sup> *Byggnaden som system*, E. Abel & A. Elmroth, 2008

<sup>13</sup> *Achieving the Desired Indoor Climate*, P-E. Nilsson, 2003

I figuren kan utläsas att med 3 °C undertemperering på tilluften så ger en temperaturverkningsgrad på 90 % en energiutnyttjningsgrad på 80 % och en energiverkningsgrad på 100 % samt att det samtidigt är teoretiskt omöjligt att ha en energiutnyttjningsgrad på över 80 %. Energiutnyttjningsgraderna i tabell 3 har uppskattats m.h.a. figur 5 och till- från- och utelufttemperaturer från byggnadernas drift- och övervakningssystem.

### Luftflöden

För byggnad 1 och 3 har information från byggnadernas drift- och övervakningssystem kunnat användas för att göra antaganden om luftflöden. För byggnad 2 och 4 har det inte gått att göra några förnyade uppskattningar om luftflöde.

### Inomhustemperatur

I alla byggnaderna fanns temperaturgivare i rums- och/eller frånluft. Medelvärdet dessa givares temperatur under vinterhalvåret har tagits som indata i tabell 3.

### *3.4.3 Brukande*

### Tappvarmvatten

Tappvarmvattenbehovet har beräknats genom att mäta volymen varmvatten som använts under januari – mars. Genom att anta 52 kWh/m<sup>3</sup> och att behovet är konstant över året har årligt värmebehov för tappvarmvatten kunnat uppskattas.

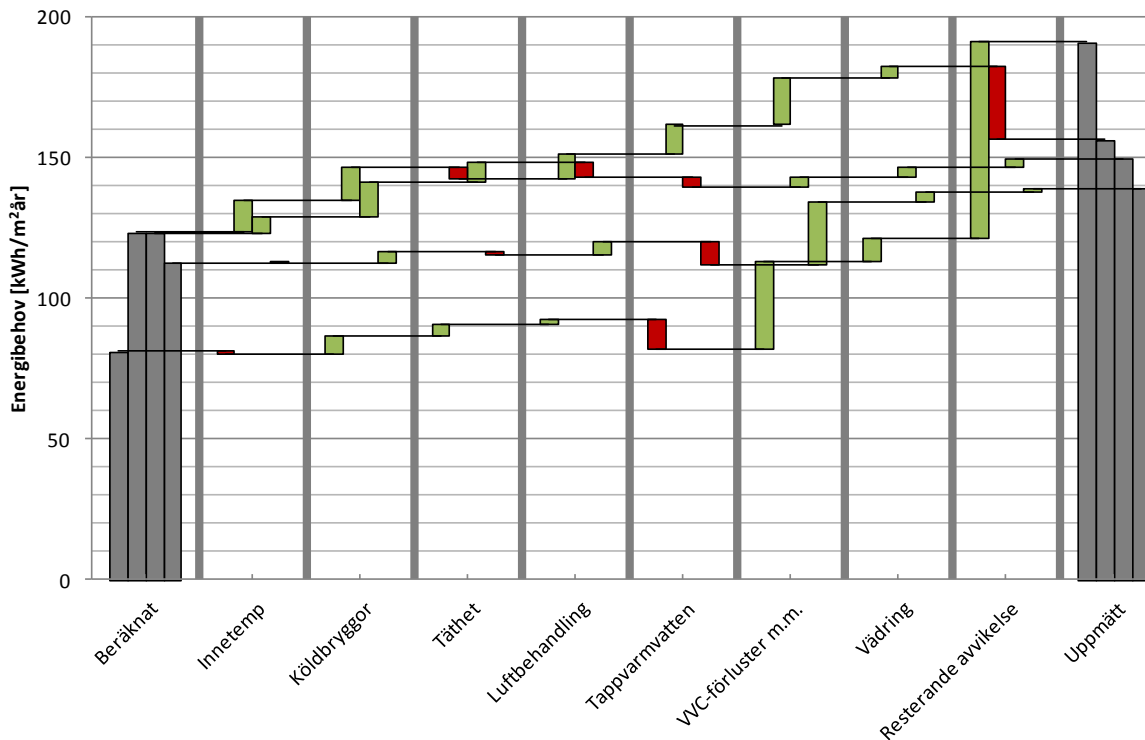
### Vädring

I Byggnad 1 är det känt att det vädras väldigt mycket. En anställd på boendet säger att de flesta brukarna röker inomhus, ofta och mycket. Förutom att brukarna vädrar p.g.a. röken så vädrar även personalen när de är där av arbetsmiljöskäl. Det finns även boende som alltid har ett fönster öppet samt en boende som mycket ofta låter balkongdörren stå öppen i flera timmar, både sommar och vinter.

För Byggnad 1 har antagits att vädringen står för dubbelt så stort energibehov som Sveby anger i sina indatarekommendationer för bostäder. För övriga byggnader har indatarekommendationen 4 kWh/m<sup>2</sup>år använts.

### 3.4.4 Sammanfattande resultat av avvikelser

Resultatet av de indatajusteringar som framgår av tabell 3 visas i figur 6. På x-axeln visas de undersökta parametrarna. Gröna staplar betyder att det ursprungliga antagandet innebar att man i beräkningen underskattade byggnadens energibehov och röda staplar betyder motsatsen. I bilaga B finns motsvarande diagram fördelat på värme och el.



**Figur 6** Beräknat energibehov före och efter justeringar och jämfört med uppmätt.

Observera att beräknad inverkan på energibehovet förutsätter att justeringarna görs i den ordningen de står i diagrammet. Om t.ex. köldbryggor skulle justerats före innetemperaturen så skulle köldbryggornas inverkan bli mindre och innetemperaturens inverkan bli större.

Några av de uppskattade VVC-förlusterna är uppenbart orimliga och beror antingen på att tappvarmvattenuppskattningen är för låg eller att det finns andra orsaker till värmebehov på sommaren. I det första fallet skulle delar av de gröna staplarna flyttas över till tappvarmvatten, och i det andra fallet till resterande avvikelse, oavsett om det är en förbrukning som byggnaden kan tillgodogöra sig när uppvärmningsbehov föreligger (t.ex. vattenburen golvvärme) eller om det är en förbrukning som byggnaden inte kan tillgodogöra sig ens när uppvärmningsbehov föreligger (t.ex. fjärrvärmeförsörd diskmaskin). I Byggnad 4 finns ett gemensamt trivselbad, värme till poolen mäts under tappvarmvatten men där finns även golvvärme vilket förklarar en del av posten "VVC-förluster" för denna byggnad.

Inga justeringar har gjorts i antaganden om internvärme. Att resterande avvikelser för el- och värmebehov är åt samma håll för respektive byggnad (se bilaga B) innebär att dessa avvikelser inte kan förklaras av felaktiga antaganden om internvärme från belysning/elapparater.

### 3.5 Mätfel

Eftersom mätning av energi oftast ligger till grund för debitering så finns det ett stort antal lagar och regler med syfte att säkerställa korrekt mätning. Mätning som ligger till grund för debitering av enskilda hushåll har dock hårdare bestämmelser än för industrier, lokaler, handel och offentlig verksamhet. Svensk Fjärrvärme har formulerat branschkrav<sup>14</sup> som omfattar alla värmemätare oavsett kundkategori.

I branschkraven anges den största tillåtna felvisningen för en mätare som den aritmetiska summan av de största tillåtna felvisningarna för varje delenheter (integreringsverk, temperaturgivare och flödesgivare).

Största tillåtna felvisning för integreringsverket är

$$E_c = \pm \left( 0,5 + \frac{\Delta\theta_{min}}{\Delta\theta} \right) \quad [\%]$$

Största tillåtna felvisning för temperaturgivarpåret är

$$E_t = \pm \left( 0,5 + \frac{3 \cdot \Delta\theta_{min}}{\Delta\theta} \right) \quad [\%]$$

Största tillåtna felvisning för flödesgivare (klass 2 enligt SS-EN1434) är

$$E_f = \pm \left( 2 + \frac{0,02 \cdot q_p}{q} \right) \quad [\%]$$

$\Delta\theta_{min}$ = Undre gränsvärdet för temperaturdifferens, vid vilken värmemätaren ska fungera, utan att den största tillåtna felvisningen överskrids (skall företrädesvis inte överskrida 3 °C).

$\Delta\theta$ = Aktuell temperaturgräns i provpunkten.

$q_p$ = Övre gränsvärde för flödet, vid vilket flödesgivaren ska fungera kontinuerligt, utan att den största tillåtna felvisningen överskrids och tryckfallet över mätaren inte överstiger 25 kPa.

$q$ = Aktuellt flöde i provpunkten.

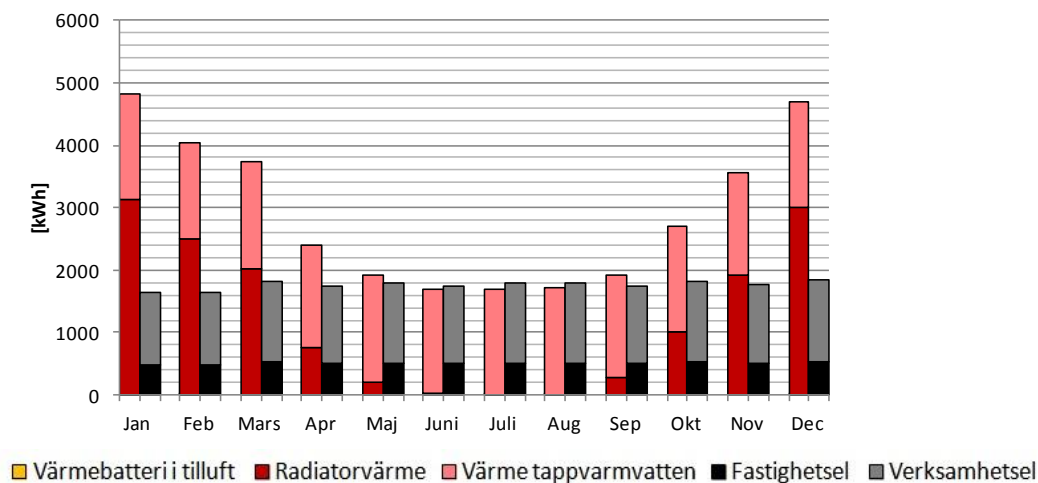
<sup>14</sup> Värmemätare – Tekniska branschkrav och råd om mätarhantering, Svensk Fjärrvärme, 2008

Under antagandet att  $\Delta\theta_{min}$  är 3 °C,  $\Delta\theta$  är 30 °C och att  $q_p$  är dubbelt så stort som  $q$  så blir maximalt tillåten felvisning för värmemätaren 3,4 %. I avhandlingen "Fjärrvärmekunders värme- och effektbehov" mäts mätfelet i värmemätarna i fyra flerbostadshus. De uppmätta mätfelen är -6,1 %, +1,6 %, +0,1 % och -0,1 %. I fallet med mätfelet 1,6 % var flödesmätningen induktiv, i de tre andra fallen var den mekanisk. Mätosäkerheten för elmätare antas i det här sammanhanget vara försumbar.

## 4 ATT MED HJÄLP AV AVVIKELSER IDENTIFIERA ORSAKER

I det här avsnittet undersöks möjligheterna att utifrån uppmätt energistatistik bestämma orsaken till avvikelserna. Detta är endast ett enkelt exempel som fungerar när en parameter är den dominerande orsaken till avvikelserna. För referensbyggnaderna i bilaga A är det flera parametrar som orsakar avvikelserna och för dessa skulle en mer avancerad metod krävas.

Totalt fjärrvärmebehov för en byggnad beräknas till 35,0 MWh/år och byggnadens beräknade energibehov ser ut som i figur 7.



Figur 7 Beräknat energibehov för Byggnad 1.

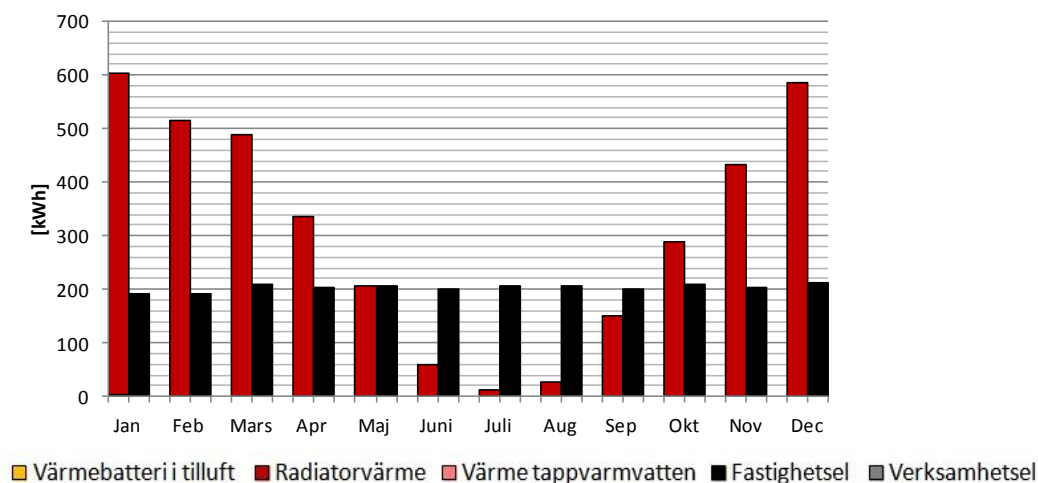
Om uppmätt normalårskorrigerad mängd fjärrvärme är 10 % högre än beräknat så beror detta troligen på en kombination av flera orsaker. Men om det är en orsak/parameter som står för en mycket stor del av avvikelserna så kan det exempelvis vara något av följande.

- Normalårskorrigeringen har brister.
- Ventilationsluftflödet är 40 % högre än i beräkningen.
- För låg temperaturverkningsgrad i värmeåtervinningen. Maximal temperaturverkningsgrad är 73 % istället för de 80 % som antogs vid beräkningen.
- Tappvarmvattenförbrukningen är 20 % högre än i beräkningen eller VVC-förlusterna är 5 kWh/m<sup>2</sup>år högre än vad som antogs i beräkningarna.
- Internvärme från belysning och elektrisk utrustning är hälften så hög som i beräkningen.
- Internvärme från personer är 65 % lägre än i beräkningen.
- Ofrivilligt luftläckage är vid provtryck (50 Pa) 150 % högre än i beräkningen.
- Lägsta tillåtna inomhustemperatur är två grader högre än i beräkningen.
- Solinstrålning är 85 % lägre än i beräkningen.
- U-värdet i fasaden är 0,1 W/m<sup>2</sup>K högre än i beräkningen.

Om man inte har någon ytterligare information utöver att värmebehovet blev 10 % högre än beräknat så har man ingen möjlighet att säga vilken parameter det beror på. Har man däremot månadsvis energistatistik och tillgång till energiberäkningarna så ökar möjligheterna väsentligt.

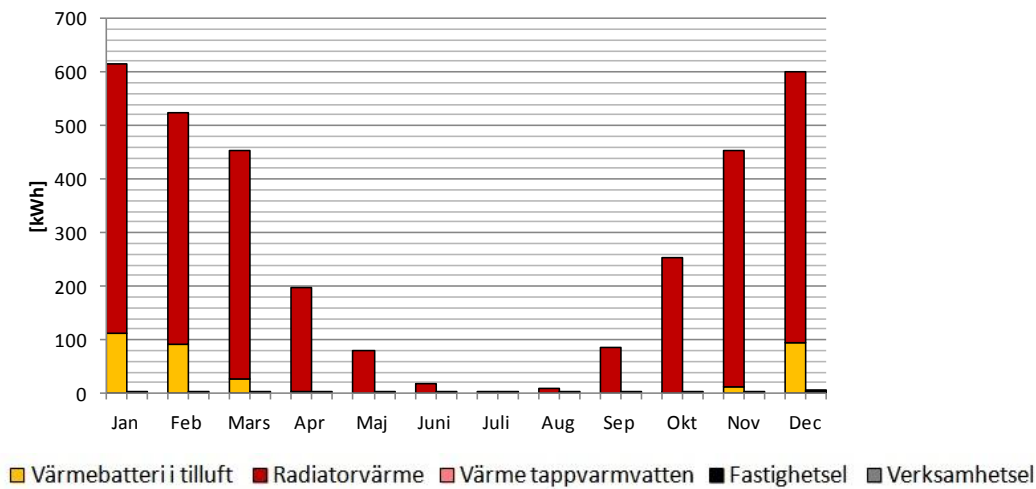
Inledningsvis kan man undersöka om det finns några samband mellan avvikelserna och de korrigeringsfaktorer som använts för att på månadsbasis normalårskorrigera värmebehovet. Ser man att avvikelsen är större de månader som varit kallare än normalt och mindre de månader som varit varmare än normalt så beror det sannolikt på att korrigeringsmetoden underkorrigerar behovet. Är avvikelsen däremot mindre de månader som varit kallare än normalt och vice versa så använder man en korrigeringsmetod som överkorrigerar klimatavvikelser. Ett tydligt exempel på detta syns i figur A3 i Bilaga A. Den månad med störst avvikelse är mars. Mars 2013 var en ovanligt kall månad. Med stor sannolikhet beror den stora avvikelsen på att mars var ovanligt kall, och att den använda normalårskorrigeringen i detta fallet alltså underkorrigerar energibehovet.

Figur 8 till 14 visar hur olika parametrar påverkar avvikelsen mellan beräknat och uppmätt energibehov.



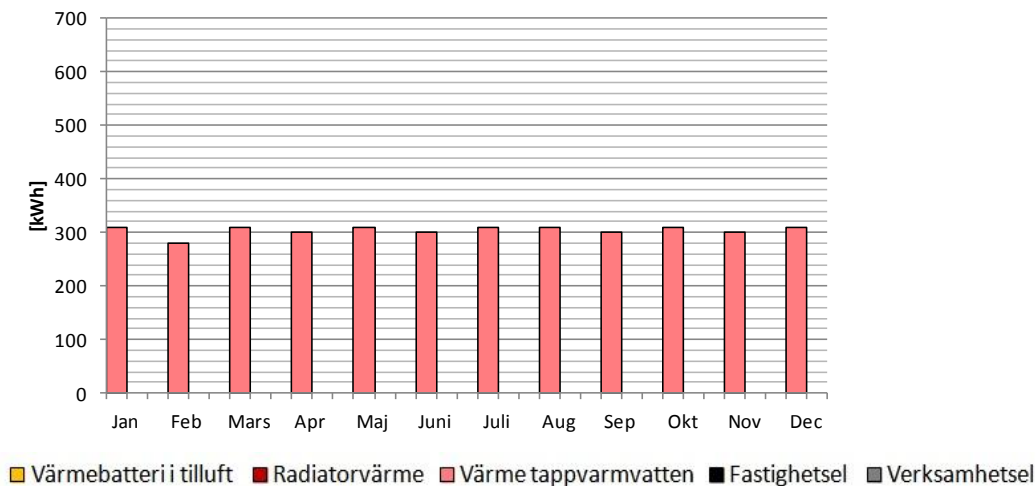
**Figur 8** Högre ventilationsluftflöde

Om ventilationsluftflödet i byggnaden är högre än vad som antogs i energiberäkningen så syns detta inte bara på värmebehovet. Fläktarnas ökade elbehov syns förstås på behovet av fastighetsel.



**Figur 9** Lägre temperaturverkningsgrad i värmeåtervinningen

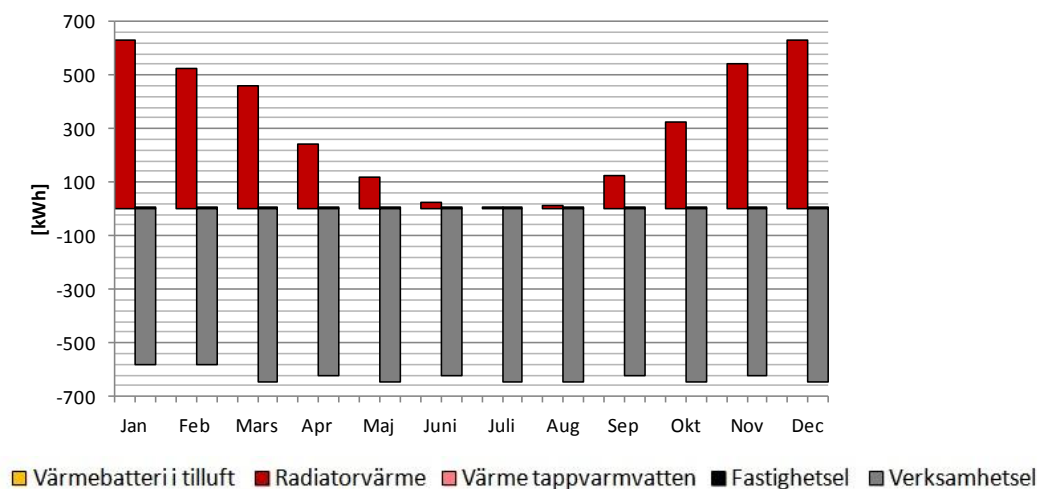
Om man har styrd tilluftstemperatur och en temperaturverkningsgrad som är lägre än i beräkningarna så får eftervärmningsbatteriet jobba mer. Är detta elvärt så syns ett högre behov av fastighetsel under vinterhalvåret. Om det är kopplat till fjärrvärmens så är det svårare att identifiera och kräver separat undermätare.



**Figur 10** Ökat tappvarmvattenbehov eller ökade VVC-förluster.

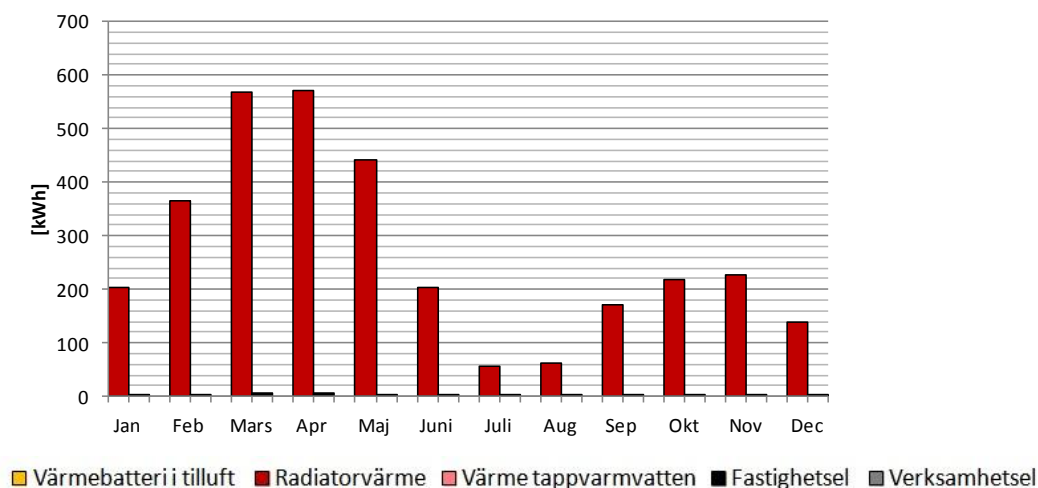
Ett ökat tappvarmvattenbehov eller ökade VVC-förluster avslöjas som en avvikelse i värmebehovet som är ungefär konstant över hela året. Har man separat mätning på tappvarmvattnet så kan man direkt identifiera om orsaken är tappvarmvattenbehovet eller VVC-förlusterna eftersom VVC-förluster i normala fall inte ingår i tappvarmvattenmätningen.





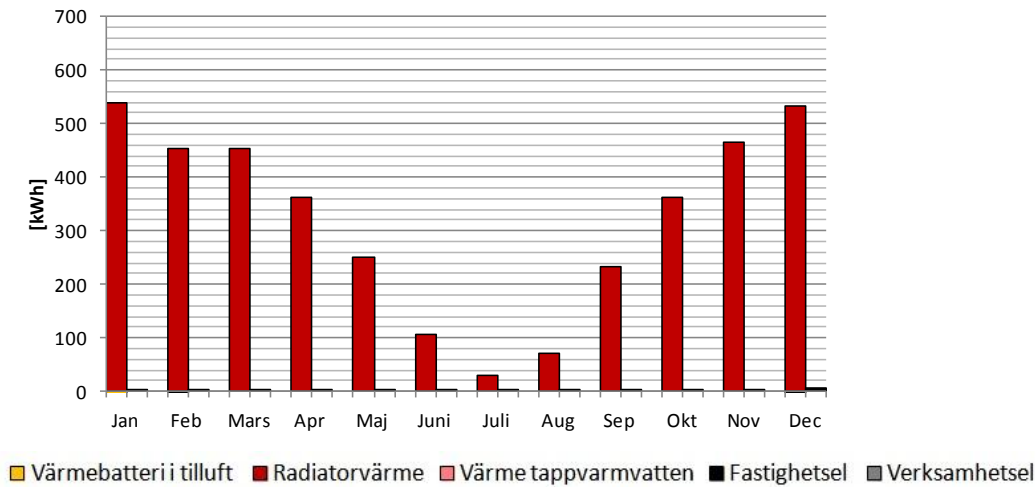
**Figur 11** Mindre internvärme från belysning och elprylar

Har man gjort för höga antaganden om internvärme från elektrisk utrustning så syns det tydligt på elbehovet.



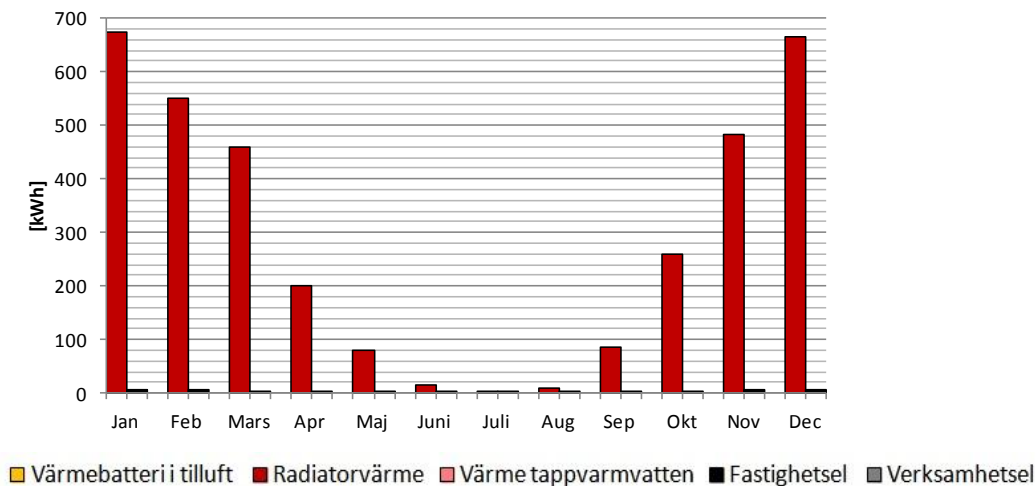
**Figur 12** Mindre solinstrålning p.g.a. horisontavskuggning eller fönsteregenskaper

Om man har gjort felaktiga antaganden om hur mycket byggnaden värms upp av solen så blir den största avvikelser under vår och höst. Avvikelsen ser något annorlunda ut om den beror på felaktig horisontavskuggning jämfört med om den beror på fönstrens soltransmission, men skillnaden är för liten för att vara användbar.



**Figur 13** Högre inomhustemperatur eller mindre internvärme från personer

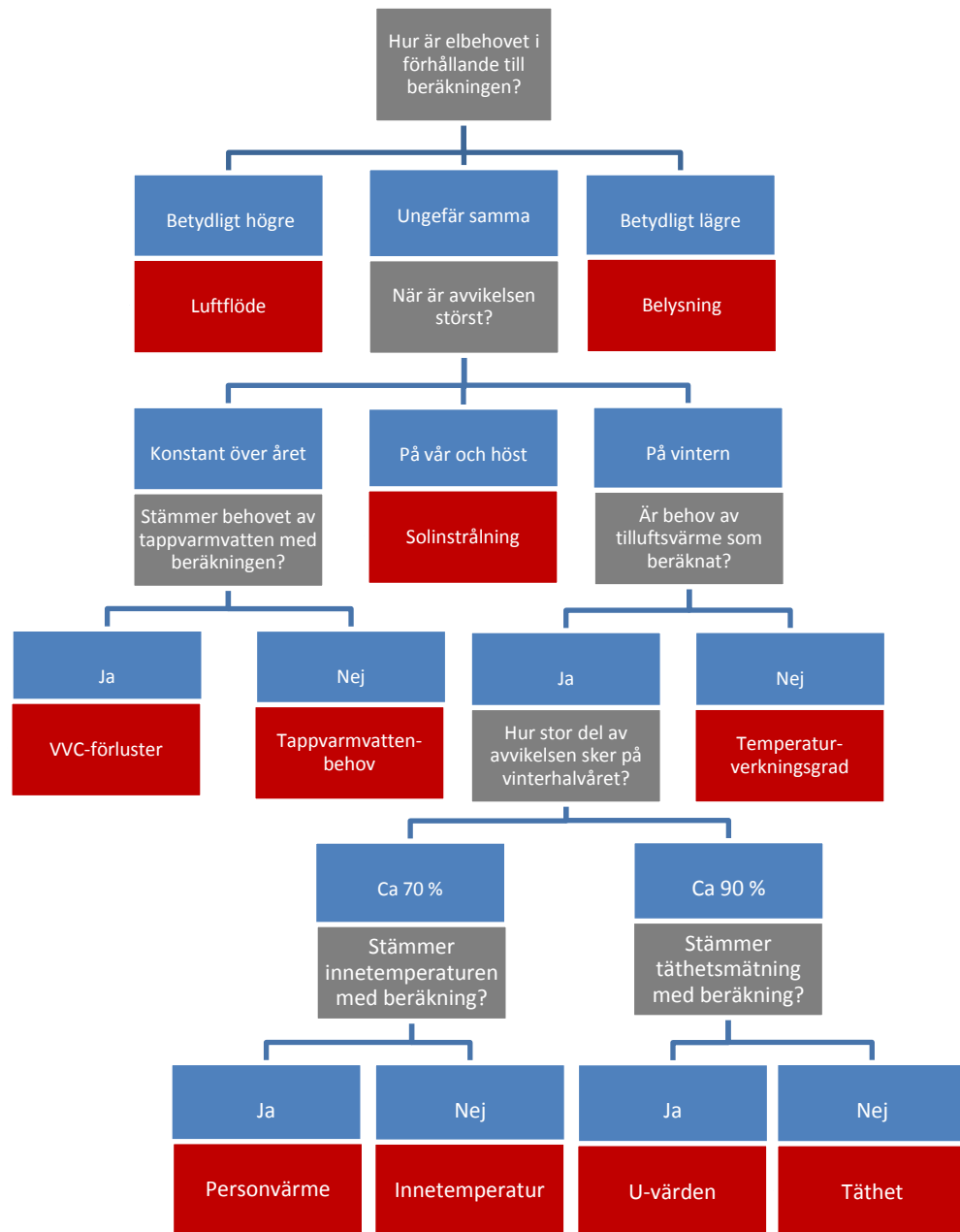
Felaktiga antaganden om inomhustemperatur påverkar avvikelser på samma sätt som felaktiga antaganden om internvärme från personer. Men om man har gjort fel antaganden om antal personer är sannolikheten stor att detta syns även tappvarmvattenförbrukning och behov av verksamhetsel.



**Figur 14** Högre U-värden eller sämre täthet.

Har man antagit fel U-värden eller ofrivilligt luftläckage så blir avvikelser mer temperaturberoende än om den beror på fel inomhustemperatur eller mindre internvärme från personer. Avvikelser p.g.a. klimatskalsfel (figur 14) sker till 90 % under vinterhalvåret jämfört med 70 % för inomhustemperatur eller personvärme (figur 13).

Diagrammen ovan sammanfattas av figur 15 som föreställer en enkel beräkningsgång för att identifiera vilken parameter som är fel. Observera att det här är ett mycket enkelt exempel som bara fungerar om det är en parameter som är fel.



**Figur 15** Flödesschema för en beräkningsgång för att hitta vilken parameter som är orsaken till att uppmätt värmebehov är högre än beräknat. (Grå frågor, blå svar och röda parametrar.)

## 5 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Att orsaken till att avvikelser mellan projekterad och uppmätt energiprestanda ofta sägs vara större för lågenergihus än andra hus endast skulle bero på att marginalerna för dessa hus är mindre och det relativa felet därför ökar kan inte stödjas av denna förstudie.

Den av fyra referensbyggnader i förstudien som har lägst beräknat energibehov har högst uppmätt energibehov. En förklaring kan vara energieffektiviteten ställer höga krav på injustering av värmesystemet. Brister i injusteringen kan dels leda till onormala vädringsvanor men även många andra orsaker till ökat energibehov. Problemet är viktigt att undvika eftersom det leder till att energikrav blir kontraproduktiva.

En annan orsak till avvikelserna skulle kunna vara att schabloner och rekommendationer inte är anpassade för lågenergihus. Boverkets rekommendation att ta hänsyn till köldbryggor genom 20 % påslag på byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient är rätt för en viss typ av byggnad. Mycket tyder dock på att köldbryggornas relativa bidrag till transmissionsförlusterna är större i mer välisolerade byggnader.

På motsvarande sätt är Svebys rekommendation om att ta hänsyn till horisontavskuggning genom att minska andelen solinstrålning med samma faktor över hela året korrekt för en viss typ av byggnad. Men den faktor som motsvarar en viss horisontavskuggning i ett hus med högt energibehov räcker inte för att motsvara samma horisontavskuggning i ett lågenergihus. Detta eftersom lågenergihusets uppvärmningsbehov är mer koncentrerat till vintern när horisontavskuggning är mer förödande än t.ex. minskad solinstrålning p.g.a. fönsterglaskvalitet.

Allt tyder på att avvikelserna är större när det är många olika aktörer inblandade i byggprojekt. För att undvika detta problem är det viktigt att energiberäkningarna blir en iterativ process som tar hänsyn till alla ändringar som förekommer i byggprocessen. Här kan t.ex. SP:s ByggaE-metod och Svebys Energiverifikat få en central roll.

Svebys brukarindata har också en avgörande roll för träffsäkerheten i energiberäkningar. Dels att parametrarna används, vilket förbättrar beräkningarnas precision, och dels att parametrarna är korrekta, vilket förbättrar beräkningarnas riktighet.

Energiberäkningstävlingen som Sveby arrangerade 2010 visar att den som gör energiberäkningen i väldigt hög grad påverkar resultatet trots att beräkningsunderlaget är noga fastställt. Dessutom kan man få en byggnad vars beräknade energibehov inte uppfyller kraven i BBR plötsligt bli ett lågenergihus genom att mer omsorgsfullt välja klimatfil. Detta eftersom BBR endast kräver att ”beräkningarna bör utformas med utgångspunkt i ortens klimat”. Har man dessutom möjlighet att fritt välja energiberäkningsprogram så kan man styra resultatet ännu mer.

Sveby driver för närvarande ett projekt med syfte att ta fram standardiserade klimatfiler, vilket alltså är mycket angeläget.

Det pågår även arbete med att ta fram nya referensresultat för verifiering av beräkningsprogram. Med all sannolikhet leder detta till bättre beräkningsprogram.

Förstudiens referensbyggnader (två bostadshus med särskild service, en förskola och ett äldreboende) med tillhörande energiberäkningar tyder på att det är vanligt med både förenklingar och missförstånd. Förenklingar i form av att man t.ex inte räknar med köldbryggor, VVC- förluster, vädring, obalans i FTX-luftflöde. Missförstånd i form av att man anger temperaturverkningsgrad trots att beräkningsprogrammet efterfrågar energiutnyttjningsgrad (hur stor del av energin i frånluften som återvinns). För att undvika missförstånd bör olika energiberäkningsprogram använda samma parametrar som indata. När detta inte är fallet bör det framgå tydligt. Andra exempel är huruvida fasadarea är inklusive eller exklusive fönster, om luftläckaget anges vid provtryckningsförhållanden eller inte och om det är omslutningsarea eller  $A_{temp}$  som avses när man anger luftläckaget.

Lokalförvaltningen som äger de undersökta byggnaderna har väl utarbetade riktlinjer för hur energiberäkningarna skall genomföras. Det är mycket sannolikt att fastighetsägare som inte ställer sådana krav på energiberäkningarna har ännu större problem med avvikelser.

Generellt får temperaturverkningsgrad väldigt mycket fokus vid värmeåtervinning trots att andra parametrar som reglering av tilluftstemperatur, luftflödesobalans och avfrostning ofta påverkar energibehovet mycket mer.

Antaganden om täthet, luftbehandling och varmvattenbehov i de undersökta beräkningarna gav i vissa fall ett underskattat och i andra fall ett överskattat beräknat energibehov. Antaganden köldbryggor, VVC-förluster och vädring var i samtliga fall orsaker till att beräknad energiprestanda var lägre än uppmätt. Antagen inomhustemperaturen var underskattat i två fall och i princip korrekt i två fall.

Eventuella mätfel vid mätning av byggnadens energibehov är försumbara i sammanhanget. Avvikelser som beror på brister i normalårskorrigerering kan däremot vara påtagliga men dessa analyseras inte i denna förstudie.

Att olika parametrar påverkar energibehovet på olika sätt kan utnyttjas för att identifiera vilken parameter det är som är orsaken till avvikelserna. I figur 15 visas ett enkelt exempel som fungerar om det är en ensam orsak till avvikelserna. Metodiken kan säkerligen göras mer avancerad så att den även fungerar vid kombinationer av orsaker. En god första förutsättning för att hitta orsaker till avvikelser är att ha undermätare, åtminstone på tappvarmvatten och hushållsel/verksamhetsel.

## 6 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

Mycket arbete pågår redan med syfte att minimera avvikelserna mellan beräknat och uppmätt energibehov. T.ex. Svebys arbete med att ta fram standardiserade klimatfiler, IEA:s arbete med ny metod att verifiera energiberäkningsprogram och SP:s arbete med ByggaE-metoden.

För att undvika avvikelser som beror på köldbryggor bör man dels förstås undvika dem i största möjliga mån när man bygger hus men även ta hänsyn till dem när man gör energiberäkningar. Man bör utreda i vilken grad det är lämpligt att använda schabloner och hur man i energiberäkningsprogram kan göra det lätt att räkna rätt.

Ju mindre del av året en byggnad har uppvärmningsbehov desto större är andelen av solinstrålningen som försvinner på grund av horisontavskuggning. Man bör även här utreda hur avgörande horisontavskuggningen är, vilken detaljnivå som kan motiveras och i energiberäkningsprogram göra det lätt att räkna rätt.

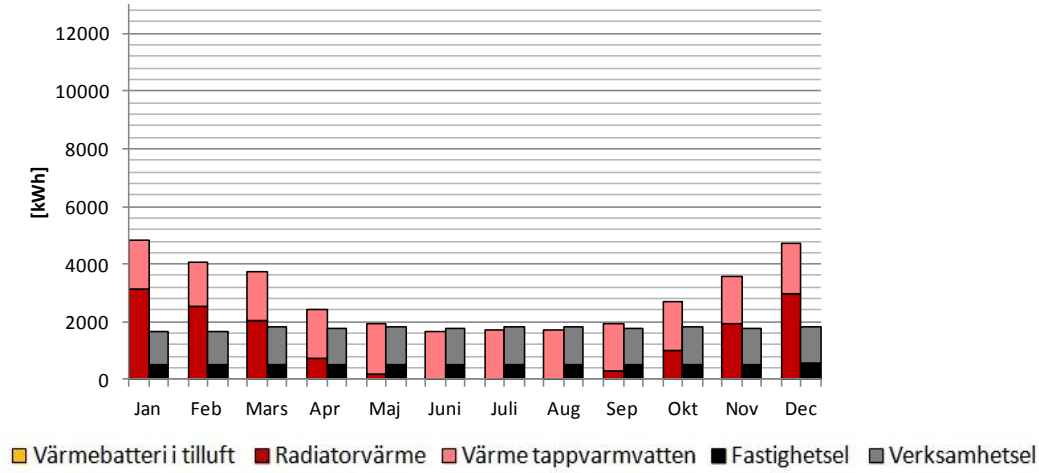
Det bör tas fram anvisningar för värden på t.ex. temperaturverkningsgraden i FTX-aggregat för att undvika att tillverkarnas laborativvärden används rakt av.

Nedanstående förslag syftar inte direkt till att minimera avvikelserna utan att istället på förhand kvantifiera dem och i efterhand identifiera dem.

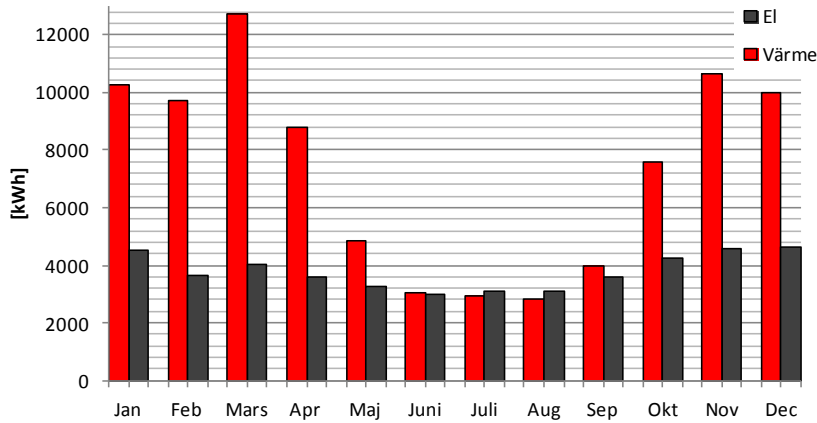
Minimala Direktmetoden är en metod för att avgöra hur osäker en energiberäkning är. Metoden finns beskriven bl.a. i *Analys av osäkerhet i beräkning av energianvändning i hus och utveckling av säkerhetsfaktorer*. L. Jensen, LTH 2008. Precis som Sveby har tagit fram rekommenderade värden för olika parametrar skulle man kunna ta fram osäkerheten för respektive parameter. Vissa är enklare att ta fram (solinstrålning och U-värden) och andra är svårare (vädring och tappvarmvattenbehov) och kräver ett tillräckligt stort statistiskt underlag. Därefter krävs att man fastställer korrelationen mellan osäkerheterna (t.ex. i vilken grad personvärme är korrelerad med tappvarmvattenbehov o.s.v.). En stor fördel med metoden är att den enkelt kan implementeras i befintliga energiberäkningsprogram. Resultatet av beräkningen blir då ett sannolikt energibehov och för att klara ett visst energiprestandakrav kan man då välja om man vill räkna med stor säkerhetsmarginal, minska parametrarnas osäkerhet (t.ex. täthetens osäkerhet genom att provtrycka huset) eller utforma huset så att det inte påverkas av osäkerheter (t.ex. minska andelen fönster om solinstrålning och fönsterkvalitet har stor osäkerhet).

Förstudien visade att man med hjälp av avvikelsernas egenskaper kan identifiera orsaken. Detta skulle kunna göras betydligt mer avancerat för att kunna hantera kombinationer av orsaker och datoriseras så att energistatistikprogram inte bara visar att energibehovet är för högt utan även varför.

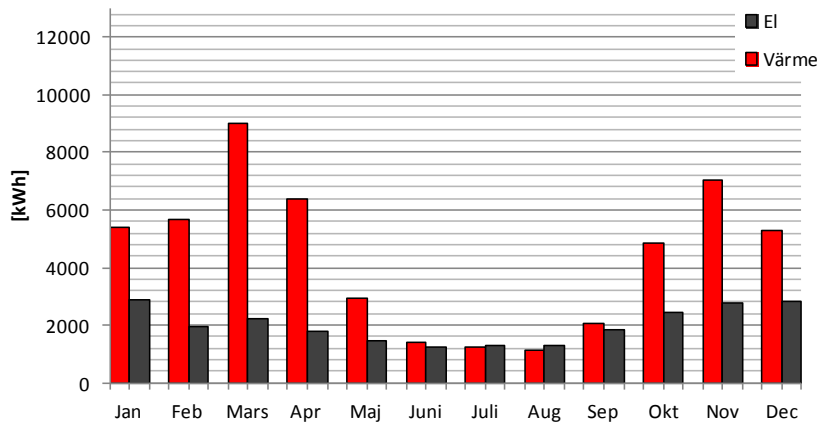
## Bilaga A Beräknat och uppmätt energibehov i referensbyggnaderna



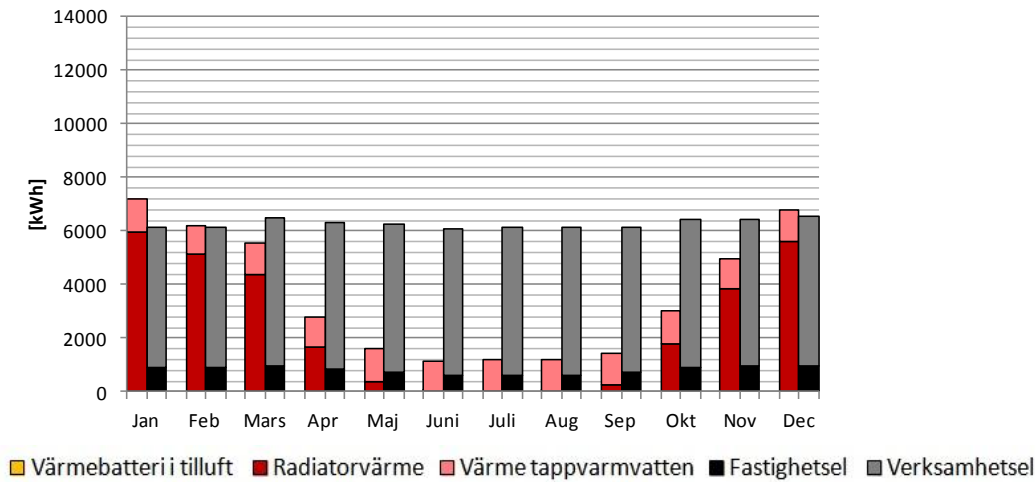
Figur A1 Beräknat energibehov, Byggnad 1



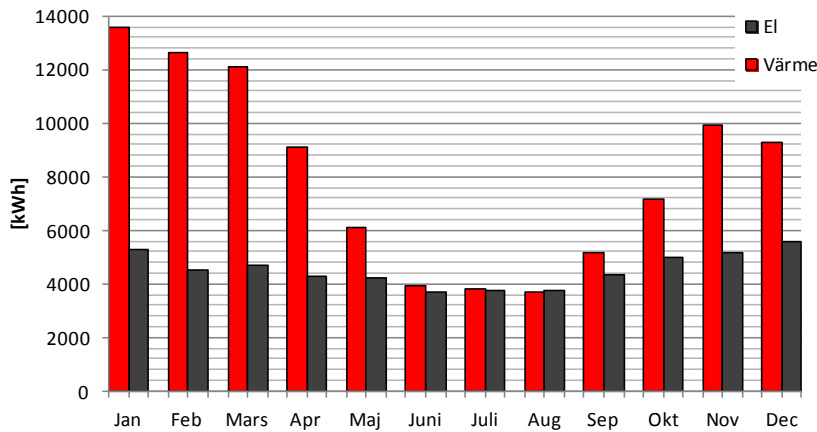
Figur A2 Uppmätt normalårskorrigerat energibehov, Byggnad 1



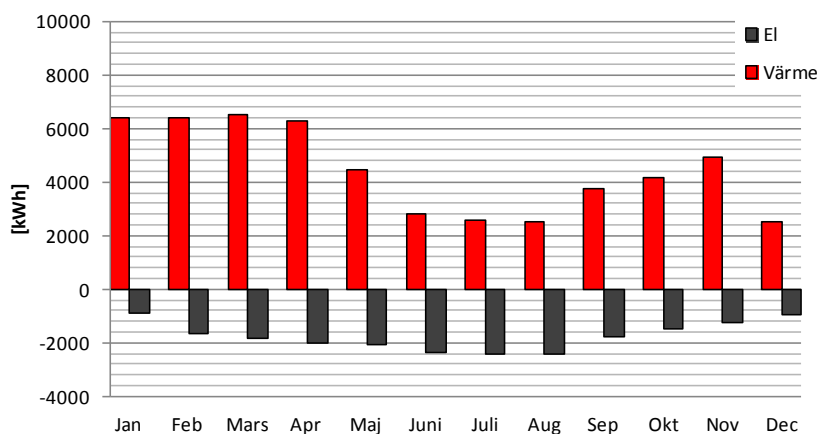
Figur A3 Avvikelse, Byggnad 1



Figur A4 Beräknat energibehov, Byggnad 2

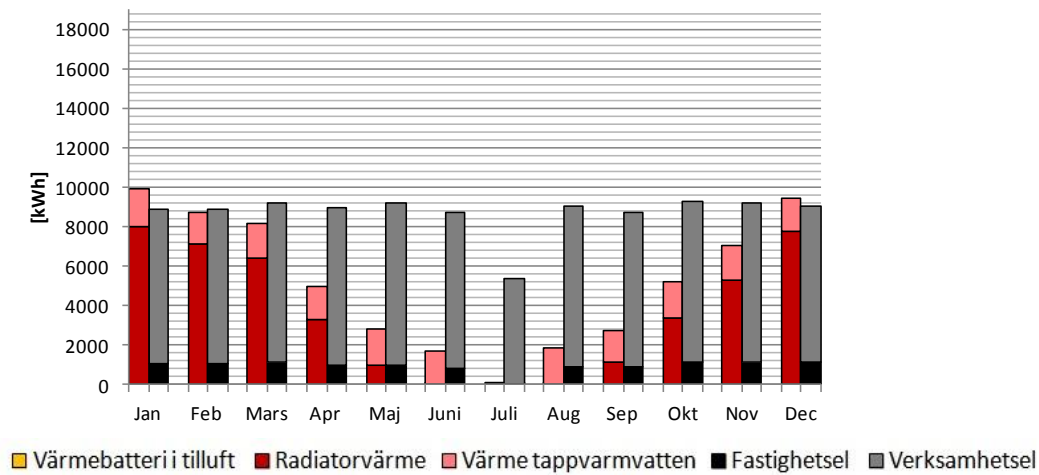


Figur A5 Uppmätt normalårskorrigerat energibehov, Byggnad 2

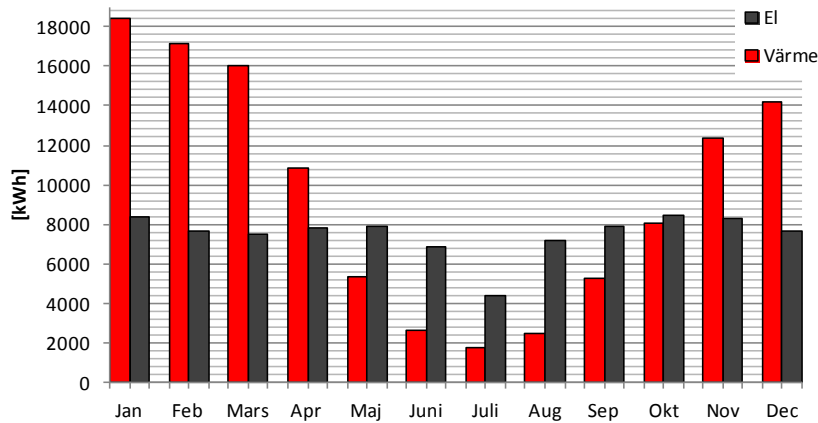


Figur A6 Avvikelse, Byggnad 2

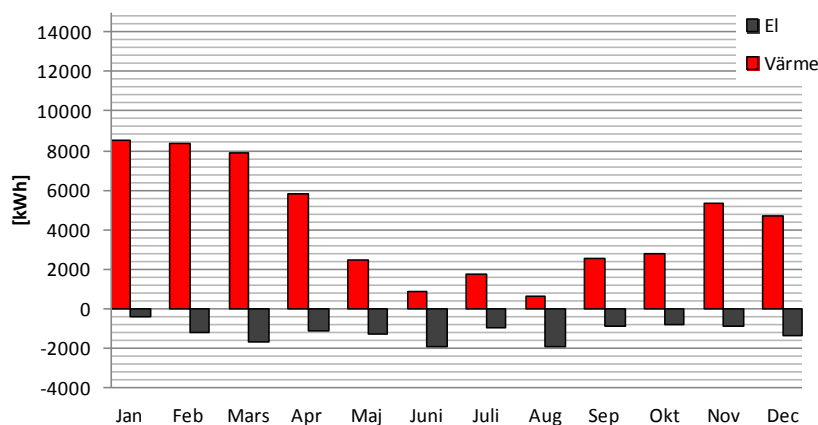




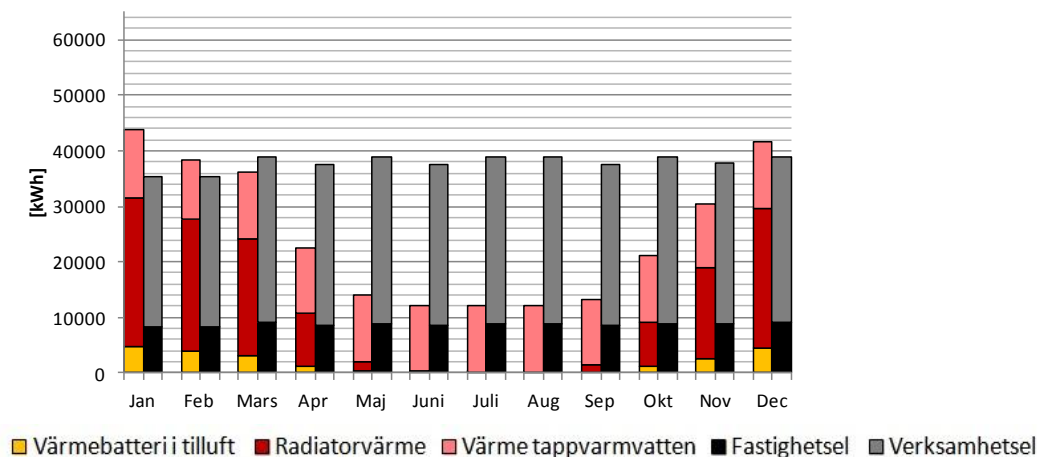
Figur A7 Beräknat energibehov, Byggnad 3



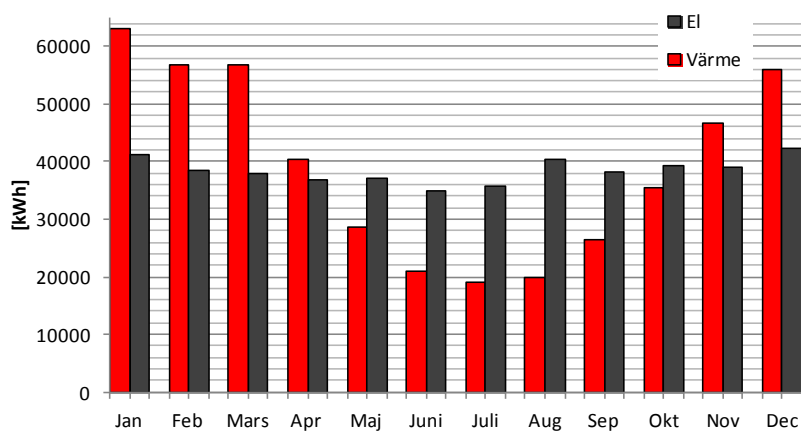
Figur A8 Uppmätt normalårskorrigerat energibehov, Byggnad 3



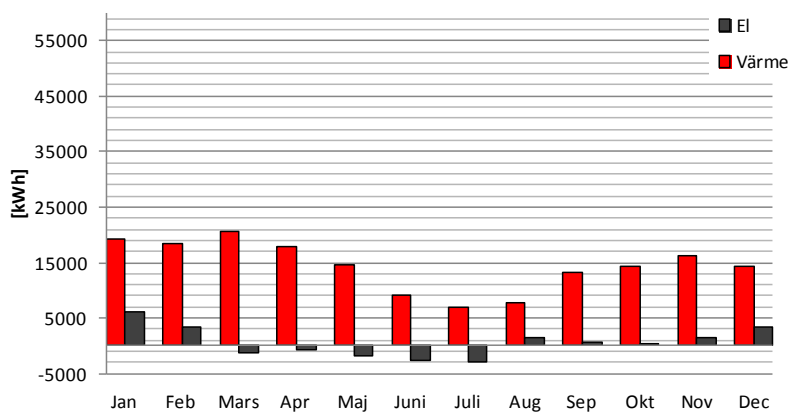
Figur A9 Avvikelse, Byggnad 3



Figur A10 Beräknat energibehov, Byggnad 4

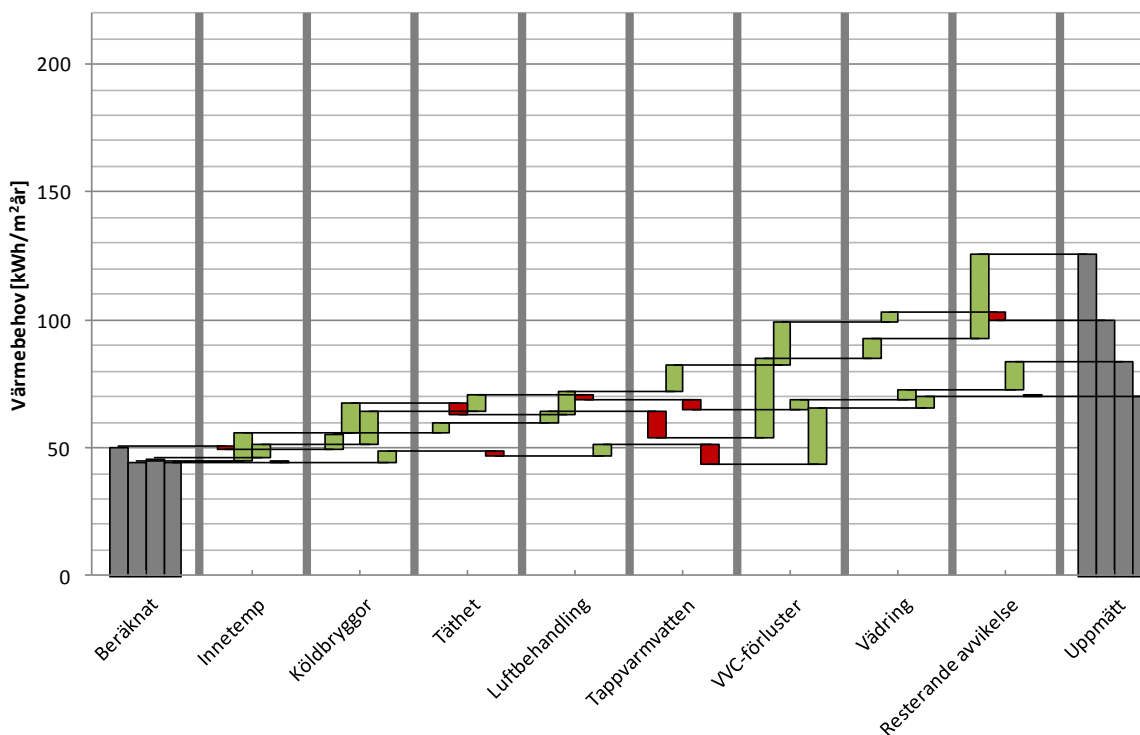


Figur A11 Uppmätt normalårskorrigerat energibehov, Byggnad 4

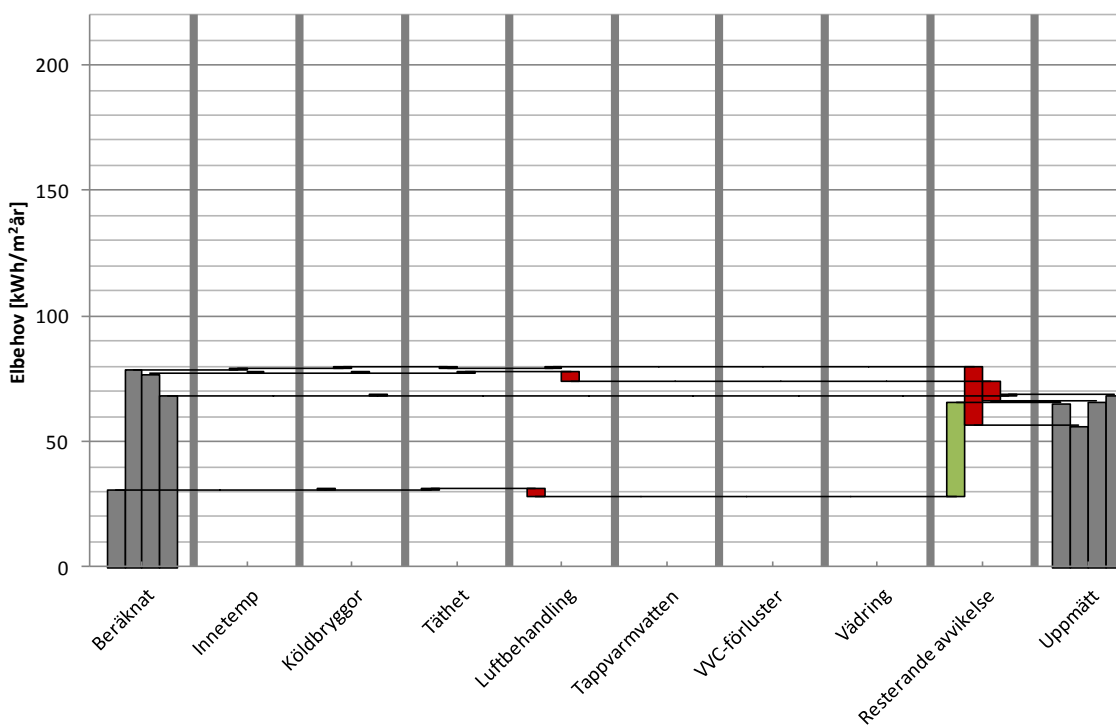


Figur A12 Avvikelse, Byggnad 4

## Bilaga B Resultat av justeringar i referensbyggnadernas energiberäkningar



Figur B1 Beräknat värmebehov före och efter justeringar och jämfört med uppmätt.



Figur B2 Beräknat elbehov före och efter justeringar och jämfört med uppmätt.

