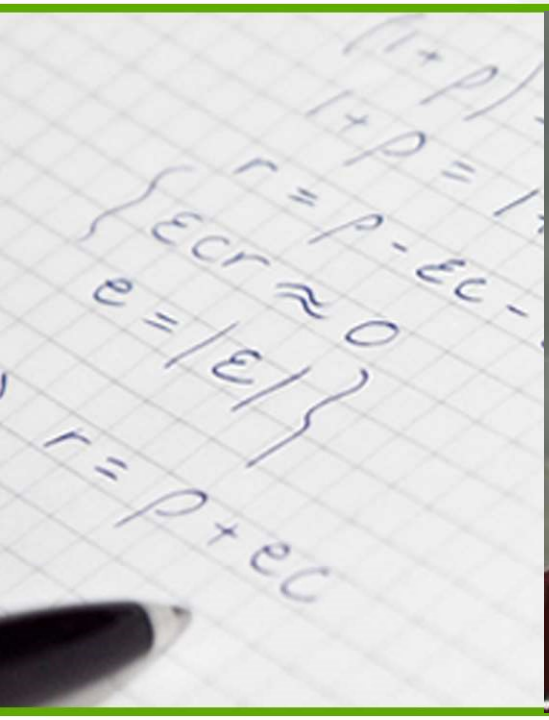
Anthesis

Från beräkning till verklighet - Skillnader i energianvändning



ByggVesta

Från beräkning till verklighet - Skillnader i energianvändning

Agneta Persson

2017-12-10

Rapport 2017:11

www.anthesisgroup.com

INNEHÅLL

FÖRORD 7
SAMMANFATTNING 8
SUMMARY 11
1 INLEDNING 14
1.1 Bakgrund 14
1.2 Syfte 14
1.3 Omfattning och metodik 14
1.4 Urval av byggnader 15
1.5 Projektgrupp 15
2 EGENVÄRMEHUS® - BYGGVESTAS KONCEPT FÖR LÅGENERGIBYGGNAD 16
2.1 Kvarteret Proberaren 18
2.2 Kvarteret Kosterhavet 18
3 OMVÄRLDSBEVAKNING 19
3.1 ”Bruttolista” felkällor 19
3.2 Litteraturstudie 19
3.3 Intervjuer med experter 19
3.4 Workshop om skillnader mellan verklig och beräknad energianvändning 19
3.5 Summering av resultat från omvärldsanalysen 20
4 JÄMFÖRELSER AV BERÄKNAD OCH UPPMÄTT ENERGIANVÄNDNING 22
4.1 Beräknad och uppmätt energianvändning i kvarteret Proberaren 22
4.2 Analys av beräknad och uppmätt energianvändning i kvarteret Proberaren 25
4.3 Beräknad och uppmätt energianvändning i kvarteret Kosterhavet 33
4.4 Analys av beräknad och uppmätt energianvändning i kvarteret Kosterhavet 36
5 RESULTAT 47
5.1 Projektets hypoteser har i huvudsak verifierats 47
5.2 Kostnadseffektiva åtgärder 49
5.3 Egenvärmehus® fortsätter utvecklas 50
5.4 Projektekonomi 51
BILAGA 1 – BRUTTOLISTA MÖJLIGA FELKÄLLOR 52
Bilaga 2 Omvärldsanalys 54
Litteraturstudie 54
Intervjuade experter 55
Deltagare i workshop 55
Bilaga 3 Projektekonomi 56

FÖRORD

Med detta projekt vill BygggVesta bidra till en ökad kunskap om skillnaderna mellan beräknad och verklig energianvändning i flerfamiljshus med lågt energibehov. Projektet har genomförts under perioden mars 2015 till och med november 2017.

De genomförda analyserna redovisas i denna rapport för att bidra till ökad kunskap inom byggbranschen. Syftet med projektets analys har också varit att identifiera kostnadseffektiva lösningar och att bidra till ny praxis, t.ex. genom förbättrade underlag till SVEBY

Stockholm i december 2017

SAMMANFATTNING

Trots ett genuint utvecklingsarbete och ett noggrant beräkningsarbete blir den verkliga energianvändningen ändå i de flesta fall högre än den beräknade. Detta är ett väl känt problem i branschen, men kunskapen om orsakerna till skillnaderna är begränsad. Syftet med detta projekt har varit att bidra till en kunskapsuppbyggnad om skillnader mellan beräknad och verklig energianvändning i flerbostadshus. Resultatet ska bl.a. kunna användas för att identifiera kostnadseffektiva lösningar för att minska skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning. Det ska även kunna användas som underlag till nya förbättrade underlag till SVEBY.

ByggVestas Egenvärmehus®

Sedan 2009 utgörs hela ByggVestas produktion av flerfamiljshus av Egenvärmehus®. Husen har mycket hög energiprestanda tack vare mycket välisolerade klimatskal och mycket energieffektiva installationer. Baskonceptet för Egenvärmehus® har en beräknad maximal energianvändning på 55 kWh/m² A_{temp} vid normalt brukande. Årsenergibehovet är kalkylerat i byggnader med normal fönsterarea utan värmepumpar eller på platsen tillförd fri energi.

Utvärdering har visat skillnader i beräknad och verklig energianvändning

ByggVesta utvärderar och vidareutvecklar sitt koncept kontinuerligt. I utvärderingarna har det visat sig att den verkliga energianvändningen överstiger den beräknade, något som är en problemställning som delas av många andra i branschen.

I sin satsning att utveckla Egenvärmehus®-konceptet ytterligare har ByggVesta nu med delfinansiering av Energimyndigheten genomfört ett projekt där energianvändningen har mätts på detaljerad nivå under ett års tid i två byggnader (kvarteret Proberaren och kvarteret Kosterhavet). Utöver det har en omvärldsanalys med litteraturstudier samt intervjuer och workshop med experter på byggnaders energianvändning genomförts.

Projektets hypoteser har i huvudsak verifierats

I projektansökan till Energimyndigheten formulerades en tredelad hypotes som projektet skulle pröva. De tre delarna var:

1. Den verkliga energianvändningen är vanligen minst 30 procent högre än den beräknade.
2. De tre största orsakerna till skillnaden mellan verklig och beräknad energianvändning är brister i beräkningsunderlaget, ”glapp” i byggprocessen och brister i drifttagningen.
3. Minst hälften av denna skillnad kan undvikas i de projekt där man har en energisamordnare med starkt mandat.

De uppställda hypoteserna har i huvudsak verifierats.

Hypotes 1 – bekräftad för de två analyserade byggnaderna

De genomförda analyserna visar att den första hypotesen att *den verkliga energianvändningen är vanligen minst 30 procent högre än den beräknade* stämmer för såväl kvarteret Proberaren som kvarteret Kosterhavet.

Hypotes 2 – bekräftad med vissa tillägg

Analyser av beräkningar och mätningar visar att den andra hypotesen *att de tre största orsakerna till skillnaden mellan verklig och beräknad energianvändning är brister i beräkningsunderlaget, ”glapp” i byggprocessen och brister i drifttagningen* stämmer också väl för såväl kvarteret Proberaren som studenthuset i kvarteret Kosterhavet med följande tillägg:

- **Brister i beräkningsunderlag *och beräkningsmetod***
  Den genomförda analysen att skillnaderna mellan verklig och beräknad energianvändning till stor del beror på brister i beräkningsunderlag. Beräkningsunderlag i tidiga skeden är inte kompletta, och ändringar sker ofta ända fram till det att den färdiga byggnaden står på plats. De ändrade förutsättningarna bidrar till avvikelser mellan beräknad och verklig energianvändning.

  Men valet av beräkningsmetod har också en stor påverkan på skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning. Här inverkar flera faktorer: energiberäkningsprogram är endast modeller som så väl som möjligt ska efterlikna verkligheten, beräkningar görs för ideala eller statiska fall, brukarpåverkan är stor, risk för beräkningsfel m.m. Dessa felkällor får särskilt stor betydelse för byggnader med låg energianvändning eftersom marginalerna för beräkningsfel är mindre ju lägre energianvändning byggnaden har.
- **”Glapp” i byggprocessen**
  En stor del av skillnaden mellan verklig och beräknad energianvändning beror på ”glapp” i byggprocessen. Utöver att ändringar sker under hela byggprocessen är en viktig källa till avvikelse att många projektörer och byggare har bristfällig förståelse för vilka konsekvenser olika tekniska lösningar har för energianvändning och termisk komfort i byggnader.
- **Brister i drifttagningen *och löpande drift***
  Projektresultaten visar att en väsentlig del av skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning orsakas av bristfällig drifttagning. Men ett viktigt tillägg är att en onödig energianvändning också uppstår till följd av fel och brister i den långsiktiga driften. Här finns utrymme för stora förbättringar och ett behov av förbättrade verktyg för att möjliggöra energieffektiv drift av fastigheterna.

Hypotes 3 – stöd för att den är sann

Vad gäller den tredje hypotesen att *minst hälften av denna skillnad kan undvikas i de projekt där man har en energisamordnare med starkt mandat* ger både omvärldsanalysen, beräkningarna och mätningarna stöd för att det kan vara så. Men denna fråga har inte analyserats tillräckligt för att med säkerhet slå fast att så är fallet.

Kostnadseffektiva åtgärder

Baserat på den genomförda analysen föreslås följande åtgärder för att bidra till en ökad kostnadseffektivitet för energieffektiva byggnader:

- Striktare rutiner för en bättre noggrannhet och kontroll vid drifttagningen.
- Bättre verktyg för att upptäcka och åtgärda fel i den löpande driften, t.ex. flödesgivare som larmar över ett visst värde och fler undermätare.
- Utbilda projektörer och byggare så att deras förståelse ökar för vilka konsekvenser olika tekniska lösningar har på energianvändning och termisk komfort i byggnader.
- Bättre följsamhet mot projektering och hårdare krav vid slutbesiktning. Här har sannolikt en energisamordnare med starkt mandat genom hela processen en avgörande roll.
- Förstärkta rutiner för erfarenhetsåterföring från genomförda projekt.
- Använd en större försiktighetsmarginal vid energiberäkningar
- Mät energianvändningen separat i varje byggnad.
- Utveckla mer rättvisande schabloner för faktorer som huvudsakligen beror på brukarna.

SUMMARY

Despite a genuine development work and careful calculations, the real energy end use in most cases exceed the calculated energy demand in buildings. This is a well-known problem in the building industry, but the knowledge about the causes of the differences is limited. The purpose of this project has been to contribute to knowledge on differences between calculated and actual energy end use in multi-family residential buildings. The aim has been that the results should contribute to identifying cost-efficient measures to reduce the difference between calculated and actual energy demand. It should also contribute to new and improved basis for SVEBY's template values.

ByggVesta's Egenvärmehus®

Since 2009 ByggVesta's whole production of multi-family buildings consists of Egenvärmehus® ("Self-heating house"). The houses have very high energy performance thanks to well-insulated climate shells and very energy-efficient installations. The basic concept of Egenvärmehus® has a maximum energy demand on 55 kWh/m^2 A_{temp} at normal use. The annual energy requirement is calculated in buildings with normal window area without heat pumps, or on-site locally produced energy.

Evaluation has shown differences in calculated and actual energy demand

ByggVesta assesses and develop their concept continuously. Evaluations have shown that the actual energy demand exceeds the calculated, a problem that is shared by many others in the industry.

In their efforts to develop the Egenvärmehus® concept further ByggVesta has now with partial funding by the Swedish Energy Agency conducted a project where energy demand has been measured at detailed level for a year in two buildings (block Proberaren and block Kosterhavet). In addition, a literature study as well as interviews and a workshop with experts on energy use in buildings has been carried out.

The project's hypotheses have essentially been verified

In the project application to the Swedish Energy Agency a three-pronged hypothesis that the project would examine was formulated. The three parts were:

1. The actual energy demand is usually at least 30 per cent higher than the calculated
2. The three main reasons for the difference between actual and calculated energy demand are deficiencies in the calculation basis, "glitches" in the building process and deficient commissioning

3. At least half of this difference can be avoided in the projects where you have an Energy coordinator with strong mandate

The set hypotheses have essentially been verified.

Hypothesis 1 – confirmed for the two analyzed buildings

The analyses show that the first hypothesis that *the actual energy use is usually at least 30 per cent higher than the calculated* is valid for both block Proberaren and block Kosterhavet.

Hypothesis 2 – confirmed with some additions

Analysis of calculations and measurements show that the second hypothesis that the three main reasons for the difference between actual and calculated energy demand are deficiencies in the calculation basis, "glitches" in the building process and deficient commissioning is also true for both block Proberaren and block Kosterhavet, with the following additions:

- **Deficiencies in the calculation basis *and calculation method***
  The performed analysis to differences between actual and calculated energy demand in large part due to defects in the material which the calculation is based on. Calculation bases in early stages are not complete, and changes often take place until the building is completed. The changed conditions contributing to variances between calculated and actual energy use.

  But the choice of calculation method also has a large impact on the difference between calculated and actual energy use. This is due to several factors: energy calculation programs are only models that try to imitate reality as well as possible, calculations are made for ideal or static cases, the users' influence is large, the risk of calculation errors, etc. These sources of error have particular importance for buildings with low energy demand since the margins of errors of calculation is less the lower energy demand of the building.

- **"Glitches" in the building process**
  A large part of the difference between the actual and calculated energy demand is due to "glitches" in the building process. In addition to changes occurring during the entire construction process, an important source of discrepancy is that many designers and builders have deficient understanding of the implications of various technical solutions have on energy demand and thermal comfort in buildings.

- **Deficiencies in commissioning *and running daily operation***
  The project results show that a substantial part of the difference between calculated and actual energy demand is caused by inadequate commissioning. But an important addition is that a significant unnecessary energy use also occurs as a result of serious failings in the long-term daily

operation. There is a need for better tools for energy-efficient building operation, and room for new innovative solutions.

Hypothesis 3 — support that it may be true

As for the third hypothesis that *at least half of this difference can be avoided in the projects where you have an Energy coordinator with strong mandate* both the literature study and the conducted interviews and measurements provides support that it may be so. But this issue has not been analyzed sufficiently to conclude with certainty that this is the case.

Cost-efficient measures

Based on the performed analysis the following measures to contribute to a greater cost efficiency for energy efficient buildings are suggested:

- Stricter procedures with better accuracy and control in commissioning.
- Better tools to detect and fix errors in the daily operation, for example flow sensors alarming over certain values and more detailed monitoring.
- Training for designers and builders to increase their understanding of the implications of various technical solutions have on energy demand and thermal comfort in buildings.
- Better adherence to planning and stricter requirements for final inspection. It is likely that an Energy coordinator with strong mandate throughout the whole process can play an important role.
- Enhanced procedures for experience feedback from completed projects.
- Use of larger precautionary margin for energy calculations
- Measuring of energy demand separately in each building.
- Development of more accurate templates values for factors that mainly depends on the users.

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Trots ett genuint utvecklingsarbete och ett noggrant beräkningsarbete blir den verkliga energianvändningen ändå i de flesta fall högre än den beräknade. Detta är ett väl känt problem. Men kunskapen om orsakerna till skillnaderna, och hur mycket de mest betydande orsakerna påverkar utfallet, är begränsad.

1.2 Syfte

Detta projekt har syftat till att analysera orsakerna till skillnaderna mellan verklig och beräknad energianvändning, att skapa mer kunskap om frågan och att sprida denna kunskap inom byggbranschen. Syftet med projektets analys var att:

- Skapa fördjupad kunskap
- Identifiera kostnadseffektiva lösningar
- Bidra till ny praxis, t.ex. genom förbättrade underlag till SVEBY

Projektet syftade också till att undersöka om det finns studier om skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning är lika stor i lågenergibyggnader i några andra länder som är framstående avseende lågenergibyggande, t.ex. Tyskland, Österrike och Danmark.

Syftet med projektet har även varit att skapa bättre underlag för kostnadseffektiva lösningar och analyser av kostnadseffektivitet för olika åtgärdskombinationer i flerbostadshus med lågt energibehov. Projektresultaten ska kunna bidra till en ny branschpraxis när det gäller beräkning av byggnaders energibehov, och projektet har syftat till att förbättra möjligheterna att uppnå det femtonde nationella miljömålet God bebyggd miljö.

1.3 Omfattning och metodik

Projektet har genomförts under perioden mars 2015 till och med november 2017.

I projektansökan till Energimyndigheten formulerades en tredelad hypotes som projektet skulle pröva. De tre delarna var:

1. Den verkliga energianvändningen är vanligen minst 30 procent högre än den beräknade
2. De tre största orsakerna till skillnaden mellan verklig och beräknad energianvändning är
    - Brister i beräkningsunderlaget
    - ”Glapp” i byggprocessen
    - Brister i drifttagningen
3. Minst hälften av denna skillnad kan undvikas i de projekt där man har en energisamordnare med starkt mandat

Dessa hypoteser har prövats med hjälp av fyra olika delar

- En litteraturstudie avseende skillnader mellan verklig och beräknad energianvändning i byggnader har genomförts. Litteraturstudien kompletterades med intervjuer med experter på byggnaders energianvändning.
- En workshop om skillnader mellan verklig och beräknad energianvändning i byggnader har genomförts med 10 svenska fastighetsägare, entreprenörer och experter på energianvändning i byggnader.
- En noggrann mätning av den verkliga energianvändningen i kvarteret Proberaren och kvarteret Kosterhavet som byggts och ägs av ByggVesta.
- Analys av tidigare genomförda energiberäkningar för de kvarteret Proberaren och kvarteret Kosterhavet.
- Analys av skillnaderna mellan den beräknade och den verkliga energianvändningen i kvarteret Proberaren och kvarteret Kosterhavet.

1.4 Urval av byggnader

I projektet analyseras två av ByggVestas byggnader i detalj genom mätningar och granskningar av ritningar. De två byggnaderna som ingår i studien har valts ut av Energimyndighetens konsult. Det bör noteras att de två byggnaderna inte är helt representativa för ByggVestas byggnadsutbud.

1.5 Projektgrupp

Projektet har genomförts av Marcus Svensson och Yasin Elobeid, ByggVesta Development AB, Andreas Siltberg, ByggVesta Fastighetsförvaltning, Agneta Persson, Anthesis Group, samt Jasenka Hot och Michaela Tarnawski, WSP Sverige AB.

Projektgruppen vill tacka Energimyndigheten som har bidragit till finansieringen av projektet, företagen Dry IT och Bengt Bergqvist Energianalys som genom sina kompletterande mätningar och rapporter har bidragit med viktiga underlag för analysensamt Boris Intner på ByggVestas förvaltningsavdelning som har sammanställt alla grafer och diagram.

2 EGENVÄRMEHUS® - BYGGVESTAS KONCEPT FÖR LÅGENERGIBYGGNAD

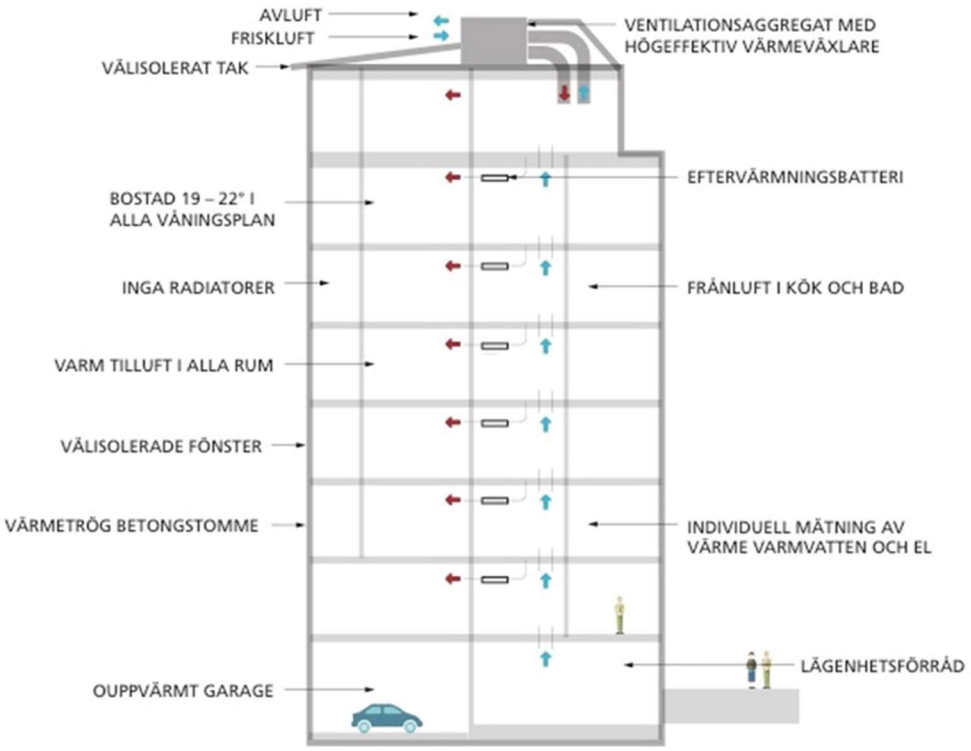
ByggVesta bygger hus med hög energiprestanda. Sedan 2009 utgörs hela deras flerbostadshusproduktion av det de kallar Egenvärmehus®. Kortfattat kan man säga att Egenvärmehus är ByggVestas benämning på hus med mycket välisolerat klimatskal och mycket energieffektiva installationer. Beslutet att bara bygga Egenvärmehus® fattades efter att ByggVesta hade genomfört en omfattande analys av olika passivhuskoncept.

Det första egenvärmehuset var kvarteret Kommendörkaptenen som byggdes i Västra Hamnen i Malmö. Huset stod färdigt i juni 2008, och fick mycket uppmärksamhet för att det var både kostnadseffektivt och energisnålt samtidigt som det var yteffektivt och bidrar till ökad hållbarhet inom byggandet. Stärkta av framgången beslöt ByggVesta att endast bygga Egenvärmehus® och att arbeta med ständiga förbättringar av sitt koncept.

ByggVestas baskoncept för Egenvärmehus® är en beräknad maximal energianvändning på 55 kWh/m² A_{temp} vid normalt brukande. Årsenergibehovet är kalkylerat i byggnader med normal fönsterarea utan värmepumpar eller på platsen tillförd fri energi. Den låga energianvändningen åstadkoms genom:

- Välisolerat klimatskal
    - Mycket få köldbryggor
    - U-värde fasad ≤0,17 W/m², K
    - U-värde fönster 0,9 W/m², K
- Lufttätt och värmetrögt hus (0,3 l/s vid 50 Pa)
- FTX med 90 % verkningsgrad
- Kalla garage
- Luftvärme
- Enbart ett luftvärmebatteri per lägenhet (och enstaka radiatorer där det erfordras)
- Låg elanvändning för:
    - Belysning
    - Ventilation
    - Hissar
    - Övrig fastighetsel
    - Vitvaror

- Fjärrvärme
- Mätning och debitering av värme, varmvatten och hushållsel



Figur 1: Illustration av energilösningarna i ByggVestas Egenvärmehus®.

Fram till idag har ByggVesta byggt och konstruerat mer än 3 000 lägenheter baserat på sitt koncept Egenvärmehus®, och bygger i dagsläget ca 600 nya lägenheter per år. ByggVesta fortsätter att ha kravet högst 55 kWh/m² A_{temp} och har idag en gedigen kunskap i industriellt byggande av energieffektiva flerbostadshus.

De utvärderar och vidareutvecklar sitt koncept kontinuerligt. I utvärderingarna har det visat sig att den verkliga energianvändningen överstiger den beräknade. Detta är en problemställning som delas av många andra byggföretag. I sin satsning att utveckla Egenvärmehus®-konceptet ytterligare har ByggVesta nu med delfinansiering av Energimyndigheten genomfört ett projekt där energianvändningen har mätts på detaljerad nivå under ett års tid i två byggnader, ett hus i kvarteret Proberaren och ett hus i kvarteret Kosterhavet. ByggVesta har utöver det genomfört kompletterande mätningar av fastighetsel i de båda byggnaderna och mätning av VVC-förluster i kvarteret Proberaren, analys av tidigare genomförda beräkningar och nya beräkningar med hjälp av beräkningsprogrammet VIP samt termografering i kvarteret Kosterhavet. Med hjälp av dessa underlag har ByggVesta nu skapat ytterligare kunskap som ska användas för att vidareutveckla Egenvärmehus®-konceptet ytterligare.

2.1 Kvarteret Proberaren

Kvarteret Proberaren ligger i Bagarmossen i Stockholm. Byggnaden har 32 lägenheter i blandad storlek, med tillhörande kalla förråd och fläktrum på vinden och garage och teknikutrymmen i källaren. Huset ventileras med till- och frånluftsventilation med hög värmeåtervinning, och det värms med fjärrvärme.

2.2 Kvarteret Kosterhavet

Kvarteret Kosterhavet ligger i Norra Djurgårdsstaden i Stockholm. Fastigheten består av två byggnader med gemensamt garage, gemensam källare och gemensam undercentral. De detaljerade energimätningarna som delfinansieras av Energimyndigheten har genomförts i en av de två byggnaderna.

Denna byggnad innefattar studentlägenheter. Det innebär att den genomsnittliga lägenhetsstorleken är liten, och att energianvändningen då blir högre än i ett hus med blandade lägenhetsstorlekar. Totalt är det 113 studentlägenheter i byggnaden.

Det bör noteras att analysen för kvarteret Kosterhavet kan vara missvisande eftersom de uppmätta värdena för energianvändning inte avser hela fastigheten. De båda byggnaderna i fastigheten i kvarteret Kosterhavet delar undercentral, och fastighetens Energideklaration avser båda byggnaderna.

3 OMVÄRLDSBEVAKNING

I inledningen av detta projekt togs en ”bruttolista” över möjliga felkällor fram avseende skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning. Därefter genomfördes en litteraturstudie för att undersöka ytterligare möjliga felkällor. Litteraturstudien kompletterades med intervjuer med experter på byggnaders energianvändning och energiberäkningar. Utöver detta genomfördes en workshop med samma tema.

3.1 ”Bruttolista” felkällor

Inledningsvis arbetade tog arbetsgruppen fram en ”bruttolista” över möjliga felkällor. Denna lista användes för att sedan till en vidare sökning av orsakerna till skillnaderna mellan verklig och beräknad energianvändning i ByggVestas byggnader. Bruttolistan redovisas i Bilaga 1.

3.2 Litteraturstudie

Litteraturstudien genomfördes för att identifiera möjliga källor till avvikelser mellan verklig och beräknad energianvändning i byggnader, och hade fokus på att identifiera nyare källor. De källor till avvikelser mellan beräknad och verklig energianvändning i byggnader som framkom i litteraturstudien överensstämmer väl med de som identifierades i bruttolistan.

Endast begränsat med underlag om utländska studier om skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning i lågenergibyggnader identifierades genom litteraturstudien.

Källor som hittades genom litteraturstudien framgår av Bilaga 2.

3.3 Intervjuer med experter

Ett tjugotal experter på byggnaders energianvändning intervjuades avseende deras kunskap om och syn på avvikelser mellan beräknad och verklig energianvändning. En förteckning över experterna återfinns i Bilaga 2.

3.4 Workshop om skillnader mellan verklig och beräknad energianvändning

Som ytterligare ett led i omvärldsanalysen genomfördes en workshop med tio experter på byggnaders energianvändning. Som underlag för workshopen användes den framtagna bruttolistan över möjliga källor till avvikelser, samt resultatet från litteraturstudien och de genomförda intervjuerna. En förteckning över workshopsdeltagarna återfinns i Bilaga 2.

3.5 Summering av resultat från omvärldsanalysen

Den insamlade informationen ger en samstämmig bild av orsakerna till skillnader mellan beräknad och verklig energianvändning mellan litteraturstudie, intervjuer och från workshopen. Den erhållna inputen i omvärldsanalysen kan summeras i fyra kategorier.

3.5.1 Beräkningar görs för ett idealt eller statiskt fall

Men verkligheten är varken ideal eller statisk. Exempelvis varierar inomhustemperaturen i verkligheten, men det fångas inte i beräkningarna. Vidare är det vanligt att värmepumpars värmefaktor (COP) och ventilationssystemens värmeåtervinningsgrad överskattas. Det behöver inte nödvändigtvis bero på att det är fel på den aktuella byggnadskomponenten eller installationen, det kan t.ex. också bero på bristande kvalitet i utförande vid byggandet, läckage, att det sker en nedsmutsning av ventilationsaggregat över tid eller bristfällig injustering.

För att minska inverkan av dessa faktorer bör beräkningarna göras med en viss försiktighetsmarginal. Hur stor denna marginal bör vara är dock oklart i dagsläget, det finns inga allmänt vedertagna schabloner för det.

3.5.2 Skillnader mellan det hus som beräkningen baseras på och det som i verkligheten byggdes

En vanlig källa till skillnader mellan beräknad och verklig energianvändning är att huset som byggdes inte riktigt överensstämmer med det hus som beräkningarna baseras på. Detta kan bero på flera saker som t.ex:

- Energiberäkningarna görs i ett tidigt skede men uppdateras av orsakerna till skillnader mellan beräknad och verklig energianvändning i de senare skedena.
- Bristande informationsöverföring mellan olika aktörer och faser i projektet.
- Skillnader mellan projektering och verklighet avseende val av byggmaterial, komponenter och installationer.

För att minska betydelsen av dessa typer av avvikelser krävs bl.a. bättre följsamhet mot projektering och att det ställs hårdare krav vid slutbesiktning. Därmed kan en högre grad av överensstämmelse mellan verklig och projekterad byggnad säkerställas. I de fall där det ändå visar sig att verkligheten skiljer sig från det som har projekterats bör energiberäkningen uppdateras i enlighet med hur det faktiskt är byggt, och föra vidare erfarenheterna om avvikelserna till nästa projekt.

3.5.3 Bristande uppföljning

Skillnader i hur mätningar avgränsas och hur det mäts kan vara orsak till stora avvikelser mellan verklig och beräknad energianvändning. Man måste veta vad man

mäter och mätningen måste omfatta samma sak som ingår i beräkningen, annars jämför man olika saker. Ett exempel på detta är de fall flera huskroppar där lokaler och gemensamt garage ingår i mätningen men beräkningen är gjord för en enskild byggnad. För att särskilja de beräknade värdena från de uppmätta måste antaganden göras.

För att undvika dessa källor till avvikelser bör varje huskropp ha egna mätare för värme. Därmed fås en bättre överensstämmelse mellan projekterade värden och värden som mätningen visar.

3.5.4 Schabloner och brukarpåverkan

Användning av schabloner är en vanlig källa till avvikelser mellan beräknad och verklig energianvändning i byggnader, och brukarna inverkar på energianvändningen på många sätt. En faktor med stor betydelse, och som alltid är svår att bedöma, är hur många personer som faktiskt kommer att bo i huset. Det är alltid okänt när byggnaden projekteras, och det ändrar sig dessutom över tid. En annan faktor som är särskilt svår att bedöma är interna laster, men även schabloner för t.ex. vädring, vald inomhustemperatur och VVC-förluster ger stora avvikelser mellan verklig och beräknad energianvändning.

För att minska inverkan av dessa faktorer behövs fler mätprojekt som bidrar till säkrare underlag och schabloner. Det skulle också vara värdefullt att utveckla en parallell indikator som visar energianvändningen per capita och inte bara per areaenhet.

4 JÄMFÖRELSER AV BERÄKNAD OCH UPPMÄTT ENERGIANVÄNDNING

I detta projekt har som tidigare nämnts energianvändningen mätts på detaljerad nivå under ett års tid i kvarteret Proberaren och i en av byggnaderna i kvarteret Kosterhavet. ByggVesta har dessutom genomfört kompletterande mätningar av fastighetsel i båda byggnaderna, analyserat tidigare genomförda beräkningar och gjort nya beräkningar med hjälp av beräkningsprogrammet VIP samt termograferat byggnaden i kvarteret Kosterhavet.

I detta kapitel redovisas den beräknade och den uppmätta energianvändningen, och orsaker till skillnaderna mellan dessa värden analyseras. Som nämndes i inledningen av rapporten bygger ByggVestas grundkoncept Egenvärmehus® på en målsättning att en energianvändning som är högst 55 kWh/m² A_{temp}. Denna energianvändningsnivå utgör därför basen för analysen.

4.1 Beräknad och uppmätt energianvändning i kvarteret Proberaren

4.1.1 Sammanställning av beräknad och uppmätt energianvändning i kvarteret Proberaren

Energianvändningen i kvarteret Proberaren beräknades i samband med bygglovshandlingen bli 53 kWh/m² A_{temp}. När relationshandlingarna gjordes hade den beräknade energianvändningen ökat till 65 kWh/m² A_{temp}. Den verkliga uppmätta energianvändningen som har framkommit i de mätningar som detta projekt baseras på är 75 kWh/m² A_{temp}.

Vilket av dessa energianvändningsvärden är det riktiga, och vad beror skillnaderna på? Svaret på dessa frågor är att alla tre värden är riktiga, och att värdena utgår från olika förutsättningar. En bidragande orsak till skillnaden mellan värdena är att byggnadsarean skiljer sig år mellan de olika skedena, beroende på att ändringar sker efterhand som projektet utvecklas.

En redovisning av beräknad respektive uppmätt energianvändning i de olika skedena i byggprocessen redovisas i Tabell 1. Där framgår också hur energianvändningen enligt beräkning respektive mätning fördelas mellan uppvärmning, varmvatten, VVC, el till fläktar och övrig fastighetsel. Det bör noteras att en fördelning av den uppmätta fjärrvärmeanvändningen har gjorts mellan värme och varmvatten.

Tabell 1: Sammanställning av energianvändningen (kWh/m² A_{temp}) i kvarteret Proberaren för bygglovshandling, relationshandling och uppmätt värde.

	A	B	C	D
		Tidigt skede (bygglovs-handling)	Relations-handling	Uppmätt
1	Uppvärmning	19	30	34
2	Varav VVC	3	2[1]	7
3	Tappvarmvatten	22	25	24
4	El till fläktar	5	6	6
5	Övrig f-el	7	4	12
6	Totalt	53	65	76
7	U_m	0,272	0,32[2]	-

4.1.2 Beräknad energianvändning i bygglovshandling för kvarteret Proberaren

Energiberäkningarna till bygglovshandlingarna genomfördes år 2012 baserat på A-ritningar.

En viktig förklaring till skillnaden mellan beräknad och uppmätt energianvändning för kvarteret Proberaren är att byggnadsarean (A_{temp}) är olika i de olika skedena. I bygglovshandlingarna var A_{temp} 2 722 m², medan arean vid verklig uppmätt energianvändning är 2 317 m². Skillnaden beror huvudsakligen på att man i tidigt skede antog att vindsförråden skulle vara uppvärmda.

Tabell 2: Energianvändning (kWh/m² A_{temp}) i bygglovshandling, kvarteret Proberaren.

	A	B
		Tidigt skede (bygglovs-handling)
1	Uppvärmning	19
2	Varav VVC	3
3	Tappvarmvatten	22
4	El till fläktar	5
5	Övrig f-el	7
6	Totalt	53
7	U_m	0,272

I uppvärmning ingår schabloner enligt ByggVestas koncept för konstruktion (U-värden) och installationer (balanserad ventilation med luftflöde 0,4 l/s, m² och 90 procent verkningsgrad för värmeåtervinning) samt SVEBYs schablon för vädring. Innetemperatur i lägenheter antas vara 21°C och garaget kallt.

VVC-förluster antas vara 3 kWh/m², år.

Med energieffektiva tappvattenarmaturer kan 20 kWh/m², år antas för varmvatten enligt SVEBY, men ByggVesta antog 22 kWh/m², år baserat på tidigare erfarenhet.

Energiberäkningsprogrammet VIP+ räknar ut el till fläktar baserat på angett luftflöde, verkningsgrad för värmeåtervinning och SFP-värde.

[1] Enligt VVS-konsult

[2] Ökat U_m-värde till följd av beräknade köldbryggor enligt relationshandling.

Övrig fastighetsenergi är el till hissar, belysning i alla gemensamma utrymmen (trapphus, garage m.m.), pumpar och annat.

4.1.3 Beräknad energianvändning i relationshandling för kvarteret Proberaren

Energiberäkningarna till relationshandlingarna genomfördes år 2015 med alla relationshandlingar från A, K, VVS och EL som underlag samt avstämning på plats med ByggVestas platschef som informerade om avvikelser från projekterade detaljer. I detta skede var A_{temp} 2 317 m², dvs ca 15 procent mindre än i bygglovshandlingarna.

Tabell 3: Energianvändning (kWh/m² A_{temp}) i relationshandling, kvarteret Proberaren.

	A	D
		Relations-handling
1	Uppvärmning	30
2	Varav VVC	2
3	Tappvarmvatten	25
4	El till fläktar	6
5	Övrig f-el	4
6	Totalt	65
7	U_m	0,32

Energianvändningen för uppvärmning har beräknats med hjälp av VIP+ för konstruktioner och installationer, enligt relationsritningar (balanserad ventilation med luftflöde 0,46 l/s, m² och 90 procent verkningsgrad för värmeåtervinning) samt SVEBYs schablon för vädring. Innetemperatur i lägenheter antogs vara 21°C och garaget kallt. Här ingår även reglerförluster på 2 kWh/m².

VVC-förluster antas vara 2 kWh/m², år (de ovan nämnda reglerförlusterna bör egentligen ingå här).

Tappvattenarmaturer har antagits till 25 kWh/m², år enligt SVEBYs nya schablon.

El till fläktar är som genererat av VIP+ baserat på inmatat luftflöde, verkningsgrad för värmeåtervinning och SFP-värde. Nu med högre luftflöde än i tidigare beräkningar

Övrig fastighetsenergi är el till hissar, belysning i alla gemensamma utrymmen (trapphus, garage m.m.), pumpar och annat. Nu lägre antaget än tidigare beräkning baserat på antagande om energieffektiva armaturer samt smart styrning.

Uppvärmningsposten i relationsberäkningen ökade 11 kWh/m² A_{temp} till följd av ökat luftflöde, köldbryggor och något högre förluster för reglering. Den största avvikelsen i detta skede är enligt VIP+beräkningen köldbryggor till följd av bristfälliga lösningar för anslutningsdetaljer, enligt beräkningen 7 kWh/m² A_{temp}. Det större ventilationsflödet har beräknats öka energianvändningen med 1 kWh/m² A_{temp} och övriga förändringar mot antagna värden i tidigt skede bidrar till 3 kWh/m² A_{temp} i ökad energianvändning.

4.1.4 Uppmätt energianvändning för kvarteret Proberaren

I analysen av den uppmätta energianvändningen används byggnadsarean A_{temp} 2 317 m² för kvarteret Proberaren. Mätningen av värme, varmvatten och VVC baseras på den detaljerade årslånga mätning som har genomförts med hjälp av

delfinansiering från Energimyndigheten. Analysen av fastighetsel har genomförts som en kompletterande mätning som genomförts av konsultföretaget Dry IT och helt bekostats av ByggVesta.

Tabell 4: Uppmätt energianvändning (kWh/m² A_{temp}) i kvarteret Proberaren.

	A	D
		Uppmätt
1	Uppvärmning	34
2	Varav VVC	7
3	Tappvarmvatten	24
4	El till fläktar	6
5	Övrig f-el	12
6	Totalt	76
7	U_m	-

Den uppmätta användningen för uppvärmning som innefattar transmission och uppvärmning av uteluft (uppmätt fjärrvärme med avdrag för varmvatten) är 34 kWh/m² A_{temp}. Detta värde är inte normalårskorrigerat. Den beräknade (VIP+) energianvändningen var 30 kWh/m² A_{temp}.

Uppmätt energianvändning för VVC är 7 kWh/m² A_{temp}.

Tappvarmvattenmätningen är en delmängd av den totala uppmätta fjärrvärmeanvändningen baserad på tappvarmvattenvolym, den uppgår till 24 kWh/m² A_{temp}.

El till fläktar och övrig fastighetsel har mätts av konsultbolaget Dry IT. Dessa poster uppgår till 6 respektive 12 kWh/m² A_{temp}.

4.2 Analys av beräknad och uppmätt energianvändning i kvarteret Proberaren

Skillnaden i energianvändning mellan bygglovshandlingar (B) och uppmätt energianvändning (D) är 23 kWh/m² A_{temp}, dvs drygt 40 procent högre (se Tabell 5). Två anledningar till avvikelserna som redan har konstaterats är användning av olika byggnadsarea och att det uppmätta värdet inte är normalårskorrigerat.

I projektet har en analys av de inhämtade mätvärdena gjorts för att analysera vad skillnaderna beror på och för att kunna föreslå kostnadseffektiva åtgärder för att minimera dessa skillnader. Inom projektet har också kompletterande beräkningar av fastighetsel och VVC genomförts för att ytterligare analysera orsaker till skillnaderna och identifiera lämpliga åtgärder.

Redovisningen i detta avsnitt baseras på de genomförda mätningarna och de kompletterande beräkningar som gjorts för att ytterligare analysera orsakerna till skillnaderna mellan beräknad och verklig energianvändning. Redovisningen gör inga anspråk på att vara komplett, utan är menad att visa på områden för fortsatt analys.

Tabell 5: Skillnader mellan beräknad energianvändning i bygglovsskedet och verklig uppmätt energianvändning för kvarteret Proberaren.

	A	B	D
		Tidigt skede (bygglovs-handling)	Uppmätt
1	Uppvärmning	19	34
2	Varav VVC	3	7
3	Tappvarmvatten	22	24
4	El till fläktar	5	6
5	Övrig f-el	7	12
6	Totalt	53	76
7	U_m	0,272	-

4.2.1 Kvarteret Proberaren uppmätt temperatur uteluft

En av de saker som har registrerats under den årslånga mätningen är utomhustemperaturen, se Diagram 1.

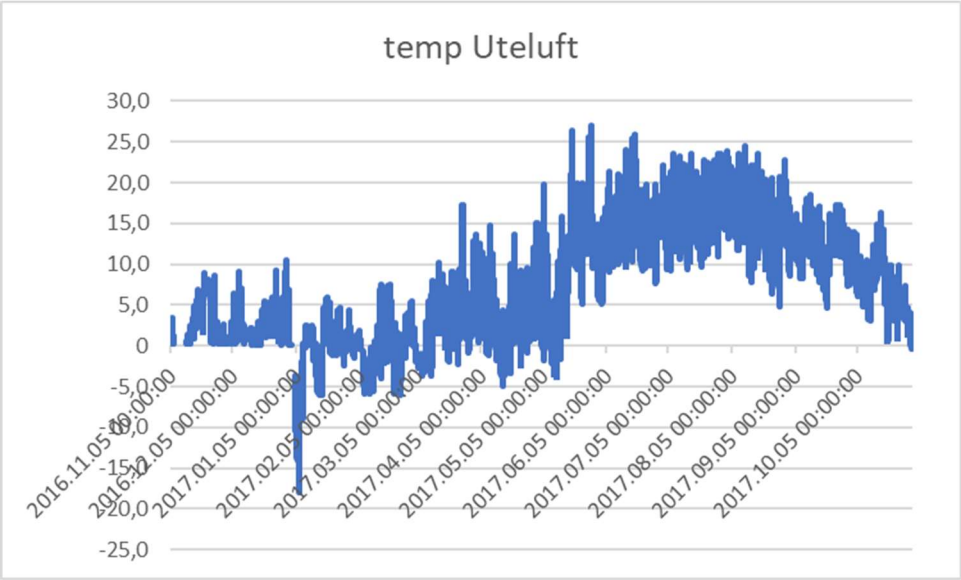


Diagram 1: Registrerad utomhustemperatur under mätperioden.

4.2.2 Kvarteret Proberaren värme

Det beräknade (VIP+) energibehovet för uppvärmning var i bygglovshandlingarna 19 kWh/m² A_{temp} för kvarteret Proberaren i bygglovshandlingarna och 30 kWh/m² A_{temp} i systemhandlingarna. Det uppmätta, ej normalårskorrigerade, energibehovet för uppvärmning (transmission och uppvärmning av uteluft) är 34 kWh/m² A_{temp}.

De genomförda mätningarna visar att den relativa luftfuktigheten i lägenheterna ligger inom ett lämpligt intervall. Temperaturen i lägenheterna är i genomsnitt ca 22°C, medan den antagits till 21°C vid projekteringen. Det innebär enligt en beräkning i VIP+ en ökad årlig energianvändning på ca 6 kWh/m² A_{temp}.

Mätningarna visar också att ventilationsflödena är högre än beräknat, och det är en viktig förklaring till att energianvändningen för värme är högre än beräknat. Detta belyses närmare under avsnittet ventilation nedan.

En annan viktig orsak till skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning är att temperaturen i garaget är väsentligt högre än vad som var avsett vid projektering. Den uppmätta garagetemperaturen visas i Diagram 2. Som framgår av diagrammet är temperaturen väsentligt över 10°C, i genomsnitt har den under mätåret legat på 14°C. Det innebär enligt energisimuleringar i VIP+ en ökad årlig energianvändning på 8 kWh/m² A_{temp} jämfört med den beräknade.

Konstruktionen visar ett bra U-värden för bjälklagsisoleringen mot garaget, men brutna isoleringar mot garaget bör åtgärdas. Inget luftläckage har identifierats från byggnaden till garaget. Garagebelysningen har i den kompletterade mätningen av fastighetselen visat sig vara tänd nästan hela tiden, vilket delvis bidrar till den höga garagetemperaturen, ByggVesta kommer att se över belysningsstyrningen.

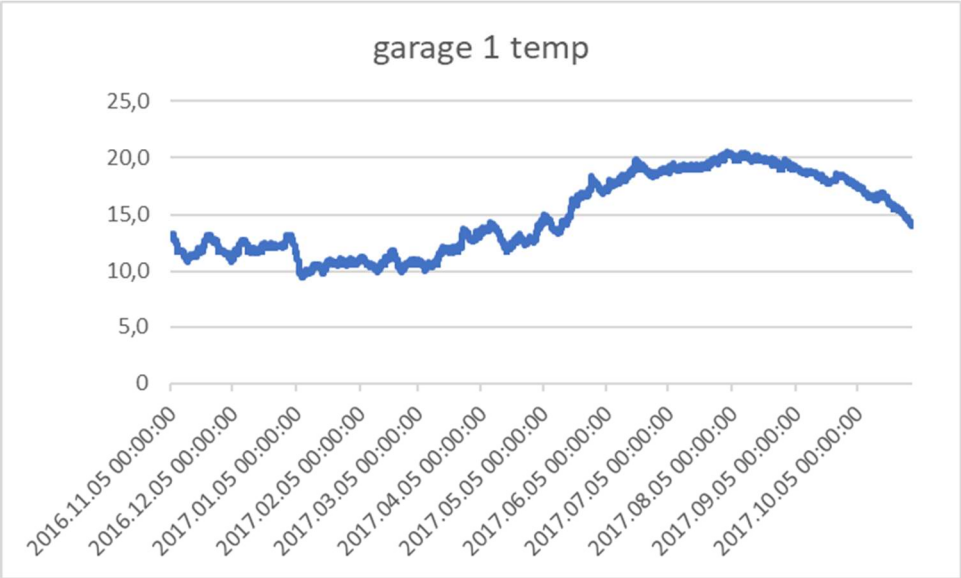


Diagram 2: Uppmätt temperatur i garaget i kvarteret Proberaren, 2016-11-05—2017-11-04.

För att i framtida projekt minska inverkan av denna felkälla behöver mer fokus läggas på att undvika bruten isolering i bjälklag mellan lägenheter och garage och uppföljning av belysnings- och ventilationsstyrningens funktion.

4.2.3 Kvarteret Proberaren VVC

Den uppmätta energianvändningen för VVC i kvarteret Proberaren är 7 kWh/m² A_{temp}[3] medan den beräknade var 2 kWh/m² A_{temp}. För att minska denna skillnad

[3] Mätningar genomförda av Bengt Bergqvist Energianalys AB

behöver mer fokus läggas på hur VVC-slingorna förläggs och att de ska vara väl isolerade.

En slutsats är också att SVEBYs schablon på 2 kWh/m² A_{temp} kan behöva revideras till ett något högre värde, och att schablonen bör relatera till BOA stället för A_{temp}.

4.2.4 Kvarteret Proberaren varmvatten

Den uppmätta energianvändningen för varmvatten i kvarteret Proberaren är något högre än den beräknade, 24 kWh/m² A_{temp} respektive 22 kWh/m² A_{temp}. Energianvändning för varmvatten är starkt beroende av brukarvanor, och svår att påverka utöver att som ByggVesta redan gör installera energieffektiva tappvattenarmaturer och isolera varmvattenledningar.

4.2.5 Kvarteret Proberaren Ventilation

Frånluftsflöde

Mätningarna av energianvändningen i kvarteret Proberaren visar att frånluftsflödet ökar med 50 procent i början januari och att det sedan inte går ner igen, med undantag för när det vid två tillfällen är avstängt. Frånluftsflödet ökar ytterligare under sommaren, sannolikt p.g.a. vädring, och minskar något efter sommaren.

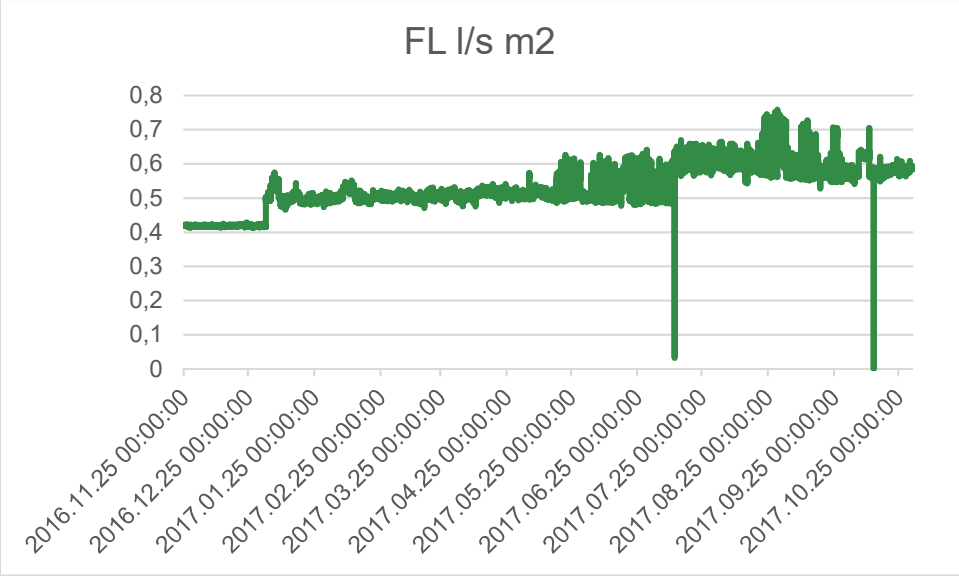


Diagram 3: Uppmätt frånluftsflöde i kvarteret Proberaren, 2016-11-25—2017-10-24.

Det projekterade frånluftslödet är 0,46 l/s, m², medan det genomsnittliga uppmätta frånluftsflödet är 0,7 l/s, m². En VIP+-simulering baserad på skillnaderna mellan projekterat och verkligt frånluftsflöde ger en skillnad i energianvändning på 29 kWh/m² A_{temp}. Om frånluftsflödet skulle minskas så att det är högst 10 procent högre än tilluftsflödet skulle energianvändningen enligt VIP+-simulering gå ner med 20 kWh/m² A_{temp}.

I mätningarna har ingen ofrivillig ventilation konstaterats. Huvuddelen av avvikelsen i detta fall förefaller därför vara kopplad till allvarliga fel i drifttagningen och driften av ventilationen.

Viktiga åtgärder för att minska skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning är därför i detta fall att:

- Se till att driften av ventilationen motsvarar vad den har projekterats för - det behövs bättre verktyg för effektiv drift och striktare rutiner för en noggrannare drifttagning
- Gör ny injustering av ventilationen
- Mät ventilationsflöden i varje lägenhet
- Kontrollera att reset av värden blir korrekta efter brandlarm
- Förse alla ventilationsaggregat med flödesgivare (inte bara tryck- och temperaturgivare som i nuläget)
- Se till att alla kanaler är välisolerade
- Gör en fördjupad undersökning med mätningar av vilken betydelse sommarvädring har för ventilationsflöden

Tilluftsflöde

Det projekterade tilluftsflödet är 0,46 l/s, m², men det verkliga tilluftsflödet är ca 10 procent högre. Det bidrar till en ökning av byggandens energianvändning. Vidare visar mätningarna att det föreligger en obalans på ca 30 procent mellan de verkliga tilluft-och frånluftsflödena, vilket minskar värmeåtervinningen betydligt och bidrar till en ytterligare ökad verklig energianvändning.

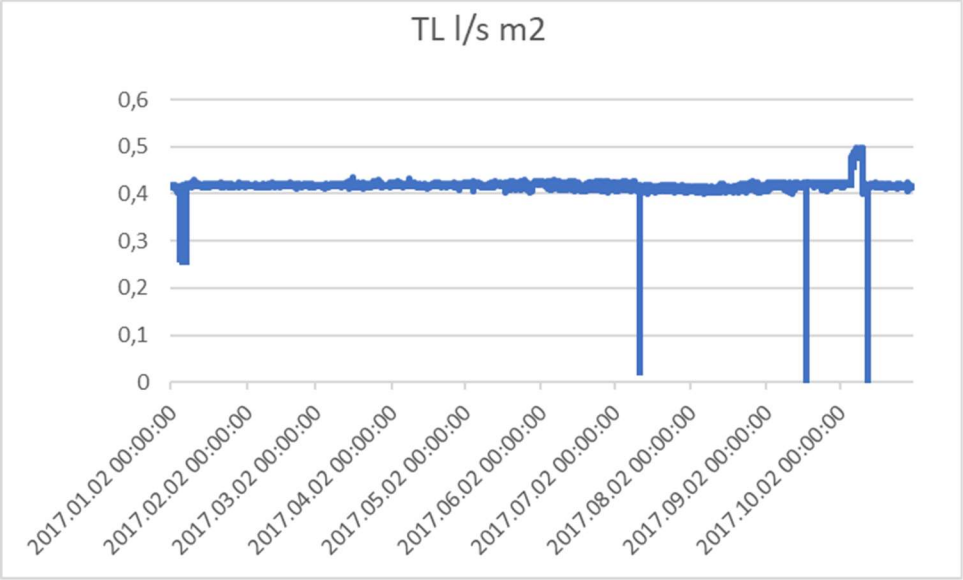


Diagram 4: Uppmätt tilluftsflöde i kvarteret Proberaren, 2017-01-02—2017-10-24.

Diagram 4 visar att tilluftsfläkten för kvarteret Proberaren har stängts av vid tre tillfällen under mätperioden, och att det har begränsats rejält vid ytterligare ett tillfälle.

En injustering av tilluftsflödena skulle enligt en VIP+-beräkning kunna minska energianvändningen med 10 kWh/m² A_{temp} och år. För att minska skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning är det i detta fall viktigt att se till att anläggningen tas i drift i enlighet med projekterade värden.

Temperaturer i ventilationsflöden

Enligt de genomförda mätningarna är den genomsnittliga tilluftstemperaturen efter värmeåtervinning 19°C medan lägenhetstemperaturen i genomsnitt ligger på 21°C. Det innebär enligt VIP-simuleringar en skillnad mellan beräknad och verklig energianvändning på 1 kWh/m² A_{temp} och år. Vd två tillfällen har tilluftstemperaturen varit signifikant lägre.

Trapphusen har en temperatur på 17°C, så det kan vara så att frånluften från lägenheter och trapphus blandas före värmeåtervinningen. Ytterligare analys erfordras.

Åtgärder som kan vara nödvändiga är:

- Minimering av kanaldragning i kalla utrymmen
- Se till att kanalerna har en bättre täthet
- Injustering och återkoll av ventilation
- Flödesmätare på ventilationsaggregat

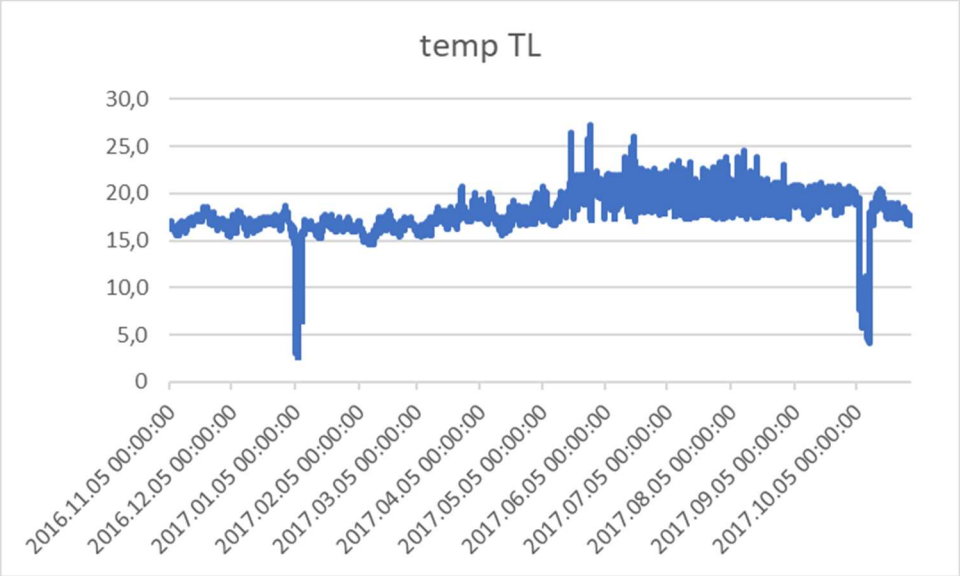


Diagram 5: Uppmätt temperatur i tilluft i kvarteret Proberaren, 2016-11-05—2017-11-04.

Verkningsgrad värmeåtervinning

Den värmeåtervinningsutrustning som installerats i kvarteret Proberaren har enligt tillverkaren en årsverkningsgrad på 90 procent. Det uppmätta värdet är 78 procent,

respektive 83 procent om man bortser från de tillfällen det skett påfrysning respektive brandlarm. En VIP-simulering visar att det innebär en skillnad mellan beräknad och verklig energianvändning på 5 kWh/m² A_{temp} och år respektive 3 kWh/m² A_{temp} och år.

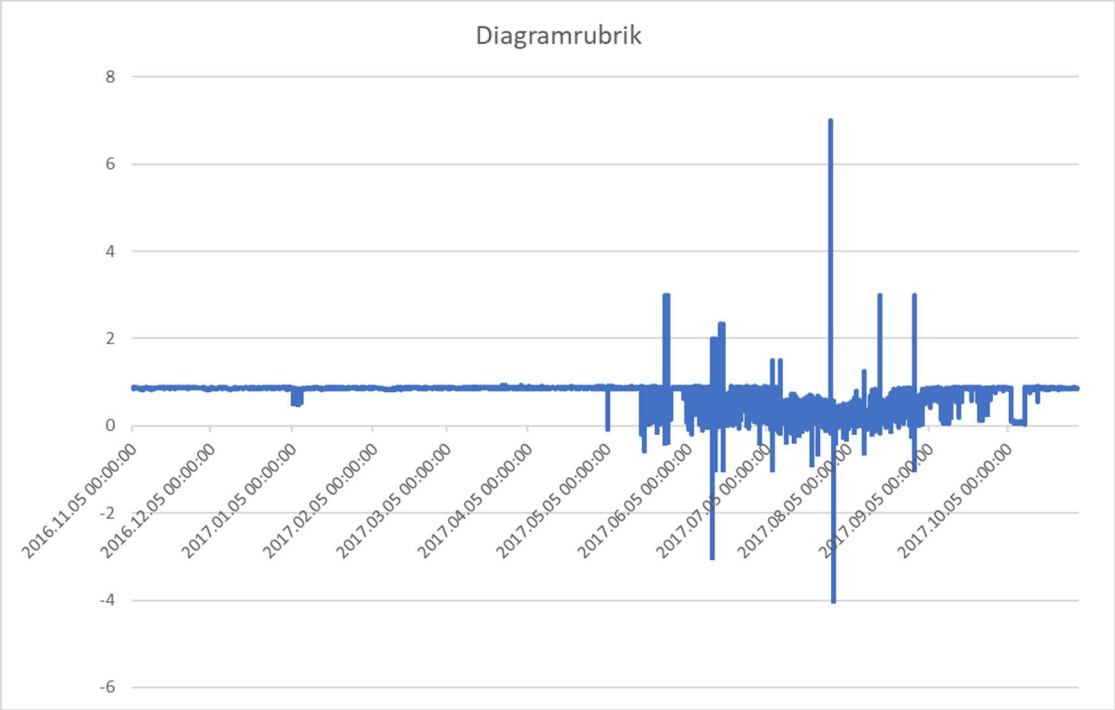


Diagram 6: Uppmätt verkningsgrad för ventilationens värmeåtervinning i kvarteret Proberaren, 2016-11-05—2017-11-04-

4.2.6 Kvarteret Proberaren övrig fastighetsel

Utöver den mätning av energianvändningen som har delfinansierats av Energimyndigheten har ByggVesta låtit konsultbolaget Dry IT genomföra en detaljerad mätning av fastighetselanvändningen i kvarteret Proberaren.

Enligt Dry ITs mätningar är den totala uppmätta fastighetselanvändningen i kvarteret Proberaren 18 kWh/m² A_{temp} och år, varav 6 kWh/m² A_{temp} går till fläktar. Det innebär således att den uppmätta övriga fastighetselanvändningen är 12 kWh/m² A_{temp} och år, och den beräknade övriga fastighetselen var 7 kWh/m² A_{temp}. En viss del av den ökade användningen för fastighetsel kan förklaras med att den går till avfrostningsslingor i hängrännor och utomhusbelysning.

Dry IT konstaterar att elanvändningen för belysning i garage och trapphus är hög, och att den kan sänkas signifikant med hjälp av fungerande närvarostyrning. De konstaterar också att elanvändningen till fläktar är väsentligt högre än beräknat, men att elanvändningen för hissar och pumpar är i linje med det beräknade värdet. Hur fastighetselen fördelas på olika ändamål framgår av Diagram 7.

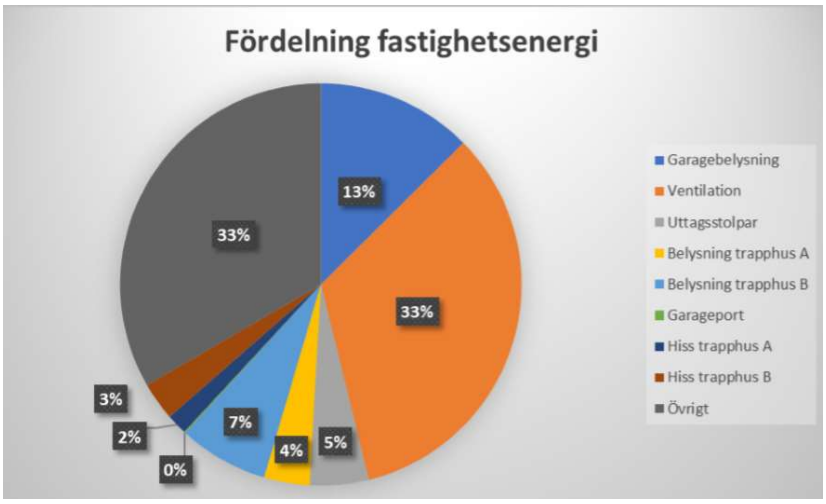


Diagram 7; Fastighetselens fördelning på olika ändamål, kvarteret Proberaren. Källa: Mätningar genomförda av Dry IT.

4.2.7 Reflektioner om skillnaderna mellan verklig och beräknad energianvändning i kvarteret Proberaren

Ett första kriterium för att kunna göra en rättvis jämförelse mellan beräknad och verklig energianvändning är att jämförelsen ska baseras på korrekt och jämförbar byggnadsarea. En annan grundläggande faktor för jämförelsen är att den utetemperaturberoende uppmätta energianvändningen ska vara normalårskorrigerad, och att normalisering också ska göras av den innetemperaturbaserade energianvändningen.

Den uppmätta energianvändningen för uppvärmning är inte normalårskorrigerad, och den uppmätta innetemperaturen i lägenheterna är ca 22°C i genomsnitt, medan byggnaden beräknades för 21°C vid projekteringen. Inget av dessa grundläggande kriterier uppfylls således i den jämförelse som har redovisats ovan.

Ingen ofrivillig ventilation har konstaterats genom mätningarna. Men de verkliga luftflödena i kvarteret Proberaren högre än de projekterade, och det råder obalans mellan från- och tilluftflödena. Istället för balanserad ventilation med ett flöde på 0,4 l/s, m² är flödet 0,5 l/s, m² på tilluft och 0,7 l/s, m² på frånluft. En del av detta beror på fel och brister i drifttagning och löpande drift. Det visar att det behövs striktare rutiner för en bättre noggrannhet och kontroll vid driftsättning, och bättre verktyg för att enklare kunna upptäcka och åtgärda fel i driften. Det kan t.ex. vara flödesgivare som larmar över ett visst värde, och fler undermätare.

De höga och obalanserade ventilationsflödena är en starkt bidragande orsak till att den uppmätta verkningsgraden i FTX-aggregaten endast är 78 procent, jämfört med ett projekterat värde på 90 procent. Den låga verkningsgraden beror också på att temperaturen på den frånluft som kommer in i aggregatet är lägre än lägenhetstemperaturen. Det kan i sin tur bero på flera saker, t.ex. att inblandning av

frånluft från trapphus sker, att isoleringen av frånluftskanalerna är undermålig eller att det förekommer läckflöden.

Den verkliga uppmätta temperaturen i garaget är signifikant högre än vad som har projekterats. Det bidrar till en väsentligt ökad energianvändning i byggnaden.

De verkliga VVC-förlusterna är signifikant större än det projekterade värdet i kvarteret Proberaren, 7 kWh/m² A_{temp} istället för 2 kWh/m² A_{temp}. Vidare är den uppmätta fastighetselen 18 kWh/m² A_{temp}, medan den beräknade var 10 kWh/m² A_{temp}. Den högre fastighetselanvändningen beror huvudsakligen på ökad elanvändning för belysning och fläktar, men även att el för avfrostning av hängrännor och utomhusbelysning har tillkommit.

Ytterligare en förklaring till att det är skillnader mellan beräknad och verklig energianvändning är att beräkningsprogram endast utgör en modell av verkligheten, och modellen inte kan förklara alla skillnader. Det är svårt att både skapa beräkningsalgoritmer som avspeglar den fysiska verkligheten tillräckligt noggrant och att säkerställa att de värden som läggs in i beräkningsprogrammen är heltäckande avseende t.ex. köldbryggor, U-värden för fönster i olika storlekar och installationers energibehov.

Flera tidigare studier, bl.a. i SVEBYs regi, har visat på svårigheter att efterlikna verkligheten med energiberäkningsprogram. Skillnaden mellan beräknad och verklig uppmätt energianvändning i kvarteret Proberaren är 23 kWh/m² A_{temp} (53 kWh/m² A_{temp} respektive 76 kWh/m² A_{temp}). Den 1°C högre innetemperaturen står för 4-6 kWh/m² A_{temp} ökad energianvändning, de redovisade verkliga ventilationsförhållandena bidrar med 4-5 kWh/m² A_{temp} ökad energianvändning och fastighetselen med ytterligare 8 kWh/m² A_{temp}, sammantaget 15-19 av den uppmätta skillnaden på 23 kWh/m² A_{temp}. Vid en simulering i energiberäkningsprogrammet VIP+ blir den beräknade avvikelsen för alla de poster som tagits upp här i kapitel 4.2 ca 38 kWh/m² A_{temp}. Det styrker bilden av att det är svårt att efterlikna verkligheten med ett energiberäkningsprogram.

4.3 Beräknad och uppmätt energianvändning i kvarteret Kosterhavet

4.3.1 Sammanställning av beräknad och uppmätt energianvändning i systemhandling för kvarteret Kosterhavet

Analysen av energianvändningen i kvarteret Kosterhavet är mer komplex än analysen av energianvändningen i kvarteret Proberaren. Det beror bl.a. på att kvarteret Kosterhavet består av två byggnader, men delfinansieringen från Energimyndigheten endast omfattar mätning av den ena byggnaden. Vidare har den byggnad där energimätningen har genomförts ett mer omfattande ventilationssystem än byggnaden i kvarteret Proberaren.

Den byggnad som nu analyseras innehåller endast studentbostäder, dvs endast små lägenheter. Byggnaden har ett gemensamt källarplan med den andra byggnaden på fastigheten, och där finns förråd och garage. Byggnaden ventileras med centrala luftbehandlingsaggregat med till- och frånluftssystem med värmeåtervinning. Uppvärmning sker med fjärrvärme.

Energianvändningen i den aktuella byggnaden i kvarteret Kosterhavet beräknades i samband med bygglovshandlingen bli 54 kWh/m² A_{temp}. När relationshandlingarna gjordes hade den beräknade energianvändningen ökat något till 57 kWh/m² A_{temp}. Den verkliga uppmätta energianvändningen är 80 kWh/m² A_{temp}.

En redovisning av beräknad respektive uppmätt energianvändning i Tabell 6. Där framgår också hur energianvändningen enligt beräkning respektive mätning fördelas mellan uppvärmning, varmvatten, VVC, el till fläktar och övrig fastighetsel.

Tabell 6: Sammanställning av energianvändningen (kWh/m² A_{temp}) i studentlägenhetshuset i kvarteret Kosterhavet, förs systemhandling, relationshandling och uppmätt energianvändning.

	A	B	C	D
		System-handling[4]	Relations-handling	Uppmätt
1	Uppvärmning	18	22	36
2	Varav VVC	3	2[5]	7
3	Tappvarmvatten	25	24	27
4	El till fläktar	7	8	11
5	Övrig f-el	7	3	11
6	Totalt	54	57	80
7	U_m	0,36	0,32[6]	-

4.3.2 Beräknad energianvändning i systemhandling för kvarteret Kosterhavet

Energiberäkningarna till systemhandlingarna genomfördes år 2015 baserat på A-ritningar. För kvarteret Kosterhavet liksom för kvarteret Proberaren är skillnad i byggnadsarea (A_{temp}) mellan de olika värdena för energianvändningen en del av förklaringen till skillnaden mellan beräknad i olika skeden och uppmätt energianvändning. I kvarteret Kosterhavets studenthus A_{temp} 5 373 m² i systemhandlingarna, dvs ca 2 procents skillnad i area.

[4] Temperaturantagande och antal lägenheter är olika i systemhandling och relationshandling.
[5] Enligt VVS-konsult.
[6] Minskat U-värde till följd av stora ändringar i senare skeden.

Tabell 7: Energianvändning (kWh/m² A_{temp}) i systemhandling, studenthuset i kvarteret Kosterhavet.

	A	B
		System-handling
1	Uppvärmning	18
2	Varav VVC	3
3	Tappvarmvatten	25
4	El till fläktar	7
5	Övrig f-el	7
6	Totalt	54
7	U_m	0,36

I uppvärmning ingår schabloner enligt ByggVestas koncept för konstruktion (U-värden) och installationer (balanserad ventilation med luftflöde 0,5 l/s, m², dvs något högre än standardkonceptet eftersom det bara är små lägenheter, och 90 procent verkningsgrad för värmeåtervinning) samt SVEBYs schablon för vädring. Innetemperatur i lägenheter antas vara 21°C och garaget kallt.

VVC-förluster antas vara 3 kWh/m², år.

Tappvarmvatten har antagits vara 25 kWh/m² i enlighet med SVEBYs schabloner. Energiberäkningsprogrammet VIP+ räknar ut el till fläktar baserat på angett luftflöde, verkningsgrad för värmeåtervinning och SFP-värde.

Övrig fastighetsenergi är el till hissar, belysning i alla gemensamma utrymmen (trapphus, garage m.m.), pumpar och annat.

4.3.3 Beräknad energianvändning i relationshandling för kvarteret Kosterhavet

Energiberäkningarna till relationshandlingarna genomfördes år 2016 med alla relationshandlingar från A, K, VVS och EL som underlag samt avstämning på plats med ByggVestas platschef som informerade om avvikelser från projekterade detaljer. I detta skede var fortfarande A_{temp} 5 373 m², dvs cirka 5 procent mindre än i systemhandlingen.

Tabell 8: Energianvändning (kWh/m² A_{temp}) i relations-handling, studenthuset i kvarteret Kosterhavet.

	A	C
		Relations-handling
1	Uppvärmning	22
2	Varav VVC	2
3	Tappvarmvatten	24
4	El till fläktar	8
5	Övrig f-el	3
6	Totalt	57
7	U_m	0,32

I uppvärmning ingår verklig konstruktion och installationer, enligt relationsritningar kompletterat med information om faktiskt byggt och installerat (balanserad ventilation med luftflöde 0,66 l/s, m² och 90 procent verkningsgrad för värmeåtervinning) samt SVEBYs schablon för vädring. Innetemperatur i lägenheter antas vara 21°C och garaget kallt. Här ingår även reglerförluster på 2 kWh/m².

Uppvärmningsposten i relationsberäkningen ökade från 18 till 22 kWh/m² A_{temp}.

Det större ventilationsflödet har beräknats öka elanvändningen med 1 kWh/m² A_{temp}.

VVC- förluster antagits till ca 2 kWh/m² A_{temp}. I uppvärmningen ingår även 2 kWh/m² A_{temp} för regler och distribution, så energibehovet för VVC är snarare 4 kWh/m² A_{temp}.

Tappvattenarmaturer har antagits till 25 kWh/m², år enligt SVEBYs nya schablon.

El till fläktar är som genererat av VIP+ baserat på inmatat luftflöde, verkningsgrad för värmeåtervinning och SFP-värde. Nu med högre luftflöde än i tidigare beräkningar, vilket ger en högre elanvändning.

Övrig fastighetsenergi är el till hissar, belysning i alla gemensamma utrymmen (trapphus, garage m.m.), pumpar och annat. Nu något lägre antaget än tidigare beräkning bl.a. baserat på antagande om energieffektiv belysning och smart styrning.

4.3.4 Uppmätt energianvändning för kvarteret Kosterhavet

I analysen av den uppmätta energianvändningen används byggnadsarean A_{temp} 5 088 m² A_{temp} för studenthuset i kvarteret Kosterhavet. Mätningen av värme, varmvatten och VVC baseras på den detaljerade årslånga mätning som har genomförts med hjälp av delfinansiering från Energimyndigheten. Analysen av fastighetsel har genomförts som en kompletterande mätning som genomförts av konsultföretaget Dry IT och helt har liksom den genomförda termograferingen bekostats av ByggVesta.

Tabell 9: Uppmätt energianvändning (kWh/m² A_{temp}) i studenthuset i kvarteret Kosterhavet.

	A	D
		Uppmätt
1	Uppvärmning	36
2	Varav VVC	7
3	Tappvarmvatten	27
4	El till fläktar	11
5	Övrig f-el	11
6	Totalt	80
7	U_m	-

Den uppmätta användningen för uppvärmning innefattar transmission och uppvärmning av uteluft (uppmätt fjärrvärme med avdrag för varmvatten) är 36 kWh/m² A_{temp}. Detta värde är inte normalårs-korrigerat.

Uppmätt energianvändning för VVC är 7 kWh/m² A_{temp}.

Tappvarmvattenmätningen är en delmängd av den totala uppmätta fjärrvärmeanvändningen baserad på tappvarmvattenvolym, den uppgår till 27 kWh/m² A_{temp}.

El till fläktar och övrig fastighetsel har mätts av konsultbolaget Dry IT. Dessa poster uppgår till 11 respektive 11 kWh/m² A_{temp}.

4.4 Analys av beräknad och uppmätt energianvändning i kvarteret Kosterhavet

Skillnaden i energianvändning mellan systemhandlingar (B) och uppmätt energianvändning (D) för studenthuset i kvarteret Kosterhavet är 26 kWh/m² A_{temp}, dvs nära 50 procent högre (se Tabell 10). I detta avsnitt analyseras de inhämtade mätvärdena skillnaderna. Två anledningar till avvikelserna som redan har konstaterats är användning av olika byggnadsarea och att det uppmätta värdet inte

är normalårskorrigerat. Vidare har hänsyn inte heller tagits till det ökade energibehov för uttorkning som uppstår den första tiden i en ny byggnad

I projektet har en analys av de inhämtade mätvärdena gjorts för att analysera vad skillnaderna beror på och för att kunna föreslå kostnadseffektiva åtgärder för att minimera dessa skillnader. Vidare har kompletterande beräkningar genomförts för att ytterligare analysera orsaker till skillnaderna och identifiera lämpliga åtgärder samt genomfört en termografering.

Redovisningen baseras på de genomförda mätningarna och de kompletterande beräkningar som gjorts för att ytterligare analysera orsakerna till skillnaderna mellan beräknad och verklig energianvändning. Redovisningen gör inga anspråk på att vara komplett, utan är menad att visa på områden för fortsatt analys.

Tabell 10: Skillnader mellan beräknad energianvändning i systemskedet och verklig uppmätt energianvändning för studenthuset i kvarteret Kosterhavet.

	A	B	E
		System-handling	Uppmätt
1	Uppvärmning	18	36
2	Varav VVC	3	7
3	Tappvarmvatten	25	27
4	El till fläktar	7	11
5	Övrig f-el	7	11
6	Totalt	54	80
7	U_m	0,36	-

4.4.1 Kvarteret Kosterhavet uppmätt temperatur uteluft

En av de saker som har registrerats under den årslånga mätningen är utomhustemperaturen, se Diagram 8.

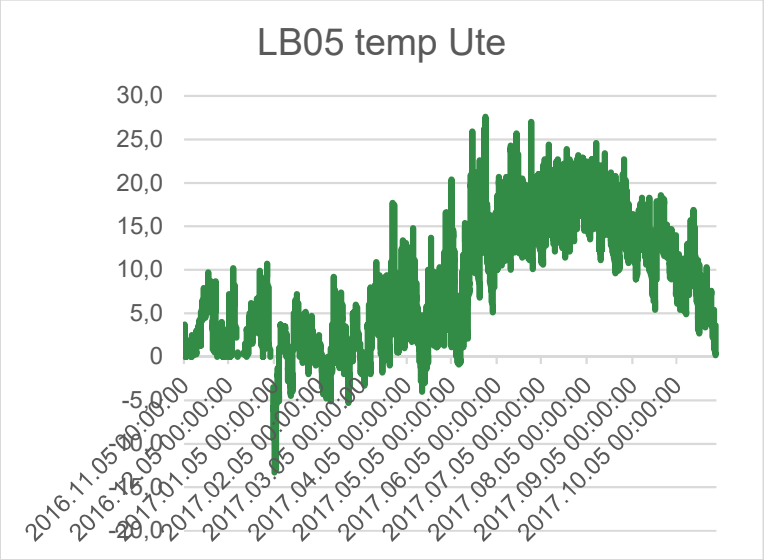


Diagram 8: Registrerad utomhustemperatur under mätperioden.

4.4.2 Kvarteret Kosterhavet värme

Det beräknade energibehovet för uppvärmning var i bygglovshandlingarna 18 kWh/m² A_{temp} för studenthuset i kvarteret Kosterhavet. Det uppmätta, ej normalårskorrigerade, energibehovet för uppvärmning är 36 kWh/m² A_{temp}.

De genomförda mätningarna visar att den relativa luftfuktigheten i lägenheterna ligger inom ett lämpligt intervall. Mätningarna visar också att temperaturen i lägenheterna i genomsnitt ligger på ca 22°C, vilket innebär att en beräknad skillnad i energianvändning blir ca 5 kWh/m² At_{emp} högre än projekterat.

Mätningarna visar också att ventilationsflödena är högre än beräknat, och det är en viktig förklaring till att energianvändningen för värme är högre än beräknat. Detta belyses närmare under avsnittet ventilation nedan.

En annan av de viktiga orsakerna till skillnaden är att temperaturen i garaget och källaren är väsentligt högre än avsett vid projektering. Den uppmätta garagetemperaturen visas i Diagram 9. Som framgår av diagrammet är temperaturen väsentligt över 10°C, i genomsnitt har den under mätåret legat på 15°C. Det innebär enligt energisimuleringar i VIP+ en ökad årlig energianvändning på 7 kWh/m² A_{temp} jämfört med den beräknade. Uppvärmning av garaget tros vara mest orsakad av VVC-förluster, som kan minskas med bättre isolering och att garage belysningen är i drift för länge på grund av undermålig styrning, men det kan även förekomma brutna isoleringar .

Konstruktionen visar ett bra U-värden för bjälklagsisoleringen mot garaget. ByggVesta kommer att kontrollera om det finns luftläckage från byggnaden till garaget. ByggVesta kommer också att undersöka om belysnings- och ventilationsstyrning fungerar som avsett.

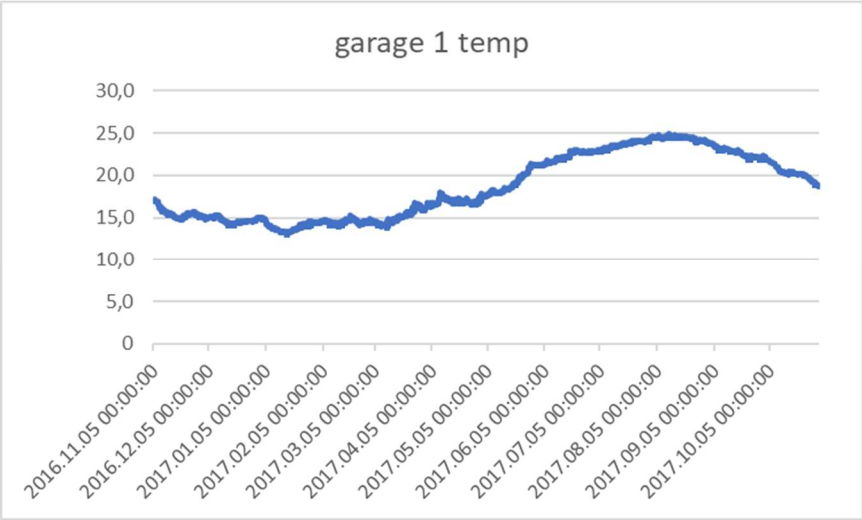


Diagram 9: Uppmätt temperatur i garaget i kvarteret Kosterhavet.

4.4.3 Kvarteret Kosterhavet VVC

Energianvändningen för VVC i studenthuset i kvarteret Kosterhavet antas vara 7 kWh/m² A_{temp} medan den beräknade var 2 kWh/m² A_{temp}. Antagandet bygger på att installationen är likartad den som finns i kvarteret Proberaren, och där uppmättes 7 kWh/m² A_{temp}. För att minska denna skillnad behöver mer fokus läggas på hur VVC-slingorna förläggs och att de ska vara väl isolerade.

Vidare kan SVEBYs schablon på 2 kWh/m² A_{temp} behöva revideras till ett något högre värde. Dessutom bör schablonen relatera till boarea istället för A_{temp}.

4.4.4 Kvarteret Kosterhavet varmvatten

Den uppmätta energianvändningen för varmvatten i studenthuset i kvarteret Kosterhavet är något högre än den beräknade, 27 kWh/m² A_{temp} respektive 25 kWh/m² A_{temp}. Energianvändning för varmvatten är starkt beroende av brukarvanor, och svår att påverka utöver att som ByggVesta redan gör installera energieffektiva tappvattenarmaturer och isolera varmvattenledningar.

4.4.5 Kvarteret Kosterhavet ventilation

Frånluftsflöde

Ventilationssystemet i studenthuset i kvarteret Kosterhavet har tre frånluftsaggregat, LB05, LB06 och LB07. De genomförda mätningarna visar att det verkliga frånluftsflödet är högre än det beräknade. Det totala uppmätta frånluftsflödet är 0,65 l/s, m².

Mätningarna visar också att det har varit både ett antal driftsstopp och ett antal tillfällen med mycket höga frånluftsflöden under året. ByggVesta undersöker för närvarande vad driftstoppen beror på. Det kan inte bero på filterbyte eftersom stoppen har inträffat med korta mellanrum.

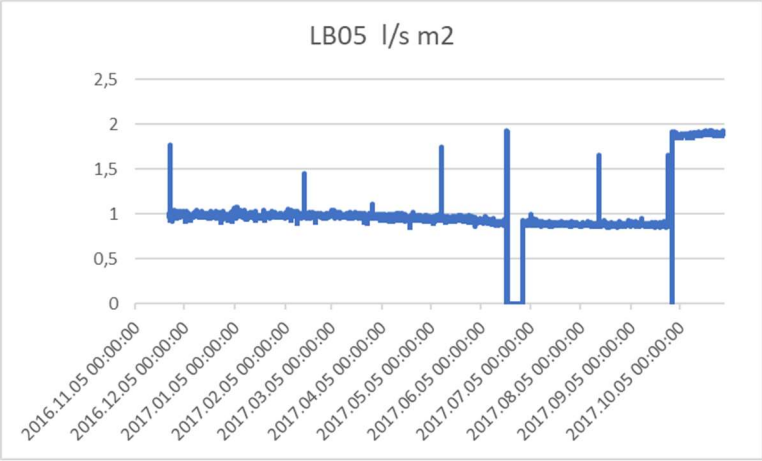


Diagram 10: Flödesmätning för frånluftsaggregat LB05.

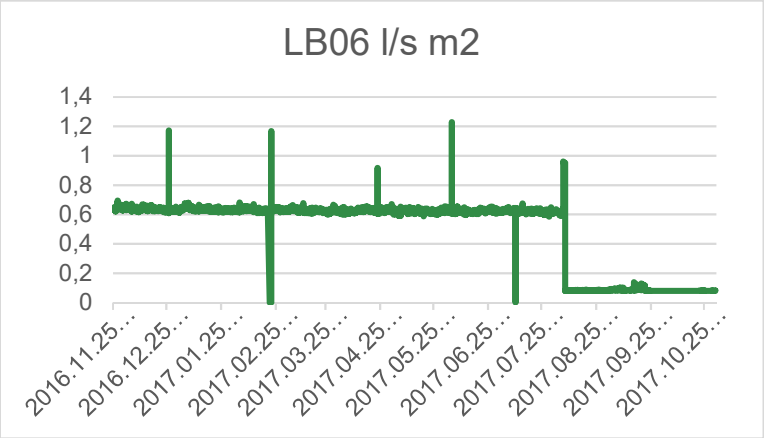


Diagram 11: Flödesmätning för frånluftsaggregat LB06.

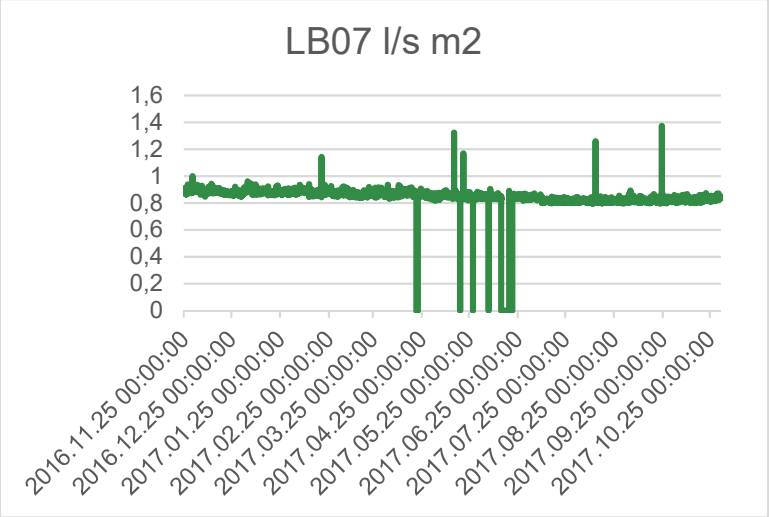


Diagram 12: Flödesmätning för frånluftsaggregat LB07.

Huvuddelen av avvikelserna förefaller vara kopplade till driften av ventilationen. Viktiga åtgärder för att minska skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning är därför att:

Huvuddelen av avvikelsen i detta fall förefaller vara kopplad till allvarliga fel och brister i drifttagningen och den löpande driften av ventilationen. Viktiga åtgärder för att minska skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning är därför i detta fall att:

- Se till att driften av ventilationen motsvarar vad den har projekterats för - det behövs bättre verktyg för effektiv drift och striktare rutiner för en noggrannare drifttagning
- Gör ny injustering av ventilationen
- Mät ventilationsflöden i varje lägenhet
- Kontrollera att reset av värden blir korrekta efter brandlarm

- Förse alla ventilationsaggregat med flödesgivare (inte bara tryck- och temperaturgivare som i nuläget)
- Isolera ventilationskanaler bättre
- Gör en fördjupad undersökning med mätningar av vilken betydelse sommarvädring har för ventilationsflöden

Tilluftsflöde

Det projekterade tilluftsflödet är 0,65 l/s, m², redan detta är högt enligt ByggVestas koncept Egenvärmehus®. Men det uppmätta tilluftsflödet är väsentligt högre i både LB05 och LB07. Enligt VIP-simuleringar innebär det en ökning av byggnadens energianvändning med ca 24 kWh/m² och år. Vidare visar mätningarna att det föreligger en obalans på mellan de verkliga tilluft-och frånluftsflödena, vilket minskar värmeåtervinningen betydligt och bidrar till ökad energianvändning.

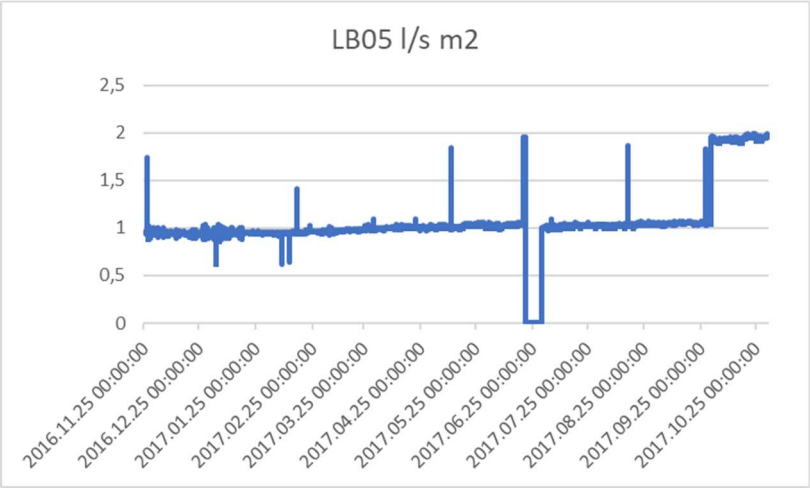


Diagram 13: Flödesmätning för tilluftsaggregat LB05.

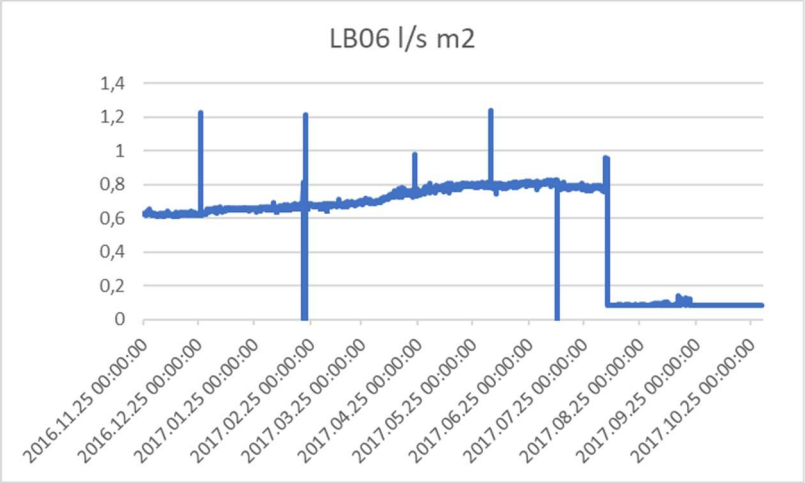


Diagram 14: Flödesmätning för tilluftsaggregat LB06.

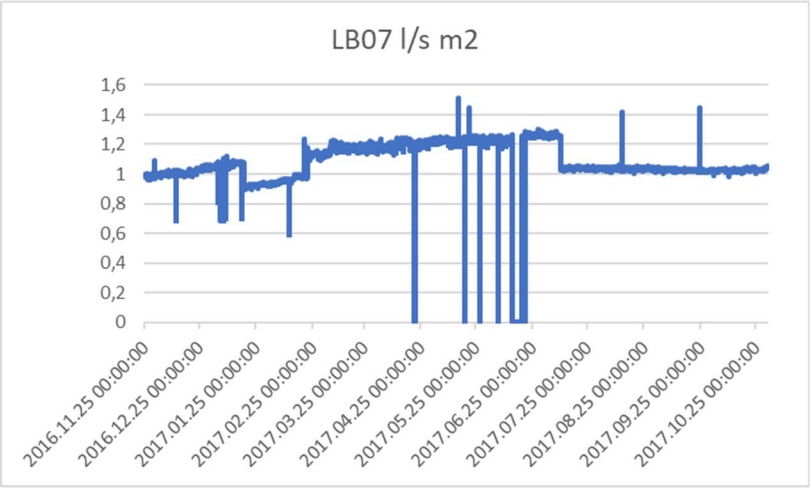


Diagram 15: Flödesmätning för tilluftsaggregat LB07.

Temperaturer i ventilationsflöden

Enligt de genomförda mätningarna ligger den tilluftstemperaturen efter värmeåtervinning runt 20°C för LB05 och LB06, men lägre för LB07 under vinterperioden.

ByggVesta kommer att undersöka detta vidare.

Åtgärder som kan vara nödvändiga är:

- Isolera kanaler bättre
- Se till att kanalerna har en bättre täthet
- Injustering och återkoll av ventilation
- Flödesmätare på ventilationsaggregat

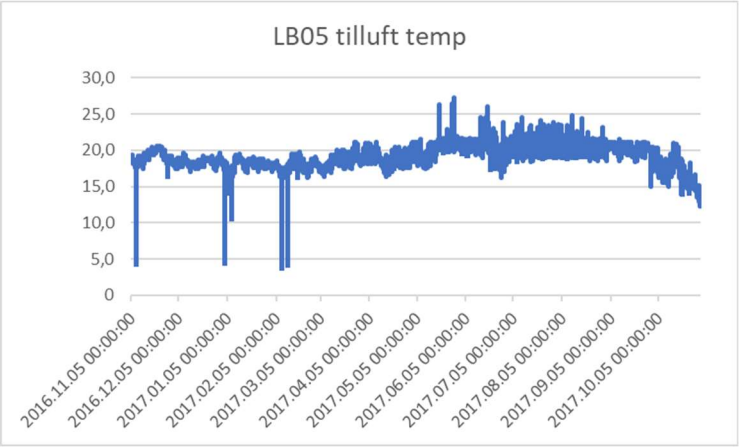


Diagram 16; Uppmätt temperatur i tilluft LB05 i studenthuset i kvarteret Kosterhavet, 2016-11-05—2017-11-04.

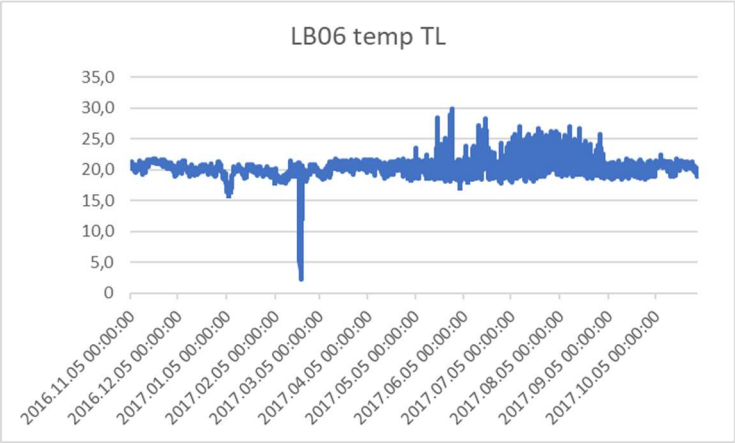


Diagram 17 Uppmätt temperatur i tilluft LB06 i studenthuset i kvarteret Kosterhavet, 2016-11-05—2017-11-04.

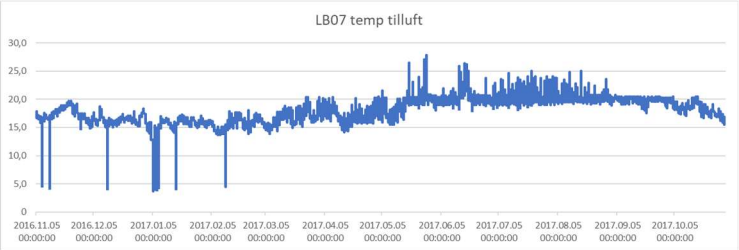


Diagram 18: Uppmätt temperatur i tilluft LB07 i studenthuset i kvarteret Kosterhavet, 2016-11-05—2017-11-04.

Verkningsgrad värmeåtervinning

Den värmeåtervinningsutrustning som installerats i kvarteret Kosterhavet har enligt tillverkaren en årsverkningsgrad på 90 procent. De uppmätta värdena är signifikant lägre.

Diagram 19: Verkningsgrad för värmeåtervinning i LB05 i kvarteret Kosterhavet, 2016-11-05—2017-11-04.

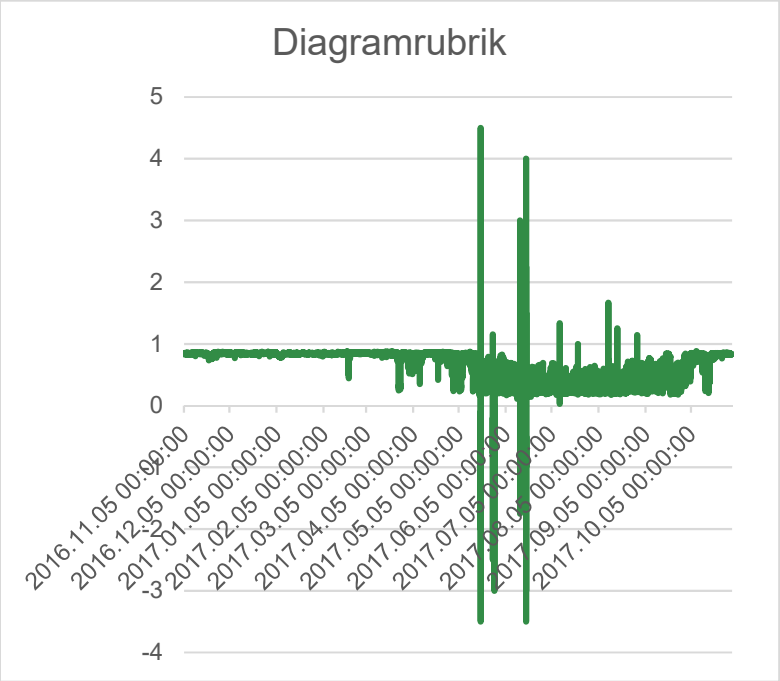


Diagram 20: Verkningsgrad för värmeåtervinning i LB06 i kvarteret Kosterhavet, 2016-11-05—2017-11-04.

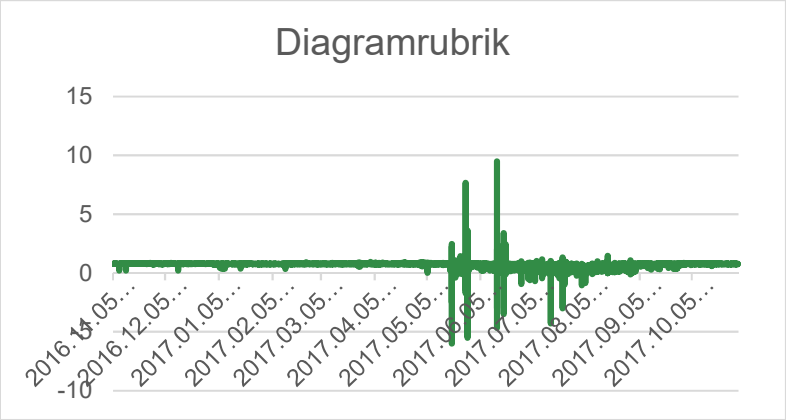


Diagram 21: Verkningsgrad för värmeåtervinning i LB07 i kvarteret Kosterhavet, 2016-11-05—2017-11-04.

4.4.6 Kvarteret Kosterhavet övrig fastighetsel

Utöver den mätning av energianvändningens som har delfinansierats av Energimyndigheten har ByggVesta låtit konsultbolaget Dry IT genomföra en detaljerad mätning av fastighetselanvändningen i studenthuset i kvarteret Kosterhavet.

Enligt Dry ITs mätningar är den totala uppmätta fastighetselanvändningen i studenthuset i kvarteret Kosterhavet 22 kWh/m² A_{temp} och år, varav 11 kWh/m² A_{temp} går till fläktar. Det innebär således att den uppmätta övriga fastighetselanvändningen är 11 kWh/m² A_{temp} och år, och den beräknade övriga fastighetselen var 7 kWh/m² A_{temp}. En del av den ökade användningen av fastighetsel kan förklaras av avfrostningsslingor i hängrännor och utomhusbelysning.

Dry IT konstaterar att elanvändningen för belysning i garage och trapphus är hög, och att den kan sänkas väsentligt

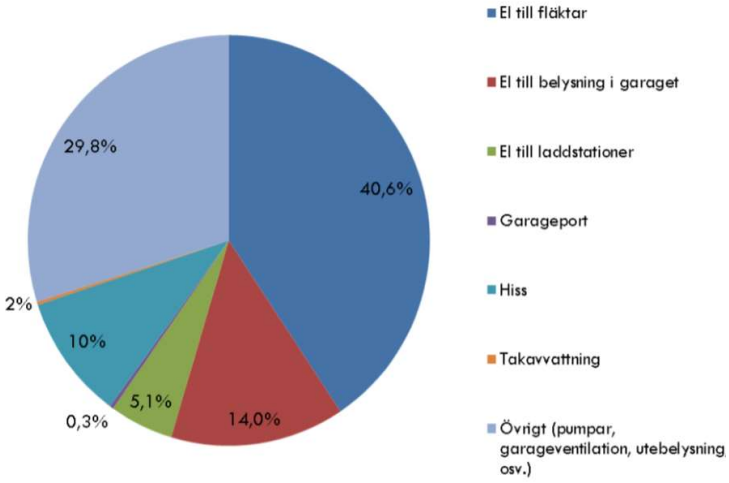


Diagram 22: Fastighetselens fördelning på olika ändamål, studenthuset i kvarteret Kosterhavet. Källa: Mätningar genomförda av Dry IT.

4.4.7 Reflektioner om skillnaderna mellan verklig och beräknad energianvändning i kvarteret Kosterhavet

Även i studenthuset i kvarteret Kosterhavet är den verkliga energianvändningen högre än den beräknade. Här är skillnaden 26 kWh/m² A_{temp} (dvs knappt 50 procent högre), den beräknade energianvändningen var 54 kWh/m² A_{temp} och den verkligt uppmätta är 80 kWh/m² A_{temp}.

Anledningarna till avvikelserna är av samma karaktär som i kvarteret Proberaren:

- Verklig byggd area avviker från arean i handlingarna från tidigt skede.
- Verklig energianvändning är inte heller i detta fall normalårskorrigerad.
- Inomhustemperaturen i lägenheterna är högre än vad som ansattes i beräkningen.
- Allvarliga fel och brister i drifttagning och drift av ventilation. Större ventilationsflöden än i systemhandlingarna, och dessutom obalans mellan tilluft- och frånluftsflöde och lägre verkningsgrad för värmeåtervinningen än beräknat.
- Mycket högre temperatur i garaget än vad som hade projekterats.
- De verkliga VVC-förlusterna är signifikant större än det projekterade värdet.
- Fastighetselen är 35 procent högre än projekterat, huvudsakligen på grund av högre elanvändning för fläktar och undermålig driftstörning av belysning.
- Alla beräkningsprogram, oavsett hur avancerade de är, är en modell av verkligheten. och de inte kan varken beräkna eller förklara alla skillnader.

Det är svårt såväl att skapa beräkningsalgoritmer som avspeglar den fysiska verkligheten tillräckligt noggrant som att säkerställa att de värden som läggs in i beräkningsprogrammen är heltäckande avseende t.ex. köldbryggor, U-värden för fönster i olika storlekar och installationers energibehov.

Summan av avvikelserna mellan beräknad och verklig energianvändning för studenthuset i kvarteret Kosterhavet blir ca 28 kWh/m² A_{temp} om de beräknas i VIP+ energiberäkningsprogram, att jämföra med skillnaden mellan den beräknade och den uppmätta energianvändningen på 26 kWh/m² A_{temp}. Skillnaden mellan de *beräknade* avvikelserna är således mindre för studenthuset i kvarteret Kosterhavet än i kvarteret Proberaren, men osäkerheterna är fortfarande stora och marginalerna för att räkna fel är mycket små i ett energieffektivt hus som ByggVestas Egenvärmehus®.

5 RESULTAT

Detta projekt har analyserat orsakerna till skillnaderna mellan verklig och beräknad energianvändning i ByggVestas två byggnader kvarteret Proberaren och kvarteret Kosterhavet. Projektet har bidragit till att ge ByggVesta och deras konsulter mer kunskap om frågan och syftet med denna rapport är att sprida kunskapen inom byggbranschen. Projektet har även bidragit till att hitta kostnadseffektiva, enkla och energisnålalösningar för att förenkla och effektivisera det resurssnåla byggandet

I en fortsatt arbete kommer ByggVesta att analysera resultaten ytterligare för att bidra till att industrialiserade byggprocesser blir ännu mer kostnadseffektiv. Med hjälp av de erfarenheter som redovisas i rapporten har även bidrag till SVEBYs arbete med förbättrade schabloner åstadkommits.

5.1 Projektets hypoteser har i huvudsak verifierats

I projektansökan till Energimyndigheten formulerades en tredelad hypotes som projektet skulle pröva. De tre delarna var:

4. Den verkliga energianvändningen är vanligen minst 30 procent högre än den beräknade
5. De tre största orsakerna till skillnaden mellan verklig och beräknad energianvändning är
    a. Brister i beräkningsunderlaget
    b. ”Glapp” i byggprocessen
    c. Brister i drifttagningen
6. Minst hälften av denna skillnad kan undvikas i de projekt där man har en energisamordnare med starkt mandat

Dessa hypoteser har i huvudsak verifierats. Hypoteserna har prövats med hjälp av följande moment:

- En litteraturstudie avseende skillnader mellan verklig och beräknad energianvändning i byggnader har genomförts. Litteraturstudien kompletterades med intervjuer med experter på byggnaders energianvändning.
- En workshop om skillnader mellan verklig och beräknad energianvändning i byggnader har genomförts med 10 svenska fastighetsägare, entreprenörer och experter på energianvändning i byggnader.
- En noggrann mätning av den verkliga energianvändningen i kvarteret Proberaren och kvarteret Kosterhavet som byggts och ägs av ByggVesta.
- Kompletterande mätning av fastighetsel i båda byggnaderna.

- Kompletterande mätning av energianvändning för VVC i kvarteret Proberaren.
- Termografering av studenthuset i kvarteret Kosterhavet.
- Analys av tidigare genomförda energiberäkningar för de kvarteret Proberaren och kvarteret Kosterhavet.
- Analys av skillnaderna mellan den beräknade och den verkliga energianvändningen i kvarteret Proberaren och kvarteret Kosterhavet.

5.1.1 Hypotes 1 – bekräftad för de två analyserade byggnaderna

De genomförda analyserna visar att den första hypotesen att *den verkliga energianvändningen är vanligen minst 30 procent högre än den beräknade* stämmer för såväl kvarteret Proberaren som studenthuset i kvarteret Kosterhavet.

Det bekräftas även av den omvärldsbevakning som gjorts genom litteraturstudie, intervjuer med experter och workshop.

5.1.2 Hypotes 2 – bekräftad med vissa tillägg

Analyserna av tidigare genomförda beräkningar och de genomförda mätningarna visar att den andra hypotesen *att de tre största orsakerna till skillnaden mellan verklig och beräknad energianvändning är brister i beräkningsunderlaget, ”glapp” i byggprocessen och brister i drifttagningen* stämmer också väl för såväl kvarteret Proberaren som studenthuset i kvarteret Kosterhavet med nedan beskrivna tillägg.

Brister i beräkningsunderlag *och beräkningsmetod*

Den genomförda analysen att skillnaderna mellan verklig och beräknad energianvändning till stor del beror på brister i beräkningsunderlag och beräkningsmetod. Beräkningsunderlag i tidiga skeden är inte kompletta, och ändringar sker ofta ända fram till det att den färdiga byggnaden står på plats. De ändrade förutsättningarna bidrar till avvikelser mellan beräknad och verklig energianvändning.

Valet av beräkningsmetod har också stor påverkan på skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning. Här kan flera faktorer inverka. En faktor är att ett energiberäkningsprogram endast är en modell som så väl som möjligt ska efterlikna verkligheten. Det är både svårt att både skapa beräkningsalgoritmer som avspeglar den fysiska verkligheten tillräckligt noggrant och att säkerställa att de värden som läggs in i beräkningsprogrammen är heltäckande avseende t.ex. köldbryggor, U-värden för fönster i olika storlekar och installationers energibehov. En annan faktor är att beräkningar görs för ett idealt eller statiskt fall. En tredje faktor är att brukarpåverkan är stor, och den kan inte simuleras. Vidare finns det risk för beräkningsfel, både till följd av skillnader mellan beräkningsmodellen och verkligheten och felaktig användning av beräkningsprogrammen. Dessa felkällor får

särskilt stor betydelse för byggnader med låg energianvändning eftersom marginalerna för beräkningsfel är mindre ju lägre energianvändning byggnaden har.

”Glapp” i byggprocessen

Analysen visar också att en stor del av skillnaden mellan verklig och beräknad energianvändning beror på ”glapp” i byggprocessen. Utöver den redan nämnda faktorn att ändringar sker under hela byggprocessen är en viktig källa till avvikelse att många projektörer och byggare har bristfällig förståelse för vilka konsekvenser olika tekniska lösningar har för effekt på energianvändning och termisk komfort i byggnader.

Brister i drifttagningen *och löpande drift*

Både den genomförda analysen av mätningarna och omvärldsanalysen visar också att en väsentlig del av skillnaden mellan beräknad och verklig energianvändning orsakas av bristfällig drifttagning. Men det ska tilläggas att en betydande onödig energianvändning också uppstår till följd av fel och brister i den långsiktiga driften. För att avhjälpa detta behövs bättre rutiner för drifttagning och bättre verktyg för att säkerställa en energieffektiv drift av fastigheterna. Här finns stora möjligheter att minska glappet mellan beräknad och verklig energianvändning, och här finns utrymme för stora förbättringar.

Hypotes 3 – stöd för att den är sann

Vad gäller den tredje hypotesen att *minst hälften av denna skillnad kan undvikas i de projekt där man har en energisamordnare med starkt mandat* ger både omvärldsanalysen, beräkningarna och mätningarna stöd för att det kan vara så. Men denna fråga har inte analyserats tillräckligt för att med säkerhet slå fast att så är fallet.

5.2 Kostnadseffektiva åtgärder

Syftet med detta projekt har också varit att identifiera kostnadseffektiva och enkla lösningar för energieffektiva byggnader. Baserat på analysen av de genomförda beräkningarna och omvärldsanalysen föreslås följande åtgärder:

De mest kostnadseffektiva åtgärderna som har identifierats rör drifttagning och den löpande drift av byggnaden. För drifttagningen krävs striktare rutiner för en bättre noggrannhet och kontroll. För den löpande driften måste bättre verktyg för att upptäcka och åtgärda fel i den löpande driften användas, t.ex. flödesgivare som larmar över ett visst värde och fler undermätare.

En annan viktig åtgärd är att utbilda projektörer och byggare så att deras förståelse ökar för vilka konsekvenser olika tekniska lösningar har för energianvändning och termisk komfort i byggnader. Vidare måste åtgärder genomföras för att få en bättre följsamhet mot projektering och att ställa hårdare krav vid slutbesiktning. Här har en energisamordnare med starkt mandat genom hela processen sannolikt en

avgörande roll, förstärkta rutiner för erfarenhetsåterföring från genomförda projekt kan också spela en viktig roll.

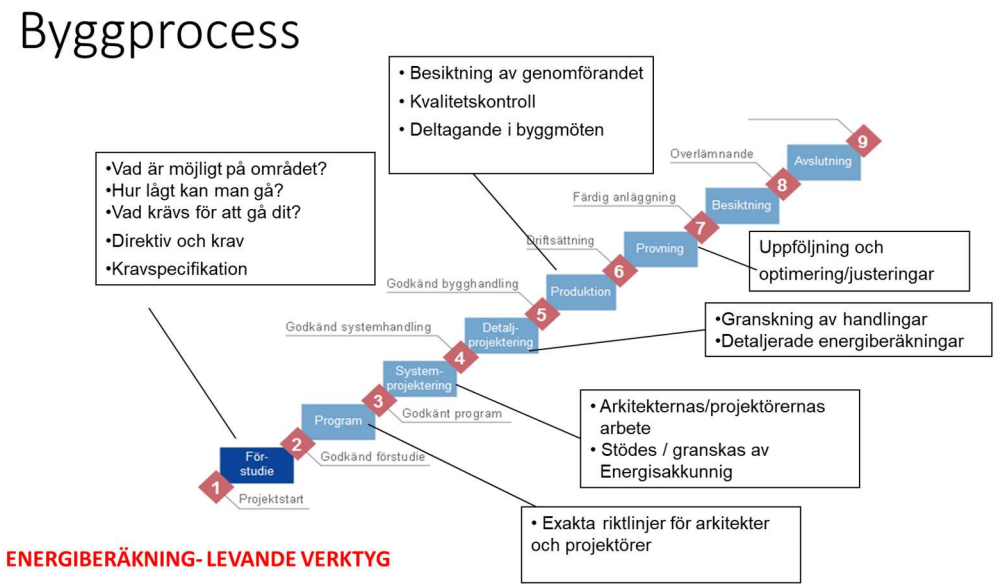
För att framöver minska skillnaderna mellan beräknad och verklig energianvändning är det viktigt att energiberäkningar görs med en större försiktighetsmarginal än vad som sker i dagsläget. Dessutom bör energianvändningen mätas separat i varje byggnad för att en bättre överensstämmelse mellan projekterade och uppmätta värden ska nås.

Utöver det krävs det utveckling av mer rättvisande schabloner för faktorer som huvudsakligen beror på brukarna måste tas fram för t.ex. varmvattenanvändning och VVC. För att kunna göra det behövs fler mätprojekt som bidrar till säkrare underlag och schabloner. Det skulle också vara värdefullt att utveckla en parallell indikator som visar energianvändningen per capita och inte bara per areaenhet, och vid arearelaterad jämförelse bör BOA användas inte A_{temp}.

5.3 Egenvärmehus® fortsätter utvecklas

ByggVesta kommer att fortsätta sitt systematiska arbetssätt med att bygga både energieffektivt och lönsamt. De kommer att addera den kunskap som de vunnit genom detta projekt till sin stora erfarenhet av industriellt byggande, och kommer att vidareutveckla Egenvärmehus® ytterligare.

De kommer att tillsammans med sina samarbetspartners arbeta vidare med såväl byggnadskomponenter och installationer, processer som drifttagning och löpande drift för att fortsätta producera sunda och energieffektiva hus till en låg produktions- och driftskostnad. Deras systematiska arbete beskrivs i Figur 2.



Figur 2: Skiss över ByggVestas byggprocess med ett ständigt förbättringsperspektiv.

5.4 Projektekonomi

Detta projekt har genomförts med finansiellt stöd från Energimyndigheten. En redovisning av projektekonomin finns i Bilaga 3.

BILAGA 1 – BRUTTOLISTA MÖJLIGA FELKÄLLOR

- Fel A_{temp}
- Fel uppmätta areor
- Misstag vid indatahantering i beräkningsprogrammet
- Underskattning av köldbryggor
- Felaktiga ventilationsflöden
- Felaktiga schabloner för tappvarmvatten
- Felaktiga schabloner för VVC förluster
- Innetemperatur
    - Brukarberoende, t.ex. högre inomhustemperatur än antaget vid beräkningarna
    - Andra innetemperaturer i allmänna utrymmen jämfört med indata till beräkningen
- Otillräcklig information till brukarna leder till handhavandefel
- Felaktiga schabloner för antal boende, t.ex. är antalet boende i lägenheter i Stockholm högre (även i studentboenden) än SVEBYs värde
- Solinstrålning (G-värde sällan känt)
- Skuggning (hur det ser ut runt omkring är sällan känt)
- Fel och brister i energiberäkningsprogrammens algoritmer och antaganden
- Felaktiga klimatfiler
- Schablonerna för vädring stämmer inte med verkligheten
- Förutsättningarna för byggnaden ändras under byggprocessen, utan att beräkningarna uppdateras
- Felaktigt antagande om värmeåtervinningsgrad FTX
- Praxis i branschen ändras, t.ex. SVEBYs schablonvärden och individuell mätning tappvarmvatten
- Oklara förutsättningar för användning av utrymmen vid beräkningstillfället, t.ex. beräkningar för en lokal utan att veta vilken typ av verksamhet som ska bedrivas
- Kalla garage, arean inkluderades ibland förut i A_{temp} men nu exkluderas den

- De aggregat eller komponenter som var förutsättningen i beräkningarna ersattes med andra i byggskedet
- Fel inställningar för ventilationsaggregat och annan utrustning i drifttagningen
- Svårigheter att skilja fastighetsel från hushållsel – fördelningen kan komma att göras olika i senare skeden än vad som skedde i energiberäkningen
- U-värde på fönster antas vara 0,9 W/m2 K, men detta värde uppnås inte för små fönster
- Bristfällig täthet p.g.a. att alla installatörer inte är medvetna om kraven
- Ansvar hamnar mellan stolarna

BILAGA 2 OMVÄRLDSANALYS

Litteraturstudie

Litteraturstudien genomfördes för att identifiera möjliga källor till avvikelser mellan verklig och beräknad energianvändning i byggnader, och hade fokus på att identifiera nyare källor.

Källor:

Aton Teknikkonsult, Verifierat passivhus – Kv Fridhem

Bagge H, Building Performance

Bagge H, Elmroth A & Lindstri L, Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö

Bagge H, Energy use in Multi-family Dwellings

Energikontoret Skåne et al, Erfaringer med energiførbrug i lavenergibyggnader

Filipsson P, Heincke C & Wahlström Å, Sammanställning av lågenergibyggnader i Sverige

Hagengran P & Stenberg S, Orsaker till differenser mellan beräknad och faktisk energianvändning i nyproducerade flerbostadshus

Hansson A et al, Uppföljning Flagghusen

Hansson A, Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på B001-området i Malmö

Heincke C, Jagemar L & Nilsson P-E, Normalårskorrigering av energistatistik

Kurkinen E-L, Filipsson P, Elfborg S & Ruud S, Skillnad mellan beräknad och verklig energianvändning – Energistyrning under byggprocessen

Levin P & Snygg J, Resultat från energiberäkningstävling för ett flerbostadshus

Lindencrona E & Lindsköld S, Förstudie av VVC-förluster i flerbostadshus

Lindholm I, Energiberäkningar ska bli mer realistiska

Pandis Iveroth S & Brandt N, Utvärdering av Hammarby Sjöstads miljöprofilering – vilka erfarenheter ska tas med till nya stadsutvecklingsprojekt i Stockholm

Pandis Iveroth S, Industrial ecology for sustainable urban development

Sandberg E, Mätning och verifiering – underlag till kriteriedokument för Passivhus och Minienergihus

Sandberg E, Mätresultat Villa Malmborg

Sandberg E, Persson A, Bångens L et al, Metoder för besiktning och beräkning

Schneiders J, CEPHEUS- measurement result from more than 100 dwelling units in passive houses

Svensson A & Fredriksen E, Energibruk i 9 passivhus – Sammenligning mellom beregnete og målte verdier

Wagner W et al, Forschungsprojekt Passivhauswohnanlage Lodenareal

Wahlström Å & Levin P, Energiprestandaanalys – avvikelse som kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov

Wickman P & Sandberg E, Lågenergihus - jämförande mätstudie av fyra flerbostadshus

Intervjuade experter

Per Levin, Projektengagemang

Roland Johnsson. HSB (vid tidpunkten då intervjun genomfördes)

Sofie Pandis Iveroth, Stockholm stad

Torbjörn Kumlin, Stockholmshem

Daniel Olsson, CIT Energy Management

Kjell Åke Henriksson, JM

Lisa Enkvist, Familjebostäder

Deltagare i workshop

Marcus Svensson, ByggVesta

Yasin Elobeid, ByggVesta

Roland Jonsson, HSB (nu WSP)

Kjell-Åke Henriksson, JM

Pia Hedenskog, Svenska Bostäder

Harry Matern, Stockholmshem

Lisa Engqvist, Familjebostäder

Agneta Persson, WSP (nu Anthesis Group)

Jasenka Hot, WSP

Mikaela Tarnawski, WSP

BILAGA 3 PROJEKTEKONOMI

EKONOMISK REDOVISNING (ER)

Projektnummer	40877-1
Diarienummer	2015-002961
Projekttitel	Från beräknad till verklighet - Minskad skillnad mellan beräknad och verklig energianvändning i nya flerbostadshus

Ange total projektkostnad enligt kostnadsplanen i beslutet samt totalt upparbetade kostnader fr.o.m. projektets start:

	Total projektkostnad enligt beslut (kr)	Totalt upparbetade kostnader (kr)
Lönekostnader	200 000	410 000
Köpta tjänster	648 960	771 917
Utrustning	334 226	478 023
Material		
Laboratoriekostnad		
Resor		
Övriga kostnader	200 000	240 159
Indirekta kostnader*		
Summa	1 393 186	1 900 099

*Endast för universitet och högskolor

T.o.m. vilket datum har kostnaderna upparbetats?	2017-12-11

Avviker något kostnadsslag med mer än ± 10 % jämfört med kostnadsplanen i beslutet?

☒ **ja (fyll i nedan)** ☐ **nej**

Skillnad mellan upparbetade kostnader och planerade kostnader (enligt beslut) får inte överstiga 10 procent för varje kostnadsslag. Vid större förändringar krävs Energimyndighetens godkännande.

Förklara avvikelser nedan eller i bilaga.

Den största orsaken till att kostnaderna har ökat jämfört med projektbeslutet är att kostnaderna för mätutrustning, mätning och installationskonsulter underskattades vid tidpunkten för beslut. Till detta har kommit kostnader för kompletterande detaljerade mätningar av elanvändning och energi för VVC samt termografering som har varit nödvändiga att genomföra för att kunna dra tillräckligt säkra slutsatser.

Vidare ingick inte samordningen och projektledningen kring mätningen/uppkopplingen kring detta i den ursprungliga kalkylen. Utöver det har ByggVesta haft kostnader för konsulter som har hjälpt till med rapportskrivning, analyser och beräkningar. Dessa kostnader har lagts in under posten köpta tjänster.

Detta har även lett till att ByggVestas interna kostnader har ökat enligt tabellen ovan.

.

Anthesis Consulting Group

Anthesis is a global yet specialist consultancy which believes that commercial success and sustainability go hand in hand. We offer financially driven sustainability strategy, underpinned by technical experience and delivered by innovative collaborative teams across the world.

The company combines the reach of big consultancies with the deep expertise of the boutiques. We take our name from the Greek word “anthesis”, the stage of a plant’s lifecycle when it is most productive. Sustainability is now at that exciting stage of flourishing; it has grown up and grown into the mainstream.

Anthesis has clients across industry sectors, from corporate multinationals like Coca-Cola, Tesco, ArjoWiggins and Reckitt Benckiser to world class events like London 2012, 34th America’s Cup and Sochi 2014.

The company brings together expertise from countries around the world and has offices in the US, the UK, Sweden, Finland, Germany, China and the Philippines. It has a track record of pioneering new approaches to sustainability and has won numerous awards.

Anthesis Enveco AB
Måsholmstorget 3, SE-127 48 Skärholmen

www.anthesisgroup.com/about/europe/sweden/
www.enveco.se
E-mail: info@enveco.se