

# FÖRVÄRMNING AV VENTILATIONS LUFT MHA BORRHÅLSVÄRME UTAN VÄRMEPUMP, FALLSTUDIE VIVALLA ÖREBRO

*Slutrapport*

**Branko Simanic**

**2016-06-22**

# FÖRORD

Projektet Förvärmning av ventilationsluft mha av borrhålsvärme har pågått från våren 2014 till sommaren 2016. Författare till rapporten är Branko Simanic. Sökande av SBUF-bidrag samt projektledare var Björn Berggren. Båda verksamma på Skanska Sverige.

Projektet har delfinansierats av SBUF och av Skanska Sveriges Green Concept Lab. Örebro Bostäder har finansierat den tekniska installationen.

Särskilt stort tack riktas till referensgruppen för stöd och engagemang:

Per Kempe, Projektengagemang  
Johnny Kellner, Veidekke  
Beate Hedén, egen konsult  
Kajsa Flodberg, NCC  
Peter Dolko, ÖBO  
Leif Gidmo, ÖBO  
Johnny Andersson, ÖBO  
Andreas Karlsson, Kamtech  
Lars Sjöberg, Skanska Sverige  
Faiz Mawlayi, Skanska Sverige  
Björn Berggren, Skanska Sverige

Malmö 2016-06-22

Branko Simanic

# SAMMANFATTNING

Projektet utreder en relativt okänd teknik för att förvärma ventilationsluft med hjälp av borrhålsvärme utan någon värmepump. Tekniken är inte helt unik, dock används den sällan i Sverige. Installationer med förvärmning med solvärme eller kulvertvärme förekommer i omvärlden.

Tillämpning av tekniken sker i bostadsventilation där värmeåtervinning är utförd med plattvärmväxlare. Huvudmål med tekniken är att undvika avfrostningscyklar i värmeåtervinningsbatteriet och att inte ha något eftervärmningsbatteri installerat. Syftet med projektet är att följa upp och utvärdera ett sådant ventilationsaggregat under ett år samt att jämföra mot ett konventionellt aggregat med eftervärmningsbatteri på ett likvärdigt hus i samma område. Båda ventilationsaggregaten är installerade i totalt ombyggda flerbostadshus i miljonprogramsområdet Vivalla, Örebro av Örebro Bostäder. Båda husen hade inflyttning sommaren 2014 och uppföljning utfördes under 2015. Teoretisk beräkning är utförd för båda aggregaten och jämfördes mot uppmätta värden.

Förvärmning av ventilationsluft med hjälp av borrhålsvärme och avsaknad av eftervärmningsbatteri har i denna utredning visat sig fungera. Ventilationsaggregatet med förvärmningsbatteri har nästan klarat sig undan avfrostningscyklar förutom några få korta cyklar. Värmeåtervinningen var strax under 80 % och frånluftstemperaturen låg på 21°C under hela uppföljningsperioden. De korta avfrostningarna var vid de kallaste utetemperaturerna och sammanlagt ett par timmar per vintersäsong. Uppmätt utetemperatur var som lägst -21°C.

Utredningen visade att i sommarfallet var tekniken väldigt gynnsam. Inblåsningstemperaturen höll sig som max 20°C, även vid en utetemperatur på 30°C, samt att frånluftstemperaturen höll sig på ca 3,5°C lägre än i huset med det konventionella ventilationsaggregatet.

Kallare inblåsningstemperatur, som lägst ca 16°C i aggregatet med förvärmningsbatteriet, och tilluftsinblåsning bakom radiatorer har krävt extra värmeenergi från radiatorerna. Konsekvensen blev att den totala uppvärmningsenergin är högre i huset med förvärmningsbatteriet, 38 kWh/m<sup>2</sup> Atemp. I huset med eftervärmningsbatteriet är den totala uppvärmningsenergi 36 kWh/m<sup>2</sup> Atemp. Skuggning och andra brukarrelaterade faktorer och dess påverkan har inte studerats.

Värmeeffektbehov är ca 6 kW lägre i huset med förvärmning. Det är något lägre än projekterade 12 kW, just pga det extra värmebehovet från radiatorerna. De kallaste dagarna på året används fossila bränslen i fjärrvärmespetsanläggningar som försörjer husen. Med ett minskat effektbehov minskas även miljöpåverkan och fjärrvärmepris.

Aggregatet med förvärmningsbatteriet visar på ett mycket lugnare styr-mässigt arbete än det konventionella när avfrostningscyklarna är igång. Det konventionella aggregatet skapar stora tilluftstemperatursvängningar just under avfrostningarna. Avfrostning- och eftervärmningsstyrfunktionen har inte varit koordinerade och orsakar därav slitage av utrustningen i båda funktionerna.

Fortsatta studier bör göras gällande minskningen av slitage och underhåll av eftervärmningsstyrfunktionen för att hitta ekonomiska vinster. Vidare kan alternativ för inblåsning bakom radiatorer studeras för att se om bättre ekonomi finns vid andra tekniska lösningar.

# INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>OMVÄRLDEN</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>SYSTEM</b> .....	<b>6</b>
3.1	BESKRIVNING AV VENTILATIONSAGGREGAT .....	6
3.1.1	<i>Reglering av ventilationsaggregat</i> .....	8
<b>4</b>	<b>ENERGIUPPFÖLJNING</b> .....	<b>9</b>
4.1	UPPFÖLJNINGSMETOD .....	9
4.2	UPPMÄTT ENERGI .....	9
4.3	UPPMÄTT VÄRMEEFFEKT .....	13
4.4	FRÅNLUFT OCH TILLUFTSTEMPERATUR I 12_LB01 OCH 16_LB01 .....	14
4.5	TEORETISK BERÄKNING MHA IDA ICE .....	15
4.6	JÄMFÖRELSE AV TEORETISKA MOT UPPMÄTTA VÄRDEN .....	16
<b>5</b>	<b>LÖNSAMHETS ANALYS</b> .....	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>UTVÄRDERING AV FÖRVÄRMNINGSBATTERI OCH VÅV TEMPERATURVERKNINGSGRAD</b> .....	<b>18</b>
6.1	VÄRME- OCH KYLEFFEKT .....	18
6.2	SOMMARFALL .....	19
6.3	VINTERFALL .....	19
6.4	VINTERFALL, TEMPERATURVERKNINGSGRAD VÅV OCH AVLUFSTEMPERATUR .....	21
6.5	VÅV TEMPERATURVERKNINGSGRAD OCH AVLUFSTEMPERATUR MELLAN SEPTEMBER OCH JANUARI .....	23
6.6	AVFUKTNING I FÖRVÄRMNINGSBATTERIET .....	24
<b>7</b>	<b>BORRHÅLSTEMPERATUR</b> .....	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>SLUTSATS</b> .....	<b>25</b>
	<b>REFERENSER</b> .....	<b>26</b>

# 1 INLEDNING

Bostäders från- och tilluftsventilation, FT, utförs för det mesta med värmeåtervinning (VÅV), FTX, med plattvärmeväxlare för att säkra att lukt inte ska överföras mellan från- och tilluftsidan. En nackdel av en plattvärmeväxlar ur driftsynpunkt är en påfrysningrisk när utetemperatur är i regel  $-5^{\circ}\text{C}$  och lägre. Vid de tillfällena passerar tilluft förbi VÅV och all värme tillförs i eftervärmningsbatteriet. I eftervärmningsbatteriet brukas köpt energi, så som fjärrvärme eller el till värmepump. Vid låga utetemperaturer, lägre än  $0^{\circ}\text{C}$ , brukar de fossilbränsle drivna spetskraft- och spetsvärmeanläggningarna startas som i sin tur skapar stora  $\text{CO}_2$ -utsläpp och medför ökade driftskostnader för fjärrvärmebolag och deras kunder.

Med värme från borrhål kan uteluft förvärmas före VÅV. Luften passerar ett förvärmningsbatteri före plattvärmeväxlaren med VÅV. I förvärmningsbatteriet används värme från borrhål dock utan värmepump. I förvärmningsbatteriet höjs tilluftstemperaturen före VÅV och minskar frysrisker i plattvärmeväxlaren med VÅV. Detta kan jämföras med en flytt till sydligare breddgrader.

Ett annat alternativ som finns är att förvärma luft via ventilationskanaler som är nedgrävda i marken. Det är en rätt så omskriven teknisk lösning med en stor risk för att kondens bildas i markkanalen som kan binda dam och smuts och skapa tillväxt som sprids via luften vidare till bostäderna. Förvärmning med hjälp av solenergi via fasadens luftintag är ett ytterliga sätt att förvärma luft.

I det här projektet ingick det att se hur kostnads- och energieffektiv lösning med borrhålsvärme är för att förvärma tilluft. I ett flerbostadshus till Örebro Bostäders (ÖBO), på Visgatan 12, se figur 1 och 2, installerades ett sådant förvärmningsbatteri efter en stor ombyggnation. Värmen hämtas från ett borrhål, slutet system, utan värmepump. Vid samma tidpunkt i ett likvärdigt hus, på Visgatan 16, se figur 1 och 2, installerades ett konventionellt ventilationsaggregat med plattvärmeväxlare med VÅV och med ett eftervärmningsbatteri kopplat till fjärrvärme.

I projektet ingick det att under ett år följa upp de två olika sätten att värma ventilationsluften samt att jämföra de två systemen ur konstnads- och funktionssynpunkt. Målet var att mäta all inkommande energi samt att bibehålla samma utgående tilluftstemperatur och flöde.



Figur 1. Flygbild på bostadshusen i Vivalla. Till vänster Visgatan 16 och till höger Visgatan 12



Figur 2. Illustrerande bild över bostadshusen. Till vänster Visgatan 16 och till höger Visgatan 12

## 2 OMVÄRLDEN

Tekniken, att förvärma ventilationsluft med hjälp av borrhålsvärme utan någon värmepump, är inte helt unik, dock används den sällan i Sverige. Bostadsbolaget HSB har installerat den här tekniken i två bostadshus, inflyttning 2013, i Nacka i Stockholm. De två bostadshusen består av 85 lägenheter om ca 9 000 m<sup>2</sup>. HSB har uppskattat en besparing på ca 70 000 kWh/år efter att

energianvändningen från pumpar dragits bort och tryckfallet ökats genom förvärmningsbatteriet. HSB har följt upp husen under vintern 2014/015 och tagit fram en uppföljningsrapport [1] där de utvärderar tekniken. HSB har därefter ytterligare installerat den här typen av teknisk lösning i några bostadshus i Stockholm och har planer av även installera detta i bostadshus i Göteborg.

I Tyskland finns ett företag, som har utvecklat tekniken sedan 2004, netec [2], dock med markvärme applikationer. Företaget har optimerat styrningen av cirkulationspumpen och förvärmningsbatteriet. På företagets websida finns inte något referensprojekt presenterat.

Andra sätt att förvärma luften är med solenergi via perforerade luftintagskanaler på fasaden. Det är en tillämpad teknik i USA. Nackdelen är att det saknas tillskott av värme när solens värme inte räcker till och då måste bortfallet kompenseras med ett eftervärmningsbatteri.

## 3 SYSTEM

### 3.1 Beskrivning av ventilationsaggregat

Ombyggnationen av båda husen har skett under vintern 2013/2014, Endast betongskalet var kvar. Under renoveringen av Visgatan 12 installerades ett ventilationsaggregat med förvärmningsbatteri och motströmsvärmväxlare med VÅV. I Visgatan 16 installerades ett eftervärmningsbatteri och motströmsvärmväxlare med VÅV(konventionell teknik). Aggregatet i Visgatan 16 är förberett för med förvärmningsbatteri, dock är det inte anslutet. Det finns på styrkortet, se figur 5, men är inte inkopplat. Båda ventilationsaggregaten är från IV produkt typ Envistar Flex. Aggregaten i båda husen har ett grund flöde på 440 l/s på tilluft- och frånluftssidan. Köksventilation har ett forceringsspjäll som är kopplat till allmänna ventilationen.

LUFTVÄRMARE VÄTSKA (Fövärmare)				
Indata	Lufttemperatur in	-20,0	°C	
	Lufttemperatur ut önskad	-5,0	°C	
	Vätsketemp in	2,0	°C	
	Vätsketemp ut önskad	-1,0	°C	
	Frysskyddshalt	29	%	
	Frostskydd	Etanol		
	Utdata	Lufttemperatur ut	-5,0	°C
		Lufthastighet	1,6	m/s
		Vätskeflöde	0,66	l/s
		Tryckfall vätska	36,9	kPa
Effektvariant		04		
Värmeeffekt		9,1	kW	
Lamelledning		2,0	mm	
Röranslutning		25		
Primärsida med 2-vägsventil				
Vätsketemp in		2,0	°C	
Vätsketemp ut	-1,4	°C		
Vätskeflöde	0,66	l/s		

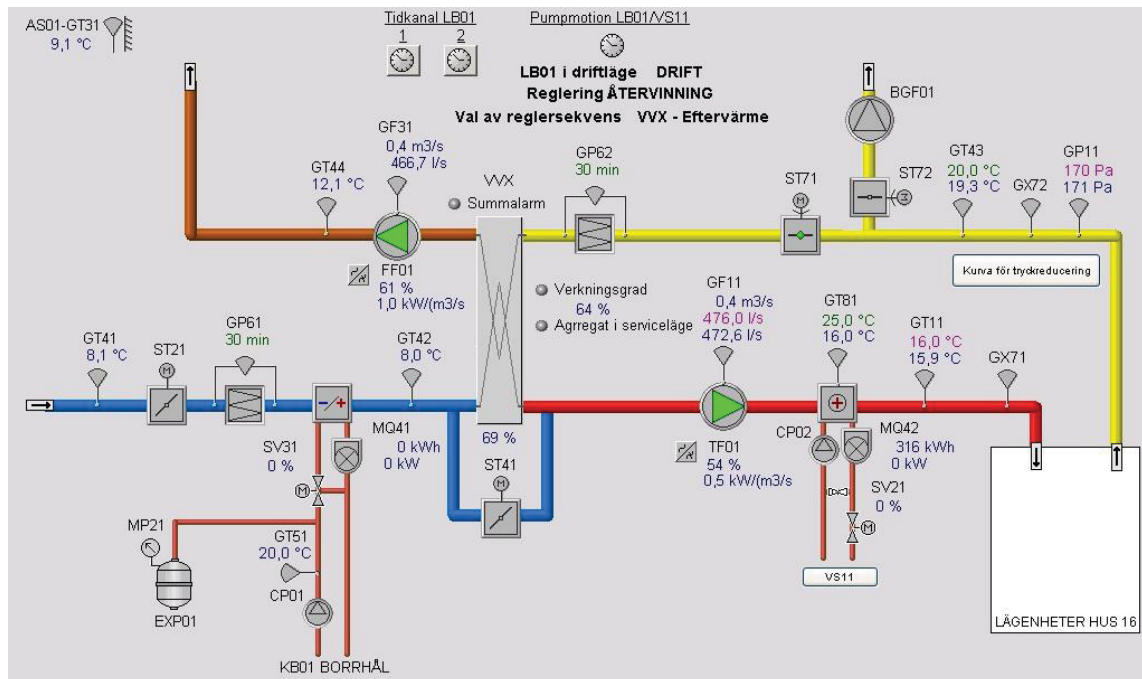
Figur 3. Teknisk specifikation av förvärmningsbatteri, uppgifter från IV Produkt

Det finns ett borrhål med 250 meter aktiv borrhålslängd där cirkulerande etanolvattenlösning drivs runt av en pump. Förvärmningsbatteriet är dimensionerat för att vid -20°C förvärma luften till -5°C.









Figur 5. Styrkort för ventilationsaggregatet på Visgatan 16 (värden på bilden är ej relevanta)

I köksventilationen finns ett forceringsspjäll som är kopplat till den allmänna ventilationen. När forceringsspjället öppnas varvas frånluftsfläkten upp för att kompensera tryckfallet på frånluftssidan vilket ökar luftflödet. Tilluftsflödet styrs av frånluftsflödet för att likställa flödena. Köksforceringen orsakar en variation av luftflöden i båda husen, oberoende av varandra. I båda husen är antallägenheter den samma och därför antas påverkan från köksventilation vara rätt så lika i båda husen.

Uppföljningsplanen gjordes med en tanke om att ha en kolfilterfläkt i varje kök som var den ursprungliga planen. Vid ett senare tillfälle togs ett beslut om att ha ett forceringsspjäll istället.

### 3.1.1 Reglering av ventilationsaggregat

Samtliga beteckningar i det här stycket hänvisas till styrkortet, figur 4 och 5.

Ventilationsaggregaten har två inställda lägen, sommar- och vinterläge. Vid vinterdrift regleras temperaturen via tilluften och vid somrardrift regleras temperaturen via frånluften.

Vid tilluftsreglering har GT11 en utetemperaturkompenserad kurva. Vid vinterdrift sker förvärmning om  $GT41 < GT51$  (i KB01-krets) som öppnar SV31 för fullt för förvärmning. SV31 stänger om GT41 är lika eller högre än GT51.

Vid somrardrift sker frånluftsreglering genom börvärdet för GT43, Vid ökat värmebehov minskar utsignalen successivt till SV31 (i KB01-kretsen) därefter ökar utsignalen successivt till värmeåtervinningen. Omvänt vid minskande värmebehov.

Praktisk styrning i LB\_12: Om  $GT43 < 21^\circ\text{C}$  är börvärdet för GT11  $20^\circ\text{C}$ . Då ökar behovet av värme och utsignalen minskar successivt till SV31 (i KB01-kretsen) därefter ökar utsignalen successivt till värmeåtervinningen. Omvänt vid minskande värmebehov. Om  $GT43 > 21^\circ\text{C}$  är börvärdet för GT11  $15^\circ\text{C}$ .

## 4 ENERGIUPPFÖLJNING

### 4.1 Uppföljningsmetod

Samtliga beteckningar i det här sticket hänvisas till styrkortet, figur 4 och 5. Grunden för uppföljningen är att jämföra energitillförsel i de två olika systemlösningarna under ett år. Data kommer från ÖBO:s styr- och övervakningssystem av ÖBO:s styrkonsult som csv. filer. De flesta av de exporterade signalerna syns på styrkortet, se figur 4 och 5. Från och med sommaren 2015 är dataupplösningen för uppmätta data 5 minuters och en timmesintervaller för perioden december 2014 till mars 2015. Dataanalysen är utförd med hjälp av Excel. Kontroll av mätare/givare placering har inte ingått i projektet.

För att det skulle vara möjligt att göra uppföljningen var önskan att GT11,GF11 och GF31 i 12\_LB01 och i 16\_LB01 vara så nära varandra som möjligt. Detta för att energi ut skulle vara lika i båda aggregaten.

Med dessa förutsättningar mäts energin som tillförts aggregaten. Det finns elmätare vid varje tillufts- (TF) och frånluftsfläkt(FE), via frekvensomformare, särskilda elmätare vid KB01,VS11 pumpar, värmeenergimätare vid förvärmningsbatteri KB01-MQ41 och eftervärmningsbatteri VS11-MQ42.

Tillfört energi  $Q_{12}$  och  $Q_{16}$  beräknas för varje tidsintervall med hjälp av samlad statistik.

### 4.2 Uppmätt energi

Under perioden dec 2014 till dec 2015 följdes energianvändningen upp för både 12\_LB01 och 16\_LB01. Under perioden 28 feb-9 mars samt 23 mars-10 juni saknas mätdata pga tekniska problem. För att kompensera för avsaknaden av mätdata utökades mätperioden med en månad. I tabell 1 visas sammanställda data om uppföljningsperioden.

Tabell 1. Kort sammanfattning av byggnaderna och uppföljningsperiod

Byggnad:	Vivalla Örebro, Visgatan 12 och 16,
Tempererad area/hus Atemp	876 m <sup>2</sup>
Inflyttning:	2014-05-01
Tidsperiod mätdata:	Timvärden: 2014-12-01– 2015-03-23 (variation utomhustemperatur: – 16,4 till +12,3 °C, medel 1 °C)  5 minuters värden: 2015-06-10– 2015-12-31 (variation utomhustemperatur: – 11,2 till +34,5 °C, medel 11,3 °C)
Övrigt	Det saknas data för tidsintervall 28 feb- 9 mars samt 23 mars- 10 juni.

Sammanställning av uppmätt energianvändning visas i tabell 2 och 3.

Tabell 2. Uppmät energianvändning per byggnad (beteckningar visas på figur 4 och 5.)

	<b>Visgatan 12</b>	<b>Visgatan 16</b>	<b>Kommentar</b>
Total uppvärmning (kWh)	33 212 (37,9 kWh/m <sup>2</sup> Atemp)	31 132 (35,5 kWh/m <sup>2</sup> Atemp)	Visg. 12: VS11-MQ41 Visg.16: VSO1-MQ41 (värme för radiatorer och LB)
Fastighets el (kWh)	5 474	3 908	Enbart för att driva LB.
Köpt energi (kWh)	38 686 (44,2 kWh/m <sup>2</sup> Atemp)	35 040 (40 kWh/m <sup>2</sup> Atemp)	

Tabell 3 Uppmät energianvändning per aggregat (beteckningar visas på figur 4 och 5.)

	<b>Aggregat 12 LB01</b>	<b>Aggregat 16 LB01</b>	
Värme/kyla (kWh)	11 401*	13 411	Visg.12: (LB01_MQ41) dec-mar. GF11x1,2x(GT42-GT41) Beräknad juni – dec (mätaren klarade inte mäta för kylfall) Visg.16: (LB01_MQ42)
VÅV (kWh)	32 454	34 062	Visg.12: GF31x1,2x(GT43-GT42) x VÅV-verkningsgrad Visg.16: GF31x1,2x(GT43-GT42) x VÅV-verkningsgrad
El (kWh)	5 474	3 908	Visg.12: Elmätare (TF+FF+KB01-CP) i kW upplös. Visg.16: Elmätare (TF+FF+VS11-CP02) i kW upplös.
Total energi (kWh)	49 328	51 381	Värme + VÅV + El (för LB)
Köpt energi (kWh)	5 474	17 319	
GT11 medel (°C)	17,8	18,9	Framledningstemperatur
GF11 medel (m <sup>3</sup> /s)	0,47	0,406	Tilluftsflöde

\* Fri/Gratis energi från borrhålet

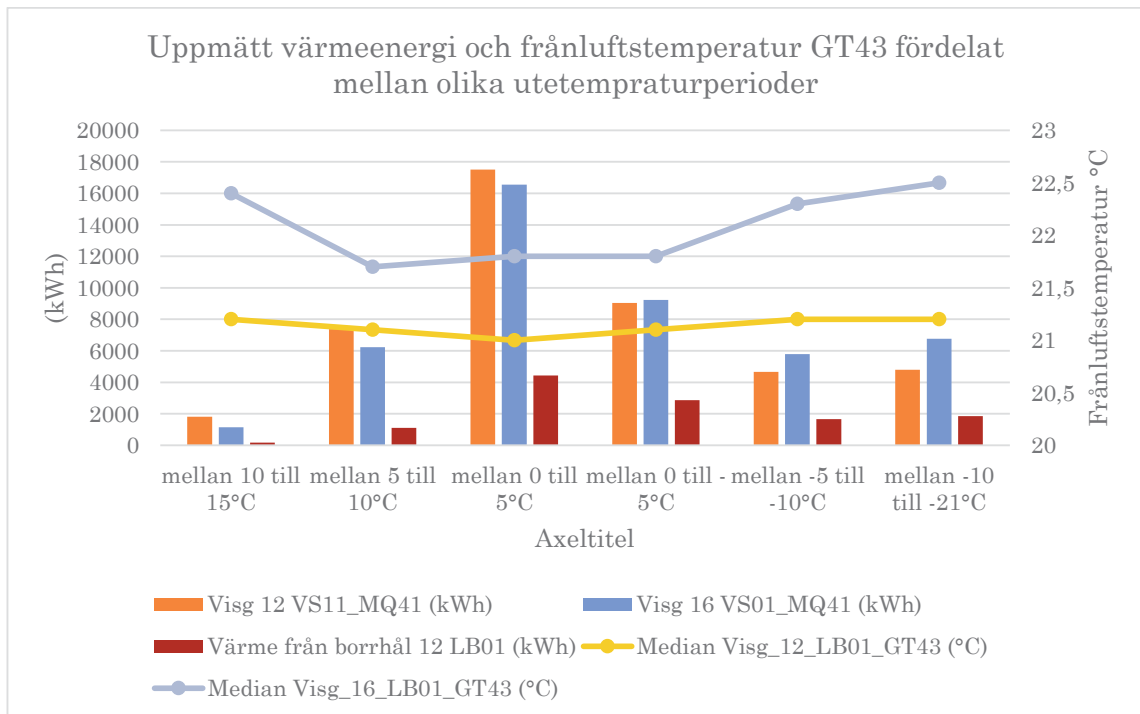
Som kan utläsas ut tabellen är energin som följer med luften ut från aggregaten inte är lika för de två aggregaten som var tänkt från början, se GT11 och GF11 i tabell 3.

Framledningstemperaturen, GT11 i Visgatan 16, varierar mycket mer under sommartid, beskrivs under 4.4. Variationen är något mindre under vintertid. Den totala uppvärmningen är 37,9 kWh/m<sup>2</sup> Atemp för Visgatan 12 och 35,5 kWh/m<sup>2</sup> Atemp för Visgatan 16. Inblåsningstemperaturen är något kallare för Visgatan 12 och måste kompenseras för. Resultatet blir att värmeenergianvändningen blir något högre för Visgatan 12. Vädring eller annan brukare relaterad påverkan kan ha orsakat högre energianvändningen för Visgatan 12. Skuggning från öst, se figur 6, från skogspartiet med barr- och lövträd hindrar solen att nå fasaden för Visgatan 12 och kan vara en annan orsak vilket ger något större uppvärmningsbehov. Större ventilationsflöden för Visgatan 12, se tabell 3, kräver också mer uppvärmningsenergi. Alla dessa faktorer har bidragit till högre energianvändningen för Visgatan 12. Resultatet var i motsatt till vad förväntningarna var innan analysen gjordes. Skuggning och brukare relaterade faktorer har inte studerats i projektet.



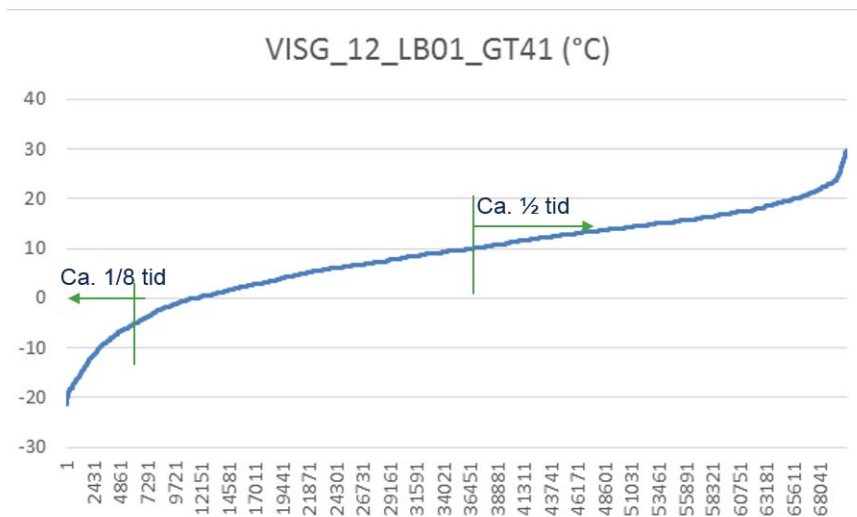
Figur 6. Flygfoto av bostadshusen under ombyggnadstiden, källa www.hitta.se

För att förstå orsaken till det ökade energibehovet för Visgatan 12 har energidata sorterats i olika perioder med olika utetemperatur, se figur 7. Mest energi krävs vid utetemperaturer mellan  $-5^{\circ}\text{C}$  och  $10^{\circ}\text{C}$ , eftersom perioden omfattar flest drifttimmar, se figur 8, 38% av drifttimmar. Den orangea stapeln visar enbart radiatorenergi för Visgatan 12.



Figur 7. Uppmätt energi sorterad för olika utetemperaturer.

Om den röda stapeln läggs på den orangea, båda tillhör Visgatan 12, ser vi att det går mycket mer energi åt för Visgatan 12, när utemperaturen är mellan  $-5$  och  $10^{\circ}\text{C}$ . När utemperaturen är mellan  $-21$  och  $-5^{\circ}\text{C}$  går ungefär lika mycket energi åt. Den gula linjen visar att uppmätt frånluftstemperatur är lägre för Visgatan 12 under varje period. Slutsatsen är att den extra tillfört värmen inte ökar inomhustemperaturen för Visgatan 12.



Figur 8. Aggregeratens utetemperatur under uppmätta perioden

När utetemperaturen är mellan 0°C till 10° finns ingen risk för avfrostning och båda aggregaten har lika förutsättningar. Därför utfördes en teoretisk energibehovsberäkning med uppmätta indata som jämfördes med uppmätt energibehov för den aktuella perioden, se tabell 4. Beräkningen baseras på uppmätta indata. Värmeenergiebehovet beräknades för respektive hus.

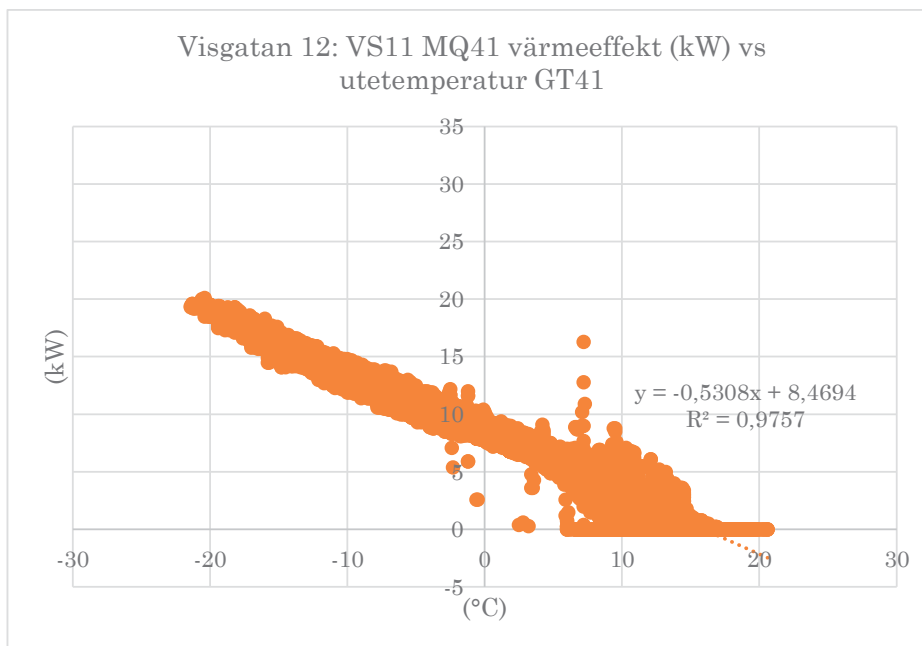
Tabell 4. Uppmätt och beräknad värmeenergianvändning per byggnad när utetemperatur var mellan 0°C och 10°C.

	Värden för utetemperatur mellan 0 till 10°C	
	12_LB01	16_LB01
Luftflöde (m <sup>3</sup> /s) - uppmätt	0,47	0,406
Median GT43 (°C) - uppmätt	21,15	22
VÅV verkningsgrad (-) - uppmätt	0,76	0,77
Antal driftstimmar (h) - uppmätt	3 500	3 500
Beräknat värmeenergiebehov (kWh)	4 534	6 283
(Luftflöde x 1,2 x (GT43 – temp. efter VÅV) x antal driftstimmar) - energi för att värma upp luften till GT43. (Temperatur efter VÅV VVX är beräknat mha VÅV-verkningsgrad och förvärmning)		
Uppmätt värmeenergiebehov (kWh)	24 884	22 776
(Uppmätt energi för 12_LB01 är till radiatorerna och för 16_LB01 till både radiatorerna och LB)		

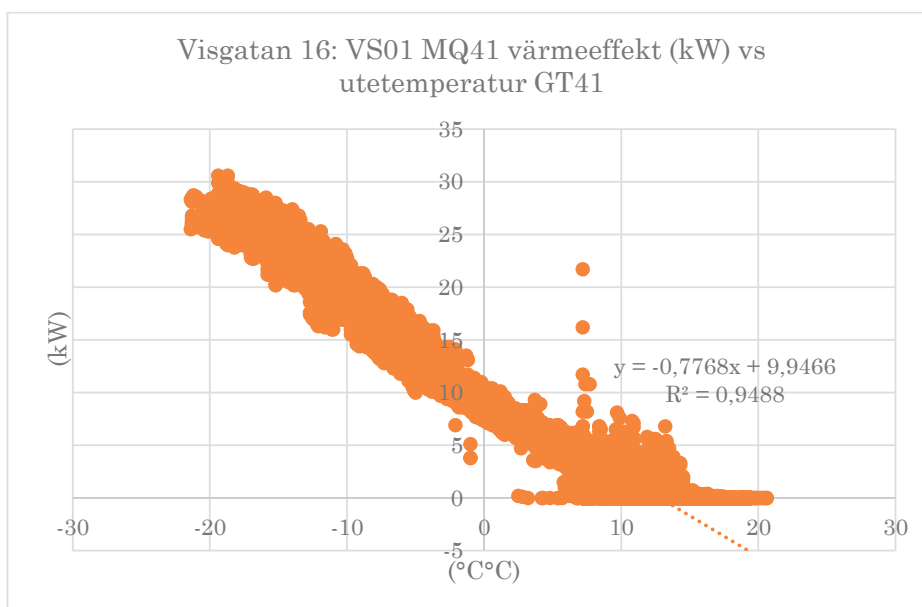
Beräknat värmeenergiebehov för Visgatan 12 är lägre än för Visgatan 16. Uppmätta värden visar motsatsen dvs att mer värmeenergi används för uppvärmningen av Visgatan 12 än för nr. 16.

### 4.3 Uppmätt värmeeffekt

Figur 9 nedan visar uppmätt värmeeffekt signatur. Vid 0°C blir värmeeffekten för Visgatan 12, 8,5 kW och för Visgatan 16, 10 kW. Båda husen har nästan lika stort värmebehov vid noll grader. Max last skiljer sig mellan husen med ca 6 kW (19,1 kW för Visgatan 12 och 25 kW för Visgatan 16). Det är betydlig lägre än i installerade eftervärmningsbatteriet på 13 kW. Brukarna har under mätperioden heller inte kunnat påverka termostatventiler eftersom ventilratten var bortplockade.



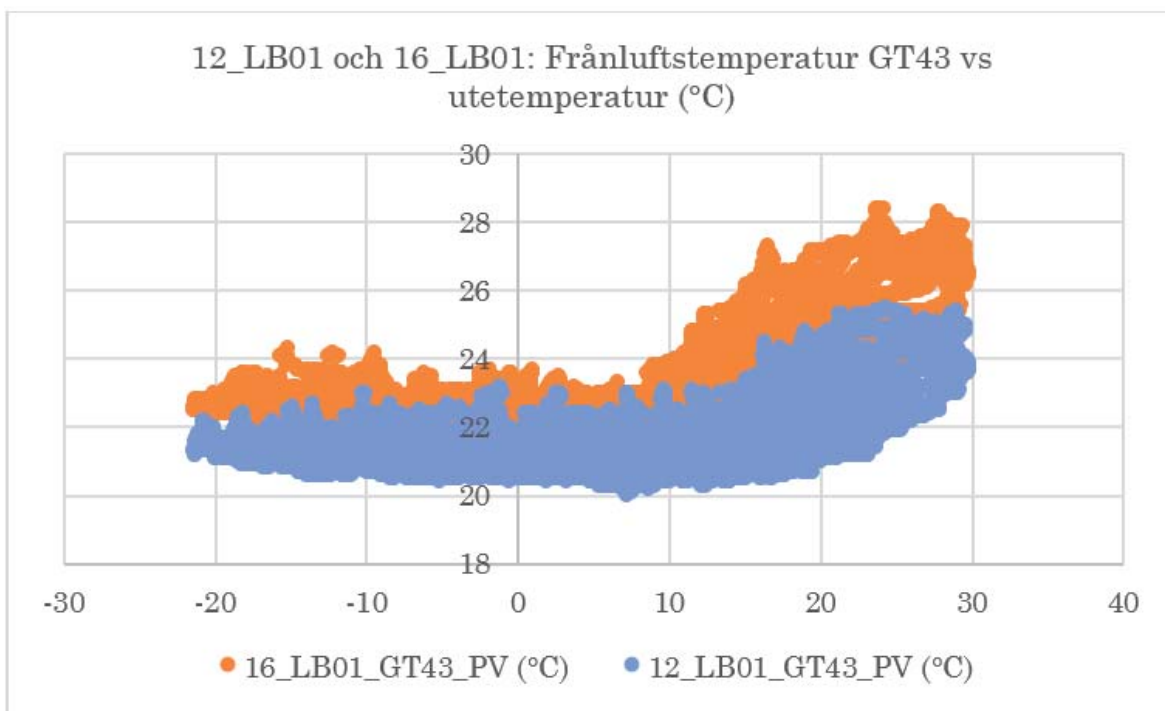
Figur 9 Uppmät värmeeffekt (5 min upplösning) i Visgatan 12 mellan 1 sep 2015 till 31 jan 2016



Figur 10 Uppmät värmeeffekt (5 min upplösning) i Visgatan 16 mellan 1 sep 2015 till 31 jan 2016

#### 4.4 Frånluft och tilluftstemperatur i 12\_LB01 och 16\_LB01

Temperaturen i båda husen redovisas i figur 11 och 12. Frånluftstemperaturen är något högre för Visgatan 16 än för Visgatan 12.

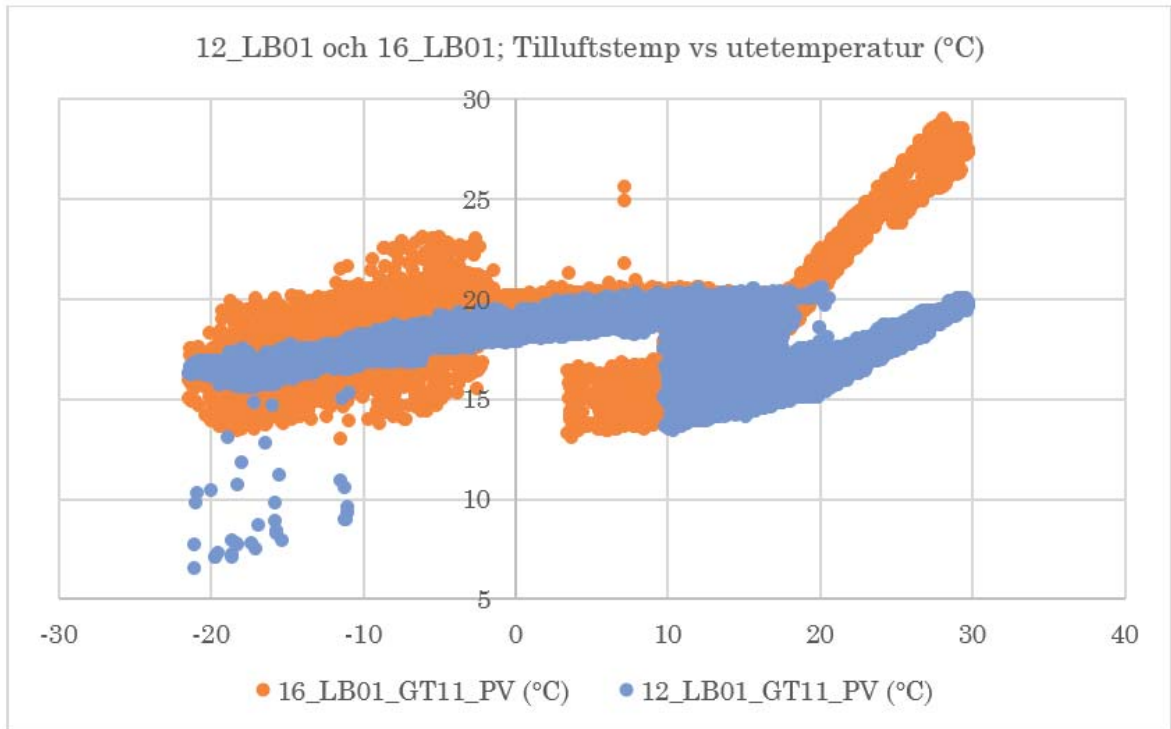


Figur 11. Uppmät frånluftstemperatur i Visgatan 12 och 16 mellan juni 2015 och januari 2016.

Tilluftstemperatur i 12\_LB01, se figur 12, för vinterfallet (utetemperatur < ca 10°C) är 20°C och för sommarfallet är 15°C. Temperaturspannet mellan ca 10°C och 15°C ute är ett område där det inte finns ett behov av värme eller kyla. Ett avstängt förvärmningsbatteri eller att utetemperaturen blir lika med borrhålstemperaturen och därför finns det en stor spridning av temperaturen i båda aggregaten.

I 16\_LB01 finns en stor spridning av tilluftstemperaturen. Vid vinterfallet, pga förekommande avfrostningscyklar, hinner inte temperaturregleringen GT11, med i de svängningarna och studsar mellan 13°C till 22°C. Det här driftsfallet är en stor påfrestning på luftbehandlingsaggregatet och sliter på utrustningen och kan förkorta livslängden på styrventiler. Med ett förvärmningsbatteri undviks dessa svängningar, aggregatet jobbar lugnare och slits mindre. Det här driftsfallet bör tas extra hänsyn till i de tekniska lösningar där det endast finns luftburen värme, t.ex. passivhusprojekt. Sommarfallet visar en tydlig trend där GT11 förhåller sig till utetemperatur.

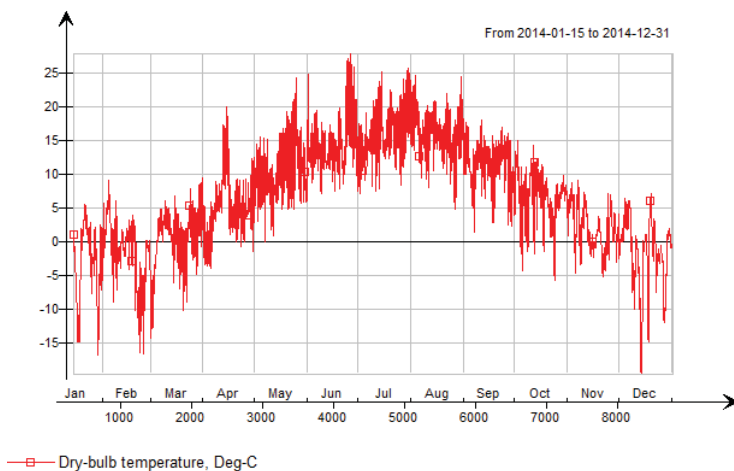




Figur 12. Uppmät tilluftstemperatur i 12\_LB01 och 16\_LB01 mellan juni 2015 och januari 2016

#### 4.5 Teoretisk beräkning mha IDA ICE

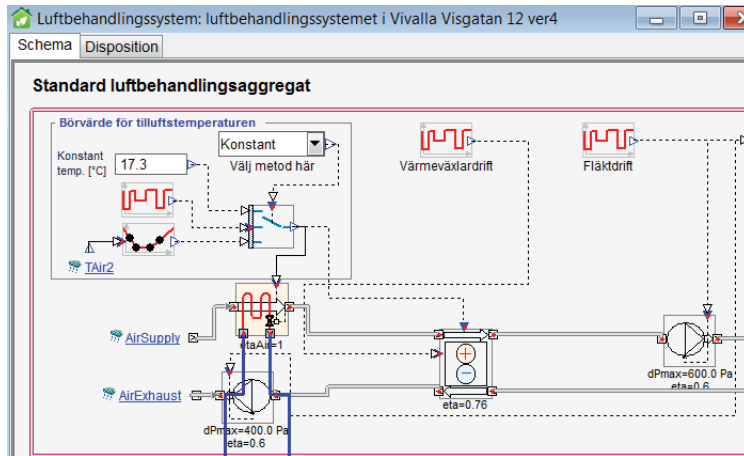
IDA ICE 4.6 har använts för att beräkna energianvändningen för Visgatan 12 och 16. Projektspecifika förutsättningarna är inlagda i simuleringsprogrammet. Klimatfil som användes är SWE\_KARLSTAD-FLYGPLATS\_024180\_IW2.PRN, där medellufttemperaturen är 6,4°C och utelufttemperatur visas i figur 13 nedan.



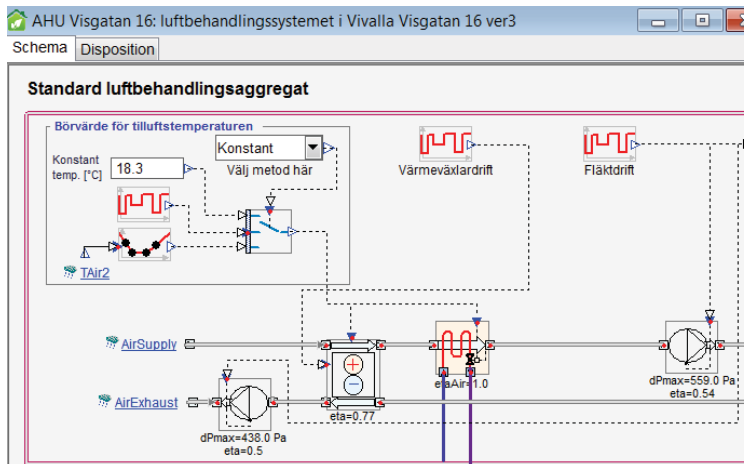
Figur 13. Klimatfil lufttemperatur timvärden under ett år, urklippt från IDA ICE

Figur 14 och 15 visar hur aggregaten är uppbyggda i IDA ICE med hänsyn till batterierna. Förovarningsbatteriet i Visgatan 12 är inte en standard aggregat lösning i IDA ICE och behöves

anpassas. Visgatan 16 är en standard aggregat lösning. Input data i IDA ICE motsvarar uppmätta data så långt som det går, se tabell 5.



Figur 14. Ventilationsaggregat Visgatan 12, urklippt från IDA ICE



Figur 15. Ventilationsaggregat Visgatan 16, urklippt från IDA ICE

Tabell 5. Sammanfattning av indata av ventilationsaggregat i IDA ICE

Visgatan 12	Visgatan 16
Framledningstemperatur 17,8°C, Luftflöde 475 l/s tilluft. Borrhålstemp: tillopp 8°C vid 0°C ute och tillopp 10°C vid 10°C ute. VÅV: 0,76 0,5°C temperatur höjning i TF	Framledningstemperatur 18,8°C, 406 l/s tilluft. VÅV: 0,77. Lägsta avlufts temp 1,8°C. 0,5°C temperatur höjning i TF

Uppmättadata i tabell 5 kommer från tabell 3.

#### 4.6 Jämförelse av teoretiska mot uppmätta värden

Enbart aggregatnivå har simulerats och jämförs för att minska antal variabler och enklare jämföra uppmätt och beräknade värden. Jämförelsen sammanfattas i tabell 6.

Tabell 6. Jämförelse av teoretiska och uppmätt data.

	Visgatan 12		Visgatan 16	
	IDA ICE	Uppmätta data	IDA ICE	Uppmätta data
LB01 – värme (kWh/år)	25 691	12 520 (klimat korrigerad)	4 058	14 462 (klimat korrigerad)
LB01 – VÅV (kWh/år)	32 084	32 454	47 818	34 062
LB01 – el (kWh/år)	7 033	5 474	6 648	3 908
LB01 – summa köpt energi (kWh/år)	7 033	5 474	10 706	17 320
LB01 – summa (köpt, VÅV och värmeenergi)	64 808	49 328	58 524	51 381

Uppmätt värmeenergin klimat korrigeras med hjälp av SMHI's graddagar för att likställa klimatet. Beräknade värden för Visgatan 16 är för bra i jämförelse med uppmätta värden. Beräknad värmeåtervunnen energi är betydligt högre än uppmätt samt tvärt om för tillfört värme. Det som kan göra resultat missvisande är att det saknas en del av uppmätt data, se tabell 1. Är den teoretiska beräkningen i värmeåtervinningen för bra jämfört med verkligheten? Hur kommer det sig att det är så stor differens i det konventionella fallet och bör därav vidare undersökas. Ventilationsaggregat av olika tillverkare har olika avfrostningsmetoder och olika påverkan på den beräknade värmeåtervinningen [3] som måste tas hänsyn till i ett simuleringsprogram.

Differensen mellan beräknade och uppmätta värden för Visgatan 12 är stor, särskild gällande värmeenergi. I 12\_LB01 är återvunnen värmeenergi nästan lika stor vilket betyder att framledningstemperaturen till förvärmningsbatteriet i IDA ICE är bra inställt och motsvarar uppmätt data. 12\_LB01 uppbyggnad i IDA är inte en standardlösning och därför blir det svårare att dra slutsatser från det.

## 5 LÖNSAMHETS ANALYS

Investeringskostnad exkl. moms var 327 200 kr för borrhålet, förvärmaren och köldbärarledningen. Kostnaden för eftervärmningsbatteriet, VS-ledningen och shunten uppskattas till ca 90 000 kr. Under den uppmätta perioden är värmeenergikostnaden följande:

Tabell 7. Kostnad för värmeenergianvändning i 16\_LB01

	Fjärrvärme pris (prisuppgifter från EON för 2016)	Kostnader under uppmätta perioden dec-22 mar, 10 juni-dec i 16_LB01
Effekt pris (högsta uppmätta dygnsmedeleffekt under förbrukningsmånaden)	92,85 kr/kW	5 280 kr
Flödes pris	2,86 kr/m <sup>3</sup>	3 146 kr
Energipris dec-mars	58,10 öre/kWh	4 037 kr (6 552 kWh)
Energipris apr-maj, okt-nov	33,40 öre/kWh	2 200 kr (6 584 kWh)
Energipris jun-sep	18,230 öre/kWh	50 kr (275 kWh)
<b>Köpt värmeenergi till 16_LB01 under uppmätta perioden</b>		<b>14 713 kr (snitt värmeenergipris 1,06 kr/kWh för 2016 prislista)</b>

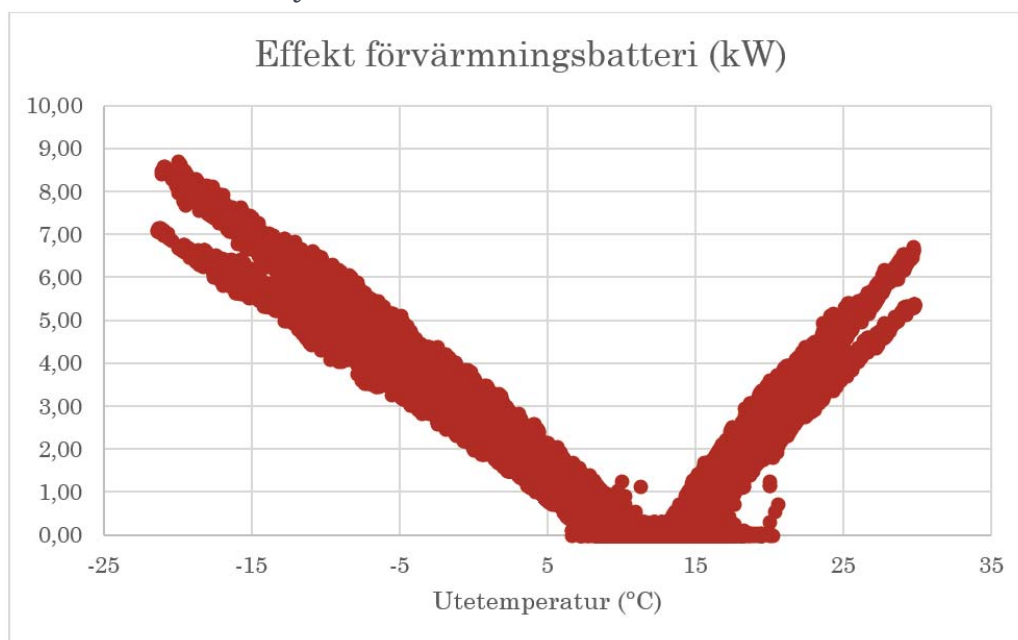
Eldriften för ventilationsaggregaten Visgatan 12 kostar 1 675 kr/år mer än för aggregatet i Visgatan 16. Uppmätt el för fläkt- och pumpdrift är 5 474 kWh för Visgatan 12 och 3 908 kWh för Visgatan 16. Elpriset är antaget till 1,07 kr/kWh exklusive moms.

Från investeringen 327 200 kr dras 90 000 kr bort, kostnaden för eftervärmningsbatteriet och VS-ledningen. Det ger en kostnad på 237 200 kr. En enkel pay-off kalkyl med en besparing på ca 13 038 kr/år ger en återbetalningstid på ca 18 år per aggregat.

Om man ser det från ett annat perspektiv och systemgränsen dras runt hela huset istället visar kalkylen att det inte blir någon energibesparing alls. Det tillkommer istället en extra kostnad på ca 3 755 kr/år (1 675 kr för el och 2 080 kr för uppvärmning) för Visgatan 12. Investeringen blir olönsam dock minskar slitaget av aggregatet, färre underhålls åtgärder och ett svalare klimat under sommarhalvåret ger ett extra värde som bör övervägas i kalkylen.

## 6 UTVÄRDERING AV FÖRVARMNINGSBATTERI OCH VÅV TEMPERATURVERKNINGSGRAD

### 6.1 Värme- och kyleffekt



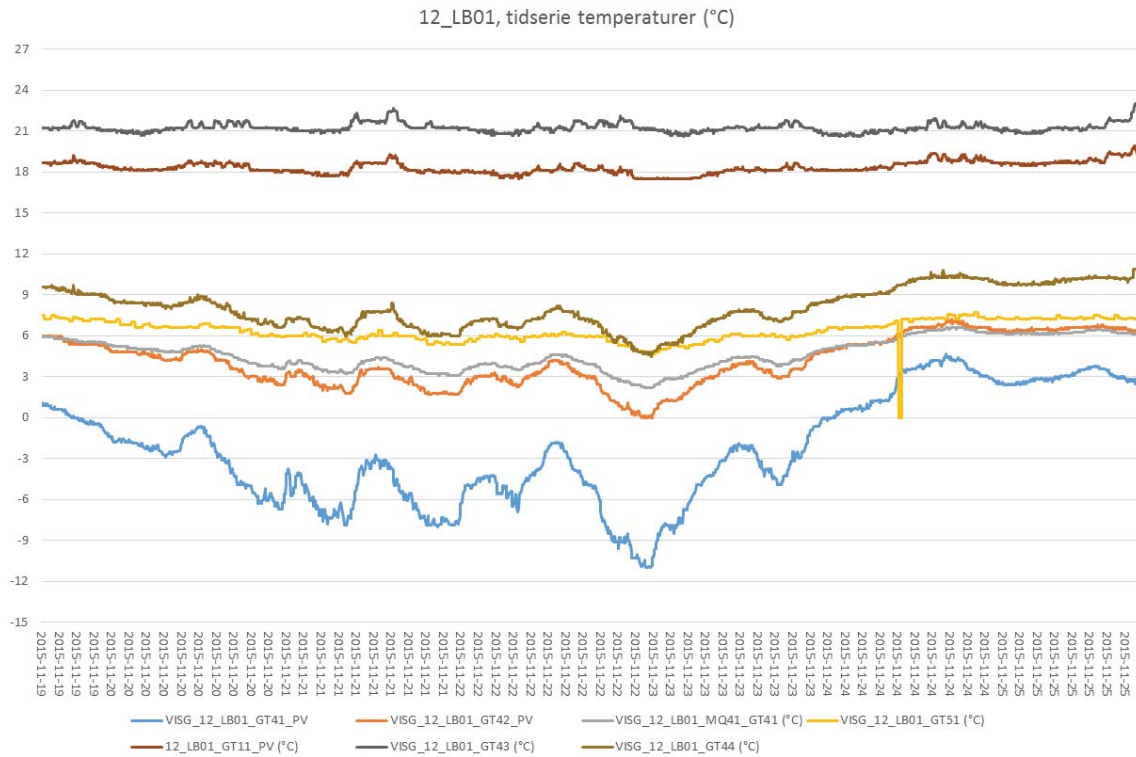
Figur 16. Uppmätt effekt i förvärmningsbatteri.

Som högst uppmättes en värmeeffekt strax under 9 kW när det var som var kallast vid -21°C och kyleffekt 7 kW när det var som varmast +30°C, se figur 17. När det inte finns behov av värme/kyla från borrhålet eller utetemperatur används inte förvärmningsbatteriet och i diagrammet syns det som 0 kW. En tydlig trend som kan ses i diagrammet gällande effekt kontra utetemperatur visar på en bra styrning av batteriet.

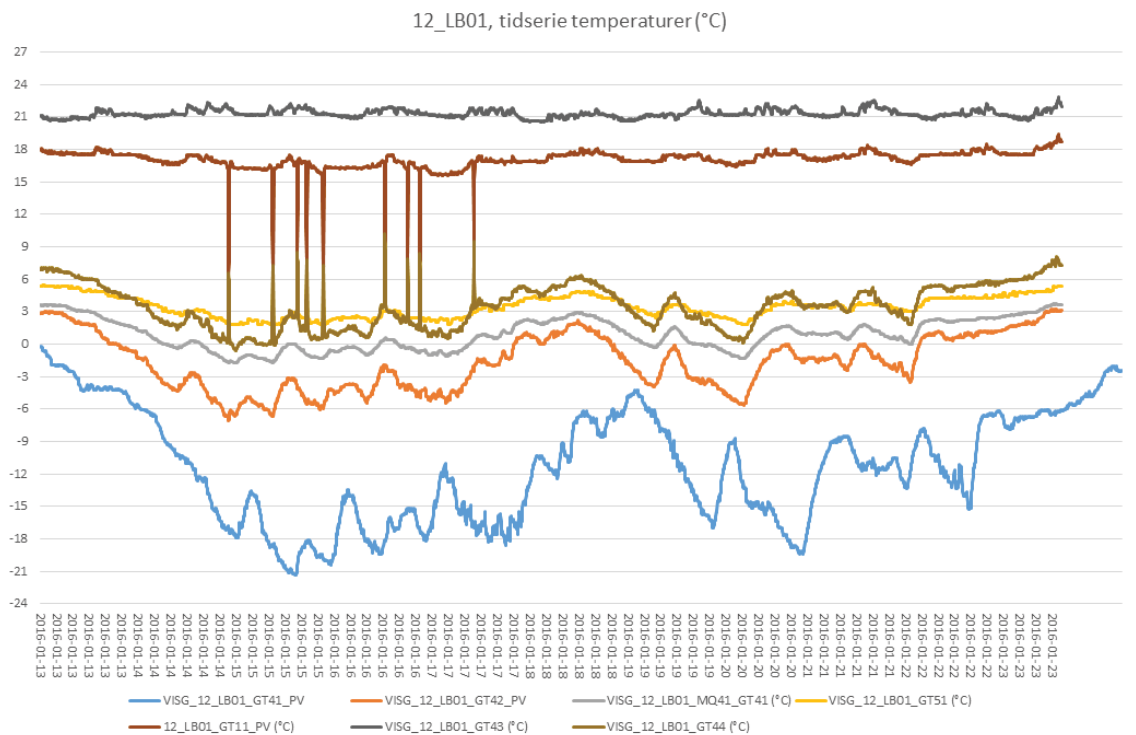
Dimensionerad effekt är 9 kW vid -20°C utetemperatur. Brytpunkten är mellan 10°C till 15°C och beror på skiftning av värme- och kylbehov.



avfrostningscyklar inte är igång. Temperaturen från borrhålet, GT51, blir som lägst 5°C. Frånluftstemperaturen håller sig vid 21°C (GT43). Aggregatet har klarat av att hålla GT11 vid 18°C.



Figur 18. Vinterfall, uppmätta värden i 12\_LB01 under 5-dagarsperiod i november.





Figur 19. Vinterfall, uppmätta data i 12\_LB01 under den kallaste perioden i januari.

Enbart under den kallaste perioden (mellan 14-16 jan) har några avfrostningscyklar uppkommit, varje cykel tar 15 minuter, se figur 19. Temperaturen efter förvärmningsbatteriet GT42 var mellan -5°C och -6°C när utetemperaturer var kallare än -16°C. Vid den andra kalla perioden mellan 20 och 21 januari har inte någon avfrostning gått in.

Frånluftstemperatur GT43 är ca 21°C. Tilluftstemperaturen GT11 mellan 16°C och 18°C. Kallare tilluftstemperatur kräver att man har tänkt igenom placering av tilluftsdon och att extra värmetillskott behövs. Frånluftstemperaturen är ca 21°C som påvisar att radiatorerna jobbar för att hålla 21°C. Hur hyresgästerna upplever kall drag från tilluften under den perioden bör utredas vidare.

## 6.4 Vinterfall, temperaturverkningsgrad VÅV och avluftstemperatur

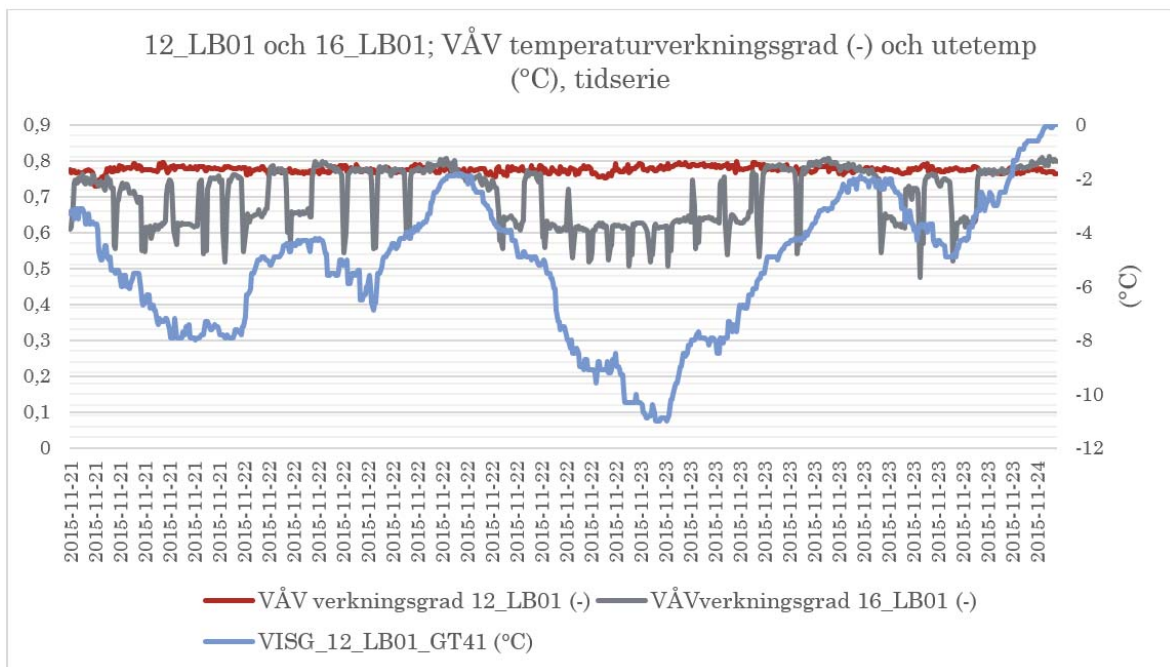
12\_LB01 värmeåtervinningens temperaturverkningsgrad håller sig vid strax under 80 %, och inga avfrostningscyklar sker under den så kallade normal vinterperioden, se figur 20. I 16\_LB01 finns tydliga avfrostningscyklar och en variation i temperaturverkningsgrad som ligger mellan 50% till 80%. Vid utetemperatur -4°C, GT41, och varmare återkommer inga.

Temperaturverkningsgraden vid balanserat flöde beräknades via frånluften som:

$(\text{frånluftstemperatur} - \text{avluftstemperatur}) / (\text{frånluftstemperatur} - \text{utetemperatur})$ .

Det fanns inte temperatur givare efter VÅV VVX för att kunna beräkna via tilluften.

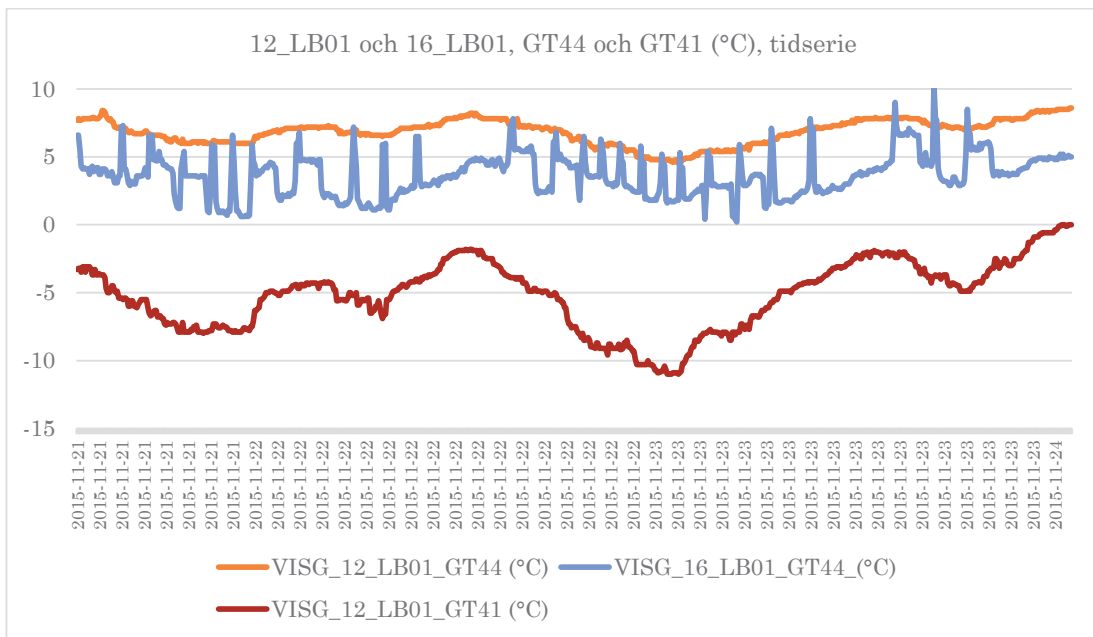
I formeln ovan utetemperaturen för 12\_LB01 blir temperatur efter förvärmningsbatteriet (GT42).



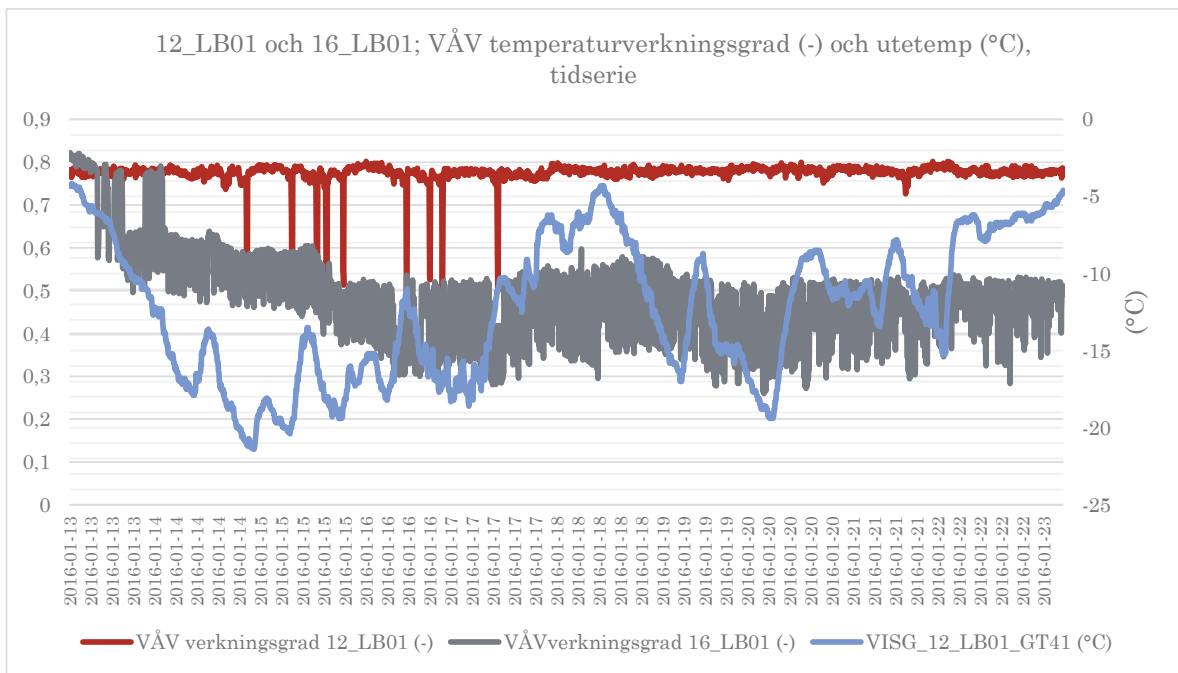
Figur 20. 12\_LB01 och 16\_LB01; VÅV temperaturverkningsgrad (-) och utetemperatur (°C).

För samma period visas avluftstemperaturen, GT44, i båda aggregaten, se figur 21. I det konventionella aggregatet 16\_LB01 är temperaturen, GT44, som lägst nära noll korta stunder strax före avfrostning, dock vanligtvis ligger den mellan 1,5°C och 2°C. I 12\_LB01 finns inte någon avfrostningscykel. GT41 i 12\_LB01 ligger några grader varmare pga förvärmning och kan inte återvinnas lika mycket energin som i 16\_LB01.





Figur 21 Avluftstemperatur GT44 och utetemperatur GT41 i 12\_LB01 och 16\_LB01

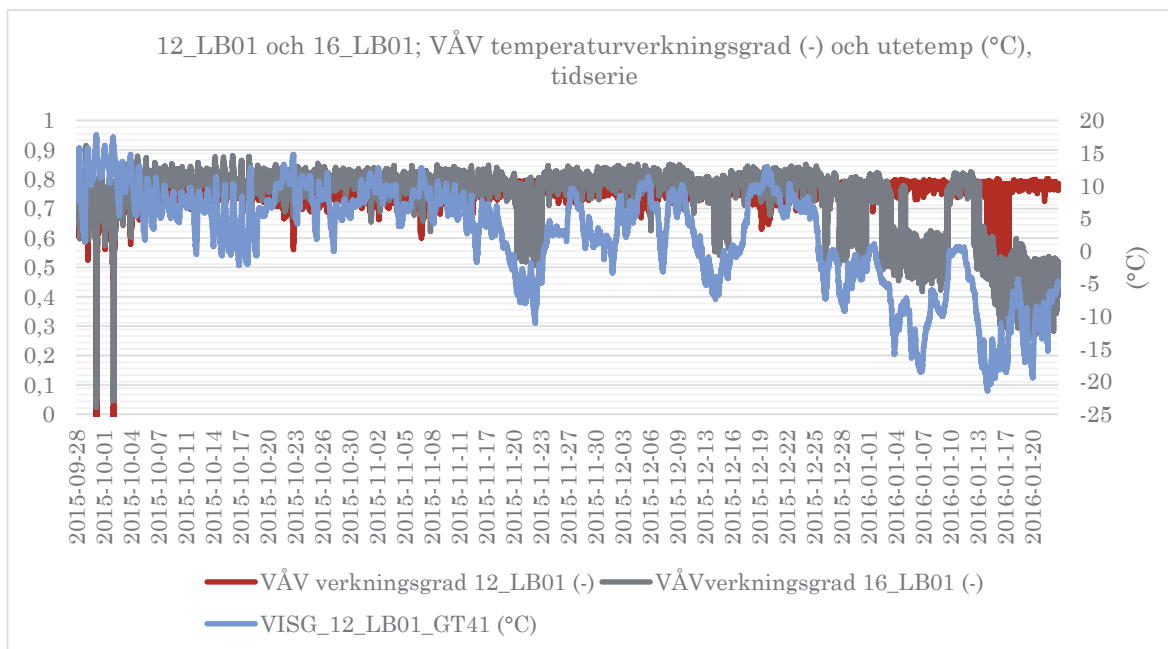


Figur 22 VÅV temperaturverkningsgrad under den kallaste perioden i januari 2016

För den kallaste perioden, uppmätta i januari är 16\_LB01 VÅV temperaturverkningsgraden mellan 0,3 och 0,6 och i snitt ligger den på ca 0,45. Avfrostningscyklarna pågår hela tiden när utetemperatur är -5 °C och lägre. 12\_LB01 verkningsgrad är strax under 0,8, förutom de korta perioder då avfrostningscyklarna är igång som beskrivs under rubriken 6.3.

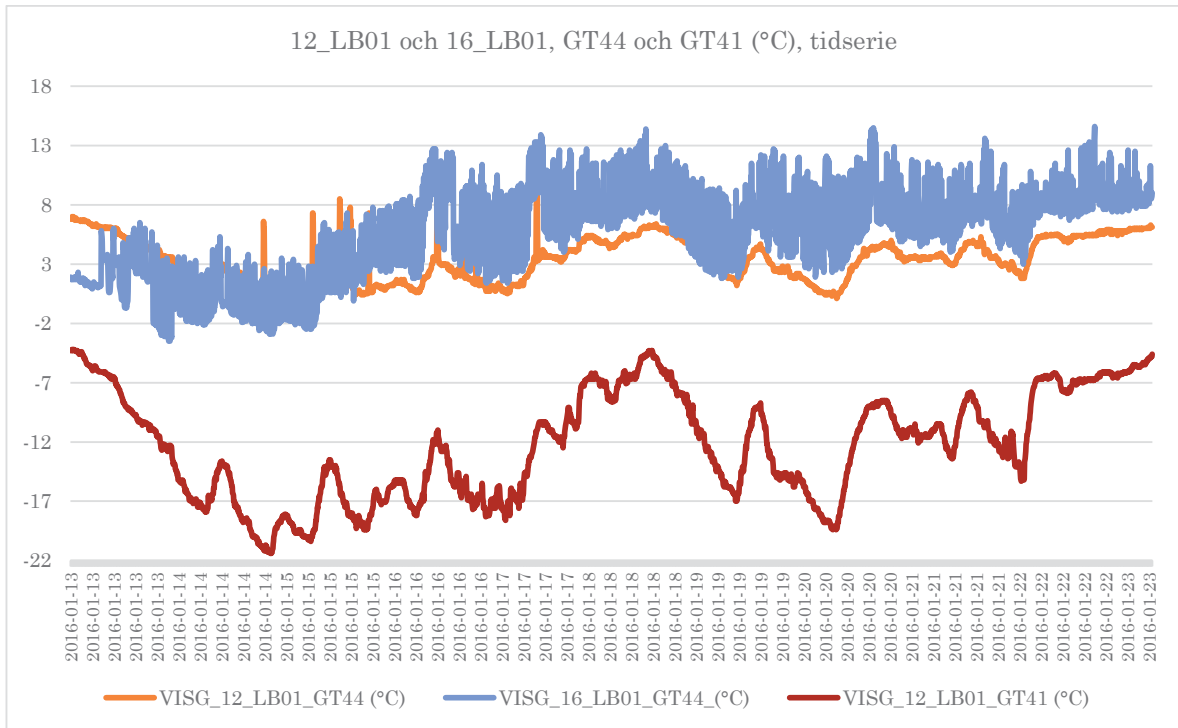
## 6.5 VÅV temperaturverkningsgrad och avluftstemperatur mellan september och januari

Beräknad VÅV temperaturverkningsgrad i båda aggregaten mellan september och januari visas i figur 23. Endast för utetemperaturen lägre än  $-5^{\circ}\text{C}$  infinna sig avfrostningscyklarna och då sjunker temperaturverkningsgraden.



Figur 23. Beräknad VÅV temperaturverkningsgrad mellan september 2015 och januari 2016 i 12\_LB01 och 16\_LB01

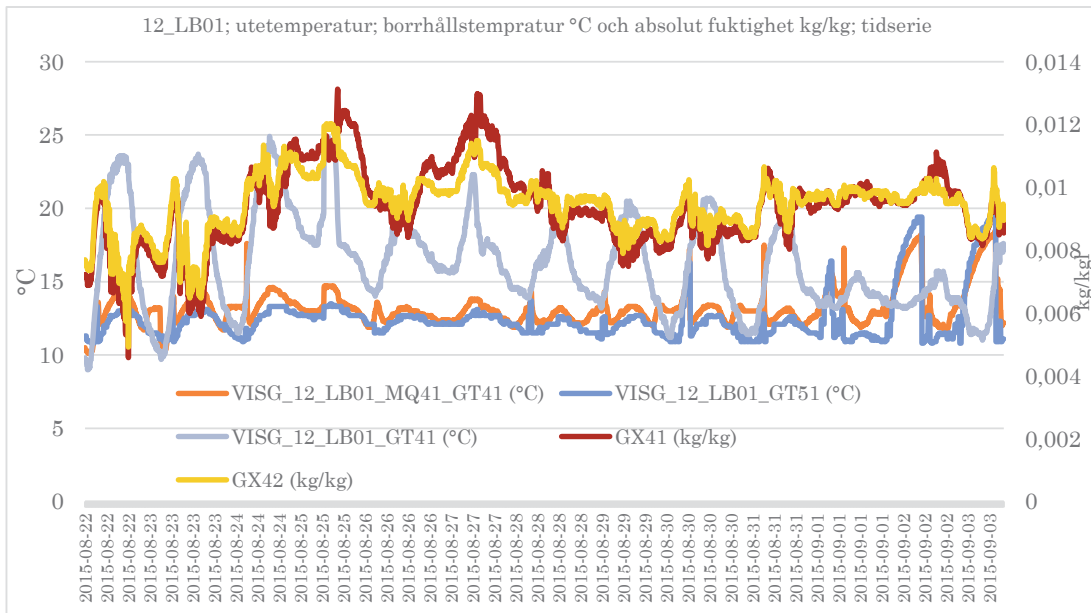
Hur avluftstemperaturen, GT44, varierar med utetemperatur och att GT44 i 12\_LB01 är lägre än i 16\_LB01 visas i figur 24. Något oförklarad har hänt med styrningen av avfrostningen under korta stunder (14 och 15 jan) när avluftstemperaturen, GT44, i 16\_LB01 var under  $0^{\circ}\text{C}$ . Detta har inte förekommit någon annan gång. Efter 16 jan var GT44 som låg mellan  $1^{\circ}\text{C}$  och  $2^{\circ}\text{C}$  som är förväntat vid avfrostning.



Figur 24. Uppmät avluftstemperatur GT44 och utetemperatur GT41 under den kalaste perioden.

## 6.6 Avfuktning i förvärmningsbatteriet

Fuktgivare före och efter förvärmningsbatteriet installerades i efterhand. Syftet var att se hur stor avfuktning sker i förvärmningsbatteriet och om det finns någon signifikant energiåtgång för avfuktningen. Relativ fuktighet mättes upp och omvandlades till absolut fuktighet. Figur 25 visar svårigheten att mäta fukthalt med vanliga relativfuktighets givare som används i VVS-branschen. Uppmätt luftfuktighet före och efter batteriet går om varandra. För noggrannare fuktmätning krävs pålitligare och noggrannare givare.

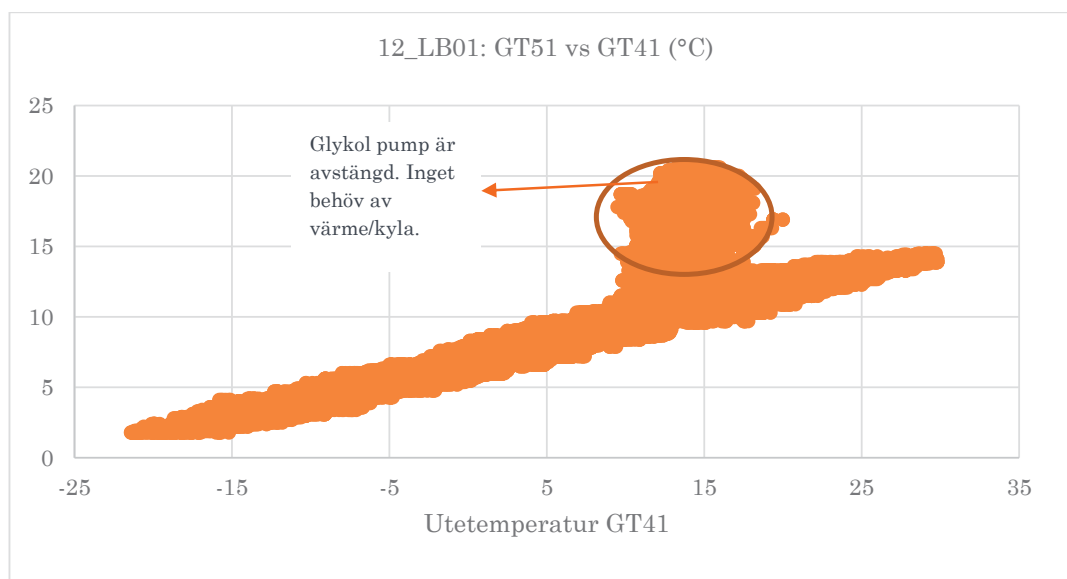


Figur 25. Uppmätt luftfuktighet före och efter förvärmningsbatteri.

Uppmätt fuktighet före, GX41, respektive efter GX42, förvärmningsbatteriet är uppmätta under 10 dagar sent i augusti 2015. Figur 25 visar att det inte sker någon signifikant avfuktning även vid höga utetemperaturer (GT41) och låga borrhålstemperatur (GT51). Avfuktningen har inte någon stor påverkan.

## 7 BORRHÅLSTEMPERATUR

Borrhålstemperaturen varierar med utetemperaturen. Om det är kallare ute blir det kallare i borrhålet. Genomsnittstemperatur från borrhålet under den uppmätta perioden juni – jan 2016 (5 minuters upplösning) visas i figur 26. Temperaturen pendlar mellan 1,8°C och 15°C, se figur 26 . När det är som varmast är borrhålstemperaturen fortfarande rätt så låg och bidrar till komfortkylning. Detta syns även i figur 17.



Figur 26 Uppmätta värden i LB\_12, framledning från borrhålet GT51 vs utetemperatur GT41.

## 8 SLUTSATS

Ventilationsaggregatet med förvärmningsbatteriet 12\_LB01 har klarat sig undan avfrostningscyklar förutom några få tillfälle som har förekommit när det har varit som kallast, mellan -15°C och som lägst -21°C. Värmeåtervinningen var strax under 80% förutom vid avfrostningarna.

I ventilationsaggregatet utan förvärmningsbatteriet 16\_LB01 har avfrostningarna kommit när utetemperaturen var ca -5°C och lägre. En konsekvens av detta var att VÅV temperaturverkningsgraden minskade från ca 80% till mellan 30% och 60%. När avfrostningen startar, tilluftens bypass öppnar, sjunker tilluftstemperaturen och eftervärmningsbatteriets värmeventil öppnar och försöker upprätthålla tilluftens börvärde. När avfrostning upphör då händer omvänd sekvens. Avfrostningens och eftervärmningsbatteriets reglering är inte synkroniserade. Vid dessa tillfällen har tilluftstemperaturen varierat mellan ca 13°C och 23°C samt

orsakat fysiskt slitage av båda styrfunktionerna. På grund av trögheten i ventilationssystemet påverkas troligtvis inte tilluftstemperaturen ut till varje tilluftsdon.

Väldigt positivt med 12\_LB01 under sommar driftfalet är att tilluftstemperaturen håller sig på max 20°C, även vid utetemperaturer på 30°C samt frånluftstemperaturen håller sig på ca 3,5°C lägre än i huset med det konventionella ventilationsaggregatet, 16\_LB01. Inblåsningstemperaturen i 16\_LB01 kan som max vara 29°C och frånluftstemperaturen 28°C. Konventionella bostadsaggregat har vanligtvis inte framdragen kyla och kylbatteri. När som var varmast startar kylåtervinningsfunktion i 16\_LB01. 12\_LB01 levererar behagligt klimat under sommartid samt återladdar borrhålet.

Kallare tilluftstemperaturer, som lägst ca 16 grader, i aggregatet med förvärmningsbatteriet och luftsinblåsning bakom radiatorer har krävt extra radiatorvärme. Frånluften var stabilt på ca 21 °C under hela uppmätta perioden. Konsekvensen var att den totala uppvärmningsenergin blev högre i huset med förvärmningsbatteriet, 38 kWh/m<sup>2</sup> Atemp och 36 kWh/m<sup>2</sup> Atemp i huset med eftervärmningsbatteriet. Båda husen är lika och har den samma tekniska förutsättningar. Solskuggning mot södra fasaden för Visgatan 12, vädring eller andra brukarrelaterade faktorer kan också ha orsakat högre uppvärmningsbehov. Dessa faktorer och deras påverkan har inte studerats i projektet.

Mätning av fukthalt i luften före och efter förvärmningsbatteriet under den varmaste tiden har påvisat att ingen signifikant avfuktning sker i batteriet.

Extra investering i förvärmning av ventilationsluft mha borrhålsvärme har visat sig ekonomiskt olönsam i det här fallet. Högre värmeenergianvändning för Visgatan 12 än i Visgatan 16 har orsakat detta. Andra aspekter som svalare klimat under sommartid, mindre slitage av styrkomponenter och mindre underhåll bör också utvärderas ekonomisk. Detta har inte gjort i denna utredning.

Värmeeffekt sänkningen var ca 6 kW och är något lägre än tänkta 12 kW pga. tillförd värme till radiatorerna. Vid de kallaste tiderna används ofta spetsfjärrvärmeanläggningar med fossila bränslen vilka har störst påverkan både på miljön och fjärrvärmepriset.

Ett alternativ för inblåsning bakom radiatorer genom förvärmning- och eftervärmningsbatteri i ett aggregat skulle kunna vara exempelvis alternativ tekniska lösning som i HSB bostadshus i Nacka. Detta skulle kunna undersökas vidare för att se om bättre ekonomi finns vid andra tekniska lösningar.

## REFERENSER

[1] BeBo-utvärdering, Nybyggt flerbostadshus med förvärmning med borrhålsvatten, HSB-FTX geoenergi utan värmepump; Per Kempe och Roland Jonsson, juni 2015

[2] <http://www.sole-ewt.de/>

[3] Luftbehandlingssystem i energiberäkningar, SBUF rapport nr. 12994, Lisa Flawn Orpana