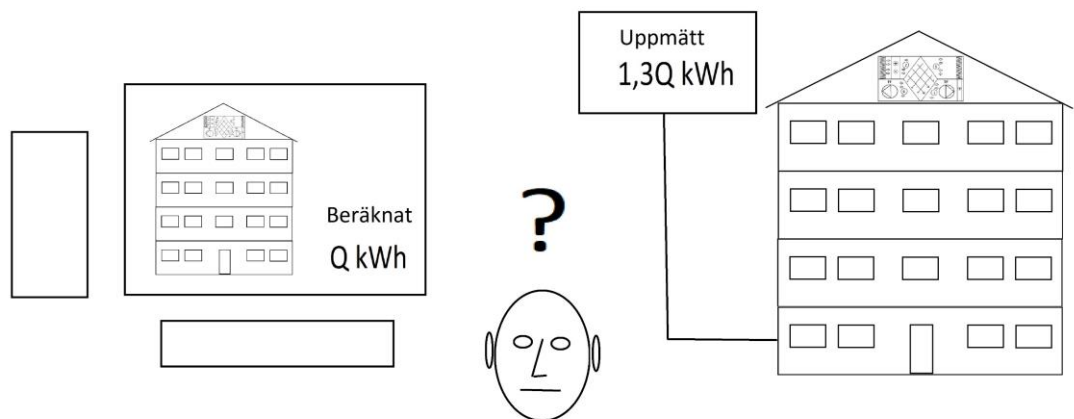


GLAPPET MELLAN PROJEKTERAD OCH UPPMÄTT ENERGIPRESTANDA

Varför och hur minska glappet - felsökning, metoder och arbetssätt



Per Kempe, PE Teknik&Arkitektur AB

2022-03-01

FÖRORD

Ett vanligt problem är det glapp som ofta finns mellan energiberäkningar och uppmätta energianvändning i nya byggnader. Den här rapporten analyserar vad dessa skillnader beror på och deras storleksordning. Syftet är att sprida kunskap om de avvikelser som kan förekomma.

Studien bygger på analyser av avvikelser, kritiska jämförelser av funktioner i installationssystem med stöd av mätdata samt annan relevant information och några platsbesök. Under studiens gång har diskussioner förts med intressenter såsom fastighetsägare, driftpersonal, konsulter, entreprenörer och tillverkare samt Teams-workshops har genomförts.

Projektledare och huvudsaklig utförare: Tekn.dr. Per Kempe, PE Teknik & Arkitektur AB
Granskning Klimatskärmkontroller: Universitetslektor Kjartan Gudmundsson, KTH, Hållbara Byggnader

Styrgrupp

Birgitta Govén / NN, Byggföretagen ¹⁾	Hans Söderström, Installatörsföretagen
Kjell-Åke Henriksson, JM	Åsa Wahlström, CIT Energy Management
Per Kempe, PE Teknik & Arkitektur AB	

Referensgrupp

Kjell-Åke Henriksson, JM	Birgitta Govén / NN, Byggföretagen ¹⁾
Fanny Stoltz, NCC	Helen Aristondo Magnusson, Installatörsföretagen
Branko Simanic, Skanska	Lotta Bångens, Energieffektiviseringsföretagen
Kenneth Lantz, Viktor Hansson AB	Göran Werner, Koordinator BeBo
Yasin Elobeid, Byggvesta AB	Per-Erik Nilsson, Koordinator BELOK
Adnan Ploskic, Bravida	Åsa Wahlström, Koordinator LÅGAN
Aner Vehabovic, Caverion	Per Levin, Projektledare Sveby

1) Birgitta Govén var med i diskussionerna i början av sommaren

Stort tack till SBUF och LÅGAN som finansierat projektet.
Saint Gobain som bidragit med Klimatskärmkontroller,
fastighetsägare som bidragit med information, mätdata, diskussioner och deltagande i workshops, med andra medlemmar från BeBo, BELOK, LÅGAN och Energimyndigheten.
Konsulter som bidragit med detaljer om energiberäkningar, brandkrav, etcetera.
Leverantörer som bidragit med information om hur man uppfyller olika krav, tillverkar och handskas med prefabelement samt vilka köldbryggor som därav kan erhållas.
Slutligen tack till styrgruppen och referensgruppen som bidragit med teknikdiskussioner samt hur man på bästa sätt bör nivåanpassa, dokumentera samt föra ut kunskaperna i branschen.

Danderyd februari 2022
Per Kempe
PE Teknik & Arkitektur AB

SAMMANFATTNING

Det finns ett flertal utvärderingar som visar på att många energieffektiva byggnader använder mer eller mycket mer energi än beräknat vid projekteringen. Projektet syftar till att öka branschens kunskap om komplexiteten i installationerna, hur de samverkar med byggnaden och hur dessa detaljer påverkar energianvändningen, samt att *belysa vanliga fel och bristers betydelse för energianvändningen*. För detta ändamål kommer en erfarenhetsdatabas byggas upp på LÅGANs hemsida, som BeBo och BELOK hänvisar/länkar till.

Projektet syftar även till att öka kunskapen i branschen om metoder för *bestämning av förluster måste anpassas till vilka energikrav som byggnaden ska uppfylla*.

Relationsenergiberäkningen med månadsenergier för byggnadens delsystem är den energiberäkning som driftavdelningen månadsvis kan jämföra normaliserad uppmätt energianvändning för byggnadens olika delsystem med. Det är således viktigt att månadsenergierna korrigeras för brukarpåverkan (hushållsel/ verksamhetsel, varmvattenanvändning samt medelinnnetemperatur) månadsvis.

Fuktalstringen i bostäder är viktig för avfrostningsbehov för FTX-systemen under vintern, men frånluftens relativa fuktighet mäts bara i fåtal ventilationsaggregat i flerbostadshus. Bostäder med hög fuktalstring på grund av matlagning, tvätt, personlig hygien med mera får en högre relativ fukthalt i frånluften och kommer därmed att få mer kondensering i värmeåtervinningen, när utetemperaturen går mot 0°C. När inkommande utelufts temperaturer blir några minusgrader, så fryser kondensen i värmeväxlaren och efter ett tag behövs avfrostning. Några av de analyserade ventilationsaggregaten låg i kontinuerlig avfrostning när det var kallt ute med mycket stort eftervärmningsbehov. Avfrostning och dess påverkan på ventilationens energianvändning varierar mellan olika tillverkare/ avfrostningsmetoder samt vissa avfrostningsmetoder ändrar tilluftsflödet/ luftflödesbalansen, så att ett värmebehov läggs på lägenheterna.

Luftflödesbalans i lägenheterna och ventilationsaggregatet är väsentligt för byggnadens energianvändning och är beroende på kvalitén/ noggrannheten i luftflödesmätningarna och injusteringen av ventilationssystemet.

Ventilationskanaler och VV/VVC-rör kan ha stora förluster om man inte i tidiga skeden har aktivt arbetat med att minimera värmeförluster från dessa system.

Köldbryggor i helprefab av betongelement med låga U-mittvärden kan bli stora för att uppfylla krav kring brand, fukt, slagregn, med mera. Två stora köldbryggor är runt fönstren på grund av att mineralull krävs för skydd mot brandspridning, men även balkonginfästningar kan ha relativt stora kölsbryggor.

Även injustering, driftsättning samt styrproblem kan påverka byggnadens energianvändning relativt mycket.

I de redovisade analyserna på värmepumpar så har dessa dels haft driftproblem, så att endast spetsvärme använts. Men även i mycket energieffektiva byggnader där de producerar både värme och varmvatten, så har många fått problem då ackumulatortankar har haft för dålig kapacitet och varmvatten är prioriterat. Detta har lett till effektbrist för eftervärmningsbatterierna när framledningstemperaturen faller (varmvatten prioriterat) och då speciellt vid avfrostning.

Lokalbyggnader har i grunden liknande problem som flerbostadshus. Byggnaderna har ofta fler styrproblem, då det finns fler styrningar och anpassningar till olika hyresgästers verksamhetstider.

Det är viktigt att installationssystemen är projekterade så att det enkelt går att mäta respektive delsystems energianvändning. Det rekommenderar starkt att man följer Sveby mätanvisningar för att få ett stöd i vad som behöver mätas, vad som är BBR-energier samt att man även mäter brukarpåverkan.

Därutöver är det viktigt att mäta och analysera installationssystemens funktion och energianvändning och jämföra med vad som är projekterat / tänkt.

Många fastighetsägare inser att en aktiv driftuppföljning av deras byggnader är viktig, men de hinner inte med, då de inte har tillräckligt med tid och resurser eller kunskap om installationernas komplexitet och hur olika delar påverkar varandra.

INNEHÅLL

FÖRKORTNINGAR OCH BETECKNINGAR	6
INLEDNING	7
1.1. BAKGRUND	7
1.2. SYFTE OCH MÅL	8
1.3. GENOMFÖRANDE	9
2. BYGGNADERS ENERGIANVÄNDNING	10
2.1. ENERGIANVÄNDNING I ENERGIEFFEKTIVA FLERBOSTADSHUS	11
2.2. ENERGIANVÄNDNING I ENERGIEFFEKTIVA KONTOR	12
2.3. BYGGNADENS ENERGIBERÄKNINGAR	13
2.4. RELATIONSENERGIBERÄKNINGAR	16
2.5. DRIFT- OCH ENERGIUPPFÖLJNING	17
3. BETYDELSEN AV AVVIKELSER	19
3.1. FUKTALSTRING I BOSTÄDER	19
3.2. LUFTFLÖDESBALANSENS BETYDELSE FÖR BYGGNADENS ENERGIANVÄNDNING	23
3.3. INTERNLASTERS OCH LUFTFLÖDESBALANSENS BETYDELSE FÖR ENERGIANVÄNDNINGEN	26
3.4. VENTILATIONSÅTERVINNINGEN VERKNINGSGRAD PÅVERKAS AV LUFTFLÖDESBALANSEN	28
3.5. LUFTFUKTENS BETYDELSE FÖR VÄRMEÅTERVINNINGEN UNDER VINTERN	30
3.6. VÄRMEFÖRLUSTER FRÅN KANALER OCH RÖR	38
3.7. KÖLDBRYGGOR	39
3.8. INJUSTERING OCH DRIFTSÄTTNINGENS BETYDELSE	41
3.9. STYRPROBLEM	42
3.10. SAMMANFATTNING AV AVVIKELSERNAS ENERGIBETYDELSE	44
4. KLIMATSKÄRMSKONTROLLER	47
4.1. KORT BESKRIVNING AV QUB/E-METODEN	47
4.2. SAMMANFATTNING FRÅN DE FEM KLIMATSKÄRMSKONTROLLERNA	48
4.2.1. Objekt 1	49
4.2.2. Objekt 2	49
4.2.3. Objekt 3	50
4.2.4. Objekt 4	50
4.2.5. Objekt 5	51
4.3. SLUTSATSER FRÅN KLIMATSSKÄRMSKONTROLLER	53
5. ENERGIANVÄNDNING VID KALLT VINTERVÄDER	54
5.1. AVFROSTNING AV FTX-SYSTEM I BOSTÄDER	55
5.1.1. Ventilationsaggregat A	57
5.1.2. Ventilationsaggregat B	58
5.1.3. Ventilationsaggregat C	59
5.1.4. Ventilationsaggregat D och E	60

5.1.5.	<i>Ventilationsaggregat F</i>	61
5.1.6.	<i>Ventilationsaggregat G</i>	62
5.1.7.	<i>Ventilationsaggregat H</i>	63
5.1.8.	<i>Aggregat I, J, K och L</i>	64
5.1.9.	<i>Ventilationsaggregat M</i>	65
5.1.10.	<i>Ventilationsaggregat N - Normal drift</i>	66
5.2.	VÄRMEPUMPSYSTEM MED DRIFTPROBLEM	67
6.	FELDIMENSIONERADE INSTALLATIONSSYSTEM	70
7.	VANLIGT FÖREKOMMANDE FEL OCH BRISTER	74
8.	ERFORDERLIGA MÄTNINGAR	75
8.1.	DELSYSTEMS MÅNADSENERGIER	75
8.2.	SVEBY MÄTANVISNINGAR.....	76
8.3.	ENERGIMÄTNING I FLERBOSTADSHUS SOM DELAR PÅ UNDERCENTRAL	77
8.4.	DETALJANALYSER	77
8.5.	DRIFT- OCH ENERGIUPPFÖLJNING HOS FASTIGHETSÄGARE	78
9.	SLUTSATSER	79
10.	FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE	80
	REFERENSER	81
	BILAGA 1 RAPPORT FÖR KLIMATSKÄRMSKONTROLL OBJEKT 2	83

Förkortningar och beteckningar

Aom	Byggnadens area mot uteluften
Atemp	Tempererad area. Arean av samtliga våningsplan för temperatur-reglerade utrymmen, avsedda att värmas till mer än 10°C, som begränsas av klimatskärmens insida.
BBR	Boverkets Byggregler
BeBo	Energimyndighetens beställarnätverk för energieffektiva bostäder
Belok	Energimyndighetens beställarnätverk för energieffektiva lokalbyggnader
crr	Thermal capacity ratio. Parameter för att beräkna värmeväxlare
Eff	Effektivitet för värmeväxlare
FrånluftsRF	Frånluftens fuktinnehåll
Fastighetsel	Kallas även byggnadens driftel. El som används för att driva de tekniska systemen i fastigheten/ byggnaden (fläktar, pumpar, hissar, belysning med mera) Sveby ordlista 2012
FTX	Från och tilluftsventilation med värmeåtervinning
kvs	Ventils flödeskapacitet i m ³ /timme vid 1 bars differenstryck
LÅGAN	LÅGAN är ett samarbete mellan Byggföretagen, Energimyndigheten, Boverket, Västra Götalandsregionen, byggtreprenörer, byggherrar och konsulter
NTU	Number of heat Transfer Units Parameter för att beräkna värmeväxlare
Qläck	Totala läckluftsflödet (l/s)
RF	Relativ fuktighet
SABO	Sveriges Allmännyttiga Bostadsföretag ändrade 2019 namn till Sveriges Allmännytta
SBUF	Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond
Tavl	Avluftstemperatur
Tefv	Temperatur efter förvärmare
Tevvx	Temperatur efter värmeväxlaren på tilluftssidan
Ttill	Tilluftstemperatur
Tute	Utomhustemperatur
VV	Varmvatten
VVC	Varmvattencirkulation
VVX	Värmeväxlare

Inledning

1.1. Bakgrund

Två utvärderingar, som presenterade 2018, visade att endast 25 procent av energieffektiva flerbostadshus och lokalbyggnader uppfyller sin beräknade energianvändning medan resterande använder mer eller mycket mer energi. Utvärderingarna är:

- *Utvärdering av lågenergibygnader – Fallstudie 2017*. Redovisning för regeringen av Boverket och Energimyndigheten uppdrag Kontrollstation 2015 och Demonstrationsprojektet. Där 75 procent av byggnaderna använder mer eller mycket mer energi än beräknat. I projekten utvärderades 45 byggnader vars beräknade energianvändning skulle vara minst 25 procent lägre än kraven i BBR19 respektive BBR22, jämnt fördelat mellan, lokaler, flerbostadshus och småhus. En tredjedel av dessa uteslöts då de enligt uppmätt energianvändning inte var lågenergibygnader.
- *Energiprestanda i SABO Kombohus BAS 2015-2017*. I projektet har 46 av SABO Kombohus Bas analyserats och där visar bland annat resultaten för fjärrvärmehus i medeltal en uppmätt normerad energiprestanda på 77 kWh/m²Atemp och år, där den beräknade i medel är 57 kWh/m²Atemp och år.

Att den beräknade energianvändningen inte uppnås skapar problem i branschen och minskar samhällets möjligheter att uppnå klimatmålen.

I en nyligen avslutad BeBo/SBUF/KTH-Förstudie *Analyser av energieffektiva flerbostadshus funktioner och energianvändning* har kontroll och översiktlig genomgång av 16 flerbostadshusprojekt genomförts med fokus på följande: Förutsättningar för mätning och loggning; tillgång till systemdokumentation; energiberäkningar; mätdata samt viss analys av mätdata. I studien framkom många brister hos byggnaderna, vilka hade tillkommit i olika delar av byggprocessen. En noggrannare undersökning som denna studie innebär behövs således för att

- dels kvantifiera bristerna med avseende på energianvändning,
- dels förbättra kunskapen om hur dessa brister har uppstått så att de kan undvikas i framtida byggprojekt.

Energiberäkningar är ideala beräkningar och ofta ”hårt optimerade” för att erhålla önskad beräknad energiprestanda. Förluster från rör- och kanalsystem antas ofta som schablonvärden, med ibland bristande verklighetsförankring. Vissa energieffektiva system och funktioner kan vara svåra att modellera i energiberäkningsprogrammen samt att styrningar ofta är idealiserade. Det finns därför en risk att fel/ avvikelser i beräknad energianvändning erhålls. Det är även vanligt med brist i produktionen (utförande, injustering, driftsättning) samt drift och skötsel, som också kan påverka uppmätt energiprestanda.

I mycket energieffektiva byggnader krävs därför hög kunskap om dessa typer av byggnader, deras installationssystem och hur de samverkar. Kunskap behöver finnas med i

hela byggprocessen, från tidiga skeden tills byggnad är i drift, för att det ska finnas en möjlighet att erhålla de funktioner och energiprestanda som önskas.

Relationsenergiberäkningar med indataparametrar från hur byggnaden slutligen uppfördes, är den enda energiberäkningen man kan jämföra byggnadens uppmätta energianvändning med. Tyvärr tas inte relationsberäkningar fram i tillräcklig omfattning. I förstudien var det endast 40 procent av de studerade projekten som hade relationsenergiberäkning med en lite större andel på de senaste projekten. Detta för att först under senare år blivit vanligare att begära relationsenergiberäkning av entreprenören. Jämförelser mellan delsystems uppmätta energianvändning med relationsenergiberäkningens energier för delsystemen ger möjlighet till erfarenhetsåterföring om hur den energieffektiva byggnaden fungerar i verkligheten.

I sammanhanget behöver man även beakta att för 15 – 20 år sedan kunde värmeanvändningen vara upp mot fyra gånger högre än idag och sådant man kunde försumma då måste man ta hänsyn till i dagens energieffektiva byggnader. Det finns en del av dagens olika dokumentationer/ branschpraxis, som ännu inte är uppdaterade för energieffektiva byggnader. För att energieffektiva byggnader i större omfattning ska erhålla den önskade energiprestandan krävs idag en högre kunskap av alla aktörer genom hela byggprocessen om energieffektiva byggnader.

1.2. Syfte och Mål

Syftet är att

- *Öka branschens kunskap om viktiga detaljer i energieffektiva byggnader*, så det används i nya projekt. De senaste 30 åren har en mängd olika utvärderingar pekats på brister, men i byggprojekt tas uppenbarligen inte tillräckligt stor hänsyn till dessa.
- Ge kunskap om att mäta *rätt saker* i byggnaden för att kunna verifiera funktion, energianvändning samt brukarpåverkan. Mätningarna ska vara möjliga att jämföra med beräknade förutsättningar och resultat (månadsenergier) i relationsenergiberäkningen.
- Ge insikt om att metoder och arbetssätt behöver anpassas till energieffektiva byggnader för att öka möjligheter att de blir så bra/ energieffektiva som önskat/ projekterat.

Målet är att

- Ta fram underlag för kunskapssammanställning på LÅGAN, BeBo och BELOK hemsidor med vanliga fel och brister i energieffektiva byggnader med kort beskrivning av felet/ avvikelserna och dess betydelse för funktion och energianvändning.
- Motivera till att fler använder Sveby-mätanvisningar.
- Motivera till upprepade beräkningar när det finns data så att schabloner kan minskas under processen – att använda Sveby Energiverifikat.
- Sprida kunskap om problematiken via presentationer, artiklar, inlägg, etcetera.

- Ta fram underlag för fortsatt huvudstudie där vunna kunskaper kan testas i praktiska exempel.

1.3. Genomförande

Projektet genomfördes i fem delar:

1. Projektet har tagit fram exempel till en kunskapssammanställning/"databas", för flerbostadshus respektive lokalbyggnader, innehållande vanligt förekommande fel och avvikelser i nya energieffektiva byggnader med energi-, funktion- och inneklimatbetydelse. Uppgifter som sammanställs kommer att vara anonymiserade. För att få fram underlag till sammanställningen genomförs en workshop med huvudsakligen fastighetsägare och entreprenörer från LÅGAN, BeBo, BELOK. Där diskuteras nytta, format och egna bidrag till för utveckling av sammanställning.
2. Många byggnader har fått problem under januari och februari 2021 med en kraftig ökning i energianvändning, när det varit kallt ute. Analyser genomförs för att se vad det är som bidrar till den kraftigt ökade energianvändningen vid kall väderlek.
 - Är byggnadens värmeförluster felberäknade, så att värmepumpar behöver mycket spetsvärme? Total studerades värmepumpar i 10 byggnader.
 - Erhåller ventilationsaggregat kraftigt ökat behov av avfrostning och därmed eftervärme (särskilt i hotell och bostäder)? Detaljerad analys av 60+ ventilationsaggregat av skiftande fabrikat från 10 fastighetsägare, som skickade mätdata och driftbilder/ driftkort eller där mätdata och information kunde hämtas från rekommenderade byggnader i deras system.
3. Workshops med olika aktörer (bland annat entreprenörer, beställare och driftansvariga) i branschen för att diskutera hur det kan säkerställas att mätningar fungerar efter slutbesiktningen och de flesta fel/avvikelser avhjälpas under det första året efter slutbesiktning. På så sätt kan man erhålla 12 mån (år två) med "korrekt funktion" och projekterad energianvändning innan garantibesiktning. Dessa genomfördes i samverkan med LÅGAN, BeBo och BELOK.
4. Flerbostadshus: Detaljanalys på fyra av projekten från BeBo/SBUF-förstudien kunde inte genomföras samordnat på grund av pandemin utan man fick ta de byggnader och lägenheter som man kunde få tillträde till. För att öka detaljförståelsen har teoretiska analyser genomförts för olika avvikelser. Intervjuer med entreprenörer, installatörer, konsulter, tillverkare, med flera som varit inblandade i projekten.
5. Lokalbyggnader: BELOK-medlemmar har uttryckt frustration över att installations-system blir feldimensionerade. Projektet samlar in information från och genomför intervjuer med BELOK medlemmar. Vad innebär avvikelserna och vilken energibetydelse de får analyseras. Erfarenheter från drift- och energiuppföljning av lokalfastigheter dokumenteras.
6. Projektet slutrapporteras via en slutrapport samt en populärvetenskaplig artikel för att sprida kunskap om viktiga detaljer i energieffektiva byggnader. Projektet kommer även presenteras för LÅGAN, Energimyndigheten, BeBo/BELOK, med flera.

2. Byggnaders energianvändning

Beräkningar av byggnaders energianvändning delas upp i: värme, varmvatten (standardiserat brukande), kyla (främst kontorsbyggnader) samt fastighetsel/ byggnadens driftel (el till fläktar, pumpar, hissar, trapphusbelysning med mera).

Därutöver använder brukarna/ hyresgästerna energi bland annat el (hushållsel/ verksamhetsel/ processel) och processkyla. I flerbostadshus finns även gemensam hushållsel till exempel tvättstuga, hyresgästlokal, gym, bastu och övrig elanvändning som gårdsbelysning, elmotorvärmare och elbilsladdning.

Det innebär att inför projektering av nya projekt gäller det att ha tänkt igenom och strukturerat upp installationssystemens (värme, kyla, el, varmvatten) och mätsystemens systembyggnad, så att det är enkelt att mäta respektive energianvändning samt följa upp och normera den för att visa om byggnaden uppfyller energikraven. I Sveby Mätanvisningar 2.0 finns principfigurer och information om hur mätningarna bör struktureras och genomföras (Sveby 2020).

Vidareleverans av värme, el, kyla och varmvatten från byggnaden ska mätas och korrigeras för, så att de inte felaktigt redovisas som BBR-energi för den aktuella bygganden.

Boverkets Byggreglerna ställer krav på byggnaders specifika energianvändning och idag är kravet formulerat som ett primärenergital, där olika energislag som används i byggnaden viktas med primärenergifaktorer. I denna rapport används inte geografiska justeringsfaktorer eller primärenergifaktorer för att göra det enklare att följa upp och se skillnader mellan beräknad och uppmätt energianvändning. I rapporten jämförs olika delsystems verkliga funktion/ energianvändning med uppskattad/beräknad användning från teori/ relationsenergiberäkning.

Det blir även vanligare att byggnader skall uppfylla hårdare krav på energianvändningen än Boverkets Byggregler. Exempel på sådana krav är exempelvis exploateringsavtal, miljöcertifiering och investeringsstöd för flerbostadshus. (Som exempel så behöver ett flerbostadshus vara bättre än 80 % av BBR-kravet för att nå Miljöbyggnad silver och 70% för guld. För lokaler gäller 70% för att nå Miljöbyggnad silver och 60% för guld.)

När kraven är hårdare får detaljerna större betydelse, vilket gör det viktigare med ökad noggrannhet i analyserna av olika värmeförluster/detaljer. För att nå önska energiprestanda bör därför INGA schablonvärden användas utöver vädringspåslaget.

Ett exempel kan hämtas från en byggnads VVC-förluster. Förlusterna varierar i storlek mellan punkt- och lamellhus, då de har olika design av VV/VVC-systemet. I lamellhus behöver VV/VVC-ledningar dras i sida för att ansluta till alla VV/VVC-schakt. Då källare numera är mindre vanligt förekommande och i källarlösa byggnader behöver VV/VVC-ledningarna dras under bottenplattan med många löpmeter rör för att skarvfritt dra rören under plattan. Det är även lägre temperatur i marken än inomhus. Ett lamellhus utan källare kan därför ha mer än dubbelt så höga VVC-förluster än ett punkthus. Dessutom kan bygganden inte tillgodogöra sig VVC-förlusterna som uppkommer under plattan. Därför måste man redan i idé-skedet ta hänsyn till VV/VVC-systemets uppbyggnad.

Detsamma gäller placering av och storlek på fläktrum, som kommer att påverka värmeförlusterna från bland annat utelufts- och avluftskanaler. Placeringen påverkar även storlek på schakt för dessa kanaler samt möjligheter att mäta upp och justera in luftflöden till och från lägenheterna, för att minska ventilationens värmeförluster. Men även valet av stomsystem med förberedelser för fönstermontage, där olika stomleverantörer har olika lösningar för att uppfylla krav kring brand, fukt, slagregn, med mera, vilket påverkar köldbryggorna.

Om man inte tar hänsyn till de ovan listade faktorerna redan i tidiga skeden av projektering ökas risken för att byggnaden inte kommer att kunna uppfylla ställda energikrav.

I energieffektiva byggnader får även brukarna stor påverkan på byggnadens slutgiltiga energianvändning. Därför behöver man åtminstone månadsvis redovisa brukarnas påverkan genom summa använd hushållsel, medeltemperatur, varmvattenanvändning för att kunna korrigera värmeanvändningen för avvikande brukarpåverkan utöver uteklimat. Det är således väsentligt att mätning av dessa fungerar från slutbesiktningen, så BEN-normeringar kan utföras för brukarnas påverkan på byggnadens energianvändning.

2.1. Energianvändning i energieffektiva flerbostadshus

Flerbostadshus med hög energieffektivitet, köpt 55 kWh/m²A_{temp} och år erhåller ungefär följande fördelning på delsystemen varmvatten, fastighetsel och värme:

- Varmvatten (standardiserat brukande, BEN/ Sveby) är 25 kWh/m²A_{temp} och år alternativt $0,9 \cdot 25 = 22,5$ kWh/ m²A_{temp} och år om A-klassade blandare.
- Fastighetsel ca 10 kWh/ m²A_{temp} och år varav ca hälften är fläktel.
- Kvarstår till värme 22,5 kWh/ m²A_{temp} och år (varav icke tillgodogjord VVC-förlust är någon kWh/ m²A_{temp} och år, vädring 4 kWh/ m²A_{temp} och år samt säkerhetsmarginal på energiberäkningen, där många använder runt 10 %.

Egenproducerade energi ger bidrag till byggnadens delsystem och medför att något mer värme kan användas i byggnaden och fortfarande uppfylla köpt energi 55 kWh/m²A_{temp} och år. Solceller kan bidra med el som direkt kan nyttjas till fastighetsel. Solfångare och avloppsvärmeväxlare kan ge bidrag till främst varmvattenenergin om de erhåller en korrekt funktion i flerbostadshuset.

I energieffektiva byggnader måste höga krav ställas på kvalitetssäkring genom hela byggprocessen, från tidiga idéskisser till byggnad är i drift. Annars finns risk för en kraftig ökning av värmeanvändningen jämfört med projekterade värden.

Störst möjlighet till påverkan finns i tidiga skeden av projektering eftersom det ofta blir dyrt att åtgärda i efterhand. Det gäller exempelvis utformning av byggnaden (formfaktor, köldbryggor), utformning av lägenheter (våta och torra rum, möjligheter att komma fram med tilluftssystem i lägenheterna), schaktplaceringar (löpmeter VV/VVC-rör - VVC-förluster samt risk för oavsiktlig uppvärmning av kallvatten), placering av fläktrum

(värmeförluster ute-/avluftskanaler), förutsättningar för luftflödesmätning, med mera. Vidare är det viktigt med uppbyggnad av system, produktval, montage, injustering, drift och skötsel, mätning, energiuppföljning samt korrigeringsåtgärder för brukarpåverkan, etcetera.

Särskilt måste förluster från alla rör- och kanalsystem med en temperatur som avviker från omgivningen analyseras. Dessutom handlar ventilationen mycket energi. Därför är det viktigt med korrekta luftflödesbalanser för alla lägenheter och i ventilationsaggregatet samt hur värmeåtervinningen inklusive avfrostning fungerar.

Dessutom bör all vidareleverans av värme och liknande från byggnaden mätas, så att den kan dras av och inte felaktigt redovisas som BBR-energi för den aktuella bygganden.

2.2. Energianvändning i energieffektiva kontor

Kontorsbyggnad med hög energieffektivitet har ungefär följande fördelning på delsystemen värme, kyla, varmvatten och fastighetsel:

- Värme är i storleksordningen 25 kWh/ m²Atemp och år
- Kyla är i storleksordningen 15 kWh/ m²Atemp och år
- Varmvatten (standardiserat brukande, BEN/ Sveby) är 2 kWh/ m²Atemp och år
- Fastighetsel är i storleksordningen 15 kWh/ m²Atemp och år

Egenproducerade energi ger bidrag till byggnadens delsystem och medför att det blir enklare att uppfylla energikrav för kontorsbyggnaden.

I värmepesten för kontor påverkas av VVC-förluster som är beroende på VV/VVC-systemets utformning, men även behovet av värme för att erhålla rätt temperatur på tilluften under uppvärmningssäsongen. Här är även ventilationens drifttider viktig, som bör var några timmar längre än verksamhetstiden. Ventilationen bör starta åtminstone en timme före verksamheten påbörjas i byggnaden, för att bland annat vädra ut emissioner som avgivits under natten. Sedan bör ventilationen vara i drift minst en timme efter verksamhetstiden, för att minska koncentrationer av olika ämnen/ dofter i byggnaden. Finns ett behov av att vädra ut exempelvis aerosoler med viruspartiklar ur byggnaden, behöver ventilationen gå minst två timmar (tre luftomsättningar) efter verksamhetstiden. Denna utökade drift av ventilationen innebär att mer fläktel behövs, men även kyla under varma somrardagar. Till viss del kompenseras detta i BBR-kravets ventilationstillägg.

Beroende på hur rumsklimatet styrs i byggnaden finns olika stor risk för samtidig värmning och kylning i byggnaden. Exempelvis finns det många möjligheter att närbelägna rum/zoner använder värme och kyla samtidigt, då det ofta förekommer att de står på max värme eller max kyla sedan tidigare brukare har justerat efter sina önskemål.

Liknande gäller för rörsystemet till kylbafflar utanför ventilationens drifttid om man inte har justerat dess drifttid eller temperaturnivå för köldbärarsystemet. Under uppvärmningssäsong kommer kylförlusterna att ge ett lika stort värmebehov i byggnaden. Om man justerar driftförutsättningarna för kylbärarsystemet är det viktigt att tänka på att låta köldbärarsystemet succesivt återta temperatur och flöden under första drifttimmen innan verksamheten startar, för att reducera uppkomsten av effekttopp när

kylbärartemperaturen ska återta sina börvärden. Samma problem kan erhållas för golvvärmesystem om det är avslaget en lägre tid har hamnat en bit från sitt normala driftläge.

Processkyla till exempelvis ett serverrum ska ofta vara i kontinuerlig drift och kan ha andra temperaturnivåer än vad komfortkylan har. Här är det också viktigt att kunna särskilja processkylan (ej BBR-energi) från komfortkylan, som är del i byggnadens energianvändning.

Markvärme brukar finnas utanför entréer och garageinfarter och är inte en del av byggnadens energianvändning. Den bör därför mätas separat, så att den kan dras bort från värmeanvändningen.

Dessutom bör all vidareleverans av värme och liknande från byggnaden mätas, så att den kan dras av och inte felaktigt redovisas som BBR-energi för den aktuella bygganden.

Sedan finns ett behov av att kunna anpassa driften av installationssystemen (främst ventilationen) på olika våningsplan och för olika hyresgäster, då de kan ha olika verksamhetstider. En hyresgäst kan ha normal verksamhetstid 7–18, medan en annan är ett callcenter med verksamhetstiden 6–23.

2.3. Byggnadens energiberäkningar

Byggnadsenergiberäkningar är bra och viktiga verktyg för att jämföra olika systemlösningar samt att ta fram uppskattningar av vilken energianvändning som den färdiga byggnaden kan erhålla om allt utförs som tänkt. Energiberäkningar är ideala och utgår från att allt fungerar idealt/ som tänkt. Beräkningarna bygger på energibalanser för olika zoner med internlasterna med mera enligt brukarindata från olika källor till exempel Sveby samt att korrekta underlagsberäkningar är utförda för köldbryggor, värmeförluster från distributionssystem, med mera som används som indata till energiberäkningsprogrammen.

I förstudien *Analyser av energieffektiva flerbostadshus funktioner och energianvändning* (Kempe 2020) utfördes känslighetsanalys för energieffektivt flerbostadshus med rimliga avvikelser för innetemperatur, hushållselanvändning, luftflödesobalans, ventilationens värmeåtervinning, VVC-förluster och förlusterna summerade upp till samma storlek som värmeenergi.

I norra Djurgårdsstaden etapp 2 redovisades 2019 medelenergianvändningen 70 kWh/m²Atemp och år. Räknar man bort varmvattenenergin, som är standardiserat brukande blir värmen och fastighetselen 50 % högre än beräknad energianvändning. Detta trots att man arbetade i tre år med att hamna närmare energiberäkningsresultat. En stor del av avvikelse kan bero på att man inte varit tillräckligt noggrann med att ta fram påverkan på värmen för olika typer av förluster/ avvikelser.

För att undvika felberäkningar behövs utveckling av olika metoder med olika noggrannhetsnivåer beroende på energikrav samt att de verifieras till relationsberäkningen. Då kan erfarenhetsåterföring ges till kommande projekt. Exempelvis skulle erfarenhetssiffror för

VVC-förluster i punkthus kunna vara på formen värmeförlust per löpmeter VV/VVC-schakt med tillägg för dragning på bottenvåning. Då är det enkelt att göra överslagsberäkningar i tidiga skeden för VVC-förluster i liknande punkthus.

I SBUF 12801 ”Undvik fel och fällor med köldbryggor” (Larsson, T. 2015) har man redovisat en bra idé hur man skulle kunna använda olika metoder i olika skeden.

Energi-ambition	Tidigt skede	System-handling	Bygg-handling
<i>BBR</i>	Schablon-/katalogvärden	Katalogvärden	Avstämda katalogvärden
<i>75 % av BBR</i>	Avstämda katalog-/beräknade värden	Beräknade värden	Avstämda beräknade värden
<i>50 % av BBR</i>	Beräknade värden	Avstämda beräknade värden	Avstämda beräknade värden

Figur 2.1 Utdrag ur SBUF 12801 (Larson, T. 2015) – Tabell 4 Exempel på olika metodval beroende på energiambition och skede i ett projekt. Med avstämda värden menas att katalog- och beräknade värden följs upp mot projekterade detaljer.

Energiberäkningarna kan bli mer verklighetsnära om metodiken i figur 2.1 vidareutvecklas så att den blir användbar för andra förluster / extraenergier med förslag på olika metoder / noggrannheten i olika skeden i byggprojekt med olika energiambitioner som eftersträvas i projektet.

Många byggprojekt med energiambitioner att ligga på 60 – 70 procent av kraven i BBR som använder schabloner erhåller stora avvikelser. För att kunna ha en möjlighet att uppfylla energi- och miljökrav måste konsulter bland annat arkitekter i tidiga skeden och byggnadsenergiberäknaren se till att sluta använda olika generella schablonvärden (förutom för vädringsförluster) och nyttja avstämda katalogvärden/ framräknade linje- och punkt-köldbryggor, för tänkt byggsystem eller beräknade värden. Det behöver även ha en återkoppling från följande skeden i byggprocessen på hur väl de olika värdena fungerat, så att de successivt blir bättre och bättre metoder för att bestämma förluster tas fram. Annars är risken att design och layout av byggnaden i tidiga skeden gör att byggnaden inte har möjlighet att bli så energieffektiv som önskas.

Med hänsyn tagen till att energikraven succesivt har skärpts bör mellersta och nedre raden i tabellen från SBUF 12801 (Larsson, T. 2015) bara användas och detta gäller även för att ta hänsyn till andra typer av förluster, som byggnadsenergiberäkningsprogrammen inte tar hänsyn till. Samt kompletteras med relationshandling, då många förlusterna verifieras.

Tabell 2.1 Förslag på metodval att bestämma extra värmeförluster till byggnadens energiberäkningar, mm. (Vidareutvecklad från figur 2.1.)

<i>Energiambition</i>	<i>Tidigt skede</i>	<i>Systemskede</i>	<i>Byggskede</i>	<i>Relationshandling</i>
<i>BBR</i>	Avstämda katalogvärden / Erfarenhetsvärden från likadana byggnader (lpm)	Beräknade värden	Avstämda beräknade värden	Uppmätning av vissa förluster. VVC, luftflöden, avfrostning/ avluftstemperatur
<i>70 % av BBR</i>	Beräknade värden	Avstämda beräknade värden	Avstämda beräknade värden	Uppmätning av vissa förluster. VVC, luftflöden, avfrostning/ avluftstemperatur

Olika typer av förluster man måste ta hänsyn till i energiberäkningsprogram är:

- Köldbryggor främst runt fönster och kanter, balkonginfästningar och loftgångar, eventuella stålpelare samt kantbalken.
- Värmeförluster från distributionsrör (VV/VVC, kyla, värme) samt ventilationskanaler
- Luftflödesbalans, infiltration och undertryck i byggnaden
- Avfrostningsfunktion för FTX främst i bostadsbyggnader

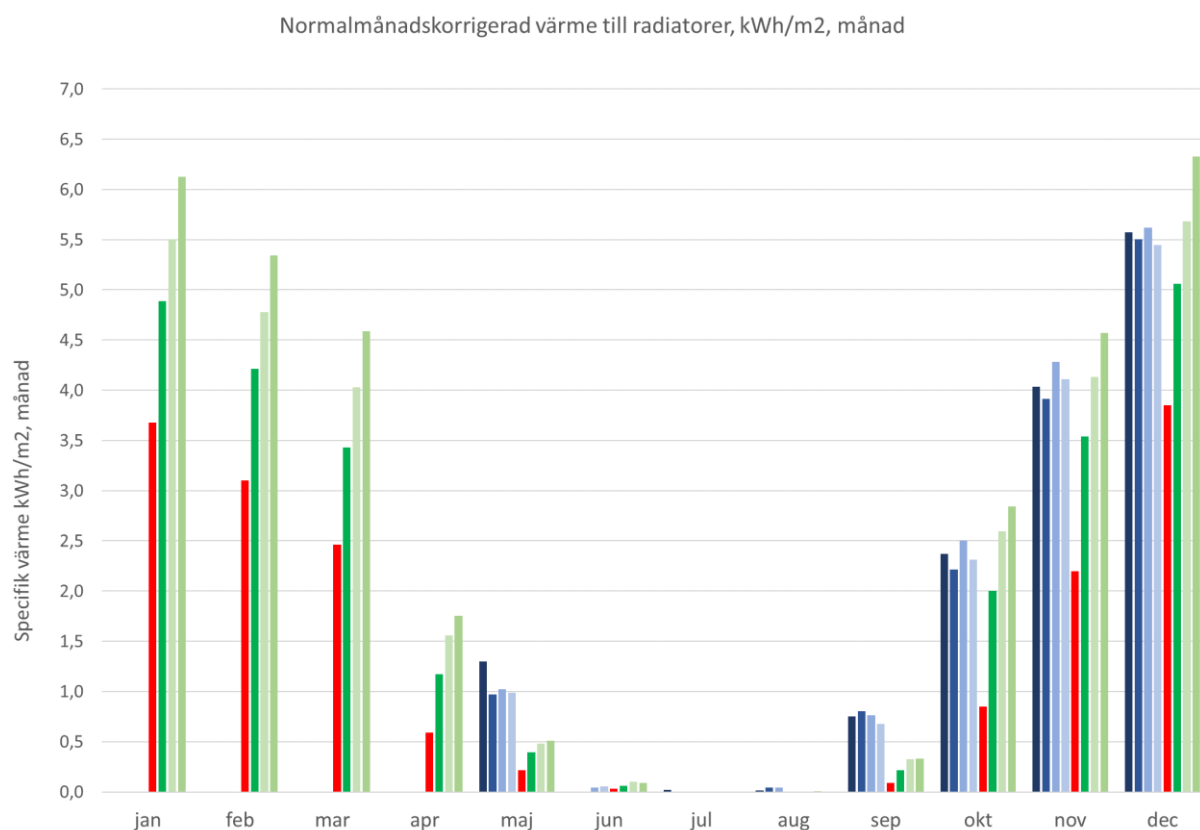
För ett bra resultat behöver man redan i programskedet bestämma funktionskrav och system samt ta fram en första energiberäkning tillsammans med arkitekten, som utformar byggnaden. Därefter utförs åtminstone tre revideringar av energiberäkningen vid tre olika skeden i byggprocessen.

- Systemhandling (SH) – Mer detaljerade utformning, schaktplacering, hur verifiera funktionskrav, etcetera
- Bygghandling (BH) – Handlingar över tekniska systemlösningar för byggnaden, som ska byggas.
- Relationshandling (RH) – Verkligt utförande – Under entreprenaden kan förändringar ske av systemval och produkter samt att det vid driftsättning och injustering blir avvikelser mot projekteringen.

2.4. Relationsenergiberäkningar

Ofta uppdateras inte byggnadernas energiberäkningar till hur det verkligen blev byggt. Det vill säga man tar inte hänsyn till förändringar under byggprocessen av systemval och produkter samt brister i driftsättningen och injustering. Relationsenergiberäkningen ska vara så nära verkligheten som möjligt samt redovisa relevant månadsenergier för byggnadens olika system, för att bli ett bra mål på energianvändning i drift. Detta för att driften ska kunna verifiera att byggnaden fungerar på avsett vis.

Ett sådant arbetssätt används av en fastighetsägare på fyra likadana punkthus, vilka hade inflyttning våren 2021 och energiuppföljningen startade maj 2021.



Figur 2.2 Normalmånadskorrigerad uppmätt värmeanvändning för fyra likadana punkthus, blå staplar, med inflyttning våren 2021 och energiuppföljningen startade maj 2021 och är värmeenergin i relationsenergiberäkningen, röda staplar, samt mörkgröna staplar är med korrekationer för hushållsel (-30%) och innetemperatur (+1,5°C). Den mittersta gröna är med korrektion för VVC-förluster med mera och den gröna stapeln längst till höger är med uppdaterade köldbryggförluster som tidigare var underskattade.

Punkthusen ägs av en ambitiös fastighetsägare som arbetar med att tidigt få kontroll på byggnadens energianvändning samt försöker förstå vad olika avvikelser kan bero på. I figur 2.2 framgår att det är en stor fördel med månadsenergier från relationsenergiberäkningen och detta ger en mycket bra erfarenhetsåterföring om hur byggnaderna fungerar i verkligheten. Det är också fördelaktigt att ha ett bra samarbete med personen/personerna som gjort byggnadsenergiberäkningen, som kan uppdatera energiberäkningen med hur byggnaden brukas/ används samt kontrollera vad olika potentiella avvikelser kan ha för energibetydelse.

Driftansvarig bedömer att flerbostadshusens höga värmeanvändning i maj respektive september i förhållande till relationsenergiberäkningen troligast beror på att de ännu inte har fått ordning på pumpstyrningen för sommarhalvåret.

Det är även en stor fördel med att använda rullande 12-mån uppföljning med BEN-normering utgående från relationsenergiberäkningens månadsvärden för olika delsystem. Dessa jämförs sedan med mätdata, för att tidigt se avvikelser från den tänkta/ projekterade funktionen. Detta arbetssätt ger grunden till felsökning och felavhjälpning. När man har fått ordning på det mesta är det möjligt att uttala sig om vilka säkerhetsmarginaler som erfordras i energiberäkningarna från tidiga skeden i projekteringen, i systemhandling samt i bygghandling.

2.5. Drift- och energiuppföljning

Erfarenheter från många projekt visar att de ofta inte uppfyller förväntad energiprestanda. En orsak till det kan vara att man inte arbetar systematiskt med driftsättning och samordnad funktionsprovning samt inte aktivt börjat med drift- och energiuppföljning från projektets start, systemhandlingen. Detta är speciellt viktigt i mycket energieffektiva byggnader, där små avvikelser relativt sett kommer att ge betydligt större konsekvenser. (Kempe 2016)

Verifiering av önskad energiprestanda och funktionsanalys bör starta redan under projekteringen, där förutsättningarna bestäms för driftoptimeringen. Speciellt viktigt är genomförandet i detalj för framtida verifiering av funktionskrav och energiprestanda. I det ligger var och hur man mäter upp funktion och prestanda samt med vilken noggrannhet. I Sveby mätanvisningar (Sveby 2020) visas vilka energier man bör mäta och deras betjäningsområden för att erhålla en lämplig uppdelning.

I slutet av projekteringen skall samtliga funktioner redovisade i driftkort gemensamt gås igenom med alla discipliner. På så sätt får man kontroll över komplexiteten i systemen. Genomgången görs så att alla funktioner kan verifieras, det kontrolleras att delsystem kan kommunicera med varandra i tillräcklig utsträckning och att inget har blivit bortglömt. Det är viktigt att loggningen av mätdata från byggnadens olika system är i drift före slutbesiktningen, så att besiktningsmannen kan verifiera en del funktioner via mätdata samt att driftoptimering kan starta direkt efter slutbesiktningen. Om mätsystemet inte är en del av slutbesiktningen så är risken stor att det tar mer än sex månader innan mätsystemet fungerar och värdefull tid för driftoptimering försvinner. Byggnadens energiprestanda skall verifieras för en 12-månadsperiod inom 24 månader från

slutbesiktningen. Det betyder att man använder första året för driftoptimering och andra året för verifiering av energiprestandan. I Sveby Energiavtal 21 (Sveby 2021) är även det tredje årets drift viktig.

Det finns åtminstone tre nivåer på drift och energiuppföljning.

1. Energiuppföljning med månadsvärden på fastighetsmätarna: Här kan man bara konstatera vilken energianvändning man erhöll, men man förstår inte varför. Dessa mätare innehåller ofta energier som inte är del av byggnadens energianvändning enligt BEN/ Sveby. Exempelvis: laddning av elbilar, elektriska motorvärmare, gårdsbelysning, tvättstuga som är gemensam hushållsel, vidareleveranser till andra byggnader, markvärme vid entréer och garage.
2. Energiuppföljning på energi till byggnadens delsystem: Har man energiuppföljning på den energi som olika delsystem använder kan man se att ett delsystem använder för mycket eller väldigt lite energi, men troligast inte orsaken.
3. Detaljerad energi- och driftuppföljning: Med en detaljerad energi- och driftuppföljning kan man analysera hur de olika systemen fungerar och jämföra med tänkt/ projekterad funktion samt ge förslag på hur man kan korrigera problemet, som försämrar energiprestandan och installationernas funktion.

Nivå ”2” av drift- och energiuppföljningen skall utgå ifrån relationsenergiberäkningen som ska vara uppdaterad efter verkligt utfall, så den är så nära verkligheten som möjligt. Då blir resultatet ett bra mål för driften och kan användas för att jämföra uppmätta värden mot. Det är en fördel med rullande 12-mån uppföljning med BEN-normering utgående från månadsvärden för olika delsystem vilka jämförs med relationsenergiberäkningen, för att tidigt se avvikelser från den tänkta/ projekterade funktionen. Se figur 2.2.

Om man inte mäter hur de tekniska systemen fungerar så tror och gissar man bara att de har en viss funktion. Om man inte erhåller den energiprestanda man önskar eller som är utlovad i handlingarna, så kan man då bara gissa att det är något inte fungerar som det ska och det kan vara svårt att visa på brist i funktion. Finns mätningar kan man visa att det tekniska systemet har brister och ta diskussion om hur det skall åtgärdas till korrekt funktion.

För att kunna få bättre fungerande installationssystem och energiprestanda behövs mer systemkunskap om installationssystem och kunskap om hur systemen samverkar med byggnaden. Det är viktigt att förstå hur styrningen av installationssystemen och dess börvärden påverkar funktion och byggnadens energiprestanda. Detta är speciellt viktigt för energieffektiva byggnader, där de små detaljerna får en större betydelse.

3. Betydelsen av avvikelser

För att bättre förstå skillnaderna mellan projekterad och uppmätt energianvändning erfordras lite ”teori” om betydelsen för några viktiga detaljer för byggnadernas energianvändning, med avseende på funktion och energianvändning. Dessa är:

- Fuktalstring i bostäder
- Luftflödesbalansens betydelse för byggnadens energianvändning samt tryckvariationer i byggnaden.
- Internlasters betydelse för byggnadens energianvändning
- Ventilationsåtervinningens verkningsgrad påverkas av luftflödesbalansen
- Luftfuktens betydelse för värmeåtervinningen under vintern
- Värmeförluster från kanaler och rör
- Köldbryggor
- Injustering och driftsättning
- Styrproblem

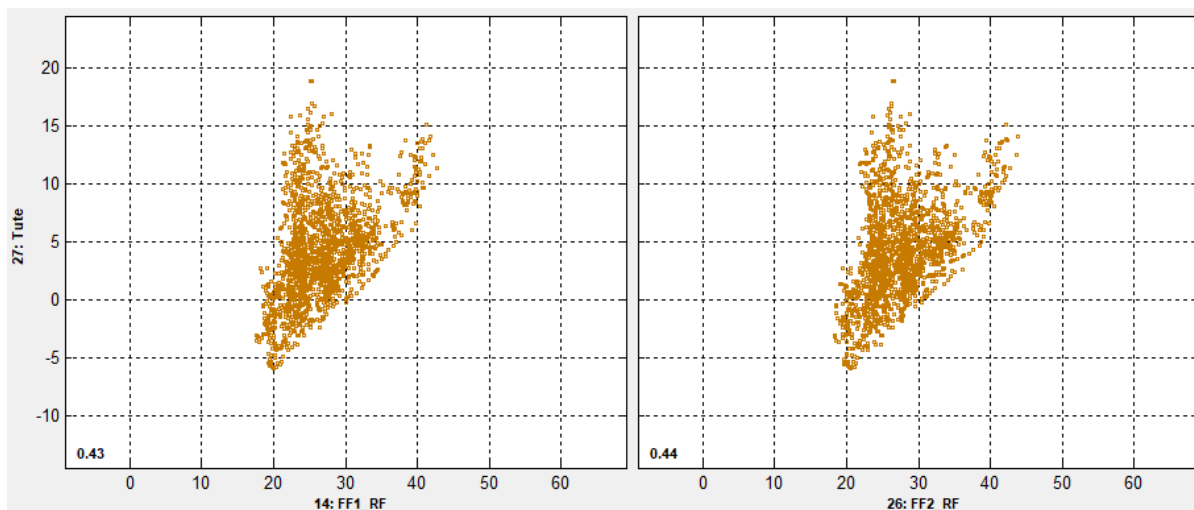
Detta underlättar även förståelsen i kommande kapitel där olika system analyseras.

3.1. Fuktalstring i bostäder

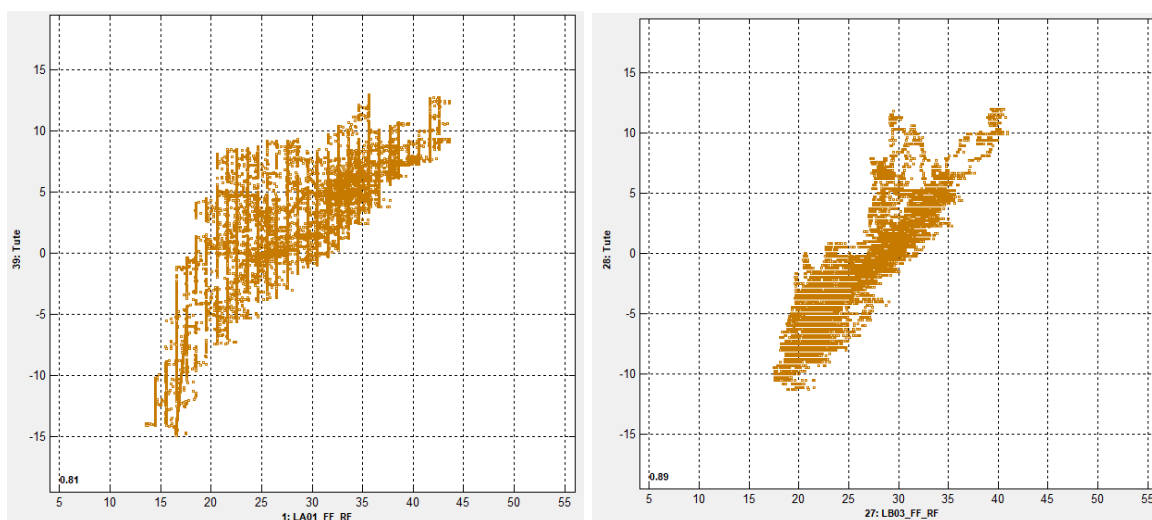
Fuktalstringen i bostäder kan vara upp mot 2 – 2,5 g/kg luft, vilket är högre än i kontor som har en fuktalstring mindre än 1 g/kg luft. Fuktalstringen i bostäder kommer från människor, personlig hygien, växter, matlagning, klädvård etcetera. Exempelvis torkning av tvätt och långkok. Fuktalstringen är beroende av brukarbeteende, men även av byggnadens utformning samt val av tvätt- och torkutrustning.

Finns en gemensam tvättstuga med värmepumptorktumlare och torkskåp med värmepump blir det en lägre fuktbelastning i lägenheterna än om varje lägenhet har egen tvättmaskin och torktumlare.

Den relativa fuktigheten i bostäder beror även på utomhustemperaturen, då fuktinnehållet i luft är starkt temperaturberoende, samt vilken fuktalstring man har i byggnaderna. Därav redovisas i figurerna 3.1 - 3.3 relativa fuktigheten för frånluften, frånluftsRF, mot utomhustemperaturen, Tute, för några flerbostadshus i Stockholm och Göteborg.



Figur 3.1 Relativ fuktighet i frånluften (2021-02-19 – 05-01) mot utomhustemperaturen, för 120 lägenheter i Stockholm fördelat på två FVP (Kempe 2021)



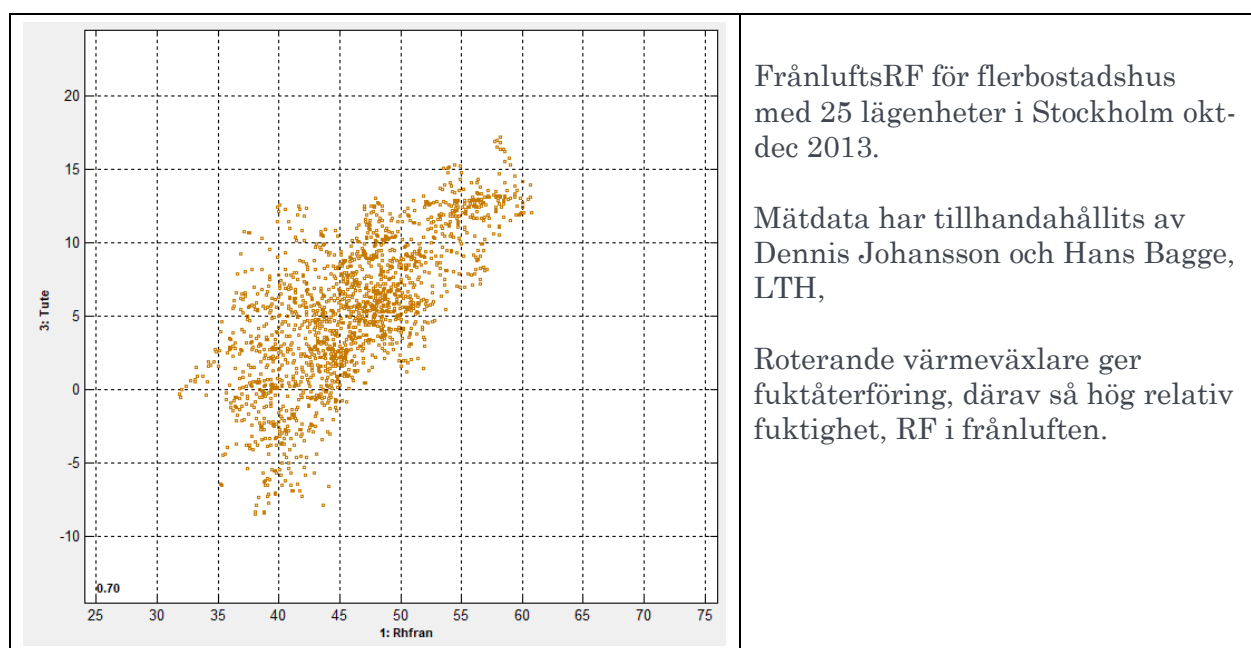
Figur 3.2 Relativ fuktighet i frånluften våren 2021 vs utomhustemperaturen, i flerbostadshus i Göteborg respektive Stockholm (Kempe 2021)

De flesta energiberäkningar i bostadshus utförs med en luftflödesbalans där man av fuktsäkerhetsskäl bör ha ca 10% underskott av tilluft för att erhålla ett svagt undertryck i byggnaden. Undertryck minskar risken för att fuktig inneluft läcker ut i klimatskärmen under uppvärmningssäsongen och kondenserar. Luft med 21°C 25% RF har en dagtemperatur på 0,2°C, se tabell 3.1. Det vill säga om luft 21°C 25 % RF läcker ut i vägg- eller tak-konstruktion, så kommer fukt att börja kondensera när temperaturen i konstruktion är 0,2°C eller lägre. Mätdata i figur 3.1 och 3.2 visar att flerbostadshusen våren 2021 hade en frånluftsRF på 20 – 30 % vid 0°C utomhus.

Tabell 3.1 Dagtemperaturen för 21°C luft med några olika relativa fuktigheter, RF.

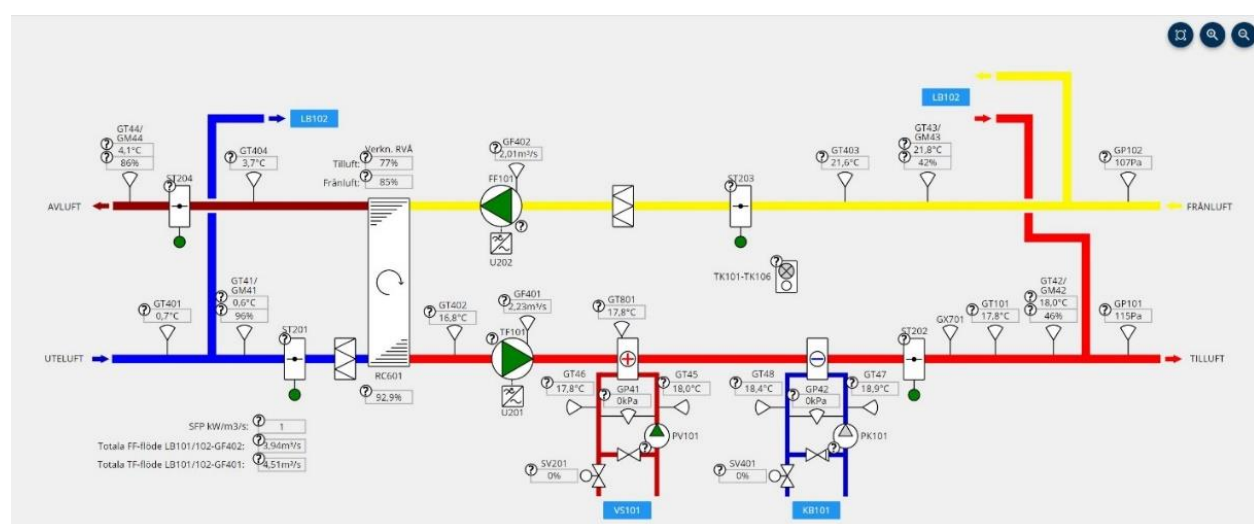
Temp/ RF	21°C 15% RF	21°C 20% RF	21°C 25% RF	21°C 30% RF	21°C 35% RF	21°C 40% RF
Tdag	-5,8°C	-2,5°C	0,2°C	2,7°C	5,0°C	6,9°C

Ventilationsaggregat med roterande värmväxlare kan erholda en relativt stor fuktåterföring via rotorn så de erholdar upp mot 30 – 45% frånluftsRF vid noll graders utomhustemperaturen, vilket kan ses i figur 3.3 (Kempe 2021).



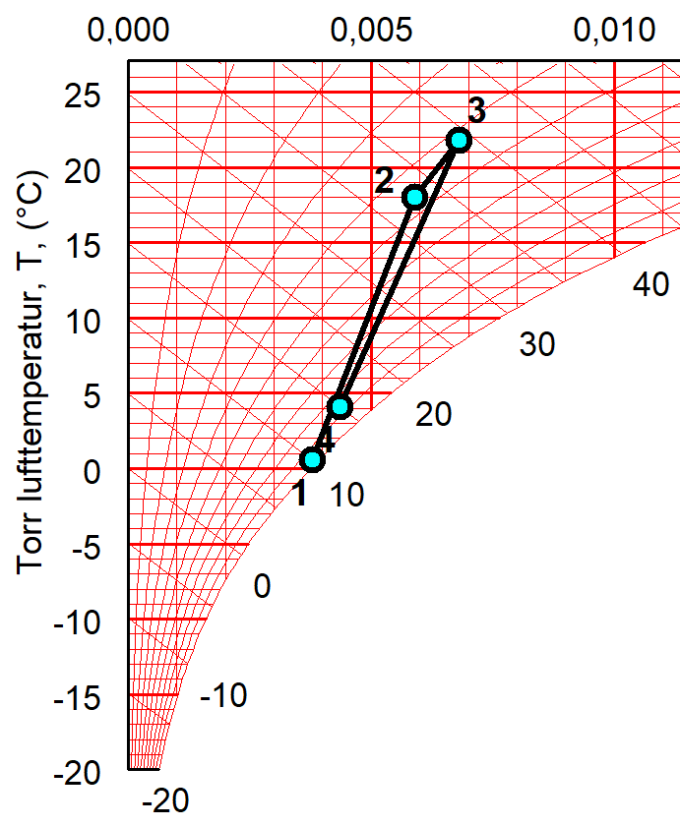
Figur 3.3 FrånluftsRF för flerbostadshus med ventilationsåtervinning med rotor

Exempel på fuktöverföring i en roterande värmväxlare kan ses i mätdata från KTH:s undervisningshus som är utrustat med extra många mätpunkter för att kunna användas i undervisningen och visa studenter hur byggnaden de är i fungerar byggtkniskt och installationstekniskt.



Figur 3.4 Ventilationsaggregat i KTH:s undervisningshus med redovisning av temperaturer, relativa fuktighet, tryck, luftflöden, styr signaler med mera.

Luftens tillstånd för KTH Undervisningshusets ventilationsaggregat, figur 3.4 är inritat i Mollierdiagram i figuren 3.5 och man kan se att fuktalstringen i undervisningshuset är 1 g/kg luft och fuktöverföringen i den roterande värmeväxlaren är ca 2 g / kg luft när skärmdumpen gjordes.



Figur 3.5 Mollierdiagram för ventilationsaggregat i KTH:s undervisningshus med inritade tillstånd för uteluft, tilluft, frånluft samt avluft, där man kan se fuktöverföringen och fuktalstringen i undervisningshuset.

3.2. Luftflödesbalansens betydelse för byggnadens energianvändning

Branschen eftersträvar att bygga lufttäta byggnader med låg läckluft på grund av blåst, för att läckluftens bidrag till byggnadens energianvändning skall vara liten.

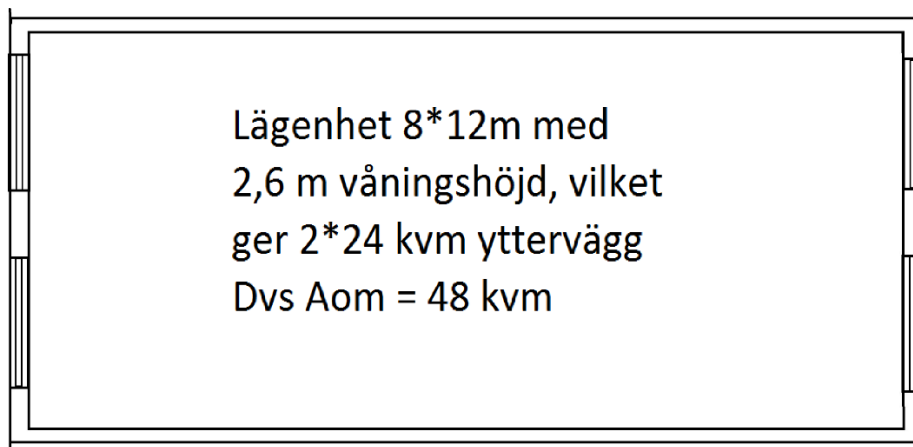
I FEBY12 bilaga 2 och EN ISO 13789, Annex C finns redovisat hur man ska beräkna värmeförlusttal ekvation (3.1) i dess olika delar och en ekvation är även given för att beräkna läckluftflödet genom klimatskärmen ekvation (3.2), $Q_{läck}$, på grund av de tryckdifferenser över klimatskärmen (vägg/tak/...), som vindtrycket (blåsten) skapar.

v i ekvation (3.1) är systemverkningsgrad för ventilationen och innehåller bland annat luftflödesbalansen.

$$H_T = \sum U_m \times A_{omsl} + \rho \times c \times Q_{läck} + \rho \times c \times Q_{vent} \times (1 - v) [W/K] \quad (3.1)$$

$$Q_{läck} = Q_{50} \times e / \left(1 + f/e \times \left((Q_{till} - Q_{från}) / Q_{50} \right)^2 \right) \quad (3.2)$$

För att ge en förståelse om hur läckluftflödet påverkas av luftflödesbalansen i respektive lägenhet visas viktigare delar av exempel i SBUF 12541 kapitel 3.3, Luftflödesbalans nedan. (Kempe, P., 2013).



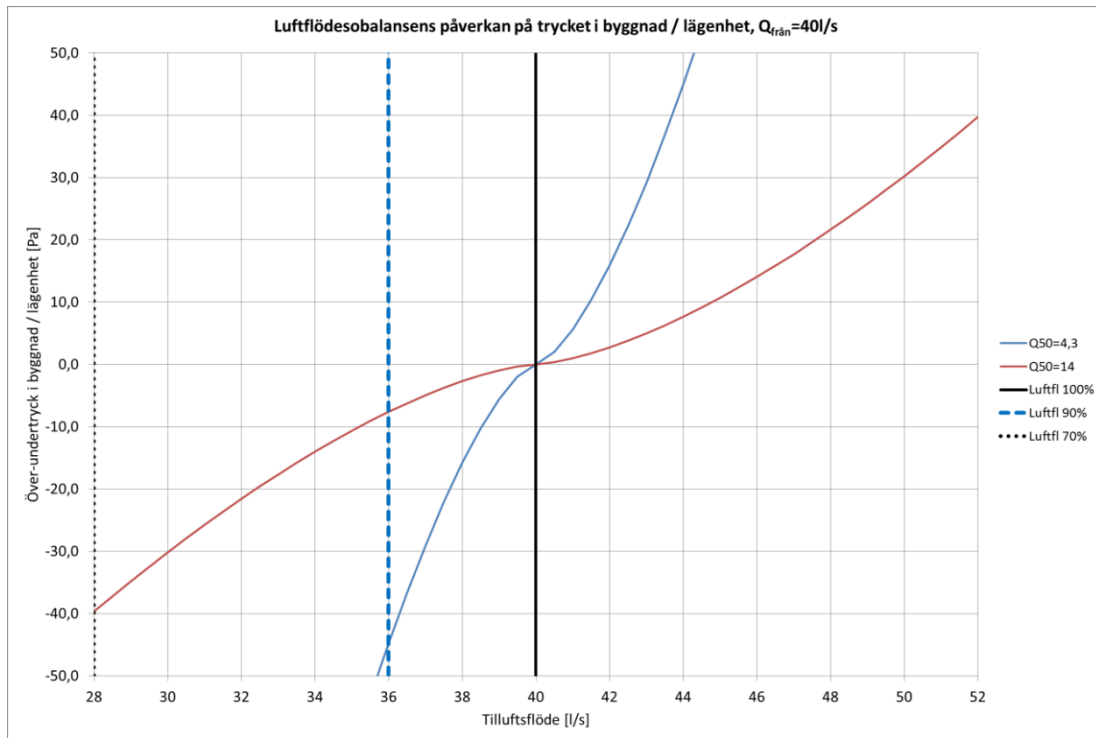
Figur 3.6 Skiss över lägenhet i större flerbostadshus med 48 m² area mot uteluften A_{om} (Kempe, P 2013).

Exemplet är en lägenhet i ett större lamellhus, figur 3.6, med specifika lufttäthet, $q_{50}=0,30$ l/s,m² (normalt krav) samt 30 % q_{50} som jämförelse vad ett extremt tät flerbostadshus ger.

$$q_{50}=0,09 \text{ l/s,m}^2 \text{ ger läckflödet } Q_{50}=0,09*48=4,3 \text{ l/s}$$

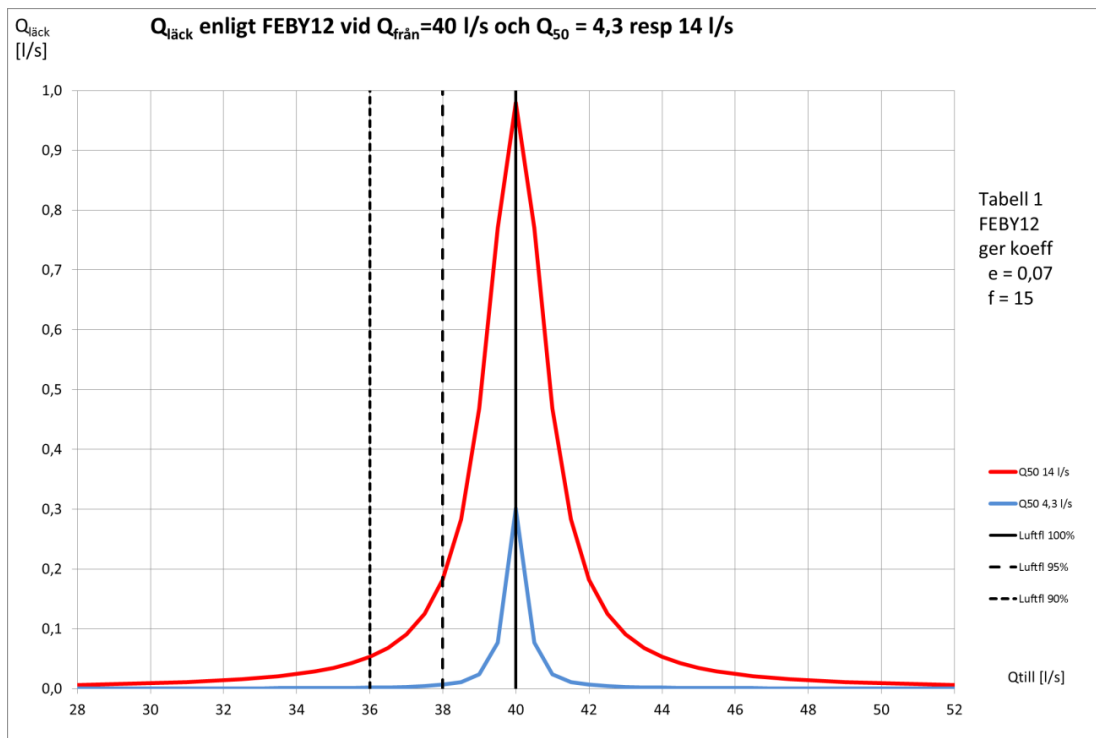
$$q_{50}=0,30 \text{ l/s, m}^2 \text{ ger läckflödet } Q_{50}=0,30*48=14 \text{ l/s}$$

Vid en fullständig balans mellan till- och frånluftsflödena erhålls $Q_{läck} = 0,3$ l/s och vid en lufttäthet på 0,09 l/s,m² (4,3 l/s) och 1,0 l/s vid lufttäthet 0,30 l/s,m² (14 l/s). Vid en "normal" luftflödesbalans 0,90 – 0,95 blir $Q_{läck}$ 0,0016 – 0,0064 l/s för tätheten 0,09 respektive 0,05 – 0,18 l/s för tätheten 0,30 l/s,m².



Figur 3.7 Luftflödesobalansens påverkan på över- respektive undertryck i lägenhet.

Figur 3.7 redovisas över- respektive undertryck och dess beroende av luftflödesdifferens. Vid lufttäthet enligt FEBY12-krav erhålls stora under- respektive övertryck om luftflödesbalansen är mycket mindre än 0,85. Vid så stora undertryck kommer luftflödena som systemen kan ge att förändras.



Figur 3.8 Läckluftflöde (enligt ekv.3.2) vid olika lufttäthetsnivå och tilluftsflöden

Vid en täthet på $q_{50} = 0,09 \text{ l/s,m}^2$ får man problem att öppna dörrar, när luftflödesbalansen är mindre än 0,90, vilket är en normal luftflödesbalans vid injustering av ventilationssystem. För lägenheter med en lufttäthet runt $0,10 \text{ l/s,m}^2$ är därför injusteringen av ventilationssystemet mycket viktig annars kan man erhålla stora problem med under- eller övertryck.

Lufttäthetskravet enligt FEBY12 är $q_{50} = 0,30 \text{ l/s,m}^2$ och med en normal luftflödesbalans på 0,90 - 0,95 fås ett undertryck på 3 - 8 Pa, vilket är lämpligt av fuktsäkerhetsskäl och ger ett mycket litet $Q_{\text{läck}}$. Se figur 3.8.

För att kunna uppnå en luftflödesbalans på 0,90 - 0,95, måste summa av luftflöde till och från varje lägenhet kunna mätas med ett mycket litet fel. Det enklaste sätt är att tillse att summa tilluft respektive summa frånluftsföde kan mätas med ett litet fel är att ha erforderliga raksträckor runt luftflödesmätare. Donen i lägenheten ska justeras för att fördela luften mellan rummen, så att luften tillförs ”dragfritt” och med låga ljudnivåer.

Nedan är ett exempel på fläktrum från Vätterhem som har mycket goda möjligheter att mäta luftflödena med litet fel, som går till och från varje lägenhet. Bilden är från BeBos Tekniktävling Ventilation (BeBo 2019).



Figur 3.9 Fläktrum hos Vätterhem, där luftflödena enkelt justeras in till och från varje lägenhet samt mäts med litet fel. Detta underlättar och snabbar upp luftflödesmätningarna för injustering och kommande OVK, då det mesta finns tillgängligt i fläktrummet.

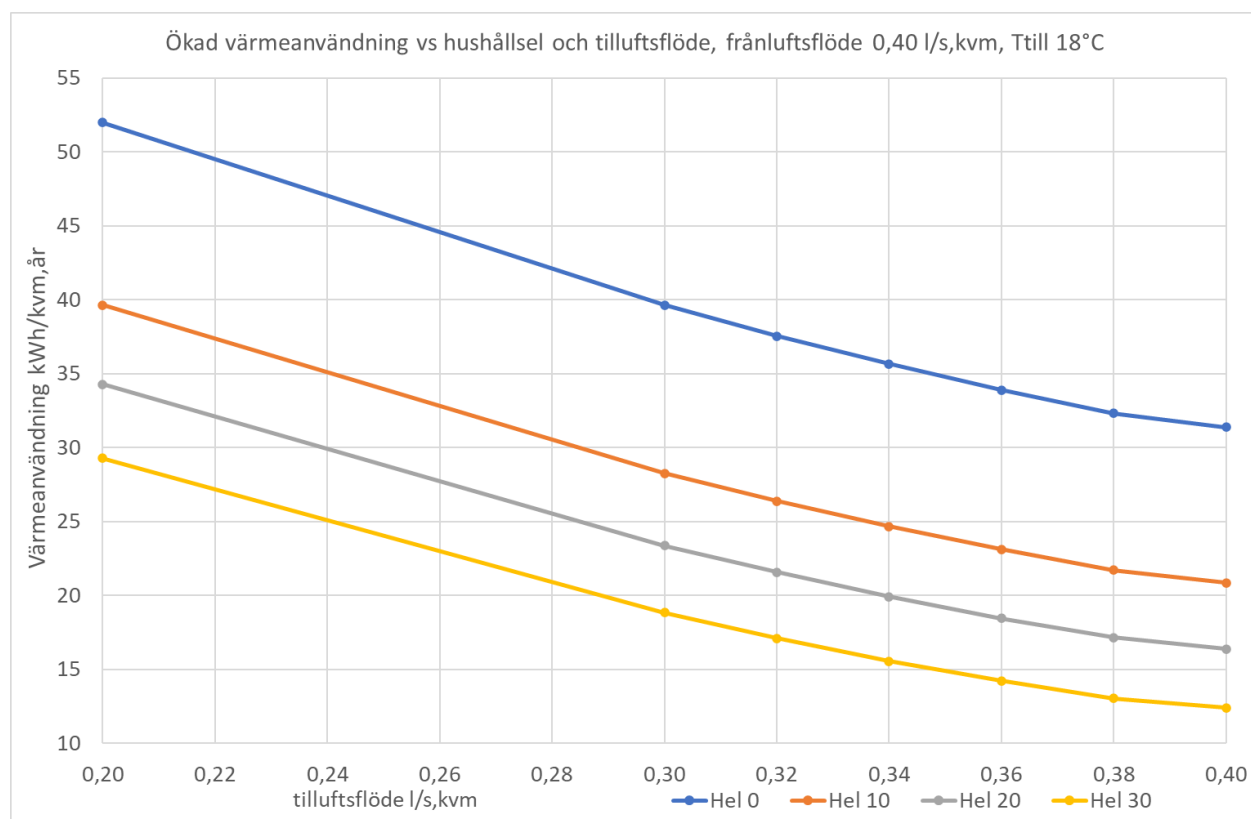
3.3. Internlasters och luftflödesbalansens betydelse för energianvändningen

I figur 3.7 kunde ses hur luftflödesbalansen (summa tilluft - summa frånluft) påverkar undertrycket i lägenheten och mer uteluft läcker in genom klimatskärmen samt i figur 3.8 kunde man se hur läckluften på grund av blåst minskar då undertrycket ökar i lägenheten.

När underskottet på tilluft i lägenheterna blir större minskar behovet av eftervärme i ventilationsaggregatet medan behovet av radiatorvärme i lägenheterna samtidigt ökar då inläckande uteluft måste värmas. Samtidigt minskar läckluften till lägenheterna på grund av det större undertrycket i lägenheterna.

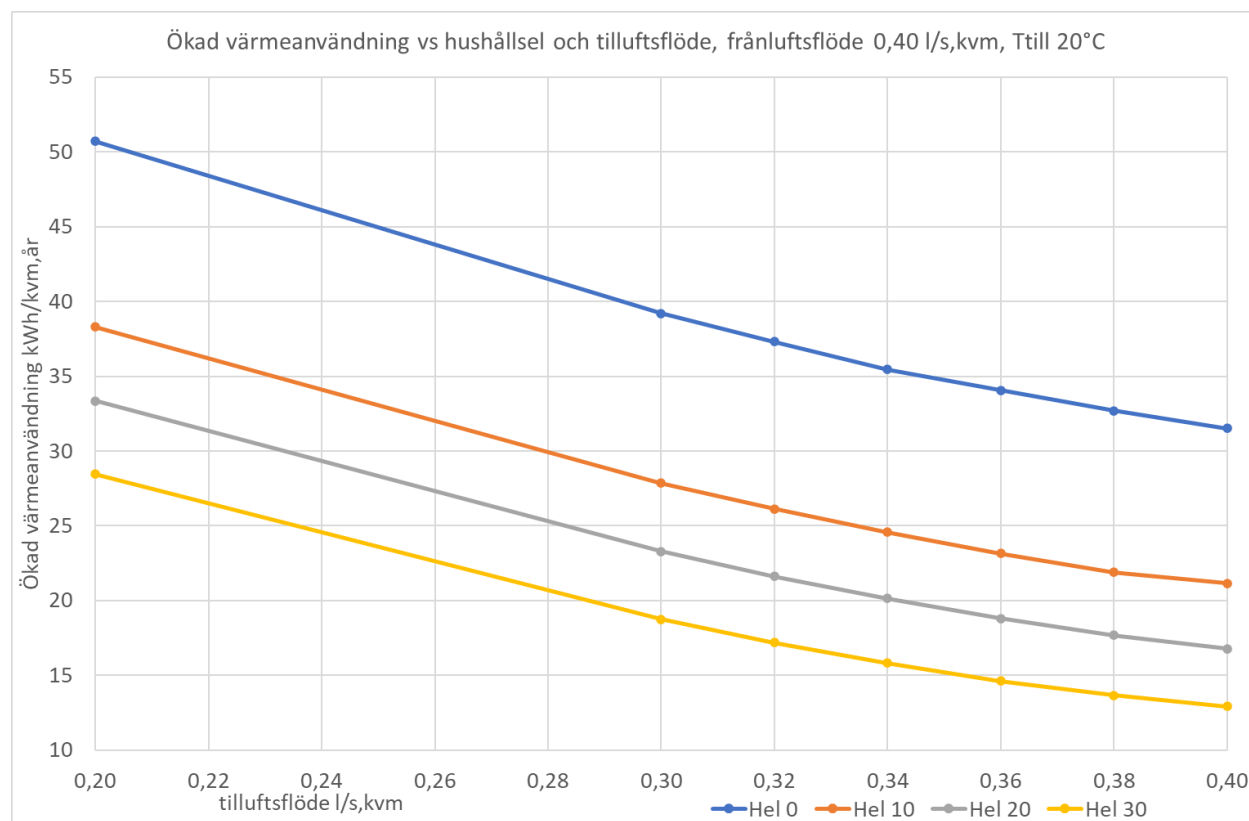
För att kunna analysera fenomenet behövs ett stort antal energisimuleringar genomföras med olika luftflödesbalanser i intervallet 0,5 – 1.0. I verkliga byggnader med hög lufttäthet är det osäkert om en lägre luftflödesbalans än 0,7 kan erhållas samt att man då får stora undertryck.

Dessa analyser har kompletterats med olika nivåer på användande av hushållsel: 30 kWh/m²Atemp och år; 20 kWh/m²Atemp och år; 10 kWh/m²Atemp och år samt 0 hushållsel och 0 personlast. Detta för att se hur värmeanvändningen påverkas av minskade internlasters. 70 % av hushållsenergin anses bli värme i energiberäkningar (Sveby 2012).



Figur 3.10 Resultat från Energiberäkningar med Tilluftstemperatur 18°C, fyra nivåer på internlasters samt luftflödesbalans mellan 0,5 och 1.0.

IDA-modellen av ett 4-vånings Kombohus Bas som är designad för att använda 55 kWh/m²Atemp och år i Enköping är använd för beräkningarna i figur 3.10 och 3.11. IDA-modellen kommer från utvärderingsprojektet *Energiprestanda i SABO Kombohus Bas 2015 – 2017* (Levin, P. 2018)



Figur 3.11 Resultat från Energiberäkningar med Tilluftstemperatur 20°C, fyra nivåer på interlaster samt luftflödesbalans mellan 0,5 och 1.0.

Resultatet från simuleringen visar att energianvändningen i den analyserade flerbostadshuset ökar med 2 kWh/ m²Atemp och år med luftflödesbalansen 0,9 jämfört med 1,0 samt om hushållselen är 20 kWh/ m²Atemp och år ökar värmeanvändningen med 4 kWh/ m²Atemp och år jämfört med 30 kWh/ m²Atemp och år som är standardiserat brukande av hushållsel enligt BEN och Sveby (Sveby2012).

En tilluftstemperaturen 20°C behöver ca 1 kWh/ m²Atemp och år mer värmeenergi än 18°C. Om byggnaden kan ha en tilluftstemperatur på 18°C i lägenheterna beror på risken för drag, som i sin tur beror på typ av don som finns samt deras placering och inställningar.

Tabell 3.2 Indikation vad noggrannheten i injusteringen betyder för värmeanvändningen luftflödesbalans lgh: är de två luftflödesbalanser hälften-hälften av lägenheterna har.

Luftflödesbalans lgh	Rad	ventilation	Totalt
0,95 / 0,95	8,04	5,61	13,65
0,80 / 1,10	9,95	5,85	15,81
0,75 / 1,15	11,92	6,09	18,01

Injusteringen av luftflödena måste utföras med hög noggrannhet annars ökar värmeanvändningen med någon kWh/ m²Atemp och år samt att det blir problem med över och undertryck i lägenheterna.

Dessa över- och undertryck medför att lukter lättare vandrar mellan lägenheterna via olika läckagevägar som kabelrör för el och data samt skyddsror för tappvatten och värme.

Har man tryckstyrning av fläktarna är det viktigt att de har automatiskt nolljustering eller att aggregaten nolljusteras exempelvis i samband med filterbyte. Annars kommer det bli fel i tryckmätningarna, vilket resulterar i felaktiga luftflöden och luftflödesbalansen.

3.4. Ventilationsåtervinningen verkningsgrad påverkas av luftflödesbalansen

Ventilationsaggregat med värmeväxlare återvinner huvuddelen av värmen i frånluften och sedan behövs endast en mindre mängd eftervärme tillsättas för att erhålla önskad tilluftstemperatur. Fuktalstringen i bostadsbyggnader med FTX med motströms värmeväxlare ger kondensering i värmeväxlaren när uteluftstemperatur närmar sig 0°C och kondensen kan sedan frysa i värmeväxlaren vid minusgrader, vilket ger av behov för avfrostning.

Beroende på avfrostningstyp kan värmeåtervinningen reduceras olika mycket under avfrostningscykler och mer eftervärme behövs för att hålla önskad tilluftstemperatur. I kontor är fuktalstringen betydligt mindre, så där är det normalt sett inte avfrostning.

Temperaturverkningsgraden (Eff) kan beräknas med standardekvationer från litteratur om värmeväxlare och för motströms värmeväxlare blir det ekvation (3.3)–(3.6) vilka beror på luftflödena och designen av värmeväxlaren, se exempelvis (Kempe, P. 1999).

Ekvation (3.3) är inte definierat för $crr=1.0$, men går mot ekvation (3.4) när crr går mot 1,0.

Verkningsgrad/ Eff för en ideal motströms värmeväxlare ($crr \neq 1.0$)

$$Eff = \frac{1 - \text{Exp}(-NTU \cdot (1 - crr))}{1 - crr \cdot \text{Exp}(-NTU \cdot (1 - crr))} \quad (3.3)$$

Verkningsgraden för en ideal motströms värmeväxlare ($crr= 1.0$)

$$Eff = \frac{NTU}{NTU + 1} \quad (3.4)$$

NTU (Number of Transfer Units) och crr (Thermal capacity ratio) definieras som:

$$NTU = \frac{UAvvx}{\dot{m}_a \cdot c_{pa}} \quad (3.5)$$

$$crr = \frac{\dot{m}_a \cdot c_{pa}}{\dot{m}_b \cdot c_{pb}} \quad (3.6)$$

När ventilationsaggregatet inte har luftflödesbalans kommer temperaturverkningsgraden på till- respektive frånluftssidan att bli olika. I tabell 3.3 visar hur tilluft- och frånluftsverkningsgraden påverkas av luftflödesbalansen vid tre olika verkningsgrader vid luftflödesbalans. När luftflödesobalansen (Tilluftsflöde < Frånluftsflöde) ökar temperaturverkningsgraden på tilluftssidan och minska frånluftssidan, dvs man nyttjar inte värmen i frånluften lika bra och förskjuter avfrostningen något.

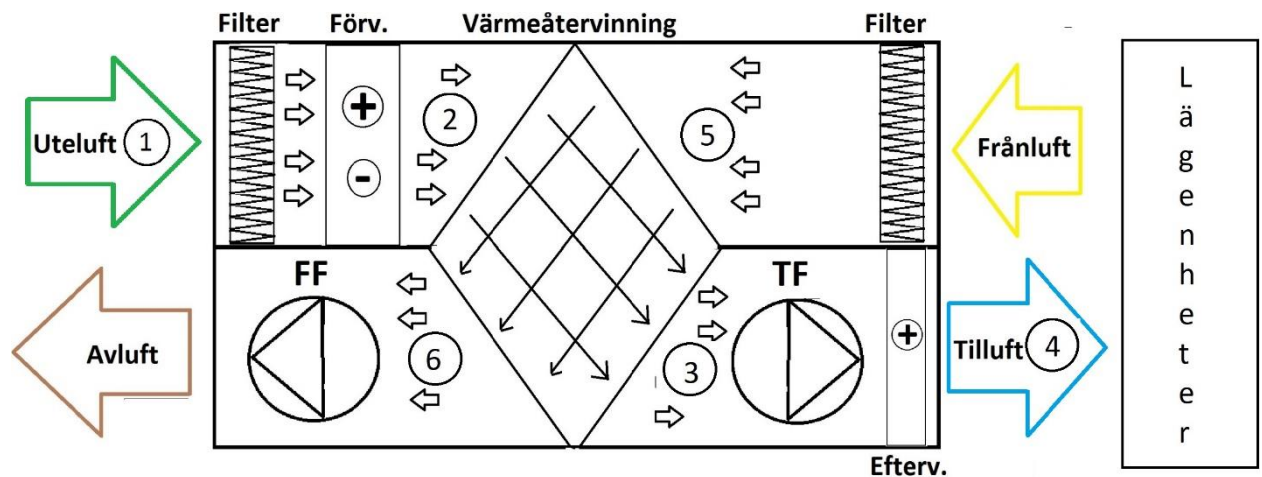
Tabell 3.3 Beräknade verkningsgrader för olika luftflödesbalanser

Luftflödesbal / Verkningsgrad i luftflödesbalans		Tilluftsflöde/ Frånluftsflöde			
		1,00	0,90	0,80	0,70
70%	T	0,70	0,75	0,80	0,85
	F	0,70	0,67	0,64	0,60
80%	T	0,80	0,85	0,90	0,94
	F	0,80	0,76	0,72	0,66
90%	T	0,90	0,95	0,98	0,99
	F	0,90	0,85	0,78	0,70

Vid renovering till energieffektiva flerbostadshus kan det vara svårt att dra ett tilluftssystem i källaren, så då kan det bli FTX i lägenheterna kompletterat med befintlig frånluft i källaren. Då kan man erhålla luftflödesbalansen 0,70 – 0,75.

3.5. Luftfuktens betydelse för värmeåtervinningen under vintern

I detta delkapitel analyseras energibetydelsen om ventilationsaggregatet erhåller en annan medelavluftstemperatur jämfört med +1°C, som ofta används i energiberäkningar av FTX-aggregat i bostäder. Figur 3.12 är för att det ska vara lättare att följa diskussioner om ventilationsaggregats funktioner och avfrostning.

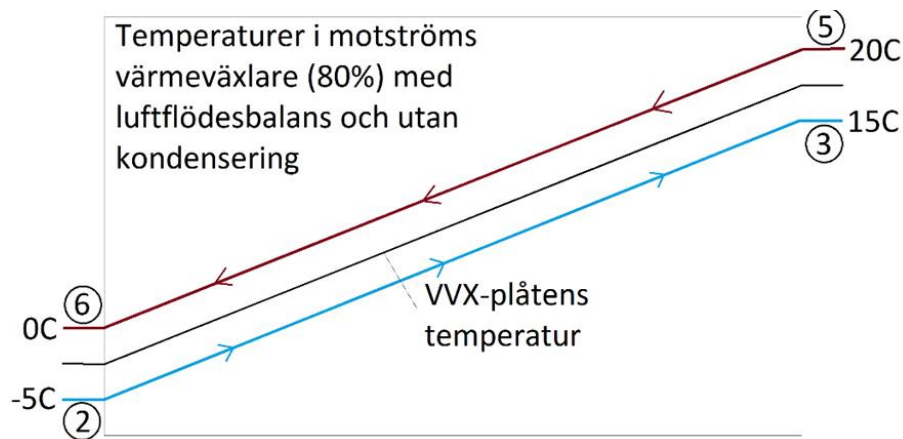


Temperaturerna i FTX-aggregatsfigurer	
1	Inkommande utelufts temperatur T_{ute}
2	Temperatur efter förvärmningsbatteri T_{efv}
3	Temperatur efter värmeåtervinningen (T_{evvx})
4	Tilluftstemperatur (T_{till})
5	Frånluftstemperatur $T_{från}$
6	Avluftstemperatur (T_{avl})

Figur 3.12 Principskiss för ett FTX-aggregat med de intressantaste temperaturerna utmärkta enligt tabellen

För att kunna bedöma när frånluftsfukten kommer att kondensera på plåtarna i värmeväxlaren under vintern behöver frånluftens dagtemperatur T_{dag} , (Tabell 3.1) vara högre än VVX-plåtens temperatur. När frånluftsfukten kondensera på VVX-plåten samt det är minusgrader på VVX-plåten kommer fukten att frysa, så att avfrostning erfordras efter ett tag.

VVX-plåten i figur 3.13 erhåller temperatur ungefär mitt emellan från/av- och ute/tilluft. VVX-plåtens temperatur varierar längs VVX mellan -2,5°C till 17,5°C i detta fall.

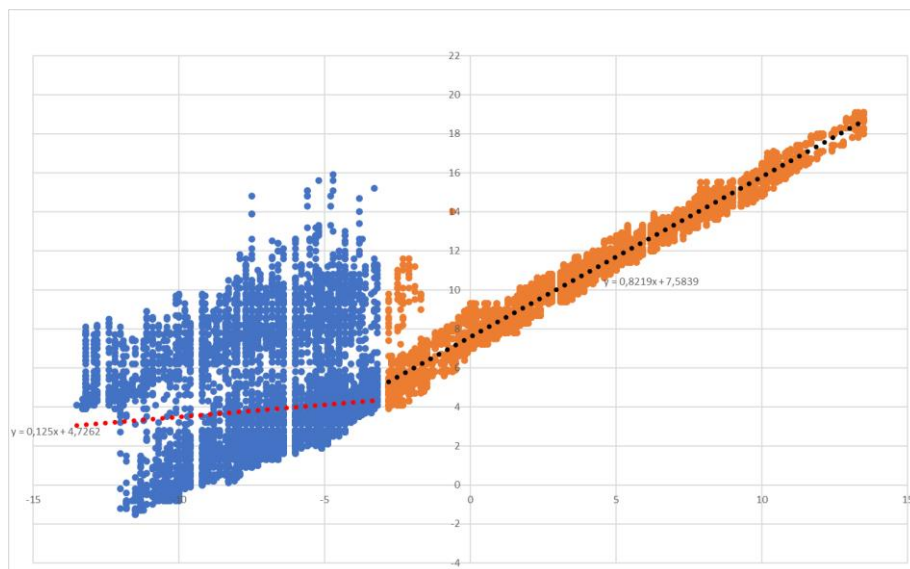


Figur 3.13 Exempel temperaturer i FTX (motströms-VVX)

Energiberäkningsprogram tar ofta hänsyn till avfrostningen genom att min-begränsa avluftstemperaturen, T_{avl} , för att efterlikna den medeltemperatur som erhålls under avfrostning, se figur 3.14. I verkligheten kommer avluftstemperaturen, T_{avl} bero bland annat på fukttinnehållet i frånluften, $frånluftsRF$, typ av värmeväxlare och avfrostning. Några fler exempel kan ses i kapitel 5.1.

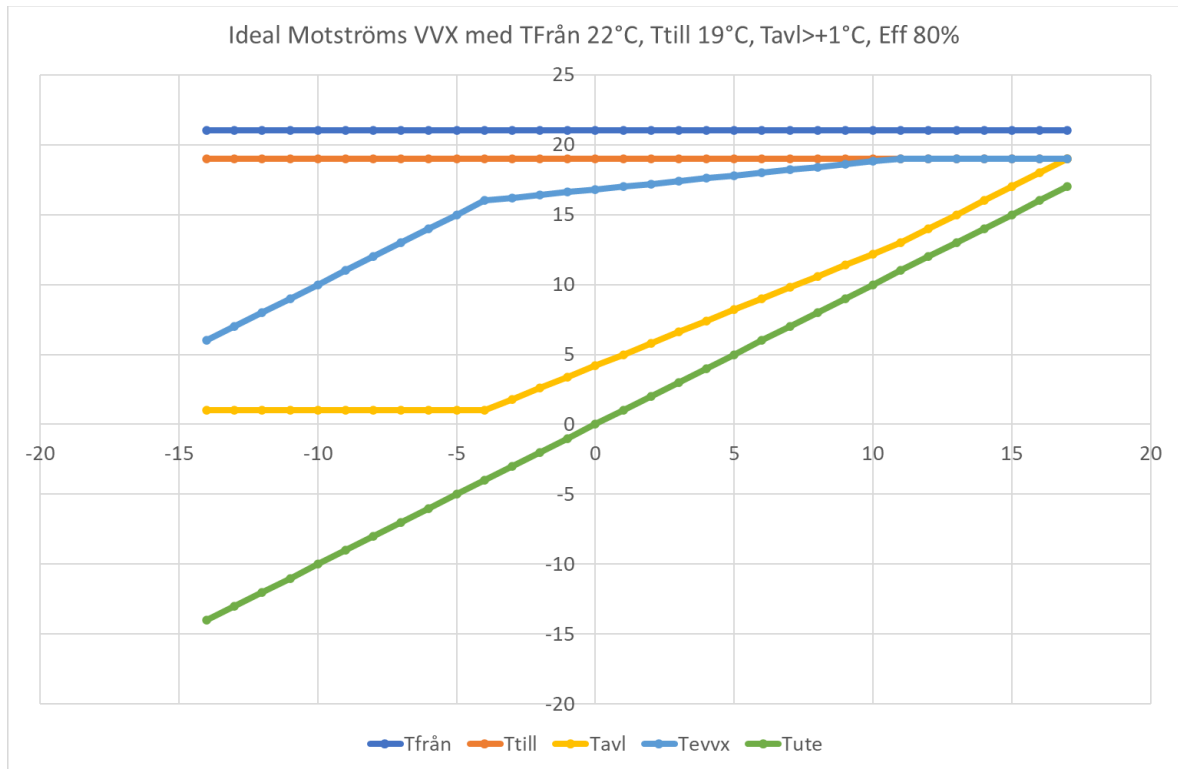
För att höja temperaturen efter värmeväxlaren, T_{evvx} , till önskad tilluftstemperatur, T_{till} , i figur 3.12 behövs eftervärme när utetemperaturen sjunker och det behövs ännu mer eftervärme om ventilationsaggregatet avfrostas. I verkliga aggregat kommer värmeåtervinningen att periodvis reduceras för avfrostning och avluftens temperatur blir högre. Tar man ett medelvärde av T_{avl} , när T_{ute} är under några minusgrader bör man kunna göra en kurvanpassning liknande figur 3.14.

Denna kurvanpassning kan användas för att kontrollera om $T_{avl-min}$ i energiberäkningsprogrammet är rimligt, vilket oftast brukar vara antaget till $+1^{\circ}C$.

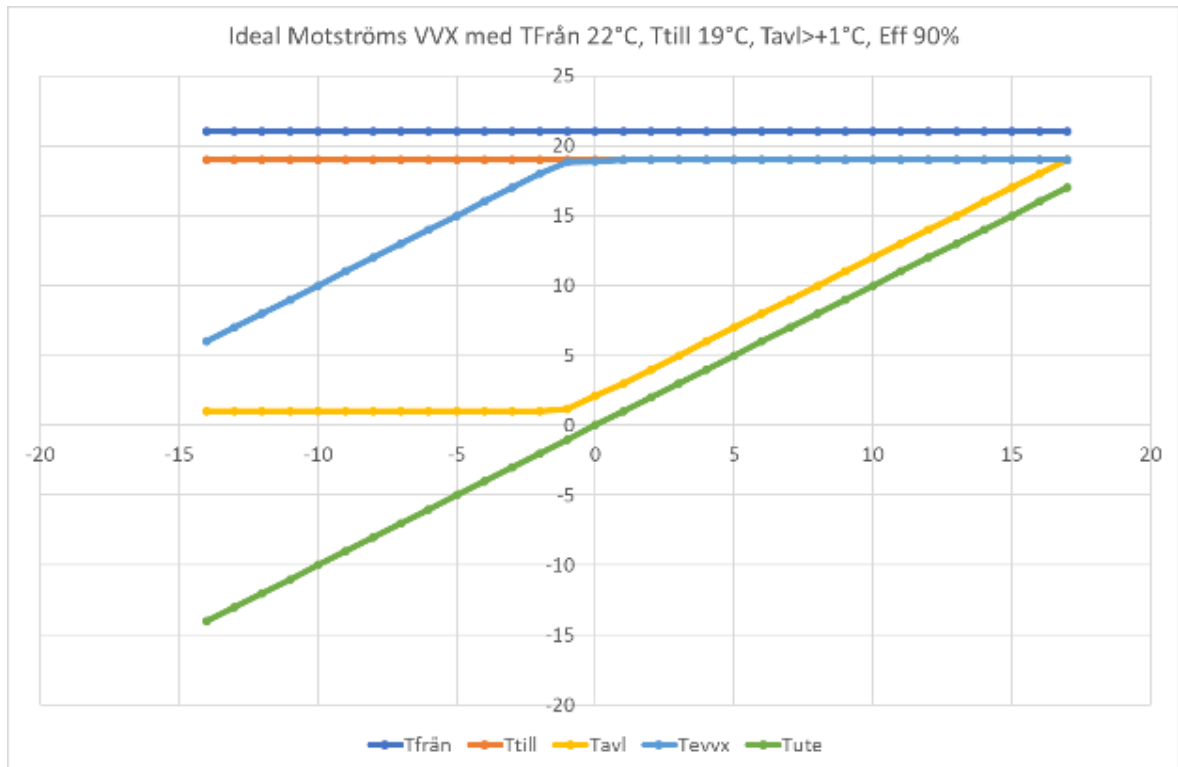


Figur 3.14 Exempel analys av mätdata för avluftstemperaturen, T_{avl} mot Utomhustemperaturen, T_{ute} där frånluftsfukten och påfrysning har gett avfrostningscykler

Figur 3.15 och 3.16 ger exempel på temperatursamband för FTX-aggregat att jämföra medeltemperaturer i analyserna av mätningarna liknande figur 3.14.



Figur 3.15 Teoretiska temperaturer FTX-aggregat med luftflödesbalans, Tav >+4°C, Eff 80%



Figur 3.16 Teoretiska temperaturer FTX-aggregat med luftflödesbalans, Tav >+1°C, Eff 90%

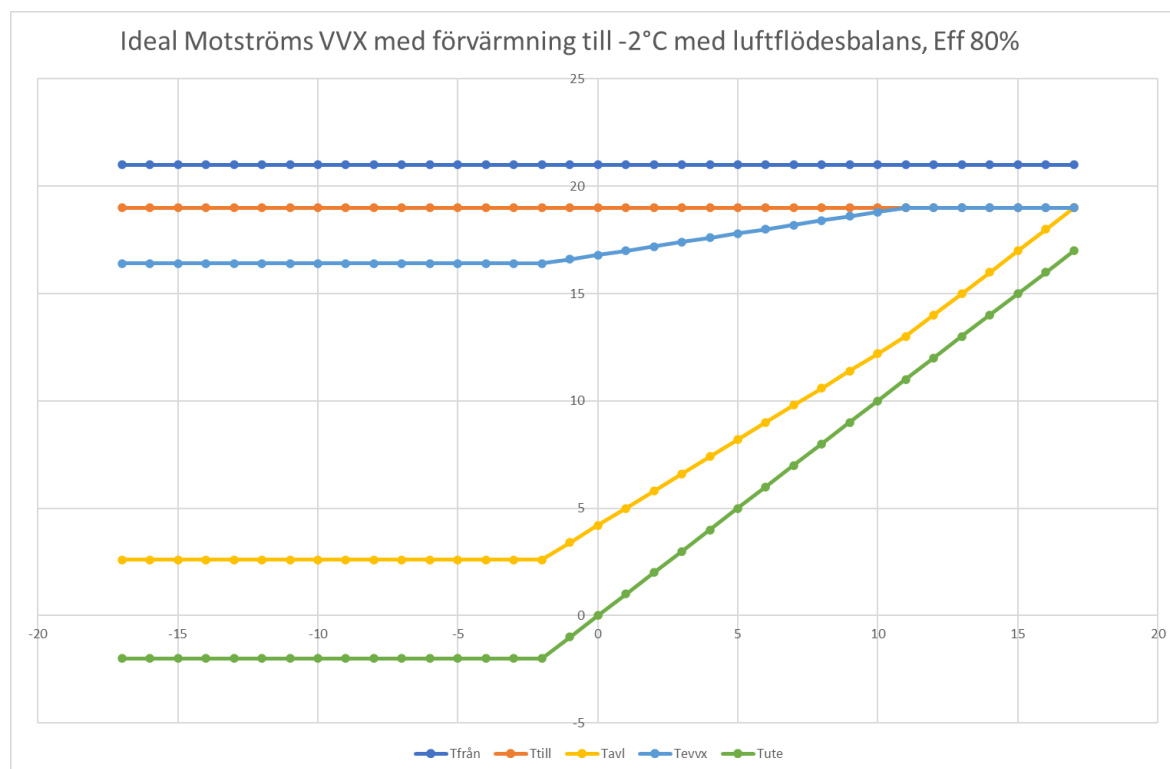
För att kunna ta fram energibetydelsen om avfrostningscykler ger att avluftstemperaturen blir +4°C, gör man om energiberäkningen med en mer korrekt min-begränsning på avluftstemperaturen eller titta i tabell 3.4 eller 3.5 och bedöma vilken betydelse den högre Tavl har. Men är det flera avvikelser man bör ta hänsyn till är det bäst att göra en ny energiberäkning med dessa avvikelser inlagda.

Det är även möjligt att se vilken betydelse förvärmningen har värmeenergimässigt. En annan aspekt, som inte framkommer i tabellerna, är att värmeeffektbehovet när ventilationen avfrostar och vilken betydelse detta eventuellt kan ha på effektavgifter och abonnemangskostnader.

Eftervärmebatteriet i ventilationssystemet måste vara dimensionerat för att klara av att hålla tilluftstemperaturen under avfrostning. Annars kommer tilluftstemperaturen att bli för låg med risk för drag i lägenheterna från för kall tilluftstemperatur.

Förvärmningen kan ske via borrhål, så kallad GeoFTX (Kempe 2021), eller mer traditionellt via elektrisk förvärmning eller av fjärrvärme via separat värmekrets med frysskyddsmedel till förvärmaren. Fördel med GeoFTX är att den under varma somrardagar kan användas för att ge en sval tilluft, men luftflödena i bostäder är för låga för att den ska kunna användas som riktig kyla.

I figur 3.17 redovisas temperatursamband för FTX-aggregat med förvärmning till -2°C.



Figur 3.17 Teoretiska temperaturer FTX-aggregat, luftflödesbalans, Tefv -2°C, Eff 80%

För att snabbt kunna jämföra energibetydelsen för värmexlaren med olika temperaturverkningsgrad, med olika förvärmningstemperaturer samt olika avluftstemperaturer har teoretiska värmebehov tagits fram för första kontrollen.

De teoretiska värmebehoven i tabell 3.4, 3.5; 3.6, nedan, ska sättas i relation till att den totala ”värmebudgeten” för ett flerbostadshus som ofta är runt 25 kWh/ m²Atemp och år inklusive olika värmeförluster. En jämförelse mellan tabell 3.5, mittendelen (Tavl>+1°C), med tabell 3.7 visar på en meranvändning av eftervärme på ungefär 4 kWh/ m²Atemp och år med 10 % temperaturförlust från frånluftskanalen mellan lägenheterna och ventilationsaggregatet på grund av att frånluftskanalen går genom kalla utrymmen. Det innebär om det är ett temperaturfall på frånluften med 1°C vid DVUT(1dygn) = -16°C, så ökar efterenergiebehovet för ventilationen med ca 1 kWh/ m²Atemp och år.

För att minska risken för denna typ av värmeförluster bör ventilationskanalerna dras så att en liten temperaturdifferens erhålls mellan omgivningens temperatur och luftens temperatur i kanalen. Om detta inte är möjligt är viktigt att kanalen är välisolerad. Det innebär att det är stor skillnad på värmeförlusterna från en frånluftskanal som ligger djupt i lösull på en vind och en frånluftskanal med endast brandisolering upphängd i takstolens överram, vilket förekommit på slutbesiktningar.

Tabell 3.4 Teoretiska specifikt energibehov kWh/ m²Atemp och år för motströms VVX med luftflödesbalans Ttill+18°C.

Fövärmningenergi till Tefv i Stockholm							
Tefv	-17	-10	-5	-2	0	5	10
Qfv	0,00	0,05	0,39	1,25	2,34	8,21	18,23
Eftervärmeenergi vid olika verkninggrader och fövärmningstemperaturer							
Ingen avfrostn	Ttill +18°C, Tfrån +22°C ideal motström						
Verkn/ Tförv	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	4,57	4,55	4,45	4,19	3,86	2,10	0,00
75%	2,48	2,47	2,38	2,17	1,90	0,43	0,00
80%	0,82	0,81	0,74	0,57	0,35	0,00	0,00
85%	0,07	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
90%	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tavl > +1°C	Ttill +18°C, Tfrån +22°C ideal motström						
Verkn/ Tförv	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	4,64	4,59	4,45	4,19	3,86	2,10	0,00
75%	2,67	2,62	2,38	2,17	1,90	0,43	0,00
80%	1,26	1,21	0,86	0,57	0,35	0,00	0,00
85%	0,89	0,83	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00
90%	0,89	0,83	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00
Tavl > +4°C	Ttill +18°C, Tfrån +22°C ideal motström						
Verkn/ Tförv	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	5,04	4,99	4,65	4,19	3,86	2,10	0,00
75%	3,42	3,37	3,02	2,17	1,90	0,43	0,00
80%	2,43	2,38	2,04	1,19	0,35	0,00	0,00
85%	2,34	2,29	1,94	1,09	0,00	0,00	0,00
90%	2,34	2,29	1,94	1,06	0,00	0,00	0,00

I tabell 3.4 kan ses att med luftflödesbalans, förvärmning till -2°C, en temperaturverkningsgrad på 85% och inga avfrostningscykler samt en tilluftstemperatur på +18°C fås inget behov av eftervärme

Det kan jämföras med värden från tabell 3.5, där det med samma förutsättningar, fast en tilluftstemperatur på +20°C finns ett behov av eftervärmningen på ca 3 kWh/ m²Atemp och år.

Tabell 3.5 Teoretiska specifikt energibehov kWh/ m²Atemp och år för motströms VVX med luftflödesbalans Ttill+20°C.

Förvärmningsenergi till Tefv i Stockholm							
Tefv	-17	-10	-5	-2	0	5	10
Qfv	0,00	0,05	0,39	1,25	2,34	8,21	18,23
Eftervärmeenergi vid olika verkningsgrader och förvärmningstemperaturer							
Ingen avfrostn	Ttill +20°C, Tfrån +22°C ideal motström						
Verkn/ Tförv	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	9,83	9,81	9,71	9,45	9,12	7,36	4,36
75%	7,18	7,17	7,09	6,87	6,60	5,13	2,63
80%	4,64	4,63	4,56	4,39	4,17	3,00	0,99
85%	2,28	2,27	2,22	2,10	1,93	1,05	0,00
90%	0,41	0,41	0,37	0,29	0,18	0,00	0,00
Tavl > +1°C							
Ttill +20°C, Tfrån +22°C ideal motström							
Verkn/ Tförv	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	9,9	9,85	9,71	9,68	9,42	7,36	4,36
75%	7,37	7,37	7,37	7,27	7,09	5,13	2,63
80%	5,08	5,08	5,08	5,05	4,94	3,00	0,99
85%	3,12	3,12	3,12	3,11	3,06	1,05	0,00
90%	1,81	1,76	1,42	0,56	0,18	0,00	0,00
Tavl > +4°C							
Ttill +20°C, Tfrån +22°C ideal motström							
Verkn/ Tförv	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	10,30	10,25	9,86	9,68	9,42	7,36	4,36
75%	8,12	8,07	7,73	6,87	6,60	5,13	2,63
80%	6,25	6,20	5,86	5,01	4,17	3,00	0,99
85%	4,80	4,75	4,41	3,56	2,47	1,05	0,00
90%	4,11	4,06	3,71	2,86	1,77	0,00	0,00

Ventilationsaggregat utan eftervärmare bör man inte förvärma mer än till +0°C, vilket är för att undvika avfrostningscykler. Tilluftstemperaturen ska inte regleras med förvärmningen för att förvärmningen behöver då ungefär fem gånger mer värmeenergi än vad ett eftervärmebatteri hade använt, för att erhålla en viss tilluftstemperatur. Så klarar inte förvärmning till +0°C och värmeåtervinning hålla tilluftstemperaturen bör man överväga att komplettera ventilationen med ett eftervärmningsbatteri.

I tabell 3.6 nedan är förvärmningen och eftervärmningen summerade, så att man ska kunna se hur förvärmningen till mer än -2°C påverkar det totala värmebehovet.

Tabell 3.6 Summa teoretiska energibehov för motströms VVX med luftflödesbalans

För och eftervärmeenergi vid olika verkningsgrader och förvärmningstemperaturer							
Ingen avfrosten	Ttill +18°C, Tfrån +22°C ideal motström						
Verkn/ Tförv	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	4,57	4,60	4,84	5,44	6,20	10,31	18,23
75%	2,48	2,52	2,77	3,42	4,24	8,64	18,23
80%	0,82	0,86	1,13	1,82	2,69	8,21	18,23
85%	0,07	0,11	0,40	1,25	2,34	8,21	18,23
90%	0,01	0,05	0,39	1,25	2,34	8,21	18,23
Tavl > +1°C	Ttill +18°C, Tfrån +22°C ideal motström						
Verkn/ Tförv	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	4,64	4,64	4,84	5,44	6,20	10,31	18,23
75%	2,67	2,67	2,77	3,42	4,24	8,64	18,23
80%	1,26	1,26	1,25	1,82	2,69	8,21	18,23
85%	0,89	0,88	0,88	1,25	2,34	8,21	18,23
90%	0,89	0,88	0,88	1,25	2,34	8,21	18,23
Tavl > +4°C	Ttill +18°C, Tfrån +22°C ideal motström						
Verkn/ Tförv	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	5,04	5,04	5,04	5,44	6,20	10,31	18,23
75%	3,42	3,42	3,41	3,42	4,24	8,64	18,23
80%	2,43	2,43	2,43	2,44	2,69	8,21	18,23
85%	2,34	2,34	2,33	2,34	2,34	8,21	18,23
90%	2,34	2,34	2,33	2,31	2,34	8,21	18,23
Ingen avfrosten	Ttill +20°C, Tfrån +22°C ideal motström						
Verkn/ Tförv	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	9,83	9,86	10,10	10,70	11,46	15,57	22,59
75%	7,18	7,22	7,48	8,12	8,94	13,34	20,86
80%	4,64	4,68	4,95	5,64	6,51	11,21	19,22
85%	2,28	2,32	2,61	3,35	4,27	9,26	18,23
90%	0,41	0,46	0,76	1,54	2,52	8,21	18,23
Tavl > +1°C	Ttill +20°C, Tfrån +22°C ideal motström						
Verkn/ Tförv	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	9,90	9,90	10,10	10,93	11,76	15,57	22,59
75%	7,37	7,42	7,76	8,52	9,43	13,34	20,86
80%	5,08	5,13	5,47	6,30	7,28	11,21	19,22
85%	3,12	3,17	3,51	4,36	5,40	9,26	18,23
90%	1,81	1,81	1,81	1,81	2,52	8,21	18,23
Tavl > +4°C	Ttill +20°C, Tfrån +22°C ideal motström						
Verkn/ Tförv	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	10,30	10,30	10,25	10,93	11,76	15,57	22,59
75%	8,12	8,12	8,12	8,12	8,94	13,34	20,86
80%	6,25	6,25	6,25	6,26	6,51	11,21	19,22
85%	4,80	4,80	4,80	4,81	4,81	9,26	18,23
90%	4,11	4,11	4,10	4,11	4,11	8,21	18,23

Tabell 3.7 Teoretiska ökning av specifikt energibehov kWh/ m²Atemp och år för motströms VVX med luftflödesbalans T_{till}+20°C och T_{från} +22°C från lägenheterna och 10% förlust relaterat till utomhustemperatur till ventilationsaggregatet.

Ökat eftervärmebehov om 10 % temperaturförlust i frånluftskanalen							
Tavl > +1°C	T _{till} +20°C, T _{från} +22°C, 10 % förluster ideal motström						
Verkn/ T _{förv}	Utan fv	-10	-5	-2	0	5	10
70%	3,84	3,84	3,78	3,56	3,49	3,79	3,78
75%	4,09	4,04	3,70	3,59	3,49	3,99	3,98
80%	4,26	4,21	3,87	3,46	3,35	4,12	4,12
85%	4,27	4,22	3,88	3,11	3,00	4,13	3,67
90%	3,88	3,88	3,87	3,88	3,74	3,33	2,33

Med 10 % värmeförlust från frånluftskanalen relaterat till utetemperaturen får ett ökat behov av eftervärme på ungefär 4 kWh/ m²Atemp och år. Det innebär om systemet har 1°C temperaturfall vid DVUT (-16°C), så ökar eftervärmebehovet för ventilationen med ungefär 1 kWh/ m²Atemp och år.

3.6. Värmeförluster från kanaler och rör

Värmeförluster från kanaler och rör så kallade distributionsförluster beror främst på följande fyra faktorer:

- Temperaturdifferensen mellan media (luft / vatten) och omgivningen.
- Ytterarea på rören/ kanalerna (rörlängden).
- Isoleringens värmemotstånd på den isolering som finns på rören/ kanalerna.
- Drifttiden

Vid en analys av värmeförluster från kanaler och rör utgår man från rör och kanaler som har en medietemperatur som avviker från dess omgivning. Några exempel:

- Frånluftskanaler bör ha samma temperatur (inom byggnaden) som sin omgivning, om den inte går upp på en kall vind och då erhåller en stor temperaturdifferens. Det innebär om det är 1°C temperaturfall till FTX-aggregatet vid DVUT (-16°C) så ökar eftervärmebehovet för ventilationen med ungefär 1 kWh/ m²Atemp och år.
- Uteluftskanaler har luft med utetemperatur, så där har man en stor temperaturdifferens på vintern. Kanalerna behöver därför vara välisolerade. Betydligt mer än den kondensisolering som är vanligt förekommande idag, se rekommendationer från Branschteknisk Isolering (BTI 2020). Så ventilationsaggregatet bör placeras så att kanallängderna minimeras på utelufts- och avluftskanalerna. Utgående ifrån överslag i BeBo/KTH/SBUF 13890-rapporten (Kempe, P. 2020) med FTX-aggregat i källare och ute- och avluft över tak ger en meranvändning av värme på 1,5 – 2,0 kWh/ m²Atemp och år med endast kondensisolering jämfört med isolering enligt BTI (2020).
- VV/VVC-system har kontinuerlig drift med en medelmedietemperatur på ca 53°C (55°C /51°C), så VV/VVC-systemet är det systemet som kan ha de största värmeförlusterna. För att minimera VVC-förlusterna behövs en bra isolering samt en optimering av VV/VVC-rördragningen, för att minimera antalet löpmeter VV/VVC-rör. Man bör även kontrollera förlusterna vid bjälklagsgenomföringarna och fördelningsskåp, då oisolerade rör har ca 8 gånger större förlust än ett isolerat rör. Även isoleringen i undercentralen bör kontrolleras, då det är vanligt med brister i den vilket leder till övertemperaturer som vädras bort. VVC-värmeförlusterna kan under vinterhalvåret ge ett bidrag till uppvärmningen om det finns ett värmebehov där de uppstår. Under varma somrardagar bidrar VVC-förlusterna till risken för övertemperatur. För lamellhus och om man behöver dra VV/VVC-rör under bottenplattan för att komma fram till VV/VVC-schakten, så kommer dessa värmeförluster att värma marken under byggnaden och kan då inte tillgodogöras. VVC-förluster är främst beroende av löpmeter VV/VVC-rör som systemet består av och bör bli 3 - 15 kWh/ m²Atemp och år, beroende på hur välanalyserat/ optimerat det är.

- Värmerör inom byggnaden har värmeförluster till sin omgivning, när värmebehov finns och man önskar att huvuddelen av värmeavgivningen skall vara styrd från radiatorer, konvektorer, golvvärme, etcetera. Vid lamellhus och om värmerör behöver dras under bottenplattan, för att komma fram till värmestammarna, så kommer dessa värmeförluster att värma marken under byggnaden och kan inte tillgodogöras. Värmesystemets värmeförluster som uppkommer om värmerören dras under bottenplattan blir en bråkdel av VV/VVC-systemet per löpmeter under plattan då värmesystemet har en lägre medeltemperatur. Så det kan bli några kWh/m²Atemp och år beroende på hur många löpmeter värmerör som hamnar under plattan.

Några exempel mer specifikt för kontorsbyggnader:

- Förluster från köldbärarrör till kylbafflar uppkommer främst under verksamhetstid om köldbärartemperaturen och dess flöde kan anpassa för små förluster under övrig tid. Det är dock är det viktigt att ”rampa” tillbaka börvärdena för att köldbärarsystemet inte erhålla en stor kyleffekttopp.
- VVC-förlusterna är främst beroende av var man placerar WC-grupper och pentry, omklädningsrum med duschar, eventuell kafeteria/ restaurang, etcetera.

För att få kontroll på värmeförlusterna är det viktigaste att i ett tidigt skede i byggprocessen ta fram antal löpmeter VV/ VVC-rör i byggnaden, för att komma fram till placering av VV/VVC-schakten och antal löpmeter i VV/VVC-rör i schakten med den isolering som de planeras att ha samt göra tillägg för rör utan isolering i fördelningskåp och beräkna en total värmeförlusteffekt, vilket ger ett första överslag på VVC-förlusten.

Behöver värmerör dras under bottenplattan räkna antal löpmeter värmerör under plattan från vilken den total värmeförlust detta kan ge på årsbasis beräknas. Samma typ av beräkningar behövs även för ventilationskanaler, som har en temperatur som avviker från omgivningen.

3.7. Köldbryggor

Köldbryggor är de delar av klimatskärmen som har större värmeförluster än övriga delar. Storleken på dessa värmeförluster beror på val av stomsystem, typ av huvudsaklig isolering, fönstermontage där olika stomleverantörer har olika lösningar för att uppfylla krav kring brand, fukt, slagregn, med mera.

Byggnad med betongprefabelement innehåller ofta ett stort antal olika prefabelement och beroende på storlek på fönster, antal fönster etcetera kommer andelen köldbryggorna att variera. U-värde för prefabelement är som definierat för större yta mitt i betongelementet, sedan finns köldbryggor för betongelementen runt fönster, kanter, ursparingar, brandcellsgränser samt armeringsstegar för att hålla fast ytterskivan, men även för fästpunkter för fönstren i elementen. Köldbryggorna får en större relativ betydelse om man använder PIR-isolering eller annan isolering med hög isoleringsförmåga, som ger låga mitt-U-värden. Så om man använder schablonpåslag för köldbryggor i tidiga skeden, så måste man veta vilken typ av vägg, isolertjocklek samt typ av isolering den refererar till. Tar man

inte hänsyn till detta finns risk att de verkliga köldbryggorna blir större och U-medelvärdet (U_m) högre.

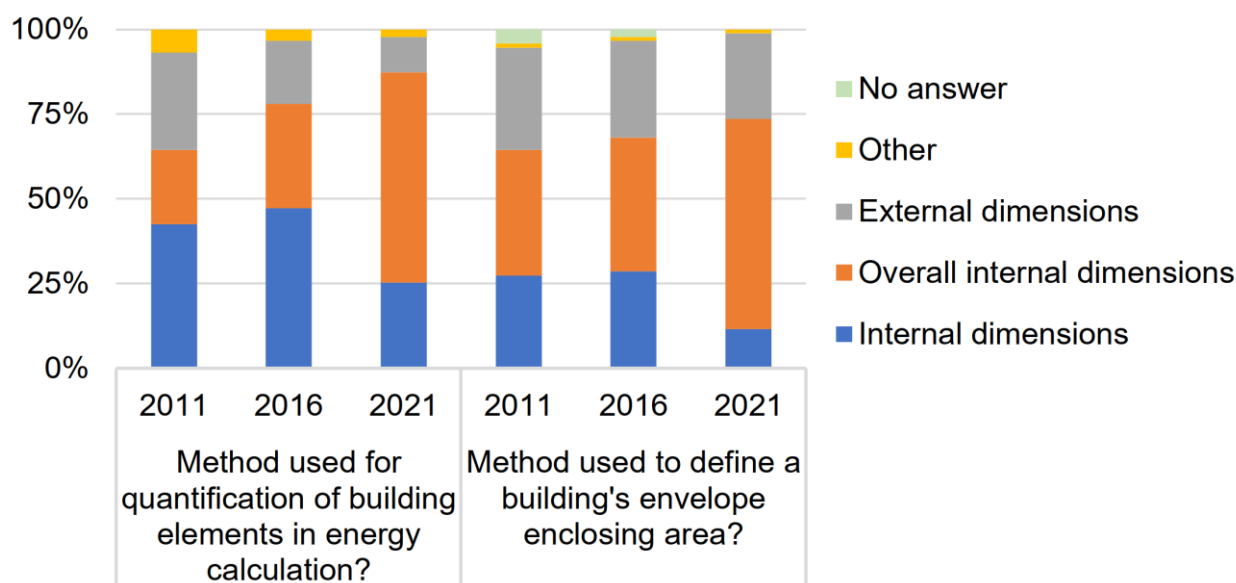
I figuren 3.18 visas ett exempel på fasad i en beräkningsmodell, där man ser att det blir många löpmeter köldbryggor runt fönster, kanterna på elementen, med mera.



Figur 3.18 Exempel på fasad av där det blir många löpmeter köldbryggor.

I SBUF 12801-rapporten "Undvik fel och fällor med köldbryggor" (Larsson 2015) kan man läsa om definitioner om köldbryggor och vad man bör tänka på. Köldbryggor beror på stomsystem, men de köldbryggor som bör ha störst betydelse är fönsteranslutning, balkong/loftgångsinfästningar samt kantbalken.

I figur 3.18 visar delresultat från enkätstudie som visar på stor spridning i definitioner.



Figur 3.19 Resultat från enkäter om areadefinitioner vid beräkning av U-värden (Berggren 2022)

3.8. Injustering och driftsättningens betydelse

Det finns en unik utvärdering 2015–2017 av serieproducerade mindre punkthus, *SABO:s Kombohus Bas i utvärderingsprojekt* (Levin 2018) med finansiering av Energimyndigheten. Projektet utvärderade 46 flerbostadshus med 2 till 4 våningar (8–16 lägenheter).

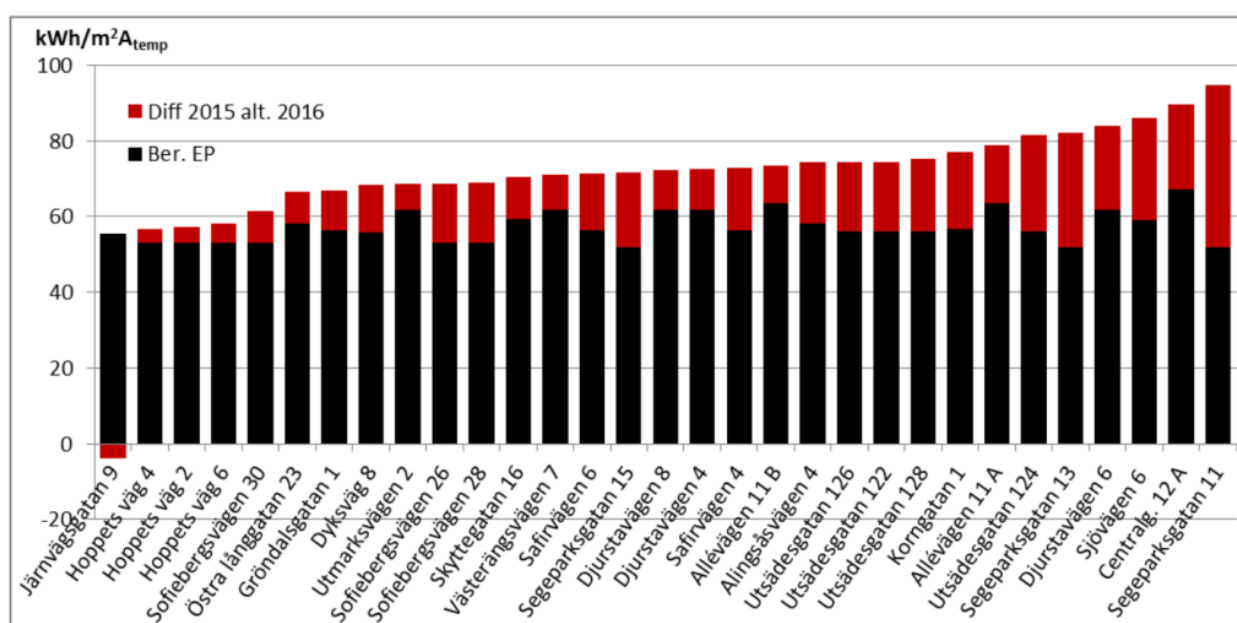
Energiprestanda i dessa SABO Kombohus Bas 2015 – 2017 var:

- Beräknat medel 57 kWh/ m²A_{temp} och år,
- Uppmätt medel 70 kWh/ m²A_{temp} och år
- Uppmätt korrigerat medel 77 kWh/ m²A_{temp} och år

I figur 3.20 redovisas värden för de fjärrvärmvärmda husen. I figuren kan ses att ungefär en fjärdedel flerbostadshusen är uppmätt energianvändning nära den beräknade.

Resterande flerbostadshus använder mer eller mycket mer energi.

Värmeanvändningen i de utvärderade flerbostadshusen är i princip dubblerad.



Figur 3.20 Energiprestanda för Kombohus Bas med FJV i utvärderingen (Levin, P. 2018)

Trots att varmvatten står för ca 40% av energianvändningen, så saknas varmvattenmätare i ungefär hälften av flerbostadshusen, så i studien fick mängden varmvatten beräknas från andel av köpt kallvatten. Dessutom användes lokala installatörer i många av projekten, så det finns en stor spridning i injustering och inställda börvärden som styr installationerna. Flerbostadshuset som ligger högst, Segeparksgatan, monterades radiatortermostater med felaktig maxbegränsning 26°C, vilket gav över 25 °C i lägenheterna under första vintern. Orsaken var en kraftig ökning av andelen hyresrätter i kommunen och driftorganisationen han inte med att ta emot flerbostadshusen på rätt sätt. De kommande åren fick driftorganisationen succesivt arbeta med att sänka börvärdena i lägenheterna och framledningstemperaturen.

Det är således viktigt att driftsättningen, injustering och samordnad funktionsprovning utförs i god tid före slutbesiktning, så att det blir rätt samt att driftorganisationen under första året ges tid att verifiera att installationssystemen fungerar som avsett.

3.9. Styrproblem

Det finns många styrproblem som ökar byggnaders energianvändning. Problemen beror ofta på bristfällig driftsättning samt att driftorganisationen inte har haft tid/möjlighet lära sig systemen och kontrollera alla funktioner. Nedan finns några exempel:

- Ventilation med forcering
Ventilationen till en ljusgård har möjlighet till forcering vid event i ljusgården. Dock var forceringen felinkopplad, så forceringen gick kontinuerligt i stället för vid behov. Liknande situationer kan uppstå vid förlängd drift av kontorsventilation, som går oväntat mycket.
- Avvikande drifttider i byggnaden
Olika hyresgäster i en kontorsbyggnad kan ha olika verksamhetstid och då beror energianvändningen till ventilationssystemet på hur bra systemet är på att hantera det. Sektionering av ventilationssystemet och ventilationsaggregatets verkningsgrader vid olika delaster kommer att påverka meranvändningen av energi.
- Kylmedelskylare - styr på fel givare
Kylmedelskylare ska styra på att erhålla en viss temperatur tillbaka till köldbärarsystemet i byggnaden, men om den i stället har temperaturen in till kylmedelskylare kommer kylmedelskylare att gå på max med risk för ljudproblem med mera. Situationen kan uppstå om till exempel en temperaturgivarna till styrningen blivit felinkopplad i entreprenaden.
- Kylåtervinning i ventilation
Kylåtervinning (främst kontor) är att nyttja den svala inneluften/ frånluften under varma sommandagar ($>+25^{\circ}\text{C}$) och värmväxla mot inkommande varm uteluft, så behovet av köpt kyla minskar, för att erhålla önskad tilluftstemperatur. Så när kylåtervinningen inte fungerar behöver mer kyla köpas för att hålla tilluftstemperaturen.
- Rumsregleringar så värme och kyla går mot varandra
När man har rumsregleringar för värme och kyla vilka styrs i respektive rum/ zon är det vanligt förekommande att de står på maximal värme respektive kyla och då används mycket värme och kyla i onödan. Driften bör få bättre möjligheter att få en överblick hur rumstermostater är inställda (visuellt per kontorsplan), samt automatisk återställning till $+22^{\circ}\text{C}$ av rumsbörvärdena minst 1 gång per dygn.
- Sektionering av värmesystemet och anpassade värmekurvor
Kontorsbyggnader har under uppvärmningssäsongen olika behov av värme på olika

fasader bland annat på grund av solinstrålning. Värmesystemet bör därför delas upp per fasad och värmekurvorna anpassas för respektive del av kontorsbyggnaden för att på så sätt minska värmeanvändningen.

- Reglerproblem för varmvatten respektive värme
Reglerproblem där varmvattentemperaturen respektive framledningstemperaturen för värmesystemet, vilket beror på att ventilstorleken, inte är anpassad till byggnadens aktuella behov av varmvatten respektive värmeeffekt/framledningstemperatur.
- Pumpstoppstyrning
Pumpstoppstyrningen under sommarhalvåret är ofta bristfällig, vilket innebär att värme pumpas ut under sommaren utan att det finns ett värmebehov, vilket ger en ökad värmeanvändning. Detta kan även ge värmeeffekttoppar, särskilt till golvvärmesystem, då man på kort tid värmer värmesystemet till börvärdet som kan innehålla en stor massa.
- Pumpstyrning
Ibland så går bara huvudpumpen i ett system om något av undersystem är i drift. Exempelvis kylsystem, så går huvudpumpen endast när något av undersystem har behov av kyla. När installationssystem i en kontorsbyggnad togs i drift allt eftersom olika delar av byggnaden färdigställdes finns risk att kopplingar mellan delsystemen inte aktiveras.
- Felinställd förvärmning till FTX-aggregat för flerbostadshus
För FTX-aggregat utan eftervärmare bör man inte förvärma mer än till +0°C, så att avfrostningscykler undviks, vilket presenterats tidigare i rapporten. Det finns flera exempel då driftorganisationer har varit tvungna att öka förvärmningen, för att åtgärda klagomål på kall tilluft. Problemet blir extra stort om frånluftskanalen har stora värmeförluster under vintern, för då begränsas värme-återvinningen och i det fallet förvärmades uteluften till +15°C för att kunna hålla tilluftstemperaturen. Tabell 3.4–3.7 ger teoretiska energibehov för olika fall.
- FTX-aggregat till flerbostadshus med motströmsvärmväxlare utrustade med bypass-spjäll för avfrostning får problem under värmeböljor med att värmväxlaren inte kan stängas av så att den svala nattluften värms upp av varm frånluft. Det medför att tilluften under natten inte kan komma ner under 23°C, när det är 19°C ute och 26°C i lägenheterna. Se figur 5.6.
- Rökdektorer med för få anslutna lägenheter blir för känsliga och kan lösa ut så att brandgasförbigången öppnar förbi värmeåtervinningen vilket leder till att det erfordras betydligt mer eftervärme för att värma tilluften till önskad temperatur innan driften har återställt felet den. I ett av flerbostadshusen inträffa detta 6 gånger under uppvärmningssäsongen och motsvarade en ökning av värmeanvändning på ungefär 4 kWh/ m²Atemp och år. Så det är viktigt att följa leverantörens rekommendationer för rökdetektorer.

3.10. Sammanfattning av avvikelsernas energibetydelse

I det här avsnittet sammanfattar vi olika typer av avvikelser och diskuterar deras konsekvenser för energianvändningen och då används Mälardalen, men kan anpassas till andra områden.

Luftflödesbalansens betydelse för värmeanvändning.

En luftflödesbalans på 0,9 för lufttätt flerbostadshus används för att minska risken att fuktig rumsluft läcker ut i klimatskärmen under uppvärmningssäsongen, men ger samtidigt en ökning av byggnadens energianvändning med ca 2 kWh/ m²Atemp och år. Detta ger ett undertryck runt 5 Pa beroende på totala läckflödet för lägenhet Q₅₀ och luftflödesdifferensen mellan till- och frånluft.

Internlasternas betydelse för värmeanvändning

Om hushållselen är 20 kWh/ m²Atemp och år i stället för 30 kWh/ m²Atemp och år vilket är normalt brukande av hushållsel i bostäder enligt BEN, så ökar värmeanvändningen med ca 4 kWh/ m²Atemp och år. För en kontorsbyggnad där verksamhetselen är lägre ökar värmen under vinter, men kylan minskar under sommaren, så byggnadens energianvändning påverkas inte så mycket.

Tilluftstemperatur

Om tilluftstemperaturen ökas från 18°C till 20°C ökar eftervärmningsbehovet med några kWh/ m²Atemp och år, men minskar för värmesystemen i lägenheterna Totalt ökar behovet för byggnaden med ca 1 kWh/ m²Atemp och år. Men det gäller om man har att tilluften i lägenheten kan tillföras med 18°C utan att drag uppstår i lägenheterna.

Injustering av ventilationen

Beroende på hur väl ventilationssystemet är injusterat kan det ge upphov till en ökad energianvändning på i storleksordningen 1 - 3 kWh/ m²Atemp och år.

Avfrostning/ Tavluft

Avfrostningen påverkas av hur mycket som kondenserar i värmeåtervinningen vilket i sin tur beror på frånluftens fukttinnehåll, RF. Om det modelleras i byggnadsenergiprogram genom att begränsa avluftstemperaturen och varierar man avluftstemperaturen så erhålls att påverkan kan vara 1 - 2 kWh/ m²Atemp och år om flerbostadshusets FTX-aggregat har en någorlunda normal funktion och inte fastnar i avfrostning.

Förvärmning till mer än -2°C

Förvärmning till mer än -2°C ökar kraftigt förvärmningsenergin när temperaturen efter förvärmningen blir plusgrader. Från tabell 3.4 – 3.5 kan ses att förvärmningsenergin relaterad till -2°C blir: 0°C 1 kWh/ m²Atemp och år; 5°C 7 kWh/ m²Atemp och år 10°C 17 kWh/ m²Atemp och år

Värmeförluster från kanaler och rör (distributionssystem)

VVC-förluster är beroende av löpmeter VV/VVC-rör och kan vara 3 - 15 kWh/ m²Atemp och år beroende hur väl utformningen av VVC-systemet är optimerat.

Ett temperaturfall på frånluften på 1°C vid DVUT (-16°C) ökar eftervärmebehovet för ventilationen med ungefär 1 kWh/ m²Atemp och år. Så det kan bli några kWh/ m²Atemp och år om man inte arbetar med att minimera denna förlust. Ute- och avluftskanalernas värmeförluster beror på löpmeter kanaler och isoleringsgrad och kan även de vara några kWh/ m²Atemp och år. Värmeförluster från värmerör som dras under bottenplattan kan också bidra med några kWh/ m²Atemp och år.

Köldbryggor

Totalt verkar köldbryggorna stå för 25–30% av värmebehovet för flerbostadshusen med prefabstomme och den största köldbryggan är runt fönstren som står för ungefär hälften av köldbryggorna och därefter kommer balkonginfästningarna. Köldbryggorna ger någon kWh/ m²Atemp och år mer än i många energiberäkningar.

Injustering och driftsättning

för två likadana flerbostadshus drog det ena huset 60 procent mer värme. Vid kontroll visade det sig att det huset hade 6°C förhöjd framledningsskurva. När den framledningsskurvan återställdes blev energianvändning lika i de två husen. När de boende väljer att ha en innetemperatur över 22°C, så får man enligt BEN korrigera med 5% av värmen per grad, för varje grad övertemperatur i lägenheten över 21°C. Beror avvikelserna istället på grund av installationstekniska brister så fås ingen korrigering utföras. Ser man på avvikelserna i figur 3.20 kan de bristerna resultera i stora meranvändningar av värme.

Styrproblem

Styrproblem kan ge mycket stora avvikelser, så det gäller att verifiera att installationer fungerar som avsett, för att ha en möjlighet att erhålla den beräknade/ önskade energiprestandan. Vid driftstarten låg ett flerbostadshus 70 procent för högt i energianvändning, vilket visade bero på att givaren för framledningstemperaturen visade 10°C. Efter att givarna kalibrerats följde flerbostadshuset sin beräknade värmeanvändning.

Tryckmätningen över värmeväxlaren var felaktig, så ventilationsaggregatet gick till stor del i avfrostning och använde därmed betydligt mycket mer eftervärme.

Rökdetektorer med för få lägenheter anslutna, så att de felaktigt öppnar brandgasbypass och ventilationen går utan värmeåtervinningen tills driften har återställts. Detta resulterar att ett flerbostadshus använde 20 % mer värme.

Sammanfattning

Hur kan man minska avvikelserna?

- Kvalitetssäkra konstruktionen från tidiga skeden, produktionen, driftsättningen, injustering och samordnad funktionsprovning.
- Verifiera VVC-förluster med mera inför slutbesiktningen, så driften får en möjlighet att sköta en energieffektiv byggnad. Det vill säga se till i tidiga skeden att få en design på byggnaden, placering av fläktrum och schakt, så att VVC-förlusterna, förluster från ventilationskanaler med mera blir små.
- Driftorganisationen behöver få tid för att skapa en översikt och ta kontroll över installationssystemens funktion. Det är den energieffektiviseringsåtgärd som har bäst återbetalningstid.

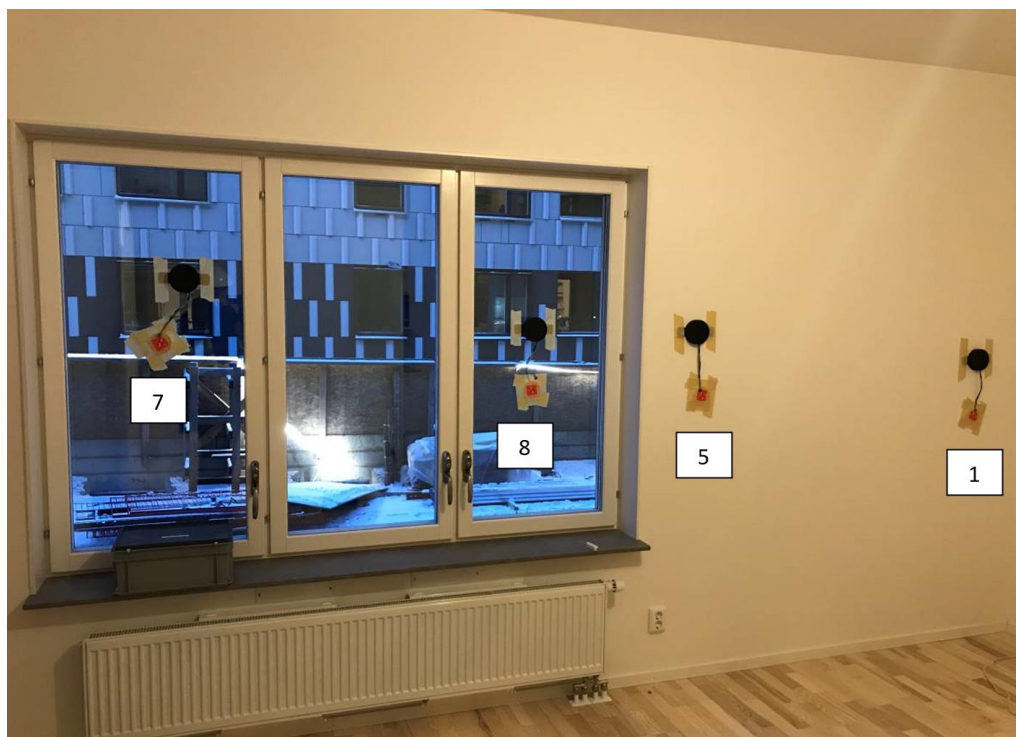
4. Klimatskärmkontroller

För projektets räkning har Saint-Gobain har bidragit med Klimatskärmkontroller på fem flerbostadshus med QUBe-metoden, för att ge exempel på avvikelser som kan förekomma mellan teoretiska U-värden och uppmätta U-värden på lägenheters ytterväggar med viss påverkan av köldbryggor.

4.1. Kort beskrivning av QUB/e-metoden

Saint-Gobain Research i Paris har utvecklat en mätmetod för att snabbt mäta energieffektivitet i form av U-värden för byggnader under hela byggprocessen, QUB/e-metoden (Puhringer, T., 2022). Metoden skiljer sig från liknande mätmetoder genom att man på enbart på en natt får fram U-värden på uppmätta ytor.

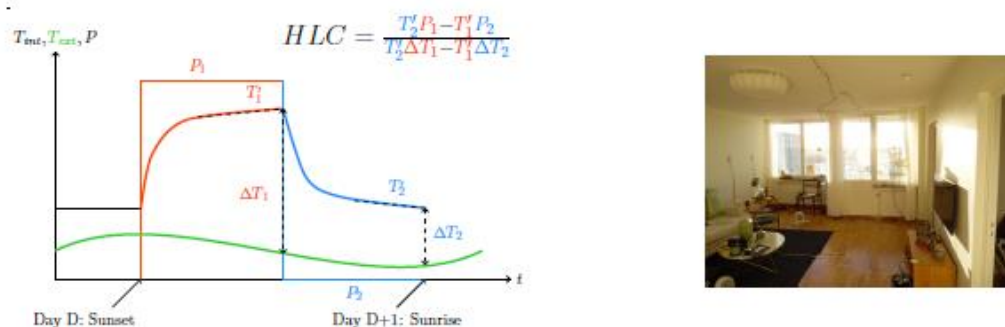
Principen för metoden går ut på att man under halva natten värmer upp lägenheten för att sedan stänga av värmen helt och låta temperaturen sjunka fritt. Värmeflöde, temperatur och tillförd energi mäts kontinuerligt under hela perioden. Efter avslutad mätning analyseras de båda kurvorna, uppvärmning och avkylning, för att få fram U-värden på aktuella ytor. Metoden är framtagen i samarbete med flera Universitet, och verifierad genom labb-försök samt fler än 1000 fältmätningar varav 40% nyproduktion. Jämförande test med ISO 9869-1 (+/- 10% i förhållande till ISO 9869-1) har gjorts för att säkerställa metodens noggrannhet. Mätningar med QUB/e-metoden utfördes tidigare av Saint-Gobain Research i Paris, men på grund av pandemin med minskad rörlighet mellan länderna i Europa har Saint Gobain Sweden AB startat upp en egen verksamhet för dessa mätningar.



Figur 4.1 Exempel som är hämtat från bilaga 1 "Klimatskärmkontroll objekt 2" på hur sensorerna är placerade vid mätningarna

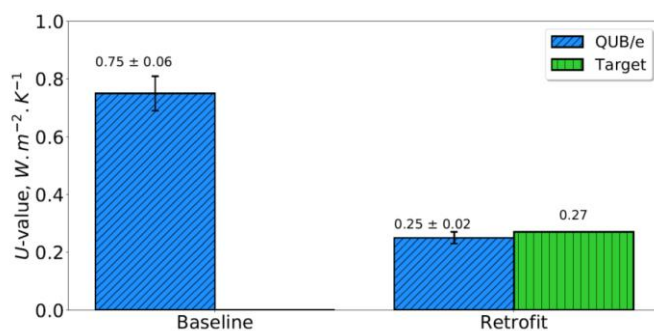
Metoden användes på ett av Stockholmhems flerbostadshus i EU H2020 GrowSmarter project. I figur 4.2 är metoden kort ”teoretiskt” beskriven och i Tabell 4.1 är resultaten från Stockholmhems flerbostadshus som renoverades i samband med det projektet.

- A dynamic measurement in a single night (no occupancy) to estimate the whole HLC and the local U -values
- Based on a simple 1R1C model: $C \times T'(t) = P - HLC \times \Delta T$

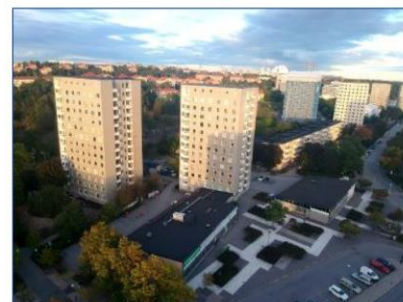


Schematic evolution of temperatures and heating power during a QUB/e test (left) and overview of sensors used (right)

Figur 4.2 QUBe-metodens teoretiska bakgrund, BeBo-Workshop 2021-10-21 (BeBo 2021)



Meulemans (Cold Climate 2018, CISBAT 2019, Beyond 2020)



Figur 4.3 Resultatet vid mätningarna av U-värden i Stockholmhems flerbostadshus i presenterad av Meulemans på BeBo-Workshop 2021-10-21 (BeBo 2021)

4.2. Sammanfattning från de fem klimatskärmkontrollerna

Klimatskärmkontroller är utförda av Saint Gobain Sweden på fem flerbostadshus och nedan är resultaten angivna i tabellform med kommentarer från rapporterna för respektive objekt. Ursprungliga tanken var att det skulle ha utförts ytterligare några fler klimatskärmkontroller, men det har inte kunnat genomföras då varit problem med tillträde till lägenheter under uppvärmningssäsongen på grund av Pandemin. I bilaga 1 redovisar fullständig klimatskärmkontrollrapporten för objekt 2, och i kapitel 4.3 ges några slutsatser/ reflektioner från klimatskärmkontrollerna.

4.2.1. Objekt 1

Mätningen gjordes i visningslägenhet i redan inflyttat hus. Husets ytterväggar består av regelstomme med 220 mm mineralull samt ytterligare 80 mm mineralull innanför stommen. Fasaden består av skrivmaterial med luftspalt. Beräknat U-värde för konstruktionen är 0,123 W/m²K.

Fasad	U-värden	Fönster	U-värden
1	0,104	1	0,848
2	0,126	2	0,790
3	0,104	3	0,776
4	0,109	Vid köldbrygga	U-värde
5	0,118	Pelare varm del	0,227
		Pelare kall del	0,782
		U-värde Fönster är för glasning	

För fasaden uppmättes värden som förväntat. De är visserligen lägre än beräknat men det är vad man kan förvänta sig eftersom det ger ett U-värde utan inverkan av regler, sammantaget U-värde bör därför ligga i närheten av beräknat värde. Medelvärde av mätningen ger ett U-värde på 0,112 W/m²K. Fönster visade förväntade resultat och med en låg spridning.

Köldbryggorna visade ha relativt hög skillnad mellan den varma och kalla delen. Dessa värden kan bekräfta vad som detekterades med värmekamera.

4.2.2. Objekt 2

Fullständig klimatskämsrapport finns i bilaga 1.

Ytterväggarna är uppbyggda av regelkonstruktion med skärmtegel utanför lägenheten med ett beräknat U-värde för konstruktionen på 0,132 W/m²K. Lägenhetsavskiljande väggar är av betong.

Fasad	U-värden	Fönster	U-värden
1	0,107	7	0,880
2	0,108	8	0,895
3	0,124	U-värde Fönster är för glasning	
4	0,129		
5	0,134		
6	0,180		

Utifrån värdena kan det antas att sensor 1 (längst till höger i vardagsrummet) och sensor 2 (andra sensorn från höger i sovrummet) placerades mellan reglarna och med mycket låg spridning. Sensor 3 till 5 antas ha placerats mer eller mindre på reglarna och ger då ett

högre värde på grund av reglarnas inverkan. Sensor 6 antas vara placerad närmare bärande stålpelare och visar därmed högre värde. Fönster visade förväntade resultat och med låg spridning. Medelvärde av mätningen ger ett U-värde på 0,130 W/m²K

4.2.3. Objekt 3

Ytterväggarna för flerbostadshuset är uppbyggda betongelement av sandwichtyp med 150 mm PIR-isolering, vilket ger ett teoretiskt U-värde på 0,17 W/m²K. Sedan tillkommer köldbryggor runt fönster med ca 30 % av väggarnas UA-värde. Därutöver tillkommer även elementkanter och balkonger. Fönstrens U-värde är 0,86 W/m²K.

Fasad	U-värden	Fönster	U-värden
1	0,359	2	0,745
3	0,207	4	0,518
5	0,285	8	0,667 (Balkongdörr)
6	0,554 (Köldbrygga vid bjälklag)	9	0,745
7	0,137 (Regelvägg)	U-värde är för glasningen	
10	0,439 (Köldbrygga vid mellanvägg)		

För de 3 mätpunkter som sattes på större betongytor kan konstateras en relativt stor spridning mellan 0,20 W/m²K och 0,36 W/m²K i U-värde. Vad denna spridning beror på är svårt att förklara.

Mät punkt 6 och 10 förväntades ge högre värden då det i regel är tunnare isolering vid bjälklag och mellanväggar. För glaspartierna ligger de relativt jämt mellan 0,66 W/m²K och 0,75 W/m²K med undantag för mät punkt 4 som ligger lägre.

4.2.4. Objekt 4

Ytterväggar för flerbostadshuset är uppbyggda av betongelement (halvprefab) med 100 mm PIR-isolering kompletterade med 50 PIR och organisk tunnputs. Konstruktionen får ett teoretiskt U-värde på 0,16 W/m²K. till det tillkommer köldbryggor runt fönster med ca 33 % av väggarnas UA-värde. samt även elementkanter och balkonger. Fönstrens U-värde är 0,90 W/m²K.

Fasad	U-värden	Fönster	U-värden
1	0,328	1	0,777
2	0,270	2	0,784
3	0,293	3	0,761
4	0,248		
5	0,263	Köldbrygga	U-värde
		Ovankant	0,827
		Sockel	0,859
		U-värde är för glasningen	

För fasaden uppmättes ett betydligt högre värden än förväntat. Medelvärde av mätningen ger ett U-värde på $0,280 \text{ W/m}^2\text{K}$. En möjlig förklaring kan vara uttorkningen av betongväggen. Eftersom PIR-isoleringen är diffusionstät erhålls enkelsidig uttorkning vilket delvis kan förklara ett högre värde.

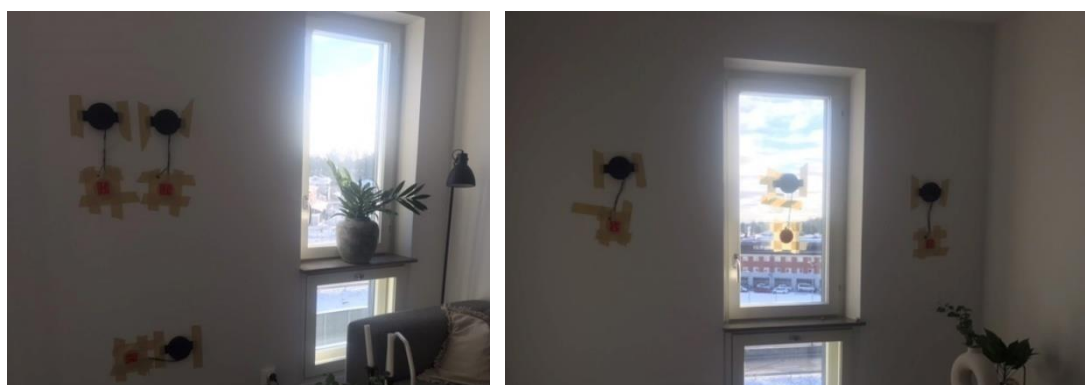
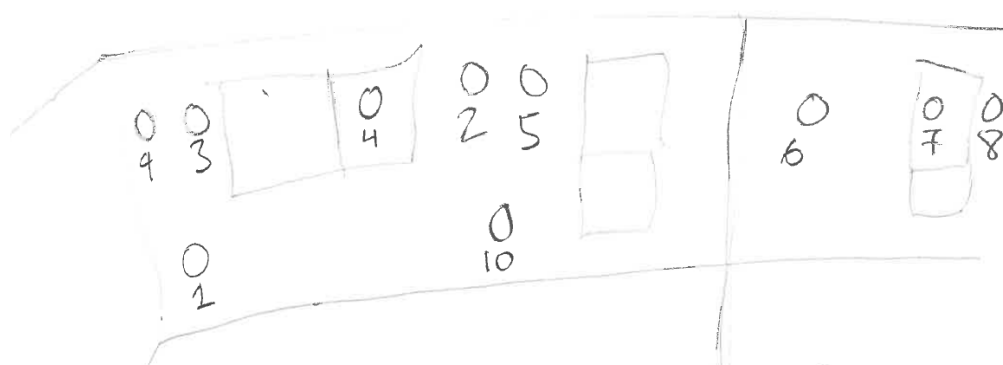
Fönster visade förväntade resultat och med en låg spridning. Köldbryggorna visade relativt höga flöden. Dessa värden kan bekräfta vad som detekterades med värmekamera.

4.2.5. Objekt 5

Husets ytterväggar är uppbyggda betongelement (halvprefab) med utvändig isolering och puts. Ytterväggen ska ha ett teoretiskt U-värde på $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ samt ett påslag för köldbryggor på 33%, vilket ger runt $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$. Fönstren har U-värden på $0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$.

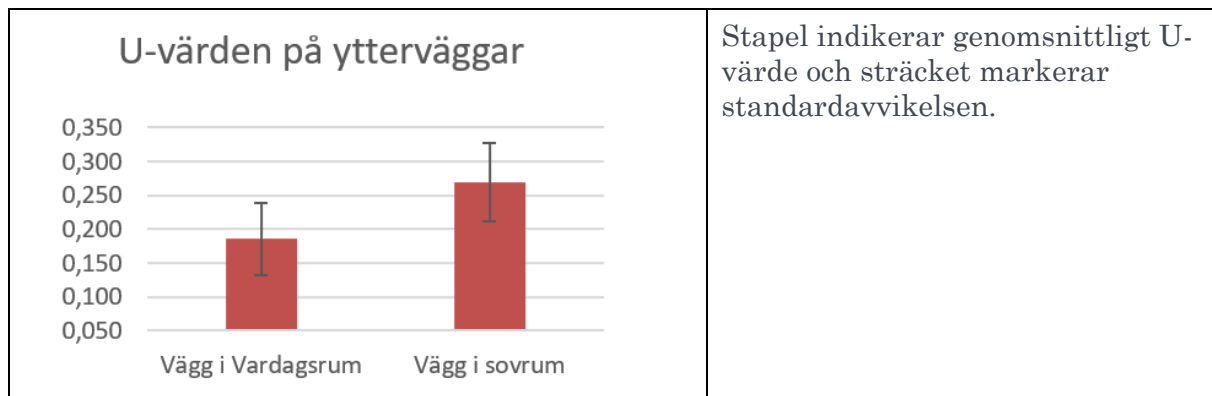
Nedan är ett utdrag ur rapport för objekt 5, vilket är en visningslägenhet.

Denna mätning utfördes över helgen, så då erhöles tre mätserier, vilka har analyserats. I vardagsrummet placerades 2 grupper om 3 sensorer och i sovrummet placerades 2 sensorer. Utöver dessa placerades 2 sensorer på fönster. Sensorplaceringarna visas nedan.



Figur 4.4 Sensorplacering 2,5,10 respektive 6,7,8 vid mätningen i objekt 5

Mätning utfördes under en helg, vilket innebär att testet upprepades under tre nätter i följd. Testperioden startades klockan 18 varje kväll och avslutades klockan 06 på morgonen. De olika nätterna gav överensstämmande resultat, vilka redovisas som sammanvägda U-värde med standardavvikelse i figur 4.4.



Figur 4.5 Resultatet av U-värde mätningarna för objekt 5

I vardagsrummet sattes 6 sensorer fördelade i två grupper. Totalt för de 3 nätterna innebär det 18 mätningar. Sensorerna närmast hörnet (1,3,9) gav något högre värden på i medel 0,25 W/m²K jämfört med de som satt mitt i rummet (2,5,10) som gav ett medelvärde på 0,17 W/m²K. I sovrummet visas ett högre värde men det är ganska stor skillnad mellan de två sensorerna. Sett till enbart sensor 6 är medelvärdet 0,22 W/m²K medan sensor 8 ligger strax över 0,30 W/m²K. De två fönster som mättes hade ett genomsnittligt U-värde på 0,87 W/m²K.

Mätningen utfördes med gott resultat sett till uppvärmningseffekt och temperaturdifferens. En temperaturökning på 1,5–2 grader erhöles vilket är fullt tillräckligt för metoden men inte för högt för att få avvikelser i resultat. Flera sensorer monterades nära varandra för att se om de skiljer sig mellan punkterna. Det resulterade i väl överensstämmande värden på de sensorer som satt mitt i vardagsrummet. Även de sensorerna som placerades nära hörnet visade inbördes jämna värden om än högre. Däremot var det stor spridning i sovrummet, troligtvis beroende på att sensor nr 8 placerades nära hörnet och därmed får viss inverkan av köldbrygga där.

Det som kan konstatera är att sensor 2, 5 och 10, som placerades mitt i rummet, troligtvis visar det mest representativa värdet för ytterväggskonstruktionen. Resultatet från mätningen ska hanteras i forskningssyfte och inte ses som ett definitivt resultat. Varför sensorerna i sovrummet och nära hörnet i vardagsrummet visade på högre värden är svårt att svara på, en aspekt kan vara inverkan av närliggande väggar.

4.3. Slutsatser från klimatsskärmkontroller

Objekt 1 och 2 är tjockare utfackningsväggar med mindre avvikelser mellan teoretisk och uppmätt U-värde. För objekt 3 – 5 med betongelement och PIR-isolering blir köldbryggorna en större del av det totala UA-värdet/ värmeförlusterna. För objekt 1 till 4 har entreprenörerna använt egna bibliotek över köldbryggorna, för deras byggsystem, vilket används i projektering och energiberäkningar medan objekt 5 har endast schablonpåslag använts.

Det kan konstateras att:

- Det är svårt att se vad UA-värde med tillägg för köldbryggor blir för en viss vägg i lägenhet, då allt summeras upp till flerbostadshuset UA-värde och det beräknade U-medelvärdet (U_m).
- Från analys av några UA-beräkningar med köldbryggor kan man se att fönster med köldbryggor runt fönstren står för ungefär halva flerbostadshusens totala UA-värde vid prefabstomme.
- Vid diskussioner med de som utfört byggnadsenergiberäkningar framkom att nya uppdaterade bibliotek för köldbryggor med högpresterande isolering visade högre värden.
- Det krävs således en ökad detaljanalys av köldbryggor för energieffektiva flerbostadshus i projekteringen med särskild hänsyn till de prefabelement som används.

5. Energianvändning vid kallt vinterväder

Många byggnader har haft problem under januari och februari 2021 med en kraftig ökning i energianvändning. Analyser har genomförts för att se vad som har bidragit till den kraftigt ökade energianvändningen vid kall väderlek. Mätdata tillsammans med driftbilder har fått av fastighetsägare, för ett mycket stort antal ventilationsaggregat, bergvärmepumpsanläggningar och frånluftsvärmepumpar, vilka sedan har analyserats och några representativa fall lyfts fram.

Beroende på typ av byggnad, flerbostadshus eller lokal/ kontorsbyggnad, är det olika typer av avvikelser som är viktiga. I båda typerna av byggnader är det viktigt att ha kontroll på installationssystemens funktion jämfört med den avsedda samt de olika avvikelserna och deras energibetydelse.

För energieffektiva flerbostadshus är varmvattenenergin och värmeenergin ungefär lika stora och båda står för strax över 40 procent vardera av energianvändningen. Till det kommer att fastighetselen är 15 - 20 procent av byggnadens energianvändning.

Vid korrekt drift handhar ventilationen mer värmeenergi än varmvatten och värmen tillsammans. Värmeenergin i frånluften relaterad till utetemperaturen är för flerbostadshus i Stockholmsområdet ca 55 kWh/ m²Atemp och är beroende på frånluftstemperaturen. Huvuddelen av denna värmeenergi överförs i värmväxlaren till inkommande uteluft (vilken blir tilluft) och behöver under vintern kompletteras med eftervärme för att erhålla önskad tilluftstemperatur. I bostäder är fuktalstringen ofta så pass stor att kondensering i värmväxlaren uppstår när uteluftstemperaturen närmar sig 0°C och påfrysning sker sedan när temperaturen på inkommande uteluft blir lägre än några minusgrader. För att det inte ska bildas för mycket is i växlaren finns olika typer av avfrostningsfunktioner, för att smälta isen och sedan kunna återgå till normal drift.

Beroende på hur avfrostningsfunktionen fungerar kommer det att krävas mer eftervärme och/eller mer värme i lägenheterna om avfrostningsfunktionen ändrar luftflödesbalansen. Ett sätt att undvika/ kraftigt reducera avfrostningsbehovet i flerbostadshus är genom att förvärmning av inkommande uteluft till någon minusgrad med lågvärdig energi, exempelvis geoenergi/borrhål, så kallad geoFTX (Kempe 2021). När frånluftens dagtemperatur, T_{dagg} , (Tabell 3.1) är högre än VVX-plåtens temperatur kommer fukt att kondensera på VVX-plåten samt frysa på om minusgrader så att avfrostning erfordras efter ett tag. I kontorsbyggnader är fuktalstringen oftast så pass liten att den inte ger påfrysning i värmeåtervinningen och där med ett lågt behov av avfrostning.

Energiberäkningsprogram kan exempelvis ta hänsyn till avfrostningen genom att min begränsa avluftstemperaturen, T_{avl} , för att efterlikna den medeltemperatur som erhålls under avfrostningscykler, se figur 3.13. I verkligheten kommer avluftstemperaturen, T_{avl} bero på fukttinnehållet i frånluften, frånluftsfukt, typ av värmväxlare, avfrostning, etcetera. Exempel på detta presenteras i kapitel 5.1.

För att höja temperaturen efter värmeåtervinningen till önskad tilluftstemperatur behövs eftervärme samt när utetemperaturen sjunker och om avfrostning är aktiv behövs mer eftervärme, se figur 3.12. I verkliga aggregat kommer värmeåtervinningen att periodvis reduceras för avfrostning och avluftstemperaturen blir högre. Tar man ett medelvärde av

avluftstemperaturen, T_{avl} när utomhustemperaturen, T_{ute} är under några minusgrader bör man kunna göra en kurvanpassning liknande figur 3.14.

För att lättare kunna tolka figurerna över hur ventilationsaggregaten fungerar när kallt ute kan man se i figur 3.16 för att se några teoretiska temperatursamband, som man kan erhålla om man tar fram medeltemperaturer i korskorrelationsanalyserna av mätningarna liknande figur 3.14. Om exempelvis avluftstemperaturen blir $+4^{\circ}\text{C}$, så bör man använda den begränsningen i sin energisimulering och räkna fram värmeanvändning eller titta i tabell 3.4 eller 3.5 och bedöma vilken betydelse den högre T_{avl} ger. Men är det flera avvikelser samtidigt bör man ta hänsyn till dessa med en ny energiberäkning med aktuella avvikelser.

Det är även möjligt att se vilken betydelse en förvärmning har värmeenergimässigt. Det finns en annan aspekt som inte framkommer i tabellerna, vilket är värmeeffektbehov när ventilationen avfrostas och vilken betydelse detta eventuellt kan ha på effektagifter och abonnemangskostnader.

Förvärmningen kan vara GeoFTX (borrhål) (Kempe 2021), elektrisk förvärmning eller FJV via separat krets med frostskydd till förvärmaren. Fördel med GeoFTX är att den under varma sommardagar kan ge sval tilluft, men luftflödena i bostäder är för låga för att kunna ”kyla”.

Om man inte har eftervärmare bör man inte förvärma mer än till $+0^{\circ}\text{C}$, vilket är för att undvika avfrostningscykler. Förvärmer man mer med FJV eller el blir värmeenergianvändningen för hög. Det behövs ungefär fem gånger mer förvärmningsenergi än eftervärmningsenergi, för att erhålla en viss tilluftstemperatur. Så då bör övervägas att komplettera med ett eftervärmningsbatteri.

5.1. Avfrostning av FTX-system i bostäder

Avfrostningsfunktioner erfordras för att ta hand om kondens, frost och is som kommer från fukten i frånluften och behövs vid temperaturer runt 0°C och kallare. För att minska påverkan av frånluftfukten på värmeåtervinningen finns olika typer av avfrostningsfunktioner för FTX-system, som används för att smälta frosten/ isen och sedan kunna återgå till normal drift.

Flerbostadshusägares driftpersonal har skickat mätdata från kalla perioder för olika fabrikat med olika typer av avfrostningsfunktioner, som bidrag till projektet. Mätdata är främst från södra halvan av Sverige (Endast ett ventilationsaggregat norr om Dalälven). Så det är bara ett ventilationsaggregat/ flerbostadshus med $DVUT(1\text{dygn}) < -20^{\circ}\text{C}$ som analyseras i projektet.

Beroende på hur avfrostningsfunktionen ser ut kommer det att kräva mer eftervärme och/eller mer värme i lägenheterna om avfrostningsfunktionen ändrar luftflödesbalansen.

Nedan finns en sammanställning av de olika typer av avfrostning.

- Förvärmning av uteluften
- 2-delad sektionsavfrostning som styr på tryckfallet över VVX.
- 4-delad sektionsavfrostning som går kontinuerligt när $T_{ute} < 0^{\circ}\text{C}$ med sänkning av tilluftsflödet (ändrad luftflödesbalans).
- 4-delad sektionsavfrostning som styrs på medel av utomhustemperaturen och avluftstemperaturen samt frånluftens dagtemperatur.

Analyser av mätdata för respektive anläggning har genomfört med hjälp av BELOK Driftanalys (BELOK 2011) där redovisningen ofta är uppdelad enligt följande och figurerna är framtagna via programmets utskriftsfunktion.

Tabell 5.1 Exempel på vilka signaler som visas i figurerna 5.1 – 5.10

Temperaturverkningsgrad för värmeåtervinningen eller annan intressant signal
Tryck i ventilationsaggregatet (Tryckfall över VVX, tryck i kanalerna)
Luftflöden i ventilationsaggregatet (Till och frånluftslöden)
Styr signaler i ventilationsaggregatet (styrventil, fläktar, värmeåtervinning)
Temperaturer i ventilationsaggregatet (Till, från, ute, avluft, efter VVX, frostskydd)

Vilka signaler som visas i diagrammen varierar mellan olika ventilationsaggregat, så följaktligen varierar vilka signaler som visas i diagrammen. Normalt sett ska man ha driftkortet bredvid för att se var givarna sitter och namn på signalerna varierar.

Om avvikelse observeras i mätdata zoomar man in och kan i detalj se styr signaler, flöden, tryck med mera för att lättare förstå varför det inträffar. Det är fördel om man har haft möjlighet att se installationen i verkligheten, för utformningen kan ge förståelse till avvikelsen som inte syns i mätdata. Exempelvis långa rör mellan shuntgrupp och eftervärmare.

Oftast kan driftorganisationen åtgärda problemet om man visar mätdata för en dag eller vecka och beskriver problematiken. Driftteknikerna ser oftast bara aktuella värden och har inte tid att analysera tidsserier med mätdata, som erfordras för att bättre se avvikelser i funktion.

De ventilationsaggregat som betjänar hotellrum, som analyserats har haft låg fuktbelastning ($< 1\text{g/kg}$ luft) och låga koldioxidnivåer (personlast), så ingen avfrostning har kunnat ses. Det finns några förklaringar till detta:

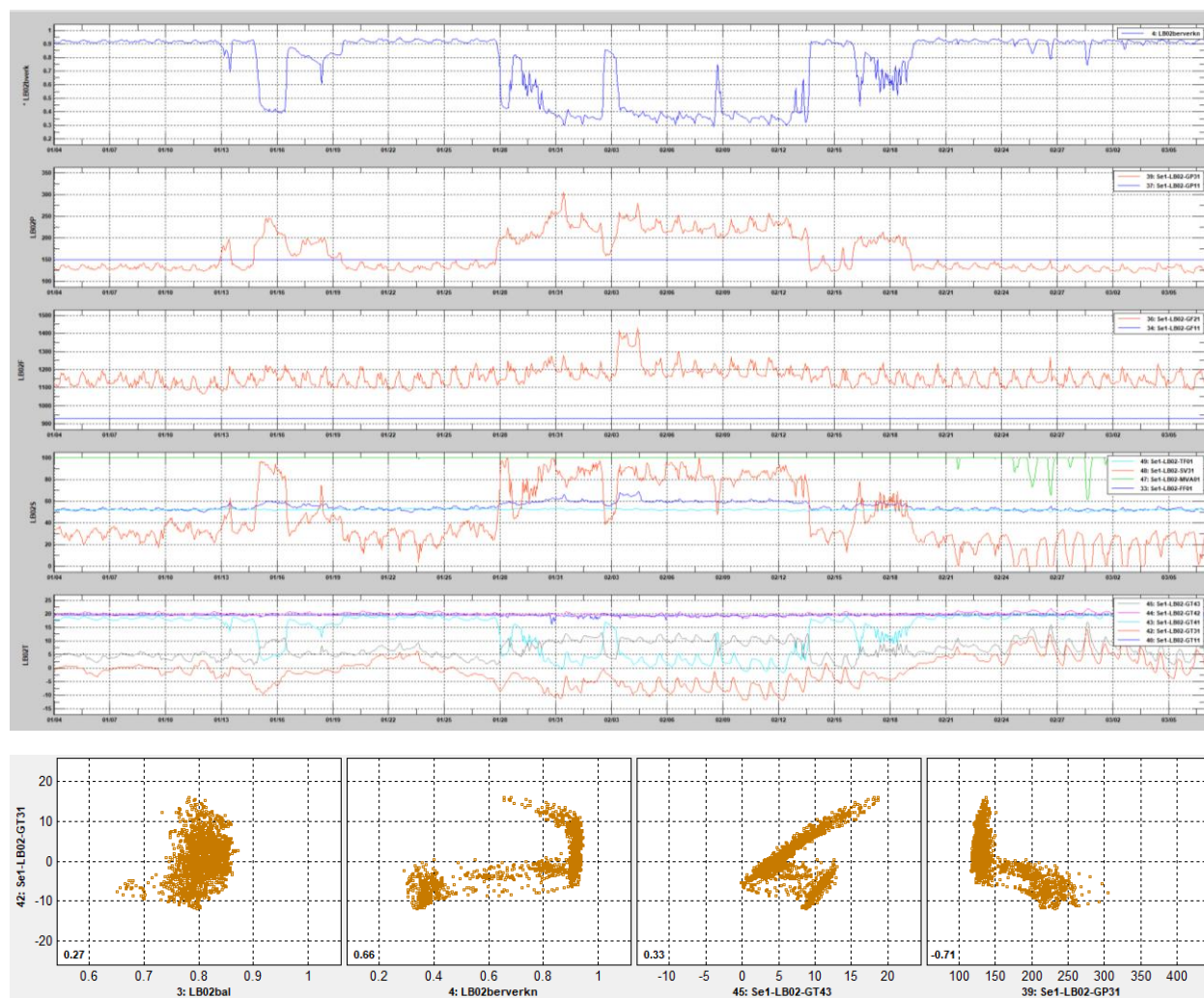
- I hotellrum har man fuktalstring från personer och personlig hygien, men inte från tvätt, matlagning (långkok) och växter.
- Troligtvis har pandemin gjort att de hotell som analyserats har haft låg beläggning.
- Hotellrum har relativt höga luftflöden jämfört med bostäder.

5.1.1. Ventilationsaggregat A

Aggregat A återfinns i ett nyligen renoverat flerbostadshus med nyinstallation av FTX med mycket avfrostning och eftervärme. Temperaturverkningsgraden redovisades som konstant 50 procent under långa tider, vilket är konstigt. I diagrammet nedan är verkningsgraden framräknad och varierar den mellan 30 och 40 procent, vilket är lågt.

Ventilationsaggregatet är i konstant avfrostning under 2,5 veckor med mycket stort behov av eftervärme.

Nu finns det ingen information om frånluftens fukttinnehåll, men tryckfallet över värmeväxlaren GP31 blir stort. Man ser på avluftens temperatur (grå temperaturkurva) att ventilationsaggregatet avfrostar och temperaturverkningsgraden blir 30–40 procent, så det måste vara en hög fuktalstring i detta flerbostadshus, men frånluftsfukt saknas som vanligt.

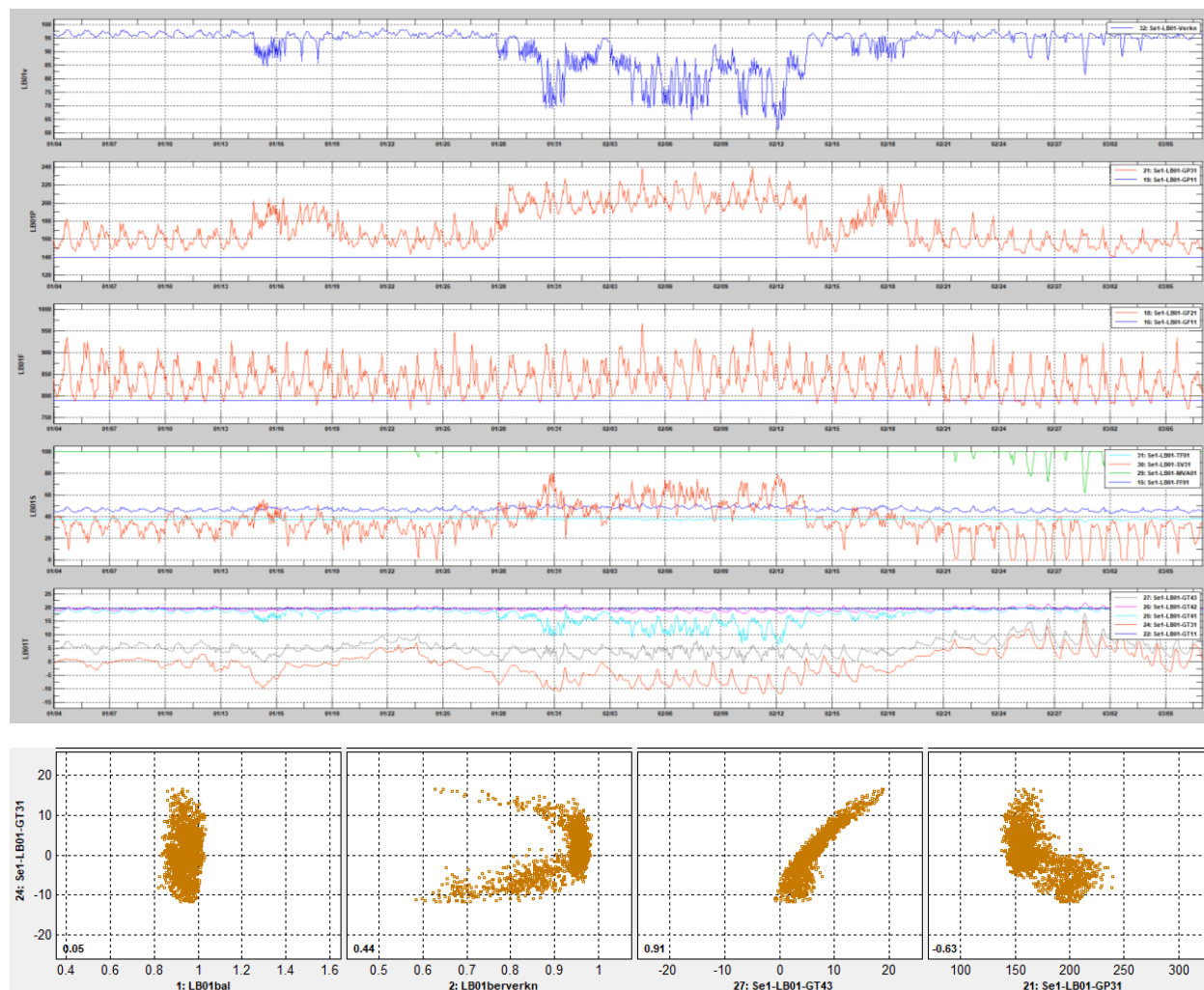


Figur 5.1 Tidserier för Ventilationsaggregat A: temperaturer, styrsignaler, flöden, tryck och verkningsgrad med korskorrelationerna under mellan uteluftstemperaturen och luftflödesbalans, beräknad temperaturverkningsgrad, avluftstemperatur samt tryckfall över värmeväxlaren.

5.1.2. Ventilationsaggregat B

Aggregat B återfinns även det i ett nyligen renoverat flerbostadshus med nyinstallation av med mycket avfrostning och eftervärme.

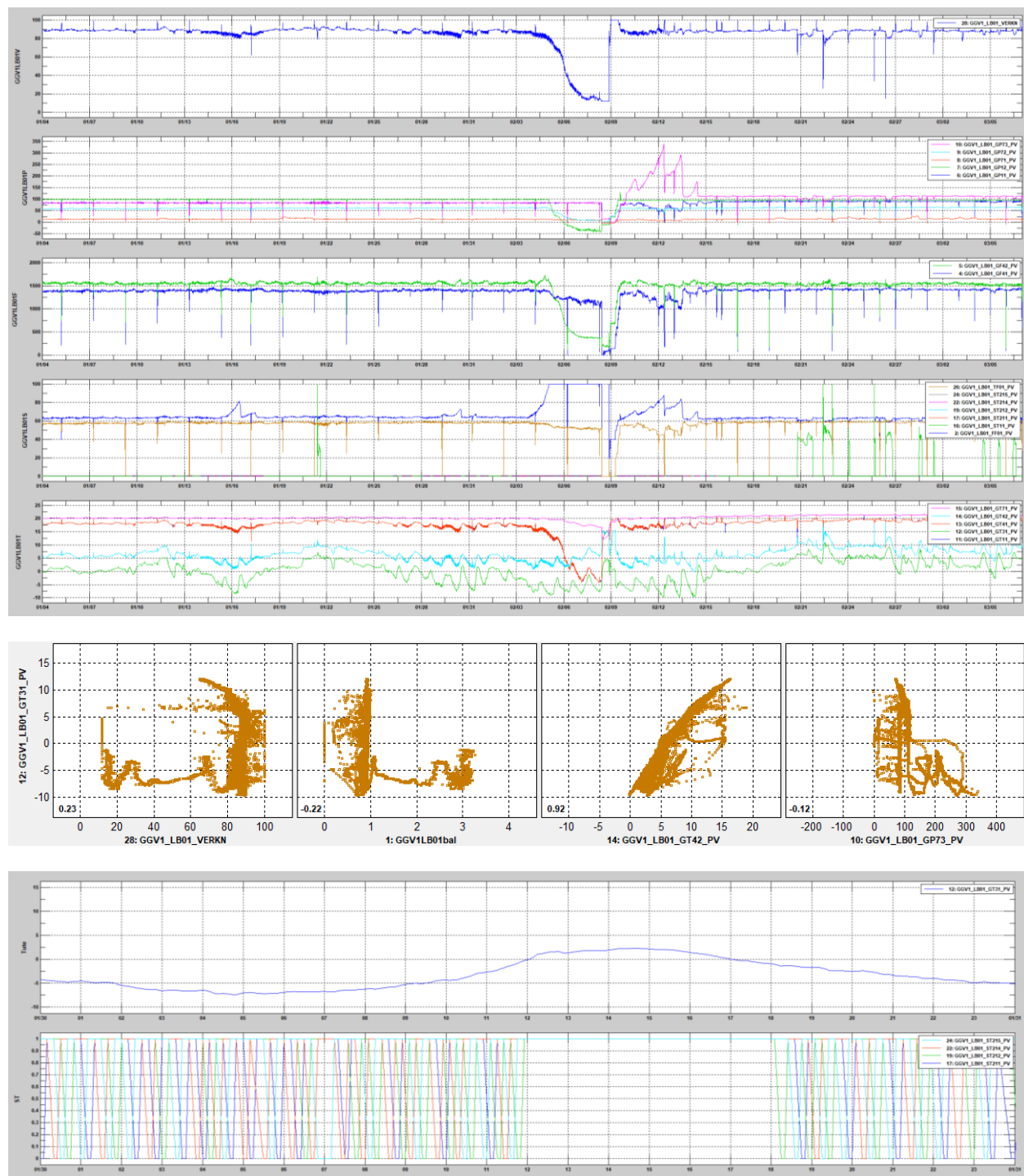
Temperaturverkningsgraden blir inte lika låg som för ventilationsaggregat A, så det får en bättre drift. Nu finns det ingen information om frånluftens fukttinnehåll, men tryckfallet över värmeväxlaren blir stort, men inte lika stor som för ventilationsaggregat A. Man ser på avluftens temperatur att ventilationsaggregatet avfrostar och temperaturverkningsgraden går ner till 60 procent, så det bör inte vara lika hög fuktalstring i detta flerbostadshus, som för ventilationsaggregat A.



Figur 5.2 Tidserier för Ventilationsaggregat B: temperaturer, styrsignaler, flöden, tryck och verkningsgrad med korskorrelationerna under mellan uteluftstemperaturen och luftflödesbalans, beräknad temperaturverkningsgrad, avluftstemperatur samt tryckfall över värmeväxlaren.

5.1.3. Ventilationsaggregat C

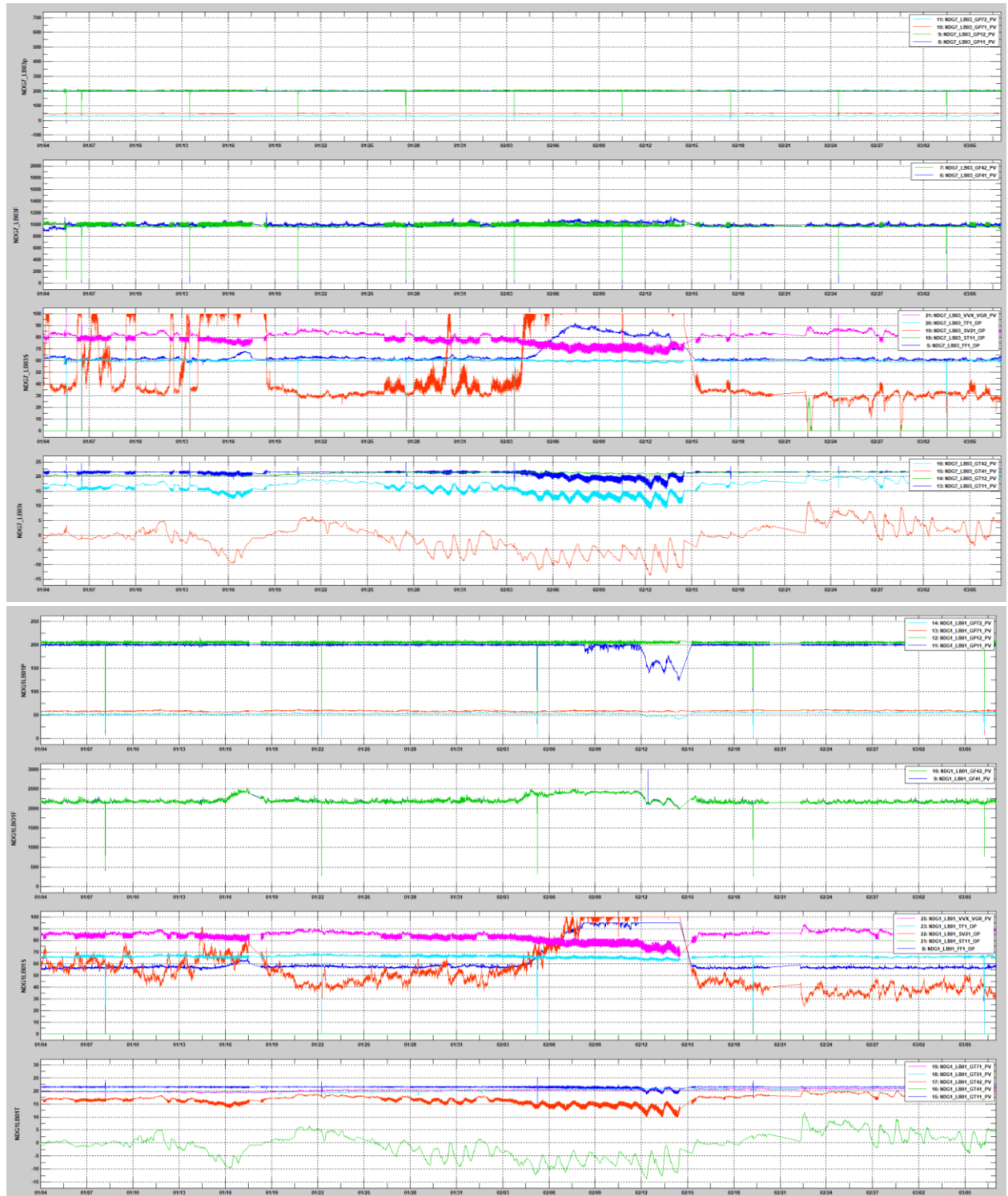
Aggregatet har sektionsavfrostning 4 delar som arbetar när Tute är mindre än 0°C. I figur 5.3 kan se att frånluftsfläkten går upp på 100 procent den 5 februari och temperaturverkningsgraden sjunker, luftflödena sjunker, temperaturerna sjunker och 8 februari stannar ventilationsaggregatet. Det har frusit ihop när det varit kallt ute. Sektionsavfrostningen orkade inte avfrosta tillräckligt.



Figur 5.3 Tidserier för Ventilationsaggregat C: temperaturer, styrsignaler, flöden, tryck och verkningsgrad med några korskorrelationer samt längst ner kan man se hur sektionsavfrostningen arbetar, när utomhustemperaturen är under 0°C.

5.1.4. Ventilationsaggregat D och E

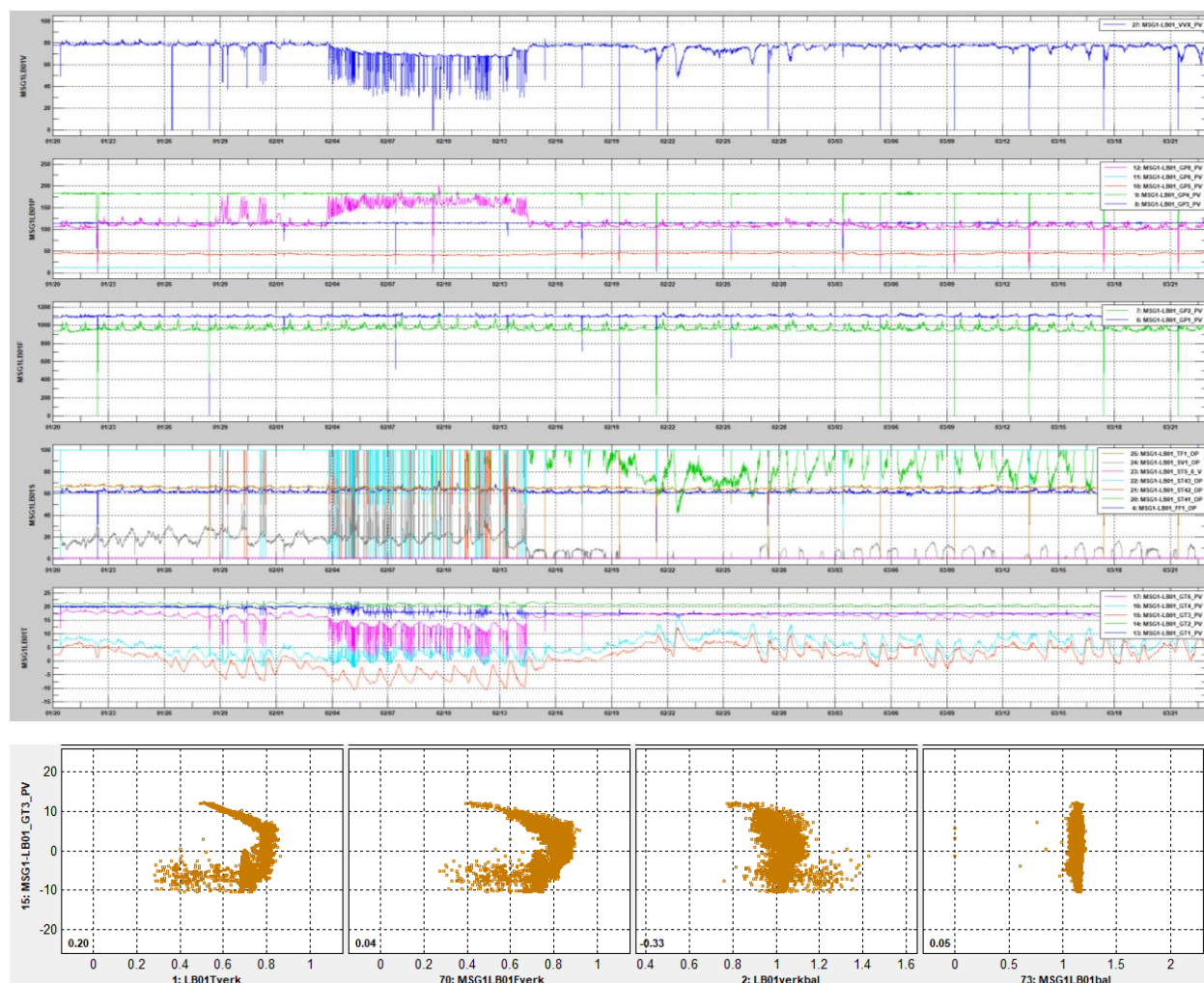
Flerbostadshusen färdigställdes för ca 5 år sedan och ventilationsaggregaten har samma typ av sektionsavfrostning som ventilationsaggregat C. I figur 5,4 kan man se att frånluftsfläktarna i båda ventilationsaggregaten går på max och tilluftstemperaturen sjunker något men ventilationsaggregaten fryser ändå inte ihop. Troligtvis är det något lägre fuktalstring i de två flerbostadshusen är i fallet för ventilationsaggregat C.



Figur 5.4 Ventilationsaggregat D och E: temperaturer, styrsignaler, flöden, och tryck.

5.1.5. Ventilationsaggregat F

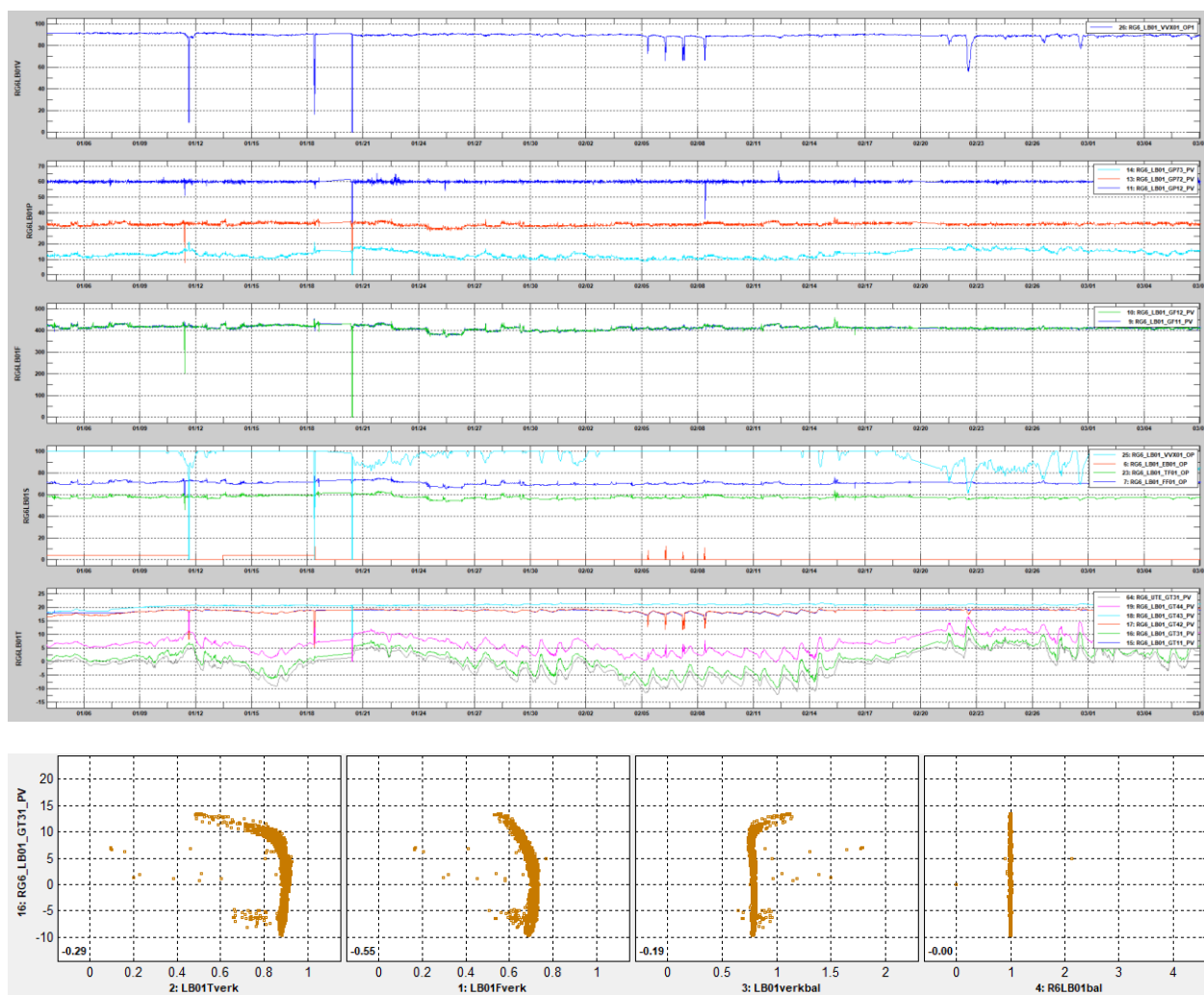
Flerbostadshus med ventilationsaggregat F med sektionsavfrostning som styr på tryckfall över värmeväxlaren. Man ser det på taggigheten på temperaturverkningsgraden i översta diagrammet att verkningsgraden blir halverad, tryckfallet över VVX i näst översta samt taggigheten på temperaturer och styrsignaler. I korskorrelationerna ser man att avfrostningen arbetar när utomhustemperaturen är under 3 - 4 minusgrader.



Figur 5.5 Tidserier för Ventilationsaggregat F: temperaturer, styrsignaler, flöden, tryck och verkningsgrad samt korskorrelationer längst ner för temperaturverkningsgrad på tilluftssidan, frånluftssidan, kvoten mellan dessa samt luftflödesbalansen.

5.1.6. Ventilationsaggregat G

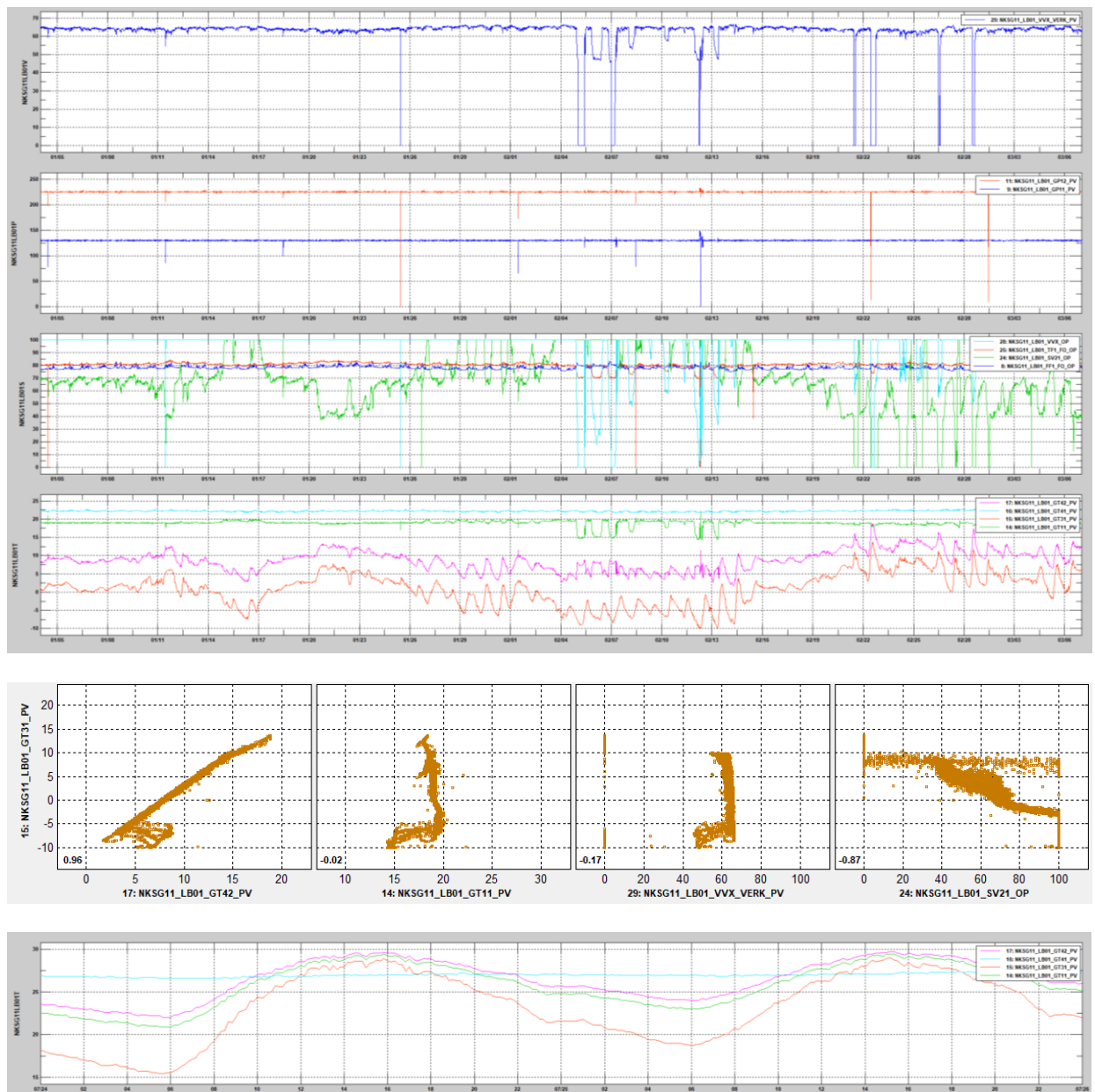
Ventilationsaggregat G har sektionsavfrostning. Man ser på taggigheten i verkningsgraden i figur 5.6 att avfrostningen arbetar och ventilationsaggregatet verkar inte ha några problem med avfrostningen. När utomhustemperaturen är under -5°C kan man se att avfrostningen arbetar och verkningsgraden sänks. När korskorrelationerna jämförs för temperaturverkningsgraderna längst ner är det något som inte stämmer riktigt. Kondenseringsvärmens kan påverka lite när det är kallare, men inte vid utomhustemperatur mellan 5 och 10 plusgrader.



Figur 5.6 Tidserier för Ventilationsaggregat F: temperaturer, styrsignaler, flöden, tryck och verkningsgrad samt korskorrelationer längst ner för temperaturverkningsgrad på tilluftssidan, frånluftssidan, kvoten mellan dessa samt luftflödesbalansen.

5.1.7. Ventilationsaggregat H

Ventilationsaggregat H är från ca 2015 och har en motströmsvärmväxlare med bypass-spjäll. Ventilationsaggregatet avfrostar vid temperaturer under -5°C och temperaturverkningsgraden sjunker då från 65 % till 45%. Man kan även se att eftervärmningsbatteriet är underdimensionerat (korskorrelationen mellan värmeventilen och utomhustemperaturen), då den redan vid -3°C har fullt öppen värmeventil, så när avfrostningen går in orkar inte eftervärmaren och tilluftstemperaturen sjunker från 19°C till 14°C (korskorrelation för GT11). Under en värmebölja kan inte ventilationsaggregatet tillföra sval nattluft till lägenheterna för värmväxlaren är bara delvis by-passad, så kl.5 på morgonen är utetemperatur 19°C , innetemperaturen 26°C och tilluften 23°C . Det är fem av aggregaten från två av fastighetsägarna som har detta problem.

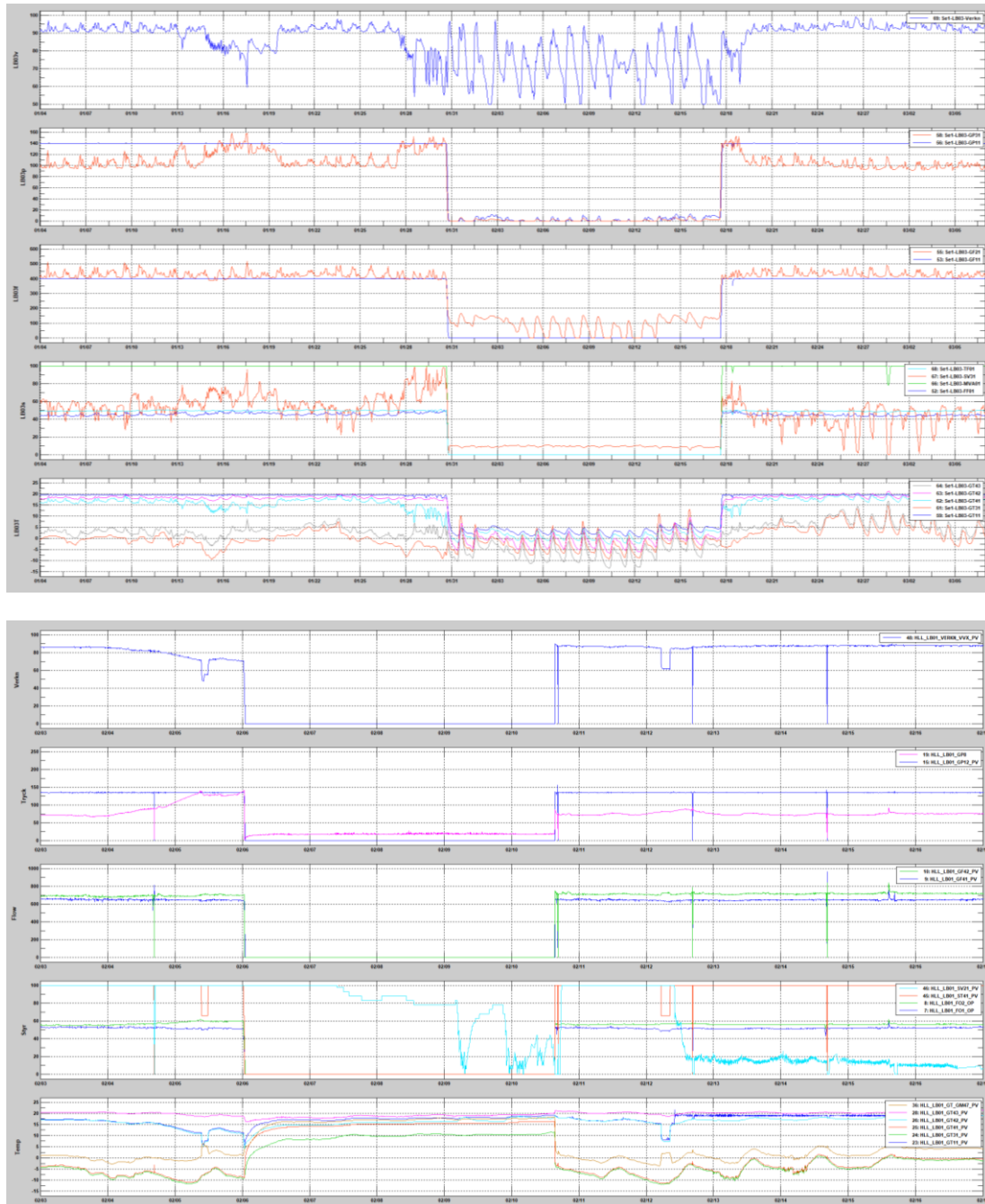


Figur 5.7 Ventilationsaggregat H: temperaturer, styr signaler, flöden, tryck och verkningsgrad samt korskorrelationer och längst ner temperatur i ventilationsaggregatet under värmebölja där man ser att man inte får in sval nattluft, GT31 mot tilluft, GT11.

5.1.8. Aggregat I, J, K och L

Fyra ventilationsaggregat (I, J, K, L) har frostvakten som har aktiverats när det var kallt ute. Frostvakten är till för att skydda värmebatteriet från att frysa sönder.

Vätsketemperaturen från eftervärmebatteriet mäts och blir den för låg stannar ventilationsaggregatet för att skydda värmebatteriet från att frysa sönder.



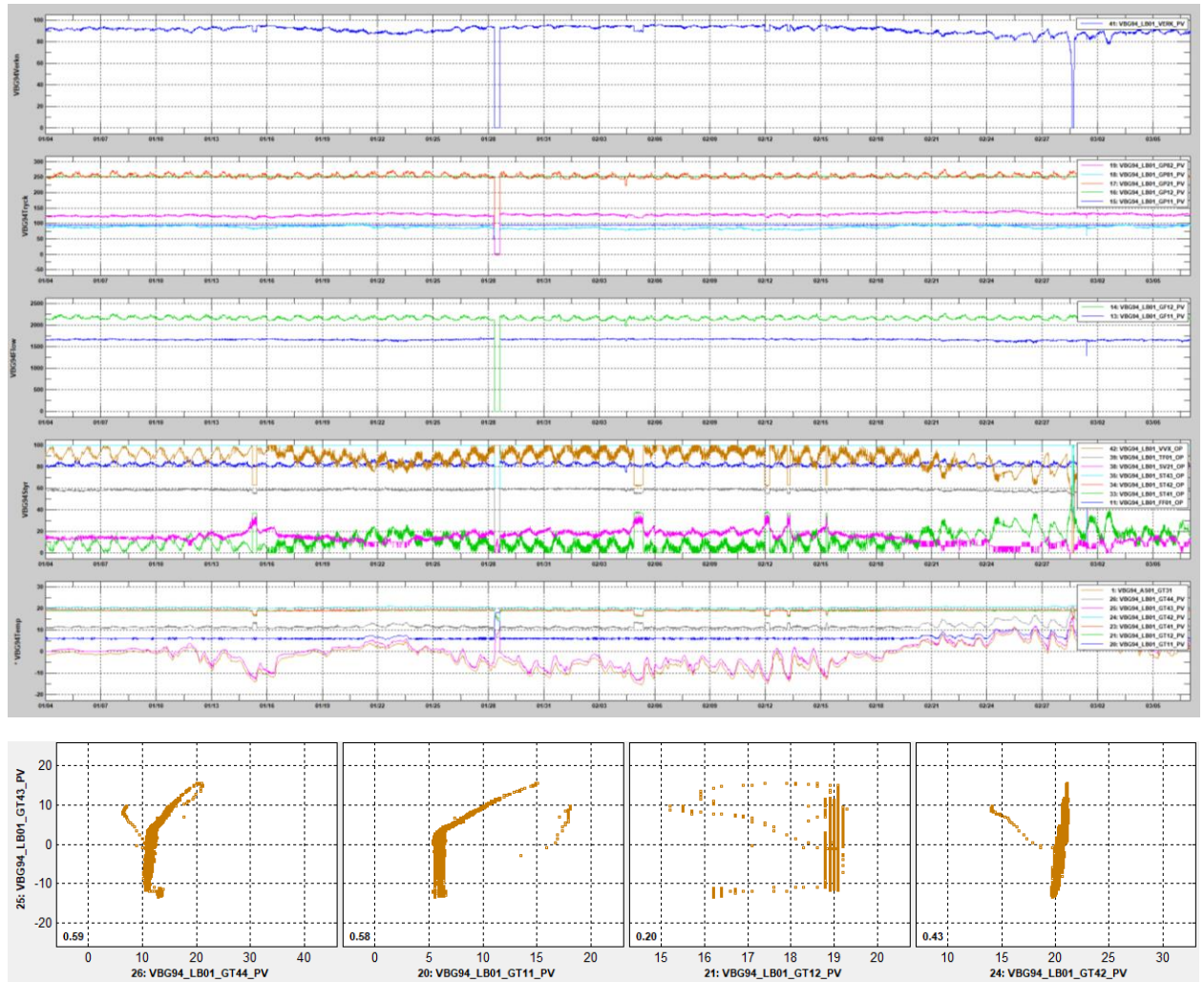
Figur 5.8 Ventilationsaggregat J och K där frostvakten har stannat ventilationsaggregaten. Det övre är ett utomhusaggregat och det undre har förvärmningen slutat fungera och då orkade eftervärmen inte med.

Ventilationsaggregat K och L hade problem med att frostvakten stannade aggregaten. Här beroende det på för långa rör mellan shuntgruppen och eftervärmebatteriet, så att värmevattnet inte hann fram när avfrostningen gick in och värmebehovet ökade.

5.1.9. Ventilationsaggregat M

Ventilationsaggregat utan eftervärmare utan har bara förvärmning till +6°C och erhåller då en avluftstemperatur på 10 °C till 11°C. Så man återvinner inte värmen i frånluften fullt ut. Då man inte har en eftervärmare behöver man använda 5 - 6 kWh/ m²Atemp och år extra i värme för att hålla tilluftstemperaturen, vilket kan ses i tabell 3.7.

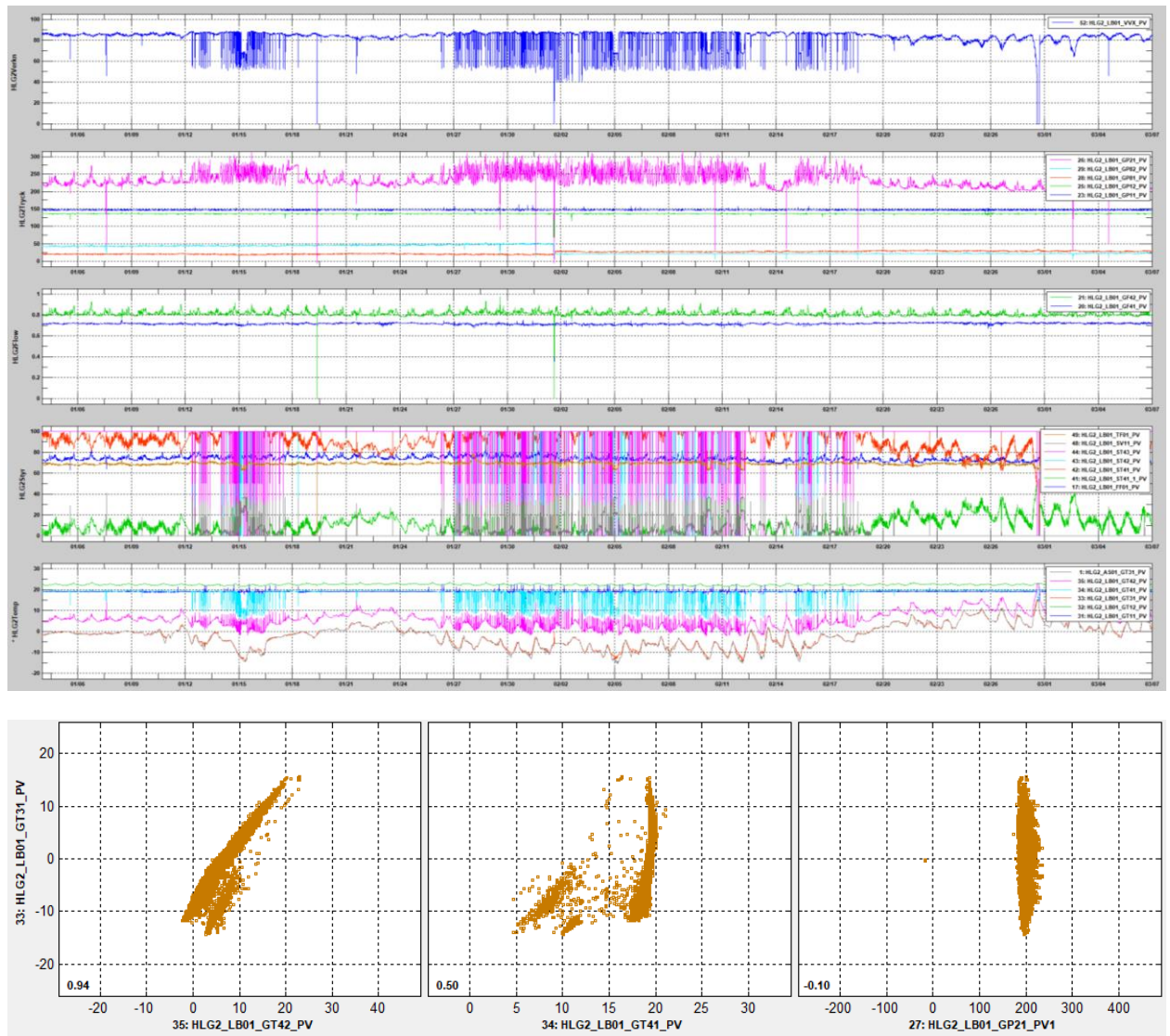
Man kan i korskorrelationerna se till vilken temperatur man förvärmer inkommande uteluft samt vilken avluftstemperatur man erhåller.



Figur 5.9 Tidserier för Ventilationsaggregat M med förvärmning till 6°C: temperaturer, styrsignaler, flöden, tryck och verkningsgrad samt korskorrelationer.

5.1.10. Ventilationsaggregat N - Normal drift

Aggregatet har sektionsavfrostning som styr på tryckfall över värmeväxlaren har normal drift. Det syns att avfrostningen är i drift på "taggigheten" för temperaturverkningsgraden i översta diagrammet, "taggigheten" för tryckfallet över VVX i näst översta samt "taggigheten" på temperaturer och styrsignaler.



Figur 5.10 Tidserier för Ventilationsaggregat N: temperaturer, styrsignaler, flöden, tryck och verkningsgrad samt korskorrelationer längst ner.

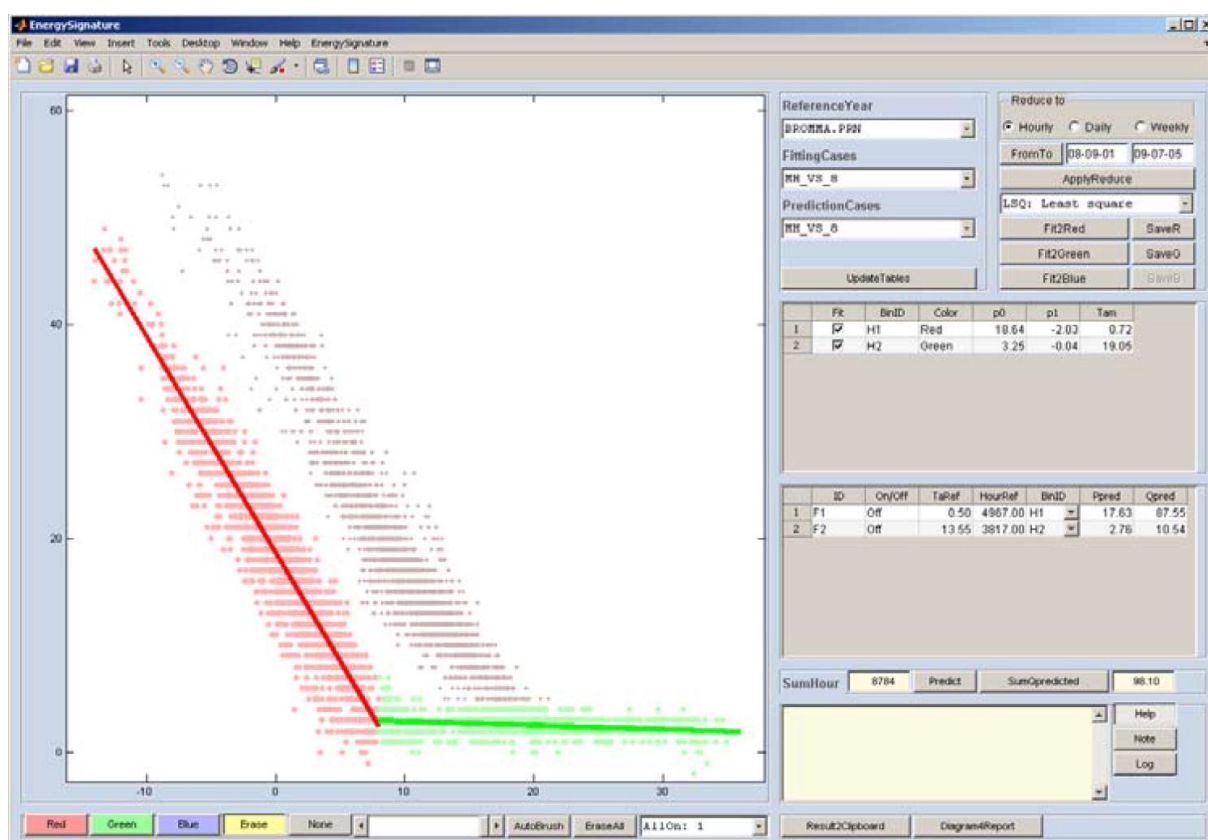
I korskorrelationerna ser man att avfrostningen arbetar när utomhustemperaturen (T_{ute}) är lägre än -2°C och avluftstemperaturen (T_{avl}) är i medel mellan $+2^{\circ}\text{C}$ och $+3^{\circ}\text{C}$.

5.2. Värmepumpssystem med driftproblem

Nedan visas exempel på värmepumpar med tre olika typer av problem av 10 studerade värmepumpssystem.

Två värmepumpar har driftproblem och stannar vilket leder till att det behövs betydligt mycket mer spetsvärme samt att två värmepumpar har för lite ackumulatorvolym, så framledningstemperaturen på värmen sjunker, vilket leder till en risk för effektbrist till eftervärmarna på ventilationen.

Frånluftsvärmepump med styrproblem, så den återstartade inte efter larm och mer fjärrvärme fick användas. Det var fel på larmhanteringen till överordnat system, så larm från värmepumpen gick inte vidare, så det gick ett tag innan driften återställde värmepumpen.

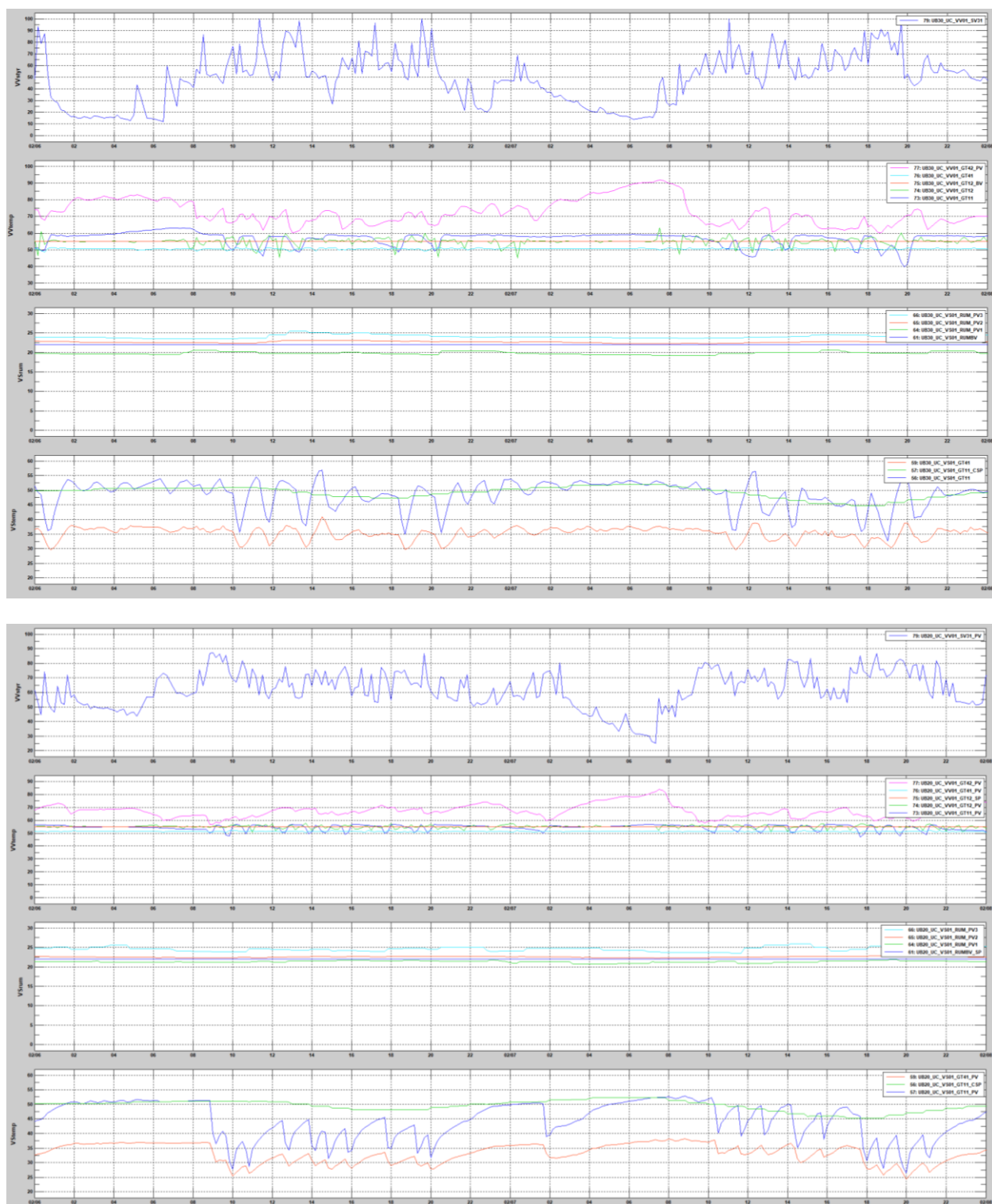


Figur 5.11 Energisignatur fjärrvärme med FVP i drift samt stannat. (Carling 2009).

De röda prickarna, i figur 5.11, är värmeanvändning med frånluftsvärmepump i drift och de bruna prickarna är energianvändningen när frånluftsvärmepumpen har stannat. Om man ser på skillnaden i fjärrvärme vid en viss utetemperatur, så ser man att när frånluftsvärmepumpen stannade behövdes ca 20 kW mer fjärrvärme.

Ett annat liknande problem åter finns för en bergvärmepump i ett flerbostadshus där energianvändningen till värmepumpen plötsligt blev väldigt hög. Värmepumpen hade stannat och elpatronen tog över värmningen av varmvattnet i stället, så

energianvändningen ökade mycket kraftigt. När värmepumpen lagats återgick energianvändningen till normala värden.



Figur 5.12 Två flerbostadshus med bergvärme där båda flerbostadshusen har problem med värmen, då man ska prioritera varmvatten för att hålla minst 50°C i VV/VVC-systemet.

Ovan visas varmvattentemperaturer och varmvattenventilens läge samt värmesystemstemperaturer för två flerbostadshus med bergvärmepumpar. De två

värmepumparna verkar ha problem med ackumulatorvolymen, när värmesystemstemperaturen faller dagtid vid varmvattenanvändning. När då framledningstemperaturen till värmen sjunker, så blir det risk för effektbrist till eftervärmaren på ventilationen.

I den nedre av de två diagrammen ses att börvärdet på framledningstemperaturen för värmen den 6 februari är ca 50°C (blå kurva) medan ärvärdet, framledningstemperaturen pendlar mellan 30°C och 45°C (grön kurva). För att minska risken att blåsa in kall tilluft i lägenheterna sänkte driftteknikern tilluftflödet för att kraftigt reducera behovet av eftervärme samt avfrostning.

I det övre diagrammet ses att det fungerar betydligt bättre där ärvärdet, framledningstemperaturen, varierar mellan 40°C och 55°C, i det huset sänkte man även tilluftsflödet något, för att erhålla en säkerhetsmarginal. Detta är inte energieffektivt, men det säkerställer inneklimatet i lägenheterna.

6. Feldimensionerade installationssystem

Vid diskussioner med fastighetsägare av lokalbyggnader framkom huvudsakligen samma typ av problem, som vid diskussioner med fastighetsägare av flerbostadshus.

Det som har lyfts fram har delats upp i design, ventilation, värmesystem, driftstrategier, styrproblem, distributionsförluster, samt övrigt. Nedan presenteras de olika problemen närmare.

Design

Ofta är installationssystemen överdimensionerade redan vid de tidiga beräkningarna, som är gjorda med grova schabloner. Det resulterar i onödigt höga installerade effekter vilket i sin tur blir svårare att styra och reglera med högre energiförbrukning och ökade kostnader som följd. Varmvatten får ofta för stora reglerventiler (kvs), där man dimensionerat efter gamla förutsättningar och då skapas pendlingar i varmvattentemperaturen. Det är inte samma problem med värmeventilerna.

Värmesystem

Fastighetsägarna lyfte upp olika problem för att erhålla en bra drift av värmesystem. Framför allt nämndes:

- Det slarvas med dimensionering av värmesystemen per rum, särskilt när det finns större glaspartier. Fastighetsägarna har då behövt öka framledningstemperaturen för att upprätthålla utlovad inomhustemperatur. På grund av detta har fastighetsägare börjat ställa krav på glaspartierna invändiga temperaturer, vilka går att verifiera med värmefotografering. Det förekommer ofta att U-värdena blir högre än det som är angivet i handlingarna.
- Injustering av värmesystemet och undercentralen görs i slutet av entreprenaden, när det ofta är ont om tid vilket kan påverka resultatet. Det är viktigt att värmesystemet är väl avluftat (med hjälp av vakumavgasare) och injusterat samt att framledningsskurvan har anpassats till byggnaden.
- Hög spridning av innetemperaturer förekommer på grund av dålig injustering, smuts i system så att radiatorer ej kan reglera, bristande projektering för utsatta lägen med mera.
- Värmekurvorna är inte anpassade till radiatorernas temperaturprogram.
- Värmesystem har oftast bara en krets och har därmed svårare att anpassas till värmebehovet i byggnadens olika delar.
- Väderprognosstyrningen är felaktigt driftsatt samt bör årsvis justeras.

Ventilation

Lokalbyggnader utrustas normalt med ett stort ventilationssystem i stället för flera mindre. Det medför kompromisser vid drift då sämsta utfall blir styrande för hela byggnaden. Typexempel är kund som har avvikande arbetstider vilket medför att en stor byggnad måste ventileras trots att endast en liten yta används. Systemet är billigt att bygga men dyrt i drift.

Fastighetsägarna lyfte upp olika problem för att erhålla en bra drift av ventilationen, bland annat:

- Det är svårt att anpassa ventilationen till olika hyresgästers drifttider och nyttjandegrad av sina lokaler.
- I byggnader med konstantflödessystem (CAV) kan det uppfattas som kallt och dragit. Det beror på att användningen/ personlasten sällan kommer upp i dimensionerande förutsättningar, vilket medför en kraftig överventilering i förhållande till användning.
- Ovan är även ett stort problem när variabelflödessystem (VAV) utförs med för höga min-flöden. Fastighetsägares egna mätningar visar på en normalanvändning om 40–60 procents närvaro.
- Problemet förvärras av att man utformar systemen med stor flexibilitet, för att kunna anpassas till olika typer av nuvarande/framtida hyresgäster. Hyresgäster som önskar tät möblering kräver tillgång till höga luftflöden. Överventileringen medför onödigt hög energianvändning.
- Vid jämförelse mellan beräknat, projekterat, injusteringsprotokoll, OVK samt drift är det olika luftflöden och tryck.
- Leverantörernas datakörningar redovisar temperaturverkningsgrader som inte stämmer överens med de som kan mätas upp i byggnaden.
- Ventilationskonsulten använder felaktiga luftflöden i simuleringar
- Ventilationsaggregat med vätskekopplad återvinning är känsliga för flödesbalanser och återvinningen är vanligtvis lägre än teoretiska värden.
- Injusteringen med ett mätfel på +/-10% ger högre energianvändning och det får stor betydelse för byggnaderna som ska ha låg energianvändning.
- FTX aggregatens flödesmätare är inte kalibrerade och visar därmed felaktiga värden avseende totala luftflödena.
- Drifttider avviker från de beräknade.
- Dålig injustering av ventilationen som gav dålig luftkvalité om rumsdörrarna hölls stängda.

Driftstrategier

Fastighetsägarna lyfte upp olika problem för att erhålla bra driftstrategier:

- Hur ska olika inställningsvärden sättas i förhållande till energieffektivitet och användning? Några fastighetsägarna uttryckte att byggnaderna inte utförs med en teknik som medför flexibla användningssätt. Många gånger saknas tillräckligt kompetens både i beställarledet och konsultledet, för att beskriva detta utifrån energieffektivt, som även tar hänsyn till faktiskt användning.
- Fastigheter med stora glasytor som både kyler ned på vintern och värmer upp på sommaren har problem att trots bra glas går det aldrig riktigt att komma runt det. Även om problemen är mindre idag än för tioalet år sedan har dimensioneringen av klimatsystem ofta svårt att kompensera för stora glasytor.
- Ogenomtänkta entrélösningar som skapar drag/korsdrag. Detta är särskilt vanligt i byggnader med atriumgårdar.
- Samordnad provning görs mot projekterade värden och följs sällan upp mot hur verkligheten faktiskt ser ut.
- Komplex teknik som är svår för driftpersonalen att använda och optimera. Det finns även en problematik med kompetensbrist bland driftpersonalen.
- För värmepumpar och ackumulatortankar finns bristande förståelse för systemets funktion, injustering och styrning.

Styrproblem

Fastighetsägarna lyfte upp olika problem för att erhålla bra funktion på styr:

- Funktionerna i styr och regler är ofta dåligt beskrivna i beskrivningstexter och programmeringen görs ofta efter gammal vana/ som i förra projektet, vilket kan ge brister i reglerfunktion.
- När större byggnader driftsätts i etapper kan funktioner och kopplingar glömmas bort som att kylåtervinningen inte är aktiverad i alla ventilationsaggregat. Kopplingar mellan olika delsystem saknas. Exempel på detta är att huvudcirkulationspump för kyla ska vara i drift när något av kylans undersystem behöver kyla, men kopplingen till ett undersystem saknas.
- I nya byggnader är ventilationen i drift dygnet runt, för att ventilera bort emissioner. Dock glöms det ofta bort att schemat ska ändras till normal drifttid. Detta leder till en onödigt hög energianvändning.
- Brister i överordnad styr gör så det inte går att styra drifttider för ventilationsaggregaten.
- Samtidig värmning och kylning i kontorslandskap med flera zoner på grund av handhavandefel av användare. Rumsregulatorerna står nästan alltid på full värme eller full kyla. Det är ytterst få som står i reglerande läge.

Övrigt

Övrigt som fastighetsägarna lyfte fram i diskussionerna:

- Fastighetsägarna ser att entreprenörer slarvar med funktionskontroller och behöver ständigt syna och kontrollera själva för att få systemen att fungera som det är tänkt. Funktionskontroller blir bara viktigare och viktigare med hänsyn till våra avancerade system. Det är brist på god kompetens på marknaden just avseende detta.
- Ofrivillig värmeförlust från värmesystemet, exempelvis när delar av rörsystemet ligger oisolerat, så det ökar risken för övertemperaturer.
- Fel ytor och fel storlek på A_{temp} har använts i energiberäkningarna.
- Felaktigt beräknade VVC förluster och VVC:s injusteringsvärden.
- Felinställda avisningsvärme drar för mycket energi.
- Kulvertförluster som inte uppmärksammas
- Oklarhet i vad mätvärden avser (betjäningsområden), vanligast på el.
- Det värmeanvändning som glöms att normalårskorrigera.

7. Vanligt förekommande fel och brister

Det har skrivits många rapporter om fel och brister i byggnader, men kunskapsöverföringen har inte fungerat tillfredsställande då många problem återkommer i nya byggnader. Den förslagna kunskapssammanställningen skulle bidra till att samla ihop vanliga fel och brister och kortfattat beskriva dem på 2–3 sidor. Sammanställningen skulle kunna presenteras i en erfarenhetsdatabas på LÅGAN:s hemsida till vilken BeBo och BELOK sedan kan länkar, för att det inte ska finnas flera varianter av den. Erfarenhetsdatabasen är till för att olika aktörer i branschen ska hitta vanligt förekommande fel och brister och sedan läsa en kort beskrivning av vad de betyder. För mer och djupare information finns referenser för vidare läsning.

Nedan listas tio exempel på fel och brister är sammanställda till en start på erfarenhetsdatabas av vanligt förekommande fel och brister i energieffektiva byggnader, med energi-, funktion- och inneklimatbetydelse. Uppgifter i databasen ska vara anonymiserade.

Tanken är att när en analys av brister i energieffektiva byggnader har utförts och någon/några fel och brister har identifierats skriver man en kort sammanfattning till erfarenhetsdatabasen, som adderas till databasen om det är en ännu inte dokumenterad brist/ avvikelser. Om det är en befintlig fel/avvikelse så kompletteras den med den nya informationen. Detta är för att man inte ska ha dussintals likadana beskrivningar av samma fel och brist utan en så att det är lätt ska hitta en första beskrivning av olika fel och brister, som sedan hänvisar vidare till andra rapporter om man önskar fördjupa dig.

Exempel på bristande funktion, som ska läggas upp på LÅGANs hemsida i ett första skede:

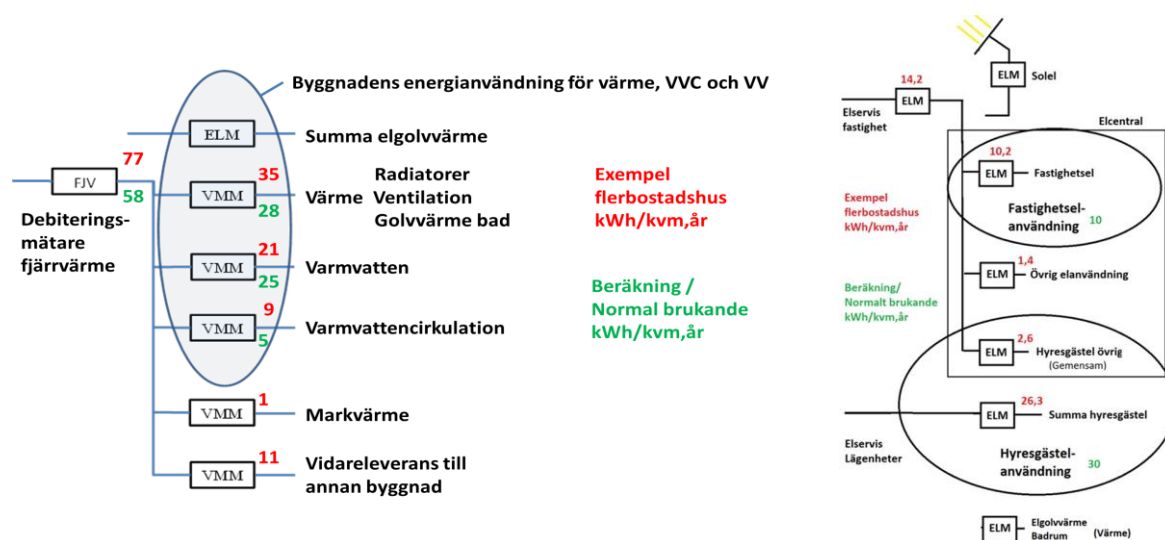
- VVC-förluster
- Bristfällig isolering av utelufts- och avluftskanaler
- Luftflödesbalansens betydelse samt risker med bristfällig injustering
- Avfrostningens betydelse för energianvändning och funktion
- Frostskydd på ventilationsaggregat som aktiveras som stoppat ventilationen
- Förvärmning till mer än -2°C
- Brist på mätning av varmvatten, hushållsel och innetemperaturer
- Vidareleveranser, betjäningsområden för energimätare
- Styrproblem
- Branddetektorer

8. Erforderliga mätningar

För att den energieffektiva byggnaden ska ha en möjlighet att bli så bra som tänkt/projekterat måste man kunna följa upp byggnaders energianvändning och optimera installationssystemens funktioner. Så det gäller att kunna mäta rätt saker i byggnaden.

8.1. Delsystems månadsenergier

Först och främst behövs månadsvärden för delsystemens energianvändning (se kapitel 2.5), för att jämföra med relationsenergiberäkningen (se kapitel 2.4) samt månadsvärden för varmvattenanvändningen, månadsvärden för hushållsel/ verksamhetsel och månadsmedelvärden för innetemperaturen. Detta för att kunna normalisera till normalt brukande samt normalisera med avseende på uteklimatet med exempelvis EnergiIndex.



Figur 8.1 Exempel på varför det är viktigt att mäta delsystems energianvändning och inte använda debiteringsmätaren.

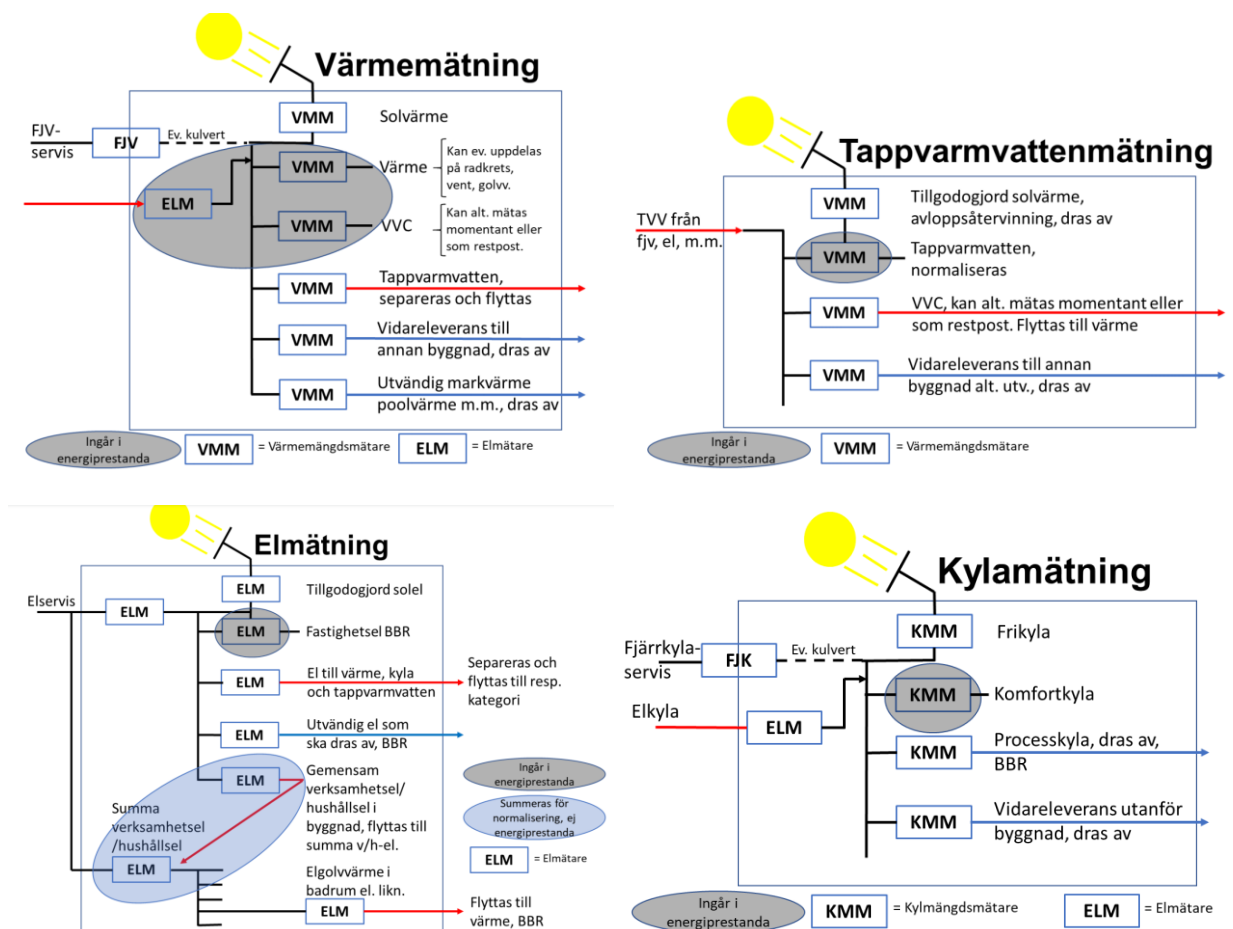
Vi ser i figur 8.1 att det kan vara stor skillnad mellan debiteringsmätaren och summan av de undermätare som mäter BBR-energier. Det inses att i energieffektiva byggnader med mycket låg energianvändning är det mycket viktigt att mäta och summera rätt energier. För att kunna mäta rätt energier är det viktigt att dela upp installationssystemen efter vilka delsystem de skall betjäna. Exempelvis bör elsystemet i flerbostadshus delas upp i:

- Hushållsel
- Fastighetsel/ byggnadens driftel (BBR-energi)
- Gemensam hushållsel (tvättstuga, hyresgästlokal, etcetera)
- Övrig elanvändning (gårdsbelysning, elmotorvärmarruttag, elbilsaddning, etcetera)

Energimätningarna bör månadsvis korrigeras och jämföras med relationsenergiberäkningen (se mer i figur 2.2) samt summeras till rullande 12-månadsvärden.

8.2. Sveby Mätanvisningar

Sveby Mätanvisningar (Sveby 2020) visar hur mätningarna bör delas upp för att kunna mäta energianvändningen i byggnader på ett bra sätt. Mätarna i de grå fälten i figur 8.2 är energierna, som skall summeras för att beräkna byggnadens energiprestanda enligt BBR. I senaste versionen av BBR (BBR 29) ska dessa energier sedan multiplicera med primärenergifaktorer, så att byggnadens primärenergital erhålls. Observera om exempelvis värme produceras av både fjärrvärme och el, så ska respektive del av värmeproduktionen multipliceras med respektive primärenergifaktorer. Värmeanvändningen ska även divideras med den geografisk justeringsfaktor för att korrigera för uteklimatpåverkan.



Figur 8.2 Utdrag ur Sveby mätanvisningar (Sveby 2020) bilaga 1.

Enligt Miljöbyggnad 3.1 (2020) är det inte nödvändigt med separata energimätare för varje energipost. Utnyttja möjligheten att placera undermätare för energi (värmemängd) kompletterade med flödesmätare för till exempel varmvatten. Endast uppmätta kulvertförluster mellan undercentral och anslutna byggnader får schablonmässigt dras av. Överväg därför att placera energimätare i anslutna byggnader.

Hur detta skulle kunna se ut för fyra flerbostadshus som delar på en undercentral beskrivs mer i kapitel 8.3 nedan.

8.3. Energimätning i flerbostadshus som delar på undercentral

Det system som är enklast att mäta i respektive flerbostadshus är värmeanvändningen där en värmemängdsmätare placeras direkt där värmekulverten kommer in i respektive flerbostadshus. Önskas värmeanvändningen till eftervärmen på ventilationen, får man sätta en undermätare för eftervärmen strax innan dess shuntgrupp i respektive flerbostadshus. Detsamma gäller för VVC-förluster i respektive flerbostadshus (VVC fbh1-4). När det gäller varmvatten bör man använda IMD-VV och summera ihop värdena för respektive flerbostadshus (IMD VV fbh1-4). Energi till varmvatten är den energin i undercentralen som används för att värma upp inkommande kallvatten till minst 55°C. Observera att inkommande temperatur på kallvattentet varierar över året och i olika delar av landet. Ett sätt att ta hänsyn till detta är genom att bestämma kallvattnets temperatur varje månad och räkna ut hur värmeenergi/m³ VV varierar månad för månad.

Energi till varmvatten för respektive flerbostadshus är:

$$VV_{\text{energi fbhx}} = \frac{\text{IMD VV fbhx}}{\text{IMD VV fbh1} - 4} * VV - \text{Energin (UC)}.$$

Önskas kulvertförlusterna för VV/VVC bestämmas är den VVC-förlust uppmätt i undercentralen minus summa VVC-förluster i flerbostadshusen.

Om man önskar bestämma värmesystemets värmeförluster mellan byggnaderna får man mäta den värmeenergi som producerats i undercentralen och dra bort värmeanvändningen i respektive flerbostadshus.

Därutöver behöver man mäta summa hushållsel per månad för att kunna korrigera för en hushållsel som avviker från normalt brukande samt referenstemperatur i respektive lägenhet för att kunna beräkna månadsmedelsvärde för innetemperaturen.

Frånluftstemperaturen är inte en bra referens för innetemperaturen i lägenheter, för ofta är det något varmare i kök och badrum samt om frånluftkanalen skulle gå genom kallare utrymme blir frånluftstemperaturen något lägre.

I kapitel 3.3 visades att en hushålls elanvändning på 20 kWh/ m²Atemp och år i stället för den normalt brukandet av hushållsel på 30 kWh/ m²Atemp och år gav en ökad värmeanvändning på ungefär 4 kWh/ m²Atemp och år.

8.4. Detaljanalyser

Nästa steg för att kunna få bättre fungerande installationssystem och byggnader kräver att deras funktioner analyseras och jämföras med projekterad/ tänkt funktion.

Det loggningsintervall som erfordras, är att kunna få en upplösning i de styrningar som ska granskas. Exempelvis kan avfrostningscykel för FTX system i bostäder vara runt 15 minuter, så då bör loggningsintervallet vara en lämplig del av denna, exempelvis 2 till 5 minuter.

De signaler som ska loggas är alla signaler som finns i driftbilderna vilka sedan ska jämföras med den funktion de visar för systemen med projekterad/ tänkt funktion. (Se exempel i kapitel 5.1)

För att kunna utföra dessa analyser behövs god systemkunskap om installationssystem och hur de samverkar med byggnaden. Det är även viktigt att förstå hur styrningen av installationssystemen och dess börvärden påverkar funktion och byggnadens energianvändning.

8.5. Drift- och Energiuppföljning hos fastighetsägare

Vid diskussioner med fastighetsägare framkommer några kommentarer om felsökning, drift- och energiuppföljning:

- Det är förvaltare och driftpersonal som kan sina byggnader och som har huvudansvaret för sina byggnader.
- Om driftpersonalen hos fastighetsägare skulle ha mer tid att analysera tidsserier för funktionen för deras byggnader skulle de kunna avhjälpa många avvikelser.
- Några fastighetsägare tar in expert när de har fel i systemen/ inneklimatet, som de inte riktigt förstår vad det beror på.
- Några fastighetsägare tar in hjälp för att gå igenom alla system när byggnaden är fullt uthyrd och driften har avhjälpt en del fel och brister.
- Några fastighetsägare har tagit hjälp att gå igenom alla system någon månad innan garantibesiktningen, för att se om det finns kvarstående fel, som inte är åtgärdade och ska lyftas upp på garantibesiktningen.
- Många fastighetsägare tar hjälp när de har en större avvikelse i funktion och energiprestanda för att försöka förbättra funktionen och minska energianvändningen.

Vid genomgång av den mätdata som fastighetsägarna skickat som exempel för hur systemen fungerade hittades en del avvikelser som återrapporterades, så de skulle kunna rätta till dem.

- Några system oscillerade, det vill säga styrd temperatur och styrsignal svängde fram och tillbaka, så de behövde justera styrningen något.
- Några frostvakter stängde av ventilationsaggregaten, etcetera.

9. Slutsatser

För energieffektiva byggnader är det ofta ett flertal små avvikelser för byggnaden och dess installationssystem som ger en ökad energianvändning jämfört med beräknat/ tänkt se sammanställningen i kapitel 3.10. Därför behövs det mer analyser av tidsserier över installationssystemens funktion och energianvändning för att energieffektiva byggnader ska kunna fungera bättre och komma närmare sin tänkta funktion och energiprestanda. Det betyder att det behövs en ökad kunskap om hur man ska arbeta med dessa analyser av mätdata från byggnadens olika system och tid för att arbeta med detta. Men det gäller också att byggnadens utformning är sådan att det finns en möjlighet att byggnaden kan erhålla den beräknade energianvändningen. Så byggnadens form, klimatskärmens egenskaper men även placering av installationsschakt och fläktrum är viktig för att kunna minimera distributionsförluster från rör och kanaler. Den värmeförlust som kan bli riktigt stor är VVC-förluster om man har en olämplig design och inte har försökt minimera VVC-förlusterna i tidiga skeden.

En viss byggnad kan ha hårdare krav på energianvändningen än Boverkets Byggregler. Dessa krav kan komma från exploateringsavtal, miljöcertifiering eller annat. När kraven är hårdare får detaljerna större betydelse, så då är det än viktigare med ökad noggrannhet i analyserna av olika värmeförluster/detaljer, så INGA schablonvärden bör användas utöver vädringspåslaget. Så det behövs ett kvalitetssäkringsarbete av olika delsystems funktion och energianvändning från tidiga skeden genom hela byggprocessen med många olika aktörer till byggnaden byggnad i drift. Ett exempel på hur detta skulle kunna genomföras föreslås i LÅGAN-rapporten *Stegvis verifiering av delsystem* (Kempe 2019).

Beroende på om energikravet är i enlighet med BBR eller är hårdare kommer olika metoder behöva användas vilket illustrerades i tabell 2.1. I nya projekt gäller det att ha tänkt igenom och strukturerat upp installationssystemens (värme, kyla, el, varmvatten) och mätsystemens uppbyggnad i ett tidigt skede av projekteringen så att det blir enkelt att mäta respektive energianvändning och därmed kunna följa upp och normera dem för att visa att byggnaden förhoppningsvis uppfyller energikraven, se kapitel 8.2.

Det finns en stor osäkerhet för FTX system i bostäders funktion och energianvändning där boendetäthet och brukarbeteende har en stor påverkan på fuktalstringen i flerbostadshus. Så mer kunskap om fuktalstring och frånluftens fuktinnehåll behövs.

För att kunna minimera avvikelserna behövs en kvalitetssäkring av designen från tidiga skeden, produktionen, driftsättning, injustering och samordnad funktionsprovning. Verifiera VVC-förluster med mera inför slutbesiktningen, så driften får en möjlighet att sköta en energieffektiv byggnad. Det vill säga se till i tidiga skeden att få en design på byggnaden, placering av fläktrum och schakt, så att VVC-förlusterna, förluster från ventilationskanaler med mera blir små.

Den energieffektivisering som har bäst återbetalningstid är att tillse att installationssystemen och byggnaderna får rätt funktion.

10. Förslag på fortsatt arbete

För att kunna höja kvalitén i byggnaden och installationssystemens funktion och energianvändning, så att glappet mellan beräknad och uppmätt energianvändning kan minska behöver man fortsätta att arbeta med följande:

- Öka kunskapen hos branschens olika aktörer om detaljernas betydelse i energieffektiva byggnader. Särskilt viktigt är att få in kunskapen redan i tidiga skeden för att förbättra grundförutsättningarna. På så sätt kan branschen öka kvalitén i funktioner och minska energianvändning i de nyproducerade byggnaderna.
- Ge kunskap om storleken på olika avvikelser energibetydelse för att skapa en större förståelse av problematiken
- Öka kunskapen om drift- och energiuppföljning av energieffektiva byggnader.
- Ta fram metoder för verifiering av delsystem och förankra med branschens olika aktörer om Stegvis verifiering av delsystems funktion och energianvändning i enlighet med Lågan-Förstudien *Stegvis verifiering av delsystem* (Kempe 2019)
- Bygga på erfarenhetsdatabasen med fler typer av avvikelser
- Komplettera och bredda de befintliga sammanställningarna i erfarenhetsdatabasen med mer information från befintliga och nya analyser av avvikelser

REFERENSER

- BeBo (2019): Tekniktävling – Ventilation i energieffektiva flerbostadshus
https://www.bebostad.se/media/4158/inbjudan-till-teknikt%C3%A4vling_2019-08.pdf
- BeBo (2021): Korttidsmätning av ett klimatskals U-värde Johann Meulemans, Saint-Gobain Research <https://www.bebostad.se/media/5120/bebo-webbinarium-korttidsm%C3%A4tning-av-ett-klimatskals-u-v%C3%A4rde.pdf>
- BELOK (2011): BELOK Driftanalys <http://belok.se/verktyg-hjalp/driftanalys/>
- Berggren (2022): Personlig kommunikation med Björn Berggren, Skanska/ LTH (2022)
- BTI (2020): Branschstandard Teknisk Isolering, <https://tekniskisolering.se/bti/>
- Carling, P. et.al. (2009): Metodik för uppföljning av VVS-tekniska system och energiförbrukning, SBUF rapport 11815
- Flawn Orpana, L. (2015): LUFTBEHANDLINGSSYSTEM I ENERGIBERÄKNINGAR - En studie av produktdata och beräkningsmetoder SBUF rapport 12994
- Kempe, P. (1999), tidigare Blomberg, P.: Experimental Validation of Dynamic Component Models for Simulations of Air Handling Units, KTH, Installationsteknik, Meddelande. Nr 50, 1999 (Doktorsavhandling)
- Kempe, P. (2013): Installationssystem i energieffektiva byggnader, SBUF rapport 12541
- Kempe, P. (2016): Drift- och Energiuppföljning, SBUF rapport 12746
- Kempe, P. (2018) Insamling och uppföljning av energidata. PILOT SABOs typhus KOMBO, Energimyndigheten projekt 38467-1
- Kempe, P. (2019): Förstudie: Stegvis verifiering av delsystem
http://www.laganbygg.se/avslutade/stegvis-verifiering__228
- Kempe, P. (2020): BeBo/KTH/SBUF-Förstudie - Analyser av energieffektiva flerbostadshus funktioner och energianvändning, SBUF-rapport 13890
- Kempe, P. (2021): Geotermisk förvärmning - Inventering, analys av mätdata vinter och sommar samt dimensioneringsråd, <https://www.bebostad.se/media/5225/2021-05-geotermisk-f%C3%B6rv%C3%A4rmning-av-ftx-inventering-analys-och-rekommendationer.pdf>
- Levin, P. et.al. (2018): Energiprestanda i SABO Kombohus Bas 2015 - 2017
Energimyndigheten
- Meulemans, J.: Personlig kommunikation med Johann Meulemans Saint-Gobain Research, France 2020, 2021

Miljöbyggnad 3.1 (2020): <https://www.sgbc.se/app/uploads/2020/05/Milj%C3%B6byggnad-3.1-Nybyggnad.pdf>

Puhringer, T., (2022): Personlig kommunikation med Tomas Pühringer, Saint Gobain, Sweden

Sveby (2012): Sveby Brukarindata bostäder https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/10/Sveby_Brukarindata_bostader_version_1.0.pdf

Sveby (2020): Sveby – Mätanvisningar, ver.2.0, 2020-06-10 https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2020/06/Sveby-Ma%CC%88tanvisningar-2.0_200610.pdf

Sveby (2021): Energiavtal 2021 <https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2021/03/Energiavtal-21.pdf>

BILAGA 1 RAPPORT FÖR KLIMATSKÄRMSKONTROLL OBJEKT 2

Rapport: U-värdes- mätning med QUBe-metoden, Önologgatan 4, Liljeholmen



Utförd av:
Christian Carlsvärd
Theo Kiriakou

Beställare:
JM

Saint-Gobain Sweden AB, Weber

Publiceringsdatum: 2021-12-08

Mätmetod

Saint-Gobain Research i Paris har utvecklat en mätmetod för att snabbt mäta energieffektivitet (U-värden) i byggnader under hela byggprocessen, QUB/e-metoden. Metoden skiljer sig från liknande mätmetoder genom att man på enbart en natt får fram U-värden på uppmätta ytor.

Principen för metoden går ut på att man under halva natten värmer upp lägenheten för att sedan stänga av värmen helt och låta temperaturen sjunka fritt. Värmeflöde, temperatur och tillförd energi mäts kontinuerligt under hela mätningen. Efter avslutad mätning analyseras de båda kurvorna, uppvärmning och avkylning för att få fram U-värden på aktuella ytor.

Metoden är framtagen i samarbete med flera Universitet, och verifierad genom labb-försök samt mer än 800 fältmätningar. Jämförande test med ISO 9869-1 har gjorts för att säkerställa metodens exakthet.

Bakgrund

Mätmetoden används för att mäta U-värden i nybyggda hus som en del av SBUF projekt där målet är att undersöka varför många nybyggda fastigheter förbrukar mer energi än planerat.

Objektsinformation

Byggnaden är ett flerfamiljshus uppfört av JM. Mätningen genomfördes innan inflyttning i lägenhet på första våningen. Lägenheten har en fasad åt väster och består av ett sovrum samt vardagsrum med köksdel.

Ytterväggarna är uppbyggda av regelkonstruktion med skärmtegel utanför lägenheten. Övre våningarna har fasad av ventilerad cortenplåt. Lägenhetsavskiljande vägg är av betong.



Förberedelser och utförande

QUBe – mätning gjordes mellan den 2a och 3e december 2021. Lägenheten var vid provtillfället omöblerad och samtliga radiatorer sattes på defrost-läge. Totalt 10 värmeflödesmätare monterades.



2 st mätare monterades på fönster i vardagsrummet. Samt 2 st på ytterväggen



Ytterligare 4 st mätare placerades på ytterväggen i sovrummet.

Vid montage kunde tyvärr inte regler detekteras med värmekamera vilket medförde att vi placerade mätpunkterna med utgångspunkt från fönster för att på så vis försöka missa reglarna.

Resultat

Utomhustemperaturen under natten låg stabilt mellan -4,2 och -3,4 grader vilket ger en temperaturdifferens på över 20 grader vilket är optimala förhållanden. Mätningen varade i 12 timmar mellan kl 18:00 och kl 06:00 och temperaturökningen uppgick till 4 grader vilket är fullt tillräckligt. Tabellen nedan visar erhållna resultat från mätningen.

Fasad	U-värde
1	0,107
2	0,108
3	0,124
4	0,129
5	0,134
6	0,180

Fönster	U-värde
7	0,880
8	0,895

Slutsats

Både temperaturdifferensen och temperaturökningen låg med god marginal inom tillåtna gränser. Störningar från radiatorer kan konstateras eliminerade. I och med det kan vi konstatera att mätningen blev lyckad och det föreligger inte någon misstanke om mätfel.

Utifrån värdena kan det antas att sensor 1 (längst till höger i vardagsrummet) och sensor 2 (andra sensorn från höger i sovrummet) placerades mellan reglarna och med mycket låg spridning. Sensor 3 till 5 antas ha placerats mer eller mindre på reglarna och ger då ett högre värde på grund av reglarnas inverkan. Sensor 6 antas vara placerad närmare bärande stålpelare och visar därmed högre värde. Fönster visade förväntade resultat och med en låg spridning.