

Ändrade arbetssätt för att minska energigap i nya flerbostadshus

Version: 1,0

Alla BeBo-rapporter finns att hitta på www.bebostad.se

2024:03

Per Kempe, Eva-Lotta Kurkinen

Granskare: Caroline Haglund-Stignor

RISE

2024-12-31

Innehåll

| | |
|---|----|
| Sammanfattning..... | 1 |
| Summary | 2 |
| Förkortningar och beteckningar | 3 |
| 1. Inledning..... | 4 |
| 1.1 Bakgrund..... | 5 |
| 1.2 Syfte och Mål..... | 7 |
| 1.3 Genomförande..... | 7 |
| 2. Inspel från Workshoparna..... | 9 |
| 3. Vägledning..... | 12 |
| 3.1 Värmeförluster VV/VVC-system (längd) | 14 |
| 3.2 Värmeförluster från ute- och avluftskanaler..... | 15 |
| 3.3 Ökad värmeanvändning pga. luftflödesobalans..... | 16 |
| 3.4 FTX-aggregat och dess energianvändning..... | 17 |
| 3.5 Köldbryggor..... | 18 |
| 3.6 Lufttäthet..... | 20 |
| 3.7 Olika börvärdens betydelse för energianvändningen | 21 |
| 3.8 Drift och energiuppföljning (verifiering av delsystem)..... | 22 |
| 3.9 Erfarenhetsåterföring..... | 26 |
| 4. Diskussion..... | 27 |
| 4.1 Workshoparna..... | 27 |
| 4.2 Synpunkter på vägledningarna | 27 |
| 5. Slutsatser och fortsatt arbete..... | 28 |
| 6. Referenser..... | 29 |
| Bilagor med bakgrund till vägledningarna..... | 31 |
| A. Värmeförluster VV/VVC-system..... | 32 |
| B. Värmeförluster från ute- och frånluftskanaler..... | 38 |
| C. Ökad värmeanvändning pga. luftflödesobalanser | 39 |
| D. FTX-aggregat och deras energier | 43 |
| E. Köldbryggor..... | 49 |
| F. Lufttäthet..... | 54 |
| G. Olika börvärden betydelse för energianvändning..... | 57 |
| H. Drift och energiuppföljning (Verifiera olika system)..... | 59 |
| I. Erfarenhetsåterföring..... | 64 |



Förord

BeBo (Energimyndighetens nätverk för energieffektiva flerbostadshus) har funnits sedan 1989 och är ett nätverk av fastighetsägare och med Energimyndigheten som huvudfinansiär.

BeBos aktiviteter ska genom en samlad beställarkompetens leda till att energieffektiva system och produkter tidigare kommer ut på marknaden. Utvecklingsprojekten ska visa på goda exempel med effektiv energianvändning samtidigt som funktion och komfort inte försämras utan snarare förbättras.

BeBo-Förstudien ”Ändrade arbetssätt för att minska energigap i nya flerbostadshus” har genomförts inom ramen för BeBo under 2024. Den initierades av BeBos medlemsföretag under hösten 2023 då många fastighetsägare har upplevt stora skillnader mellan beräknad och uppmätt energianvändning i nybyggda flerbostadshus.

I BeBo-Förstudie/ SBUF 13 890 (Kempe, 2020c) undersöktes förutsättningar för att analysera energieffektiva flerbostadshus.

I LÅGAN/ SBUF14025 (Kempe, 2022a) undersöks varför energieffektiva byggnader ofta använder mer energi än planerat. Det handlar om att förstå hur installationer fungerar tillsammans med byggnaden och att identifiera vanliga fel och brister som påverkar energianvändningen.

Sammanfattning

Inledning

Flera BeBo-medlemmar har rapporterat stora avvikelser mellan projekterad och verklig energianvändning, energiprestandagap, i nybyggda flerbostadshus.

Energiprestandagapet är skillnaden mellan beräknad och uppmätt energianvändning.

För att minska dessa gap krävs ändrade arbetssätt och bättre samarbete mellan arkitekter och tekniska konsulter i tidiga skeden.

Syfte och Mål

Syftet med studien var att analysera och diskutera arbetssätt under hela byggprocessen för att minska avvikelser mellan beräknad och uppmätt energianvändning. Målet är att ta fram vägledning med förbättrade arbetssätt för att minska energigapet vid nyproduktion och renovering av energieffektiva flerbostadshus.

Genomförande

Förstudien analyserade energigapet för fyra nyare flerbostadshus och diskuterade med aktörerna hur energigapet kan minskas i framtida projekt med förbättrade arbetssätt.

Workshopar hölls för att diskutera hur arbetssätten bör ändras i framtida projekt.

Vägledning

Den framtagna vägledningen ger korta instruktioner om hur arbetssättet bör ändras för att minska energigapet. Den behandlar behovet av ändrade arbetssätt för att minska olika typer av energigap, såsom värmeförluster från VV/VVC-system, värmeförluster från ventilationskanaler, luftflödesobalanser, brist i FTX-aggregatens funktion, köldbryggor, lufttäthet, samt drift och energiuppföljning.

Erfarenhetsåterföring

Erfarenhetsåterföring är viktig för att sprida kunskap om bra arbetssätt och utmaningar i byggprojekt. Det rekommenderas att följa Svebys mätanvisningar (Sveby 2020) för att säkerställa att rätt energier mäts och analyseras.

Slutsatser och fortsatt arbete

För att minska energigapen i framtida byggprojekt behövs en kombination av insatser, såsom digitala seminarier och fysiska undervisningstillfällen. Vägledningarna bör spridas till dem som arbetar med energifrågor i byggprocessen och inkluderas i utbildningar för bygg- och VVS-ingenjörer.

Summary

Introduction

Several property owners have reported large discrepancies between projected and actual energy use in newly constructed energy efficient multi-family buildings. The energy performance gap is the difference between estimated and measured energy use. Reducing these gaps requires changes in working methods and better collaboration between architects and technical consultants in early stages.

Purpose and Goal

The purpose of the study was to analyse and discuss working methods throughout the construction process to reduce the gap between calculated and measured energy use. The goal was to produce guidelines with improved working methods to reduce the energy gap in new construction and renovation of energy-efficient multi-family buildings.

Implementation

The feasibility study analysed the energy gap for four newer apartment buildings and discussed with stakeholders how to reduce the energy gap in the future with improved working methods. Workshops were held to discuss how working methods should be changed in future projects.

Guidance

The developed guidelines provide brief instructions on how to change working practices to reduce the energy gap. They addressed the need to change working practices to reduce different types of energy gaps, such as heat losses from domestic hot water systems, ventilation ducts, airflow imbalances, air handling units, thermal bridges, air tightness and operational and energy monitoring.

Experience feedback

Experience feedback is important to spread knowledge about good practices and challenges in building projects. It is recommended to follow Sveby's measurement instructions (In Swedish, Sveby 2020) to ensure that the correct data is measured and analysed.

Conclusions and further work

In order to reduce energy gaps in future construction projects, a combination of efforts is needed, including digital seminars and physical teaching sessions. The guidelines should be disseminated to those working with energy issues in the building process and included in the training of building and HVAC engineers.

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 |
| BEN | Boverkets föreskrifter och allmänna råd för fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår |
| BTI | Branschstandard Teknisk Isolering |
| 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 |
| FrånluftsRF | Frånluftens Relativa Fuktighet |
| FTX | Från och tilluftsventilation med värmeåtervinning |
| OVK | Obligatorisk VentilationsKontroll |
| Qläck | Totala läckluftsflödet (l/s) |
| Tavl | Avluftstemperatur |
| Tefv | Temperatur efter förvärmare |
| Tevvx | Temperatur efter värmeväxlaren på tilluftssidan |
| Ttill | Tilluftstemperatur |
| Tute | Utomhustemperatur |
| VS | Värmesystem |
| VV | Varmvatten |
| VVC | Varmvattencirkulation |
| VVX | Värmeväxlare |

1. Inledning

I samband med BeBos medlemsmöte hösten 2023 framförde flera BeBo-medlemmar synpunkter och erfarenheter om större avvikelser mellan projekterad och verklig (uppmätt) energianvändning i deras nyproduktion av flerbostadshus och att det finns ett behov av ändrade arbetssätt, så att avvikelserna kan minskas. En representant från Svenska Bostäder, Stockholm, berättade att i deras nyproduktion hade hälften av de nyproducerade flerbostadshusen Energiklass D i stället för den önskade Energiklass B och representanter från ÖBO, Örebro, och Förvaltnings AB Framtiden, Göteborg, instämde med att det ofta blev stora avvikelser mellan planerad och uppmätt energianvändning, så kallade energiprestandagap, när byggnaderna väl tagits i drift. Energiprestandagapen är alltså skillnaden mellan beräknad (önskad) och uppmätt (verklig) energianvändning/ energiprestanda.

För att sätta energiprestandagapen i ett sammanhang utgår vi från ett energieffektivt flerbostadshus i Stockholmsområdet med energianvändningen (köpt) 60 kWh/m²,år, fördelat på varmvatten 25 kWh/m²,år (standardbrukande), fastighetsel 10 kWh/m²,år (varav hälften är fläktel) samt värme 25 kWh/m²,år (inklusive brukarberoende vädring, VVC-förluster, säkerhetsmarginal, etc.). De energimängder som inte är baserade på standardiserade brukande är fastighetsel och värme, vilka tillsammans uppgår till 35 kWh/m²,år och de påverkas av design, montage, idrifttagning, drift, mm.

I rapporten utgår vi från köpt fjärrvärme till varmvatten och värme samt el för driftel. Detta för att renodla och förenkla för läsaren att förstå vad energigapen består av. När man ska sätta energimängderna i relation till dagens byggregler får man multiplicera energimängderna med deras viktningsfaktorer för att få fram byggnadens primärenergital.

ByggnadsenergiBERÄKNING beräknar primärt energiflöden i lägenheter/ rum, mellan dessa och summerar energierna till flerbostadshusets energianvändning. Till dessa energier behöver olika typer av värmeförluster läggas till, som energiBERÄKNINGS-programmen inte direkt tar hänsyn till. Dessa värmeförluster måste beräknas med verklighetsanknytning (ej schablonvärden), för att ge möjlighet att minimera dessa värmeförluster, för att uppnå en totalt sett låg energianvändning.

De energiprestandagapen som uppstår är bland annat relaterade till

- arkitektens planlösning med placering av schakt samt rör/kanalstråk, vilket påverkar längden för distributionssystemen och därmed deras värmeförluster.
- design och montage av VV/VVC-system
- design och montage av ventilationssystem
- mätning och injustering av luftflöden samt luftflödesbalans
- ventilationsaggregatens effektivitet över året
- styrning och funktioner för installationssystem
- klimatskärmens köldbryggor och lufttäthet

Många av de avvikelser/ energiprestandagap som uppstår i nyproduktionen av energieffektiva flerbostadshus uppstår ofta även i energirenoverade flerbostadshus.

1.1 Bakgrund

I BeBo-Förstudie/ SBUF 13 890 (Kempe, 2020c) undersöktes förutsättningar för att analysera energieffektiva flerbostadshus, vilka innefattar att säkerställa tillgång till systemdokumentation, energiberäkningar och energiberäkningsrapporter samt tillgång till relevanta historiska mätdata för analyser för att kunna göra en större, mer detaljerad huvudstudie. I rapporten sammanställdes även information från 17 olika studier från 1990–2019 om avvikelser mellan beräknad och uppmätt energianvändning. Ett exempel är en Byggnadsforskningssrapport från 1990 (Wånggren, 1990) som beskriver hur de jobbade med problematiken i utvärderingen av Stockholmsprojektet från 1980-talet. Deras rekommendation för att minska antalet fel i funktion och energianvändning gäller fortfarande idag, även om få verkar följa dem. Deras rekommendation är:

1. Utgå från att alla byggnader innehåller fel
2. Ge installations- och energifrågan större vikt genom hela projektet
3. Analysera funktionen för de projekterade systemen
4. Funktionskrav verifieras under idrifttagning och drift
5. Mätningarna för verifieringen måste förberedas under projekteringen

Förstudien från 2020 redovisade även ett antal avvikelser som visar på brist i arbetssätt i de projekt som översiktligt analyserades inför en större studie. Exempelvis utgörs dessa av

- påslag på 50% på beräknad värme i byggnadsenergiiberäkningsresultatet. *Varför 50 % påslag, varför inte 30% eller 70%? Detta ger en stor osäkerhet.*
- saknad uppdatering av byggnadsenergiiberäkningen när förutsättningarna förändrades i byggprojektet (ändrad systemdesign på VV/VVC-systemet, vilket fyrdubblade VVC-förlusterna). *Detta trots att samma konsultföretag gjorde byggnadsenergiiberäkning, som system- och bygghandling.*

Båda avvikelserna pekar på brist i arbetssätt. Om man önskar att energiprestandagapen ska bli mindre, så måste kvalitén höjas i analyser och arbetssätt förbättras om skillnaden mellan beräknad och uppmätt energianvändning ska minskas.

I studien LÅGAN/ SBUF14025 (Kempe, 2022a) undersöktes varför energieffektiva byggnader ofta använder mer energi än planerat. För att minska dessa avvikelser handlar det ofta om att förstå hur installationer fungerar tillsammans med byggnaden och att identifiera vanliga fel och brister som påverkar energianvändningen. För att tillhandahålla information mer lättillgängligt till byggbranschen om de olika bristerna som ofta uppstår togs korta erfarenhetstexter fram och publicerades på LÅGANs

hemsida (Kempe, 2022b). Texterna omfattar 2–5 sidor och bygger bland annat på information från tidigare rapporter om bristerna/ energiprestandagapen.

Några av erfarenhetstexterna presenterades på digitala webinarium under hösten 2022, där deltagarnas synpunkter på erfarenhetstexterna efterfrågades. Var det behov av ytterligare erfarenhetstext? Deltagarna ansåg att texterna var bra, men några ansåg att det är jobbigt att läsa, så de önskade fler digitala lunchpresentationer.

Erfarenhetstexterna togs fram för att aktörerna skulle få informationen i samlad form och presenterad på några få sidor för de skulle slippa att läsa ett stort antal rapporter. För de som önskar läsa mer finns referenser till några relevanta rapporter. En huvudavsikt med erfarenhetstexterna var att aktör/ beställare skulle få stöd i erfarenhetstexterna, när de argumenterar med sina aktörer i byggprojektet, för att minska avvikelserna, vilket några aktörer i tidiga skeden uppskattade. Dock har erfarenhetstexterna trots detta fått dålig spridning.

I augusti 2023 efterfrågades abstrakt till artiklar om energiprestandagapet till Journal of Building Performance Simulation (JBPS, 2024). Abstrakt om erfarenheter från energiprestandagapet i svenska flerbostadshus skickades in och accepterades. Artikeln ”Reducing the energy performance gap through stepwise verification of building and system functions” (Kempe, 2024) publicerades i oktober 2024. I artikeln konstaterades att många av avvikelserna/ energigapen inte kan rättas till i efterhand utan det är viktigt att det bli rätt från början. Därför erfordras ett samarbete mellan arkitekten och tekniska konsulter i tidigt skede. Främst berör detta planlösningen med placering av rör/vent schakt och kanal/ rörstråk som påverkar längderna för distributionssystemen, vilka påverkar deras värmeförluster. Vidare krävs goda möjligheter att mäta och justera in ventilationssystemen med litet fel till varje lägenhet samt för ventilationsaggregatet. Det finns därför ett stort behov av att förändra och förbättra arbetssätten för att tidigt kunna upptäcka och identifiera avvikelserna/ energiprestandagapen, då det fortfarande finns möjlighet att begränsa deras omfattning.

Det finns därför ett stort behov av att öka kännedomen och kunskapen i byggbranschen om varför ”energiprestandagap” uppstår samt av att undersöka hur arbetssätten i hela byggprocessen, inklusive tidigare skeden, bör förändras för att energigapen ska kunna minskas i kommande projekt.

Den stora frågan är hur man ska styra byggprojekt med hänsyn till olika entreprenadformer, för att få till bättre arbetssätt som ger mer realistiska analyser, samt hur man ska säkerställa att de involverade aktörerna har tillräckliga kunskaper. Detta för att de i samverkan ska kunna skapa en tillräckligt bra och energieffektiv byggnad. Här kan en vägledning, inklusive processriktlinjer för olika skeden, om vilka arbetssätt som bör tillämpas för att avvikelserna mellan planerad och verklig energianvändning ska bli så små som möjligt vara en viktig del av lösningen.

1.2 Syfte och Mål

Syftet med denna studie var att granska några nyligen färdigställda flerbostadshus och analysera och diskutera med fastighetsägare och byggaktörer som varit delaktiga i respektive flerbostadshusprojekt, om arbetssätten under hela byggprocessen (inklusive tidiga skeden) samt vad som kan ligga bakom avvikelser mellan beräknad och uppmätt funktion och energianvändning. Frågor att diskutera och utreda var bland annat om det fanns brist i tidig samverkan, om de olika aktörerna har rätt och tillräcklig kompetens, om det finns brister med dagens energisamordning och aktörsamverkan. Utifrån detta ska sedan diskussioner hållas om hur arbetssätten bör ändras för att avvikelserna ska bli mindre, dvs hur skulle processer, affärsmodeller och (regler/ policyers) behöva förändras för att det ska bli som man önskar, projekterar.

Målet med förstudien var att ta fram en vägledning med förbättrade arbetssätt för att minska ”energigapet” vid nyproduktion (och renovering) av energieffektiva flerbostadshus. Den framtagna vägledningen skulle sedan diskuteras med fastighetsägare och deras aktörer för att göra en bedömning om vägledningen var mogen för en större spridning.

Denna förstudie fokuserar på nyproduktion, där man har god kontroll på förutsättningarna och därmed lättare kan diskutera med aktörer från byggprojektet, men den framtagna vägledningen ska även kunna tillämpas vid renovering, med vissa kompletteringar.

1.3 Genomförande

Förstudien har analyserat energigapen, för fyra nyare flerbostadshus (två i Örebro och två i Göteborg), och man har diskuterat med aktörerna från projekten hur energigapet skulle kunna minskas i framtiden med hjälp av förbättrade arbetssätt, så att nyare flerbostadshus bättre ska uppfylla önskad / avtalad energiprestanda. Syftet med att använda flerbostadshus från två orter är för att få en spridning av inblandade aktörer, vilket i sin tur ger en spridning i arbetssätt och avvikelser.

Analyserna av de fyra flerbostadshusen och presentationen av deras avvikelser/ energiprestandagap var för att skapa större intresse bland aktörerna under workshoparna, utan att peka ut olika aktörers bidrag och ge någon aktör skulden. Detta för att alla deltagande aktörer skulle vara positiva och bidra till hur förbättring skulle kunna ske i framtida projekt. Det viktigaste är att byggbranschen (gemensamt) bidrar till minskade energigap i kommande byggprojekt för flerbostadshus, inte att peka ut vem som är ansvarig för att avvikelser uppstått.

Syftet med workshoparna med fastighetsägare och deras aktörer i byggprocessen var för att diskutera hur arbetssätten bör ändras i framtida projekt, för att minska dessa avvikelser.

De diskussionsfrågor som hanterades vid workshoparna var följande:

- En del avvikelser beror på beslut tagna tidigt i byggprocessen, vilket ger grundförutsättningarna för flerbostadshus. Beror energigapet på tidiga beslut eller brist på beslut? Hur kan ”rätt” beslut tas tidigt?
- Hur ska arbetssätten förändras i framtida projekt för att undvika/ minska dessa avvikelser/ energigap?
- Vilka hinder finns för att ändra arbetssätten? (Kunskapsbrist hos olika aktörer, LOU, ABT, ABK, ...)
- Vem/ vilka behöver ta beslut/ ändra förutsättningarna, för att arbetssätten ska kunna förbättras?
- Vilka extra kostnader skulle ett ändrat arbetssätt i nyproduktion innebära eller sänks totala kostnaden?
- Om möjligt - vad skulle kostnaderna bli för att åtgärda de olika bristerna i nya flerbostadshus i efterhand?
- Tillämpbarhet vid energirenovering? Vad krävs för att öka tillämpbarheten vid renovering?

Inspel från workshoparna som omfattar primärt material i bilagorna A-I finns i kapitel 2 och de har bidragit till formuleringar av vägledningarna i kapitel 3.

Vägledningarna har skickats ut till deltagarna för synpunkter, vilka presenteras i kapitel 4 (diskussion). I kapitel 4 finns även kommentarer på Workshoparna.

2. Inspel från Workshoparna

I detta kapitel sammanfattas de inspel som gjordes av deltagarna i de workshopar som hölls inom denna förstudie.

Allmänt

Fastighetsägaren/ byggherren behöver ta rätt beslut i tidiga skeden för att kunna få det som fastighetsägaren/ byggherren har beställt. Brister kan även finnas i hur fastighetsägaren/ byggherren följer upp byggprocessen. Så det är viktigt för fastighetsägaren att lägga större vikt på tidiga beslut och uppstyrning av byggprocessen.

För att kunna optimera designen av byggnaden är det viktigt med mycket god förståelse för byggnadsenergiprogrammen och att detaljeringsgraden i analyserna är väl anpassade till hur energieffektivt flerbostadshuset ska bli. Kraven som ställs måste vara så tydliga så att det inte går att göra vissa förenklingar. Detta är svårt att lösa och egenkontroller anses inte vara en del av lösningen.

Det finns behov av energi- och installationsmöten genom hela projektet, kanske var tredje månad, där byggherren ställer frågor och kontrollerar detaljer som om ventiler är isolerade och om beräkningar är uppdaterade. Frågan är hur man genomför detta på bästa sätt.

Vid avvikelser i energianvändning är det svårt att efter slutbesiktningen få respons från entreprenörer, underentreprenörer med flera aktörer. Hos entreprenörerna är intresset svagt, när de fått betalt och lämnat bygget. Det är en stor fördel om ett antal enkla kontroller kan utföras i samband med slutbesiktningen och innan hyresgästerna flyttar in.

Det är viktigt att ha kontroll på lufttäthet, fönster och isolering. Köldbryggor kan vara särskilt svåra att hantera. Kontroller görs ofta gällande täthet, ljud mm, men inte av installationernas funktion. Det finns brister i hur de tekniska underentreprenörerna kontrolleras, till exempel isolering av kanaler och placering av golvvärmeslingor.

Renoveringar har begränsade frihetsgrader och det är svårt att veta den ursprungliga energianvändningens fördelning, så man vet inte riktigt hur bra renoveringen egentligen är.

Det saknas en struktur för erfarenhetsåterföring, där alla berörda tillsammans sitter ned och tar lärdomar från projekten. Ofta är det mycket aktivitet innan projektet startar, men väldigt lite efteråt. Det behövs mer erfarenhetsåterföring i projekt, men även mellan projekt hos fastighetsägaren. Energiavtal 21 (Sveby 2021) kan användas för att få en struktur på energiuppföljning och delning av mätdata med entreprenören.

Planlösning

Det är bra om fastighetsägaren tidigt har funderat på optimala lösningar för att sedan låta arkitekten forma helheten runt om dessa. Detta då planlösningar ofta fastställs tidigt och sedan bör ändringar under byggprocessen undvikas, då det kan blir dyrt att genomföra dessa. Det diskuterades även att beslut om förändringar ofta ligger hos kravställaren/ beställaren och blir ofta en kostnadsfråga.

VV/VVC

Man ska inte använda schablonvärden i energiberäkningar och ventiler i rörsystem behöver ofta överisoleras. Det borde vara enkelt att beakta löpmeter rör (för VVC) för att på så sätt minska VVC-förlusterna.

Ventilation

Ofta tar man inte hänsyn till värmeförlusterna från uteluftkanaler i energiberäkningar, vilket kan leda till ett stort energigap. Man bör tänka till bättre före så att man slipper denna typ av energigap. Hur skulle man kunna förbättra isoleringen av ventilationsschakt?

Luftflöden

För att höja kvalitén på luftflödesmätningarna och injustering bör OVK handlas upp separat för att undvika jäv och höja nivån. På så sätt blir denna kontroll en verifiering av att flerbostadshuset har rätt luftflöden. Idag är det ofta ventilationsentreprenören som ser till att OVK blir utfört med risk för ett beroendeförhållande mellan ventilationsentreprenör och OVK-besiktningsman.

Ventilationsaggregatens effektivitet

Vikten av att räkna rätt beroende på vilket ventilationsaggregat som används och behovet av en handbok för att underlätta för byggherrar diskuterades. Hur får man ett kostnadseffektivt ventilationsaggregat med avseende på värmeenergi, värmeeffekt och elanvändning? Hur ska krav ställas på ventilationsaggregatet, så man får tillräckligt energieffektivt ventilationsaggregat i verkligheten och inte riskerar att det fryser ihop och stannar under vintern med stora problem för driften som följd.

Klimatskärmens köldbryggor och lufttäthet

Det är viktigt hur man arbetar med köldbryggor och lufttäthet i tidiga skeden och med noggranna beräkningar. Köldbryggor är svårare att verifiera. Uppmätt lufttäthet bör ligga under 0,3 l/m² vid 50Pa. Lufttätheten mäts oftast i 3 lägenheter om inte hela huset kan mätas.

Styrning och funktioner

Det är mycket viktigt med att följa upp styrningar och funktioner för installationssystemen och då särskilt när det är kallt ute. Fastighetsägaren bör i egenintresse vara med och följa upp den tekniska delen, för att verifiera att flerbostadshuset erhåller de funktioner och temperaturer som efterfrågats. Många olika entreprenörer är involverade, som var för sig är duktiga på sin sak, men helheten saknas ofta. Uppföljning är det som gäller och det bästa är att ha en intern resurs för att följa upp och verifiera att flerbostadshuset får rätt inneklimat och energianvändning.

Under byggmötena får man inte hela bilden av konsekvenserna av problemen som diskuteras. Man måste följa upp tillräckligt noggrant för att kunna svara på vad som går fel och vem som bär ansvaret. I entreprenaden strävar entreprenören efter billigast möjliga lösningar. I teorin kan man ofta visa att de borde fungera, men det är viktigt att verifiera att de verkligen kommer att fungera. Allt som går att mäta är bra, för då är det lättare att följa upp.

Det är viktigt att kontrollera energiberäkningarna och följa upp vad som faktiskt har monterats och vad energianvändningen förväntas bli.

3. Vägledning

I detta kapitel ges korta vägledningar om hur man för respektive typ av energigap ska ändra arbetssättet, för att minska detta energigap. I bilagor A-I kopplat till respektive typ av energigap ges en fylligare bakgrund till varför arbetssätten behöver förändras. Ur detta kapitel kan informationstexter hämtas till exempelvis Energihjälpen (Sveby 2023) och till byggnadsenergisimuleringsprogram. Detta för att ge mer kunskap till aktörerna som arbetar med energifrågan, så att energigapen kan bli mindre i kommande flerbostadshus.

Vägledningen behandlar behov av ändrade arbetssätt för att minska olika typer av energigap. För att sätta energigapen i ett sammanhang utgår vi från ett energieffektivt flerbostadshus i Stockholmsområdet med energianvändning (köpt 60 kWh/m²,år) och dess fördelning på olika delsystem (varmvatten 25 kWh/m²,år, standardbrukande), fastighetsel 10 kWh/m²,år (varav hälften är fläktel) och värme 25 kWh/m²,år (inklusive vädring, VVC-förluster, säkerhetsmarginal, etc.). De energibehov som man i designen av byggnaden har möjlighet att påverka är fastighetselen och värmen vilka blir ca 35 kWh/m²,år tillsammans.

I vägledningen, detta kapitel, anges de vanligaste energigapen med exempel på storlek samt hur arbetssätten bör förändras för att minska dessa energigap från totalt upp mot 50 % av beräknad värmeanvändning i ca hälften av dagens flerbostadshusprojekt till ner mot 10% av beräknad värmeanvändning. Detta betyder att man måste räkna på de viktigaste delarna av värmeförlusterna, så att man har möjlighet att optimera flerbostadshusen med avseende på dessa värmeförluster. Detta är särskilt viktigt för energieffektiva byggnader där avvikelserna får relativt sett större betydelse.

I energieffektiva byggnader blir många detaljer viktiga för att kunna erhålla en mycket låg energianvändning. Så det är viktigt att analysera detaljerna och påverka arbetssättet för att bättre förutbestämma de olika värmeförlusterna. Dessa analyser börjar redan i tidiga skeden när byggnaden erhåller sina grundförutsättningar för hur energieffektivt flerbostadshuset kan bli och det är viktigt att optimera designen.

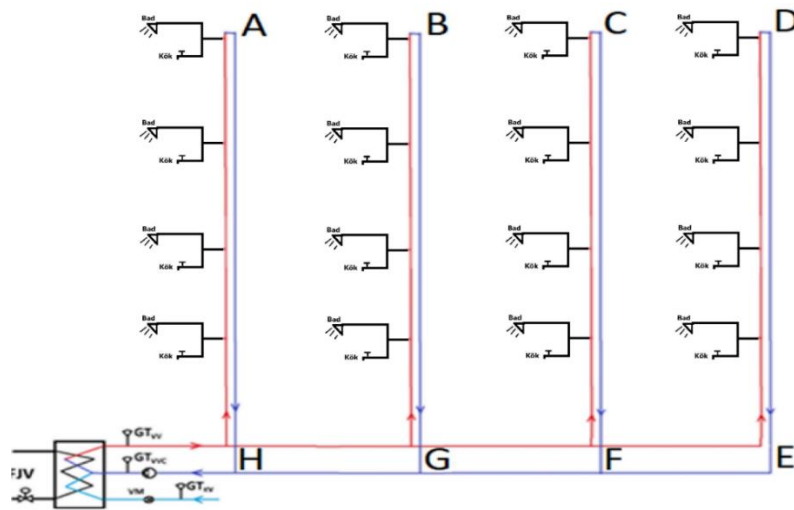
Det är således viktigt hur fastighetsägaren/ byggherren handlar upp och styr byggprojekten samt tar till sig ett arbetssätt som inkluderar erfarenhetsåterföring, där man för varje projekt analyserar energigapen och försöker minska energigapet i det pågående projektet om möjligt samt ser till att minska de olika energigapen i nästa projekt.

Vägledningen betonar vikten av att kunna mäta och verifiera energianvändning och funktion för olika delsystem genom hela byggprocessen för att minska energiprestandagapet. Detta är idag en kunskapsbrist hos en del aktörer, som behöver arbetas bort. Denna rapport kan bidra med kunskap om hur arbetssätt behöver ändras för att minska energigapen. Den stora utmaningen är att sprida kunskapen till byggbranschens olika aktörer och att kunskapen tillämpas i byggprojekt såväl som i drift av byggnader.

De system/ delar av byggnaden där ett ändrat arbetssätt behövs för att säkerställa små energigap är:

- Värmeförluster VV/VVC-system
- Värmeförluster ute- och frånluftskanaler
- Ökad värmeanvändning pga. luftflödesobalanser
- FTX-aggregat och deras energianvändning
- Köldbryggor
- Lufttäthet
- Olika börvärdens betydelse för energianvändningen (styr)
- Drift och energiuppföljning (verifiering av olika system)
- Erfarenhetsåterföring

3.1 Värmeförluster VV/VVC-system (längd)



Figur 1. VV/VVC-system i flerbostadshus. Värmeförlusterna beräknas för VV/VVC-systemets VV-rör (rött) och VVC-rör (blå/lila).

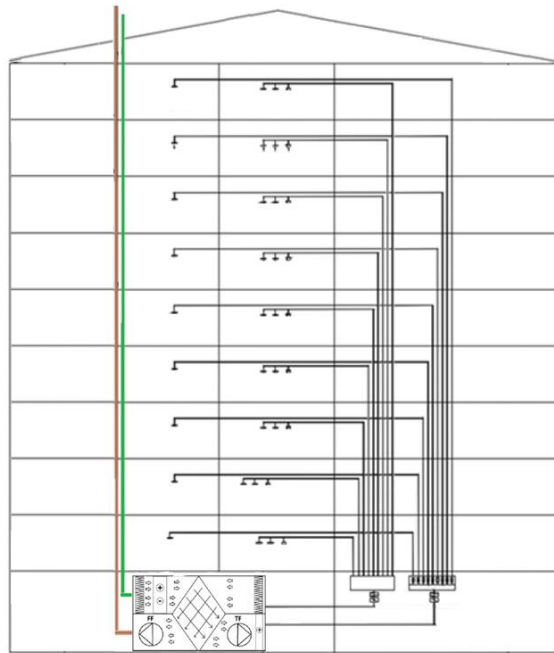
För att minimera värmeförluster från VV/VVC-systemet bör designen (antal löpmeter rör) optimeras tidigt i flerbostadshusprojekt, innan planlösningen med schakt- och rörstråksplacering fastställs. Värmeförlusterna beror huvudsakligen på VV/VVC-rörens längd. För att säkerställa att värmeförlusterna inte blir för stora, ska antalet löpmeter VV/VVC-rör som krävs för ett fungerande VV/VVC-system tas fram i tidigt skede. Den längden ska multipliceras med 50 kWh/ löpmeter rör och år, samt divideras med A_{temp} (50 kWh/ löpmeter rör och år gäller för VV/VVC-rör med väl utförd isolering). Om beräkningen resulterar i 3–4 kWh/m²,år är det acceptabelt, men om den exempelvis resulterar i 12–15 kWh/m²,år (som kan erhållas i lamellhus utan källare) eller mer, bör arkitekten och den tekniska konsulten hitta en bättre lösning på VV/VVC-systemet som kräver färre löpmeter av VV/VVC-rör.

Detta innebär att beställaren av flerbostadshus måste säkerställa att arkitekten har möjlighet att samarbeta med tekniska konsulter i ett mycket tidigt skede för att begränsa värmeförlusterna från VV/VVC-systemet. När arkitekten har ett utkast till planlösning, ska denne fråga teknisk konsult om hur många löpmeter VV/VVC-rör som behövs för ett fungerande VV/VVC-system och beräkna värmeförlusten utifrån rörens längd. Om den resulterande värmeförlusten är för stor bör en bättre design hittas. Om detta inte är möjligt, måste man överväga att minska värmeanvändningen i andra delar av byggnaden eller så måste fastighetsägaren acceptera en högre värmeanvändning och därmed högre driftskostnader.

Temperaturerna i VV/VVC-systemet behöver verifieras att de är mellan 50°C –60°C.

I vanliga VV/VVC-system behöver det kontrolleras att temperaturerna i E, F, G, H är över 50°C och för VVC-i-VV behöver det kontrolleras att temperaturerna A, B, C, D är över 50°C då stammen i denna konstruktion i praktiken utgör en vertikal rör-värmeväxlare.

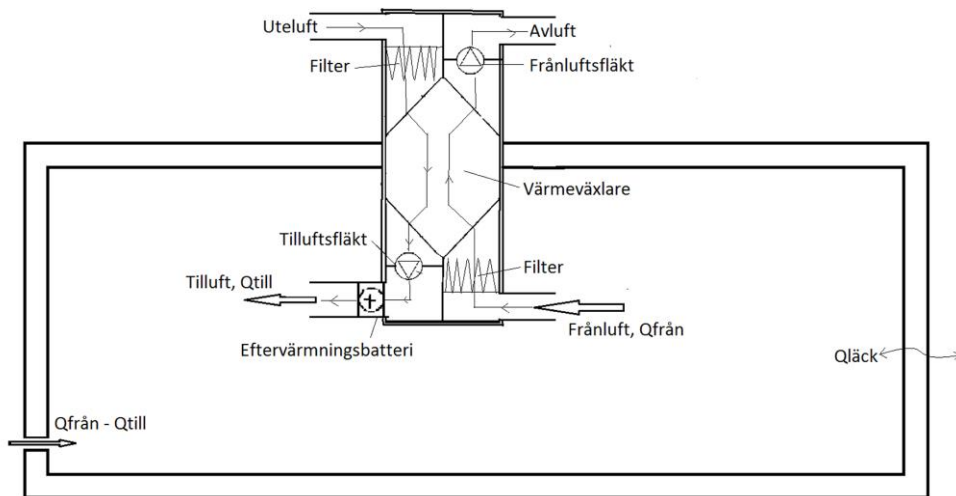
3.2 Värmeförluster från ute- och avluftskanaler



Figur 2. Ute- och avluftskanaler vid ventilationsaggregat i källaren och uteluft (grön utetemperatur) och avluft (brun) ovan tak. Avluftstemperaturen beror på hur mycket värme som värmeåtervinningen överför till tilluften.

Värmeförluster från ventilationskanaler brukar inte tas hänsyn till i energiberäkningar. Detta kan resultera i ett energigap på några kWh/m²,år och då särskilt från utelufts- och avluftskanaler, vilka ofta endast har kondensisolering på några få cm. Flerbostadshus som har sitt ventilationsaggregat i källaren/ bottenvåningen och ute-/avluftskanaler, med endast kondensisolering, vilka går i ett schakt genom byggnaden upp över yttertak erhåller en värmeförlust på ca 3 kWh/m²,år. Om dessa ventilationskanaler isoleras enligt Branschstandard Teknisk Isolering (BTI 2023) blir värmeförlusten ca 1 kWh/m²,år, men då blir ventilationsschaktet betydligt större då varje ventilationskanal behöver ca 2 dm mer djup och bredd i schaktet. Dessa värmeförluster blir betydligt mindre om möjlighet finns att placera ventilationsaggregatet på vind/högst upp i flerbostadshuset samt med en kort dragning av till- och frånluftskanaler till ventilationsschakten för liten värmeförlust. Det är upp till varje projekt att prioritera energianvändning mot förlorad uthyrbar yta. Tar man hänsyn till denna värmeförlust på ett realistiskt sätt i projekteringen är detta inte en del av energigapet utan en del i optimeringen av flerbostadshuset. Så det gäller att den tekniska konsulten i ett tidigt skede får i uppdrag att beräkna hur stor värmeförlusten blir för respektive ventilationskanal och att en aktiv optimering utförs av flerbostadshuset, för att minska värmeförlusterna från distributionssystemet ventilation.

3.3 Ökad värmeanvändning pga. luftflödesobalans



Figur 3. Luftflödesbalansens betydelse för en byggnads värmebehov. Qläck är luftläckage som beror av blåst. $Q_{från} - Q_{till}$ är inläckande uteluft för att kompensera för ventilationens luftflödesobalans.

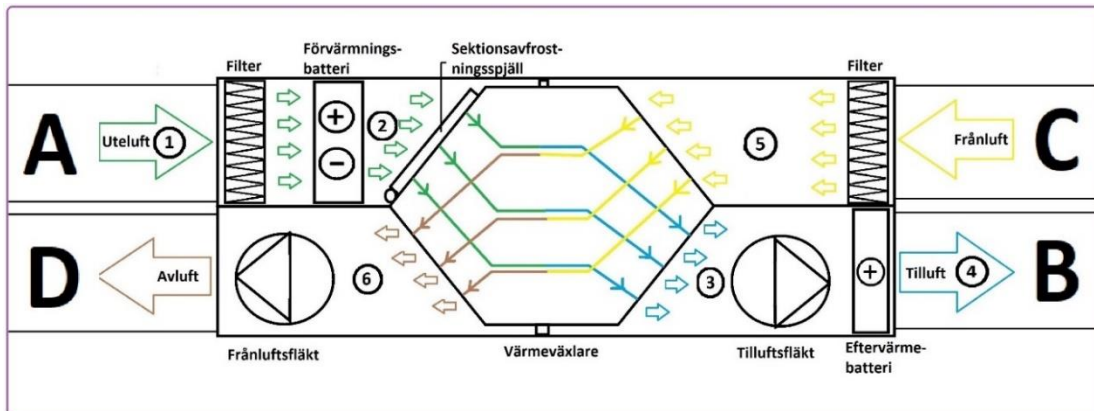
För att erhålla en god fuktsäkerhet bör en luftflödesbalans på 0,90 – 0,95 användas. Dvs 5–10% mindre tilluft än frånluft önskas för att skapa ett litet undertryck i varje lägenhet. Detta för att minska risken att inneluft läcker ut i klimatskärmen och att fukten i den inneluften kondenserar i klimatskärmen under vinterhalvåret, vilket kan leda till fuktskador. I byggnadsenergiberäkningar används ofta en luftflödesbalans på 1,00 (tilluftsflöde/ frånluftsflöde), men luftflödesbalansen borde vara 0,90–0,95. Luftflödesbalansen 0,90–0,95 ökar flerbostadshuset energianvändning med någon kWh/m²,år jämfört med om den är 1,00. Värmebehovet i lägenheterna blir något större pga. att uteluft läcker in och behovet av eftervärme i ventilationsaggregatet blir något lägre, eftersom tilluftsverkningsgraden ökar och luftflödet som behöver eftervärme minskar. Totalt sett ökar värmebehovet för flerbostadshuset.

För att erhålla en luftflödesbalans på 0,95 krävs hög kvalitet i luftflödesmätningar och injustering av ventilationssystemet, för att kunna få rätt luftflödesbalans i lägenheterna. Vid tryckskillnader/ olika luftflödesobalanser föreligger en risk att lukter sprids mellan lägenheterna via el- och data-rör samt rör-i-rör-system som saknar tätningssringar.

Tabell 1. Exempel på ökat värmebehov för ett energieffektivt flerbostadshus i Stockholm pga. luftflödesobalans.

| Luftflödesbalans (Tilluftsflöde/Frånluftsflöde) | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 0,80 |
|---|------|------|------|------|
| Ökad värmeanvändning [kWh/kvm, år] | 0 | 1 | 2 | 5 |

3.4 FTX-aggregat och dess energianvändning



Figur 4. Funktionskrav specificeras på förutsättningarna runt ventilationsaggregatet "A" – "D".

Energieffektiv ventilationen i flerbostadshus har ofta en värmeåtervinning med 80% till 90% temperaturverkningsgrad vid önskad luftflödesbalans enligt tidigare kapitel. Den fuktalstring som sker i flerbostadshus ger utmaningar för ventilationsaggregatets funktion när kallt ute, framför allt med avfrostningar. När det är kallare än några minusgrader ute börjar frånluftens fukt kondensera och frysa i värmeväxlaren, vilket skapar behov av avfrostning för få bort frost och is, för att därefter kunna återgå till normal drift. Under avfrostningscyklerna krävs ett tillskott av mer värmeenergi och värmeeffekt för att kunna hålla önskad tilluftstemperatur.

Det viktigt att beräkningar från aggregatkörningar för val av ventilationsaggregat utgår från realistiska indata för tryck, luftflöden och luftflödesbalans 0,90 – 0,95, för att ett energieffektivt ventilationsaggregat ska kunna väljas och erhållas. Beräkningarna från aggregatkörningarna behöver uppdateras under byggprocessen då ventilationssystemet i flerbostadshuset tas fram (systemhandling, bygghandling och relationshandling). Resultatet från respektive aggregatkörning bör användas till respektive byggnadsenergiberäkning.

Energiberäkningsprogram brukar efterlikna avfrostningsfunktionen med att begränsa avluftstemperaturen $T_{avl} > +1^{\circ}\text{C}$. Detta leder ofta till att vid uppföljning av ventilationsaggregatets funktion och energianvändning krävs mer värmeenergi och värmeeffekt än i byggnadsenergiberäkningen. Det är viktigt att säkerställa en luftflödesbalans på 0,90 – 0,95 av fuktsäkerhetsskäl samt att inte lägga över för mycket värmelast på lägenheternas radiatorer, vilket försämrar flerbostadshusets energiprestanda.

Det är viktigt med korrekt idrifttagning av ventilationsaggregatet med realistiska förutsättningar samt att avfrostningsfunktionen optimeras till flerbostadshuset under flerbostadshusets första uppvärmningssäsong.

Olika ventilationsaggregat har olika typer av värmeväxlare, avfrostningsfunktioner och styrningar, vilket gör att deras funktion och energianvändning varierar. Dessutom mäts

fukthalten i frånluften ytterst sällan. Det är därför ofta inte känt vilken fuktalstring som flerbostadshusen har.

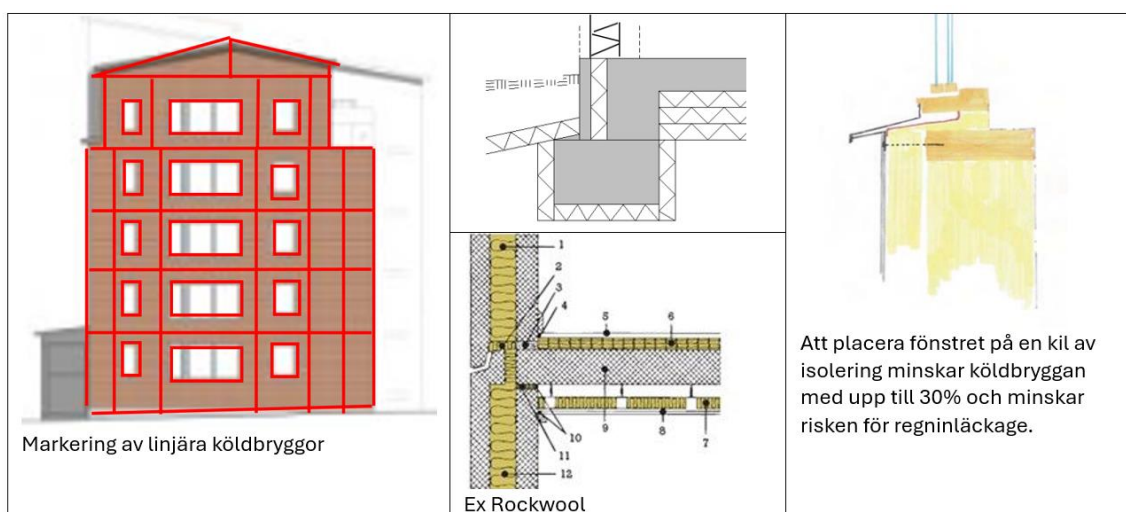
Med bakgrunden att många Bostads-FTX använder mer värmeenergi och värmeeffekt än beräknat/ utlovat genomförde BeBo under 2023–2024 en innovationstävling ”Bättre Bostads-FTX” där vinnande bidrag är mycket energieffektivt med en adaptiv avfrostningsfunktion som kontinuerligt anpassar avfrostningstiden till aktuella förutsättningar.

För att följa upp ventilationsaggregatens funktion är det viktigt att, förutom de temperaturer och andra värden som används för styrning av ventilationsaggregatet, även mäta temperaturerna efter värmeväxlaren, ”3” och ”6” i Figur 4, luftflödena samt fukthalten i frånluften, vilka ibland saknas och då försvårar analys av Bostads-FTX.

Tabell 2. Tabellen visar fördelningen av värmen beroende av luftflödesbalans och tilluftstemperatur. Tilluftstemperaturändringen $18^{\circ}\text{C} \Rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ flyttar $3 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$ från radiatorerna till eftervärmern. En ändring (minskning) av luftflödesbalansen, ökar värmeeffektbehovet kraftigt i lägenheterna och sänker eftervärmebehovet.

| | Rad+Vent=Tot | Rad+Vent=Tot |
|-----------|--------------------|--------------------|
| Till/Från | Ttill18C | Ttill20C |
| 1 | $9,15+3,26=12,41$ | $6,40+6,53=12,93$ |
| 0,9 | $12,52+1,69=14,21$ | $9,83+4,80=14,63$ |
| 0,8 | $16,46+0,66=17,12$ | $13,81+3,39=17,20$ |

3.5 Köldbryggor



Figur 5. Olika typer av köldbryggor

Köldbryggor utgör en extra värmeförlust genom klimatskärmen orsakat av både byggnadsgeometrin och valda konstruktionslösningar. Det är viktigt att ta höjd för köldbryggor vid beräkning av byggnadens U-medelvärde ($W/m^2/K$). Vanligen brukar ett påslag på 20% tillföras U-medelvärdet för att kompensera för köldbryggor men detaljerade beräkningar har visat att andelen är större och i vissa fall kan köldbryggorna utgöra så stor del som upp mot 60% av byggnadens U-medel (Persson, E. & Gölén, L. 2012). En köldbrygga är ett relativt värde jämfört mot övrig konstruktion vilket innebär att ju bättre isolerad byggnaden är desto större blir köldbryggan. Köldbryggor delas upp i linjära (ψ -värde [$W/m/K$]) och punktformiga (χ -värde [W/K]). Störst köldbryggor uppkommer i regel i byggnader med betong eller stålstomme. Detta för att både betongen och framför allt stålet leder värme bra.

De vanligaste och största köldbryggorna uppkommer i regel vid:

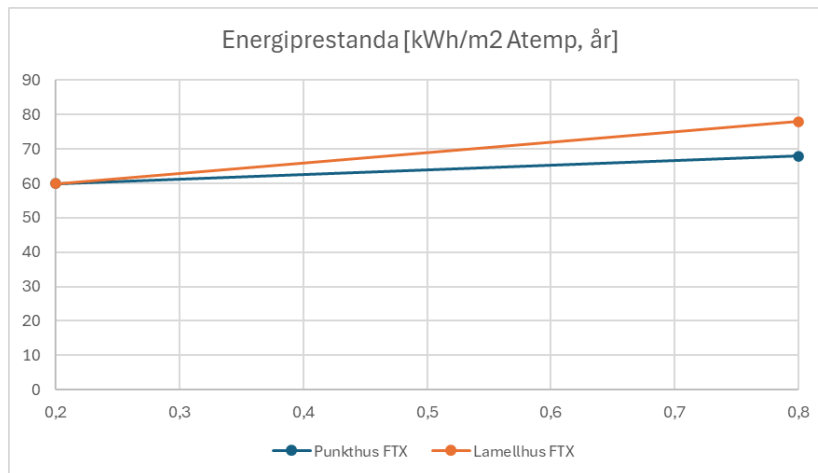
- Fönster- och dörrinfästningar
- Anslutningar mot grund, tak och bjälklag
- Hörn
- Balkonger och loftgångar
- Genomföringar för rör och kanaler
- Pelare och förstärkningar som ansluter mot grund, tak eller ytterväggar

För att minska köldbryggorna ska man försöka ha så få genomföringar som möjligt och jämntjock isolering i hela klimatskärmen. Ett bra sätt att minska köldbryggan under fönstren, är att placera fönstret på en kil av isolering. Täcks kilen dessutom av en vattentät duk får man en sekundärtätning av fönstret som även minskar risken för regnläckage. Att placera fönstret mitt i ytterväggen på en isoleringskil minskar köldbryggan med 30% jämfört mot om placeringen sker mot ytersidan utan kil (Gustavsson, B. 2009; Need4B, 2012).

Att anta 10% för låga köldbryggor vid en energiprojektering innebär att byggnadens energianvändning blir ca $2 \text{ kWh}/m^2 A_{\text{temp}}/\text{år}$ högre än förväntat (gäller för exempelbyggnaden i denna vägledning).

Förutom extra värmeförluster kan köldbryggor också orsaka kondensproblem och missfärgningar.

3.6 Lufttätet



Figur 6 Lufttäthets betydelse för energiprestandan

En byggnads lufttäthet är A och O gällande energianvändning. För att ett FTX system ska fungera krävs att både den fläktstyrda tilluften och frånluften passerar aggregatet och att luftflödesbalansen är mellan 0,9–0,95 (se tidigare kapitel).

En byggnads luftläckage mäts vid tryckskillnaden 50 Pa. En normal bra byggnad brukar ha ett läckage på runt 0,2–0,3 l/s/m² Aom vid 50 Pa. Lufttätheten säkerställs med plastfolie för trä- och stålkonstruktioner eller fogtätningar för betonghus. För alla typer av hus krävs ett noggrant utförande för att uppnå täthet. Ett bra sätt är att täthetsprova delar av byggnaden innan den är helt klar för att ha möjlighet att hitta brister och åtgärda dessa medan det fortfarande är möjligt.

Luftläckage uppstår oftast på följande ställen:

- Genomföringar för el och ventilation
- Fönster- och dörranslutningar
- Skarvar, anslutningar och hörn
- Anslutning mot bottenplatta och tak

Ett ökat luftläckage på 0,1 l/s/m² Aom vid 50 Pa för ett flerbostadshus kan innebära en ökad energianvändning på upp till 2 kWh/m² Atemp, år (Kurkinen et.al, 2014).

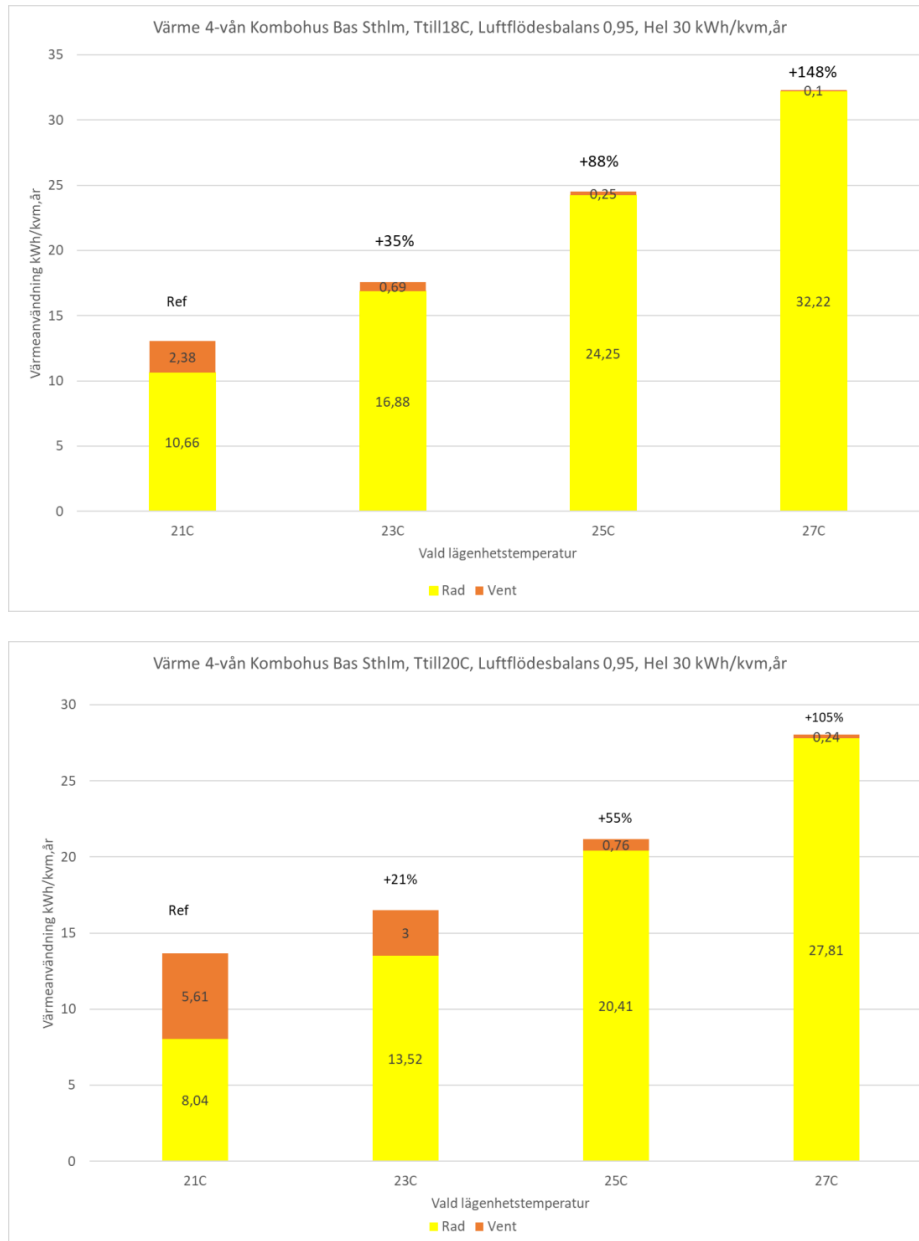
Tips:

- Täthetsprova alltid byggnaden före drift.
- Använd åldersbeständiga produkter som är avsedda att fungera tillsammans med angränsande material. Tätheten försämras i regel med tiden men risken för detta minskar då åldersbeständiga produkter används.

Luftläckage orsakar inte bara extra energianvändning utan leder också till sämre komfort för de boende och i värsta fall till fuktproblem.

3.7 Olika börvärdens betydelse för energianvändningen

Nyare flerbostadshus har två temperaturstyrningar, tilluftstemperaturen respektive lägenhetstemperaturerna (radiatortermostaterna). Bakgrunden till beräkningarna är att ett nytt flerbostadshus fick leverans av fel typ av radiatortermostat med maxbegränsning 26°C (badrumstermostat) i stället för 21°C. Detta innebar att de boende kunde välja att få 26°C i lägenheterna, vilket mycket kraftigt ökade värmeanvändning.



Figur 7. Teoretisk värmeanvändning för 4-vån Kombohus Bas med luftflödesbalans 0,95 och börvärde för radiatorerna på 21°C, 23°C, 25°C och 27°C samt tilluftstemperaturerna 18°C övre diagram och 20°C nedre diagram.

Detta betyder att när de boende ”väljer” att ha en högre temperatur i lägenheterna behöver radiatorerna även värma upp den inkommande ventilationsluften mer i lägenheterna och då krävs betydligt mer radiatorvärme i lägenheterna.

Figur 7 visar resultatet från beräkningar gjorda med en byggnadsenergimodell för flerbostadshuset, använd för att kontrollera om byggnadsenergimodellen gav liknande värmeökning som erhållits i uppmätt mätdata.

Jämförs resultaten i Figur 7 ser man att vid en rumstemperatur på runt 26°C:

- behövs det 4 - 5 kWh/m²,år mer värme med tilluftstemperaturen 18°C än 20°C
- 1°C ökning av innetemperaturen ger 3 – 4 kWh/m²,år mer värme. (BEN 1–1,5)

Detta innebär att det är mycket viktigt med en noggrann injustering och drift av värmesystemet samt att max-begränsningen av radiatortermostaterna är 21°C, för ”vanliga lägenheter”. I annat fall kan värmeanvändningen bli betydligt högre än projekterade värden.

3.8 Drift och energiuppföljning (verifiering av delsystem)

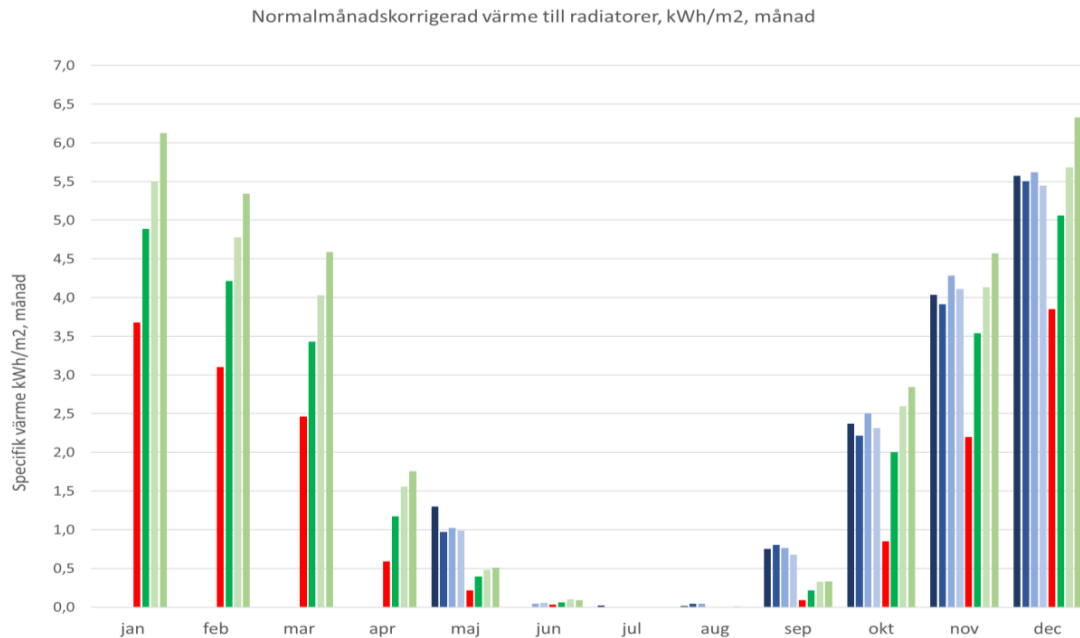
Det är viktigt i energieffektiva byggnader med låg energianvändning att ha god kontroll på installationernas funktion, då brist i funktion snabbt kan öka byggnadens energianvändning. Med en detaljerad drift- och energiuppföljning av byggnadens olika delsystem kan man åskådliggöra deras funktion och energianvändning. De olika delsystemens funktion verifieras enligt driftkortet och sakliga diskussioner kan föras om systemens funktioner med olika aktörer i byggprojektet. Man bör beakta hur luftflödesbalansen och tilluftstemperaturen påverkar fördelningen mellan Bostads-FTX eftervärme och radiatorvärmerna i lägenheterna, se sektion 3.4.

En del avvikelser som uppstår mellan beräknad och uppmätt energianvändning kan bero på vidareleveranser och betjäningsområden. Detta innebär inte att byggnaden av denna orsak använder för mycket energi utan energin är ”felbokförd” i energiuppföljningssystemet. Så det är viktigt att verifiera energidata och mätdata innan eller direkt efter slutbesiktningen samt innan drift- och energiuppföljning startar.

Exempel på vilka mätare som erfordras för att följa upp olika typer av system finns i Sveby Mätanvisningar 2.0 (Sveby, 2020) och i SBUF 12746 Drift och Energiuppföljning (Kempe, 2016).

Den energiberäkning som man kan jämföra uppmätt energidata med under drift är relationsenergiberäkningen. Detta är den energiberäkning som är gjord efter hur flerbostadshuset blev byggt och bygger på mätningar/ prestandaprov för olika delsystem. Detta är den energiberäkning som tar hänsyn till de under entreprenaden gjorda förändringarna av systemval och produkter samt att de vid idrifttagning och injustering erhållna avvikelserna mot projekteringen. Relationsenergiberäkningens

månadsvärden kan anses vara facit för energiuppföljningen, för att snabbt se avvikelser mellan beräknad och uppmätt energianvändning, se Figur 8 nedan.



Figur 8 RelationsenergiBERÄKNINGAR med korrekationer jämfört med uppmätt energianvändning. (Kempe, 2022a)

Figur 8 visar normalmånadskorrigerad uppmätt värmeanvändning för fyra likadana punkthus (blå staplar) med inflyttning våren 2021 och energiuppföljning med start i maj 2021. Den ursprungligt beräknade värmeenergi från relationsenergiBERÄKNINGEN har röda staplar och sedan har brukarindata ändrats för hushållsel (-30%) och innetemperatur (+1,5°C) i relationsenergiBERÄKNINGEN, vilket har mörkgröna staplar.

Därefter har man undersökt beräknad energipåverkan för två mindre energigap. 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. (Uppdaterat bibliotek över köldbryggor för standarddetaljer). Bidragande till skillnaderna i maj och september anses bero på oenighet om pumpstopp.

Visuell analys av mätdata med BELOK Driftanalys (BELOK, 2013)

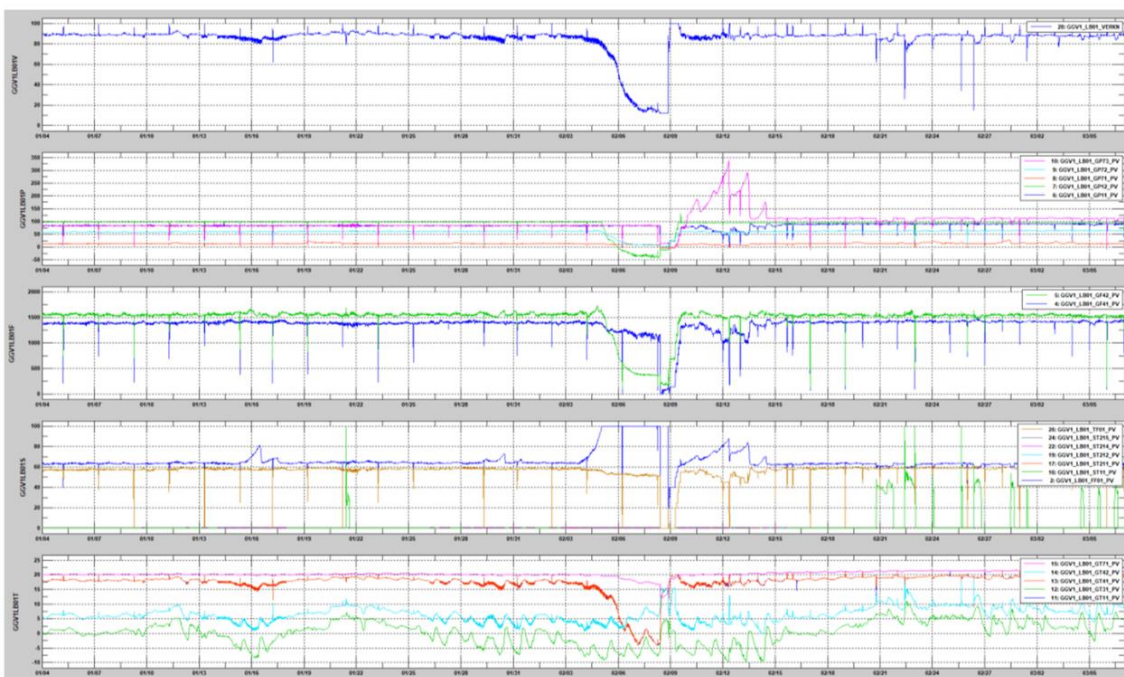
I LÅGAN/SBUF 14025-projektet (Kempe, 2022a) följdes ett stort antal Bostads-FTX upp i driftuppföljning med mätdata med bl.a. 5-min sampling då kan driftproblem identifieras.

Figur 9 nedan visar Bostads-FTX som frös ihop när det varit kallt ute.

Diagrammen i Figur 9 visar uppifrån och nedåt; temperaturverkningsgrad, tryck, luftflöden, styr signaler och längst ner temperaturer. Det Figur 9 åskådliggör är att det är möjligt att se orsaken till att Bostads-FTX stannar (även om det inte i denna figur går att se alla detaljer).

Det som händer är att sektionavfrostningen inte orkade avfrosta tillräckligt mycket. Så frånluftsfälkten går upp på 100 procent den 5 februari och temperaturverkningsgraden sjunker, luftflödena sjunker, temperaturerna sjunker och 8 februari stannar ventilationsaggregatet. Värmeväxlaren har blivit en isklump.

Används fläkt i drift som skydd mot brandgasspridning i flerbostadshuset så fungerar inte den lösningen längre vilket blir en stor säkerhetsrisk om brand uppstår.



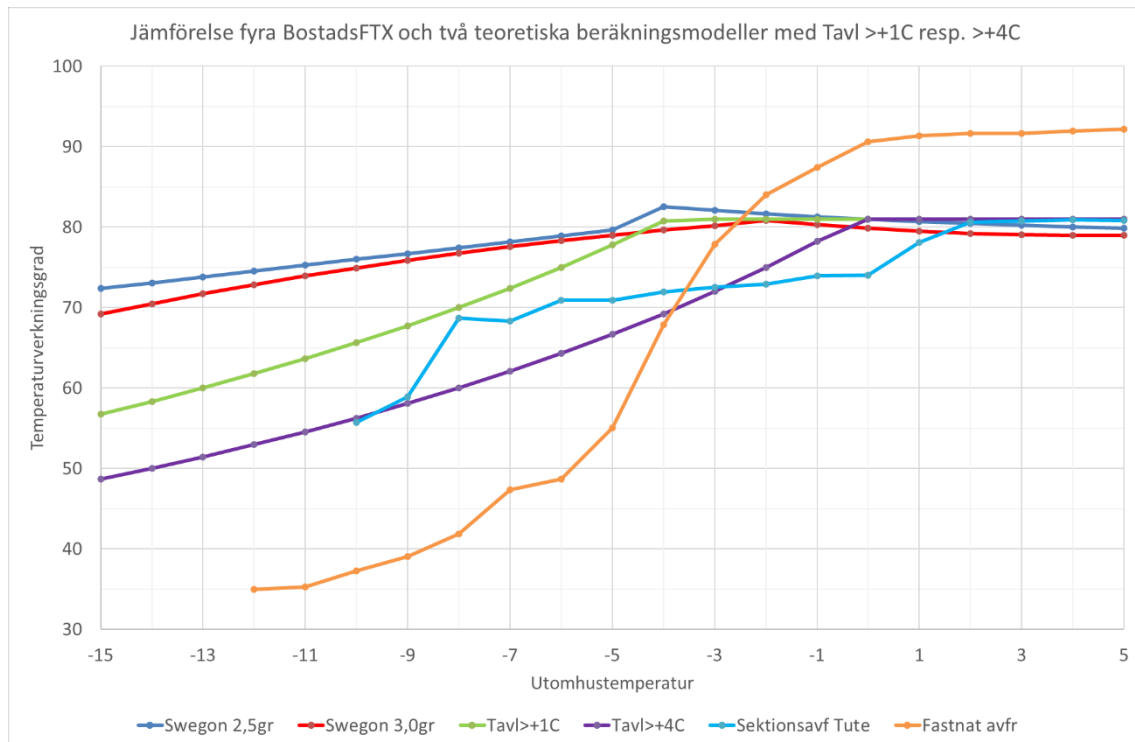
Figur 9. Bostads-FTX frös ihop när det varit kallt ute. Sektionsavfrostningen orkade inte avfrosta tillräckligt.

Figur 10 nedan visar temperaturverkningsgraden vs utomhustemperaturen för två teoretiska modeller av Bostads-FTX, två uppmätta Bostads-FTX samt vinnaren av BeBos Innovationstävling Bättre Bostads-FTX vid två olika fuktbelastningar.

När man beaktar Figur 10 inser man att designen av värmeåtervinningen, typ av avfrostningsfunktion samt styrning har mycket stor påverkan på Bostads-FTX funktion, värmeenergi- och värmeeffektanvändning. Därför är det viktigt att följa upp bostads-FTX funktionen när det är kallt ute.

Linjerna i Figur 10 visar medelverkningsgraden vs utomhustemperaturen.

- Röd och blå linje är från labbmätningar på vinnande bidrag med två olika fuktalstringar i BeBos Innovationstävling Bättre Bostads-FTX.
- Ljusgrön linje är beräknad verkningsgrad i energimodell för Bostads-FTX med minbegränsningen av avluftstemperaturen till +1°C. Den lila linjen är samma modell som den ljusgröna linjen men med minbegränsningen till +4°C.
- Orange kurva är för det bostads-FTX som fastnade i avfrostning och finns redovisat i Figur 24 och Figur 25, i bilaga D.
- Ljusblå kurva är för Bostads-FTX med sektionsavfrostning som styr på utomhustemperaturen och startar avfrostningen vid utomhustemperaturen +1°C och steg 2 i avfrostningen är vid -8°C. Man ser i figuren att temperaturverkningsgraden minskar vid dessa temperaturer.



Figur 10. Medeltemperaturverkningsgrad för några Bostads-FTX samt vinnaren av BeBos Innovationstävling Bättre Bostads-FTX. Swegon GOLD PX med adaptiva avfrostning.

3.9 Erfarenhetsåterföring

Det är avgörande för att minska energigapen att förbättra erfarenhetsåterföringen både inom och mellan fastighetsägares olika byggprojekt. Detta syftar till att sprida kunskap om effektiva arbetssätt och hantera utmaningar i byggprojekt internt. Särskilt viktigt är detta för energieffektiva flerbostadshus, för att säkerställa god funktion och minimera energigapet mellan beräknad och uppmätt energianvändning, samt även vid energireovering av befintliga flerbostadshus.

Fokus bör ligga på att hantera värmeförluster från distributionssystem (VV/VVC, ventilation), luftflödesbalans, köldbryggor, lufttäthet samt drift och energiuppföljning. Installationssystemen måste utformas så att energianvändningen och funktionen för varje delsystem enkelt kan mätas och följas upp. Det rekommenderas att följa Sveby mätanvisningar (Sveby 2020) för vägledning om vilka energier som behöver mätas, vad som räknas till byggnadens energianvändning enligt BBR och hur brukarpåverkan kan mätas.

Det är viktigt att mäta och analysera installationssystemens funktion och energianvändning, och jämföra dessa med projekterade värden. Många fastighetsägare inser vikten av aktiv driftuppföljning av sina byggnader, men saknar ofta tid, resurser eller kunskap om installationernas komplexitet och hur olika installationssystem påverkar varandra.

4. Diskussion

Värmeförluster måste beräknas med verklighetsanknytning (ej schablonvärden), för att ge möjlighet att minimera dem annars risker man energigap.

Alla system med en medietemperatur som avviker från sin omgivning bör analyseras i ett tidigt skede, eftersom även begränsade värmeförluster kan få stor betydelse i energieffektiva byggnader. Det är viktigt att beräkna värmeförlusten per löpmetersystem eller per enhet (t.ex. varmvattenberedare). Hur många löpmeter utgör systemet eller hur många enheter består systemet av? Detta ger en uppskattning av värmeförlusterna från systemet, som sedan kan summeras med andra värmeförluster. Uppfyller byggnaden fortfarande energikraven när man tar hänsyn till dessa värmeförluster? Om inte, finns det möjlighet att minska någon av dessa värmeförluster, eller krävs mer lokal energiproduktion för att energikraven ska kunna uppfyllas? Eller måste fastighetsägaren acceptera en högre energianvändning?

Det är också viktigt att analysera mätdata från olika delsystem för att verifiera deras funktion och energianvändning. Många system i flerbostadshus fungerar ofta inte som tänkt. Tyvärr har driftpersonalen sällan tillräckligt med tid för att verifiera systemen i deras flerbostadshus.

4.1 Workshoparna

Deltagarna uttryckte att ämnet var mycket intressant och beskrev det som årets viktigaste möte. När det gäller kostnader betonade de att den begränsade kostnaden för noggrannhet och uppföljning är försumbar jämfört med kostnaderna när något går fel.

Fastighetsägarna försöker mäta och har mätanvisningar, men mätningarna fungerar ofta inte tillräckligt bra. Fukthalten i frånluften mäts sällan och luftflödena är osäkra.

Deltagarna var mycket nöjda med informationen i workshoparna och uttryckte önskemål om fördjupningsutbildning med fler inblandade aktörer från deras byggprojekt.

4.2 Synpunkter på vägledningarna

Synpunkterna skiljer något mellan fastighetsägarna, vilket påverkar hur information om vägledningarna bör spridas. Några exempel ges nedan:

- *”Generellt, ger Ni er på ett stort ämne här. Ni har mycket kunskap som Ni vill få fram på kort tid. Detta ämne är stort nog för att vara ett större akademiskt arbete. Konsekvensen när Ni nu försöker koka ner det i en rapport blir att det väldigt kompakt med mycket information, vilket kräver att läsaren redan är väl insatt i frågeställningarna, för att förstå sammanhanget.”*
- *”Vi tycker vägledningarna ser jättebra ut och har inga synpunkter. Alla viktiga punkter sakligt och förståeligt framfört.”*

5. Slutsatser och fortsatt arbete

Det erfordras hög kvalitet i analyser och det utförda annars finns risk för ett antal energigap på några kWh/m²,år var och tillsammans kan de bli runt 10–15 kWh/m²,år. Så det gäller att ha arbetssätt som främjar högre kvalitet och ger små energigap.

Syftet med de framtagna vägledningarna är att stödja aktörer till bättre arbetssätt och ge mer information genom bilagorna i denna rapport, som är kopplade till respektive vägledning. Många inom branschen har inte tid eller möjlighet att sätta sig in i alla detaljer. Detta blev tydligt under presentationerna hösten 2022, där erfarenhetstexter från LÅGANs hemsida (Kempe, 2022b) diskuterades. Kunskap finns, men den är inte alltid spridd bland alla aktörer, vilket leder till att den inte alltid tillämpas i byggprojekten.

För att höja kompetensen hos branschaktörer om energigapen och minska dem i framtida byggprojekt, behövs en kombination av insatser. Förutom denna rapport krävs både digitala seminarier och fysiska undervisningstillfällen med bättre möjligheter att ställa frågor och diskutera vägledningarna. Det är också viktigt att öka kraven på att följa upp byggnaders uppmätta energianvändning och funktioner.

För att sprida vägledningarna och deras insikter om ändrade arbetssätt för att minska energigapen till dem som arbetar med energifrågor i byggprocessen, vore det fördelaktigt att använda vägledningarna som hjälp-/informationstexter i exempelvis Energihjälpen (Sveby 2023). Det bör undersökas om utbildare av bygg- och VVS-ingenjörer är intresserade av att integrera kunskaperna om energigapen i sina utbildningar. Även programvaruföretag med byggnadsenergiprogram bör överväga att inkludera denna information i hjälptexter till sina program, för att ge mer verklighetsnära beräkning av energiprestanda och minska energigapen.

Det är också viktigt att verifiera olika delsystems funktion och energianvändning. I tidiga skeden bör man teoretiskt verifiera att funktionskraven kan uppfyllas och skapa bra möjligheter för att kunna mäta funktion och energianvändning. Vid slutbesiktning bör funktion och energianvändning mätas upp och jämföras med beräkningar från tidiga skeden samt återkopplas till aktörerna i tidiga skeden.

Projektets förväntade effekter är att:

- Aktörer i tidiga skeden (t.ex. arkitekter och tekniska konsulter) samarbetar bättre och inkluderar frågor om byggnadens framtida energianvändning från början, och anlitar nödvändig kompetens för att skapa energieffektiva lösningar.
- Avvikelsena mellan beräknad och uppmätt värmeanvändning (energigapen) i energieffektiva flerbostadshus minskar genom förbättrade arbetssätt med tidiga analyser samt erfarenhetsåterföring.
- Motivation och incitament att bygga energieffektiva flerbostadshus ökar, vilket bidrar till att energimålen kan nås.

6. Referenser

- BELOK 2013, <https://belok.se/verktyg-hjalp/driftnalys/>
- BTI 2023, Branschstandard Teknisk Isolering, <https://tekniskisolering.se/wp-content/uploads/2023/04/BTI-2023-Branschstandard-Teknisk-Isolering-utgava-2.pdf>
- Gustavsson, Börje. 2009. SP Rapport 2009:35, Fönstermontage.
- HiG 2016, <https://www.in.se/globalassets/dokument/installationsteknik/publik/temperaturer-i-rorschakt-och-fordelarskap-for-tappvatten.pdf>
- JBPS 2024. Journal of Building Performance Simulation, <https://www.tandfonline.com/journals/tbps20>
- Kempe, Per. 2013. SBUF 12541 - Installationssystem i energieffektiva byggnader – Förstudie
- Kempe, Per. 2014, Artikelserien ”Erfarenheten” ” Installationssystem i energieffektiva byggnader” i tekniktidningen Energi&Miljö:
 Del 2 - Luftflödesbalansen viktig i täta byggnader, s.42–44, Energi&Miljö Nr 6–7, 2014
 Del 5 - Värmeförluster från distributionskanaler, s.44–45, Energi&Miljö Nr 10, 2014
 Del 6 - Värmeförluster från distributionsrör, s.54–55, Energi&Miljö Nr 11, 2014
- Kempe, Per. 2016, SBUF 12746 Drift och Energiuppföljning
<https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/6886cc9a-7b6f-431f-ad7c-4597ad7a159f/FinalReport/SBUF%2012746%20Slutrapport>
- Kempe, Per et al. (2020a). Mätningar för verifiering av energiprestanda - Resultat från LÅGAN-workshop om erfarenheter och förbättringsmöjligheter, http://www.laganbygg.se/UserFiles/Filer/LAGAN_workshop_verifiering_av_energianvandning.pdf
- Kempe, Per. 2020b. LÅGAN-Förstudie - Stegvis verifiering av delsystem - Exempel VVC-system, https://laganbygg.se/UserFiles/Projekt/LAGAN_Stegvis_verifiering_av_delsystem_200115.pdf
- Kempe, Per. 2020c. BeBo/ SBUF13890-Förstudie – Förutsättningar för analyser av energieffektiva flerbostadshus funktioner och energianvändning
<https://www.bebostad.se/media/4631/bebo-sbuf-13890-f%C3%B6rstudie-f%C3%B6ruts%C3%A4ttningar-f%C3%B6r-analyser-av-energieffektiva-flerbostadshus-funktioner-och-energianv%C3%A4ndning.pdf>
- Kempe, Per. 2022a. LÅGAN/ SBUF 14025. Glappet mellan projekterad och uppmätt energiprestanda. https://laganbygg.se/UserFiles/Projekt/LAGAN_Glappet_mellan_projekterad_och_uppmatt_energi_prestanda.pdf
- Kempe, Per. 2022b. Erfarenhetstexter, https://laganbygg.se/avslutade/glappet-mellan-projekterad-och-uppmatt-e_282

Kempe, Per 2024. Reducing the energy performance gap through stepwise verification of building and system functions, *Journal of Building Performance Simulation*, Published online: 21 Oct 2024 <https://doi.org/10.1080/19401493.2024.2416684>

Kurkinen, Eva-Lotta. 2014. SP Rapport 2014:78, Skillnad mellan beräknad och verklig energianvändning – Energistyrning under byggprocessen

Need4B 2012-2018. FP7-projekt, New Energy Efficient Demonstration for Buildings

Persson Erik, Gölén Ludde 2012. Examensarbete LTH, Utvärdering av köldbryggor - En inventering och utveckling av Skanskas Standardbyggdelar

Sveby 2020, https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2020/06/Sveby-Mätanvisningar-2.0_200610.pdf

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

Sveby 2023, Energihjälpen – verktyg för stöd och kvalitetssäkring av byggnaders energiprestanda enligt BBR25-29
<https://www.sveby.org/okategoriserad/energihjälpen-verktyg-for-stod-och-kvalitetssakring-av-byggnaders-energi-prestanda-enligt-bbr25-29/>

Säkervatten 2024. Dimensionering av tappvattenledningar – Branschrekommendation
[branschrekommendation-01-dimensionering-av-tappvattenledningar-v20240821-webb-2.pdf](https://www.svek.se/branschrekommendation-01-dimensionering-av-tappvattenledningar-v20240821-webb-2.pdf)

[Wånggren, Bengt. 1990. Idrifttagning av installationssystemen i Stockholmsprojektet, BFR-rapport R42:1990.](https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2021/03/Energiavtal-21.pdf)
https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/47718/1/gupea_2077_47718_1.pdf

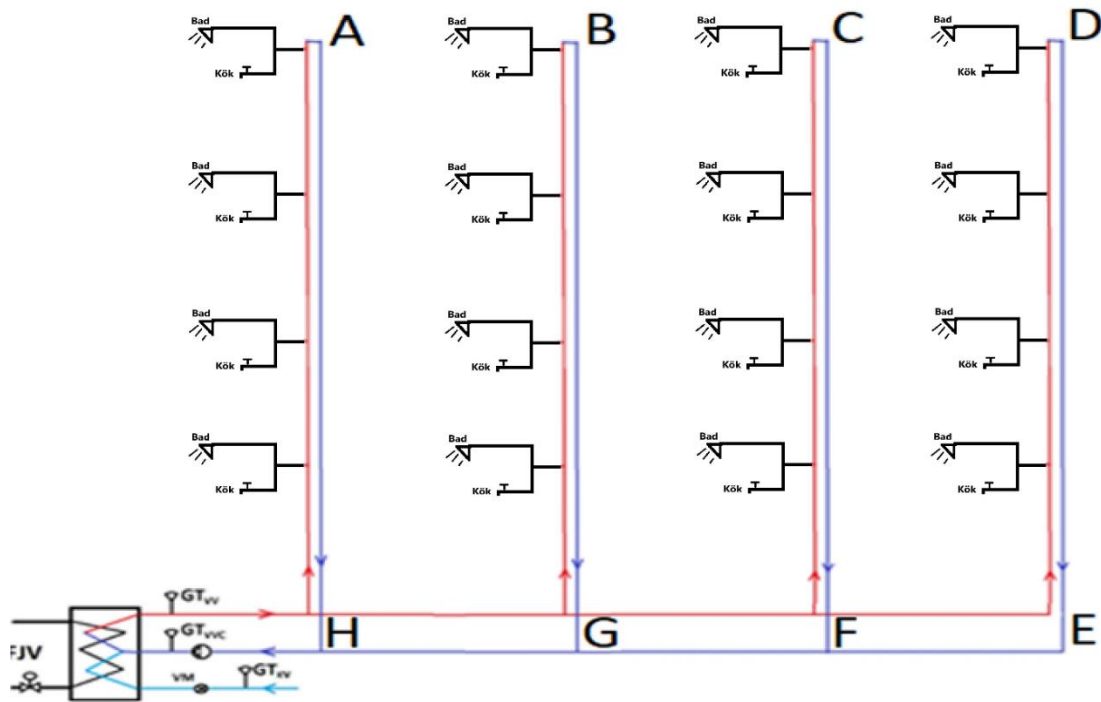
Bilagor med bakgrund till vägledningarna

De system/ delar av byggnaden där ändrat arbetssätt behövs för minskade energigap

- A. Värmeförluster VV/VVC-system
- B. Värmeförluster från ute- och frånluftskanaler
- C. Ökad värmeanvändning pga luftflödesobalanser
- D. FTX-aggregat och deras energianvändning
- E. Köldbryggor
- F. Lufttäthet
- G. Olika börvärden betydelse för energianvändning (styr)
- H. Drift och energiuppföljning (Verifiera olika system)
- I. Erfarenhetsåterföring

Bilagorna innehåller primärt kompletterande bakgrundsmaterial till vägledningarna i kapitel 3, som presenterades på Workshoparna.

A. Värmeförluster VV/VVC-system



Figur 11 Exempel på VV/VVC-system i flerbostadshus

Varmvattencirkulation (VVC) krävs i de flesta byggnader, för att uppfylla BBR:

- Väntetid på varmvatten bör vara **max 10 sek** (Före 2006 max 30 sek)
- Lägsta temperaturen i VVC-ledning är **50°C** (Legionellarisk)
- Högsta temperaturen i tappställe är **60°C** (Skållningsrisk)

Temperaturen i VV/VVC-rören är i medel ca 55°C (dT 32°C över sin omgivning) 8760 tim/år, så de värmeförlusterna är större än värmeförluster från andra rörsystem. Det innebär att det viktigt att VV/VVC-systemen är optimerade (korta rörlängder) för att erhålla låga totala värmeförluster.

Uppdaterade/ förtydligade krav på väntetider finns i branschrekommendation till de kommande byggreglerna. Installationer för tappvarmvatten ska vara utformade så att varje anslutet tappställe kan få rätt tempererat tappvarmvatten när högst 3 liter vatten tappats ut men dock efter högst 30 sekunder. Dimensionering av tappvattenledningar - Branschrekommendation (Säkervatten 2024) till kommande byggregler 2025. Detta förtydligande är för att blandare med låga flöden kan ge långa väntetider på varmvatten.

Värmeförluster från VV/VVC-system

För att ge en viss känsla för storleksordningen på värmeförlusterna från VV/VVC-rör i flerbostadshus:

- **Oisolerat rör** (kopplingar mm.) **ca 30 W/lpm**. (beror på rördimension, rörtyp, ...)
- **Rör med 40 mm tjock isolering 3–4 W/lpm** (beror på rördimension / rörtyp, ...)
- **Fyrdubbling** av isolertjocklek behövs för **halvering** av värmeförlusterna för isolerade rör, men det är inte realistiskt med de isolertjocklekarna (dvs. $4 \cdot 4 \cdot 2 + 3 = 35 \text{ cm}$ jmf $4 \cdot 2 + 3 = 11 \text{ cm}$)

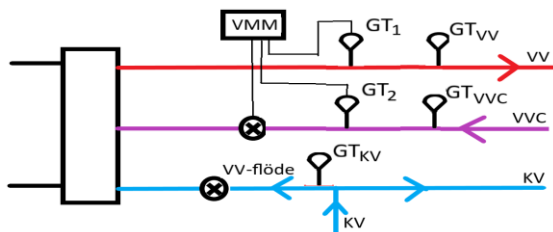
För att erhålla små VV/VVC-förluster behöver man därför optimera / minimera rörlängderna i VV/VVC-systemet.

Många använder 3–4 kWh/m²,år som VVC-schablon-värde, men detta värde bör i stället användas som ett värde för att kontrollera att VVC-förlusten inte är för stor. Då VVC-förlusten beror på löpmeter VV/VVC-rör och värmeförlust/ löpmeter rör. I tidigt skede bör man ta fram hur många löpmeter VV/VVC-rör som behövs för ett fungerande VV/VVC-system och använda 50 kWh/lpm,rör,år (4 W/lpm,rör + 50 % (blanka rör, fästen, utförande, med mera)) för att räkna ut total värmeförlust från VV/VVC. Detta dividerar man med Atemp för att kontrollera att VVC-förlusten inte är för stor. Är värmeförlusten för stor måste arkitekten och den tekniska konsulten se på möjlighet att ändra VV/VVC-systemets design för att minska VVC-förlusten.

50 kWh/lpm,rör,år förutsätter mycket god kvalitet på montaget, överisolerade ventiler, distansskål (isolerad rörupphängning). Det är viktigt med hög kvalitet i utförandet då ett oisolerat rör har runt 7–8 ggr högre värmeförlust per löpmeter rör jämfört med isolerat rör.

I projekteringen bör man räkna på aktuell design för VV/VVC-systemet.

Inför slutbesiktningen mät upp VVC-förlusterna med värmemängdsmätare eller baslast på FJV-mätaren, när inget värmebehov eller VV-behov föreligger.

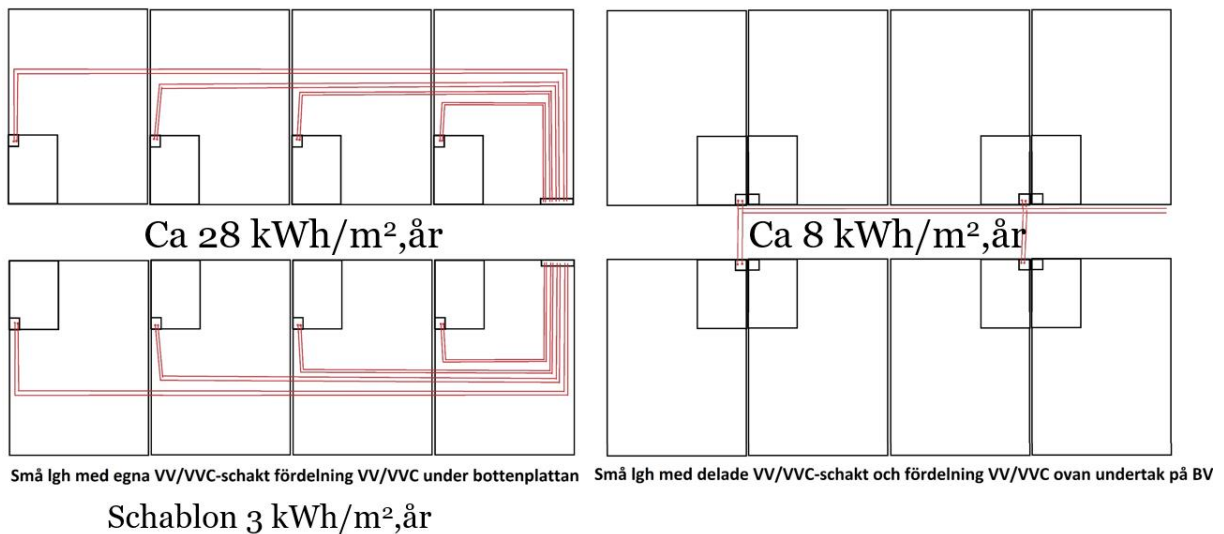


Figur 12. Exempel på mätning av VVC-förluster

Planlösningens betydelse för schaktplaceringar och rörstråk

Det är viktigt med bra samarbete mellan arkitekt samt rätt installations- och energi-kompetens innan planlösningen bestäms. Var ska schakten placeras, hur stora måste schakten vara så att erforderlig isolering ryms enligt Branschstandard Teknisk Isolering (BTI 2023) och utrymme för att montage, Säker Vatten, brand, etcetera uppfylls samt var stråken ska gå som kopplar ihop schakten.

Detta gäller alla typer av distributionssystem, som har en temperaturdifferens mot sin omgivning.



Figur 13. Exempel på när VVC-förlust blivit mycket stor och hur optimering (ändrad schaktplacering) i tidigt skede hade kraftigt minskat VV/VVC-systemets värmeförlust.

VV/VVC-system får inte ha dolda rörskarvar, så se till att det finns möjlighet att ha rörkopplingar som man kommer åt ovan undertak eller liknande i källargång, korridor, barnvagnsrum, etc.

Drar man rör under bottenplattan blir det många löpmeter VV/ VVC-rör => hög VVC-förlust som värmer marken under byggnaden.

VVC-förluster är den avvikelsen som kan bli störst

Då VV/VVC-systemets värmeförluster är de förluster som kan bli störst, värmeförlusten beror primärt av antal löpmeter VV/VVC-rör i systemet, så schakt och rörstråkplaceringarna blir viktig och de bestäms i tidiga skeden av planlösningen.

I **tidigt skede** tas antal löpmeter VV/VVC-rör, som behövs för att skapa fungerande VV/VVC-system för aktuell planlösning $\cdot 50 \text{ kWh/lpm rör, år}$ och dividera med A_{temp} . Är VVC-förlusten för stor får arkitekten tillsammans med den tekniska konsulten se över möjligheten att optimera schaktplaceringar, VV/VVC-stråk, för att begränsa VVC-förlusten (VV/VVC-rörlängderna).

I **projektering** bör VVC-förlusten beräknas utifrån verklig design av VV/VVC-systemet med dess rörlängder, isolering, tillägg för bjälklagsgenomföringar, blanka kopplingar, rörsvep, mm.

I samband med **slutbesiktningen** bör VVC-förlusten mätas upp, jämföras med tidigare beräkningar och återkopplas till tidiga skeden för erfarenhetsåterföring.

Projekt där det finns **större risk** för höga VVC-förluster är **smålägenheter** och **lamellhus** med **fördelning under bottenplattan**, vilket ger många löpmeter VV/VVC-rör.

Det är fördel om lamellhus har källare eller bottenvåning med lokaler, förråd och liknande där VV/VVC-rör kan dras och anslutas till VV/VVC-schakten.

Kan man inte erhålla tillräckligt låga värmeförluster från VV/VVC-systemet behöver man **minska övriga värmeförluster** (mer isolering, bättre fönster, etc.) och/eller addera mer lokal energiproduktion, för att kunna uppfylla ställda energikrav. Alternativt får fastighetsägaren acceptera högre energianvändning.

VVC-förlusterna kan ge en ökad risk för **övertemperaturer** under sommaren, dyrare produktionskostnad med mer isolering och bättre fönster, mindre boyta med tjockare ytterväggar.

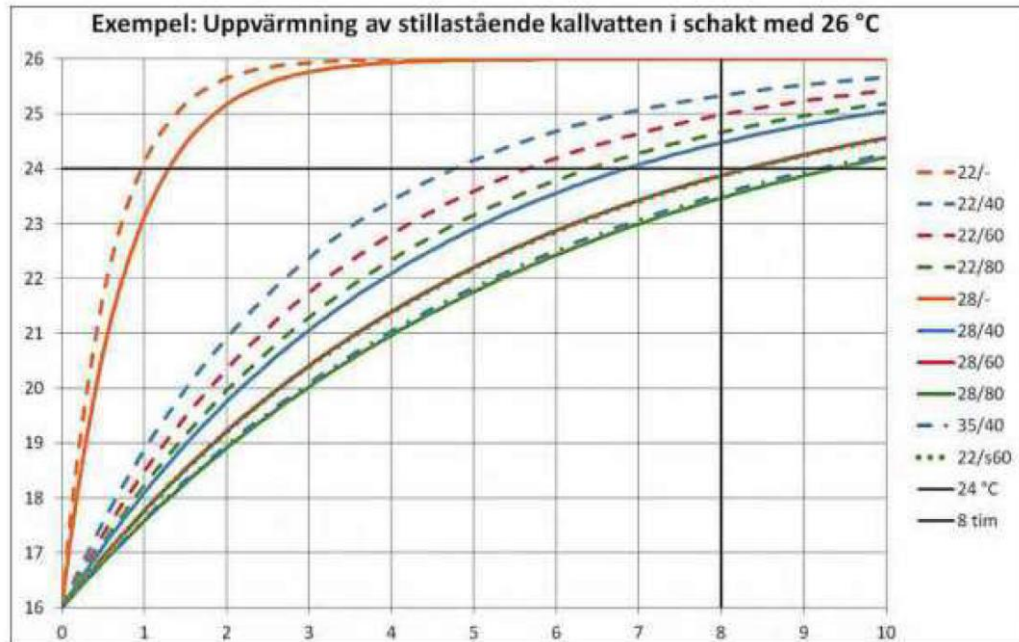
Man bör beakta var KV-rören går och om det finns det risk för **varmt kallvatten**.

Systemtemperatur för VV/VVC bör ligga på $55^{\circ}\text{C}/ 51\text{--}52^{\circ}\text{C}$ vid normala förhållanden. Vid stora VVC-förluster får VVC-pumpen gå på max och VV-börvärdet får höjas mot $+60^{\circ}\text{C}$. Detta ger systemtemperaturen runt $60^{\circ}\text{C}/ 50^{\circ}\text{C}$.

Detta innebär att **större VVC-förluster** ger vid FJV **sämre avkylning** och vid **Värmepump mer spetsvärme** runt $+65^{\circ}\text{C}$.

Värmeförluster från varmvattenberedare, VVB, och ackumulatortankar får inte glömmas bort. Värmeförlusten från en 300 liters VVB är i storleksordningen 100W, så värmeförlusten blir 8–900 kWh/år. Ett värmepumpssystem för VV-beredning innehåller ofta flera VVB, så de bör beaktas.

Uppvämt kallvatten

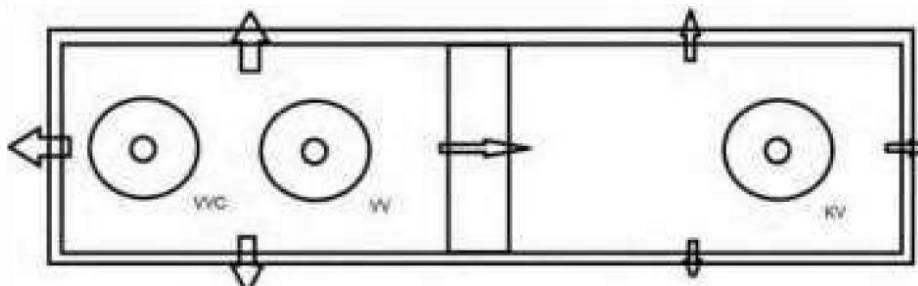


Figur 14. Temperaturhöjning för stillastående kallvatten. (Kempe, 2014)

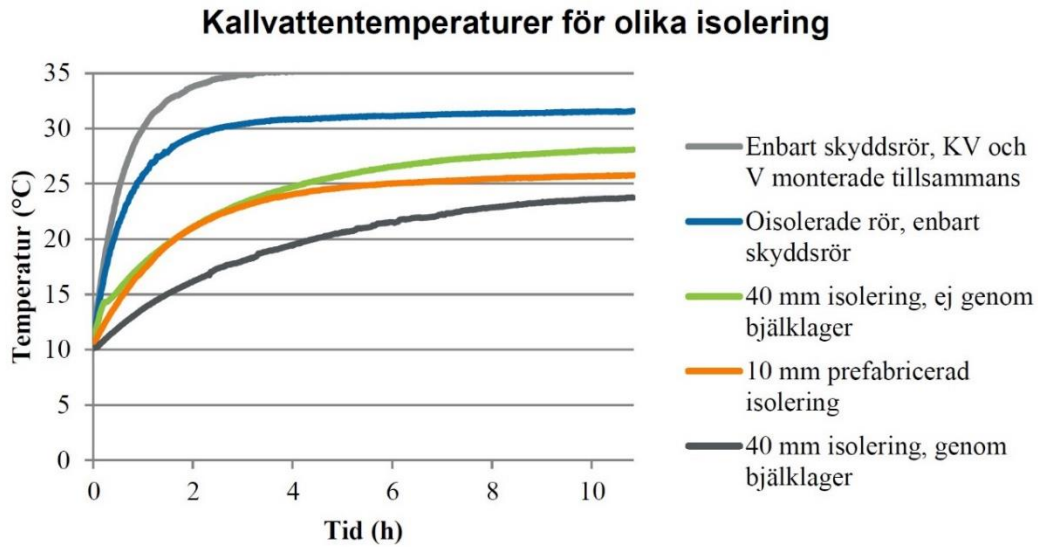
Figur 14 visar teoretisk beräkning av uppvärmning av stillastående KV med 26°C i schakt. Begränsa värmeförluster från VV/VVC-rör i KV/VV-schakt för att minska risken för varmt KV. Beräkningen i Figur 14 utgår från 16°C KV på kvällen, men numera utgår man från 10°C kallvatten vid beräkningar.

Delade schakt liknande Figur 15 ger lägre temperatur runt KV-rör.

Fabrikantprogram om rörisolering ger sluttemperatur för kallvattnet med given schakttemperatur, isolering och rör.

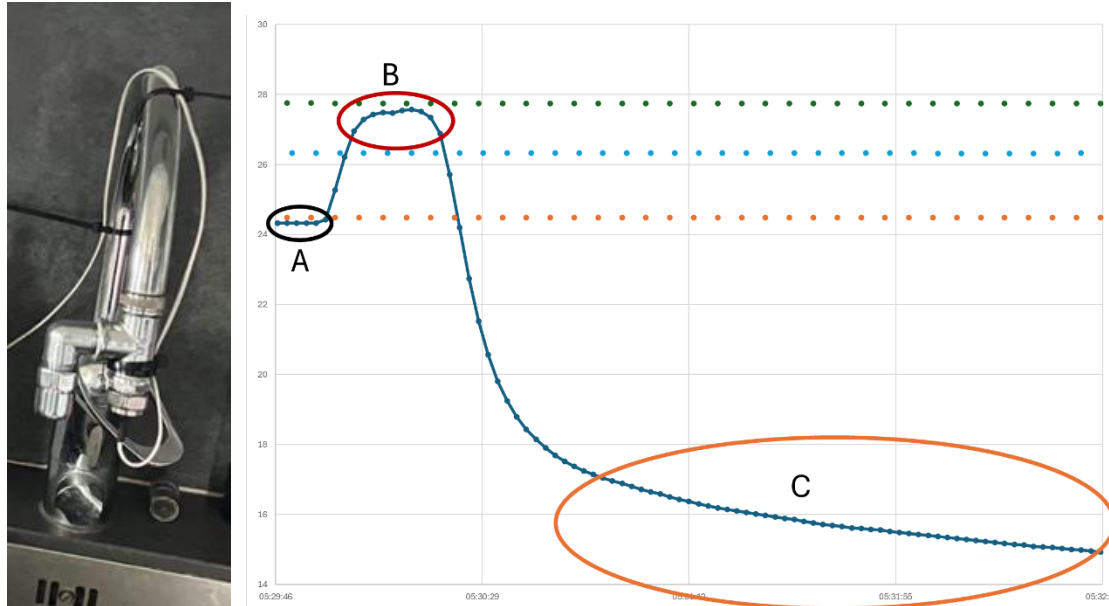


Figur 15. Exempel på delat VV/VVC/KV-schakt som ger mindre risk för varmt KV.



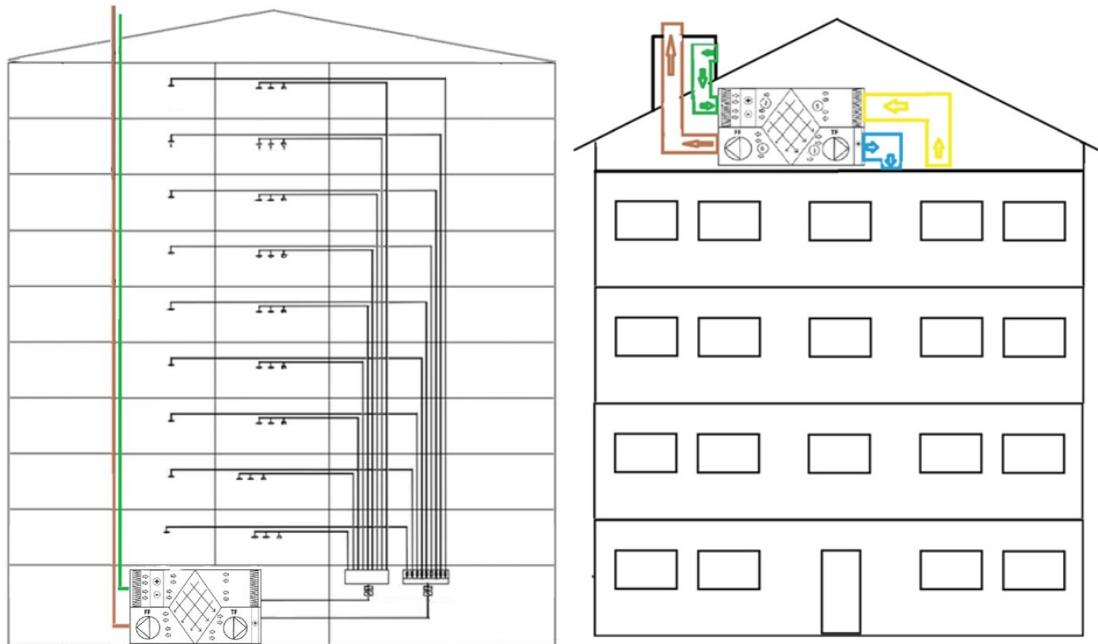
Figur16. Temperaturer i rörschakt och fördelarskåp för tappvatten (HiG 2016) Beräkning och labbmätningar utgår från 10°C.

Exempel på mätning av Morgontappning vid kl.5 (sommar) då KV har stått still i 8 tim.



Figur 17. Mätning tappvattentemperatur på blandare i kök vid morgontappning: A blandare/kök; B KV i schakt; C KV ledningsstråk i källaren.

B. Värmeförluster från ute- och frånluftskanaler



Figur 18. Exempel på hur ute- och avluftskanaler kan gå i flerbostadshus.

Det är relativt vanligt att ute- och avluftskanaler endast har kondensisolering mellan ventilationsaggregat och utelufts respektive avluftshuv.

När ventilationsaggregatet är placerat i källaren och ute- och avluftshuv ovan yttertak blir värmeförlusterna relativt stora. Storleksordningen på värmeförluster i flerbostadshus t.v. är runt 3 kWh/m²,år om endast kondensisolering respektive runt 1 kWh/m²,år vid isolering enligt Branschstandard Teknisk Isolering (BTI 2023).

Isolera ventilationskanalerna enligt rekommendationerna i Branschstandard Teknisk Isolering samt analysera värmeförlusterna för alla ventilationskanaler, som har en temperatur som avviker från sin omgivning.

Är schakten för ute-/avluftskanaler tillräckligt stora för 120–150 mm isolering på kanalerna samt utrymme för montage?

Går frånluftskanalerna på vinden där det är kallt kommer frånluftstemperaturen sjunka något innan den kommit till ventilationsaggregatet och då kommer temperaturen efter VVX på tilluftssidan bli något lägre, vilket leder till att mer eftervärme erfordras.

Värmeförluster från tilluftskanalerna påverkar behovet av radiatorvärme i lägenheterna.

Vid luftvärme, se till att huvuddelen av övertemperaturen kommer fram till de rum som har värmebehov. (Ryms erforderlig mängd isolering kring ventilationskanalerna). Räkna på aktuellt utförande.

C. Ökad värmeanvändning pga. luftflödesobalanser

Luftflödesbalansens betydelse för undertryck i lägenheter, värmeanvändning och risk att lukter vandrar mellan lägenheter.

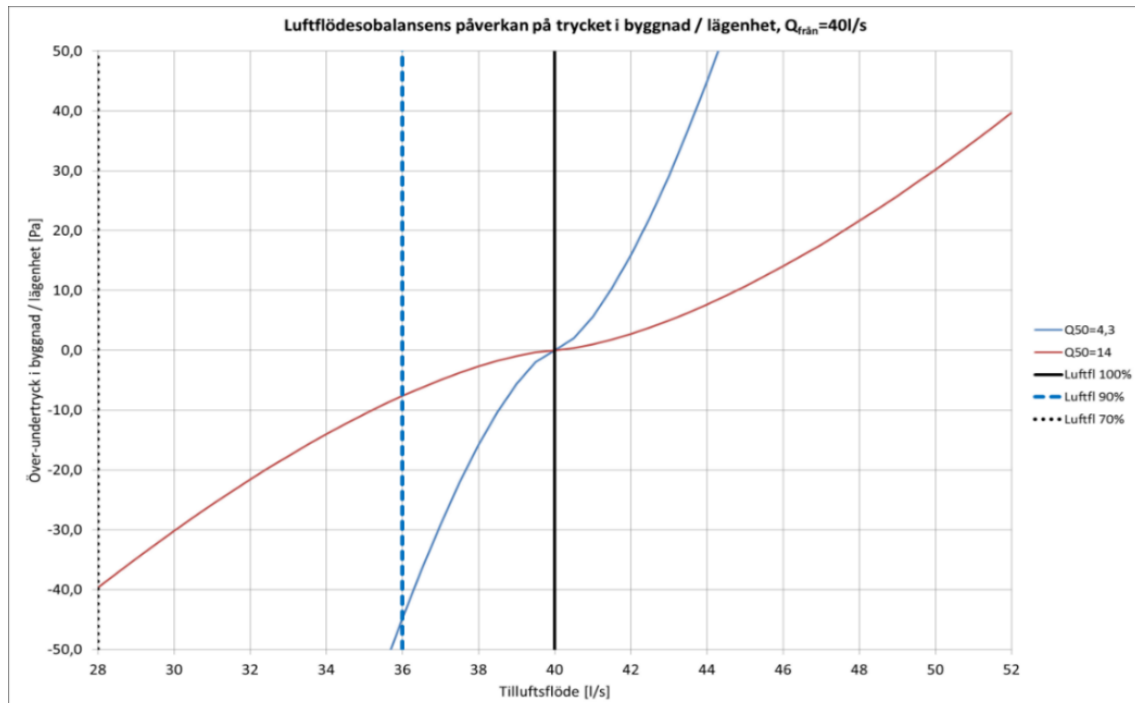
- Luftflödesbalansen (tilluft / frånluft) 0,90 – 0,95 är viktig för att begränsa undertryck i lägenheter och fuktsäkerhet
- Krav på hög noggrannhet i luftflödesmätning och injustering (utrymme, raksträckor, etc.)
- Risk för att lukter vandrar mellan lägenheterna vid olika undertryck i lägenheterna (tryckskillnad)

Ett litet undertryck (5–10% mindre tilluft än frånluft) önskas i varje lägenhet för att minska risken att inneluft ska läcka ut i klimatskärmen och att fukten i inneluften under vinterhalvåret ska kondensera i klimatskärmen med risk för fuktskador.

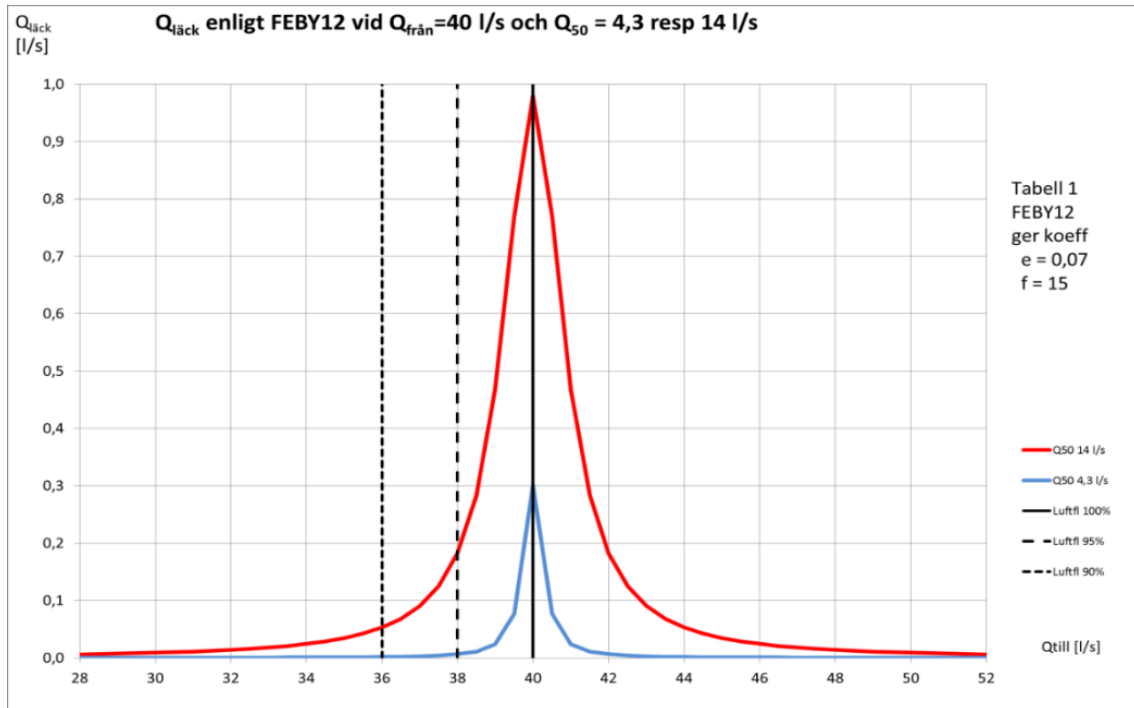
Figur 19 visar undertryckets beroende av lufttäthet och luftflödesbalans.

Figur 20 visar luftläckaget, $Q_{läck}$, beroende av lufttäthet och luftflödesbalans.

I byggnadsenergiBERäkningar används ofta luftflödesbalans tilluftsflöde/ frånluftsflöde (1,00), men man borde använda 0,90–0,95. Luftflödesobalans ökar värmeanvändningen för lägenheterna på grund av inläckande uteluft.



Figur 19. Samband mellan lufttäthet, luftflödesbalans och undertryck. (Kempe, 2013; Kempe, 2014)



Figur 20. Visar luftläckaget, $Q_{\text{läck}}$, som funktion av lufttäthet och luftflödesbalans. (Kempe, 2013; Kempe, 2014)

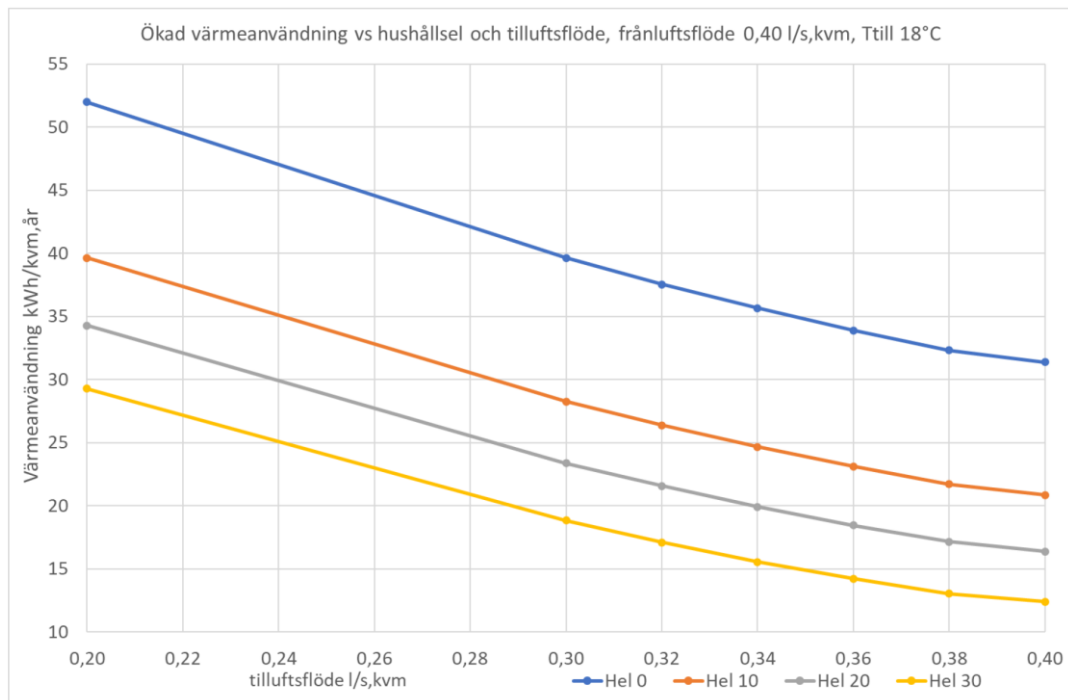
Luftflödesobalans ökar värmebehovet i lägenheterna där uteluft läcker in samt minskar eftervärmebehovet då tilluftsverkningsgraden ökar och luftflödet som behöver eftervärme minskar. Totalt ökar värmebehovet för flerbostadshuset. Vilket kan ses i nedanstående tabell som även finns i kapitel 3.4.

Tabell 2. Tabellen visar fördelningen av värmen beroende av luftflödesbalans och tilluftstemperatur. Tilluftstemperaturändringen $18^{\circ}\text{C} \Rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ flyttar $3 \text{ kWh/m}^2\text{,år}$ från radiatorerna till eftervärmen. En ändring (minskning) av luftflödesbalansen, ökar värmeeffektbehovet kraftigt i lägenheterna och sänker eftervärmebehovet.

| | Rad+Vent=Tot | Rad+Vent=Tot |
|-----------|--------------------|--------------------|
| Till/Från | Ttill18C | Ttill20C |
| 1 | $9,15+3,26=12,41$ | $6,40+6,53=12,93$ |
| 0,9 | $12,52+1,69=14,21$ | $9,83+4,80=14,63$ |
| 0,8 | $16,46+0,66=17,12$ | $13,81+3,39=17,20$ |

Avvikande luftflöden och internlasters betydelse

Flerbostadshus värmebehov är beroende av total luftflödesbalans respektive hushållsel. När luftflödesobalansen blir större (lägre specifikt tilluftsflöde) läcker mer uteluft in i lägenheterna och lägenheternas radiatorer måste värme upp denna inläckande uteluft.



Figur 21. Värmebehovets beroende av luftflödesbalansen och internlast (30, 20, 10 kWh/m²,år samt 0 med 0 personlast).

Luftflödesbalansen i lägenheterna påverkar trycken och värmeanvändning i lägenheterna samt värmeanvändningen i ventilationsaggregaten. Det är viktigt att det finns goda möjligheter att injustera och mäta luftflödena med bra noggrannhet. Är utrymmena tillräckliga för erforderliga raksträckor för luftflödesmätning?

Tabell 3. Flerbostadshus värmebehov beroende av kvalitet i luftflödesbalans per lgh luftflödesbalans 0,95 samt med avvikelserna +/- 15% respektive +/- 20%

| 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 |

Luftflödesbalans lägenhet, ventilationsaggregat, mätfel luftflöden



Figur 22. Fläktrum med god möjlighet att mäta luftflöden till och från lägenheter.

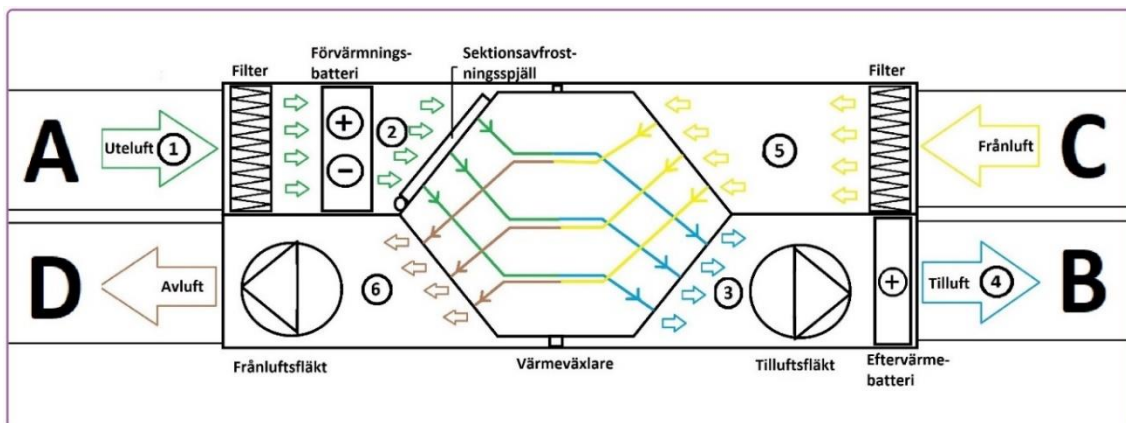
Figur 22 (Bilden är från BeBo Tekniktävling Ventilation 2019) ovan visar ett fläktrum hos Vätterhem med goda förutsättningar för luftflödesmätning, injustering, renslucka samt vid fläktrumsvägg ljuddämpare, brandgasbackspjäll. Lägenheterna har hög lufttäthet, så tryckavlastad proportionell injusteringsmetod har använts för injustering av ventilationen. Vätterhem har möjlighet att korrigera luftflödesbalansen för lägenheterna i fläktrummet. Injustering av donen i lägenhet ger fördelningen mellan rummen/ donen. Detta innebär att de har god mätnoggrannhet för luftflödesmätningarna så ett litet fel i luftflödena erhålls.

D. FTX-aggregat och deras energier

Ventilationsaggregat med luftens tillstånd (temp/ fukt/ flöde)

Det är viktigt att ha kontroll på inkommande tillstånd på Uteluften "A" och Frånluften "C" samt önskat tillstånd på tilluften "B". Avluftens tillstånd "D" beror på hur värmeåtervinningen fungerar.

I de flesta byggnadsenergiBERäkningar tas inte hänsyn till värmeförluster från kanaler på ett realistiskt sätt.



Figur 23. Principskiss på ventilationsaggregat med de viktigaste temperaturerna.

Funktionskrav specificeras på förutsättningarna runt ventilationsaggregatet "A" – "D".

- Fläktel, luftflödesbalans, värmeåtervinning, avfrostning, eftervärmebehov, etc.
- Styr och övervakning som kontrollerar ventilationen i byggnaden. Fungerar FTX-aggregat på avsett sätt.

Fläktel, eftervärme och indirekt värmebehov

- Fläktelen är i storleksordning av 5 kWh/m²,år vid ett specifikt luftflöde på 0,35 l/s,m².
- Fläktelen är beroende av SFP och luftflödena för ventilationsaggregatet. Viktigt för detta är de externa tryckfallen/ tryckuppsättningen A-B respektive C-D, vilka beror på designen av ventilationssystemet.
- Eftervärmebehovet är betydligt mer komplicerad att bestämma då det är beroende av luftflödena, luftflödesbalansen, önskad tilluftstemperatur, men

även inkommande uteluftstemperatur, frånluftstemperatur samt frånluftsfukten som kan ge avfrostning när det är kallt ute.

- De indirekta värmebehoven beror på värmeförluster från/till ventilationskanaler (Ute, Av, Till, Från) samt värmebehov på grund av luftflödesobalanser i lägenheter etcetera, som ger inläckande uteluft vilken behöver värmas upp. För att minimera dessa behövs mycket goda förutsättningar att mäta och injustera luftflödena med litet fel.
- De indirekta värmebehoven beror ofta på bristfällig injustering av ventilationen samt om luftflödesförändring är del av avfrostningsfunktion kan den ge ett bidrag.

Det viktigt att ventilationsaggregatet driftsätts korrekt

- Beräkningar av ventilationsaggregat (aggregatkörningar) bör utföras med **realistiska** indata.
- Beskrivning bör göras av vilka givare, mätningar, som behöver projekteras in i projekteringen och verifieras innan slutbesiktningen.
- Idrifttagning bör utföras med **rätt (realistiska) förutsättningar** (tryck, flöde, etcetera), vilka ska vara väl dokumenterade.
- Moderna ventilationsaggregat har många inställningsmöjligheter, så det är viktigt att rätt inställningar görs och en första inställning av avfrostningsparametrar. Ingångkörning med ”driftsättare” med dokumenterad kunskap om aktuellt ventilationsaggregat.
- Relationsaggregatkörning av ventilationsaggregaten med aktuella luftflöden, tryck, etc., bör göras.
- RelationsenergiBERÄKNING (Hur det blev byggt) med uppmätta temperaturverkningsgrader, SFP, etc. bör göras.
- Verifiera givare och mätare för ventilationsaggregatets funktion och energianvändning bör göras för att kunna identifiera mätfel.
- Slutbesiktning bör innefatta energianvändning och funktion av centrala bostads-FTX
- Man bör mäta, följa upp funktion och energianvändning samt normera energianvändningen.
- Energioptimering Bostads-FTX bör göras under första vintern/uppvärmningssäsong.
- Vinterdriftfall (Avfrostning, luftflöden, temperaturer, ...) bör kontrolleras.

Luftflödesbalansens betydelse för ventilationsaggregatens temperaturverkningsgrad på tillufts och frånluftsidan. I Tabell 4 ser man hur temperaturverkningsgraderna ändras med ändrad luftflödesbalans.

Värmeväxlare i flerfamiljshus har normalt en verkningsgrad mellan 80 % och 90 % vid en luftflödesbalans på 1,0 och vid luftflödesbalansen 0,9 blir frånluftsverkningsgraden 76% respektive 85% i Tabell 4. Går man in i Tabell 5 med frånluftsverkningsgraden och frånluftstemperaturen så ser man vid vilken utetemperatur som $T_{plate} = 0^{\circ}C$. Tabell 5 ger en utomhuslufttemperatur på $-2^{\circ}C$ till $-3^{\circ}C$, främst beroende på frånluftsverkningsgraden och den faktiska luftflödesbalansen.

Tabell 4. Beräknad idealisk motströmstemperaturverkningsgrad vid olika luftflödesbalanser.

| Tempverkn.grad vid balans \ Luftflödesbalans | | Tilluftsflöde / Frånluftsföde | | | |
|--|-------------|-------------------------------|------|------|------|
| | | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,70 |
| 70% | Temp.v.Till | 70% | 75% | 80% | 85% |
| | Temp.v.Från | 70% | 67% | 64% | 60% |
| 80% | Temp.v.Till | 80% | 85% | 90% | 94% |
| | Temp.v.Från | 80% | 76% | 72% | 66% |
| 90% | Temp.v.Till | 90% | 95% | 98% | 99% |
| | Temp.v.Från | 90% | 85% | 78% | 70% |

Tabell 5. Uteluftstemperatur när vvx-plåten blir $0^{\circ}C$ vid olika frånluftsverkningsgrader och frånluftstemperaturer.

| Verkn _{Från} \ T _{Från} | 21°C | 22°C | 23°C |
|---|--------|--------|--------|
| 65% | -4,5°C | -4,7°C | -4,9°C |
| 70% | -3,7°C | -3,9°C | -4,1°C |
| 75% | -3,0°C | -3,1°C | -3,3°C |
| 80% | -2,3°C | -2,4°C | -2,6°C |
| 85% | -1,7°C | -1,8°C | -1,9°C |
| 90% | -1,1°C | -1,2°C | -1,2°C |

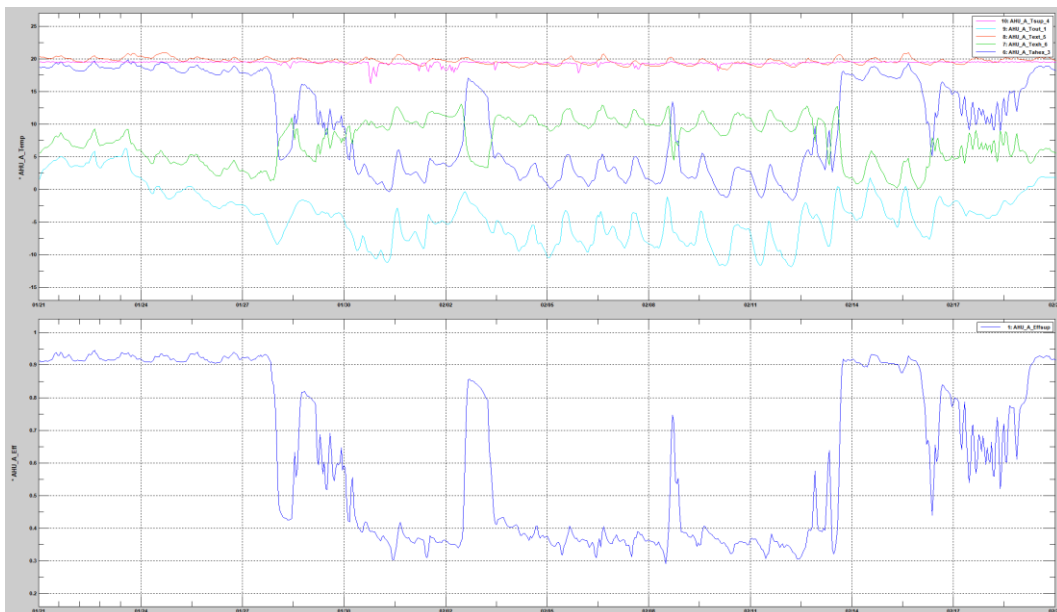
Tabell 6 ger hur många timmar på olika orter som utetemperaturen är under temperaturen från Tabell 5.

Tabell 6. Antal timmar under normalår som Tute är under -1°C - -4°C enligt Sveby/SMHI 1981–2010

| Ort | Utomhustemperatur | | | |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | -1°C | -2°C | -3°C | -4°C |
| Malmö | 480 | 310 | 190 | 100 |
| Göteborg | 780 | 530 | 340 | 250 |
| Stockholm | 1300 | 990 | 750 | 590 |
| Örebro | 1730 | 1410 | 1110 | 850 |
| Umeå | 2400 | 2000 | 1700 | 1500 |
| Kiruna | 4180 | 3850 | 3510 | 3200 |

Frånluftens fukthalts påverkan på funktion vid låg utetemperaturer

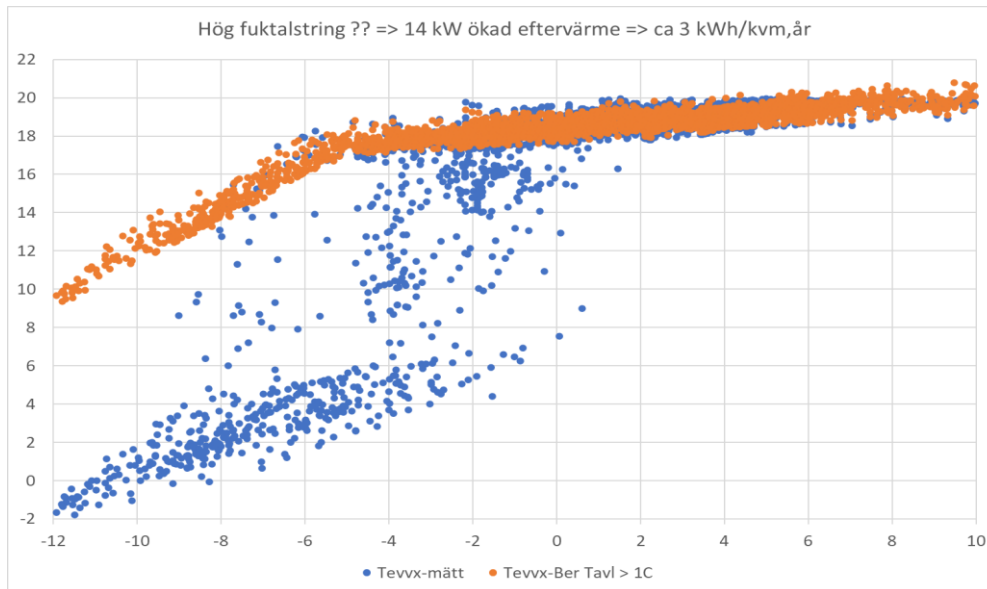
Figur 24 visar temperaturer och tilluftsverkningsgrad från mätningar på ett nytt ventilationsaggregat i ett renoverat flerbostadshus som fastnat i avfrostning när det är kallare ute än -5°C .



Figur 24. Diagrammet visar temperaturer och tilluftsverkningsgrad för Bostads-FTX som fastnat i avfrostning när det är kallare än -5°C , jan/feb 2021.

Luftflödesbalans var 0,82 (vilket innebär att värmebehovet ökar med ca $4 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$, jämfört med för önskad luftflödesbalansen på 0,95.)

Den låga tilluftsverkningsgraden gör att temperaturen efter värmeväxlaren är ca 12°C lägre än den teoretiska temperaturen, vilket betyder ca 14 kW/kbm luftflöde extra värmeeffekt krävs. Det är inte så många timmar som ventilationsaggregatet har fastnat i avfrostning, men detta kommer att påverka den maximalt erforderade värmeeffekten under året, som i sin tur påverkar abonnemangskostnaden.



Figur25. Visar teoretisk och uppmätt temperatur efter ventilationsaggregatets värmeväxlare, vilket påverkar behovet av värmeeffekt.

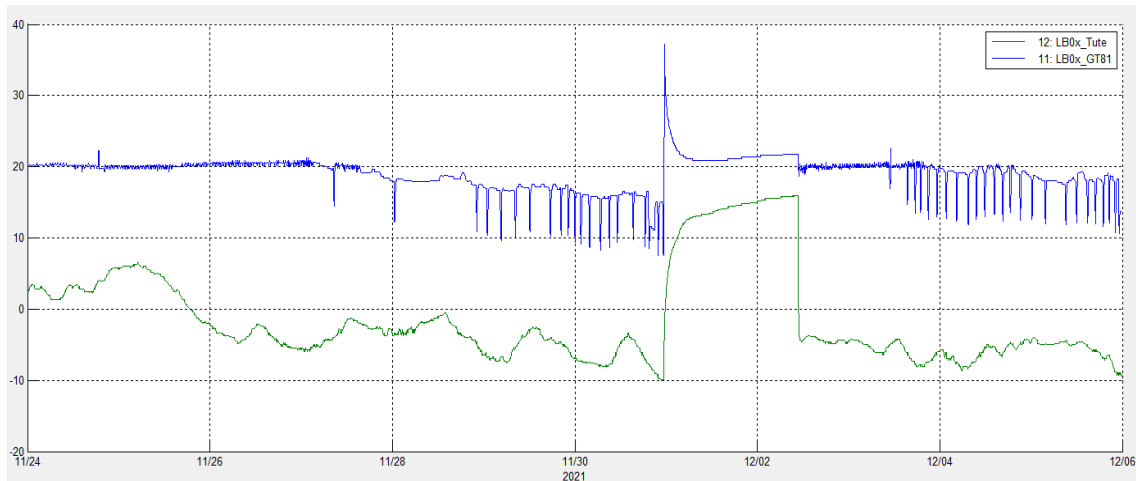
Ventilationsaggregatets frysskydd aktiveras vid -10°C

Frysskyddsfunktionen finns till för att skydda värmebatteri i ventilationsaggregatet från att frysa sönder, men ibland är designen av eftervärmesystemen mindre lämplig, vilket leder till att frysvakten stoppar ventilationsaggregatet "onödigt ofta".

Exempel på orsaker till att frysvakten stoppar ventilationen:

- underdimensionerad eftervärmare.
- för låga VS-flöden.
- för långa rör mellan shuntgrupp och eftervärmningsbatteri, vilket kan ge problem när aggregatet byter "driftmode" (normaldrift => avfrostning).

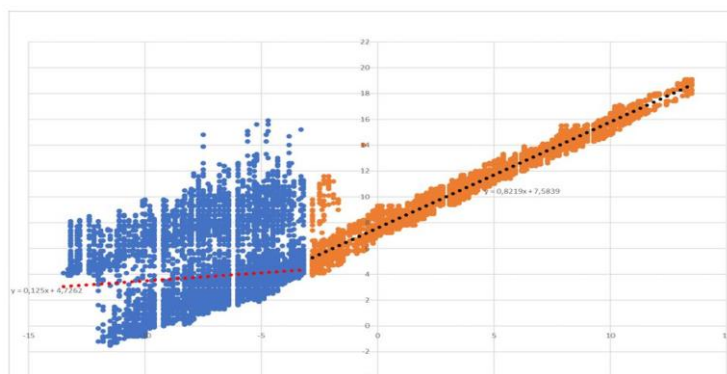
För att minska detta behövs kontinuerlig kontroll/ analys när det finns risk att frysvakten stoppar ventilationsaggregatet. Gärna med stöd av ML eller AI.



Figur 26. Exempel från när frysskyddet stoppar ventilationsaggregatet

Eftervärmesystemet klarar inte av att få fram värmen tillräckligt snabbt vid avfrostning, så vid Tute -10°C blir returvattentemperaturen från eftervärmningsbatteriet (blå kurva) för låg i början av avfrostningscykel, vilket leder till att ventilationsaggregatet stannar. När ventilationen inte fungerar, så sprids lukter i byggnaden och om brand skulle uppstå fungerar inte fläkt-i-drift som skydd mot brandgasspridning.

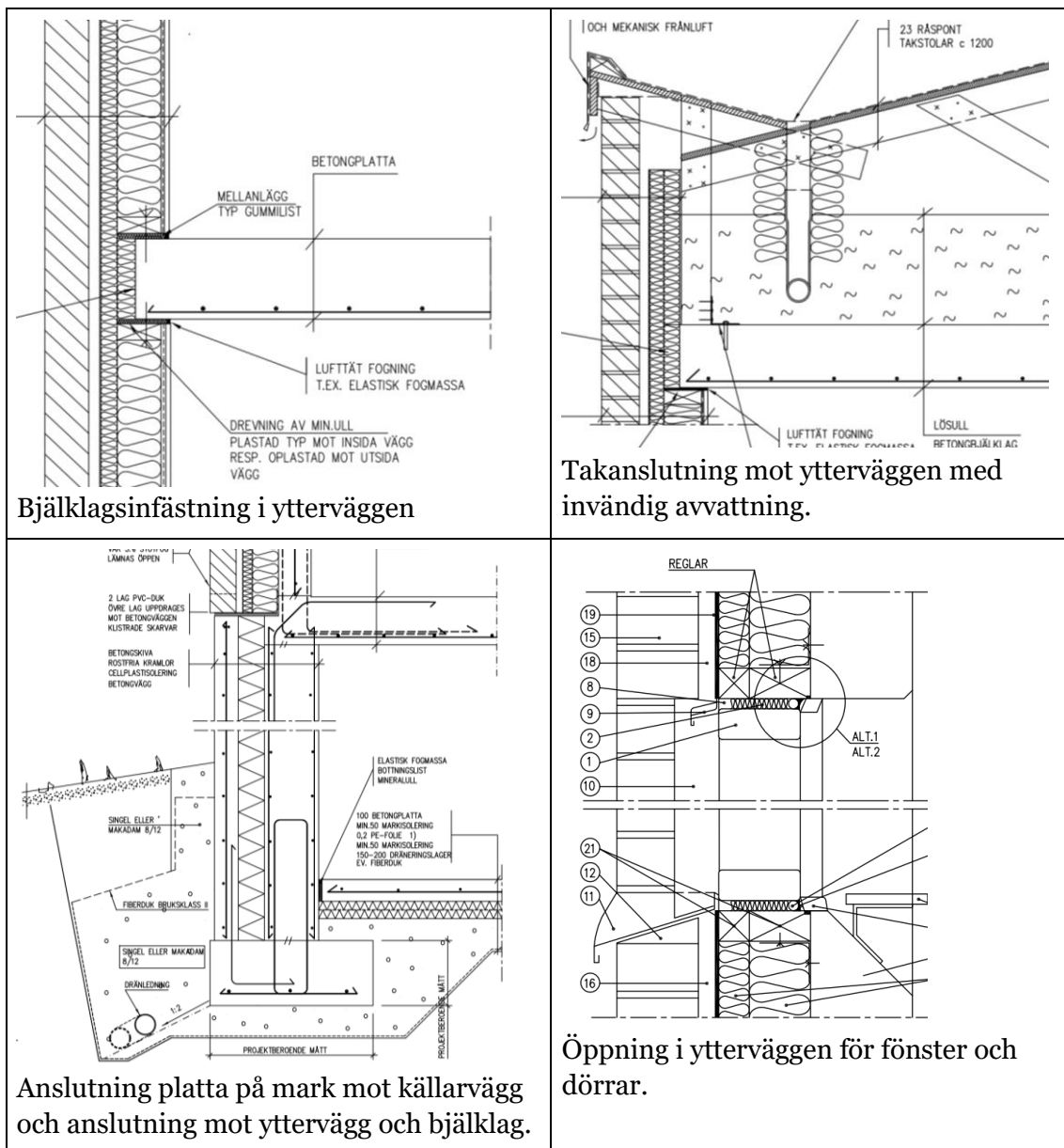
Figur 27 visar avluftstemperaturen vs utomhustemperaturen för Bostads-FTX, vilket visar hur ”väl” värmeåtervinning fungerar för aktuellt Bostads-FTX. Avluftstemperaturen går mot (i medel) $+4^{\circ}\text{C}$ när utetemperaturen är under -3°C .



Figur 27. Analys av avluftstemperaturen för ett Bostads-FTX som går mot $+4^{\circ}\text{C}$.

E. Köldbryggor

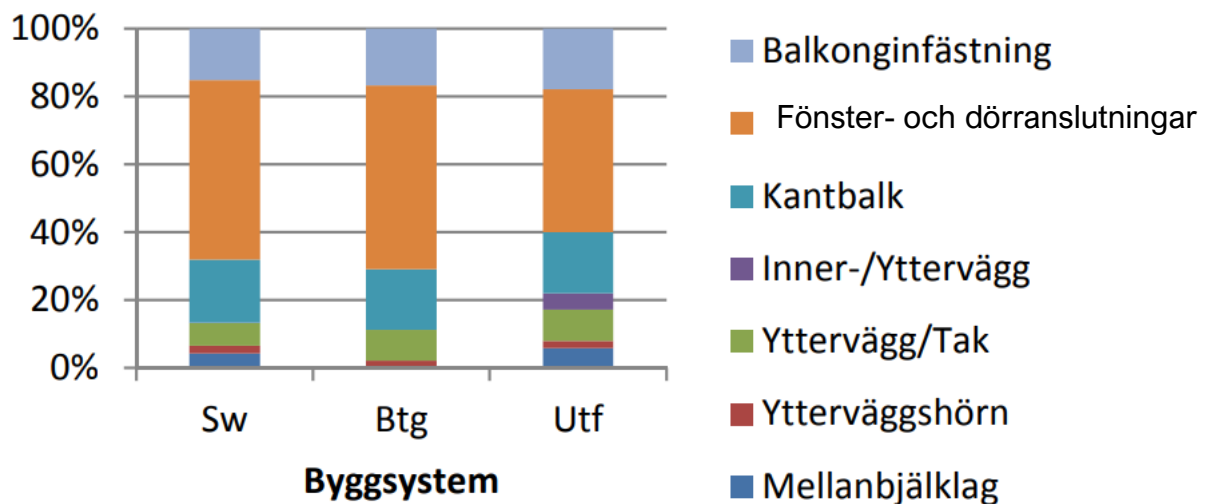
Värmeförlusten genom en byggnads klimatskärm anges med dess medel-U-värde (U_m) i enheten $W/(m^2 \cdot K)$. U_m ska inbegripa alla byggnadsdelar så som fönster, dörrar, ytterväggar, grund och tak. U_m ska också inkludera köldbryggor, både linjära (ψ -värde [$W/m/K$]) och punktformiga (χ -värde [W/K]). Nedan visas några vanliga konstruktionsdelar där hänsyn till köldbryggan måste tas. Reglarna i en träregelvägg eller förankringspunkterna av en yttre fasad räknas inte som köldbryggor utan ska ingå i den byggnadsdelens U-värde.



Figur 28. Exempel på köldbryggor som man måste ta hänsyn till vid beräkning av en byggnads U_m -värde. Ritningar från Svensk Betong.

En vanlig fördelning mellan köldbryggornas omfattning visas nedan (Larsson T., Berggren B., 2015). Fördelningen gäller ett flerbostadshus i 4 våningar (lamellhus 9m x 30m) med balkonger på tre våningsplan. Det är tydligt att det är fönster- och dörranslutningarna som utgör det största köldbryggepåslaget.

Fördelning köldbryggor



Figur 29. (Larsson T., Berggren B., 2015) Köldbryggornas fördelning i ett flerbostadshus byggt med Sandwich element (Sw), platsgjuten betong (Btg) eller utfackningsväggar (Utf)

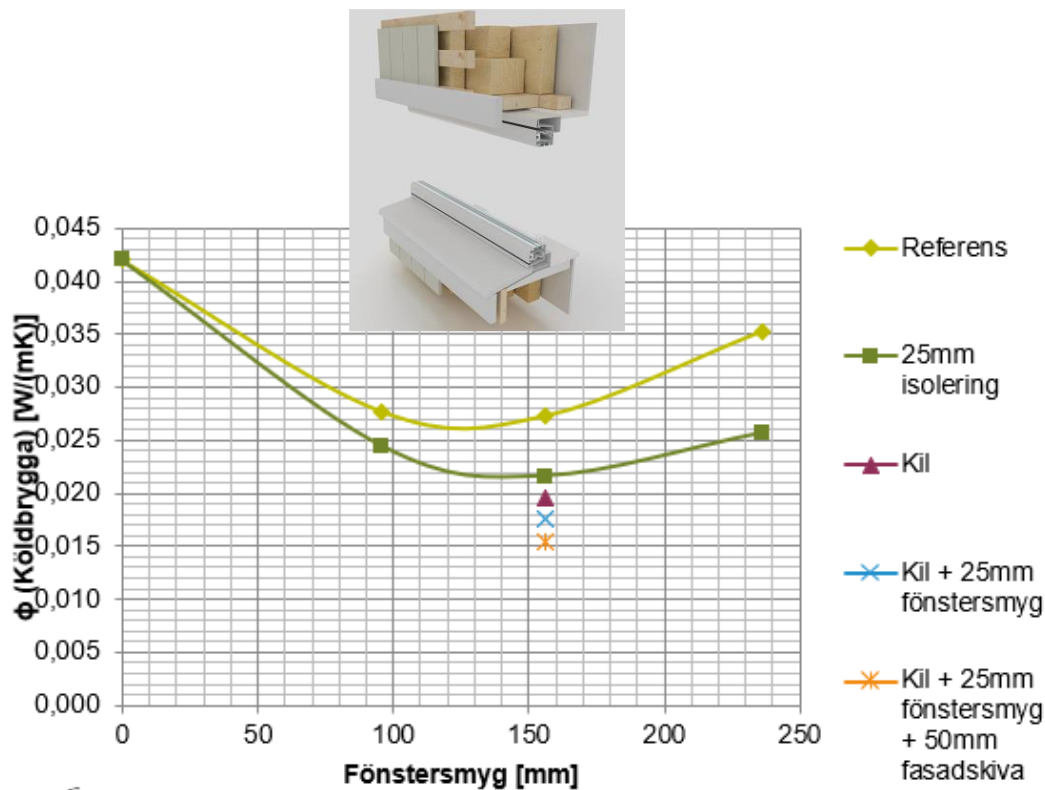
Köldbryggorna är ett mått på hur mycket extra värme som kan transporteras genom den aktuella byggdelen tex ett hörn, jämfört mot om där inte hade funnits ett hörn. Det betyder att köldbryggan är ett relativt värde som blir högre ju bättre isolering omliggande konstruktion har.

Genom att utforma anslutningsdetaljer på ett bra sätt kan köldbryggorna minskas.

Betydelsen av fönstrens placering

Genom att placera fönstren mitt i ytterväggen i stället för i liv med yttersidan går det att minska dess köldbrygga med ca 10%. Figuren nedan visar hur köldbryggan orsakad av ett fönster i en utfackningsvägg kan minskas genom att;

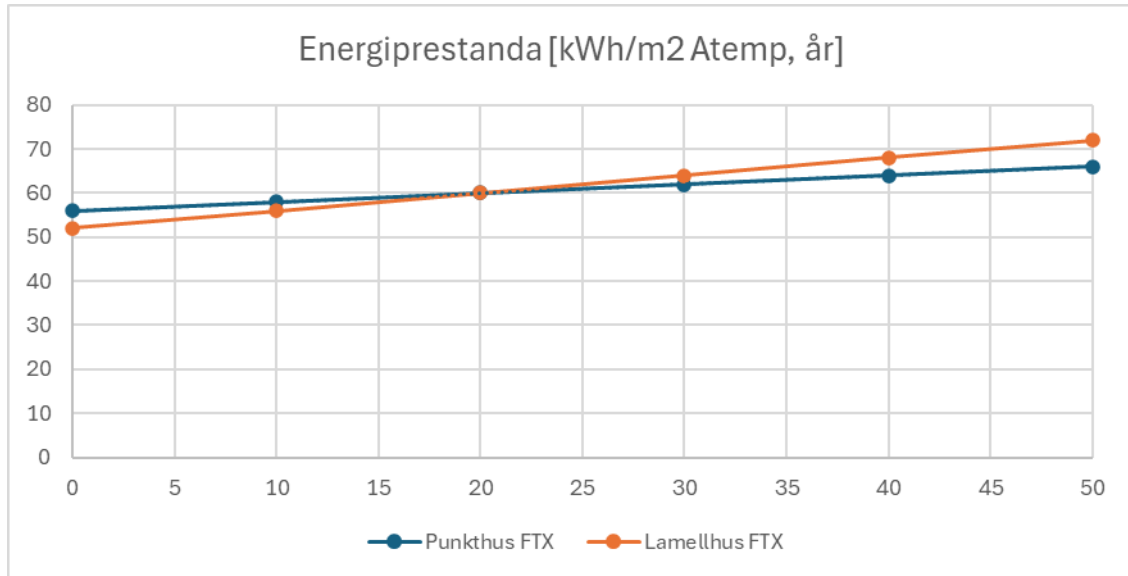
- 1) placera fönstret mitt i väggen,
- 2) fästa en extra isolering runt fönstret,
- 3) placera en isoleringskil under fönstret för att förhindra inläckage av regnvatten.



Figur 30. Fönsterinfästningens köldbrygga i en utfackningsvägg som funktion av fönstrets placering och utformning av infästningen. Lägst köldbrygga uppnås då fönstret är placerat mitt i väggen, med extra isolering runt om samt placerat på en isoleringskil (NEED4B, 2012).

Procent-påslag på byggnadens U_m -värde

Eftersom det är tidskrävande och avancerat att beräkna köldbryggorna görs ofta ett generellt procent-påslag på byggnadens U_m -värde. Vanligtvis brukar 20% användas men studier har visat att det kan variera mellan 10–60% beroende på byggnadstyp och utformning. Störst köldbryggor uppstår oftast i betong- och stålregelbyggnader. Att anta en felaktig %-sats innebär att energianvändning kan bli både högre och lägre än vad projekteringen visar. Figuren nedan visar ett beräkningsexempel på hur byggnadens energiprestanda påverkas beroende på hur stort %-påslag man gör. Beräkningsexemplet avser ett punkthus respektive ett lamellhus med FTX-ventilation. Punkthuset har en formfaktor på 0,9 medan lamellhuset har en formfaktor på 1,4. Beräkningarna är utförda i BV2.



Figur 31. Energiprestandan som funktion av %-påslaget köldbryggor.

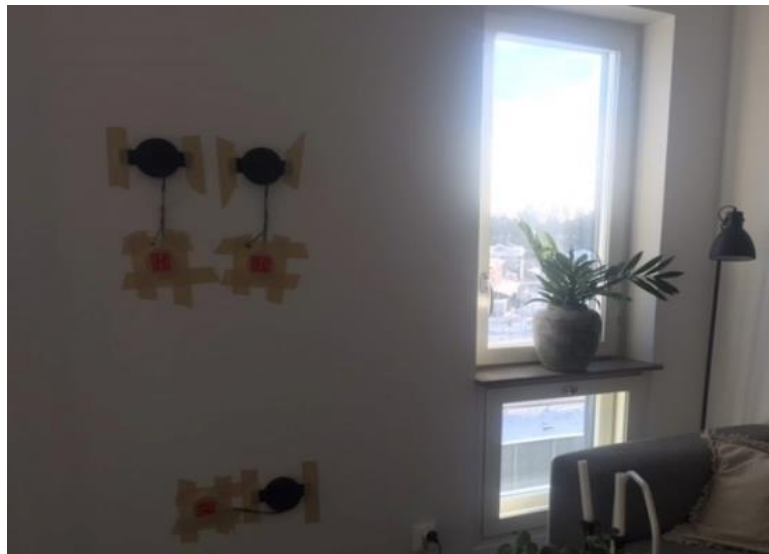
Att anta 10% för låga köldbryggor vid en energiprojektering innebär att byggnadens energianvändning blir 2 kWh/m² A_{temp}/år högre än förväntat (Kurkinen et.al 2014).

Klimatskärmkontroller i LÅGAN/SBUF 14025

I en tidigare studie finansierad av LÅGAN/SBUF 14025 ”Glappet mellan projekterad och uppmätt energiprestanda” har kontroller utförts i fem nyligen färsigställda flerbostadshus för att studera avvikelser i klimatskärmen och köldbryggornas inverkan på dessa. Nedan redovisas slutsatserna av studien.

- I de fem klimatskärmkontroller som gjordes har de tjockare utfackningsväggar mindre avvikelser mellan teoretisk och uppmätt U-värde.
- Flerbostadshusen med betongelementväggar och PIR-isolering blir köldbryggorna en större del av det totala UA-värdet/ värmeförlusterna.
- För fyra av flerbostadshusen har entreprenörerna använt egna bibliotek över köldbryggorna, för deras byggsystem, vilket används i projektering och energiberäkningar medan det femte flerbostadshuset har endast schablonpåslag använts.
- Köldbryggor främst runt fönster och kanter, balkonginfästningar och loftgångar, eventuella stålpelare samt kantbalk

- U-värde gäller för mitt i större yta. Sedan tillkommer köldbryggor.
- 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 hel-prefabstomme.
- Vid diskussioner med de som utfört byggnadsenergiberäkningar framkom att nya uppdaterade bibliotek för köldbryggor med högpresterande isolering visade högre värden än tidigare.
- Det krävs således en ökad detaljanalys av köldbryggor för energieffektiva flerbostadshus i projekteringen med särskild hänsyn till den stommen (prefabelement) som används. ***Inga schablonvärden bör användas.***



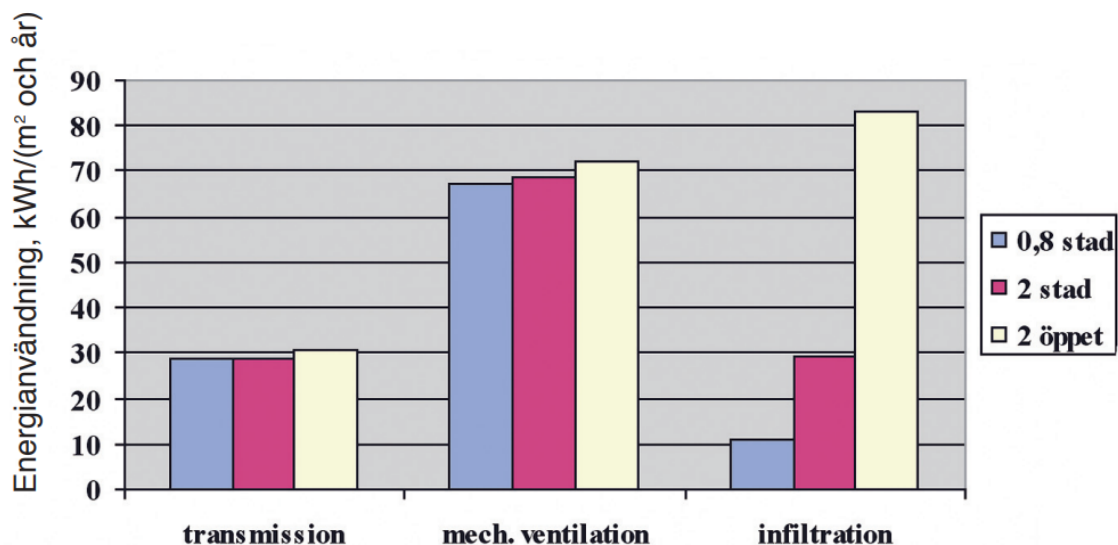
Figur 32. Mätning av värmeflöde genom en yttervägg. (Kempe, 2022a)

F. Lufttätthet

En byggnads lufttätthet är viktig i flera avseenden och har följande funktion.

- Säkerställa att till och frånluft passerar FTX-aggregatet, dvs god luftflödesbalans.
- Förhindra drag.
- Minska energianvändningen.
- Minska risken för fuktproblem orsakat av att varm och fuktig luft rör sig ut i kallare konstruktionsdelar.
- Minskad spridning av föroreningar mellan lägenheter.
- Minskad risk för insugning av markradon.

Figuren nedan visar hur stor betydelse en byggnads täthet har på energianvändningen för ett flerbostadshus. Första stapeln, transmissionsförluster, avser värmeförlusterna genom fönster, dörrar, golv, tak och väggar. Mittenstapeln, mech. ventilation, visar storleken på ventilationsförlusterna då ingen värmeåtervinning sker. Sista stapeln, infiltration, visar hur stor energianvändningen är orsakat av luftotätheter. Alla tre staplarna avser lite äldre byggnader med sämre täthet eller vad man kan förvänta sig om ett fönster står lite på glänt.



Figur 33. Energianvändning i ett flerbostadshus fördelat på transmissionsförluster genom klimatskärmen, värmeförluster orsakat av mekanisk frånluft utan värmeåtervinning samt infiltrationsförluster på grund av otätheter i klimatskärmen. De tre staplarna visar hur vindutsatt byggnaden är. I staden står byggnaden i lå medan "öppet" innebär att vinden kommer till. Siffran framför anger byggnadens täthet vid 50 Pa tryckskillnad.

| kWh/(m ² år) | 0,1 l/sm ² | 0,2 l/sm ² | 0,4 l/sm ² | 0,8 l/sm ² |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Vindskyddat läge | 33 | 34 | 36 | 40 |
| Måttligt utsatt läge | 34 | 36 | 39 | 47 |
| Vindutsatt läge | 35 | 37 | 42 | 54 |

T ute, medel = 7 grader
 Um = 0,12 W/(m²K)

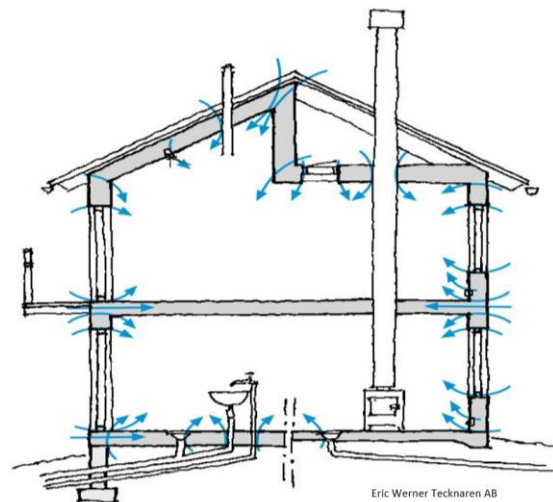
Figur 34. Specifik energianvändning för ett passivhus med olika lufttätethet.

Vanliga luftläckage-vägar

Luftläckage sker vanligen vid olika typer av anslutningar och skarvar. Figuren nedan visar exempel på vanliga luftläckagevägar.

Exempel:

- Golv- och takvinklar
- Tejpning/klämning av plastfolie
- Ytterdörrar, fönster, smygar
- Hål för lösullsinsprutning
- Genomföringar för el
- Skorsten
- Ytterdörrspartier och portar
- Lägenhetsskiljande väggar och bjälklag
- Tak med TRP-plåt
- m m



Figur 35. Vanliga luftläckagevägar (RISE utbildningsmaterial för lufttätethet).

Att bygga lufttät

Bra grundprinciper för att bygga lufttät är:

- Minimera antalet skarvar/anslutningar/genomföringar
- Överväg indraget lufttätande skikt (installationsskikt)

- Bra skarvutförande
- Planera anslutningar (fönster m m)
- Skydda plastfolien från åverkan
- Extra kraftig/tålig plastfolie i utsatta lägen

Några exempel på lufttätningmetoder är:

- Klämning
- Tejpning
- Dubbelhäftande tätningsband
- Fogmassor
- Produkter för genomföring/anslutning
- Specialtillverkade kragar
- Anpassad håltagning

Det finns vägledning och material framtaget för att kvalitetssäkra lufttäteten hos byggnader.



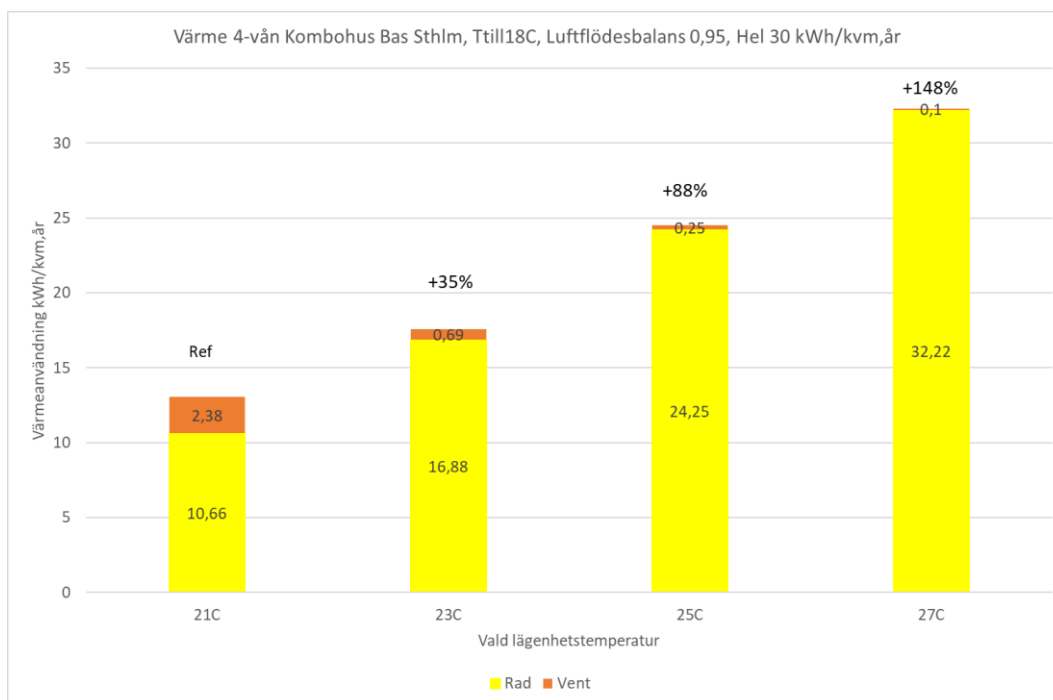
Figur 36.Handledning för kvalitetssäkring av lufttätet, www.byggal.se

G. Olika börvärden betydelse för energianvändning

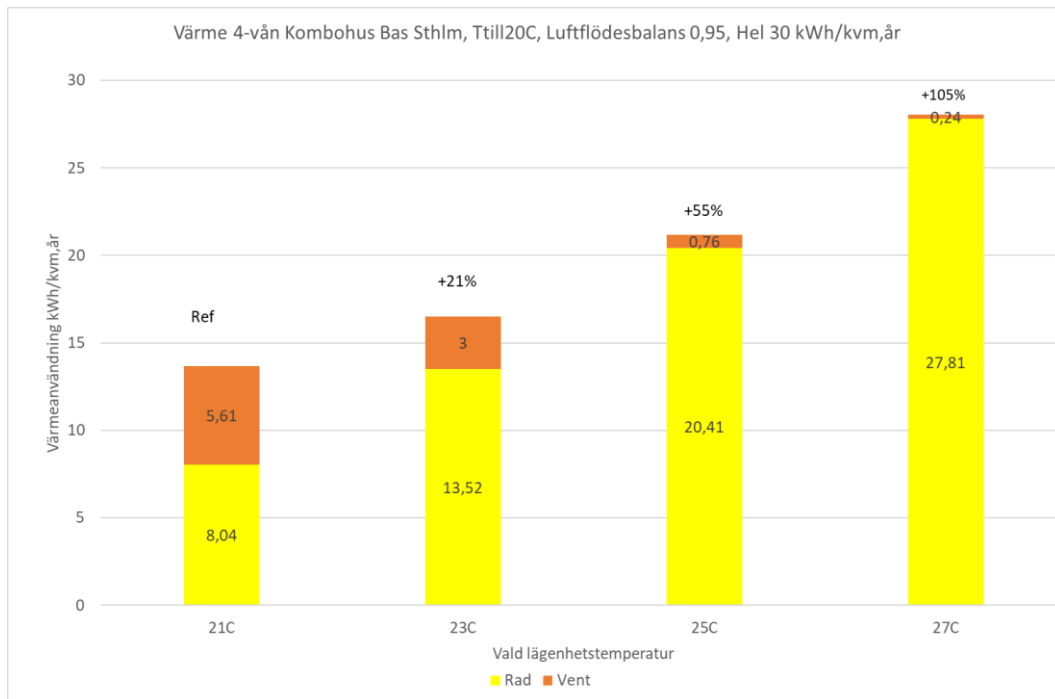
Det är viktigt att inte ha för stor skillnad mellan börvärden för olika installationssystem i byggnader. I flerbostadshus med FTX bör börvärdet för radiatorsystemet vara +21°C som är innetemperatur enligt BEN och börvärdet för tilluftstemperaturen bör var runt +18°C, så att skillnaderna ungefär motsvarar internlasternas uppvärmning av inneluften. Ibland väljs tilluftstemperaturen +20°C för att man är rädd för att de boende ska uppleva drag från tilluftsdonen. Det är då bättre att välja ett tilluftsdon som ger en bättre omblandning med rumsluft (så temperaturen i ”luftstrålen” närmar sig rumsluften) och hastigheten sjunker innan ”luftstrålen” kommer in i rummets vistelsezon.

Nyare flerbostadshus har två temperaturstyrningar för uppvärmning, tilluftstemperaturen respektive lägenhetstemperaturerna (radiatortermostaterna). Bakgrunden till beräkningarna med olika börvärden för tilluften och lägenheterna var att flerbostadshus fick leverans av fel typ av radiatortermostat med max-begränsning 26°C (termostat anpassade till badrum) i stället för 21°C. Detta innebar att de boende kunde välja att få ungefär 26°C i lägenheterna. Vilket kraftigt ökade värmeanvändning i flerbostadshuset.

Detta betyder att när de boende ”väljer” att ha en högre temperatur i lägenheterna behöver radiatorerna även (efter)värma ventilationsluften i lägenheterna och då behövs betydligt mer radiatorvärme i lägenheterna.



Figur 37. Energiberäkningar för att undersöka energigapet för olika börvärden.



Figur 38. Energiberäkningar för att undersöka energigapet för olika börvärden.

Detta innebär att det är mycket viktigt med en noggrann injustering och drift av värmesystemet samt att max-begränsningen av radiatortermostaterna är 21°C, för ”vanliga lägenheter”. Annars kan värmeanvändningen öka kraftigt.

Liknande problem med för stor skillnad i börvärden kan även erhållas om lokal innehåller kök med komfortkyla med olämpliga börvärden.

H. Drift och energiuppföljning (Verifiera olika system)

Erfarenheter från många projekt visar att de ofta inte uppnår den förväntade energiprestandan. En anledning kan vara att man inte arbetar systematiskt med driftsättning och samordnad funktionsprovning, samt att man inte aktivt påbörjar drift- och energiuppföljning från projektets start, systemhandlingen. Detta är särskilt viktigt i mycket energieffektiva byggnader, där små avvikelser kan få betydligt större konsekvenser.

Verifiering av önskad energiprestanda och funktionsanalys bör påbörjas redan under projekteringen, där förutsättningarna för driftoptimering fastställs. Det är särskilt viktigt att genomföra detta i detalj för framtida verifiering av funktionskrav och energiprestanda. Detta inkluderar var och hur man mäter funktion och prestanda samt med vilken noggrannhet. I Sveby mätanvisningar (Sveby, 2020) anges vilka energianvändningar som bör mätas och deras betjäningsområden för att erhålla en lämplig uppdelning samt i SBUF 12746 Drift och Energiuppföljning (Kempe, 2016).

I slutet av projekteringen ska alla funktioner som redovisas i driftkort gemensamt gås igenom med alla discipliner. På så sätt får man kontroll över systemens komplexitet. Genomgången görs för att verifiera alla funktioner, säkerställa att delsystemen kan kommunicera tillräckligt med varandra 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 vissa funktioner via mätdata och att driftoptimering kan påbörjas direkt efter slutbesiktningen. Om mätsystemet inte är en del av slutbesiktningen finns risken att det tar mer många månader innan mätsystemet fungerar, vilket leder till att värdefull tid för driftoptimering går förlorad. Byggnadens energiprestanda ska verifieras under en 12-månadsperiod inom 24 månader från slutbesiktningen. Detta innebär att det första året används för driftoptimering och det andra året för verifiering av energiprestandan. I Sveby Energiavtal 21 (Sveby, 2021) betonas även vikten av det tredje årets drift.

Det finns minst tre nivåer av drift- och energiuppföljning:

1. **Energiuppföljning med månadsvärden från fastighetsmätare:** Här kan man endast se den totala energianvändningen utan att förstå orsakerna. Dessa mätare inkluderar ofta energiförbrukning som inte räknas till byggnadens energianvändning enligt BEN/Sveby, såsom laddning av elbilar, elektriska motorvärmare, gårdsbelysning, gemensam hushållsel i tvättstugor, vidareleveranser till andra byggnader och markvärme vid entréer och garage.
2. **Energiuppföljning av byggnadens delsystem:** Genom att följa energianvändningen i olika delsystem kan man identifiera om ett delsystem använder för mycket eller för lite energi, men inte nödvändigtvis orsaken till detta.
3. **Detaljerad energi- och driftuppföljning:** Med en detaljerad uppföljning kan man analysera hur de olika systemen fungerar i praktiken jämfört med den planerade funktionen. Detta gör det möjligt att identifiera problem som

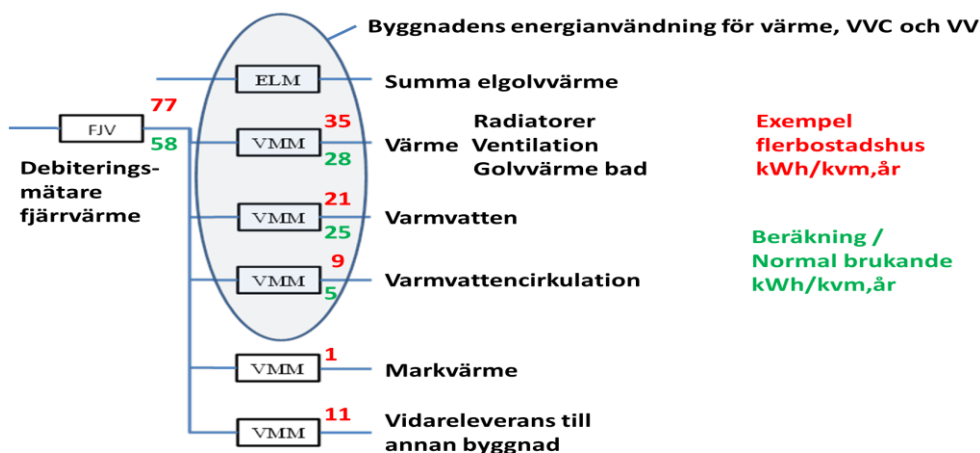
påverkar energiprestandan och installationernas funktion, samt att föreslå korrigerande åtgärder.

Nivå 2 av drift- och energiuppföljningen ska baseras på relationsenergiBERÄKNINGEN, som ska uppdateras efter verkligt utfall för att vara så nära verkligheten som möjligt. Detta ger ett bra mål för driften och kan användas för att jämföra uppmätta värden. En rullande 12-månaders uppföljning med BEN-normering baserad på månadsvärden för olika delsystem, jämfört med relationsenergiBERÄKNINGEN, är fördelaktig för att tidigt upptäcka avvikelser från den planerade funktionen (se Figur 40).

Utan mätningar av de tekniska systemen kan man bara anta och gissa deras funktion. Om den önskade eller utlovade energiprestandan inte uppnås, kan man endast anta att något inte fungerar korrekt, vilket gör det svårt att påvisa funktionsbrister. Med mätningar kan man däremot visa på brister i det tekniska systemet och diskutera åtgärder för att rätta till dem.

För att förbättra installationssystemens funktion och energiprestanda krävs mer kunskap om systemen och hur de samverkar med byggnaden. Det är viktigt att förstå hur styrningen av systemen och deras börvärden påverkar funktion och byggnadens energiprestanda. Detta är särskilt viktigt för energieffektiva byggnader, där små detaljer har stor betydelse.

En del av de avvikelser som finns mellan beräknad och uppmätt energianvändning beror på vidareleveranser och betjäningsområden. Detta innebär inte att byggnaden av denna orsak använder för mycket energi utan energin är "felbokförd" i energiuppföljningssystemet.



Figur 39. Exempel från driftuppföljningar när energianvändningar har varit felbokförda.

Principexempel erforderliga mätningar finns i Sveby Mätanvisningar 2.0 (Sveby 2020).

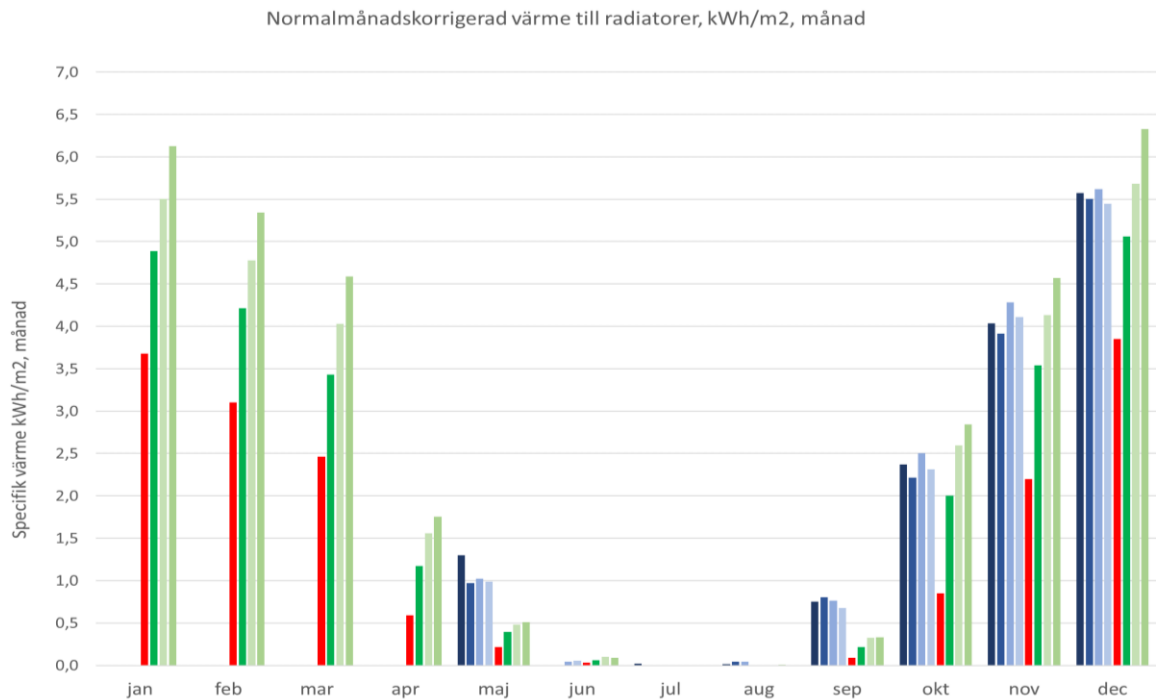
Normalisering av energianvändningen månadsvis i byggnader (flerbostadshus) enligt BEN - Boverkets föreskrifter om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår.

- Tappvarmvatten, normalt brukande, 25 kWh/m²,år (ca 40 % av energieffektiva flerbostadshus energianvändning). Det krävs 55kWh/m³ VV, för att värme KV 8°C -> VV 55°C, KV-temperaturen varierar ca 3°C i februari och ca 18°C augusti, vilket ger +11% - -22% i avvikelse. Mät åtminstone KV-volym som blir varmvatten. KV-temperatur kan krävas för att beräkna VV-energi.
- Mät summa hushållsel för varje månad och normera till normal hushållselanvändning. Hushållselen anses till 70% bli värme som kan bidra till flerbostadshusets uppvärmning om värmebehov föreligger. En del elleverantörer kan ge summa hushållsel per månad för byggnad/ adress.
- Större avvikelse än 1°C i innetemperatur från +21°C (brukaren har valt annan temperatur). BEN-korrigerad med 5%/°C, när innetemperatur avviker mer än 1°C från brukarindata (Jmf kap.3.7)

Byggnadsenergiberäkning

- Energiberäkning kan vara en pappersprodukt, men även ett verktyg beroende på hur man styr det. Det finns ett behov av att ta fram bättre underlag för det som inte ingår i byggnadsenergiberäkningsprogrammet.
- Man bör ha åtminstone tre revideringar av byggnadsenergiberäkningen vid tre skeden i byggprocessen.
- Relationshandling (RH) – Verkligt utförande – Under entreprenaden kan förändringar ske av systemval och produkter samt att det vid idrifttagning och injustering blir avvikelser mot projekteringen. RH-energiberäkningen ska bygga på mätningar/ prestandaprov på olika delsystem, dvs den kan anses som facit för energiuppföljningen.

I Figur 40 är normalmånadskorrigerad uppmätt värmeanvändning för fyra likadana punkthus, blå staplar, med inflyttning våren 2021 och energiuppföljningen startade maj 2021 och där är värmeenergin i relationsenergiberäkningen, röda staplar, samt mörkgröna staplar är med korrektioner 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. (Uppdaterat bibliotek över köldbryggor för standarddetaljer) Bidragande till skillnaderna i maj och september anses bero på oenighet om pumpstopp. (Kempe, 2022a)



Figur 40. Normalmånadskorrigerad uppmätt värmeanvändning för fyra fbh.

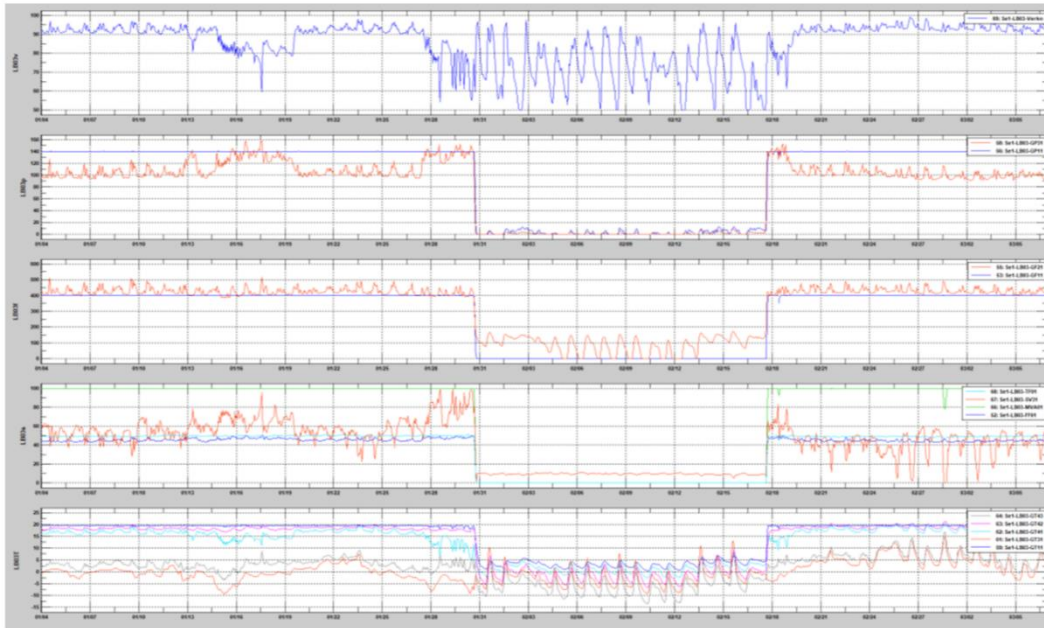
Om man inte önskar att göra om energiberäkningen flera gånger kan man ta fram korrekationer till de uppmätta värmeanvändningarna och fylla Tabell 7 nedan för rullande 12 månader för att snabbare fånga upp avvikelser med BEN-korrigeringar. Dessa jämförs sedan med månadsvärdena för relationsenergiberäkningen.

Tabell 7. 12-månaders rullande månadsvis korrigering av flerbostadshus värmeanvändning med avseende på hushållsel, innetemperatur och EI.

| Månad Rull 12m | Värme Rad+ Vent | Hushållsel- korr | Temp- korr | Värme- netto | Ei- akt | Ei- norm | Värme- korr | VVC (del) | VV (T _{kv}) |
|-------------------|--------------------|---------------------|---------------|-----------------|------------|-------------|----------------|--------------|-----------------------|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Summa 12-mån | | | | | | | | | |

Visuell analys av mätdata med BELOK Driftanalys (BELOK 2013)

Figur 41 visar ett Bostads-FTX där frysskyddsfunktionen har aktiverats när det var kallt ute. Frysskyddet 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 41. Bostads-FTX där frysskyddsfunktionen har stoppat fläktarna när det var kallt ute.

I. Erfarenhetsåterföring

Erfarenhetsåterföring i byggprojekten, men även mellan fastighetsägares olika byggprojekt för att sprida erfarenheter om bra arbetssätt, men även utmaningar om hur man bör styra och handla upp olika arbeten som ska ge energieffektivt flerbostadshus med god funktion och litet energigap mellan beräknat och uppmätt.

Det viktigaste är arbetssätt runt värmeförluster från distributionssystem (VV/VVC, ventilation), luftflödesbalans, men även köldbryggor samt drift och energiuppföljning.

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.

Resultat från LÅGAN-workshop om erfarenheter och förbättringsmöjligheter (Kempe, Per et.al. 2020a). Workshoparna genomfördes 2 december 2019 i Göteborg och 13 december 2019 i Stockholm. Syfte med Workshoparna var att identifiera och förankra behov av förbättrade förutsättningar eller rutiner relaterade till mätningar för verifiering av energianvändning i byggnader, samla in erfarenheter och synpunkter i ämnet samt initiera en diskussion kring hur föreslagna förbättringar skulle kunna realiseras.

Bakgrund är att vid verifiering av energikraven enligt BBR ska BEN tillämpas, vilket innebär att energianvändningen ska korrigeras till vad den blir vid normalt brukande och normalår. De korrigeringar som bör utföras för att spegla ett normalt brukande är relaterade till varmvattenanvändning, hushållselanvändning och inomhustemperatur. För att kunna genomföra dessa korrigeringar erfordras bland annat månadsmedelvärden för inomhustemperaturen samt månadsvärden för den totala hushållselen och den totala varmvattenanvändningen i flerbostadshuset.

Baserat på diskussioner som förts vid genomförda workshops, december 2019, är slutsatsen att, trots förekomsten av goda exempel, så är många fastighetsägare i dagsläget en bra bit ifrån en välfungerande process med avseende på mätningar för verifiering och normalisering av energianvändning.

Både byggherrar och entreprenörer kommer sannolikt att förstå de här delarna mer och mer med tiden, men bedömningen är att det behövs fortsatta utredningar och projekt för att förbättra både förutsättningar och rutiner så snart som möjligt.