



Verifiering av centrala ventilationsaggregat i flerbostadshus



Verifiering av centrala ventilationsaggregat i flerbostadshus

Per Kempe, RISE



Energimyndighetens projektnummer: P2021-00208

E2B2



Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. Hållbarhet, effektivitet och robusthet i bebyggelsen behöver stärkas och utvecklas. Lösningarna behöver samspela för att fungera och utnyttjas. Forskning, utveckling, innovation och kommersialisering spelar en avgörande roll.

I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen. Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Programmet startade 2013 och en andra programperiod pågår mellan 2018 och 2024. Projektet som beskrivs i den här rapporten har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten.

Stockholm, 21 december 2022

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Energimyndigheten tar ställning till framförda slutsatser, resultat eller eventuella åsikter.



Sammanfattning

Detta projekt har lyft fram olika typer av avvikelser i nya energieffektiva flerbostadshus och vilka av dessa som berör ventilationen. Samt tillsammans med medverkande företag/ leverantörer (medlemmar av Svensk Ventilation) diskuterat och tagit fram utkast till metodik, som underlättar kravställande och verifiering av ventilationsaggregats funktion och energianvändning. Förutsättningar och utmaningar med verifiering av ventilationsaggregat har även diskuterats på webinarier med fastighetsägare, VVS-konsulter, internkonsulter hos byggentreprenörer och installatörer.

Funktionskraven (SFP, Specific Fan Power och temperaturverkningsgrad) kan verifieras när inkommande uteluft är över några plusgrader, så att fukt i frånluften inte kondenserar i ventilationsaggregatets värmeväxlare. Detta har redan använts för ventilationsaggregaten i kontor för att verifiera att kontorsaggregaten erhållit de funktioner som beställts. Dock har kontor lägre fuktalstring (skillnad i frånluftens fukthalt (g/kg luft) jämfört med tilluftens fukthalt) och frånluftsfukt. Ventilationsaggregat i kontor är normalt inte i kontinuerlig drift.

Det gäller att ha kontroll på de verkliga förutsättningar där ventilationsaggregatet i flerbostadshus arbetar. Exempelvis kan uteluftstemperaturen som kommer in i ventilationsaggregatet skilja från uteluftstemperaturen utanför byggnaden på grund av värmetransmission samt luftläckage in i uteluftskanalen. Detsamma gäller för frånluftstemperaturen. I flerbostadshus skapar den högre fuktalstringen utmaningar under vintern då fukten i frånluften kan kondensera och frysa i värmeväxlaren. Det innebär att avfrostning krävs för att ventilationsaggregatet ska fungera som avsett och inte frysa till en isklump. Denna avfrostning kräver värme vilken varierar mellan olika typer av värmeväxlare, avfrostningsfunktioner, fukthalt vs utetemperatur, etcetera, vilket gör den svår att teoretiskt beräkna.

Nyckelord:

Funktionskrav, verifiering, ventilationsaggregat, SFP, temperaturverkningsgrad, luftflöden, luftflödesbalans, värmebehov



Summary

This project has highlighted different types of deviations in new energy-efficient apartment buildings and which of these affect the ventilation. As well as together with participating companies/suppliers (members of Swedish Ventilation) discussed and developed draft methodology, which facilitates setting requirements and verification of air handling unit function and energy use. Prerequisites and challenges with verification of air handling units have also been discussed in webinars with property owners, HVAC-designers, internal consultants at construction contractors and installers.

The functional requirements (SFP, Specific Fan Power and temperature efficiency) can be verified when the incoming outside air is above a few plus degrees, so that moisture in the extract air does not condense in the air handling unit's heat exchanger. This has already been used for the air handling units in offices to verify that the office units received the functions that were ordered. However, offices have lower moisture generation (difference in the moisture content of the extract air (g/kg air) compared to the moisture content of the supply air) and extract air moisture. Air handling units in offices are not normally in continuous operation.

It is important to have control over the real conditions in which the air handling unit in apartment buildings works. For example, the outside air temperature entering the air handling unit can differ from the outside air temperature outside the building due to heat transmission and air leakage into the outside air duct. The same applies to the extract air temperature. In apartment buildings, the higher moisture generation creates challenges during the winter when the moisture in the extract air can condense and freeze in the heat exchanger. This means that defrosting is required for the air handling unit to function as intended and not freeze into a lump of ice. This defrosting requires heat which varies between different types of heat exchangers, defrosting functions, moisture content vs outside temperature, etcetera, which makes it difficult to calculate theoretically.

Keyword:

Functional requirements, verification, air handling unit, SFP, temperature efficiency, air flows, air flow balance, heat demand



INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	7
1.1	BAKGRUND	7
1.1.1	FÖRDELNING AV ENERGIANVÄNDNINGEN I ENERGIEFFEKTIVT FLERBOSTADSHUS	10
1.1.2	FÖRDELNING AV VÄRME MELLAN RADIATOR OCH VENTILATIONEN	10
1.1.3	AVVIKELSER MELLAN BERÄKNAD OCH UPPMÄTT ENERGIANVÄNDNING	11
1.1.4	BOVERKETS REMISS TILL NYA BYGGREGLER (VÅREN 2023)	12
1.2	SYFTE OCH MÅL	13
1.3	OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR	13
2	GENOMFÖRANDE	14
2.1	RESULTATSPRIDNING	14
3	RESULTAT	15
4	DISKUSSION	18
5	SLUTSATSER	19
6	REFERENSER	20
	BILAGOR	22
	BILAGA 1 HÖG FRÅNLUFTSFUKTS PÅVERKAN PÅ EFTERVÄRMEBEHOVET NÄR KALLT UTE	23
	BILAGA 2 EFTERVÄRMEBEHOV FÖR OLIKA TYPER AV AVFROSTNINGSFUNKTIONER	24
	BILAGA 3 BERÄKNINGAR IDEAL MOTSTRÖMSVÄRMEVÄXLARE	25
	BILAGA 4 EXEMPEL PÅ FUKTALSTRING	26
	BILAGA 5 AVVIKELSER SOM PÅVERKAR FLERBOSTADSHUSETS/VENTILATIONENS VÄRMEANVÄNDNING	27
	BILAGA 6 EXEMPEL PÅ FUNKTIONSKRAV FÖR VV/VVC-SYSTEM	28
	BILAGA 7 EUROVENT CERTIFIERING OCH ECODESIGN	29



1 Inledning och bakgrund

Det finns ett flertal utvärderingar som visar på att många nya energieffektiva byggnader använder mer eller mycket mer energi än beräknat vid projekteringen (Kempe 2020), (Kempe 2022), där en del av avvikelserna härrör från ventilationssystemet. Förstudien Stegvis verifiering av delsystem - Exempel VVC-system (Kempe 2019) beskriver ett arbetssätt att ställa krav och stegvis verifiera. Då ventilationsaggregats värmeåtervinning handlar stor del av flerbostadshusets värmeenergi och värmeeffekt, så är det viktigt med arbetssätt/ metodik att beräkna och verifiera ventilationsaggregat. Detta för att öka möjligheten att nya eller renoverade byggnader bättre ska uppfylla sin beräknade energiprestanda samt öka förståelsen för detaljernas betydelse i energieffektiva byggnader.

Projektet har tagit fram utkast till metodik som underlättar kravställande och verifiering av ventilationsaggregats funktion och energianvändning i flerbostadshus. Utkastet till metodiken för ventilationsaggregat har tagits fram tillsammans med medverkande medlemmar från Svensk Ventilation samt stämts av med fastighetsägare, projektörer, entreprenörer och installatörer.

För att sätta detta i ett sammanhang och öka förståelsen för ventilationsaggregatets funktion och energianvändning för energieffektivt flerbostadshus tas först upp hur energianvändning normalt fördelas för energieffektivt flerbostadshus samt några vanliga avvikelser i flerbostadshus och dess installationssystem, samt vilken påverkan dessa får för funktion och energianvändning.

Funktionskrav och verifiering är aktuellt med ett antal remisser från Boverket [Boverket 2023] inför uppdatering av byggreglerna de kommande åren.

1.1 Bakgrund

I energieffektiva byggnader måste höga krav ställas på kvalitetsssäkring genom hela byggprocessen, från tidiga idéskisser till byggnad är i drift, för att ha en möjlighet att nå den projekterade/ önskade energianvändningen. För 20 år sedan kunde ett nytt flerbostadshus använda dubbelt så mycket energi jämfört med idag och värmeposten kunde vara 3-4 gånger större än idag. Så detaljer man kunde försumma för 20 år sedan bör man idag ta hänsyn till och analysera.

I tidiga skeden när bland annat planlösning, schaktplacering, rör-/kanalstråk tas fram sätts grundförutsättningarna för byggnaden. Störst möjlighet till påverkan finns i tidiga skeden av projektering eftersom det ofta blir dyrt att åtgärda i efterhand. Det gäller exempelvis utformning av byggnaden (formfaktor, köldbryggor), utformning av lägenheter (våta och torra rum, möjligheter att komma fram med tilluftssystem i lägenheterna), schaktplaceringar (löpmeter VV/VVC-rör vilket ger VVC-förluster samt risk för oavsiktlig uppvärmning av kallvatten), placering av fläktrum (värmeförluster ute-/avlufskanaler), förutsättningar för luftflödesmätning, möjlighet att justera in ventilationen. Vidare är det viktigt med uppbyggnaden av system, produktval, montage, injustering, drift och skötsel, mätning, energiuppföljning samt normalisering/ korrigerigering för brukarpåverkan.

Särskilt måste förluster från alla rör- och kanalsystem med en temperatur som avviker från sin omgivning analyseras. Dessutom handlar ventilationens värmeåtervinning mycket energi, så därför är det viktigt med korrekta luftflöden och luftflödesbalanser för alla lägenheter och i ventilationsaggregatet samt att värmeåtervinningen inklusive avfrostning fungerar, som tänkt.



Dessutom bör all vidareleverans av värme, varmvatten och fastighetsel från byggnaden mätas, så att de kan dras av och inte felaktigt redovisas som del av den aktuella byggnadens energiprestanda.

Byggnadsenergiiberäkningar är bra och viktiga verktyg för att jämföra olika systemlösningar samt att ta fram uppskattningar av vilken energianvändning som den färdiga byggnaden kan erhålla om allt utförs som tänkt. Byggnadsenergiiberäkningar är ideala och utgår från att allt fungerar som avsett. Beräkningarna bygger på energibalanser för olika zoner med internlast, innetemperaturer, varmvattenanvändning, vädring, solavskärmning, enligt brukarindata från olika källor exempelvis (Sveby 2012) samt att korrekta underlagsberäkningar är utförda för köldbryggor, värmeförluster från distributionssystem, vilka används som indata till byggnadsenergiiberäkningsprogrammen. Det är även viktigt att energiiberäkningen kan efterlikna de projekterade system tillräckligt bra, så att man räknar på de tänkta installationssystemen med önskad styrning, vilket ibland inte varit fallet.

För att erhålla små avvikelser behöver man redan i programskedet bestämma funktionskrav och system för att verifiera dessa samt ta fram en första energiiberäkning i samarbete med arkitekten, som utformar byggnaden. Därefter utförs åtminstone tre revideringar av energiiberäkningen vid tre olika skeden i byggprocessen allt eftersom byggnaden och dess system växer fram.

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

Exempel på energiavvikelser från några tidigare utvärderingar:

- Utvärdering av lågenergibyggnader – Fallstudie 2017 (Boverket 2018a)
Boverket och Energimyndighetens uppdrag Kontrollstation 2015 och Demonstrationsprojektet (NNE-underlag). 75 procent av byggnaderna använder mer eller mycket mer energi än beräknat.
- Energiiprestanda i SABO Kombohus BAS 2015–2017 (Levin, P. 2018)
46 SABO Kombohus Bas analyserades, Fjärrvärmehuset hade i medeltal en uppmätt normerad energiiprestanda på 77 kWh/m²Atemp,år, där den beräknade i medel var 57 kWh/m²Atemp,år.
- Stockholm stad Norra djurgårdsstaden etapp 2, krav 55 kWh/m²,år
2018 i genomsnitt 76 kWh/m²,år (Hållbarhetsrapporten 2018);
2019 i genomsnitt 70 kWh/m²,år (Hållbarhetsrapporten 2019)

Varmvattenenergin ska vara normerad till normalt brukande, så avvikelserna är på värme och fastighetsel. Detta innebär att uppmätt värmeenergi och fastighetselenergi tillsammans är i storleksordningen runt 50 % högre än vad byggnadsenergiiberäkningen redovisade.

Exempel på avvikelser som har tagits upp i tidigare rapporter (Kempe, 2020), (Kempe, 2022):
Luftflödesbalans, internlast, tilluftstemperatur, injustering av ventilationen, fuktalstring, avfrostning, förvärmning till mer än -2°C, värmeförluster från distributionssystem med avvikande medietemperatur från omgivningen (rör och kanaler), styrproblem, köldbryggor, etcetera.

Ventilationen är ett av systemen som handhar mycket energi (runt 50 kWh/m²,år) i en bostadsbyggnad och fuktalstringen i bostäder är en stor utmaning för energieffektiv ventilation.



Energieffektiva lufttäta flerbostadshus använder vanligtvis centrala ventilationsaggregat med hög temperaturverkningsgrad mellan 80% och 90%, för att uppnå låg energianvändning för ventilationen. Fuktalstringen i bostäder skapar dock utmaningar för funktionen för ventilationsaggregaten. Detta beror på bland annat att luftens förmåga att innehålla fukt är starkt temperaturberoende. Inneluft 21°C, 25% RF har dagtemperaturen 0,1°C.

Bostadsventilationsaggregat med värmeåtervinning med rotor fungerar "bättre" på vintern, jämfört med plattvärmväxlare, eftersom rotor har betydligt mindre påfrysning och en viss fuktåterföring. Inomhusluften blir inte lika torr under vintern, men värmeåtervinning med rotor har en relativt stor risk för att lukter sprids via ventilationssystemet i flerbostadshuset, vilket kan bli ett problem.

Bostadsventilationsaggregat med plattvärmväxlare är därför att föredra i flerbostadshus för att minska risken för luktspridning, men behöver ofta avfrostning av värmväxlaren, när utomhus-temperaturen är under ca -2°C.

För att minska avvikelserna mellan beräkning och uppmätt funktion och energianvändning behöver olika metoder utvecklas med olika noggrannhetsnivåer beroende på energikrav samt verifieringsresultat nyttjas till relationsenergiberäkningen. Detta kan då ge erfarenhetsåterföring till tidigare skeden, men även till kommande projekt.

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

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

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

I energieffektiva byggnader får även brukarna stor påverkan på byggnadens slutgiltiga energianvändning. Därför behöver man åtminstone månadsvis redovisa brukarnas påverkan genom summa använd hushållsel, varmvattenanvändning samt medelinnemetemperatur för att kunna korrigera värmeanvändningen för avvikande brukarpåverkan utöver uteklimatets påverkan. Det är således väsentligt att mätning av dessa fungerar från slutbesiktningen, så normalisering till normalt brukande kan utföras för byggnadens energianvändning. (Boverket 2018b)



1.1.1 Fördelning av energianvändningen i energieffektivt flerbostadshus

Flerbostadshus med hög energieffektivitet, köpt 60 kWh/m²Atemp, år erhåller ungefär följande fördelning på delsystemen varmvatten, fastighetsel och värme:

- Varmvatten (standardiserat brukande, BEN/Sveby) är 25 kWh/m²Atemp, år i flerbostadshus
- Fastighetsel ca 10 kWh/m²Atemp, år varav ca hälften är fläktel dvs runt 5 kWh/m²Atemp, år
- Kvarstår till värme 25 kWh/m²Atemp, år (varav icke tillgodogjord VVC-förlust bör vara någon kWh/m²Atemp, år, vädring 4 kWh/m²Atemp, år samt säkerhetsmarginal på energiberäkningen, där många använder runt 10 %.

Radiatorsystem och eftervärme blir ungefär 13 kWh/m²Atemp, år, där fördelningen primärt beror på tilluftstemperaturen, men även luftflödesbalansen (tilluftsflöde/frånluftsflöde), för alla lägenheterna och för ventilationsaggregatet. Radiatorsystemet ska även täcka vädringspåslag 4 kWh/m²Atemp, år.

Solceller kan bidra med el som direkt kan nyttjas till fastighetsel. Solfångare och avloppsvärmeväxlare kan ge bidrag till främst varmvattenenergin om de erhåller en korrekt funktion i flerbostadshuset. Dessa energibidrag ger mer utrymme till värmeanvändning i flerbostadshuset.

1.1.2 Fördelning av värme mellan radiator och ventilationen

Ett litet undertryck önskas i varje lägenhet i flerbostadshus, för att minska risken att fuktig inneluft ska kunna läcka ut i klimatskärmen och att fukten i den utläckande luften under vinterhalvåret kondenserar i klimatskärmen med risk för fuktskador.

Luftflödesobalans ökar värmebehovet i lägenheterna, där uteluft läcker in. Eftervärmebehovet minskar då tilluftsverkningsgraden ökar, luftflödet som behöver eftervärme minskar, och avgiven värme ur frånluften minskar. Totalt ökar värmebehovet för flerbostadshuset när luftflödesbalansen sjunker. Detta betyder att man behöver ha god kontroll på luftflödena och luftflödesbalansen, för att kunna kontrollera och verifiera ventilationsaggregats funktion och energianvändning.

Hur värmeenergin fördelas mellan värmesystemet och eftervärmningen av ventilationen (exklusive vädring) med avluftstemperaturen, Tavl>+1C (efterlikna avfrostningsfunktion) beror huvudsakligen på ventilationens tilluftstemperatur och luftflödesbalansen för ventilationsaggregatet, Tabell 1.

Tabell 1 Fördelning av värmeenergin mellan värmesystem och ventilation (exklusive vädring) med IDA-simulering av 4-vån Kombohus Bas med avfrostningsfunktion modulerad med begränsning av avluftstemperaturen, Tavl>+1°C. (Rad + Vent = Tot [kWh/m²Atemp])

Tilluftsflöde / Frånluftsflöde	Tilluftstemperatur +18°C	Tilluftstemperatur +20°C
1,0	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

Om det är en stor spridning av luftflödesbalansen mellan lägenheterna, så ökar värmebehovet.



1.1.3 Avvikelser mellan beräknad och uppmätt energianvändning

Det finns ett antal avvikelser som kan erhållas mellan projekterad/beräknad och uppmätt energianvändning, vilka beror på brister i analyser, design, montage, injustering och drift.

Exempel på dessa är:

- Värmeförluster från distributionsrör (VV/VVC, kyla, värme) samt ventilationskanaler. Där schaktplacering och rör/kanalstråks placering är viktiga för att begränsa förlusterna. VVC-förluster är den förlust som kan bli störst, då VV/VVC-systemet är i drift årets alla timmar och i medel har en temperatur som ligger ca 32°C över sin omgivningstemperatur.
- Luftflödesbalans (tilluftflöde/ frånluftflöde) för varje lägenhet och för ventilationsaggregat, vilket påverkar undertryck och värmebehov.
- Tilluftstemperaturen påverkar fördelningen av värme mellan radiatorsystem och eftervärme på ventilationen, för flerbostadshuset.
- Ventilationsvärmväxlarens verkningsgrad påverkas av luftflödesbalansen, avfrostningsfunktion och styrfunktioner.
- Fuktalstring i bostäder ger ofta kondensering av fukt i värmeåtervinningen, när utetemperaturer går mot noll och fryser när det är några minusgrader ute. Detta ger behov av avfrostning, för att ventilationsaggregatet ska fungera som avsett och inte bli en isklump. Avfrostningen ger ett ökat värmeenergibehov och värmeeffektbehov.
- Mätning och injustering av luftflödena är viktigt för att erhålla korrekt funktion och energianvändning för ventilationen. I driftfasen är det viktigt med rengöring av frånluftsdon och frånluftskanaler för att försmutsning inte ska sänka frånluftflödet eller öka fläktelanvändningen.
- Ventilationsaggregatets styrning av tryck och luftflöden, och avfrostningsfunktionen är viktig för energieffektiv drift, vilket i drift bör följas upp.
- Injustering och driftsättning av värmesystemet med kv-värden, termostaters maxbegränsningar samt styrning av temperatur och flöden. Skillnad mellan börvärden för radiatorernas termostatventiler och tilluftstemperatur bör vara runt 2 - 3°C (Internlasternas bidrag)
- Byggnadens lufttäthet påverkar luftläckage på grund av blåst, men även undertryck i byggnaden vid obalans i luftflödena i varje lägenhet vilket kan ge extra värmebehov.
- Köldbryggor är beroende av stomval och köldbryggorna är främst runt fönster och kanter av byggelement, balkonginfästningar och loftgångar, samt kantbalken.
- Hushållselen, varmvattenanvändning och innetemperatur har betydelse för byggnadens energianvändning, så dessa bör månadsvis följas upp och bli underlag för normalisering.

Vid verifiering av ventilationsaggregatet behöver man ta hänsyn till följande av ovanstående:

- Värmeförluster från ventilationskanaler (ger temperaturändring, som påverkar ventilationsaggregatets återvinning samt energianvändning)
- Luftflödesbalansen påverkar fördelningen av värme mellan radiator och eftervärme
- Tilluftstemperaturen påverkar fördelningen av värme mellan radiatorer och eftervärme.
- Fuktalstring ger avfrostning som påverkar eftervärmebehov och ibland även luftflödesbalans
- Ventilationsaggregatets styrning av tryck och luftflöden som påverkar ventilationsaggregatets funktion.



1.1.4 Boverkets remiss till nya byggregler (våren 2023)

I Boverkets remiss till Boverkets nya byggregler föreslagna träda i kraft 1 juli 2024, (energihushållning tidigast under 2025) går mot verifierbara funktionskrav – verifiering av funktionskrav. Detta innebär att branschen behöver överenskomna metoder för verifiering av dessa funktionskrav inom något år.

”Målet för Boverkets regelarbete är att författningsförslaget ska ha en tydlig struktur där krav ställs på funktion. Författningsförslaget formuleras som teknik- och materialneutrala verifierbara funktionskrav. När föreskrifterna uttrycks som funktionskrav, utan den begränsning som de allmänna rådens normerande roll kan innebära, tydliggörs det att byggherrar får frihet att föreslå egna lösningar som uppfyller föreskrifterna. Därigenom främjas kostnadseffektiva lösningar och nytänkande som på längre sikt kan bidra till att förbättra produktiviteten och pressa byggkostnaderna. Handböcker, standarder, branschstandarder och branschöverenskommelser kommer att få en viktig roll vid tolkning av byggreglerna. Mycket av detta utvecklingsarbete och förvaltning av befintlig kunskap förväntas kunna ske via branschen.”

Det är bra att Boverket önskar gå mot funktionskrav och verifiering av funktionskrav, då det skapar möjligheter att minska avvikelserna mellan uppmätt och beräknad energianvändning. Kraven måste börja verifieras mycket tidigt i byggprocessen, så att man inte i tidiga skeden fattar beslut som försvårar en bra energiprestanda för byggnaden.

Exempelvis behöver arkitekten nyttja installationskompetens i tidiga skeden, för att ta fram löpmeter VV/VVC-rör, som erfordras för att skapa ett fungerande VV/VVC-system till den tänkta planlösningen i byggnaden.

$$\text{Värmeförlust från VV/VVC-system} = (\text{löpmeter VV/VVC-rör}) * 50 / \text{Atemp}$$

Om värmeförlusten är för stor måste arkitekten och installationskompetens ta fram en energieffektivare dragning/lösning för VV/VVC-systemet.

Detsamma gäller placering av fläktrum och värmeförluster från Ute- och avluftskanaler samt om isoleringen av ute- och avluftskanalerna ryms i ute- och avluftsschakten.

När man genomför upphandling med funktionskrav i entreprenad måste verifieringsmetod för funktionskraven anges, för annars är det fritt för entreprenör att välja den verifieringsmetod som är fördelaktigast för hen. Då är risken stor att man kommer få många olika verifieringsmetoder med olika noggrannhetsnivåer beroende på fastighetsägare, entreprenör, installatör, etcetera.



1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet är ta fram en första version/ utkast till metodik som underlättar kravställande och verifiering av ventilationsaggregats funktion och energianvändning. Detta för att öka möjligheten att ventilationsaggregat i nya och renoverade byggnader bättre uppfyller sin beräknade/ önskade energianvändning.

Målen med detta projekt är:

1. Tillsammans med medverkande företag/ leverantörer (Svensk Ventilations medlemmar) ta fram ett utkast till metodik för stegvis verifiering av funktionskrav för ventilationsaggregat med styrsystem som handhar mycket värme/ energi i flerbostadshus.
2. Genomföra workshops för att förankra utkastet hos konsulter, installatörer och fastighetsägare.
3. Skriva och informera om stegvis verifiering av delsystem, för att öka intresset för detta och att få ett ökat fokus för detaljerna i energieffektiva byggnader. Detta för att energieffektiva byggnader i framtiden ska få mindre avvikelser från beräknad funktion och energiprestanda.

1.3 Omfattning och avgränsningar

Projektet omfattar regelbundet interna Teamsmöten/ Workshops under 2022, där Svensk Ventilations medlemmar bidrar med kunskap om aggregats funktioner, energianvändningar, montagekrav etcetera. Därutöver hålls ett antal Workshops med branschen för att diskutera förutsättningar och förankra metodiken.

Avgränsning är centrala ventilationsaggregat i flerbostadshus och att projektet ska ta fram utkast till metodik för att verifiera ventilationsaggregats funktion och energianvändning.



2 Genomförande

Projektet har genomförts med beaktande av Svensk Ventilations regler mot konkurrensbegränsande verksamhet. Projektet genomfördes med stöd av konsult, som extern oberoende projektledare: Tekn.dr. Per Kempe, PE Teknik & Arkitektur t.o.m. 2022-12-31 och från 2023-01-01 på RISE.

Totalt genomfördes under 2022 elva interna arbetsmöten via Teams där förutsättningar, metodik och vilka standarder samt vägledningar som är användbara diskuterades. Svensk Ventilation bjöd in sina medlemmar att delta i arbetet med framtagandet av utkast till metodik för stegvis verifiering av ventilationsaggregat med avseende på funktionskrav och energianvändning.

Tidigt genomfördes externa workshop med VVS-konsulter, byggentreprenörers internkonsulter, installatörer och fastighetsägare för att informera om projektet och få input från dem.

Under oktober 2022 genomfördes digitala workshops med olika inbjudna aktörer: fastighetsägare (BeBo), konsulter (EMTF) och vid två tillfällen med ventilationsinstallatörer där resultatet av arbetet presenterades, för att informera om hur den stegvisa verifieringen är tänkt att fungera samt få in synpunkter och önskemål på kompletteringar och förtydliganden.

Dessa Workshops har varit för att diskutera förutsättningar och metodik för verifiering av centrala ventilationsaggregat i flerbostadshus och vilka förtydligande de önskar för att öka användbarheten.

Detta projekt har genomförts under 2022. Slutredigering av rapporten genomfördes våren 2023, när projektledaren börjat som senior forskare på RISE.

2.1 Resultatspridning

Information om projektet Verifiering av centrala ventilationsaggregat i flerbostadshus ska spridas hösten 2023/ våren 2024 via Svensk Ventilation lunchseminarium, information på Svensk Ventilations hemsida, Svensk Ventilation rapport samt kortare artiklar i några av facktidningarna: Kanalen, Energi&Miljö, VVS-Forum, respektive Byggkoll (Svensk Byggtjänst) samt delar av resultatet kommer att presenteras på ROOMVENT 2024.

BeBo (Energimyndighetens nätverk för energieffektiva flerbostadshus) startade en Tekniktävling Bostads-FTX" 2 november 2023 och är intresserade av resultatet från detta projekt "Verifiering av centrala ventilationsaggregat i flerbostadshus".



3 Resultat

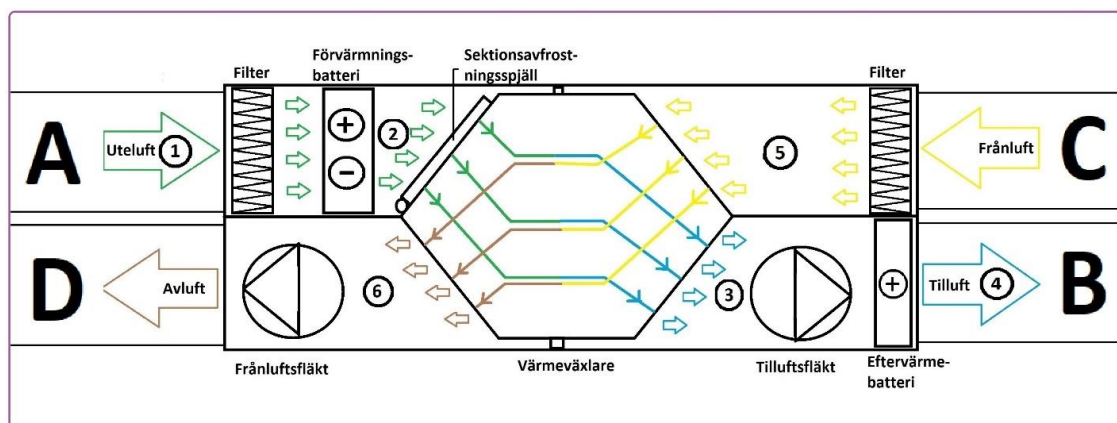
Metodiken för verifiering av ventilationsaggregats funktionskrav är att stegvis verifiera (tidiga skeden, projektering, relationshandling inför slutbesiktning samt vinterdriftfall) och mätningar som krävs för verifieringen ska förberedas i projekteringen, så att de får en korrekt placering.

Aggregatkörningar (beräkning av ventilationsaggregats funktion och energianvändning med av Eurovent tredjeparts certifierade program) ska utföras med realistiska förutsättningar (flöden, tryck specifikationer) i tidiga skeden och uppdatering i projektering när mer information finns tillgänglig för ventilationssystemet. Aggregatkörningen ska ge indata till byggnadsenergiBERÄKNINGEN.

Inför slutbesiktning, när relationshandlingarna tas fram, uppdateras aggregatkörningen till relationsaggregatkörning med det ventilationsaggregat som blev installerat samt med realistiska data för byggnadens ventilationssystem. Detta blir input till byggnadens relationsenergiBERÄKNINGEN. MånadsenergiER för delsystemen från relationsenergiBERÄKNINGEN är den beräkning som driften kan jämföra byggnadens uppmätta energier med.

Funktionskraven för ventilationsaggregat gäller för luftens tillstånd kring ventilationsaggregatet "A" – "D" samt ventilationsaggregatets omgivningstemperatur:

- A. Inkommande uteluft (Temperatur, relativ fuktighet, uteluftsflöde, undertryck i "A")
- B. Tilluft (Temperatur, relativ fuktighet, tilluftsflöde, övertryck i "B")
- C. Frånluft (Temperatur, relativ fuktighet, frånluftsflöde, undertryck i "C")
- D. Avluft (Temperatur, relativ fuktighet, avluftsflöde, övertryck i "D")



Figur

1 Principskiss ventilationsaggregat med de fyra tillstånden/ randvillkoren

Det som primärt krävs är SFP, Specific Fan Power (Svensk Ventilation, 2021) vid önskade luftflöden och tryck samt temperaturverkningsgrad (enligt EN308) vid önskade luftflöden och luftflöden vid luftflödesbalans. Detta har använts för verifiering av ventilationsaggregat till kontor de senaste 10 åren, för att verifiera att ventilationsaggregaten erhållit den funktion som beställts.



Bostadsaggregat erhåller en del kondensering och påfrysning när det är kallt ute vilket blir en stor utmaning. Kondenseringen i värmeåtervinningen och avfrostningen gör det svårt att bedöma dess påverkan på energi- och effektbehov, vilket komplicerar.

Det finns även indirekta värmebehov för ventilationsaggregatet på grund av värmeförluster från/till ventilationskanaler (Ute, Av, Till, Från) samt värmebehov på grund av luftflödesobalanser i lägenheter och ventilationsaggregat, som ger inläckande uteluft vilken behöver värmas upp av lägenheternas värmesystem. Därtill är det viktigt att ventilationsaggregatet erhåller önskad styrning samt avfrostningsfunktion.

Fläktel

Fläktelen för respektive fläkt kan mätas samt respektive luftflöde, så ventilationsaggregatets SFP kan beräknas. SFP är teoretisk summa av respektive fläkts totala tryckuppsättning dividerat med totalverkningsgraden för respektive fläkt.

Viktigt för SFP är de interna tryckfallen och de externa tryckfallen. Där de externa tryckfallen beror på designen av ventilationssystemet. Se "Rekommenderade SFP-definitioner med beräkningar och testmetoder", Svensk Ventilation 2021.

Eftervärmebehov

Eftervärmeenergin är enkelt att mäta, men betydligt mer komplicerad att bestämma teoretiskt, då den är beroende av luftflödena, luftflödesbalansen, önskad tilluftstemperatur, inkommande uteluftstemperatur, frånluftstemperatur samt frånluftsfukten som kan ge avfrostning när det är kallt ute.

Första steget är att verifiera torr temperaturverkningsgrad utgående från aktuella luftflöden och luftflödesbalans enligt SS-EN 308:2022. Vid mätning av temperaturer efter värmeväxlarna bör dessa mätas efter fläkten med korrektion för "fläktvärmen", för att reducera betydelsen av temperaturgradient efter värmeväxlaren.

Avfrostningen är beroende av typ av värmeväxlare, avfrostningsfunktion samt inkommande utetemperatur och frånluftens dagtemperatur ($T_{\text{från}}$, $RF_{\text{från}}$), vilken varierar med inkommande fukthalt i uteluften och variation i fuktalstring över dygnet i flerbostadshuset. Detta gör att det är svårt att bedöma vilken värmeanvändning avfrostningsfunktionen ger upphov till. Ett sätt att komma runt detta är att förvärma med exempelvis geoenergi, så att frånluftsfukten inte kommer att kondensera och frysa i värmeväxlaren, så avfrostningsfunktionen aktiveras. (Kempe 2021)

Indirekt värmebehov

De indirekta värmebehoven beror på värmeförluster från/till ventilationskanaler (Ute, Av, Till, Från) samt värmebehov på grund av luftflödesobalanser i lägenheter, som ger inläckande uteluft vilken behöver värmas upp med lägenheternas värmesystem. För att minimera luftflödesobalanserna behövs mycket goda förutsättningar att mäta och justera luftflödena med litet fel i byggnadens ventilationssystem.



Styrning

Det är viktigt att verifiera att styrningen av ventilationsaggregatet fungerar som avsett dvs. jämföra loggade data över styrsignaler, temperaturer, flöden, tryck, verkningsgrad med projekterad/ önskad funktion, för att säkerställa att det installerade ventilationsaggregatet har erhållit korrekt funktion. Det finns andra säkerhetsfunktioner för ventilationssystemets som vi inte går in djupare på: "Fläkt i drift" - skydd mot brandgasspridning; frysskydd för eftervärmebatteri vilket stoppar fläktarna; rökdetektorer vilka vid aktivering oftast by-passar filter och värmeväxlare.

För att få "rätt" funktion är det viktigt att ventilationsaggregatet beräknas och driftsätts korrekt

Det behövs ofta bättre och mer realistiska indata till aggregatkörningarna, vilka uppdateras till relationsaggregatkörning och blir underlag till relationsenergiBERÄKNINGEN för byggnaden.

En beskrivning krävs av vilka givare, mätningar, som behöver projekteras in i projekteringen och verifieras innan slutbesiktningen.

Underlag med projekterade värden överlämnas innan injustering/igångkörning, så att rätt underlag används vid injusteringen.

För att få "rätt" funktion är det viktigt att ventilationsaggregatet driftsätts korrekt. Ventilationsaggregat har många inställningsmöjligheter, så det är viktigt att rätt inställningar görs och även en första inställning av avfrostningsparametrar.

Energioptimering av ventilationsaggregatets under den första vintern/ uppvärmningssäsongen med optimering av avfrostningsfunktion.

Detta för att öka möjligheten att nya eller renoverade byggnader bättre uppfyller sin beräknade energiprestanda och öka förståelsen för detaljernas betydelse i energieffektiva byggnader.

Ett par vanliga avfrostningsfunktioner

Exempel på avfrostningsfunktioner eller funktioner för att begränsa kondensering och påfrysning:

- Förvärmning av inkommande uteluften med bergvärme, fjärrvärme eller elvärme till -1 °C till -4 °C för att undvika kondensering/ påfrysning och behov av avfrostning.
- Sektionsavfrostning som styrs av tryckfallet över frånluftssidan av värmeväxlaren. Vid avfrostning kan värmeåtervinningen halveras med ökat behov av eftervärme.
- Sektionsavfrostning styrd av utomhustemperatur med ökat behov av uppvärmning, vilket kan kombineras med tilluftsflödesminskning, vilket ökar rumsuppvärmningen.
- Sektionsavfrostning styrd av utomhustemperatur och frånluftens luftfuktighet med ökat behov av uppvärmning, vilket kan kombineras med flödesminskning av tilluften, vilket ökar rumsuppvärmningen. Frånluftens dagtemperatur beräknas och jämförs med beräknad VVX-plåttemperatur för att kontrollera avfrostningen.

Vid mycket kallt klimat kan en kombination av förvärmning och sektionsavfrostning behövas.



4 Diskussion

I energieffektiva byggnader måste byggnadens olika system analyseras med avseende på funktion och energianvändning samt stegvis verifieras i byggprocessens olika skeden, så att önskad energiprestanda inte slarvas bort i projektet.

Energieffektivt flerbostadshus använder ca 60 kWh/m²,år. Frånluften i flerbostadshus i Mälardalen innehåller runt 50 kWh värme/m²,år, så det är viktigt med korrekt funktion på värmeåtervinningen, för att kunna föra över huvuddelen av värmen i frånluften till tilluften. Fukten i frånluften skapar en utmaning när utetemperaturen går mot noll med risk att fukt kondenserar i värmeväxlaren samt när det är kallare än några minusgrader ute att fukten fryser i värmeväxlaren. Detta kräver avfrostningsfunktion, för att återfå önskad funktion för ventilationsaggregatet. Det gäller således att ha god kontroll på ventilationsaggregatets funktion samt verifiera att det fungerar som tänkt.

Det som är enkelt att beräkna och verifiera är fläktarnas SFP, om korrekt indata till aggregat-körningen har använts. Eftervärmningen är enkel att mäta, men svårare att beräkna då den beror på tilluftstemperaturen, luftflödesbalansen och det extra värmebehovet under avfrostning, vilket beror på en mängd olika faktorer.

Temperaturverkningsgraden för ventilationsaggregatets värmeväxlare kontrolleras när det är några plusgrader ute, så att kondensering inte förekommer i värmeväxlaren.

Boverket har våren 2023 ett antal remisser för byggregler föreslagna att gälla från 2024-07-01, vilka bygger på verifierbara funktionskrav. Här finns ett stort behov för branschen att ta fram metoder för att verifiera de olika funktionskrav som byggreglerna kommer att omfatta. Vissa av dessa metoder finns redan, medan andra måste tas fram de närmaste åren.

Om fastighetsägare är intresserade av att få en uppmätt energianvändning som ligger nära den beräknade/ önskade energianvändningen behövs en ökad kvalitétkontroll genom hela byggprocessen där man exempelvis använder metoder att stegvis verifiera funktionskrav för olika delsystem. Stegvis är för att säkerställa att man fortfarande i aktuellt byggskede har en möjlighet att uppfylla funktionskraven. Detta gäller både nyproduktion och renovering till bra energiprestanda.

Ur samhällsperspektivet är det inte acceptabelt att den uppmätta värmeanvändningen är ca 50 % högre än den beräknade i många nya byggnader. 2018 kunde man se i några större analyser att 75 % av nyproduktionen använde mer energi än beräknat. Vi måste bli betydligt bättre på att analysera detaljerna och verifiera funktionskrav, erfarenhetsåterföring och kunskapsuppbyggnad, så att avvikelserna i nya projekt minskar. Ett mål med fokuserat arbete och ökad kompetens i branschen kan vara att endast 10 % av nyproduktionen ska använda mer energi än beräknat efter år 2030.

Sveby bör kunna inarbeta stegvis verifiering av ventilationsaggregat som exempel till Sveby Energiverifikat. Värmeanvändning måste normeras till normalt brukande och där måste bland annat värmeförluster i kanalsystemet beaktas, som energiberäkningsprogram normalt sett inte tar hänsyn till. Även fuktinnehållet i frånluften har stor betydelse när det är minusgrader ute, där påfrysning börjar betydligt tidigare vid RF 30% än RF 20%.



5 Slutsatser

För att minska skillnaderna i energieffektiva flerbostadshus mellan beräknad/ önskad funktion och energianvändning samt uppmätt och verifierad funktion och energianvändning måste kvalitén höjas på beräkningar och det utförda genom hela byggprocessen. Arbetsättet/ metodiken måste ändras för att bättre kunna analysera och verifiera detaljer från tidiga skeden till byggnad i drift (åtminstone fram till garantibesiktning), för byggnadernas olika delsystem.

Ett ändrat arbetsätt för ventilationsaggregatets innebär att man stegvis verifierar funktion och energianvändning. Där aggregatkörningar behöver mer realistiska indata i projektering, bygghandling samt relationshandling. Samt tillse att ha bättre mätningar för verifieringen av funktion med mätningar inför slutbesiktning samt i drift. Idag saknas ibland luftflödena och avluftstemperaturen i driftbilder och loggning, vilka behövs för analys av funktioner och energianvändning för att verifiera ventilationsaggregaten.

Det behövs en ökad kvalitet och noggrannhet i installationen och idrifttagandet av ventilationsaggregat. Fuktalstring i flerbostadshus ger en utmaning med att stegvis verifiera funktioner och energianvändning för ventilationsaggregat. Fuktalstringen påverkar avfrostningen under vintern, som påverkar värmebehovet och beror på brukarna (matlagning, hygien, tvätt, växter och fuktavgivning från personer), vilket kan vara normal användning. Under första åren kan även "byggfukt" bidra till fuktalstringen i flerbostadshuset, vilket behöver beaktas.

För att säkerställa önskade funktioner och driftkvalité krävs en korrekt driftsättning av luftbehandlingsaggregaten, personen som utför denna idrifttagning ska ha verifierad kunskap genom erfarenhet eller relevant utbildning för att kunna bedöma mätdata och att resultatet på utfört arbete är korrekta.



6 Referenser

BTI (2023): Branschstandard Teknisk Isolering, <https://tekniskisolering.se/bti/>

Boverket (2018a): Utvärdering av lågenergibyggnader – Fallstudie 2017, Energimyndigheten och Boverket

Boverket (2018b): Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår - Boverket

Boverket (2023): <https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/mojligheternas-byggregler/pagaende-regelarbete/>

Ecodesign <https://www.svenskventilation.se/publikation/guidance-document-on-ecodesign-requirements-for-ventilation-units/>

Eurovent <https://www.svenskventilation.se/om-oss/eurovent/eurovent-certification/>
<https://www.svenskventilation.se/publikation/luftbehandlingsaggreat-andra-utgavan-eurovents-handbok/>
<https://www.svenskventilation.se/publikation/luftlackage-i-luftbehandlingsaggreat-eurovent-6-15/>

Kempe, P. (2019): Förstudie: Stegvis verifiering av delsystem
http://www.laganbygg.se/avslutade/stegvis-verifiering_228

Kempe, P. (2020): BeBo/KTH/SBUF-Förstudie - Analyser av energieffektiva flerbostadshus funktioner och energianvändning, SBUF-rapport 13890

Kempe, P. (2021): Geotermisk förvärmning – Inventering, analys av mätdata vinter och sommar samt dimensioneringsråd, <https://www.bebostad.se/media/5225/2021-05-geotermisk-f%C3%B6rv%C3%A4rmning-av-ftx-inventering-analys-och-rekommendationer.pdf>

Kempe (2022): SBUF/LÅGAN-projekt Glappet mellan projekterad och uppmätt energiprestanda, SBUF 14025; https://laganbygg.se/avslutade/glappet-mellan-projekterad-och-uppmatt-e_282

Levin, P., et al (2018): Energiprestanda i SABO Kombohus Bas 2015 - 2017 Energimyndigheten

SS-EN 308:2022 Värmeväxlare - Testförfaranden för att fastställa prestanda på värmeåtervinnare för luft till luft

SS-EN 1886:2007 Luftbehandling - Luftbehandlingsaggreat - Mekaniska egenskaper

Stockholm Stad (2019): Norra Djurgårdsstaden Hållbarhetsredovisning 2018.

https://vaxer.stockholm/globalassets/omraden/-stadsutvecklingsomraden/ostermalm-norra-djurgardsstaden/informationsmaterial/broschyr-och-dokument/hallbarhetsredovisning_2018_20190826.pdf



Stockholm Stad. (2020): Norra Djurgårdsstaden Hållbarhetsredovisning 2019.

https://vaxer.stockholm/globalassets/omraden/-stadsutvecklingsomraden/ostermalm-norradjurgardsstaden/hallbar-stadsutveckling/resultat-2019/hallbarhetsredovisning_norradjurgardsstaden_2019.pdf

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

Svensk Ventilation (2012): <https://www.svenskventilation.se/publikation/verkningsgrad-varmevaxlare/>

Svensk Ventilation (2021): <https://www.svenskventilation.se/2021/11/rekommenderade-sfp-definitioner-med-berakningar-och-testmetoder/>



Bilagor

I bilagorna ges exempel på vad som kan skapa avvikelser

Bilaga 1 Hög frånluftsfukts påverkan på eftervärmebehovet när kallt ute

Bilaga 2 Eftervärmebehov för olika typer av avfrostningsfunktioner

Bilaga 3 Beräkningar idealisk motströmsvärmväxlare

Bilaga 4 Exempel på fuktalstring

Bilaga 5 Avvikelser som påverkar flerbostadshusets/ventilationens värmeanvändning

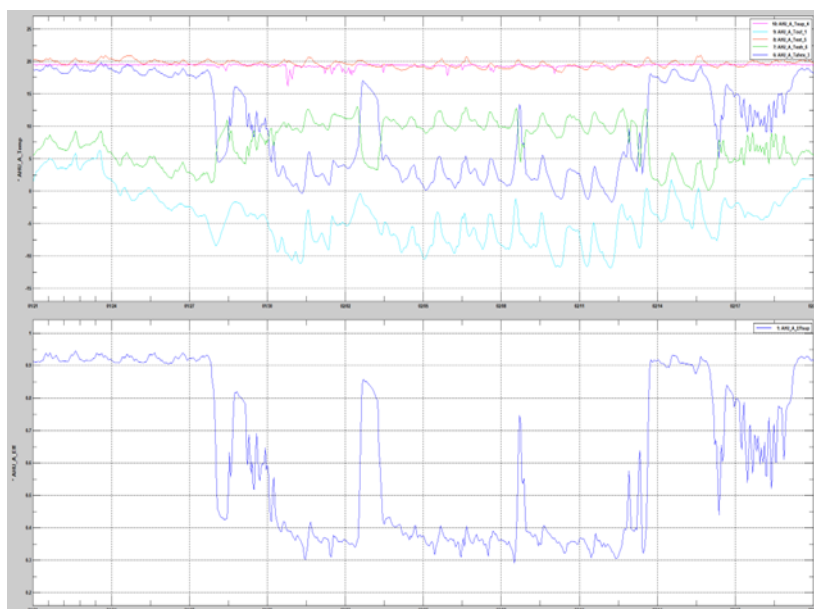
Bilaga 6 Exempel på funktionskrav för VV/VVC-system

Bilaga 7 Eurovent certifiering och Ecodesign



Bilaga 1 Hög frånluftsfukts påverkan på eftervärmebehovet när kallt ute

I SBUF14025/LÅGAN projekt analyserades bland annat mätdata från jan/feb 2021 för ett stort antal ventilationsaggregat, när det var kallt ute. Nedan visas mätdata från ett ventilationsaggregat i ett nyrenoverat flerbostadshus, vilket troligast har haft en hög fuktalstring (RF-mätning frånluft saknas och finns ytterst sällan i ventilationsaggregat i flerbostadshus), och flerbostadshuset hade hög varmvattenanvändning.

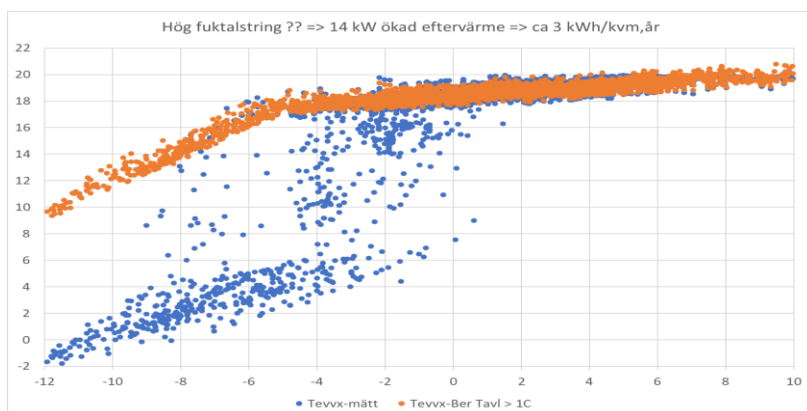


Luftflödesbalans är 0,82.

Vilket totalt för flerbostadshus innebär ca +5 kWh/ m²Atemp och år.

Temperaturverkningsgraden på tilluftssidan var mellan 30 och 40 procent under en längre period, vilket är lågt.

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



Temperaturen (blå prickar) efter värmexlaren är ca 12°C lägre än den teoretiska (orange prickar) temperaturen en stor del av tiden och med luftflöde på 1 m³/s ger ca 14 kW större eftervärmebehov, vilket motsv. ca 3 kWh/ m²Atemp på årsbasis. Detta extra effektbehov kan bidra till att öka byggnadens dimensionerande värmeeffektbehov (abonnemangskostnad).



Bilaga 2 Eftervärmebehov för olika typer av avfrostningsfunktioner

Den stora utmaningen med att verifiera (centrala) ventilationsaggregat i flerbostadshus är fuktalstringen, vilken påverkar avfrostningen som påverkar värmebehovet. Fuktalstringen beror på brukarna (matlagning, hygien, tvätt, växter och fuktavgivning från personer).

För att ge en uppfattning av storleksordningen på eftervärmebehovet redovisas beräkningar av några enkla teoretiska avfrostningsfunktioner utgående från SMHI/Sveby klimatdata för Bromma.

Tabell 1 i bakgrundstexten visar resultat av byggnadsenergiberäkning med olika luftflödesbalanser och tilluftstemperaturer. Eftervärmebehovet och totalt värmebehov är känsligt för luftflödesbalans, tilluftstemperatur, frånluftens dagtemperatur, utetemperaturen samt avfrostningsmetod.

Överslagsberäkningar för att se storleksordningen för ventilationsaggregats eftervärmebehov med 85% temperaturverkningsgrad, luftflödesbalans, luftflöden 1000 l/s, frånluftstemperatur +22°C, tilluftstemperatur +19°C samt uteluftstemperatur för Bromma/ Stockholm enligt Sveby/SMHI. Ventilationsaggregatet betjänar 2800 m².

Om flerbostadshuset inte skulle ha någon fuktalstring, så att ventilationsaggregatet kan ha full återvinning ger då att eftervärmningen får 1400 gradtimmar, vilket ger 1680 kWh eftervärme => 0,6 kWh/m²,år

Teoretisk avfrostningsfunktion som min-begränsar avluftstemperaturen till +1°C i energiberäkning ger då att eftervärmningen får 3500 gradtimmar, vilket ger 4200 kWh eftervärme => 1,5 kWh/m²,år

Avfrostningsfunktion som sänker värmeåtervinningen i två steg om 20% vid +1°C och -9°C, vilket ger återvinningsgraderna 85%, 68% resp. 51%. Denna teoretiska funktion att begränsa påfrysning ger då att eftervärmningen får 10800 gradtimmar, vilket ger 13000 kWh eftervärme => 4,7 kWh/m²,år

Om det skulle finnas bra möjligheter för förvärmning av inkommen uteluft med geoenergi så minskar eftervärmebehovet till ca 200 gradtimmar, vilket ger ca 250 kWh eftervärme => 0,1 kWh/m²,år

Överslag nyttjande BeBo-rapporten om Geo-förvärmning (Kempe 2021) med bra dimensionerad förvärmning bör fläktelen öka med ca 0,1 kWh/m²,år samt pumpel till förvärmning ca 0,3 kWh/m²,år och pumpel till förkylning ca 0,15 kWh/m²,år. Drift av pumpen under sommaren ger förkylning av ventilationsluften (återladdning), så att man kan tillföra sval tilluft till lägenheterna. Vilket ger något lägre innetemperatur i lägenheterna under varma somrardagar.

Den stora besparingen med förvärmning är att man sparar värmeeffekt (abonnemangskostnad).



Bilaga 3 Beräkningar ideal motströmsvärmväxlare

Beräknad idealisk motströmstemperaturverkningsgrad vid olika luftflödesbalanser visar på hur viktig luftflödesbalansen är för värmeåtervinningens funktion.

Tempverkn.grad vid balans \ Luftflödesbalans		Tilluftsflöde / Frånluftsflöde			
		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%

Värmväxlare i flerfamiljshus har normalt en verkningsgrad mellan 80 % och 90 % vid luftflödesbalans och då kommer $T_{plate} = 0\text{ °C}$, VVX-plåtens temperatur, att ge en utomhuslufttemperatur på -1 °C

till -3 °C , främst beroende på frånluftsverkningsgraden och den faktiska luftflödesbalansen.

VerknFrån \ $T_{Från}$	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

Uteluftstemperatur när VVX-plåten blir 0 °C vid olika frånluftsverkningsgrader och ideal motströmsvärmväxlare.

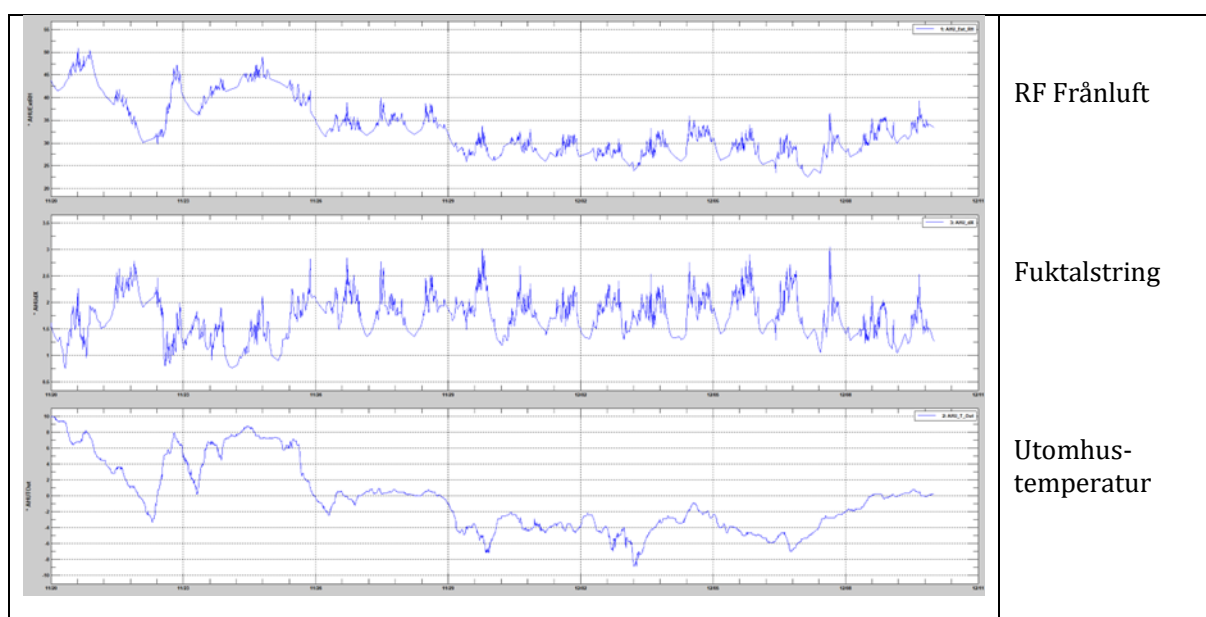
Dagtemperatur och frånluftsRF vid olika uteluftstillstånd samt 2 g/kg luft fuktalstring.

Utomhusluft	0°C, 80% RF	-5°C, 80% RF	-10°C, 80% RF	-20°C, 80% RF
Fukthalt utomhusluft	3,0 g/kg luft	2,0 g/kg luft	1,3 g/kg luft	0,5 g/kg luft
Fukthalt i frånluft med fuktalstring 2,0 g/kg luft	5,0 g/kg luft	4,0 g/kg luft	3,3 g/kg luft	2,5 g/kg luft
Relativ luftfuktighet 21°C frånluft	32,5 %RH	26,0 %RH	21,5 %RH	16,3 %RH
Frånluft dagtemperatur	3,9°C	0,8°C	-1,6°C	-4,9°C



Bilaga 4 Exempel på fuktalstring

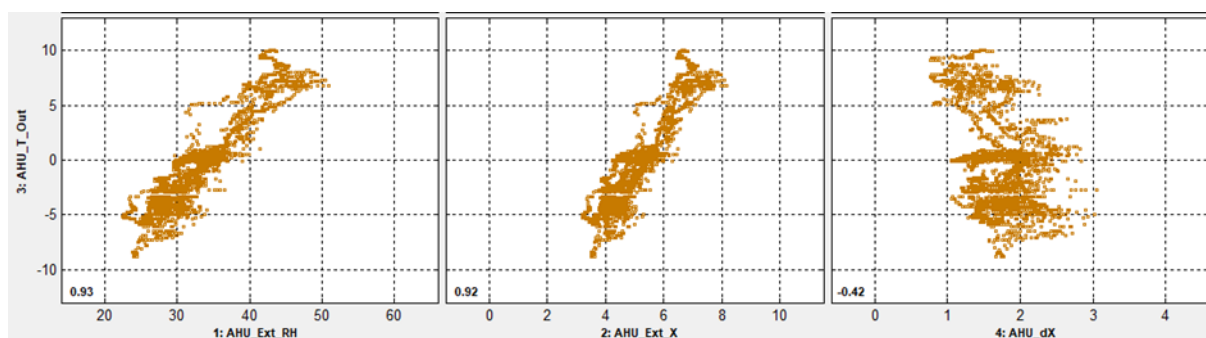
Fuktalstringen i flerbostadshus är vintertid viktig för ventilationsaggregats funktion och energianvändning. I figurerna ges exempel på hur fuktalstringen varierar över dygnet och är lite lägre på tidig morgon (1,2 – 1,5) och högre framåt kvällen (2,4 – 3,0 g fukt/kg luft).



RFFrån Vs Tute

Fuktinnehåll Frånluft vs Tute

Fuktalstring vs Tute

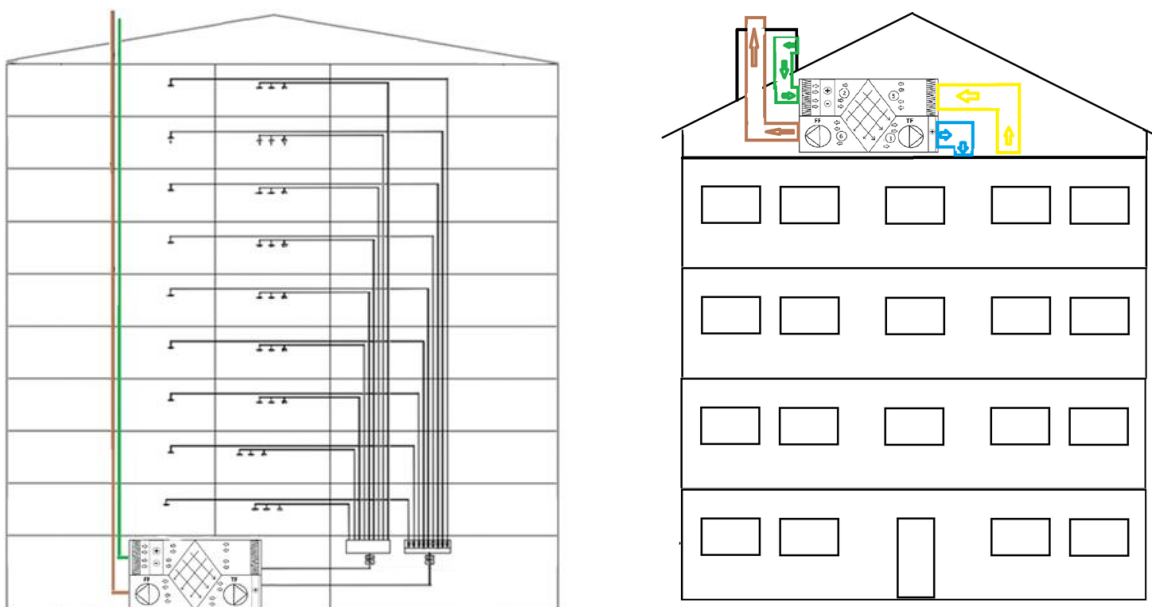




Bilaga 5 Avvikelser som påverkar flerbostadshusets/ventilationens värmeanvändning

En del av orsakerna till avvikelser mellan beräknad och uppmätt energianvändning för flerbostadshus som berör ventilationen beror på bristfälliga beräkningar och analyser i tidiga skeden av fläktrum och ventilationsschakt med avseende på placering och storlek, för att kunna erhålla små värmeförluster, låga tryckfall och bra förutsättningar att mäta luftflödena med litet fel.

- För att ha god kontroll på luftflödesbalansen för varje lägenhet behöver man kunna mäta summa frånluftsflöde respektive summa tilluftsflöde med god noggrannhet, vilket betyder att mätförutsättningar (raksträckor) behöver vara uppfyllda. Var finns plats att placera luftflödesmätningarna med rätt förutsättningar för respektive lägenhet?
- För att erhålla små värmeförluster från ventilationskanalerna bör BTI (Branschstandard teknisk isolering) rekommendationer följas. Detta innebär att uteluftskanaler i Stockholmsområdet som går innanför klimatskärmen behöver ha 12–15 cm isolering samt att det finns utrymme för korrekt montage. Uppfylls inte detta kommer värmeförlusterna att öka samt om kanaldimensioner minskas något kommer även fläktelen och ventilationsljudet att öka. Så se till att erhålla tillräckligt stora ventilationsschakt i energieffektiva byggnader och fläktrum.



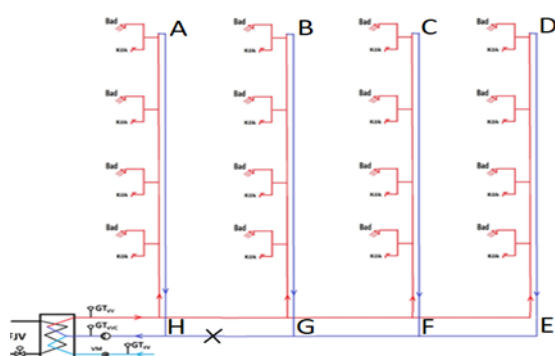
I energiberäkningar glöms oftast bort att ta hänsyn till värmeförlusterna från/till ute- och avluftskanaler vilka om de går genom byggnaden och har endast kondensisolering kan erhålla förluster runt 3 kWh/ m²Atemp och år beroende på flerbostadshusets förutsättningar, men med isolering enligt BTI blir de värmeförlusterna runt 1 kWh/m²Atemp och år. Räkna på Ert utförande.

Ventilationsaggregatet placerat på vinden ger små värmeförlusterna från ute- / avluftskanalerna.



Bilaga 6 Exempel på funktionskrav för VV/VVC-system

Funktionskrav för VV/VVC-system ska sättas i tidigt skede och metod att verifiera kraven ska anges. Värmeförluster från VV/VVC-systemet ska begränsas för att minska energianvändning, minska risken för varmt kallvatten, etcetera.



Varmvattencirkulation (VVC) krävs i de flesta byggnader och Boverkets byggregler ställer krav på:

- Väntetid varmvatten bör vara max 10 sek (Före 2006 max 30 sek)
- Lägsta temperaturen i VV/VVC-system 50°C (Legionellarisk)
- Högsta temperaturen i tappställe är 60 °C (Skällningsrisk)

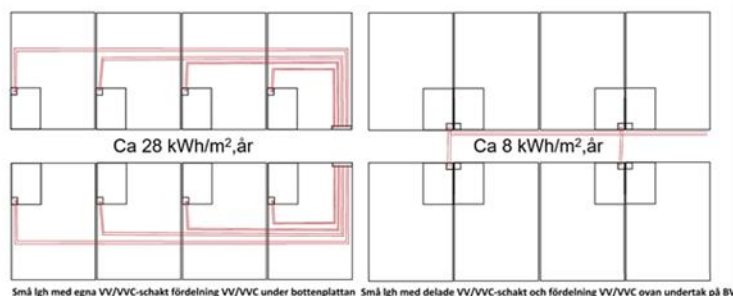
Detta innebär att temperaturen i VV/VVC-rören är ca 55 °C 8760 tim/år, så värmeförlusterna från VV/VVC-system är större än värmeförluster från andra rörsystem.

Arkitektens planlösning och schaktplaceringar ger grundförutsättningen för hur bra byggnaden kan bli. Överslagsberäkning i tidigt skede är viktigt.

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

- Värmeförlust från oisolerat VV/VVC-rör (kopplingar mm.) runt 30W/lpm
- Rör med 40 mm tjock isolering ca 4 W/lpm (beror på rördimension / rörtyp)
- Viktat medel 6W/lpm, för överslagsberäkning i tidigt skede, vilket ger en värmeförlust på ca 50 kWh/lpm,år

Figuren visar hur fel det kan bli om man inte räknar på VV/VVC-systemet förlusten och optimerar.



Små lgh med egna VV/VVC-schakt fördelning VV/VVC under bottenplattan Små lgh med delade VV/VVC-schakt och fördelning VV/VVC ovan undertak på BV

För studentboendet användes VVC-schablon 3 kWh/m²,år

Med överslagsberäkning i tidigt skede erhålls tidig optimering av planlösning och VV/VVC-systemet, för låga VVC-förluster och i projekteringen används tänkta rör, rördragning och isolering i beräkningen.

Inför slutbesiktningen bör VV/VVC-temperaturer och VVC-värmeförlust mätas samt återkopplas till tidigare skeden i deras byggprocess.



Bilaga 7 Eurovent certifiering och Ecodesign

Eurovent-certifiering

Eurovent Certita Certification (ECC) är det ledande programmet för tredjeparts certifiering på den europeiska marknaden av ventilations- och kylprodukter. Ventilationsaggregat är ett av de äldsta mest etablerade programmen. De flesta aggregatfabrikaten som säljs i Sverige är anslutna. Som oberoende part testar ECC produkter för att kontrollera att deras prestanda och kapacitet stämmer överens med tillverkarens angivna uppgifter. Certifieringarna sker både enligt europeiska och internationella normer. Certifieringen bygger på återkommande

- Laboratorieprov under standardförhållanden och nominella driftpunkter
- Revisionsbesök hos tillverkarna
- Granskning av produktokumentation och körningar av produktvalsprogram för konfigurerade produkter

Denna certifiering kan därmed ses som en kvalitéstämpel att levererat ventilationsaggregats prestanda kommer stämma överens med den datakörning som görs med realistiska indata.

Eco-design

Ecodesign för stora ventilationsaggregat $>1000 \text{ m}^3/\text{timme}$ (278 l/s) är främst för hög energieffektivitet.

Förordningen ställer krav på tillverkare för att de ska kunna CE-märka sina produkter. Inom ventilationsbranschen är det främst värmeåtervinnarens torra temperaturverkningsgrad (motströms VVX $>73\%$) och fläktars specifika elanvändning SFP_{int}.



Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

*E2B2 är Energimyndighetens program där IQ Samhällsbyggnad är koordinatör.
Läs mer på www.E2B2.se.*

