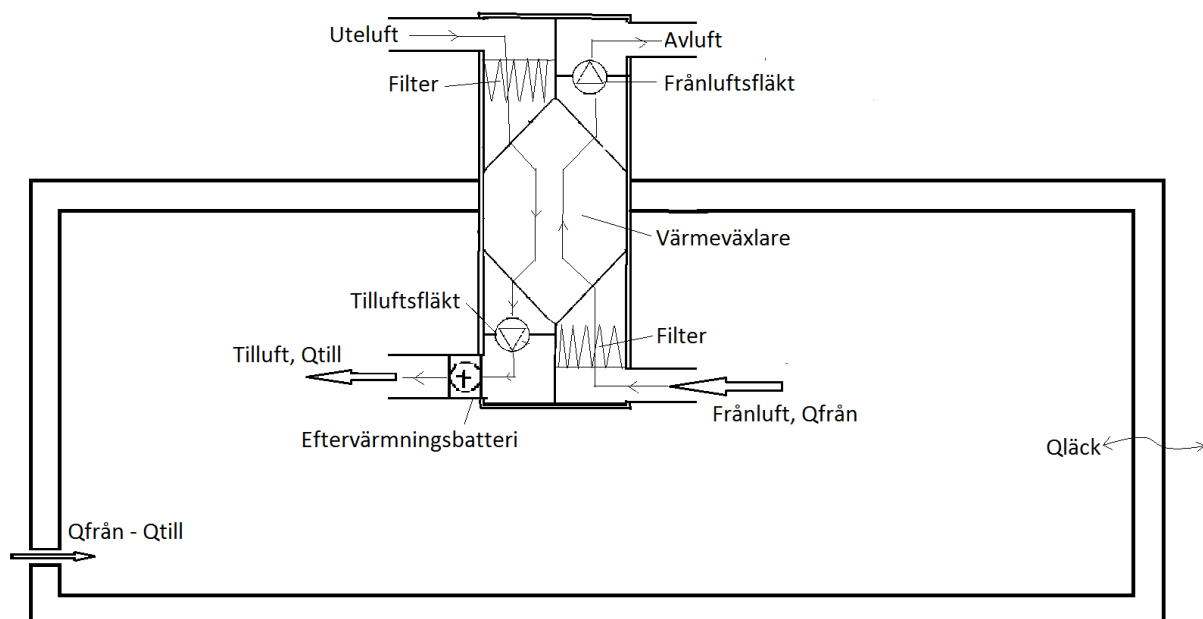


# Installationssystem i energieffektiva byggnader - Förstudie

Slutrapport, november 2013

Per Kempe, Projektengagemang



## Förord

Denna rapport är slutrapport för SBUF-projektet *”Installationssystem i energieffektiva byggnader - Förstudie”*, som finansierat av SBUF och Skanska Installation AB. Rapporten omfattar dels egen erfarenhet från felsökningar de senaste 15 åren, men även analyserar av andras problem samt relevant forskning.

Projektledare har Per Kempe, Projektengagemang Energi & klimatanalys AB varit och arbetet påbörjades, när Per jobbade på Skanska Installation AB och avslutades, som extern konsult till Skanska på Projektengagemang Energi& Klimatanalys AB.

Referensgruppen har bestått av Professor Ivo Martinac, KTH, Installations- och Energisystem och Rolf Kling VVS Företagen.

Del av materialet har även presenterats på Passivhus Norden 2013 i Göteborg, 15-17 okt.

Danderyd 2013-11-26

Per Kempe

## Sammanfattning

Energieffektiva byggnader har mycket låga värmeeffektbehov vilket leder till att även små fel och brister märks betydligt mer än i en BBR-byggnad (med max tillåten energianvändning enligt BBR). Dessa små fel och brister kan bero på att man inte är van att ta hänsyn till dessa, då de aspekterna har liten betydelse i en BBR-byggnad. Det finns ett stort behov av att i detalj beskriva, undersöka och analysera vad som händer i installationssystemen och byggnaden, för att ge konsulter och entreprenörer från installations- och byggbranschen ökade kunskaper om installationer i energieffektiva byggnader och dess betydelse för bland annat energiprestandan. I rapporten går jag igenom ett antal aspekter, som har varit del av analyserna av avvikelser under mina 15 år med felsökningar, drift och energioptimeringar samt analyser av andras problembeskrivningar.

Välisolerade och lufttäta byggnader har generellt lågt bakgrundsljud, dvs. de är mycket tysta. Ljud från installationerna framträder mer och kan ge klagomål trots att man uppfyller ljudkraven. För att kunna erhålla låga ljudvärden måste fläktarna gå lugnt, lufthastigheten närmast donen vara låg, inga vassa hörn, skruvar, etc. i **tilluftskanalsystemet**.

Vanligtvis önskas ett litet underskott på tilluft, för att erhålla ett undertryck i byggnaderna, vilket minskar risken för att fuktig inneluft läcker ut i klimatskärmen och kondenserar i konstruktionen eller på vindsutrymmen. Vanligtvis har man **luftflödesbalansen** 0,90 – 0,95, vilket i exempel i rapporten är 40 l/s i frånluftsflöde och ett tilluftsflöde på 36-38 l/s.

Vid **större obalans i ventilationsflödena i ett radhus** (tilluftsflöde/frånluftsflöde=70%), ökar värmebehovet i rummen kraftigt. I exemplet i kap 3.3.1 med  $T_{ute} = -15^{\circ}\text{C}$  ökar värmebehovet, pga. kall uteluft läcker in i rummen, med ca 40 % av den installerade värmeeffekten. Om värmesystemet inte är överdimensionerat kommer värmen inte att räcka för att värma upp byggnaden, när det blir kallt ute. Vid luftuppvärmning innebär det att 40 % mer värmeeffekt ska bäras ut med 70 % av projekterat tilluftflöde, vilket gör att temperaturhöjning måste vara dubbelt så stor som projekterat.

För en **lägenhet i ett större lamellhus** med samma specifika lufttäthet som för radhuset kommer inte att få problem med värmeeffektbrist men stora undertryck om man har en lite större obalans på luftflödena, då man har en betydligt mindre totalt läckluftflöde pga. mindre omslutningsarea.

**Spiskåpor** kommer att ge undertryck i lägenheterna om man inte kan få in ersättningsluft och **spisfläktar** som har betydligt starkare motor och större luftflöde ger stora undertryck i lägenheterna om man inte kan få in ersättningsluft.

**Minimera kanallängderna** för avlufts- och uteluftskanalerna annars finns en risk att deras värmeförluster är runt 10 % av den installerade värmeeffekten.

Kanalsystem i lägenhet med övertempererad tilluft bör ha **ca 50 mm isolering** för att värmen skall komma fram till de rum som skall ha värmen.

**Avfrostningsfunktionen** begränsar värmeåtervinningen samt kostar värmeenergi samt gör att man behöver betydligt mer installerad värmeeffekt för att kompensera för den lägre återvinningsgraden när det är kallare än exempelvis  $-5^{\circ}\text{C}$ .

I ventilationsaggregat med till- och frånluft med värmeåtervinning, kommer under den kalla årstiden frånluftstemperaturen att sjunka när den passerar värmeåtervinningen och den värme frånluften avger upptas av tilluften som ökar tilluftens temperatur. När då frånluftstemperaturen närmar sig daggpunkten kommer fukt i frånluften börja kondensera i värmeväxlaren och om avluften erhåller en temperatur vid noll är det risk att det fryser i värmeväxlaren. För att undvika att värmeväxlaren blir en isklump finns det olika typer av avfrostningsfunktioner med olika komplexitetsgrad och kostnad.

Avfrostningsfunktionen begränsar värmeåtervinningen samt kostar värmeenergi samt gör att man behöver betydligt mer installerad värmeeffekt för att kompensera för den lägre återvinningsgraden när det är kallare än exempelvis  $-5^{\circ}\text{C}$ . **Förvärmning** av ventilationsluften med en lågtemperad "värmekälla", exv. borrhål, reducerar behovet att eftervärma tilluften. Det förekommer att man använder fjärrvärmereturen för att förvärma uteluften, men man får analysera hur det påverkar fjärrvärmekostnaden. Speciell hänsyn till frysrisker måste tas.

**Frånluftsvärmepumpar** ger en bra basproduktion av värmeenergi för värme och varmvatten, för man har hela året tillgång till  $+20^{\circ}\text{C}$  frånluft, som kan avkylas till åtminstone  $+5^{\circ}\text{C}$ . Hur mycket värmeenergi det blir beror på vilket frånluftsflöde som finns. Energimängden man får ut med FVP är ungefär dubbla mot den varmvattenenergi som behövs för ett år i en bostad. Det är viktigt att värmeåtervinningsbatteriet, vätskekretsen och värmepumpen är dimensionerade för den värmeenergi man kan återvinna ur frånluften.

För att minska kostnaden för **abonnerad värmeeffekt** är det viktigt att analysera hur man kan erhålla en god funktion hos installationssystemen, när det är kallt ute.

**Distributionsförlusterna** beror på fyra saker: temperaturdifferens, arean (rörlängden), isoleringens värmemotstånd på rören och drifttiden. Drifttiden kan reduceras i lokaler där exempelvis komfortkyla endast primärt behövs under kontorstid.

Erforderlig **temperaturnivå** på värmesystemet beror på vilken typ av värmesystem som byggnaden har installerat, dvs. ju större värmeavgivande yta värmesystemet har desto lägre framledningstemperatur kan användas.

Värmeförluster från VV/VVC-distributionsrör kan minskas med hjälp av **arkitekten**. Lämpligt placerade kök och badrum ger korta VV/VVC-rördragningar, vilket minskar värmeförlusterna.

**Lägenhetsvisa fjärrvärmeväxlarcentraler** är ett sätt att minska distributionsförluster med mindre mängd distributionsrör i byggnaden, men ökar antalet servicepunkter och värmeförlusterna från fjärrvärmeväxlarcentralen måste analyseras.

Enligt remiss på ändring av nya BBR till 2014 skall man vid gemensamt schakt för VV/VVC och KV **visa att kallvattnet inte blir uppvärmt till mer än till 23 °C** när kallvattnet har varit stillastående i 8 timmar. För att analysera detta kan man beräkna uppvärmningsförloppet för en 28 mm kopparrör med 16 °C kallvatten i ett schakt som har en temperatur av 26 °C. Enligt VVS Företagens Teknikhandbok är kallvattnet mellan 5 °C och 18 °C.

Beräkningsmässigt begränsa kallvattnets uppvärmning till 23 °C erfordras 80 mm rörisolering ( $\lambda = 0,034$ ), men med en högpresterande rörisolering ( $\lambda = 0,023$ ) räcker det med 40 mm.

I **driftkorten** skall de olika delarnas funktion och styrning beskrivas, för att vara underlag vid projekteringen. Vid idrifttagning verifieras de olika funktionerna i driftkorten samt de delar som inte kan testas vid idrifttagningen provas under första året.

Om man endast har en **energiuppföljning** (månadsvärden) på fastighetsmätarna, kan man i efterhand endast konstatera vilken energianvändning man erhöll, men man förstår inte varför. Har man energiuppföljning på den energi som olika delsystem använder kan man se att ett delsystem använder för mycket energi, men troligast inte orsaken. Med en detaljerad energi- och driftuppföljning blir det möjligt att analysera hur olika system fungerar enskilt och tillsammans vilket leder till en djupare kunskap. Med denna som grund kan man ge förslag på hur problem i installationer som försämrar energiprestandan och installationernas funktion kan åtgärdas.

# Innehållsförteckning

Förord.....	2
Sammanfattning.....	3
Innehållsförteckning.....	6
Nomenklatur .....	8
1 Inledning.....	9
2 Energieffektiva installationslösningar i energieffektiva byggnader.....	10
3 Ventilation i energieffektiva byggnader.....	12
3.1 Design av tilluftssystem .....	13
3.2 Ljud från tilluftsdon .....	15
3.3 Luftflödesbalans .....	17
3.3.1 Luftflödesbalansens betydelse i energieffektivt radhus .....	17
3.3.2 Luftflödesbalansens betydelse för lägenhet i större flerbostadshus.....	22
3.3.3 Varför kan man erhålla luftflödesobalans.....	25
3.3.4 Spiskåpa och spisfläkts påverkan på luftflöden och tryck.....	26
3.3.5 Tryckstyrd ventilation med felaktigt referenstryck.....	30
3.3.6 Påverkan av luftflödesobalansen .....	31
3.3.7 Fuktstyrning på mindre ventilationsaggregat med rotor.....	32
3.3.8 Brandgasspridningens påverkan på dimensioneringen .....	32
3.4 Värmeavgivning från ventilationskanaler.....	33
3.4.1 Ute- och avluftskanaler .....	33
3.4.2 Värmeförluster från tilluftskanaler vid luftvärme.....	35
4 Installationssystemens funktion när det är kallt ute .....	37
4.1 Mollierdiagram VVX, avfrostning och förvärmning av uteluft .....	37
4.2 Frånluftsvärmepumpar.....	40
4.3 Värmeeffektens betydelse för driftsekonomi .....	41
5 Distributionsförlusters betydelse för energianvändningen .....	42
5.1 Uppvärmningssystem .....	42

5.2	VV- och VVC-förluster .....	43
5.3	Lägenhetsvisa fjärrvärmeväxlare .....	45
5.4	Uppvärmning av stillastående kallvatten i schakt .....	46
6	Driftkort och funktionskrav .....	47
7	Energi- och driftuppföljning .....	48
8	Behov av fortsatt arbete .....	51
9	Referenser .....	53

## Nomenklatur

Avluft	Luften från ventilationsaggregatet vilken lämnar byggnad
Tilluft	Behandlad uteluft från ventilationsaggregat till rum med tilluftsdon
Frånluft	Luften från rum med frånluftsdon till ventilationsaggregat
Uteluft	Uteluften som tas in till ventilationsaggregatet
$Q_{till}$	Tilluftsföde
$Q_{från}$	Frånluftsföde
$Q_{läck}$	Vindtrycksdrivet läckluftföde enligt FEBY12 resp. EN ISO 13789
$Q_{50}$	Lufttätet vid provtryckning med 50 Pa
$q_{50}$	Specifik lufttätet vid provtryckning med 50 Pa
FTX	Fläktstyrda från- och tilluftsföden med värmeåtervinning
FVP	Fläktstyrt frånluftsföde med återvinning ur frånluften med värmepump
$T_{till}$	Tilluftstemperatur
$T_{från}$	Frånluftstemperatur
$T_{ute}$	Utomhustemperatur
$T_{avl}$	Avluftstemperatur
$T_{evvx}$	Temperatur efter värmväxlaren på tilluftssidan
EVB	Eftervärmningsbatteri
FVB	Förmärningsbatteri
VV	Varmvatten
VVC	Varmvattencirkulation
FEBY	Forum för Energieffektiva BYggnader
BBR-byggnad	Byggnad med max tillåten energiprestanda enligt BBR



# 1 Inledning

Syftet med rapporten är att öka kunskapen om hur installationer ska designas och optimeras i hus med låga värmeeffektbehov eftersom aspekter som försummas i BBR-byggnader (med max tillåten energianvändning enligt BBR) kan få stor betydelse i hus med mycket låga värmeeffektbehov. Det finns ett stort behov av att i detalj beskriva, undersöka och analysera vad som händer i installationssystemen och byggnaden. Målet är att ge konsulter och entreprenörer från installations- och byggbranschen ökade kunskaper om installationer i energieffektiva byggnader samt dessas betydelse för bland annat energiprestandan i byggnaderna.

Mycket i denna rapport är säkerligen inte nytt för installationskonsulter och installations-entreprenörer, dock är de inte speciellt vana att behöva ta hänsyn till detta.

I energieffektiva byggnader, vilket innebär en mycket bra klimatskärm samt litet värmebehov, kan små fel i ventilations- och värmeinstallationer få stora konsekvenser i relation till den installerade värmeeffekten. I BBR-byggnader märks sällan sådana fel eftersom de har en betydligt högre installerad värmeeffekt.

Det förekommer i byggbranschen en del missuppfattningar och kunskapsbrister kring hur energieffektiva byggnader/Passivhus fungerar installationstekniskt. Detta kan leda till bl.a. brister i inköp av installationsarbeten, bristande upphandlingsunderlag, ej färdiga lösningar, etc. Dessa brister kan sammantaget leda till mindre lyckade installationer och därmed skapa problem med inneklimat, energieffektivitet samt funktion.

## 2 Energieffektiva installationslösningar i energieffektiva byggnader

Nedan följer förslag på energieffektiva installationslösningar med låga temperaturnivåer och låga distributionsförluster för energieffektiva hus:

- **FTX-system med förvärmning** med exempelvis borrhålsvatten och eftervärmning till 18-19 °C. Förvärmningen spar lite värmeenergi, men främst spar förvärmning värmeeffekt till eftervärmningsbatteriet, när det är som kallast ute därför att ventilationsaggregatets avfrosthingsfunktion inte begränsar värmeåtervinningen ur frånluften. Möjlighet finns även till kylning med borrhålsvatten av intagen uteluft till FTX-aggregatet under varma sommar dagar. Kylningen av inkommande uteluft ger inte några stora kyleffekter till byggnaden, men man tillför sval tilluft.
- **"Temperade" golv**, golvvärme med liten övertemperatur används till uppvärmning. 1 °C övertemperatur på golvytan ger en värmeeffekt på 11 W/m<sup>2</sup>. Temperaturen på värmevattnet beror på golvkonstruktionens uppbyggnad, men är i storleksordningen 26 - 28 °C. Golvvärmen skall ha en isolering under (flytande golv), för att begränsa värmeavgivningen nedåt.

Alternativt **40/35 radiatorsystem** (i stället för 55/45), vilket medför att radiatorerna inte blir alltför små (enkelpaneler som fyller ut utrymmet under fönstren), förinställningsvärdena på radiatorventilerna blir inte för låga, vilket annars kan ge problem med igensatta ventiler, etc. Värmeförlusterna från värmesystemets rörsystem blir ungefär hälften för ett 40/35 system jämfört med ett 55/45 system. Vid lågtemperade värmesystem kan luft i systemet störa funktionen, men problemet reduceras kraftigt om man använder en **vakuumavgasare** under några veckor i samband med drifttagning.

För det lågtempererade värmesystem finns goda möjligheter att använda, värmepump, spillvärme eller annan värmekälla med låg temperaturnivå.

- **Distributionsförluster påverkas av planlösningen.** Värmeförluster påverkas av fyra saker: temperaturdifferensen, arean (rörlängden), isoleringens värmemotstånd samt drifttiden för systemet. Den av dessa fyra som i designen kan påverkas mest om man isolerar rören är rörlängden. En viktig del i att minska distributionsförlusterna är att minimera längden på rör och kanaler som har en medietemperatur som avviker från omgivningens. När det gäller påverkan på VV och VVC-systemets rörlängd har arkitekten en stor påverkan via planlösningen. Dvs. placeringen av kök och badrum samt VV/VVC-schaktet ger vilka rörlängder man erhåller på VV/VVC-systemet.

Det är viktigt i tidiga skeden med samarbete mellan arkitekten och VVS-projektören, för energieffektiv design av VV/VVC-systemet. I några fall när detta inte har fungerat har värmeförlusterna från VVC-systemet blivit mycket stora.

Lägenhetsvisa fjärrvärmeväxlarcentraler är ett sätt att minska distributionsförluster med mindre mängd distributionsrör i byggnaden, men samtidigt ökar antalet servicepunkter samt värmeförlusterna från fjärrvärmeväxlarcentralen tillkommer.

Slutresultatet beror på hur man lyckats värmeisolera de olika delarna i fjärrvärmecentralen, så att man håller ner fjärrvärmecentralens värmeförluster. Risk för övertemperaturer inomhus pga. fjärrvärmecentralens värmeförluster behöver analyseras.

- **Varmvattenproduktion.** I energieffektiva bostadsbyggnader står varmvattenproduktionen, för en stor del av byggnadens energianvändning. Det är därför viktigt att producera varmvatten till låg energianvändning samt legionellasäkert under hela året. Skall man använda solfångare, värmepump eller en kombination?  
Finns fjärrvärme kan det vara svårt att få ekonomi i solvärme- och värmepumpslösningar, då fjärrvärmeleverantörer önskar använda byggnader som värmesänkor under sommarhalvåret och har därför låg energikostnad under sommaren.
- **Drift- och energiuppföljning.** Detta är för att synliggöra installationssystemens funktion och energianvändningen. Att endast titta på energimätare en gång i månaden är bara att konstatera vilken energiprestanda man erhöll utan större förståelse varför den blev vad den blev. Utan drift och energiuppföljning är det svårt att verifiera funktionen hos de olika installationssystemen och korrekt drift.  
Mindre byggnader kan man använda en detaljerad uppföljning första tiden efter drifttagningen för att verifiera de olika systemens funktion, därefter analyseras några nyckeldiagram/tal och när avvikelsen blir större i nyckeldiagram/tal används den detaljerad uppföljning, för att förstå orsaken.
- **Installationssystemens funktion när det är kallare än -5°C.** Detta är viktigt för dimensioneringen av värmesystemet, abonnerad värmeeffekt samt köpt energi.
  - Hur går värmepumpen när det är kallt ute? Finns det risk för hög returtemperatur, så att värmepumpen slår ifrån? Är värmepumpen rätt dimensionerad?
  - Hur fungerar avfrostningsfunktionen för ventilationens värmeåtervinning, för att motverka påfrysning? Påverkar den andra installationstekniska system?
  - I kommersiella lokaler med tvåglaskonstruktioner med lågt U-värde, finns ett utetemperaturberoende hos U-värdet, vilket påverkar radiatordimensioneringen.  
Ex. på U-värdesändringar:  $T_{ute} = 0^{\circ}\text{C}$ ,  $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $T_{ute} = -20^{\circ}\text{C}$ ,  $U = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$Funktionen för installationssystemen, när det är kallare än -5°C, blir allt viktigare då kostnaden för abonnerad värmeeffekt ökar hos många fjärrvärmeleverantörer.

### 3 Ventilation i energieffektiva byggnader

Ventilation i energieffektiva byggnader är främst FTX, fläktstyrda från- och tilluftsflöden med värmeåtervinning, men kan även vara FVP, fläktstyrt frånluftsflöde med återvinning ur frånluften med värmepump. FTX har central förvärmning och tillför filtrerad förvärmad luft, ca +18°C, med ett tilluftssystem till sovrum, vardagsrum, etc. medan en byggnad med FVP tar in uteluften via uteluftsventiler, som har ett filter, kan ha en ljuddämpande insats och värmer upp inkommande uteluften med radiatorn i rummet.

FTX-systemens tilluftssystem kräver utrymme för kanalsystemet för att komma fram till sovrum, vardagsrum, etc. Tilluftskanalsystemet i lägenhet kan placeras ovan undertak i hall eller klädkammare alternativt ingjutet i bjälklag. Gjuter man in tilluftskanalerna i bjälklaget kan man endast ha klena kanaler och har mycket begränsat utrymme för värmeisolering av kanalerna, så att man inte påverkar bjälklagets bärförmåga negativt. Missar i design och montage av tilluftssystemet kan ge högre ljudnivåer i sovrum och vardagsrum. Luftflödesobalans kan ge ökat värmeeffektbehov eller större undertryck i lägenheten.

Vid luftvärme behöver man ha ca 50 mm isolering på de tilluftskanaler i lägenheten, som har övertempererad tilluft, för att få fram värmeeffekten till de rum som har värmeeffektbehov.

I byggnader med FVP-systems måste radiatorerna även vara dimensionerade för att värma den uteluft som man tar in i rummet, vilket betyder att byggnaden med FVP har värme-system med större radiatorer etc. än en byggnad med FTX-system. I byggnaden med FVP-system kan de boende skapa inneklimatproblem som härrör uteluftsventilerna med sin möblering, inställning av termostatventil, etc.

Exempel på inneklimat problem pga. möblering är att de boende har ställt en hög byrå mot väggen under uteluftsventilen och när det är kallt ute faller uteluften ner mot byrån och styrs ut i rummet/ vistelsezonen där de boende då känner drag.

Exempel på kalla golv vid tilluftsradiatorer. Den boende önskar lite svalare i sovrummet än i övriga rum och ställer termostaten några grader lägre i sovrummet, men har sovrumsdörren öppen. Det som händer då är att man får ett luftutbyte mellan sovrummet och övriga rum pga. temperaturskillnad mellan rummen som minskar temperaturdifferensen och radiator-ventilen i sovrummet förblir stängd. Det betyder att den uteluft som tas in via sovrums tilluftsradiator inte förvärms utan faller ner mot golvet och kyler ner golvet närmast radiatorn.

I detta kapitel kommer ett antal olika aspekter att belysas omfattande design av tilluftssystem, ljud från tilluftsdon, luftflödesbalans och dess betydelse samt värmeförluster från ventilationskanaler och kalla aggregatdelar.

### 3.1 Design av tilluftssystem

Välisolerade och lufttäta byggnader har generellt lågt bakgrundsljud, dvs. de är mycket tysta. Detta gör att ljud från installationerna framträder mer och kan ge klagomål trots att man uppfyller ljudkraven. För att minska klagomål på ljud från tilluftsdonen i lägenheter bör man ha lite marginal på ljudkraven. Denna marginal gör att man har möjlighet att klara ljudkraven även om någon del av installationen inte skulle bli optimal. Det är betydligt bättre att vid klagomål kunna verifiera ljudnivån och ha lite marginal än att ligga för högt. För att kunna erhålla låga ljudvärden måste fläktarna gå lugnt, lufthastigheten närmast donen vara låg, inga vassa hörn, skruvar, etc. Tilluftssystemet behöver även vara designat för att begränsa överhörningen mellan lägenheterna. Frånluftssystemet får inte försummans, men det är inte lika känsligt, då ljudkraven i rum med frånluftsdon är högre.

Luftflödesbalansen (tilluftsflojde/frånluftsflojde) i byggnader med FTX-system bör vara 0,90 – 0,95.

Därutöver behöver man i flerbostadshus designa ventilationssystemet, för att vid lägenhetsbrand kraftigt begränsa spridningen av brandgaser via kanalsystemet, etc.

Kommersiella lokaler har betydligt högre flöden, tryckfall etc. och högre tillåtna ljudnivåer än bostäder, så därför beaktas de inte nedan utan fokus är på tilluftssystemet i bostäder.

Ser man på de delarna som närmast berör de boende, dvs. kanalsystemet för tilluft i lägenhet eller radhus bör följande beaktas.

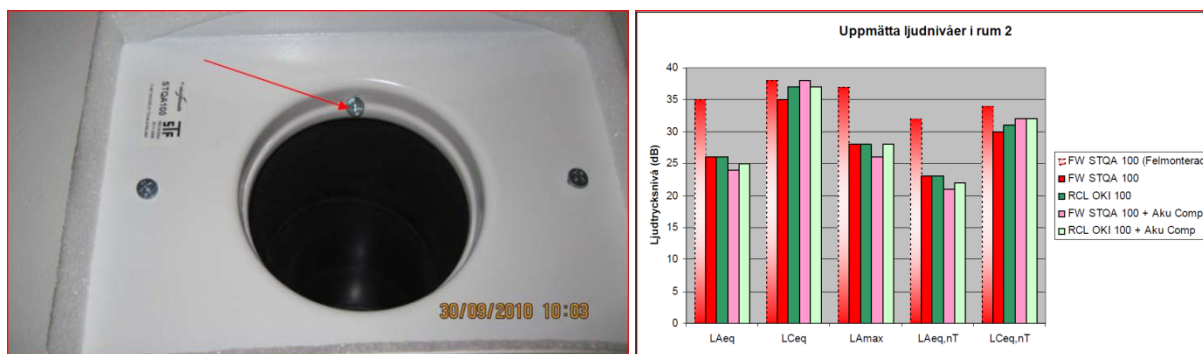
- Bra omblandning av tilluften som tillförs rummen, dvs. donen behöver ha impuls/kastlängd, så att man erhåller en medinjektion av rumsluft, tilluften och rumsluften blandar sig med varandra. Men inte för mycket, så att kastlängden blir för lång och man riskerar att få drag i vistelsezonen. Medinjektion av rumsluft i tilluften kan medföra att damm från rumsluften sätter sig på tilluftsdonet, taket och/eller väggen närmast donet.
- Design och injustering av tilluftssystem med åtminstone 25 Pa tryckfall över tilluftsdonen, vilket ger auktoritet åt tilluftsdonen, stabila system samt luftflödena kan mätas noggrannare. Dock måste man välja tilluftsdon med låga ljudvärden trots att man har impuls, kastlängd och tryckfall. Frånluftsdonen kan ha högre tryckfall.
- Lufthastigheten i tilluftssystemet närmast donen skall vara lägre än 2 m/s, för att minska risken för luftflödesljud. Vidare får man högre ljudnivåer från många typer av tilluftsdon om man inte har en raksträcka på åtminstone 3-4 kanaldiametrar före tilluftsdonet. (Sned hastighetsprofil/turbulens).

- Minimera vassa kanter, skruvhuvuden etc., annars kan man få ljudproblem. I figur 1, sid 15, visas mätningar som verifierar 9 dB(A) ljudökning pga. en plåtskruv, som fixerade don i kanalände.
- Tilluftssystemet skall dras innanför klimatskärmen, för annars kommer man att ha stora värmeförluster (ökat effektbehov) och speciellt vid övertempererad tilluft.
- Använder man övertempererad tilluft för uppvärmning, bör man ha åtminstone 50 mm isolering på tilluftskanalsystemet med övertempererad luft, för att begränsa temperaturfallet på den övertempererade tilluften. Dvs. tillse att värmeeffekten avges på rätt plats i lägenheten. Tilluftssystemet med isolering kräver mer utrymme. Exv. när man drar tilluftssystemet ovan undertak i hallen så tar isolering 2\*50mm extra i höjd och korsar en frånluftskanal, så krävs ytterligare höjd.
- Använder man luftvärme måste man tänka på att värmebehovet i de olika rummen är dimensionerande för tilluftsflödet. Detta tilluftsflöde skiljer från luftflödet man behöver ha av hygienska skäl. Vilket kan betyda att man måste ha ett tilluftsdon i köket. Variation i temperaturerna mellan rummen kommer att erhållas när lägenheternas eftervärmare styrs av centralt placerad temperaturgivare. Önskar man rumsvis styra temperaturen behöver eftervärmaren och dess styrning delas upp på varje rum. Det finns tilluftsdon med elektriska eftervärmare, som styr på rumstermostat.

### 3.2 Ljud från tilluftsdon

Det är viktigt att välja tilluftsdon med omsorg, hålla låga lufthastigheter i kanalsystemet närmast före tilluftsdon och undvika vassa kanter, skruvhuvuden etc., vilka kan ge ljudproblem. Se figur 1, nedan, som visar uppmätta ljudnivåer med och utan ”störande” plåtskruv.

När ljudmätningar utfördes i provlägenhet erhöles 23 dB(A) i sovrum 1, men i sovrum 2 erhöles 32 dB(A), som har samma storlek och luftflöde. Då tilluftsdonets frontplåt demonterades kunde en plåtskruv ses, vilken fixerat donet i kanaländen. Orsaken till denna plåtskruv var att förstärkningar i väggen för montage av donen saknades, så montage-skruvorna fick inte fäste. Plåtskruvorna demonterades och ljudmätningen gjordes om. Den nya ljudmätningen i sovrum 2 gav 23 dB(A) samma som i sovrum 1.



**Figur 1** Ljudmätning på tilluftsdon i provlägenhet, som först gav 32dB(A) pga. en skruv som ventilationsentreprenören fixerat donet med (Markerad med röd pil). När skruven demonterades blev det 23 dB(A), som i sovrummet bredvid.

Trots att man har försökt att få ner ljudnivån från tilluftsdonet till mycket låga ljudnivåer kan ett litet flödesljud kvarstå som vissa uppfattar som störande speciellt i sovrum på natten när omgivningen är mycket tyst. Detta lilla flödesljud skiftar mellan olika konstruktioner av don. Exempelvis tilluftsdon med perforerade frontplåt med olika hålstorlek och flödesriktning, tilluftsdon med olika stora spalter och riktning, etc.

För att erhålla låga ljudnivåer från tilluftsdonet är följande aspekter viktiga:

- val av tilluftsdon med låga ljudvärden
- design av tilluftssystemet närmast före tilluftsdonet
- montage av tilluftsdonet

Olika typer av don är olika känsliga för hur hastighetsprofil och turbulens på luften i kanalsystemet närmast före tilluftsdonet. När tilluften med sned hastighetsprofil och turbulens går genom tilluftsdonet påverkas egenljudsalstringen. Det är svårt från redovisade katalogdata göra en verklighetsnära beräkning av ljudet. Det gör det inte enklare när olika tilluftsdon är redovisade på olika sätt även från samma tillverkare.

Det är möjligt att mätstandarder för bostadsdon behöver kompletteras för att ge bättre och mer relevant information för tilluftsdon till tysta och energieffektiva byggnader med mycket låga bakgrundsnivåer. Så det finns bättre möjlighet att designa och bygga ventilationssystem med mycket låga ljudnivåer.

Även om det inte finns formella krav på överhörning mellan rum inom lägenhet är det viktigt med viss begränsning av överhörningen via tilluftssystemet, för kundnöjdheten.



### 3.3 Luftflödesbalans

Luftflödesbalansen (tilluftsflöde/frånluftsflöde) har betydelse för energieffektiva byggnaders energiprestanda och tryckförhållanden, vilket analyseras i kapitel 3.3.1-7.

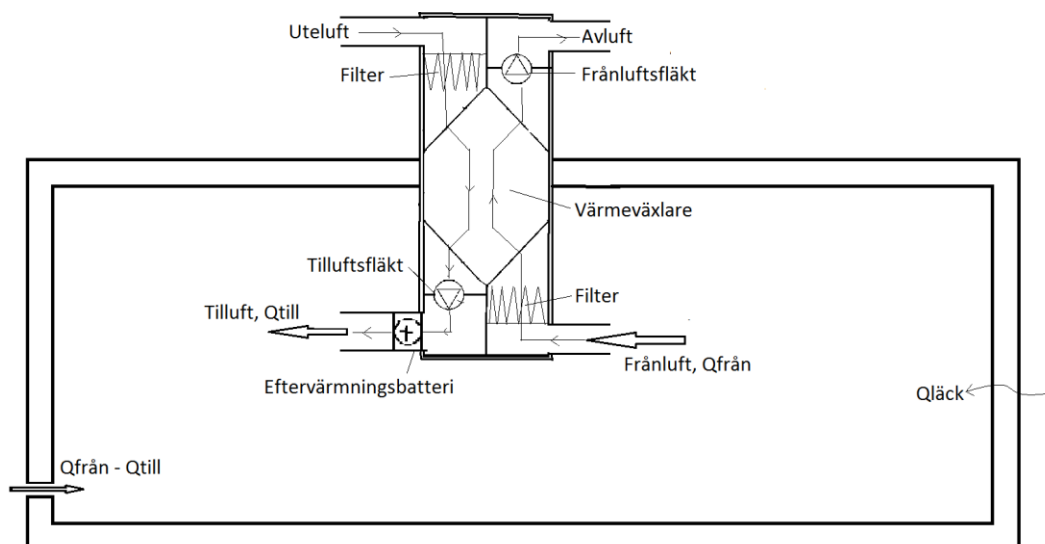
Formfaktorns betydelse för luftflödesbalansens betydelse visas i kapitel 3.3.1, radhus med formfaktor = 3 och i kapitel 3.3.2 lägenhet i större lamellhus med formfaktor = 0,5. Detta visar luftflödesbalansens betydelse i två hus med samma specifika täthet  $q_{50}$ , men olika formfaktorer. I kapitel 3.3.3 är en diskussion om varför man kan erhålla luftflödesobalans, i kapitlet 3.3.4 visar spiskåpars/ spisfläktars påverkan på luftflödena, kapitel 3.3.5 tryckstyrd ventilation med felaktigt referenstryck, kapitel 3.3.6 om påverkan av luftflödesobalansen samt kapitel 3.3.6 om fuktstyrning på mindre ventilationsaggregat med rotor.

#### 3.3.1 Luftflödesbalansens betydelse i energieffektivt radhus

Exemplet bygger på ett verkligt provtryckningsprotokoll för ett radhus med ett specifikt läckluftflöde vid 50 Pa,  $q_{50} = 0.09 \text{ l/s, m}^2$  med det totala läckluftflöde,  $Q_{50} = 27 \text{ l/s}$ .

Jämfört med beräkningar enligt FEBY12 krav,  $q_{50} = 0,30 \text{ l/s, m}^2$  vilket ger  $Q_{50} = 90 \text{ l/s}$ .

I beräkningarna nedan är frånluftsflödet 40 l/s och tilluftsflödet varierar från 28 l/s till 40 l/s för att analysera dess betydelse. Detta motsvarar luftflödesbalans mellan 70 % och 100 %.



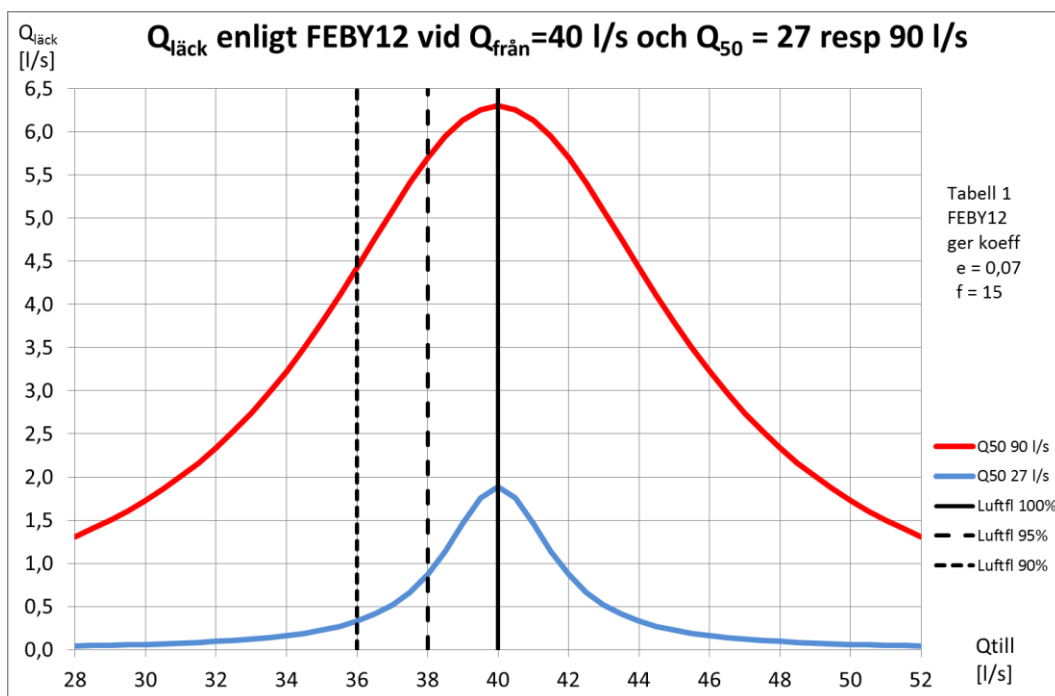
**Figur 2** Principskiss på radhuslägenhet med Tilluftsflödet  $Q_{till}$ , Frånluftsflödet  $Q_{från}$  samt "Läckflödena"  $Q_{från} - Q_{till}$ . pga. luftflödesobalans och det vinddrivna läckflödet,  $Q_{läck}$  enligt ekv 2, sid 13.

I FEBY12 bilaga 2 och EN ISO 13789, Annex C finns redovisat hur man ska beräkna värmeförlusttal ekv.[1] i dess olika delar och en ekvation är även given för att beräkna läckluftflödet genom klimatskärmen ekv.[2],  $Q_{läck}$ , på grund av de tryckdifferenser över klimatskärmen (vägg/tak/...), som vindtrycket skapar.  
v i ekv [1] är systemverkningsgrad för ventilationen och innehåller bl.a. luftflödesbalansen.

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

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

Figur 3 nedan redovisar hur  $Q_{läck}$  varierar med tilluftsflödet, för de två lufttäthetsnivåerna. Vid fullständig balans mellan till- och frånluftsflödena erhålls  $Q_{läck} = 1,9$  l/s för lufttätheten  $0,09 \text{ l/sm}^2$  (27 l/s) och  $6,3$  l/s vid lufttätheten  $0,30 \text{ l/sm}^2$  (90 l/s). Vid en normal luftflödesbalans,  $0,90 - 0,95$ , blir  $Q_{läck} = 0,3 - 0,9$  l/s respektive  $4,4 - 5,7$  l/s.

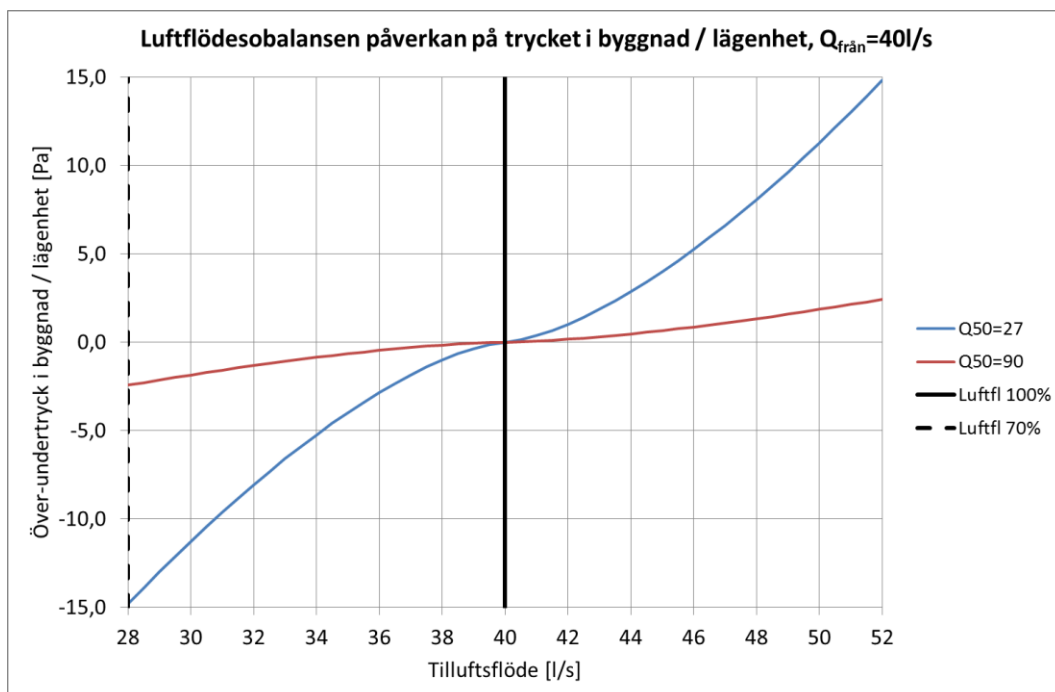


**Figur 3** Läckluftflöde (enligt ekv.2) vid olika täthet och luftflödesbalans

Obalansen mellan till- och frånluftsflöden skapar en tryckdifferens och ett luftflöde genom klimatskärmen, som inte är  $Q_{läck}$ , enligt ekv. [2] exemplifierat i figur 3 ovan.

Provtryckningsprotokollet används till att beräkna tryckdifferens (undertryck i byggnaden) pga. obalansen mellan till- och frånluftflödena. För att analysera tryckdifferensen eventuella påverkan på luftflödena används ventilationsaggregatets fläktkurvor.

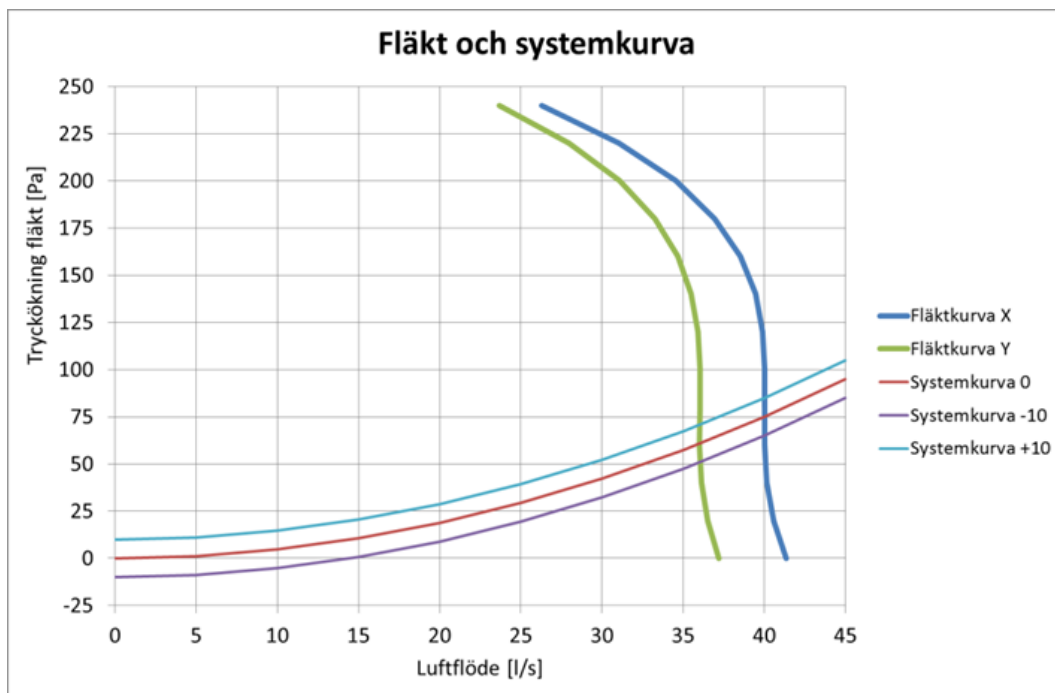
Figur 4 redovisar luftflödesobalansens påverkan på trycket i byggnaden utgående från provtryckningsprotokollet. Vid det specifika täthetskravet enligt FEBY12  $q_{50} = 0.30 \text{ l/sm}^2$  ( $Q_{50} = 90 \text{ l/s}$ ), ger endast ett litet under- respektive övertryck, men för tätheten  $0,09 \text{ l/sm}^2$  får man ett undertryck på 14 - 15 Pa vid en luftflödesbalans på 70 %, vilket beroende på fläktkurva kan påverka luftflödena något.



**Figur 4** Luftflödesobalansens påverkan på över- respektive undertryck i byggnad/ lägenhet. (Exponenten från provtryckningsprotokollet är använd för att rita upp diagrammet.)

Figur 5 redovisar hur under- eller övertryck kan påverka luftflödena i ett FTX-system. Över- eller undertryck i en byggnad parallellförskjuter systemkurvan i fläktdiagrammet. Om detta ger en flödesförändring beror på hur fläktkurvan ser ut vid arbetspunkten (skärningen mellan fläktkurva och systemkurva).

Fläktkurvan ser olika ut för olika typer av fläkthjul, men generellt kan man säga om tryckändring i lägenheten eller byggnaden är liten i förhållande till tryckuppsättningen på fläkten får den liten eller ingen betydelse för luftflödena. I figur 5 är det inlagt två kurvor för ett under- respektive övertryck i byggnaden på 10 Pa. (Systemkurva + - 10). Där ser vi att flödesförändringen på fläktkurva X eller Y är liten om trycket i lägenheten blir + - 10 Pa.



**Figur 5** Exempel på fläkt- och systemkurvor för att utvärdera hur ett under- eller övertryck påverkar luftflödena i ventilationssystemet.

Den luft som läcker in eller ut genom klimatskärmen, för att kompensera för luftflödesobalansen mellan till- och frånluft,  $Q_{från} - Q_{till}$  i Figur 2, sid 17, ger upphov till effektbehov i rummen, där uteluften läcker in. Beräkningar på storleksordningen av dessa effektbehov redovisas i tabell 1 på sid 21. För att ta hänsyn till vad som händer i ventilationsaggregat görs en teoretisk beräkning av temperaturer kring värmeväxlaren (motströms), återvunnen värme (VÅV), eftervärmningsbehov (EVB) till 19 °C samt ökat effektbehov i rum pga. av inläckande uteluft genom klimatskärmen. Följande antas i beräkningarna; torr värmeöverföring, temperaturverkningsgrad  $\eta = 80 \%$  vid flödesbalans, ingen avfrosthingsfunktion.

**Tabell 1** Värmeeffektbehov pga. obalans i till- och frånluftsflödena.

$T_{\text{till}} 19\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{från}} 22\text{ }^{\circ}\text{C}$	Luftflöden		Temperaturer ( $^{\circ}\text{C}$ )		Värmeeffekt (W)		Ökat effektbehov rum (W)
$T_{\text{ute}} = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$Q_{\text{från}}$	$Q_{\text{till}}$	$T_{\text{evvx}}$	$T_{\text{avl}}$	EVB	VÅV	
Luftflödesbalans	40	40	16,6	0,4	115	1037	0
95 %	40	38	17,3	0,9	80	1015	58
90 %	40	36	17,9	1,4	47	990	115
80 %	40	32	19,2	2,7	0	929	230
70 %	40	28	20,3 $19,0^{1)}$	4,3 $5,2^{1)}$	0 0	851 810	346

1) Om värmeåtervinningen kan styras mot  $T_{\text{evvx}} = 19,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{\text{till}} 19\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{från}} 22\text{ }^{\circ}\text{C}$	Luftflöden		Temperaturer ( $^{\circ}\text{C}$ )		Värmeeffekt		Ökat effektbehov rum (W)
$T_{\text{ute}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$	$Q_{\text{från}}$	$Q_{\text{till}}$	$T_{\text{evvx}}$	$T_{\text{avl}}$	EVB	VÅV	
Luftflödesbalans	40	40	14,6	-7,6	211	1421	0
95 %	40	38	15,5	-7,0	160	1390	82
90 %	40	36	16,4	-6,3	113	1356	163
80 %	40	32	18,1	-4,5	33	1273	326
70 %	40	28	19,7 $19,0^{1)}$	-2,3 $-1,8^{1)}$	0 0	1166 1148	490

När till- och frånluftsflödena är i balans och när tilluftsflödet är 95 % av frånluftsflödet är det ökade värmebehovet i rummen "litet", men vid större obalans, 70 % tilluftsflöde i förhållande till frånluftsflöde (dåligt injusterad ventilationsanläggning) ökar värmebehovet i rummen kraftigt.

Vid  $T_{\text{ute}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ökar värmebehovet med 490 W, pga. uteluft som läcker in i rummen, vilket är ca 40 % av den installerade värmeeffekten. Lyckas man hålla innetemperaturen i byggnaden beror på vilken typ av värmesystem man har installerat och om det är överdimensionerat. Vid luftvärme som skall man bära ut 40 % mer värmeeffekt vid obalans med 70 % av tilluftsflödet, vilket gör att temperaturhöjningen måste bli dubbelt så stor, en kritisk fråga är frågan om det över huvud taget är möjligt att värma byggnaden.

Orsaker till att man kan erhålla luftflödesobalanser har tagits upp i kapitlet 3.3.3.

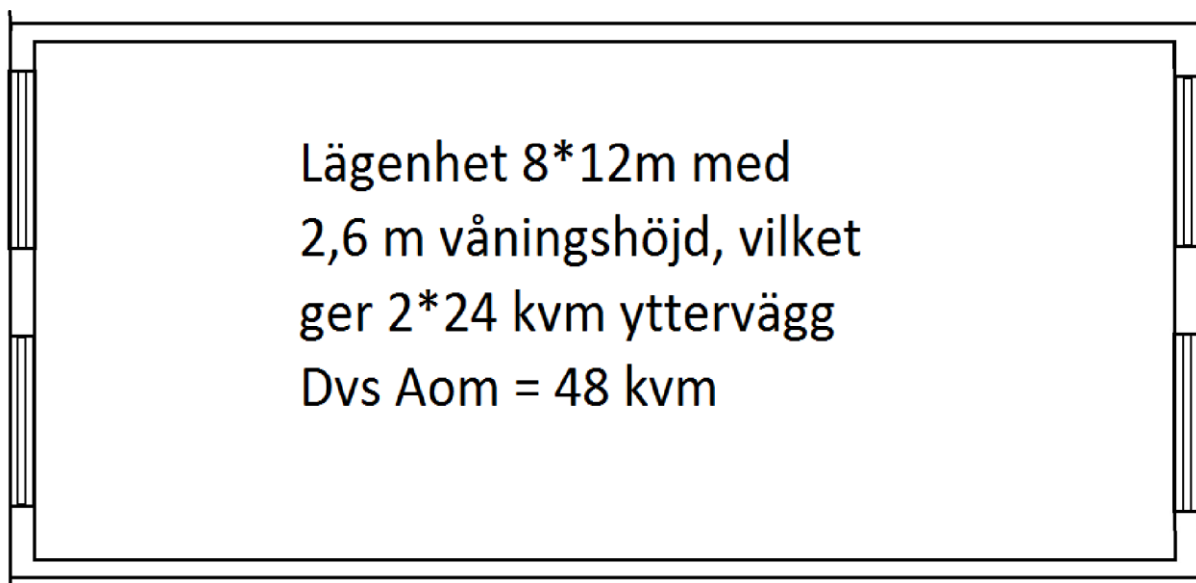
### 3.3.2 Luftflödesbalansens betydelse för lägenhet i större flerbostadshus

Lägenhet i ett större lamellhus, figur 6, med samma specifika lufttäthet,  $q_{50}$ , som föregående exempel ger:

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

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

Lägenhet i ett större flerbostadshus erhåller mindre formfaktor,  $A_{om}$  / golvytan. Detta gör att  $Q_{50}$  blir mindre för lägenheten och värmeeffektbehovet kommer inte att öka lika mycket i lägenheten, som för ett radhus (kap.3.3.1). Däremot finns risken för stora under- eller övertryck om det är för stor obalans på luftflödena.

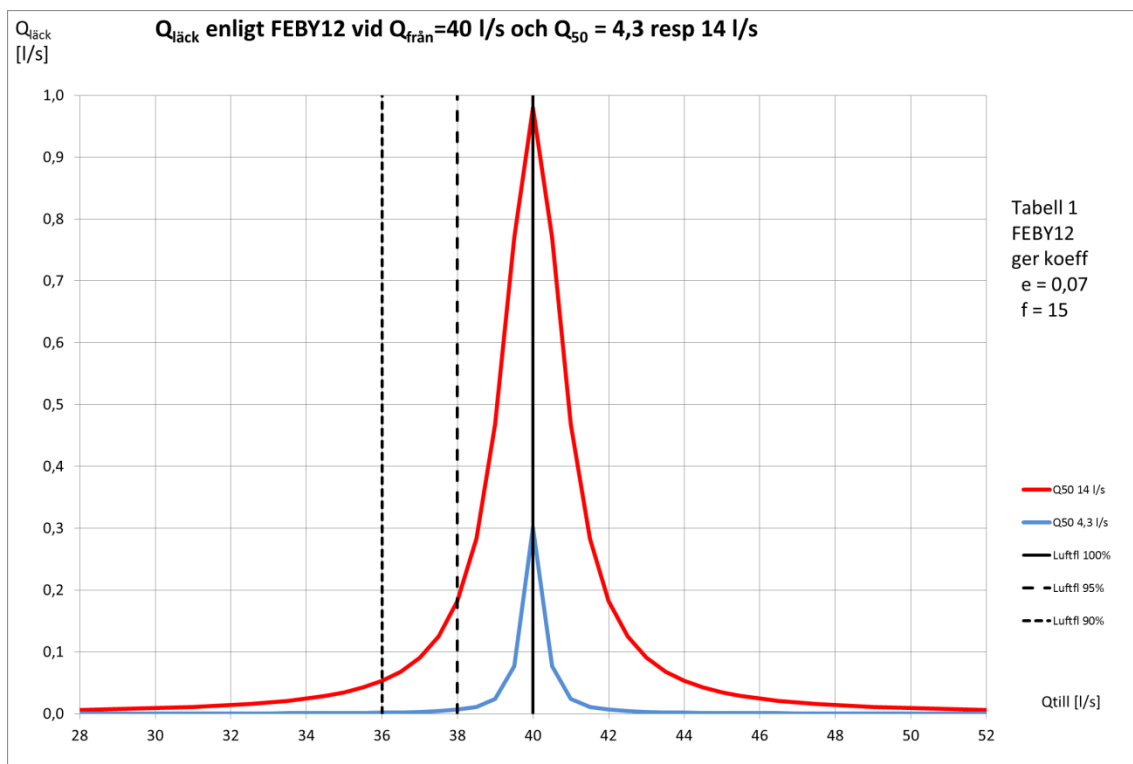


**Figur 6** Skiss över lägenhet i större flerbostadshus med  $48 \text{ m}^2$  area mot uteluften

Figur 7 visar motsvarande resultat som i figur 3, men formfaktorn för lägenheten är betydligt mindre, 0,5, jämfört med radhusets formfaktor 3. Orsaken är den betydligt mindre omslutningsarean,  $A_{om}$ , mot uteluften.

Vid fullständig balans mellan till- och frånluftsflödena erhålls  $Q_{läck} = 0,3$  l/s vid en lufttäthet på  $0,09$  l/sm<sup>2</sup> ( $4,3$  l/s) och  $1,0$  l/s vid lufttäthet  $0,30$  l/sm<sup>2</sup> ( $14$  l/s). Vid en "normal" luftflödesbalans  $0,90 - 0,95$  blir  $Q_{läck} = 0,0016 - 0,0064$  l/s för tätheten  $0,09$  respektive  $0,05 - 0,18$  l/s för tätheten  $0,30$  l/sm<sup>2</sup>.

Det vindtrycksdrivna läckluftflödet för lägenheten i flerbostadshuset blir vid normal luftflödesbalans,  $0,90 - 0,95$ , mycket liten.

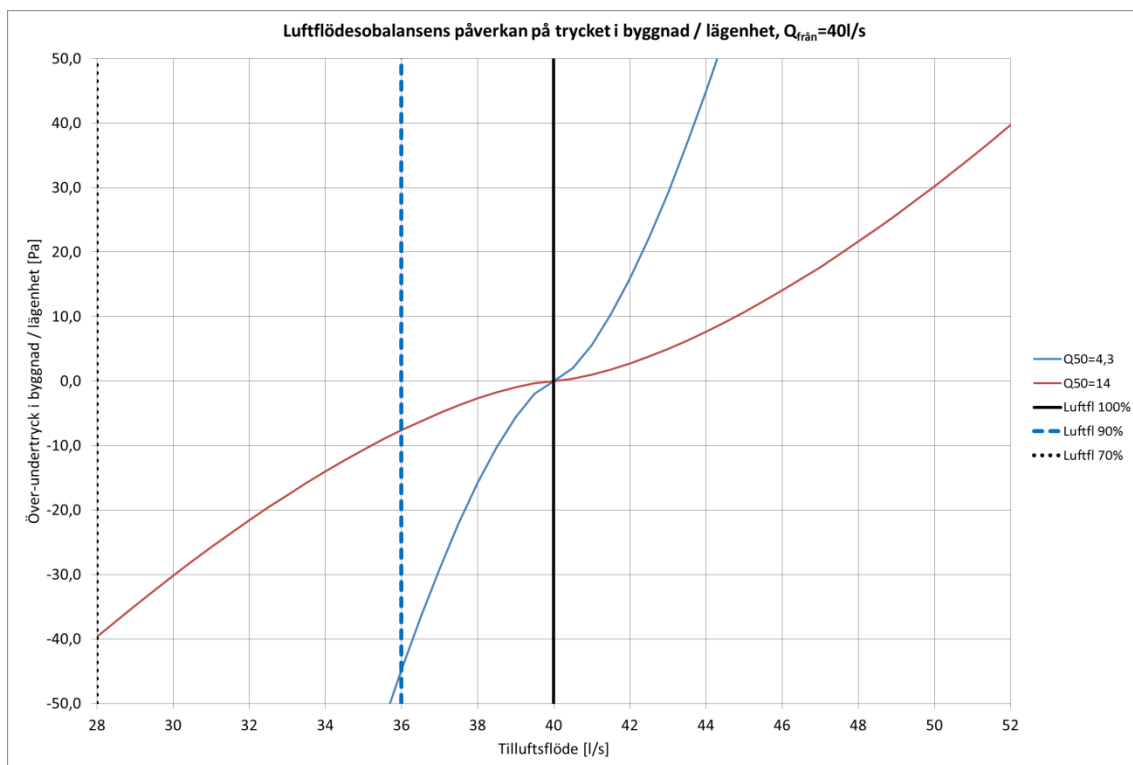


**Figur 7** Läckluftflöde (enligt ekv.2) vid olika lufttäthetsnivå och tilluftsflöden

Figur 8 redovisas över- respektive undertryck och dess beroende av tilluftsflödet. Vid lufttätet enligt FEBY12-krav erhålls stora under- respektive övertryck om luftflödesbalansen är mycket mindre än 0,85.

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

Lufttäthetskravet enligt FEBY12  $q_{50} = 0,30 \text{ l/sm}^2$  och en normal luftflödesbalans på 0,90 - 0,95 ger ett undertryck på 3 - 8 Pa och ett mycket litet  $Q_{\text{läck}}$ . Se figur 7.



**Figur 8** Luftflödesobalansens påverkan på över- respektive undertryck i byggnad/ lägenhet. (Exponenten från provtryckningsprotokollet är använd för att ta fram diagrammet.)



### 3.3.3 Varför kan man erhålla luftflödesobalans

Luftflödesbalansen kan påverkas av mätfel, ljudproblem som gett felaktigt injusterade luftflöden, luftens temperaturberoende egenskaper, etc.

Vad beror fel balans i luftflödena på och hur påverkas luftflödena?

- Det finns olika mätmetoder för att mäta luftflöden med bl.a. tratt över donet, påsmetoden, definierad tryckdifferens på donet, hastighet i kanal före donet. Alla metoderna har sina praktiska förutsättningar med för- och nackdelar. Vid mätning av tryckdifferens eller hastighet i kanal finns krav på raksträckor före, för att kunna mäta med en viss noggrannhet. Krav som kan vara svåra att uppfylla.
- Man erhåller av någon anledning för mycket ljud från tilluftsdonen och för att minska ljudet injusterar man med mycket låga tryckfall över tilluftsdonen, vilket gör att mättrycket blir mycket lågt, mätfelet större samt instabilare system. I värsta fall avslutas injusteringen med att sänka tilluftsfläktens varvtal ytterligare lite till, för att få ner ljudet från tilluftsdonen, så att man får godkänd ljudnivå i rummen.
- Det finns de som tror/påstår att injusteringen inte har så stor betydelse i Passivhus. "Byggarna är mycket duktiga på att bygga lufttäta hus (helt täta), så ventilationsluften måste på något sätt gå förbi ventilationsvärmexlaren".

Påverkan på luftflödena pga. lufts fysikaliska egenskaper. (Överslagsberäkningar på luft egenskaper nedan använder Colebrookes ekvation, Affinitetslagarna, Allmänna gaslagen samt ekvationer för lufts egenskaper, hämtade från App. E i avhandlingen [Blomberg 1999].

- Vid luftvärme påverkas luftens densitet och tryckfallet i tilluftssystemet. 50 °C luft har 10 % lägre densitet än 20 °C luft, 10 % högre dynamiskt tryck och tryckfallet i tilluftssystemet ökar med 10 - 12 %, för 50 °C luft, vilket sänker tilluftsflödet med upp till 5 % beroende på hur stor del av tryckfallet som kommer från delen av kanal-systemet med övertempererad luft.
- Data för hur olika don fungerar i luftvärmesystem med övertempererad luft saknas. Hur egenskaperna varierar med varierande tilluftstemperatur.
- Normalt har man båda fläktarna "sugande", se figur 2 sid 17, för att få jämnare luftströmning över VVX etc. Detta innebär att tilluftsfläkten sitter varmt och frånluftsfläkten kallt på vintern. Konstant varvtal på fläktarna innebär frånluftsflödet varierar med densiteten på luften och på vintern kan tryckuppsättningen från frånluftsfläkten öka med 10-12 %, pga. densitetsskillnaden, vilket ökar frånluftsflödet genom frånluftsdonen med 5-7 %. Styr fläktarna på inkommande luftflöde i fläktarna blir frånluftsflödet från lägenheten ytterligare lite större pga. densitetsskillnaderna.

### 3.3.4 Spiskåpa och spisfläkts påverkan på luftflöden och tryck

Spiskåpans påverkan på luftflöden och tryck analyseras för en lägenhet i ett större flerbostadshus. Spiskåpan har en volymdel med ett grundflöde på 10 l/s samt forceringsflöde på 35-40 l/s, för att erhålla en godtagbar uppfångningsförmåga av matos och fukt.

Med erfarenhet från kapitel 3.3.2 inser man att man måste få in ersättningsluft (mer tilluft/uteluft) exempelvis med att öppna köksfönstret 1 cm, för att inte få stort undertryck i lägenheten, lägre forceringsflöde etc. I kapitel 3.3.4.1 finns mätserie redovisad på en lägenhet som har  $Q_{50} = 34$  l/s, dvs. något högre än radhuslägenheten tidigare i kapitel 3.3.2.

För att i mer detalj analysera vad som händer i en lägenhet med litet läckluftflöde när man forcerar spiskåpan kan man sätta ekvationer för flöde och tryck för tilluftsflöde, frånluftsföde med och utan forcering av spiskåpan samt ekvationen för lägenhetens läckluftsföde  $Q_{50}$ . Då det endast kommer att ta några sekunder för flöden och tryck att stabilisera sig vid en forcering kan man sätta upp en statisk modell där summa massaflöde till och från lägenheten är noll och resultatet av beräkningen blir undertrycket i lägenheten och de tre flödena: tilluft, frånluft samt läckluft genom fasaden. Egna sådana beräkningar verifierades med de mätningar som redovisas i figur 9, sid 28.

Man kan på liknande sätt göra detta även när man har spisfläkt med imkanal till det fria, men man får se till att ekvationerna tillåter att frånluftsfödet kan vända. Om spisfläkten är för stark i förhållande till undertrycket i frånluftssystemet blir frånluftssystemet ett andra "tilluftssystem". Se figur 10, sid 29, där en mätning på en spisfläkt i en provlägenhet redovisas och spisfläkten var så stark att den skapade ett undertryck på 80 Pa i provlägenheten och frånluftssystemet hade ett undertryck på 70 Pa.

Det bästa är om man kan erhålla en godtagbar uppfångningsförmåga av matos och fukt med en spiskåpa med volymdel. Man bör undersöka möjligheten att ha en lite större volymdel för att erhålla en godtagbar uppfångning för matos och fukt samt höja spiskåpan något för att ha god åtkomlighet av kastruller etc. på spisen.

En annan lösning är kolfilterfläkt, som inte påverkar luftflödesbalansen, men den tar inte heller bort den ökade fuktbelastningen vid matlagning. Det råder delade meningar om man skall tillåta kolfilterfläktar i nyproduktion av bostäder eller inte. Kolfilterfläkten borde kunna vara ett alternativ om man kan visa att den ökade fuktbelastningen vid matlagning ej utgör en fuktrisk för byggnaden.

#### **3.3.4.1 Mätningar i "lufttät" provlägenhet**

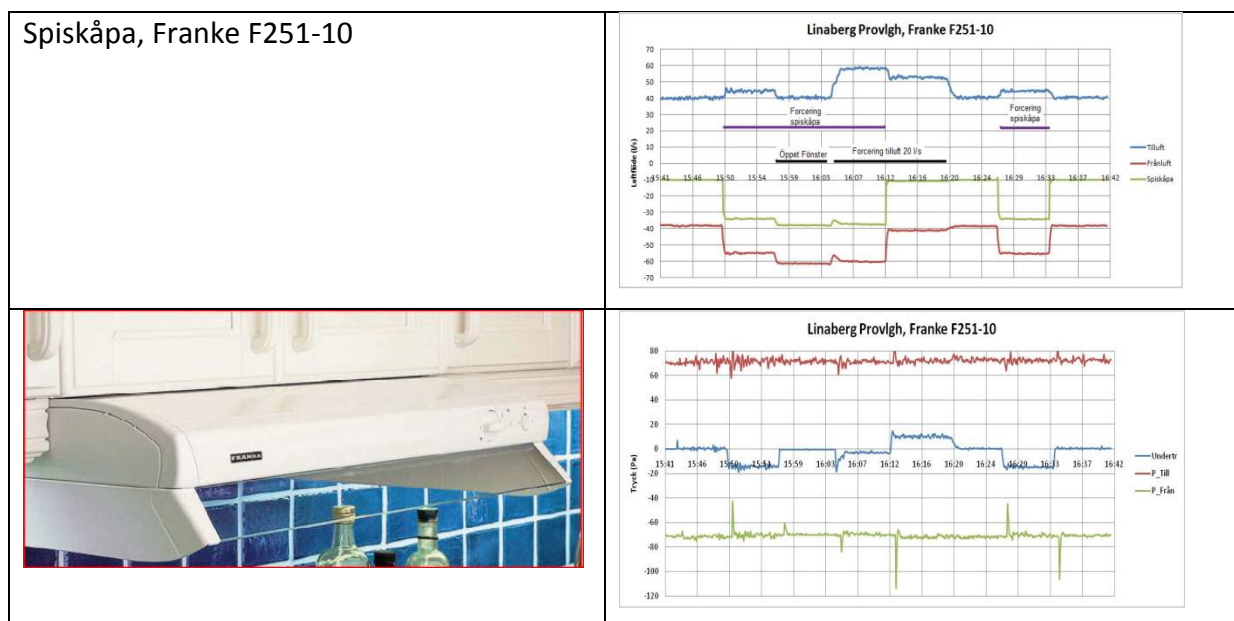
Hösten 2010 utfördes installationstekniska mätningar i en "lufttät" provlägenhet byggd i ett gammalt "bussgarage". Provlägenheten fick vid täthetsprov  $q_{50} = 0,10 \text{ l/s, m}^2$ ,  $Q_{50} = 34 \text{ l/s}$ . Lägenheten hade samlingskanal för till- respektive frånluft, som tryckstyrdes till över- respektive undertryck på 70 Pa. För ändamålet användes ett villaaggregat (Flaktwoods RDAR) som byggdes om till tryckstyrning. EC-fläktarna styrdes med extern spänningssignal från två Micatrone PFT. (Övertrycket i tillluftens fördelningskanal resp. undertrycket i frånluftens samlingskanal.)

#### **3.3.4.2 Spiskåpor, spisfläktar och deras påverkan på luftflöden och tryck**

I provlägenheten kunde spiskåpor och spisfläktars påverkan på luftflöden och tryck mätas upp utan andra yttre störningar, för att verifiera tidigare beräkningar.

Figur 9 visar mätningar på spiskåpa med olika sätt att få in ersättningsluft. De olika strecken i flödesdiagrammet visar när spiskåpan var forcerad, när fönstret var öppet 1 cm, när extra forceringsdon på tilluften (20 l/s) är i drift. Det understa diagrammet visar trycket i lägenheten respektive till- och frånluftskanal. Det man kan se är att det fungerar med att ersätta del av forceringsflödet för spiskåpan. Spiskåpeforcering 30 min/ dygn påverkar inte energiprestandan nämnvärt.

Figur 10 visar när en spisfläkt gick på läge 1-4 och hade egen imkanal till det fria. Notera att på läge 4 var spisfläkten, så stark att undertrycket i lägenheten blev 80 Pa och frånluftsflödet blev -10 l/s. Dvs. provlägenhetens frånluftssystem blev ett andra "tilluftssystem".



**Figur 9** Mätningar av tryck och luftflöden på spiskåpa

Beskrivning av mätsekvens för spiskåpan med kommentarer om tryck och luftflöden.

Grundflöde spiskåpa är trycket i lägenheten 0 Pa i förhållande till omgivningen, tilluftsflödet TF 40 l/s, frånluftsflödet FF 40 l/s varav grundflöde spiskåpa 10 l/s.

Forcering spiskåpa utan ersättningsluft: -15 Pa, TF 45 l/s, FF 55 l/s, spiskåpa 35 l/s.

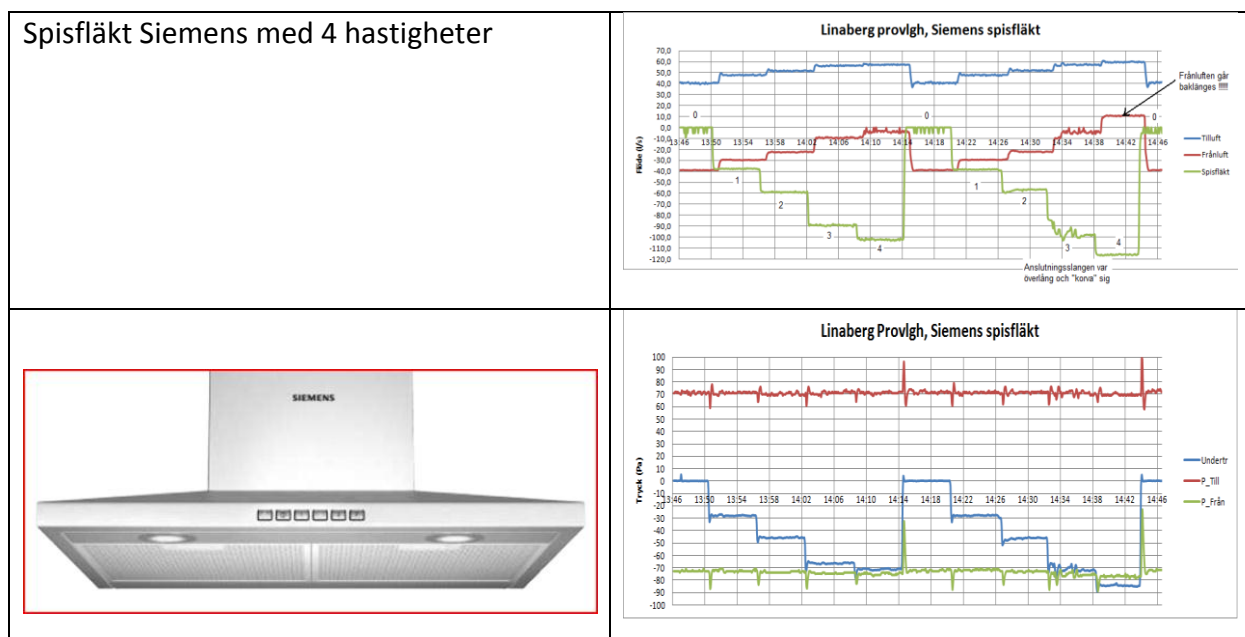
Forcering spiskåpa med fönster på glänt: 0 Pa, TF 40 l/s, FF 60 l/s, spiskåpa 39 l/s.

Forcering spiskåpa med forcering tilluft 20 l/s: -2 Pa, TF 60 l/s, FF 60 l/s, spiskåpa 38 l/s.

Grundflöde spiskåpa med forcering tilluft 20 l/s: +12 Pa, TF 52 l/s, FF 41 l/s, spiskåpa 10 l/s.

Av mätningen ovan kan man dra följande slutsatser:

- Om man inte öppnar ett fönster eller har forcering av tilluften erhåller man ett undertryck i lägenheten.
- Har man extra forceringsdon på tilluften och den fastnar i öppet läge erhåller man övertryck i lägenheten, när spiskåpan inte är forcerad.



**Figur 10** Mätningar av tryck och luftflöden på spisfläkt med 4 hastigheter. Spisfläkten har egen imkanal till det fria.

Andra halvan av testsekvensen är beskriven då första halvan hade problem med veckad slang mellan spisfläkt och imkanal, pga. av överlängd på slangen. Se tabell 2 nedan.

**Tabell 2** Beskrivning av mätsekvens för spisfläkt med tryck och luftflöden.

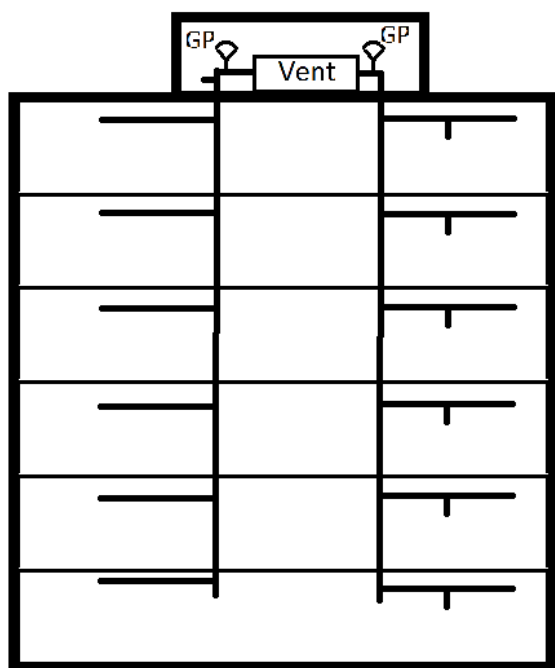
Fläkthastighet	Tryck lgh, [Pa]	Frånluftsflöde, [l/s]	Imkanalsflöde, [l/s]	Tilluftsflöde, [l/s]
0	0	40	0	40
1	-28	29	38	48
2	-47	20	60	52
3	-70	4	100	58
4	-80	-10	115	60

Spisfläktar kan skapa stora undertryck i lufttäta lägenheter och kraftigt störa till- och frånluftsflödena.

### 3.3.5 Tryckstyrd ventilation med felaktigt referenstryck

Tryckstyrning av fläktar är ett sätt att försöka ha mer konstanta förhållanden för ventilationen. Luftflödet påverkas inte när exv. tryckfallet över filtren ökar vid försmutsning. Exempelvis kan man styra tilluftsfläkten att ha ett övertryck på 100 Pa relativt ett referenstryck, vilket ofta är trycket i fläktrummet och frånluftsfläkten styr på att ha 100 Pa undertryck relativt referenstrycket i fläktrummet.

Om det är en tryckdifferens mellan fläktrummet och "ute", dvs. att man har ett större frånluftsflöde än tilluftsflöde till fläktrummet, så kommer fläktrummet att erhålla ett undertryck som läggs till det tryck man styr till- och frånluften på. Detta gör att till- och frånluftsflödena påverkas och man erhåller ett större undertryck i lägenheterna och mer luft läcker in genom fasaden. För att ta reda på hur mycket detta är kan man göra överslag på liknande sätt, som vid analys av spiskåpens påverkan på tryck och flöde i föregående kapitel.



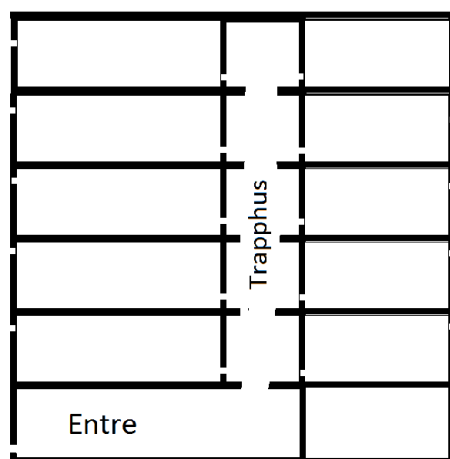
**Figur 11** Schematisk skiss på byggnad med tryckstyrd ventilation med tryckgivare på till- och frånluften i fläktrummet.

### 3.3.6 Påverkan av luftflödesobalansen

Vid olika nivå på undertryck i lägenheterna ökar även risken för luktspridning mellan lägenheterna via el och kabelrör, men även via skyddsrör vid rör-i-rör-system eller andra otätheter i konstruktionen. Vid fönstervädring "nollas" tryckdifferensen mellan fönstervädrande lägenhet och omgivningen. Spiskåpa/ spisfläkt ökar frånluftsflödet och undertrycket i lägenheten. Mätdata finns redovisat i, kapitel 3.3.4, figur 9 och 10.

I kapitlet 3.3.3 togs temperaturskillnader i tilluftssystem (övertempererad tilluft) och temperaturen på från-/avluften i frånluftsfläkten upp. Båda dessa kan ha en påverkan på luftflödesbalansen på runt 5 % vardera. I figur 8 ses att på luftflödesbalansen 0,95 (38 l/s) i frånluftsflöde och den specifika tätheten 0,09 erhålls 15 Pa undertryck. På vintern kommer avluftens temperatur att vara "kall" och frånluftsflödet kommer att öka med i storleksordningen 5 %. Vilket då överslagsmässigt skulle bli 45 Pa undertryck enligt figur 8, men när man har så stora undertryck kommer till- och frånluftsflödena att påverkas.

De termiska stigkrafterna kommer även att påverka luftflödena. Hur mycket luftflödena kommer att påverkas beror av var och hur läckorna är fördelade, hur ventilationssystemet är dimensionerat, etc. Ytterligare utredningar kan behövas för att kvantifiera de termikens betydelse för mycket lufttäta byggnader.



+ 20 grC luft har dens 1,20 kg/m<sup>3</sup>

Allmänna gaslagen ger:

- 20grC luft har dens  $T_i/T_u \cdot 1,20$   
vilket är  $(273+20)/(273-20) \cdot 1,20 = 1,39 \text{ kg/m}^3$

Tryckskillnaden för 1 meter blir då:

$$(1,39-1,20) \cdot 9,81 = 1,9 \text{ Pa}$$

För ett 6-vån flerbostadshus med ett öppet trapphus blir de termiska stigkrafterna ca 30 Pa.

**Figur 12** Exempel på storleksordningen på termiken

### **3.3.7 Fuktstyrning på mindre ventilationsaggregat med rotor**

Fuktavgivningen i lägenheter skapar ibland fuktåterföring från frånluften till tilluften när man använder rotor-värmeväxlare. När det är riktigt kallt ute kan rotor-värmeväxlaren ge för hög fuktåterföring. Detta gäller främst mindre ventilationsaggregat, för villor och lägenheter.

Prof. Lars Jenssen vid LTH, Avd. Installationsteknik har analyserat och skrivit en del om detta.

För att inte få problem med fuktåterföringen har en del mindre ventilationsaggregat utrustats med fuktstyrning, som minskar värmeåtervinningen genom att sänka varvtalet på rotorn.

Större ventilationsaggregat som betjänar många lägenheter har inte samma problem med fuktåterföring, då man erhåller en sammanlagring mellan lägenheterna och en utjämning av luftfuktigheten.

### **3.3.8 Brandgasspridningens påverkan på dimensioneringen**

Vid design av ventilationssystemet måste man även designa kanalsystemet för att begränsa brandgasspridningen till de andra lägenheterna. Efter en timme skall de andra lägenheterna i byggnaden max ha erhållit 1 % brandgaser i lägenheten. I lägenheten som brinner skall man räkna med ett övertryck på upp till 1500Pa.



### 3.4 Värmeavgivning från ventilationskanaler

Ventilationskanaler med medietemperatur som avviker från omgivningens temperatur.

#### 3.4.1 Ute- och avluftskanaler

Värmeförlusterna till ute- och avluftskanaler kan vara mer än 10 % av installerad värmeeffekt i energieffektiva småhus om de kanalerna inte är mycket korta. Man bör även kontrollera värmeförlusterna för utelufts- och avluftsdelarna av ventilationsaggregatet, som inte är försumbara. Se exemplen i figur 13, sid 34.

Utelufts- och avluftskanalerna mellan klimatskärmen och ventilationsaggregatet har värmeförluster. Finns brister i kondensisoleringen kan fukt under vintern kondensera på de kalla utelufts- och avluftskanalerna. Det förekommer att överskåp har blivit förstörda av kondensvatten från uteluftskanalen eftersom de ibland placerats i utrymmet mellan innertak och överskåpen i köket. Fuktrisken med kalla utelufts- och avluftskanalerna kan minskas med korta kanaler, noggrant isoleringsarbete och bra utförda detaljer. Korta kanaler innebär också att värmeförlusterna minskas.

Man kan kortfattat säga att man skall minimera kanallängderna på kanaler, som har en temperatur som avviker från omgivningens temperatur.

I tabell 3 nedan kan vi se exempel på vilka värmeförluster man kan erhålla för ute- och avluftskanaler mellan klimatskärmen och ventilationsaggregat.

**Tabell 3** Exempel: Beräkning av värmeförluster för ute- och avluftskanaler

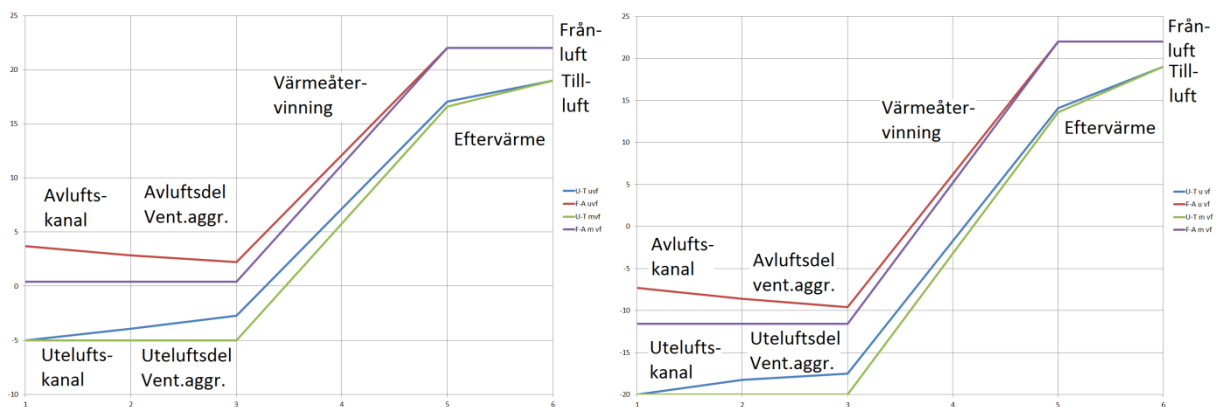
	Temperatur i	125 mm ventilationskanal	
		50 mm isolering	100 mm isolering
Uteluftskanal	-15 °C	12 W/m	8 W/m
Avluftskanal	-7 °C	10 W/m	6 W/m

I ett exempel med 6 m uteluftskanal och 6 m avluftskanal erhåller man 130 W värmeförluster med 50 mm isolering på ventilationskanalerna, vilket är 10 - 11 % av dimensionerande värmeeffekt för ett energieffektivt radhus.

För att visa betydelsen för värmeförluster till kalla kanaler och aggregatdelar redovisas beräkningar i figur 13. Figur 13 visar de två exemplen med  $T_{ute} = -5\text{ °C}$  respektive  $-20\text{ °C}$  med och utan hänsyn till värmeförluster till kalla kanaler och kalla delar av ventilationsaggregatet. I båda fallen ovan är värmeväxlarens torra temperaturverkningsgrad 80 % och luftflödesbalans. Teoretiskt utan hänsyn till värmeförluster är verkningsgraden på till- och frånluftssidan 80 % / 80 %. Tar man hänsyn till värmeförlusterna i de kalla delarna blir temperaturverkningsgraderna för ventilationsaggregatet med av- och uteluftskanalerna vid

$T_{ute} = -5\text{ °C}$ , 82 % respektive 68 %

$T_{ute} = -20\text{ °C}$ , 81 % respektive 70 %



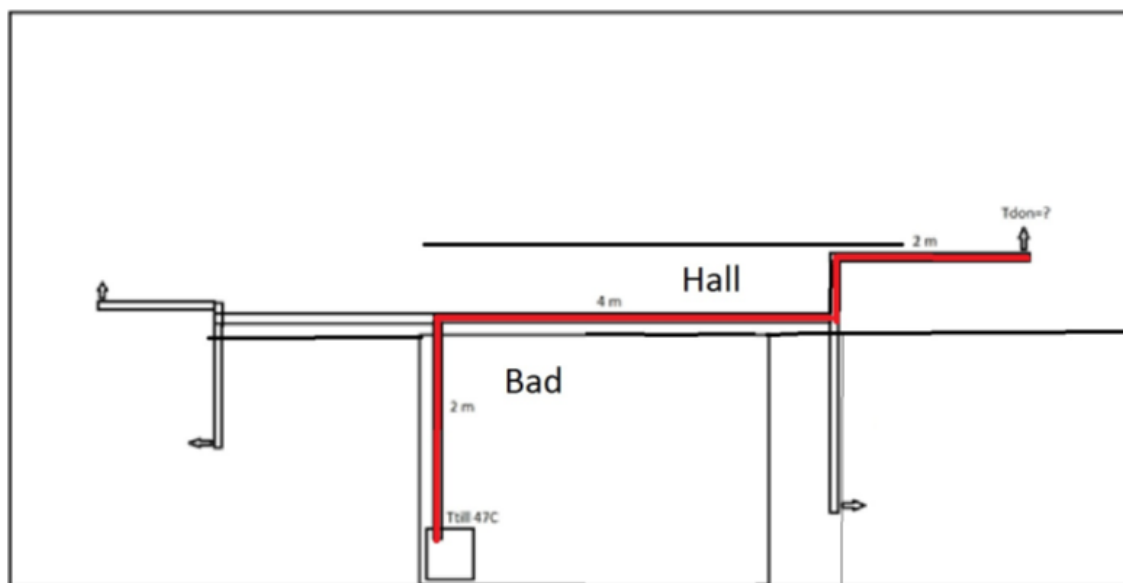
**Figur 13** Två exempel på temperaturnivåer i ventilationssystem med och utan hänsyn till värmeförluster till kalla ventilationskanaler och kalla ventilationsaggregatdelar.

Värmeförlusten i exemplet ovan är vid  $T_{ute} = -5\text{ °C}$ , 136 W respektive vid  $T_{ute} = -20\text{ °C}$ , 183 W. Har man en installerad värmeeffekt på 1200 W motsvarar de värmeförlusterna på de kalla kanaldelarna 15 % av den installerade värmeeffekten.

Problematiken med stora värmeförluster in i ute- och avluftskanaler gäller speciellt för ventilationsaggregat för små luftflöden, som har mycket hölje i förhållande till luftflöde (vilket är proportionellt mot  $golvarea/A_{temp}$ ).

### 3.4.2 Värmeförluster från tilluftskanaler vid luftvärme

Vid uppvärmning med tilluften och oisolerade tilluftskanaler med design enligt figur 14, nedan, kommer en mycket liten del (33 %) av värmeeffekten fram till tilluftsdonet, vilket ska jämföras med om tilluftskanalerna är isolerade med 50 mm mineralull, då 89 % av värmeeffekt kommer fram till tilluftsdonet.



**Figur 14** Layout på tilluftssystemet för beräkning av temperturfall i luftvärmesystem

Om man värmer med tilluften är det viktigt att man har isolerade tilluftskanaler annars kommer man inte att få fram värmeeffekten till de rum som behöver den. Enligt beräkningar redovisade i tabell 4, sid 36, tappar man för det oisolerade kanalsystemet 15 % av värmeeffekt innan tilluften i kanalsystemet har lämnat badrummet. Ytterligare 50 % tappar man i hallen och 33 % av värmeeffekt är kvar när man når fram till rummen. Med 100 mm isolering på kanalsystemet når ca 92 % av värmen fram till rummen och med 50 mm isolering når 89 % av värmen fram till rummen.

Kanalsystemet skall dras inom klimatskärmen annars blir temperaturfall och värmeförluster mycket större samt byggnadens täthet försämras genom ett antal extra kanalgenomföringar.

**Tabell 4** Värmeförluster och temperaturer för ett tilluftssystem med övertempererad tilluft med olika mängd isolering.

						Isolering	0 mm		50 mm		100 mm	
	Dim	Flöde	Area	Hast	Längd	Ttill	47		47		47	
Bad	125	40	1,23	3,26	2		43,4°C	189W	46,6°C	19W	46,7°C	12W
Hall	125	20	1,23	1,63	4		33,5°C	319W	45,1°C	38W	45,7°C	25W
Hall	100	10	0,79	1,27	2		28,9°C	69W	43,9°C	15W	44,9°C	10W
Sov						Tdon	28,9	33%	43,9	89%	44,9	92%

Det kan vara svårt att få plats med så mycket isolering som 100 mm på tilluftssystemet ovan undertak, men man får se till att man kan ha åtminstone 50 mm med isolering. En tilluftskanal med 50 mm isolering behöver ungefär 100 mm extra höjd ovan undertak än en oisolerad tilluftskanal och en tilluftskanal med 100 mm isolering behöver ca 200 mm mer höjd. En korsande frånluftskanal ger behov av ytterligare utrymme.

Vid luftvärme har man gett tilluftssystemet dubbla funktioner, dvs. tillföra uteluftsflöde till rummen och tillföra värme för att kompensera för de värmeförluster man har i rummet, måste man dimensionera luftflödena, så att ventilationssystemet klarar av att bära fram värmen till de olika rummen.

Vid centralt ventilationsaggregat skall tilluften värmas till 18-19 °C, och sedan eftervärma tilluften i lägenheten. Detta för att minimera distributionsförlusterna samt spara isoleringskostnad och utrymme.

Använder man elektrisk eftervärmare kan man sätta en eftervärmare (liten elradiator) under varje tilluftsdon eller inbyggd i tilluftsdonet och spara isoleringskostnad samt utrymme för tilluftssystemet i lägenheten. Detta ger även en individuell reglering av eftervärmningen i varje rum.

## 4 Installationssystemens funktion när det är kallt ute

### 4.1 Mollierdiagram VVX, avfrostning och förvärmning av uteluft

Den uppfuktning man har av luften i bostäder på grund av hygien, tvätt, matlagning, etc. ökar luftens absoluta fuktinnehåll relativt uteluften. Hur stor uppfuktningen blir är beroende på vilka och hur många, som bor i lägenheterna? Pensionärer, barnfamiljer etc. Här är valt att räkna med 3 g/kg i fuktillskott, vilket är i övre delen av 1,7-3,3 g/kg (2-4 g/m<sup>3</sup>,) av detta spann som man brukar räkna med. (1 m<sup>3</sup> luft väger 1,2 kg vid 20 °C, 1 atm tryck och 1,29 kg vid 0 °C.) Det är stor variation uppfuktningen av rumsluften mellan lägenheter och för ett centralt ventilationsaggregat erhålls en utjämning.

Luftens förmåga att innehålla vattenånga är starkt temperaturberoende och ökar med ökad temperatur samt minskar med sjunkande temperatur. I figur 15, sid 38, kan man se att -15 °C luft kan vid fuktmättnad innehålla 1 g fukt/kg luft, 0 °C luft 3,8 g/kg och 15 °C luft 10,7 g/kg.

I ventilationsaggregat med till- och frånluft med värmeåtervinning, kommer under den kalla årstiden frånluftstemperaturen att sjunka när den passerar värmeåtervinningen och den värme frånluften avger upptas av tilluften som ökar tilluftens temperatur. När frånluftstemperaturen närmar sig daggpunkten kommer fukt i frånluften börja kondensera i värmeväxlaren och om avluften erhåller en temperatur vid noll är det risk att det fryser i värmeväxlaren. För att undvika att värmeväxlaren blir en isklump finns det olika typer av avfrostningsfunktioner med olika komplexitetsgrad och kostnad.

Avfrostningsfunktionen begränsar värmeåtervinningen samt kostar värmeenergi samt gör att man behöver betydligt mer installerad värmeeffekt för att kompensera för den lägre återvinningsgraden när det är kallare än exempelvis -5 °C. Förvärmning av ventilationsluften med en lågtemperad "värmekälla", exv. borrhål, reducerar behovet att eftervärma tilluften. Det förkommer att man använder fjärrvärmereturen för att förvärma uteluften, men man får analysera hur det slår på fjärrvärmesystemet. Speciell hänsyn till frysrisker måste tas.

I samtliga fall nedan räknas med att fuktillskottet i lägenheten är 3 g/kg luft och timme.

I figur 15, sid 38, redovisas vad som händer i ventilationsaggregat utan förvärmning.

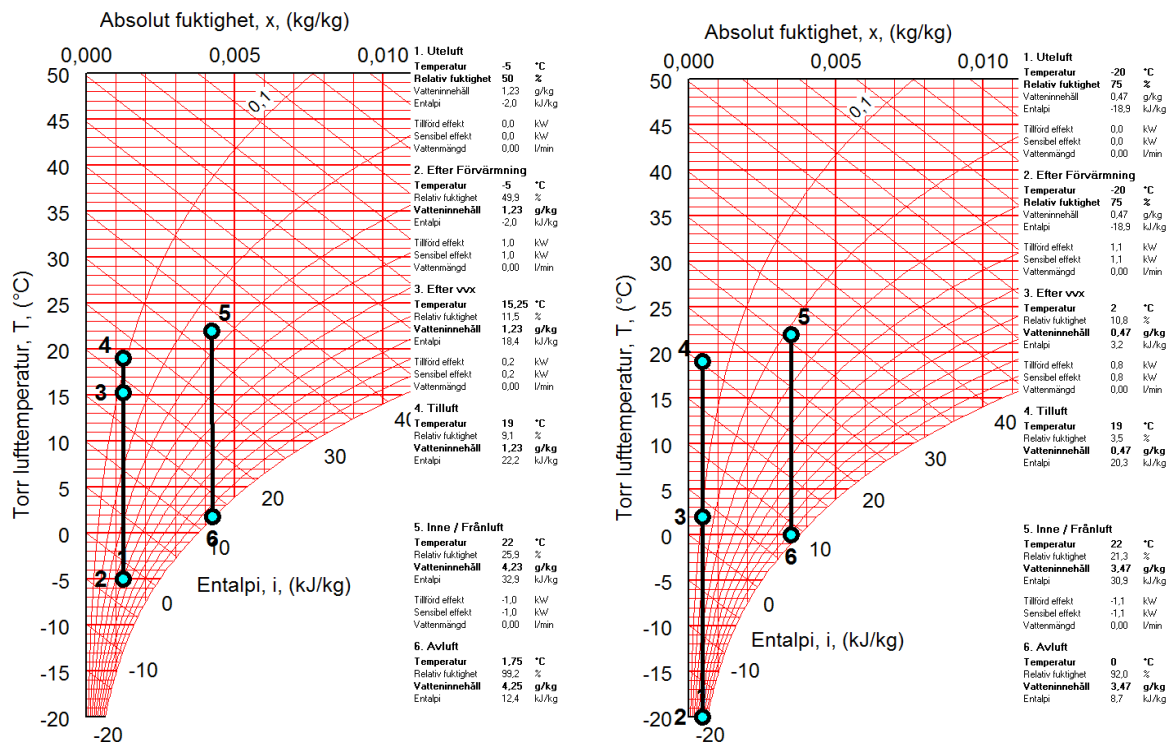
"1" uteluft, "1-2" förvärmning av uteluften vilken är noll, "2-3" VÅV till tilluften,

"3-4" eftervärmning, "4" tilluftstemperatur 19 °C, "5" frånluftstemperatur 22 °C,

"5-6" VÅV ur frånluften.

Den högra figuren visar begränsning av avfrostningsfunktionen VÅV så att avluftstemperaturen "6" är varmare än  $0^{\circ}\text{C}$ , vilket gör att den återvunna värmen "5-6" till "2-3" är begränsad och mer eftervärme "3-4" krävs.

Det luftflöde som energierna är beräknade för i figur 15 och 16 är 40 l/s.

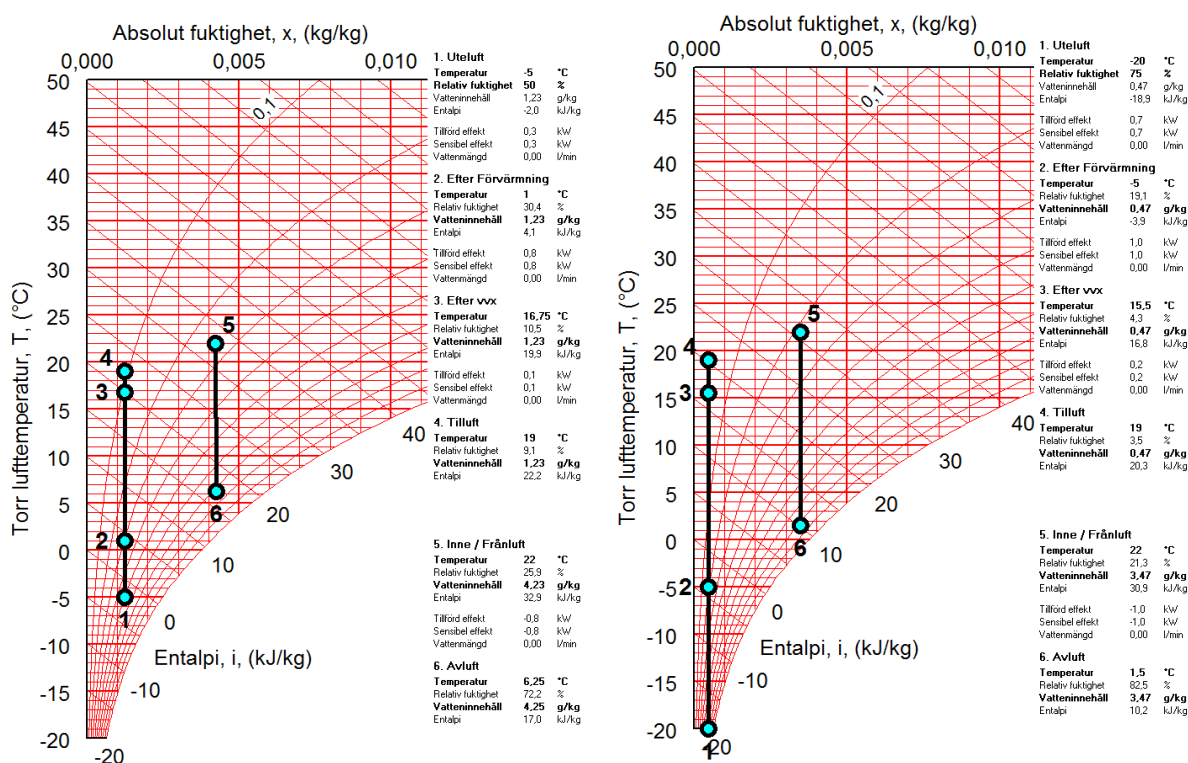


**Figur 15** Mollier-diagram över vad som händer i ett ventilationsaggregat med balanserade flöden och där ventilationsaggregatets avfrostningsfunktion begränsar VÅV, så att avluften är över  $0^{\circ}\text{C}$ . Ingen förvärmning i detta fall dvs "1" är lika med "2". (1:an ligger under linjen 2-3). Jmf eftervärmningsbehovet "3-4" till höger med "3-4" i figur 17, nedan. (Figurerna är uppritade med Mollier sketcher 2.1b)

Figur 16 redovisar vad som händer i ett ventilationsaggregat om man har möjlighet att förvärma ventilationsluften med en lågtemperad "värmekälla", exempelvis borrhål. Lite beroende på hur hårt belastat borrhålet är kan man eventuellt förvärma uteluften till  $-5^{\circ}\text{C}$  och då kan värmeåtervinningen (VÅV) gå på max utan risk för påfrysning etc. Eftervärmningsbehovet av "värme på en högre temperaturnivå" minskar rejält.

Även vid en utetemperatur på  $-5^{\circ}\text{C}$  bidrar förvärmning med att minska behovet av eftervärme. På sommaren finns möjlighet att kyla inkommande uteluft och få en liten kyleffekt till byggnaden, dock inte speciellt stor, men tilluften känns sval. Fördelen med borrhålsvatten är att man får en låg energikostnad för förvärmning på vintern när värmen är som dyrast respektive förkylning på sommaren. Det kostar endast lite el till cirkulationspumpen för borrhålet.

HSB har nyligen installerat denna lösning i flerbostadshus och kommer att följa upp och utvärdera funktionen under vintern 2013/14. Enligt Roland Jonsson HSB kostar denna lösning  $100 \text{ kr/m}^2$  extra och kommer att spara  $8 \text{ kWh/m}^2$ ,år samt en del av kostnaden för fjärrvärmeeffekt.



**Figur 16** Mollier-diagram med förvärmning "1-2" av uteluften med berg/ markvärme för att undvika avfrosthnsfunktionen går in och begränsar VÅV. Detta är ett sätt att använda lågtemperad värme för att undvika avfrosthnsfunktionen och spara på eftervärme av mer högvärd värme.  
(Figurerna är uppritade med Mollier sketcher 2.1b)

## 4.2 Frånluftsvärmepumpar

Frånluftsvärmepumpar ger en bra basproduktion av värmeenergi för värme och varmvatten, för man har hela året tillgång till +20 °C frånluft, som kan avkylas till åtminstone +5 °C. Hur mycket värmeenergi det kan bli beror på vilket frånluftsflöde som finns. Energimängden man får ut med FVP är ungefär dubbla mot den varmvattenenergi som behövs för ett år i en bostad. Det är viktigt att värmeåtervinningsbatteriet, vätskekretsen och värmepumpen är dimensionerade för den värmeenergi man kan återvinna ur frånluften.

Frånluftsvärmepump minskar endast marginellt max värmeeffektbehov. Det är viktigt att temperaturnivån hos värmesystemet inte är för höga, så att värmepumpen klarar av att avge sin värmeenergi under hela vintern, annars kommer den att slå ifrån och tillskottsvärmen måste ta hela värmeeffekten. Så det är viktigt vid värmepumpdrift tillse att man har bra temperaturfall i värmesystemet, så att värmepumpen inte står stilla när det är kallt ute.



### 4.3 Värmeeffektens betydelse för driftsekonomi

Här behandlas primärt fjärrvärme, där leverantören har hög kostnad att producera toppeffekt. När det är som kallast ute är värmeeffektbehovet som störst och det kommer att sätta kostnaden för abonnerad värmeeffekt. För att minska kostnaden för abonnerad värmeeffekt är det viktigt att analysera hur man kan erhålla en god funktion hos installationssystemen, när det är kallt ute.

För FTX-system kan avfrostningsfunktionen begränsa värmeåtervinningen, för att avlufts-temperaturen inte skall bli för kall, så att det finns risk för isbildning i värmeåtervinningen. Detta betyder att man behöver mer eftervärme för att värma tilluften till önskad inblåsnings-temperatur. För att undvika att avfrostningsfunktionen begränsar värmeåtervinningen kan man förvärma uteluften innan värmeåtervinningen, så pass mycket att avfrostningsfunktionen undviks. Till förvärmningen kan man använda lågtempererad värme, som borrhål.

Om kostnaden för abonnerad värmeeffekt är hög kan det reducerade värmeeffektbehovet till stor del bidra till investeringskostnaden för förvärmning med borrhål.

Exempel på temperaturnivåer i ett FTX-aggregat med och utan förvärmning visas i kapitel 4.1 vid två utomhustemperaturer,  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  respektive  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Värmepumpar har åtminstone två aspekter som behöver beaktas för eventuellt behov av tillskottsvärme. Om inkommande temperatur från värmesystemet blir för hög kommer värmepumpen inte att klara av att avge sin värme och slå ifrån. Då kommer hela värmebehovet behöva komma från tillskottsvärmen. Så det är viktigt vid värmepumpdrift att tillse att man har bra temperaturfall i värmesystemet, så att värmepumpen inte står stilla när det är kallt ute. Det andra är att se till att värmepumpen och dess delar är dimensionerad, för den värmeeffekt man kan erhålla ur frånluften.

När det är kallt ute kan man begränsa fjärrvärmeeffekt med att prioritera varmvatten. Dvs. nyttja byggnadens värmetröghet och se till att man inte går över en viss fjärrvärmeeffekt genom att minska värmen när värmeeffekten till varmvattnet är högre på morgonen och kvällen.

## 5 Distributionsförlusters betydelse för energianvändningen

Distributionsförlusterna beror på fyra saker: temperaturdifferens, arean (rörlängden), isoleringens värmemotstånd på rören och drifttiden. Drifttiden har främst betydelse i lokaler där exempelvis kyla endast primärt behövs under kontorstid under sommarhalvåret.

### 5.1 Uppvärmningssystem

Erforderlig temperaturnivå på värmesystemet beror på vilken typ av värmesystem som byggnaden har installerat. Dvs. ju större värmeavgivande yta värmesystemet har ju lägre framledningstemperatur kan man ha.

**”Temperade” golv**, golvvärme med liten övertemperatur på golvytan används till uppvärmning. 1 °C övertemperatur på golvytan ger en värmeeffekt på 11 W/m<sup>2</sup>.

Temperaturen på värmevattnet beror på golvkonstruktionens uppbyggnad, men är i storleksordningen

26 – 28 °C. Golvvärmen skall ha en isolering under (flytande golv), för att begränsa värmeavgivningen nedåt.

**40/35 radiatorsystem** erhåller betydligt större radiatorerna än 55/45-system. 40/35-system kan ha enkelpaneler som fyller ut utrymmet under fönstren, förinställningsvärdena på radiatorventilerna blir inte för låga, vilket annars kan ge problem med igensatta ventiler, etc. Värmeförlusterna från värmesystemets rörsystem blir ungefär hälften för ett 40/35 system jämfört med ett 55/45 system.

**Luftvärme** med vattenburen eftervärmningsbatteri kräver ännu högre temperaturer för att erhålla en tilluftstemperatur på 52 °C. Hur hög temperaturnivå beror på eftervärmningsbatteriet.

Vid lågtempererade värmesystem kan luft i systemet störa funktionen, men problemet reduceras kraftigt om man använder en **vakuumavgasare** under några veckor i samband med drifttagning. För det lågtempererade värmesystem finns goda möjligheter att använda, värmepump, spillvärme eller annan värmekälla med låg temperaturnivå.

## 5.2 VV- och VVC-förluster

Värmeförluster från VV/VVC-distributionsrör kan minimeras med hjälp av arkitekten. Lämpligt placerade kök och badrum ger korta VV/VVC-rördragningar, vilket minskar värmeförlusterna. I de fall när man inte uppfyller 10-sekundersregeln på varmvatten skall man i första hand flytta VV/VVC-schaktet och inte dra separata VVC-slingor i lägenheterna eftersom det ökar värmeförlusterna i mycket hög grad. I ett exempel hade man en ökning av värmeförlusterna från 6 till 25 kWh/m<sup>2</sup>,år.

I flerbostadshus har man rörstråk med varmvatten (VV) och varmvattencirkulation (VVC) för att se till att man får varmt varmvatten inom 10 sek. [BBR 2012, 6:623 Tappvattenflöde]. Dessa rörstråk kommer att ha konstanta värmeförluster till omgivningen året runt i och med att VVC-systemet skall säkerställa att lägsta temperaturen i VV/VVC distributionssystemet är minst 50 °C pga. legionellarisken. Storleken på värmeavgivningen beror på temperatur-differensen, tjockleken på rörisoleringen och på värmeavgivande yta (längd). Det sistnämnda kan huvudsakligen påverkas med placeringen av kök- och badrum, för optimering/minimering av rörlängderna på VV/VVC-systemet.

Storleken på VVC-förlusterna i flerbostadshus är ofta 5-8 kWh/m<sup>2</sup>,år, men det finns exempel på 20-25 kWh/m<sup>2</sup>,år, vilket är samma storleksordning som uppvärmningsbehovet för ett flerbostadshus byggt med passivhusteknik. Ett olämpligt designad VV/VVC-system kan med andra ord förstöra energiprestandan.

För att minimera VV/VVC-förlusterna skall man se till att man inte behöver ha en VVC-slinga till enskild lägenhet eller badrum utan att tappställena, för varmvatten ligger inom 10 sekunder, vilket motsvarar 10-12 m VV-rör (storleksordningen 5-8 m på planritning). Detta kan uppnås om man förlägger VV- och VVC-distributionsrören i schakt bredvid badrummet och köket ligger i anslutning till badrummet.

Flerbostadshus på fem våningar räknas överslagsmässigt igenom för att åskådliggöra hur rörlängd och isoleringsgrad påverkar VVC-förlusterna. Man fördelar VV/VVC-rörlängder per lägenhet för att kunna göra ett överslag på storleksordningen på värmeförlusterna. Dvs. VV/VVC-rörlängd i källare fördelas ut per lägenhet samt schaktets rörlängd tillhör lägenheten. 2 står för att VV/VVC-rör är VV-rör och VVC-rör.

Rörlängden för VV/VVC distributionssystemet per lägenhet blir då ungefär  $2 \cdot (\text{våningshöjd} + \text{rörlängd i källare/antal våningar})$ , vilket i exempel ger  $2 \cdot (2,7 + 15/5) = 10,8$  m VV/VVC-rör.

I skriften *VVS Företagens Teknikhandbok* kan man se att förlusterna från ett 18- respektive 22-rör med 20 mm isolering är 5 respektive 6 W/m och med 40 mm isolering blir förlusterna ca 4 W/m. Hur mycket isolering man kan ha i schaktet bredvid badrummet beror på vilken plats som finns i schaktet, hur man kan uppfylla Säker Vatten, för fördelningsskåpet/schaktet och hur man kan utföra brandtätningar vid bjälklagsgenomföringarna.

Med antagandet att 20 mm isolering får plats på rören och att övriga krav också kan uppfyllas, då blir VV/VVC-förlusten per år, om lägenhetens andel av husets  $A_{temp}$  är  $90 \text{ m}^2$ ,  $10,8 \cdot 6 \cdot 8760 / 90 = 6\text{-}7 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$ .

Om det finns möjlighet att lägga badrum och kök nära trapphuset kan man placera VV/VVC-schaktet i trapphuset mellan två lägenheter och därigenom korta dragningar till VV-tappställena. Rörlängderna blir då per 2 lägenheter  $2 \cdot (2,7 + 10/5) = 9,4 \text{ lpm}$  VV/VVC-rör, vilket blir 4,7 m VV/VVC-rör per lägenhet. I schakt i trapphuset finns bättre möjligheter att ha mer isolering och då blir värmeförlusten  $4,7 \cdot 4 \cdot 8760 / 90 = 2 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$ . Med samisolering av VV och VVC-rören kan den värmeförlusten minskas ytterligare.

Om VV/VVC-schakt placeras i trapphuset och man inte uppfyller 10-sekundersregeln, måste man ha en VVC-slinga in i varje lägenhet, som kommer att få en slinglängd på  $2 \cdot (10\text{-}15 \text{ m})$ , vilket kommer att öka värmeförlusterna från VV/VVC dramatiskt. Den kommer att öka med  $30 \cdot 6 \cdot 8760 / 90 = 18 \text{ kWh/kvm, år}$ . VVC-slingan in i varje lägenhet kommer även att öka drift och underhåll, för att man får en VVC-injusteringsventil per lägenhet i stället för en VVC-injusteringsventil per VV/VVC-schakt.

Vid projektering av energieffektiva byggnader är det mycket viktigt att i tidigt skede bestämma placering av kök och badrum, så att man kan optimera schaktplacering och dragning av VV- och VVC-rör. Om man tvingas lägga VVC-slingor in i lägenheterna från VV och VVC-schakten för att klara 10-sekunders-regeln ökar husets energiprestanda rejält. I fallet när man tvingas dra en extra slinga in i varje lägenhet för att klara 10-sekunders-regeln får man en extra värmekälla på 150-200 W/lgh, som VVC-slingan innebär, vilket ger en ökning på innetemperaturen i byggnaden med 1-2 °C och därmed ökar också risken för övertemperaturer under sommaren.

### 5.3 Lägenhetsvisa fjärrvärmeväxlare

Lägenhetsvisa fjärrvärmeväxlarcentraler är ett sätt att minska distributionsförluster med mindre mängd distributionsrör i byggnaden, men ökar antalet servicepunkter och värmeförlusterna från fjärrvärmeväxlarcentralen måste analyseras. Hur stora är värmeförlusterna från de lägenhetsvisa fjärrvärmecentralerna jämfört med värmeförlusterna från de rör som sparats in?

Lägenhetsvisa fjärrvärmeväxlare behöver endast tre ledningar till varje lägenhet:

- Hetvatten framledning 65 °C
- Hetvatten returledning (temperaturen beror på hur bra avkylning man erhåller i VV-vvx respektive värme-vvx)
- Kallvattenledning 10 °C (5-18 °C årstidsberoende etc.)

Jämfört med vanliga byggnader med central beredning av VV och värme där man har åtminstone fem ledningar:

- Varmvatten 60 °C
- Varmvattencirkulation min 50 °C
- Kallvatten 10 °C (5-18°C årstidsberoende etc.)
- Värme framledning 20 -55 °C alt. något lägre bestäms av värmesystemstemperaturnivån.
- Värme returledning 20 – 45 °C alt. något lägre bestäms av värmesystemstemperaturnivån.

Antalet värme fram- och returledningar beror på hur värmesystemet är uppbyggt.

Två frågor som är mycket viktiga i analysen av de lägenhetsvisa fjärrvärmeväxlarna.

- Hur stora blir värmeförlusterna från de lägenhetsvisa fjärrvärmeväxlarna?
- Vilken övertemperatur kan denna värmeavgivning ge och var?

Flera mätningar behövs för att verifiera byggnadens energiprestanda, då man inte centralt kan mäta kallvatten till varmvatten utan måste mäta varmvattenanvändningen i alla lägenheter.

## 5.4 Uppvärmning av stillastående kallvatten i schakt

Enligt remiss på ändring av nya BBR till 2014 skall man vid gemensamt schakt för VV / VVC och KV visa att kallvattnet inte blir uppvärmt till mer än till 23 °C när kallvattnet har varit stillastående i 8 timmar. För att analysera detta kan man beräkna uppvärmningsförloppet för en 28 mm kopparrör med 16 °C kallvatten i ett schakt som har en schakttemperatur av 26 °C. Enligt VVS Företagens Teknikhandbok är kallvattnet mellan 5 °C och 18 °C.

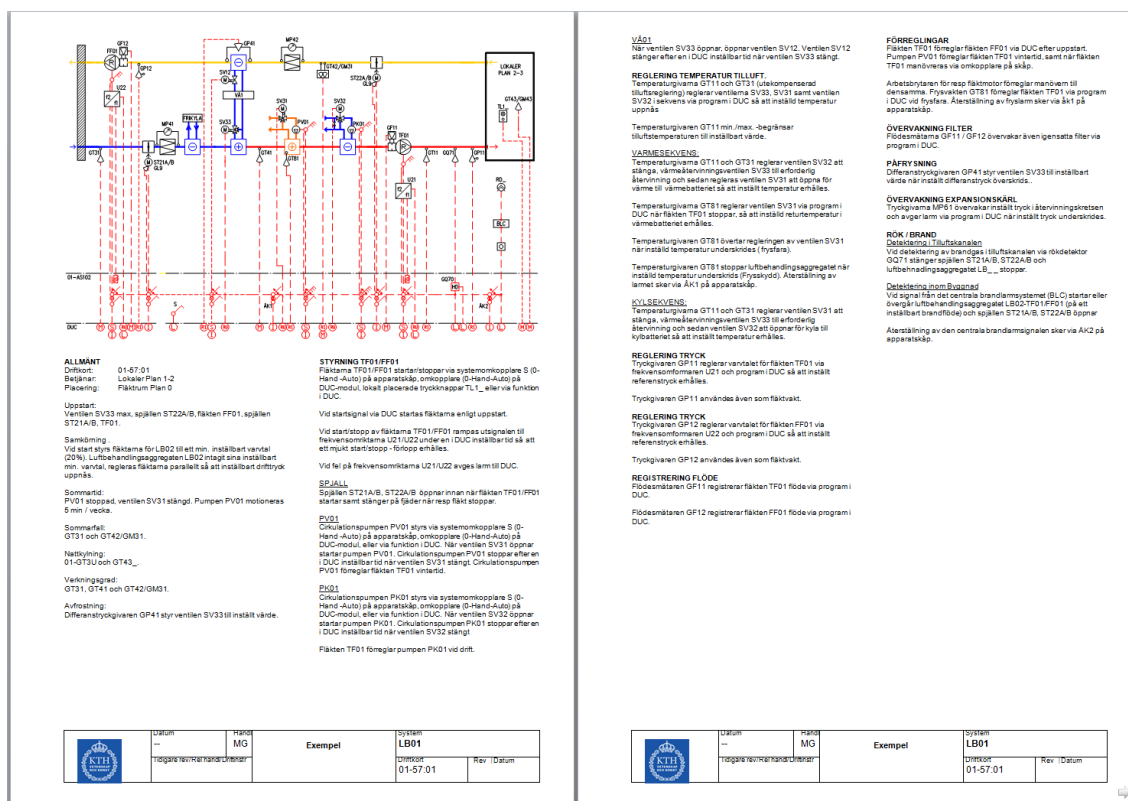
Beräkningsmässigt begränsa kallvattnets uppvärmning till 23 °C erfordras 80 mm rörisolering ( $\lambda = 0,034$ ), men med en högpresterande rörisolering ( $\lambda = 0,023$ ) räcker det med 40 mm. Detta ger att VV/VVC/KV-rören måste vara välisolerade och att kallvattenledningen måste vara minst 28 mm, för annars är massan kallvatten för liten, så att kallvattnet värms upp för snabbt och det blir ökad risk för legionella.

## 6 Driftkort och funktionskrav

Hur skall man ställa och verifiera funktionskrav för olika komponenter i installationssystem, så att byggherren kan vara trygg i att få den önskade energiprestandan. I driftkortet skall de olika delarnas funktion och styrning beskrivas och vara underlag till projekteringen. I slutet av projekteringsfasen skall man ha samordnad kontroll att alla delar i driftkortet finns med i bygghandlingarna.

I systemhandlingen skall funktionskravens verifieringsmätningar bestämmas, för att i projekteringen ritas in, så att förutsättningar för mätare och givare kan uppfyllas i designen. Vid idrifttagning skall de olika funktionerna i driftkortet verifieras samt de delar som inte kan testas vid idrifttagningen provas första året.

I drift- och energiuppföljningen skall man verifiera de funktioner beskrivna i driftkortet, som är relevanta för installationernas och byggnadens energiprestanda.



**Figur 17** Exempel på driftkort för FTX-ventilation med vätskekopplad värmeåtervinning. Med tillstånd av Marko Granroth, KTH, Avd. Installations- och Energisystem.

## 7 Energi- och driftuppföljning

Om man endast har en energiuppföljning (månadsvärden) på fastighetsmätarna, kan man bara konstatera vilken energianvändning man erhöll, men man förstår inte varför. Har man energiuppföljning på den energi som olika delsystem använder kan man se att ett delsystem använder för mycket energi, men troligast inte orsaken. Har man en detaljerad energi- och driftuppföljning kan man analysera hur de olika systemen fungerar samt ge förslag på hur man kan korrigera problemet, som försämrar energiprestandan och installationernas funktion.

Erfarenheter från många om- och nybyggnader av byggnader visar att de ofta inte uppfyller förväntad energiprestanda. Främst är det brister inom installationssystemen, värme-, kyl- och ventilationssystemen. Ofta vet man inte förrän efter ett/ några år att man ligger för högt i energianvändning, för man har inte en tillräckligt detaljerad energi och driftuppföljning.

För att känna en trygghet i verifieringen av energiprestanda enligt BBR, Green Building eller annan avtalad energiprestanda, så bör man direkt vara igång med injusteringar och felavhjälpling, så att första året kan användas för att erhålla korrekt drift. Andra året används för att verifiera energiprestanda.

Kontorsfastigheter med mycket god energiprestanda, hög miljöklassificering kan i köpeavtal ha skadeståndsklausuler, m.a.p. ej erhållen utlovad miljöklassificering, Green Building, avtalad energiprestanda (Energiavtal 12), etc. Detta gör att det blir ett mycket stort focus på att kunna uppfylla utlovad energiprestanda och ett gott arbete med energi- och driftuppföljning.

För att säkerställa funktionen på installationerna och energiprestandan är det viktigt att ha focus på installations och energifrågan genom hela projektet från första ide, genom projektering, produktion, idrifttagning, och drift i x år. För att vid idrifttagning och driften kunna följa upp funktion och energiprestanda är det viktigt att redan i projekteringen har planerat och bestämt hur man skall utföra energi och funktionsuppföljning samt funktions-optimera. Under idrifttagningen skall driftuppföljningssystemen tas i drift, verifiera loggade värden och verifiera funktionen för de olika systemen. Under slutbesiktningen skall besiktningsmannen utnyttja loggade mätdata för att verifiera de olika systemens funktion.

Har man inte kravet att driftuppföljningssystemet skall vara verifierat och utnyttjas av besiktningsmannen under slutbesiktningen är risken stor att det tar 3-6 månader efter slutbesiktningen innan driftuppföljningssystemet fungerar.



Då har man tappat mycket värdefull tid för att optimera byggnadens energiprestanda, drift-optimera installationssystemen, första vintern eller sommaren har passerat och man har inte kunnat driftoptimera systemen för de driftfallen.

I energieffektiva byggnader med låg energianvändning, är det mycket viktigt att ha god kontroll på installationernas funktion, för då får små fel och brister en relativt sett större betydelse. I värsta fall kan en större obalans i ventilationen ge undertryck, vilket ger ett större effektbehov i vissa rum pga. luftläckage genom klimatskalet, som kan ge effektbrist och problem med inneklimatet (låg inomhustemperatur).

För att kunna finna orsaken behöver man mätvärden från byggnadens olika delsystem. Beroende på vad det är för fel behöver man olika typer av mätdata. Timvärden kan vara tillräckligt för att se att något är i drift i onödan, exv. att tidstyrningen av ventilationen på ett kontor inte fungerar. Har man ett styrproblem behövs mätdata med minutupplösning, för att på styrsignaler, temperaturer, flöden, etc. se hur regleringen av installationssystemen fungerar.

Det är viktigt i energieffektiva byggnader med låg energianvändning att ha god kontroll på installationernas funktion. Med en detaljerad drift- och energiuppföljning kan man åskådliggöra installationssystemens funktion och energianvändning. Man kan verifiera de olika delsystemens funktion enligt driftkortet och föra sakliga diskussioner om systemens funktioner med olika aktörer.

De signaler man önskar i uppföljningen är de relevanta signalerna på driftkortet samt ett antal referenstemperaturer i byggnaden. Relevanta signaler är temperaturer, styrsignaler, tryck, flöden, börvärden, värme- och elmätare, etc.

Kontor är ofta mer komplexa och större, så där finns större möjlighet att göra detaljerade drift- och energiuppföljningar varannan månad efter ett uppstartsskede. Varje eller varannan vecka bör man granska nyckelvärden- och nyckeldiagram, för att snabbt upptäcka om man har erhållit något fel i installationssystemen, som kan påverka byggnadens energiprestanda.

Flerbostadshus och mindre kontor bör ha en detaljerad energi- och driftuppföljning de första månaderna när man verifierar installationsystemens funktion etc. Därefter har man några nyckelvärden och nyckeldiagram, som man följer upp och när de avviker för mycket gör man en detaljerad energi- och driftuppföljning, för att förstå varför.

För att kunna göra de mindre respektive detaljerade energi- och driftuppföljningarna behövs att mätdata från byggnaden automatiskt lagras i en databas och att nyckelvärden och nyckeldiagram halvautomatiskt kan tas fram för att spara mantimmar.

Exempel på vad man bör kontrollera för är felaktiga styrfunktioner, som att eftervärmaren går in först och sedan värmeåtervinningen.

Mycket av arbetet med driftuppföljning är lika, så det finns stor potential för att effektivisera om man kan automatisera och snabbt göra om samma beräkningar och diagram, vecka för vecka och månadsuppföljning för månadsuppföljning.

Det viktigaste är att man snabbt startar upp loggningen och verifierar mätdata i styrsystemets OPC-server. Helst skall besiktningsmannen använda mätdata från loggningen vid slutbesiktningen. Collectorn (dataprogram) hämtar mätvärden enligt TAG-lista (loggningslista) och skickar mätdata över nätet till databasen. Olika program kan sedan användas för att visualisera mätdata och utföra beräkningar av energiprestanda etc. Det viktigaste är att arbeta med verktyg, som kan automatisera mycket av administrationen av mätdata och uppritande av diagram etc.

Redan under projekteringen projektera driftuppföljningssystemet. Driftuppföljningssystemet skall tas i drift under idrifttagningen av installationssystemen och loggade mätdata skall verifieras, så att besiktningsmannen kan utnyttja några veckors loggade mätdata för att verifiera de olika installationssystemens funktion.

Detta gör att loggningen av mätdata fungerar, mätdata är verifierade, så att man direkt kan börja jobba med att driftoptimera byggnaden och dess installationssystem direkt efter slutbesiktningen. Man har också erhållit en anläggning som är funktionskontrollerad av besiktningsmannen.

I befintlig bebyggelse kan man energieffektivisera genom att byta komponent eller system. Exempelvis byta FTX-aggregat, installera en FVP eller liknande. Dess energiprestanda och funktion behöver man kunna verifieras mot ställda funktionskrav alternativt utlovad energiprestanda. Metodik, mätmetoder samt arbetssätt behöver tas fram och verifieras.

## 8 Behov av fortsatt arbete

1. **Vidareutveckla denna rapport till en bok.** Bearbeta text, figurer etc., då informationen i rapporten är viktig för bygg- och fastighetsbranschen när byggnaderna blir mer energieffektiva.

2. **Tilluftssystem: Design, tilluftsdon, ljud, injustering,**

För att minska risken med luftläckage ut genom klimatskärmen som kan göra att fukt kondenserar i konstruktionen bör man ha ett undertryck i byggnaden genom ett litet underskott av tilluft, dvs. man försöker säkerställa en luftflödesbalans på 90-95% under uppvärmningssäsongen/vintern. Djupare analyser behövs av ventilationssystemets dimensionering och injusteras i energieffektiva byggnader, för att erhålla energieffektivt och robust ventilationssystem. I detta behöver man beakta betydelsen av luftens temperaturberoende, för när på året ventilationssystemet injusteras. Det behövs även fortsatta studier av tilluftssystem i lägenhet/småhus för att konstruera tilluftssystem för låga ljudnivåer, men även avvägda beträffande tryckfall, kastlängder, lufthastigheter, risk för drag, värmeförluster, förhindra brandgasspridning, etc. Egenljudalstringen från tilluftsdon beror på montage av donet, dvs. raksträcka före donet, etc. som skapar turbulens och sned hastighetsprofil.

Egenskaper redovisade för tilluftsdon varierar mellan olika don, även från samma tillverkare, så det vore bra om man kunde redovisa alla tilluftsdon på likartat sätt med avseende på strömningförhållanden innan tilluftsdonet, så att man får större möjlighet att designa ett bra tilluftssystem med låga ljudnivåer i rummen.

3. **Individuell reglering av rumstemperaturen** i energieffektiva byggnader.

Möjligheter att individuellt reglera rumstemperaturen i energieffektiva byggnader  
Välisolerat klimatskärm gör att värmetransporten genom väggar och bjälklag mellan lägenheter och rum får en allt större betydelse, för en lägenhets innetemperatur. Hur skall man ta hand om önskemålet att ha olika temperaturer i olika rum? Många vill ha lite svalare i sovrummet och fönstervädring, vilket inte är den energieffektivaste lösningen under vinterhalvåret. Vad krävs för att kunna hålla en lägre temperatur i sovrummet?

Vad krävs för att bära ut en liten mängd värme till rätt ställe? Med små förluster för att undvika övertemperaturer.

4. **Varmvattenproduktion till energieffektiva byggnader.** I energieffektiva byggnader där man har lyckats minska driftel och uppvärmningsenergi har varmvattnet blivit en stor post. Hur kan man minska energianvändningen till varmvatten.
5. **Schaktlösningar VV/VVC/KV** inom lägenhet respektive i trapphus.  
För schaktlösningar behöver man lösa fyra frågor på en gång. Hygien, värmeeffektivitet, fuktsäkerhet, och brand. För hygien (legionella) lägsta temperaturen på VVC är 50 °C, VV inom 10 sekunder i tappställe och enligt remissförslaget för BBR 2014 skall man tillse att kallvattnet inte skall bli över 23 °C, när det är stillastående kallvatten i åtta timmar. Värmeeffektivitet för att temperaturen på VVC inte skall falla för mycket, för mycket värme avges i schaktet, som ger större risk för varmt kallvatten under natten samt att förlusterna påverkar byggnadens energiprestanda. Fuktsäkerhet genom lösningar enligt Säker vatten samt lösningar som har tillräckligt brandmotstånd i brandcellsgränserna. En kritisk del är kopplingar i fördelningsskåp där kraven gällande vattensäkerhet, energi-effektivitet samt varmt kallvatten (legionella) är lite "motstridiga".
6. **Energi och driftoptimering.** Det är viktigt att arbeta med drift- och energioptimering för att ha större möjlighet att erhålla den beräknade energiprestandan. Ofta driftsätts komponenter och system med defaultvärden, vilka inte är optimala för byggnaden. För att erhålla snabbare och bättre idrifttagning, drift och energiuppföljning erfordras bättre arbetsmetoder och verktyg för energi- och driftoptimering. Detta för att minska antalet mantimmar i det arbetet och i stället kunna använda datorkraft för analyserna.
7. **Funktions- och prestandaverifiering av komponent eller system.** Delverifiering i energieffektiva byggnader samt i befintlig bebyggelse verifiering av energieffektiva åtgärder genom att byta komponent eller system. Exempelvis byta FTX-aggregat, installera en FVP eller liknande. Dess energiprestanda och funktion behöver man kunna verifieras mot ställda funktionskrav alternativt utlovad energiprestanda. Metodik, mätmetoder samt arbetssätt behöver tas fram och verifieras.
8. **Installationssystemens funktion när det är kallt ute.** I energieffektiva byggnader är installationernas funktion när det är kallt ute viktig för dimensioneringen av systemen, men även för abonnerad effekt och driftkostnader.
9. **Spiskåpa och spisfläkt.** Fortsatta analyser för att kunna ge exempel på bra lösningar om hur man skall ta hand om matos och fukt från matlagning.

## 9 Referenser

- BBR 2012,                                Regelsamling för byggande, BBR, Boverket 2012
- Blomberg 1999                        Experimental Validation of Dynamic Component Models for  
Simulations of Air Handling Units, KTH, Installationsteknik,  
Meddelande Nr 50
- Energiavtal 12                        <http://www.sveby.org>
- Mollier sketcher 2.1b               <http://www.ivprodukt.se/Pages/Page.aspx?pageId=16>
- Branschregler Säker Vatteninstallation
- EN ISO 13789:2008
- FEBY12 – Bostäder, Kravspecifikation för nollenergihus, Passivhus och minienergihus
- VVS Företagens Teknikhandbok 2013