



Installationssystem i energieffektiva byggnader

Tekn Dr Per Kempe, Projektengagemang Energi & Klimatanalys AB, Box 24, 182 11 Danderyd

per.kempe@projektengagemang.se, (per.kempe@byv.kth.se)

Abstract

Syfte och Mål

Studien syftar till att öka kunskapen kring hur installationer ska designas/optimeras i hus med små värmeeffektbehov eftersom aspekter, som inte beaktas i hus med max tillåten energianvändning enligt BBR, kan få stor betydelse i hus med små värmeeffektbehov. Studien redovisar kunskaper som är användbara för bygg- och installationsentreprenörer om installationssystem i energieffektiva byggnader.

Metod

Teoretiska analyser av dokumenterade erfarenheter från felsökningar av inneklimat och installations-systemens funktion i energieffektiva byggnader samt litteraturstudier av svenska erfarenheter inom området.

Resultat

Vid större obalans i ventilationsflödena i lägenhet (tilluftsflöde/frånluftsflöde=70%), ökar värmebehovet i rummen kraftigt. I ett exempel med $T_{ute} -15^{\circ}\text{C}$ ökar värmebehovet, pga. kall uteluft läcker in i rummen, med ca 40 % av den installerade värmeeffekten. Vid uppvärmning med luft ska man bära ut 40 % mer värmeeffekt med 70 % av tilluftsflödet, vilket gör att temperaturhöjning måste vara dubbelt så stor som projekterat. Samtidigt minskar återvinning av värme ur frånluften med ca 15 %.

Avfrostningsfunktioners begränsning av värmeåtervinningen kostar värmeenergi och 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 lågtempererad "värmekälla", exv. borrhål, reducerar behovet att eftervärma tilluften.

Värmeförlusterna från ute- och avluftskanaler kan vara ca 10 % av installerad värmeeffekt i småhus om inte de kanalerna är mycket korta. Man bör även kontrollera värmeförlusterna för utelufts- och avluftsdelarna av ventilationsaggregatet, som inte är försumbara.

Vid uppvärmning med tilluften och oisolerade tilluftskanaler kommer i ett exempel en mycket liten del (33 %) av värmeeffekten fram till tilluftsdonet, vilket kan jämföras med om tilluftskanalerna är isolerade med 50 mm mineralull, då 89 % av värmeeffekt kommer fram till tilluftsdonet.

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 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/m²,år.

Nyckelord: Installationssystem, ventilationssystem, energiprestanda, värmeåtervinning, luftflödesbalans, luftläckning, förvärmning, avfrostning, VVC-förluster, energieffektiva

Inledning

Denna artikel är en delredovisning av SBUF-projekt, som bygger på erfarenheter från arbete med felsökningar och driftoptimering i 11 år på KTH samt därefter under 15 år som konsult.

Syftet med SBUF-projektet är att öka kunskapen om hur installationer ska designas/optimeras i hus med små värmeeffektbehov eftersom aspekter, som försummas i "vanliga" BBR-hus, kan få stor betydelse i hus med små värmeeffektbehov. Det finns ett stort behov av att i detalj beskriva, undersöka och analysera vad som händer i installationssystemen. Målet är att ge installations- och byggtreprenörer ökade kunskaper om installationer i energieffektiva byggnader dels via SBUF-rapport, branschpassad skrift "*Installationssystem i energieffektiva byggnader*" [Kempe 2013] samt artiklar.

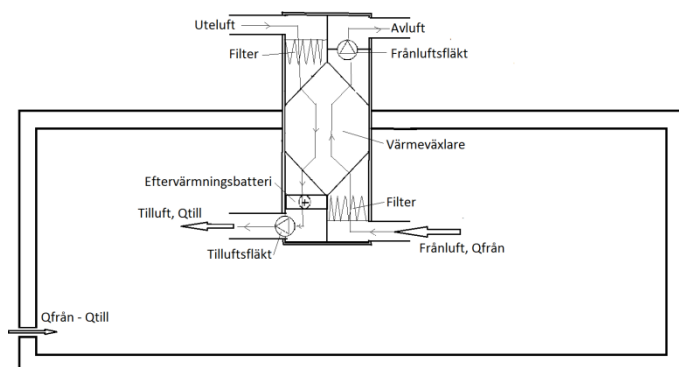
I energieffektiva byggnader som exempelvis passivhus, vilket innebär ett mycket bra klimatskal samt litet värmebehov, kan små fel i ventilations- och värmeinstallationer få stora konsekvenser i relation till den installerade värmeeffekten. I vanliga hus märks sällan sådana fel eftersom de har en betydligt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

Det finns i byggbranschen en del missuppfattningar och kunskapsbrister kring hur energieffektiva byggnader/passivhus fungerar installationstekniskt. Detta kan leda till bl.a. problem med att köpa in 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.

En del installatörer tänker sig att passivhus är helt lufttäta och är därför inte tillräckligt noggranna med injusteringen av ventilationen, för att "på något sätt passerar luften värmeväxlaren". Detta leder i fallet med betydligt mindre tilluft än frånluft till minskad värmeåtervinning från frånluften och kraftigt ökat värmeeffektbehov i rummen. Resultatet av obalansen i ventilationsflödena kan leda till effektbrist redan vid några minusgrader ute, vilket ger missnöje hos de boende/brukarna. Därutöver drar huset mycket mer energi än utlovat. Installatören förstår inte problemet och säger "VVS-projektören måste räknat fel på värmebehovet. Vilken värmeeffekt vill Ni att vi skall installera?"

Luftflödesbalansens betydelse för energiprestandan i lågenergihus

Betydelsen av luftflödesbalansen för byggnadens energiprestandan kan visas med ett exempel där lufttäthet och luftflödesbalans varieras. I figur 1 visas en principskiss för exemplet.



Figur 1 Principskiss på radhuslägenhet i exemplet med Tilluftsflödet Q_{till} , Frånluftsflödet $Q_{från}$ och "Läckflödet" $Q_{från} - Q_{till}$.

Exemplet bygger på ett provtryckningsprotokoll för ett radhus med $q_{50} = 0.09 \text{ l/s, m}^2$, $Q_{50} = 27 \text{ l/s}$ och som jämförelse har beräkningar även utförts med lufttäthet enligt FEBY12: $q_{50} = 0.30 \text{ l/s, m}^2$, $Q_{50} = 90 \text{ l/s}$. I alla fall är frånluftsflödet 40 l/s och tilluftsflödet varierar i beräkningarna från 28 l/s till 40 l/s . Detta motsvarar en luftflödesbalans mellan 70 % och 100 %.

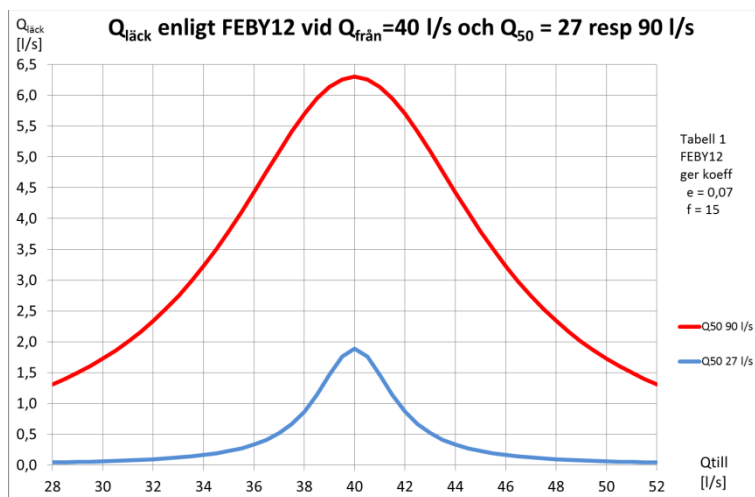
Byggfysiker önskar ett underskott på tilluft, för att erhålla ett undertryck i byggnaderna, vilket minskar risken för att fuktig inneluft läcker ut i klimatskalet och kondenserar i konstruktionen. Vanligtvis har man en luftflödesbalans på 90-95%, vilket i detta fall skulle motsvara 36-38 l/s i tilluftsflöde.

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 klimatskalet ekv.[2], $Q_{läck}$, på grund av de tryckdifferenser, som vinden skapar. v i ekv [1] är systemverkningsgrad för ventilationen och innehåller bl.a. luftflödesbalansen.

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

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

I figur 2 redovisas hur $Q_{läck}$ varierar med tilluftsflödet, för de två olika lufttätheterna.

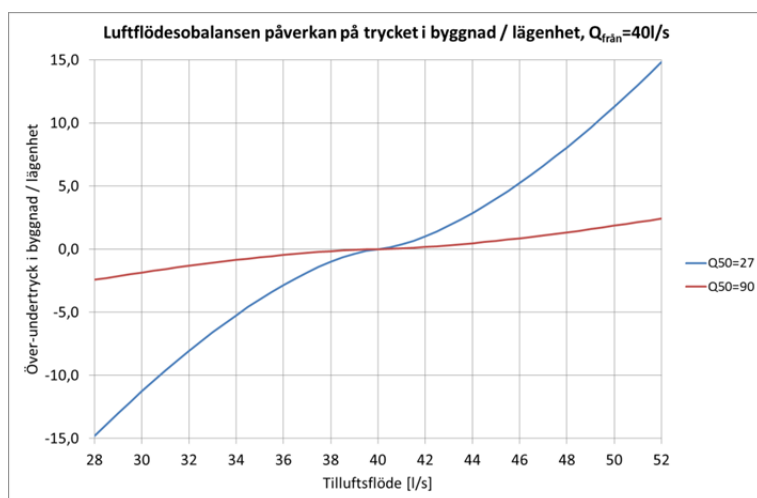


Figur 2 Läckluftflöde på grund av vindtryck (enligt ekv.2) vid olika täthet och luftflödesbalans

Vid fullständig balans mellan till- och frånluftsflödena blir $Q_{läck}$ 1,9 l/s vid en lufttäthet på 0,09 och 6,3 l/s vid en lufttäthet på 0,30. Vid en "normal" luftflödesbalans på 90 – 95 % blir $Q_{läck}$ 0,3 – 1,0 l/s respektive 4,4 – 5,7 l/s. $Q_{läck}$, enligt ekv. [2] ovan är det vinddrivna läckflödet ut och in genom klimatskalet och är inte det luftflöde genom klimatskalet, som obalansen mellan till- och frånluft skapar, vilket beräknas nedan.

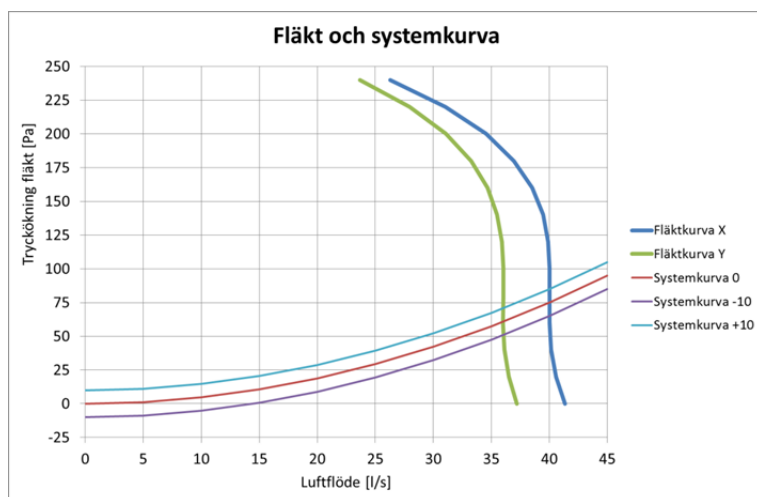
Luftflödesobalansen ger upphov till ett över- eller undertryck i lägenheten, vilket kan beräknas med hjälp av provtryckningsprotokollet. I figur 3 redovisas över- respektive undertryck och dess beroende av tilluftsflödet. Det kan i figur 3 ses att vid täthet enligt FEBY12-krav så erhåller man endast ett litet

under- respektive övertryck, men för tätheten 0,09 får man ett undertryck på 15 Pa vid en luftflödesbalans på 70 %, vilket beroende på fläktkurva kan påverka luftflödena något.



Figur 3 Luftflödesobalansens påverkan på över- respektive undertryck i byggnad/lägenhet

I figur 4 visas hur ett under eller övertryck kan påverka luftflödena i ett till- eller frånluftssystem. Ett över- eller undertryck i en byggnad parallellförskjuter systemkurvan i ett fläktdiagram. 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 det liten eller ingen betydelse på luftflödena.



Figur 4 Exempel på fläkt och systemkurvor för att utvärdera hur ett under- eller övertryck påverkar luftflödena i ventilationssystemet.

Om man i en större byggnad har tryckstyrda fläktar som konstanthåller över- respektive undertryck i fördelnings- och samlingskanalerna, får man en viss påverkan på luftflödena, vilket indirekt kan ses i figur 7 längre fram i denna artikel.

Om referenstrycket man tryckstyr fläktarna mot inte är representativt påverkas luftflödena. Exempel: referenstrycket mäts i ett rum som endast har frånluft, så man får ett undertryck i förhållande till

byggnaden på 20 Pa. Tryckstyr man på 100 Pa i både frånluft resp. tilluft så tillkommer undertrycket i rummet till tryckdifferensen mellan byggnaden och kanalsystemet vilket då ger 120 resp. 80 Pa. Detta gör att frånluftsflöde blir 10 % större och tilluftsflöde 10 % mindre.

Den luft som läcker in eller ut genom klimatskalet, för att kompensera för luftflödesobalansen mellan till- och frånluft, $Q_{\text{från}} - Q_{\text{till}}$ i Figur 1 ger upphov till ett effektbehov i rummen, där uteluften läcker in. Beräkningar på storleksordningen av dessa effektbehov redovisas i tabell 1 nedan.

Tabell 1 Teoretisk beräkning av temperaturer kring en motströms värmeväxlare, återvunnen värme (VÅV), eftervärmningsbehov (EVB) till 19 °C samt ökat effektbehov i rum pga av inläckande uteluft.
Följande antas i beräkningarna; torr värmeöverföring, temperaturverkningsgrad $\eta=80\%$ vid flödesbalans, ingen avfrostningsfunktion.

$T_{\text{till}} 19\text{ °C}, T_{\text{från}} 22\text{ °C}$	Luftflöden (l/s)		Temperaturer (°C)		Värmeeffekt (W)		Ökat effektbehov rum (W)
$T_{\text{ute}} -5\text{ °C}$	$Q_{\text{från}}$	Q_{till}	T_{evvx}	T_{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 $T_{\text{evvx}} = 19,0\text{ °C}$

$T_{\text{till}} 19\text{ °C}, T_{\text{från}} 22\text{ °C}$	Luftflöden (l/s)		Temperaturer (°C)		Värmeeffekt (W)		Ökat effektbehov rum (W)
$T_{\text{ute}} -15\text{ °C}$	$Q_{\text{från}}$	Q_{till}	T_{evvx}	T_{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

Vid balans i ventilationen och när tilluften är 95 % av frånluften är det ökade värmebehovet i rummen litet, men vid 70 % tilluft i förhållande till frånluft (dåligt injusterad ventilationsanläggning) ökar värmebehovet i rummen kraftigt. Vid T_{ute} på -15 °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 med 70 % av tilluftflödet gör att temperaturhöjningen blir dubbelt så stor, är frågan om det över huvud taget är möjligt. Orsaker till att man kan erhålla luftflödesobalanser tas upp i kapitlet tilluftssystem.

Mollier-diagram över VVX, avfrostning samt förvärmning av uteluften

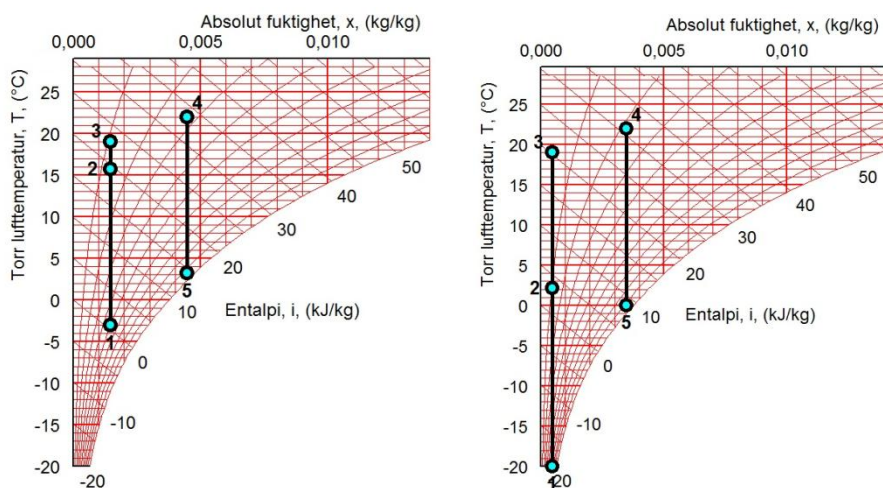
I samtliga fall nedan räknas med att fukttillskottet i lägenheten är 3 g/kg luft och timme.

I figur 5 nedan redovisas vad som händer i ventilationsaggregat utan förvärmning.

"1" uteluft, "1-2" VÅV till tilluften, "2-3" eftervärmning, "3" tilluftstemperatur 19 °C,

"4" frånluftstemperatur 22 °C, "4-5" VÅV ur frånluften.

Den högra figuren begränsar avfrosthingsfunktionen VÅV så att avluftstemperaturen "5" är varmare än 0 °C, vilket gör att den återvunna värmen "4-5" till "1-2" minskar och mer eftervärme "2-3" krävs. Avfrosthingsfunktionens begränsning av avluftstemperaturen och därigenom värmeåtervinningen kostar värmeenergi och gör att man behöver mer installerad värmeeffekt för att kompensera för den lägre återvinningsgraden.

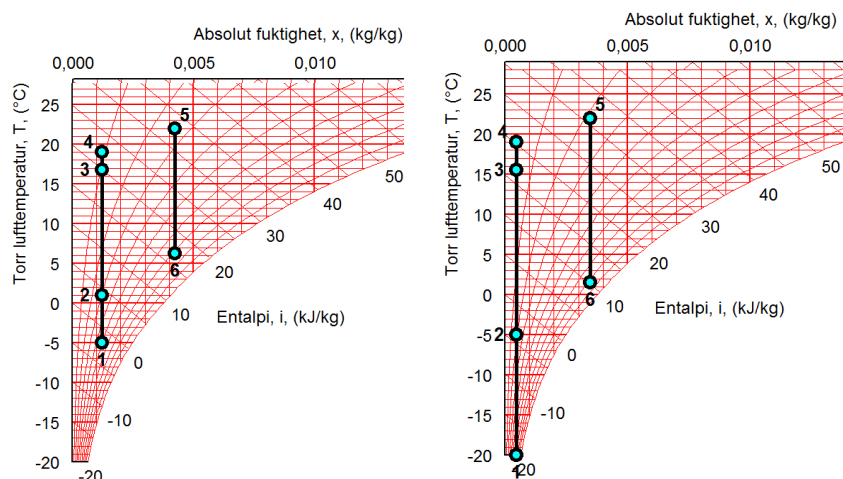


Figur 5 Mollier-diagram över vad som händer i ett ventilationsaggregat med balanserade flöden och där ventilationsaggregatets avfrosthingsfunktion begränsar VÅV, så att avluften är över 0 °C. Jmf "2-3" till höger med "3-4" i figur 6, nedan.

I figur 6 redovisas 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 °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 °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 100kr/m² extra och kommer att spara 8 kWh/m²,år samt en del av kostnaden för fjärrvärmeeffekt.



Figur 6 Mollier-diagram med förvärmning "1-2" av uteluften med berg/ markvärme för att undvika avfrostningsfunktionen går in och begränsar VÅV. Detta är ett sätt att använda lågtempererad värme för att undvika avfrostningsfunktionen och spara på eftervärme av mer högvärd värme.

Distributionsförlusters betydelse för energianvändningen

VV- och VVC-förluster

I flerbostadshus har man rörstråk med varmvatten (VV) och varmvattencirkulation (VVC) för att se till att man får varmt varmvatten inom 10 sekunder. [BBR 2012, 6:623 Tappvattenflöde]

Dessa rörstråk kommer att ha konstanta värmeförluster till omgivningen i och med att VVC-systemet skall säkerställa att lägsta temperaturen i VV/VVC distributionssystemet är minst 50 °C pga. legionella-risken. Storleken på värmeavgivningen beror på temperaturdifferensen, tjockleken på rörisoleringen och på värmeavgivande yta. 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/m²,år, men det finns exempel på 20-25 kWh/m²,år, vilket är samma storleksordning som uppvärmningsbehovet för ett flerbostadshus byggt med passivhusteknik. Ett olämpligt designad VV/VVC-system kan 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 6-8 m på planritning). Detta kan uppnås om man förlägger VV- och VVC-distributionsrören i schakt bredvid badrummet och köket ligger i anslutning till badrummet. Rörlängden för VV/VVC distributionssystemet per lägenhet blir då ungefär 2*(våningshöjd + längd i källare/antal våningar), vilket i exempel ger 2*(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 m^2 , $10,8 \cdot 6 \cdot 8760 / 90 = 6-7 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$.

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 $2 \cdot (2,7 + 10/5) = 9,4 \text{ m}$ VV/VVC-rör, vilket blir $4,7 \text{ m}$ 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 $2 \cdot (10-15 \text{ m})$, 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 förstörs husets energiprestanda. 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 $150-200 \text{ W/lgh}$, som VVC-slingan innebär, vilket ger en ökning på innetemperaturen i byggnaden med $1-2 \text{ }^\circ\text{C}$ och därmed ökar risken för övertemperaturer under sommaren.

Ventilationskanaler med en temperatur som avviker från omgivningens

Utelufts- och avluftskanalerna mellan klimatskalet och ventilationsaggregatet har värmeförluster, men de har även en fuktrisk. Om det finns brister i kondensisoleringen kan fukt under vintern kondensera på de kalla utelufts- och avluftskanalerna. Det finns åtskilliga överskåp som har blivit förstörda av kondensvatten från uteluftskanalen eftersom de placerats i utrymmet mellan innertak och överskåpen. Man kan kortfattat säga att man skall minimera kanallängderna på kanaler som har en temperatur som avviker från omgivningens, för att minska värmeförluster och kondensrisk.

I tabell 2 nedan kan vi se exempel på vilka värmeförluster man kan erhålla för ute- och avluftskanaler mellan klimatskalet och ventilationsaggregat.

Tabell 2 Exempel på värmeförluster för ute- och avluftskanaler

	Temperatur i kanalen	125 mm ventilationskanal	
		50 mm isolering	100 mm isolering
Uteluftskanal	$-15 \text{ }^\circ\text{C}$	12 W/m	8 W/m
Avluftskanal	$-7 \text{ }^\circ\text{C}$	10 W/m	6 W/m

I ett exempel när man har 6 m uteluftskanal och 6 m avluftskanal får man 130 W med 50 mm isolering på ventilationskanalerna, vilket är $10-11 \%$ av den dimensionerande värmeeffekten. Därutöver skall man kontrollera värmeförlusterna från utelufts- och avluftsdelarna av ventilationsaggregatet. Detta gäller speciellt för ventilationsaggregat för små luftflöden, som har mycket hölje i förhållande till luftflöde (golvarea).

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 3 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.

Tabell 3 Värmeförluster och temperaturer för ett tilluftssystem 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.

När man har 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.

Har man ett centralt ventilationsaggregat skall man värma tilluften till 19-20 °C, och sedan eftervärma i lägenheten, för att minimera distributionsförlusterna samt spara isoleringskostnad och utrymme.

Använder man elektrisk eftervärmare kan man sätta en eftervärmare (liten elradiator) under varje tilluftsdon och även spara isoleringskostnad och utrymme för tilluftssystemet i lägenheten.

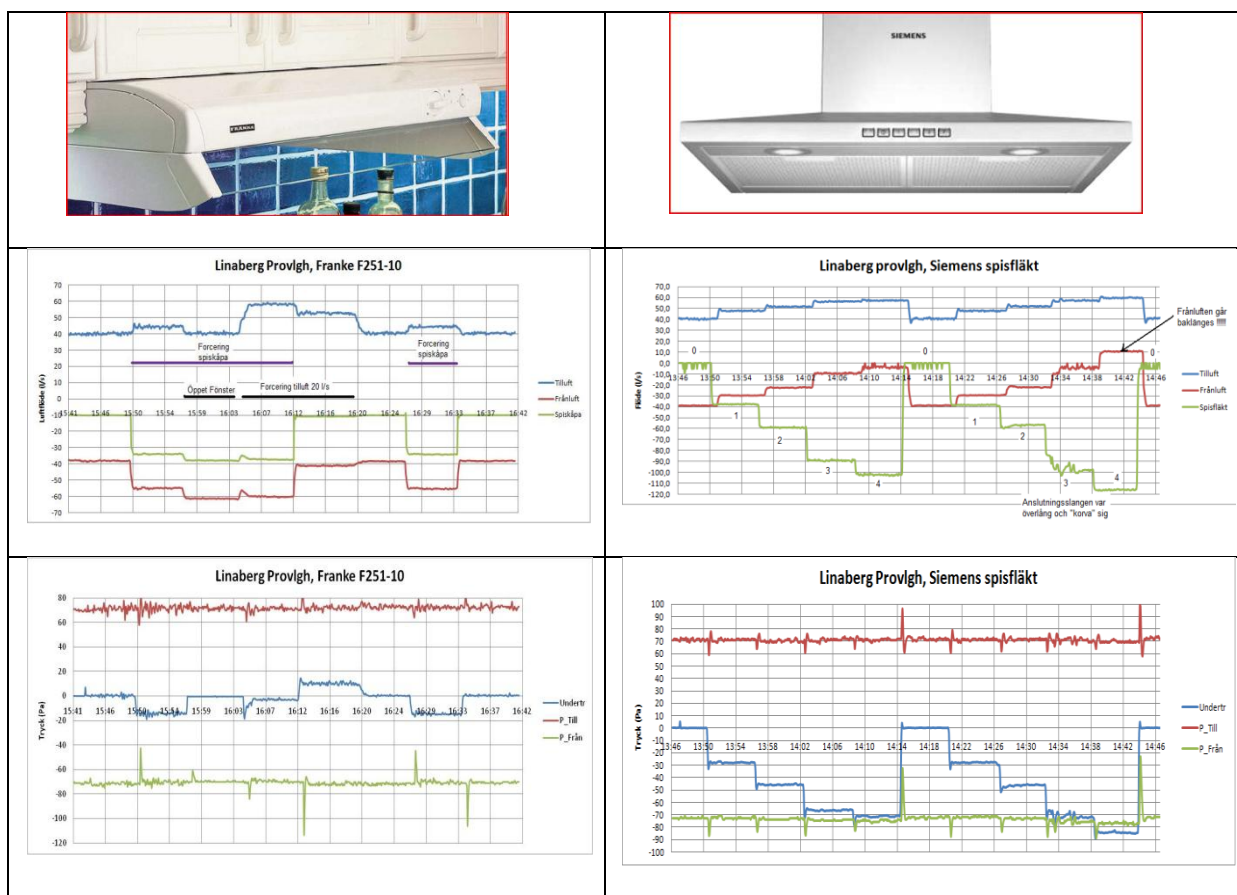
Mätningar i "lufttät" provlägenhet

Hösten 2010 utfördes installationstekniska mätningar i en "lufttät" provlägenhet. Provlägenheten fick vid täthetsprov q50: 0,10 l/s, m², Q50: 34 l/s. Lägenheten hade samlingskanal för till- respektive frånluft, som tryckstyrdes till över- respektive undertryck på 70 Pa. För ändamålet byggdes ett villaggregat (Flaktwoods RDAR) om till tryckstyrning, där EC-fläktarna styrdes med extern spännings-signal från två Micatrone PFT. (Övertrycket i tilluftens samlingskanal resp. undertrycket i frånluftens samlingskanal.)

Spiskåpor, spisfläktar och deras påverkan på luftflöden och tryck

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

Spiskåpa, Franke F251-10	Spisfläkt Siemens med 4 hastigheter
--------------------------	-------------------------------------



Figur 7 Mätningar av tryck och luftflöden på spiskåpa respektive spisfläkt.

Figur 7 vänstra kolumnen 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) forcerades. Det understa diagrammet visar trycket i lägenheten resp. till och frånluftskanalen. Det man kan se är att det fungerar med att ersätta del av forceringsflödet för spiskåpan. Spiskåpeforcering 30 min/ dygn påverkar inte energiprestandan nämnvärt.

De högra diagrammen visar vad som hände i systemen 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 lgh blev 80 Pa och frånluftsflödet blev -10 l/s. Dvs. provlägenhetens frånluftssystem blev ett andra "tilluftssystem"!

Tilluftssystem

Nedan presenternas några saker som kan vara viktiga att tänka på vid design av ett tilluftssystem i ett energieffektivt hus. Sådana hus har generellt lågt bakgrundsljud, dvs. de är mycket tysta.

Tilluftssystem i bostäder skall ha en låg ljudnivå vilket betyder att fläktarna skall gå lugnt, för att hålla nere ljudalstringen. Därutöver behöver man ta hänsyn till brandgasspridning, överhörning, etc. i flerbostadshus.

Ser man på de delarna som närmast berör de boende, dvs. tilluftssystem i lägenhet, radhus.

- Bra omblandning i rummen, dvs. donen behöver ha lite impuls/kastlängd, men inte för mycket så att kastlängden blir för lång och man riskera att få drag i vistelsezonen.
- Välj don med låga ljudvärden trots att man har impuls, kastlängd och tryckfall.

- Design och injustering av tilluftssystem med åtminstone 25 Pa tryckfall över don, vilket ger auktoritet åt tilluftsdonen, stabilare system samt luftflödena kan mätas noggrannare.
- 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 3-4D före donet. (Sned hastighetsprofil/turbolens).
- Minimera vassa kanter, skruvhuvuden etc., annars kan man få ljudproblem. Har mätt upp 9 dB ljudökning pga. av plåtskruv, som fixerade don i kanalände, se figur 8.
- Använder man övertempererad tilluft för uppvärmning, bör man ha åtminstone 50 mm isolering på tilluftssystemet, för att begränsa temperaturfallet. Tilluftssystemet med isolering kräver mycket utrymme. Det kan vara svårt för en frånluftskanal att korsa tilluftskanal.

Vad påverkar då luftflödena och varför blir en del ventilationssystem dåligt injusterade?

(Beräkningar nedan använder Colebrookes ekvation, Affinitetslagarna, Allmänna gaslagen samt ekvationer för lufts egenskaper, hämtade från App. E [Blomberg 1999])

- Luftflöden mäts med bl.a. tratt över donet, 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 det krav på raksträckor före, för att kunna mäta med en viss noggrannhet. Krav som ofta är svåra att uppfylla.
- Det finns injusterare 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"*.
- Det finns av någon anledning ljud från tilluftssystemet 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.
- Vid luftvärme påverkas luftens densitet i tilluftssystemet 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 %.
- Normalt har man båda fläktarna "sugande", se Figur 1, för att få jämnare luftströmning över VVX etc. Detta innebär att tilluftsfläkten sitter varmt och frånluftsfläkten kallt på vintern. Detta medför att densiteten på luften, som går genom frånluftsfläkten varierar över året och på vintern kan tryckuppsättningen från frånluftsfläkten öka med 10-12 %, pga. densitetskillnaden, vilket ökar frånluftsflödet med 5-7 %.

Tilluftsdon ljud

Det är viktigt att välja tilluftsdon med omsorg, hålla låga lufthastigheter närmast tilluftsdonet och undvika vassa kanter, skruvhuvuden etc, vilka kan ge ljudproblem. Se figur 8 nedan.



Figur 8 Ljudmätning på tilluftsdon i provlägenhet, som först gav 32dB pga. skruv som ventilationsentreprenören fixerat donet med (Markerad med röd pil). När skruven demonterades blev det 23 dB(A), som i sovrummet bredvid.

Energieffektiva installationslösningar för energieffektiva hus

Nedan ett förslag på till en energieffektiv installationslösning med låga temperaturnivåer och låga distributionsförluster:

- FTX-ventilation med förvärmning med borrhålsvatten och eftervärmning till 19 °C.
- Värmning sker med "temperade" golv, dvs. golvvärme som är något varmare än rumsluften. 12 W/m² motsvarar 1,1 °C övertemperatur på golvytan. Värmevattnet har då en temperatur på 26-28 °C. Alternativt ett 40/35 radiatorsystem (i stället för 55/45), vilket ger att radiatorerna inte blir alltför små (enkelpaneler som fyller ut utrymmet under fönstren), förinställningsvärdena på radiatorventilerna blir inte för låga, så att man får problem med igensatta ventiler, etc. Värmeförlusterna från värmesystemets rörsystem blir ungefär hälften för ett 40/35 system jämfört med ett 55/45 system.
- För det lågtempererade värmevattnet finns goda möjligheter att använda spillvärme, bergvärmepump eller annan lågvärdig värme.
- Distributionsförlusterna för VV/ VVC-distributionssystemet minimeras med att placera kök och badrum mot trapphuset och ha ett VV/VVC-schakt i trapphuset med 2 anslutna lägenheter per plan.
- Det viktigaste som kvarstår är hur man producerar varmvatten legionellasäkert och till låg energianvändning under hela året. Solfångare? Värmepump? Kombination?

Exempel på intressanta frågor att undersöka vidare

Hur skall ventilationssystemet dimensioneras och injusteras i energieffektiva byggnader, för att man skall erhålla ett energieffektivt och robust ventilationssystem?

Säkerställa luftflödesbalans på 90-95% under vintern, för liten risk för fuktutvandring i klimatskalet. Luftens temperaturberoende egenskaper betydelse för när på året ventilationssystemet injusteras. Fortsatta optimeringsstudier av ventilationssystem, ljud, tryckfall, hastigheter, värmeförluster, tilluftsdon, kastlängder, risk för drag, idrifttagning, förhindrande av brandgasspridning, etc.

Energieffektiv varmvattenproduktion

Robust, legionellasäker och energieffektiv varmvattenproduktion som uppfyller BBR 2012 6:623

Tappvattenflöde: *”En vattenvärmare som bara betjänar ett enbostadshus bör vara dimensionerad för att under en tid av högst 6 timmar kunna värma 10-gradigt kallvatten så att två tappningar om vardera 140 l vatten av 40 °C blandat kall- och varmvatten kan erhållas inom en timme.”*

Möjligheter att styra rumstemperaturen i energieffektiva byggnader

Välisolerat klimatskal 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 fönstervädrar, vilket inte är den energieffektivaste lösningen under vinterhalvåret. Vad krävs för att kunna hålla en lägre temperatur i sovrummet?

Övrigt

Arbetet som redovisas är resultatet från SBUF-projektet ”Installationssystem i energieffektiva byggnader - Förstudie”, som skall vara klart augusti 2013.

Detta arbete påbörjades när jag jobbade på Skanska Installation och avslutas, som extern konsult till Skanska på Projektengagemang Energi& Klimatanalys AB.

Arbetet är finansierat av SBUF och Skanska Installation AB.

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, |
| Branschregler | Säker Vatteninstallation |
| Kempe 2013, | Installationssystem i energieffektiva byggnader, VVS-Företagen & SBUF (tryckning planerad hösten 2013) |
| Mollier sketcher 2.1b | http://www.ivprodukt.se/Pages/Page.aspx?pagelId=16 |
| EN ISO 13789:2008 | |
| FEBY12 – Bostäder, | Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus |
| VVS-Företagens | Teknikhandbok 2011 |