

# Energianvändning och livscykelkostnad för ventilations- och uppvärmningssystem i småhus

*Richard Torssell*

---

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet, 2005  
Rapport TVIT-05/5004



## Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

## Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem som ger bra inneklimat i samverkan med byggnaden.

Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spargasmetod.

# Energianvändning och livscykelkostnad för ventilations- och uppvärmningssystem i småhus

*Richard Torssell*

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet, 2005  
Rapport TVIT-05/5004

© Richard Torssell, 2005

ISRN LUTVDG/TVIT--05/5004--SE(78)

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
22100 LUND

## **Förord**

Examensarbetet utförs som en avslutande del i civilingenjörsutbildningen inom Maskinteknik på LTH. Uppdragsgivaren för examensarbetet är Lindab. Examensarbetet har genomförts i samarbete med Avdelningen för installationsteknik och byggnadsfysik.

Min inriktning på Maskinteknik är energiteknik. Inom energiteknik har jag läst inriktningarna Energihushållning och Energiomvandling. Då examensarbetet handlar om energibesparingar inom bostäder har ämnet lämpat sig mycket bra mot min utbildningsbakgrund.

Ett stort tack vill jag rikta till mina handledare doktorand Dennis Johansson samt professor och examinerator Lars Jensen på Avdelningen för byggnadsfysik respektive installationsteknik för all hjälp ni givit mig under arbetets gång. Tack Dennis för att du alltid tog dig tid och visade stort intresse för det jag gjorde. Till min kontaktperson och handledare på Lindab, Fredrik Engdahl, vill jag också rikta ett stort tack för bra hjälp samt för ett intressant examensarbete. Därtill vill jag tacka Catarina Warfvinge och alla andra personer på institutionen och på de företag som under arbetets gång hjälpt mig och givit mig den information jag behövt.

Lund februari 2005

Richard Torssell

## Sammanfattning

För att ventilerar bostäder finns en rad olika ventilationssystem; självdrag (S), frånluft (F) och från- och tilluft (FT). Därtill finns systemen (FVP) och (FTX) som i grunden är F- respektive FT-system men som kompletteras med ett värmeåtervinningsaggregat.

Det finns ett flertal olika varianter på hur man kan minska uppvärmningsbehovet eller uppvärmningskostnaden till en byggnad. Antingen konstruerar man en byggnad med ett välisolerat och tätt klimatskal för att minska behovet av uppvärmning eller så utnyttjar man den värme som finns tillgänglig i eller i närheten av byggnaden, för att minska behovet av att köpa energi och därmed undgå kostnader. De värmekällor som finns i bostaden, vilka kan återvinnas, är inomhusluft och tappvarmvatten.

Inomhusluften, som kallas frånluft då den ventileras ut ur en byggnad, håller inomhustemperatur och är därför relativt varm. Värmen i frånluften ventileras ut från bostaden och går om inte värmeåtervinning sker till spillo. Av ovanstående ventilationssystem är det endast FVP och FTX som återvinner värme. Själva funktionen för värmeåtervinningen sker på lite olika sätt i de två systemen. I FVP-systemet sker återvinningen med hjälp av en värmepump medan den i FTX-systemet sker med värmeväxlare.

Det idag vanligaste ventilationssystemet med värmeåtervinning är mekanisk frånluft med värmepump (FVP) kopplad mellan frånluften och bostadens värmesystem eller tappvarmvatten. Detta har blivit något av en standardlösning trots alternativa system såsom mekanisk från- och tilluft med värmeväxlare (FTX).

Av de resultat som framkommer i rapporten är FVP-ventilation det ventilationssystem som medger störst energibesparing, medan FTX-ventilation medför bättre komfort och inomhusmiljö. Det finns dock en relativt stor energibesparingspotential i FTX-systemet också. FTX-systemets förmåga att återvinna värme ökar i kallare klimat och blir då också mer konkurrenskraftigt mot FVP med avseende på energibesparing.

En ekonomisk analys av de olika ventilationssystemen genomförs i rapporten i form av Pay-backmetoden och en livscykelkostnadsanalys. Det framgår av resultatet att livscykelkostnaden för FTX-ventilation är något högre jämfört med FVP-ventilation, men varierar dock en hel del med klimatet. Vid en jämförelse mellan vanlig frånluftsventilation (F) och FTX medför FTX lägre livscykelkostnader, samt bättre inomhusklimat. Installationskostnaden är för ett FTX-system något högre jämfört med ett FVP-system, men i förhållande till kostnaden för ett nybyggt hus är dock skillnaden obetydlig.

Med ökade priser på el i förhållande till det pris som betalas för värme leder energibesparingen i FVP-systemet inte till någon kostnadsbesparing, vilket i högre grad görs med FTX-ventilation. Redan idag är elpriset dyrare än värmepriset på många platser, vilket medför att värmepumpen inte har någon ekonomisk konkurrenskraft.

Behovet av tappvarmvatten har för FVP-systemet betydelse beroende på att värmepumpen återvinner värme till denna. Minskat tappvarmvattenbehov minskar värmepumpens utnyttjandegrad vilket leder till minskad energiåtervinning.

## Abstract

To ensure people's health and comfort when they are indoors, an indoor climate system must provide a required thermal comfort and indoor air quality. The indoor climate system consists of ventilation, heating and cooling systems. Due to demands, such as the EU Directive on the Energy Performance of Buildings or the Kyoto protocol, the indoor climate system must use as little resources as possible.

This study investigates the resulting energy use and life cycle cost for different ventilation systems for a typical single family house in the Swedish outdoor climate. The climate data is taken from three cities, Malmö, Stockholm and Haparanda. Four ventilation systems are compared, namely exhaust ventilation (E), exhaust and supply ventilation with heat recovery (SEH) and exhaust ventilation with heat recovery through a heat pump connected to the exhaust air (EHP). The exhaust and supply system is also tested with a combination of a heat recovery unit and a heat pump (SEHP). The heat pump in the EHP system uses the recovered heat for hot tap water heating and radiator water heating.

The energy calculations are done in VIP+, which is a program that calculates energy use for one-zoned buildings on hourly basis. To make the result as general as possible, a typical single family house is simulated in the computer program VIP+. By using a computer program it gives an opportunity for parametrical studies that would be difficult with other methods of measurements or bill readings. Parametrical studies were performed with reference to outdoor climate, leakage factor and under-balanced supply air flow rate.

The life cycle cost (LCC), in the context of this report, is defined as the net present value of the sum of all costs related to the ventilation system over a thirty year period. The LCC occurring to the end user includes installation, energy use and maintenance costs.

The results clearly demonstrate that ventilation systems with heat recovery are both energy and cost efficient compared to ventilation systems without heat recovery. The exhaust system with heat pump has the lowest energy use, much due to the fact that the recovered energy can be applied for domestic hot water all year round. The heat recovery unit in the supply and exhaust system is not very useful during the summer, which is one reason why the pay-back time is quite long at 7 years. The pay-back time for the EHP system is 2 years.

The need for domestic hot water is set to an average level. A low need for domestic hot water would affect the usable heat from the heat pump in a negative way.

Electrical heating is assumed, but the results should also be usable on houses with other heat sources. If the price of electricity increases faster than the price of heat, the benefit from the heat pump is lowered, and that seems to be the trend in Sweden.

There is a risk for poorer indoor climate with exhaust systems and their supply air temperature, which is the same as the outdoor temperature, increases the risk of draught. To avoid that risk and to get a better indoor climate, a supply and exhaust system with a heat recovery unit can be installed to lower the life cycle cost. If that system is combined with a heat pump connected to the exhaust air (SEHP), the life cycle cost is lowered even more.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
1.1	BAKGRUND .....	1
1.2	SYFTE .....	2
1.3	METODIK .....	2
1.4	PROBLEMSTÄLLNING .....	3
1.5	AVGRÄNSNINGAR .....	3
1.6	MÅLGRUPP .....	3
<b>2</b>	<b>VENTILATION I BOSTÄDER .....</b>	<b>4</b>
2.1	VARFÖR VENTILATION .....	4
2.1.1	Ventilationsbehov med hänsyn till syrebehov .....	4
2.1.2	Ventilationsbehov med hänsyn till koldioxidhalt .....	4
2.1.3	Ventilationsbehov med hänsyn till lukt .....	4
2.1.4	Ventilationsbehov med hänsyn till fukt .....	4
2.1.5	Ventilationsbehov med hänsyn till värme .....	5
2.1.6	Ventilationsbehov med hänsyn till andra föreningskällor .....	5
2.2	INDELNING AV VENTILATIONSSYSTEM .....	6
2.2.1	S .....	6
2.2.2	F .....	6
2.2.3	FT .....	7
2.2.4	FVP .....	7
2.2.5	FTX .....	8
<b>3</b>	<b>UPPVÄRMNING AV BYGGNADER .....</b>	<b>9</b>
3.1	VÄRMESYSTEM .....	9
3.1.1	Värmeproduktion .....	9
3.1.2	Aktiv uppvärmning .....	9
3.1.3	Passiv uppvärmning .....	9
3.1.4	Reglersystem .....	10
3.2	EFFEKTBEHOV .....	10
3.2.1	Transmissionsförluster .....	10
3.2.2	Ventilationsförluster .....	10
3.2.3	Aktiv effekt .....	11
3.2.4	Solinstrålning .....	11
3.2.5	Internvärme .....	11
3.2.6	Värmekapacitet .....	11
<b>4</b>	<b>ENERGIBESPARING I BOSTÄDER .....</b>	<b>12</b>
4.1	VÄRMEÅTERVINNING MED FRÅNLUFTSVÄRMEPUMP .....	12
4.1.1	Systembeskrivning av FVP .....	12
4.1.2	Hur fungerar en värmepump .....	13
4.1.3	Verkningsgrad .....	14
4.1.4	Påfrysning .....	14
4.1.5	Distribution av värme .....	14
4.1.6	Fläktel .....	16
4.1.7	Uppgradering från F till FVP .....	16
4.2	VÄRMEÅTERVINNING MED FRÅNLUFTSVÄRMEVÄXLARE .....	17
4.2.1	Systembeskrivning av FTX .....	17
4.2.2	Hur fungerar en värmeväxlare .....	17
4.2.3	Olika typer av värmeväxlare .....	17
4.2.4	Verkningsgrad .....	19
4.2.5	Påfrysning .....	19
4.2.6	Distribution av värme .....	20
4.2.7	Fläktel .....	20
4.2.8	Uppgradering från FT till FTX .....	20



<b>5</b>	<b>JÄMFÖRELSE AV FVP OCH FTX .....</b>	<b>21</b>
5.1	FÖRDELAR FVP .....	21
5.1.1	<i>Energibesparing.....</i>	21
5.1.2	<i>Komfortkyla.....</i>	21
5.2	NACKDELAR FVP .....	21
5.2.1	<i>Luftväxling .....</i>	21
5.2.2	<i>Komfort .....</i>	21
5.2.3	<i>Problem med värmepumpen.....</i>	21
5.2.4	<i>Elberoende .....</i>	22
5.2.5	<i>Styrning av luftflöde .....</i>	22
5.2.6	<i>Legionella.....</i>	22
5.2.7	<i>Radon .....</i>	22
5.3	FÖRDELAR FTX.....	23
5.3.1	<i>Energibesparing.....</i>	23
5.3.2	<i>Inomhusklimat.....</i>	23
5.3.3	<i>Luftväxling och luftfiltrering .....</i>	23
5.3.4	<i>Komfortkyla.....</i>	23
5.4	NACKDELAR FTX.....	24
5.4.1	<i>Luftläckage.....</i>	24
5.4.2	<i>Återvinning sommartid.....</i>	24
5.4.3	<i>Fläktel .....</i>	24
5.4.4	<i>Utrymme.....</i>	24
5.4.5	<i>Fuktproblem vid övertryck .....</i>	24
5.4.6	<i>Ljudproblem .....</i>	24
<b>6</b>	<b>ENERGIBERÄKNINGAR I VIP+ .....</b>	<b>25</b>
6.1	VAL AV ENERGIBERÄKNINGSPROGRAM .....	25
6.2	BESKRIVNING AV VIP+ .....	25
6.2.1	<i>Yttre faktorer.....</i>	26
6.2.2	<i>Inre faktorer .....</i>	26
6.2.3	<i>Modellering.....</i>	26
6.2.4	<i>Resultat.....</i>	26
6.3	PARAMETERVARIATION .....	27
6.4	VAL AV INDATA TILL VIP+ .....	27
6.4.1	<i>Gemensamma parametrar.....</i>	27
6.4.2	<i>FVP-specifika parametrar.....</i>	30
6.4.3	<i>FTX-specifika parametrar.....</i>	31
<b>7</b>	<b>VIKTIGA VENTILATIONSSYSTEM-SPECIFIKA PARAMETRAR.....</b>	<b>32</b>
7.1	TILLGÄNGLIG EFFEKT VID FÖRÅNGAREN I VÄRMEPUMPEN .....	32
7.1.1	<i>Luftfuktighetens betydelse för energiinnehållet.....</i>	33
7.1.2	<i>Avluftstemperaturens betydelse vid återvinning av frånluft .....</i>	33
7.1.3	<i>Val av förångareffekt och kondensoreffekt.....</i>	35
7.2	LUFTLÄCKAGE.....	35
7.2.1	<i>Åtgärder för att minska luftläckaget .....</i>	36
7.2.2	<i>Täthet-tilluftsvariation .....</i>	37
7.3	TAPPVARMVATTENBEHOV .....	37
<b>8</b>	<b>ETT VENTILATIONSSYSTEM MED VÄRMEVÄXLARE OCH VÄRMEPUMP .....</b>	<b>38</b>
8.1	FTX+VP.....	38
8.1.1	<i>Systembeskrivning.....</i>	38
8.1.2	<i>Investeringskostnad.....</i>	38
8.1.3	<i>Trovärdighet.....</i>	39
8.2	VP+FTX.....	39
8.2.1	<i>Systembeskrivning.....</i>	39
<b>9</b>	<b>EKONOMISK ANALYS .....</b>	<b>40</b>
9.1	INVESTERINGSBEDÖMNING .....	40
9.1.1	<i>LCC .....</i>	40
9.1.2	<i>Pay-backmetoden .....</i>	40

9.2	JÄMFÖRELSE AV KOSTNADER OCH UNDERHÅLL .....	41
9.2.1	<i>F</i> .....	41
9.2.2	<i>FVP</i> .....	41
9.2.3	<i>FTX</i> .....	42
9.2.4	<i>FTX+VP</i> .....	43
9.2.5	<i>Kostnader för ventilationssystem</i> .....	43
9.3	ELPRISVARIATION .....	44
<b>10</b>	<b>RESULTAT OCH ANALYS .....</b>	<b>45</b>
10.1	PARAMETERVARIATION .....	45
10.1.1	<i>Innetemperatur</i> .....	45
10.1.2	<i>Ventilers läge</i> .....	45
10.1.3	<i>Byggnadens läge</i> .....	45
10.1.4	<i>Söderfasadens läge mot söder</i> .....	45
10.1.5	<i>Personenergi</i> .....	45
10.1.6	<i>Processenergi</i> .....	46
10.1.7	<i>Luftomsättning</i> .....	46
10.1.8	<i>Solenergi</i> .....	46
10.1.9	<i>Transmissionsförluster</i> .....	46
10.2	FÖRÅNGAREFFEKT .....	47
10.2.1	<i>Lufteffekt vid torr och fuktig luft</i> .....	47
10.3	LUFTLÄCKAGE .....	48
10.3.1	<i>Luftläckageförluster</i> .....	48
10.3.2	<i>Täthet-tilluftsvariation</i> .....	49
10.4	TAPPVARMVATTENVARIATION .....	50
10.5	ENERGIBEHOV FÖR TYPHUSET .....	50
10.6	VÄRMEÅTERVINNINGENS KARAKTÄR FÖR FVP OCH FTX .....	52
10.6.1	<i>Återvinning sommartid</i> .....	53
10.6.2	<i>Återvinning vintertid</i> .....	53
10.7	FTX+VP .....	54
10.7.1	<i>Uppvärmningsbehov</i> .....	54
10.7.2	<i>Återvinningsprincip</i> .....	55
10.8	EKONOMISK ANALYS .....	57
10.8.1	<i>LCC</i> .....	57
10.8.2	<i>Pay-backtid</i> .....	59
10.8.3	<i>Elprisvariation</i> .....	60
<b>11</b>	<b>SLUTSATS OCH DISKUSSION .....</b>	<b>62</b>
11.1	FORTSÄTTA STUDIER .....	63
<b>12</b>	<b>REFERENSER .....</b>	<b>64</b>
12.1	TRYCKTA KÄLLOR .....	64
12.2	ELEKTRONISKA KÄLLOR .....	65
12.3	MUNTliga KÄLLOR .....	66
<b>BILAGOR</b>	<b>.....</b>	<b>67</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Dagens energisituation är i ett längre perspektiv ohållbar. Världens behov av energi tillgodoses idag med alltför stor påverkan på miljö, hälsa och klimat. Ett hållbart energisystem där tillförseln av energi täcker behoven, även på lång sikt, kräver åtgärder på både användar-, distributions- och produktionssidan. Ett effektivare utnyttjande hos dessa är åtgärder som sänker det totala energibehovet.

Bostadssektorns energianvändning har varit ett omdiskuterat ämne sedan oljekrisen på sjuttitalet, då energipriserna steg kraftigt och sparåtgärder som treglasfönster och tilläggsisolering i bostäder blev vanligt. Under åttiotalet kom kärnkraften med billig elenergi och energisparåtgärderna minskade som följd av det billiga elpriset. Det var alltså inte ekonomiskt lönsamt att spara energi.

Framtida energipriser är naturligtvis ett oskrivet kort men att de kommer att öka är knappast någon kontroversiell gissning. Generaldirektoratet för transport och energi i EU räknar i sina prognoser med att energipriset kommer att öka mer än konsumentprisindex (Elmroth, 2004). Minskad energianvändning för uppvärmning av bostäder är därför ett billigt sätt att komma undan ökade kostnader.

Krav ställs allt oftare från olika håll, t ex från EU och indirekt via Kyotoprotokollet, på energieffektivare bostäder, värme- och ventilationssystem. (Regeringen, 2004) Förutom dessa krav är det från bostadsägarnas sida önskvärt att få en mer energibesparande bostad då detta kan leda till ekonomisk lönsamhet.

Förr i tiden var husen sällan speciellt täta. Idag utgör uppvärmning en väsentlig del i husägarens uppgifter. Under de senaste decennierna har därför mycket av byggandet genomsyrats av ett spartänkande som bygger på att släppa ut så lite värme som möjligt och täta husen mot fukt, vind och kyla. Fyra av fem småhus ligger idag under ventilationsnormen.

Fungerande ventilation är en av flera viktiga parametrar för en förbättrad inomhusmiljö. Vi tillbringar 90 % av vår tid inomhus och Folkhälsoinstitutet menar därför att värmeåtervinningsaggregat som gör det möjligt att öka luftomsättningen utan att öka kostnaderna är positiva för inomhusmiljön (Folkhälsoinstitutet, augusti 2000).

## 1.2 Syfte

Det huvudsakliga syftet med denna rapport är att undersöka vilket ventilationssystem med värmeåtervinning, FVP eller FTX, som är mest lönsamt med avseende på energi och ekonomi i småhus. Jämförelsen ska även ske med avseende på komfort, inomhusmiljö och ventilationskrav. Rapporten syftar också till att undersöka om klimatet, framförallt utetemperatur, påverkar uppvärmningsbehovet beroende på ventilationssystem.

Vad gäller den ekonomiska delen ska kostnader vid nyinvestering tas upp för F-, FVP- och FTX-systemen. En investeringsbedömning ska genomföras i form av en livscykelkostnadsanalys samt med hjälp av Pay-backmetoden. F-systemet finns i många fall med som en referens för ventilationssystem utan värmeåtervinning.

En annan uppgift är att se huruvida en kombination av värmeväxlare och värmepump i samma ventilationssystem är termodynamiskt möjlig och ekonomiskt lönsam, för att utnyttja frånluftens värme i så stor utsträckning som möjligt.

En parameterstudie ska inledningsvis genomföras för att visa vilka parametrar som inverkar på uppvärmningsbehovet och hur de inverkar. Utifrån detta resultat ska de mest betydelsefulla parametrarna undersökas mer ingående.

Rapporten ska ge information om de aktuella ventilationssystemens för- och nackdelar.

## 1.3 Metodik

För att kunna jämföra olika ventilationssystem i olika delar av landet och vid olika driftförhållanden används ett ”typiskt småhus” som referensobjekt, för vilket energiberäkningar utförs. Energiberäkningarna görs i programmet VIP+. Med hjälp av ett energiberäkningsprogram kan relativt enkelt olika driftförhållanden och parametrar varieras.

Tre städer i skilda delar av Sverige har valts för att få en uppfattning om hur energibehovet varierar i olika klimat. Städerna som valts är Malmö, Stockholm och Haparanda vilka har årsmedeltemperaturen är 8, 7 respektive 1°C. Dessa tre städer skiljer sig inte bara vad det gäller årsmedeltemperatur. Malmö är den stad som utsätts för mest vind medan Stockholm har mest sol. Dessa parametrar, utetemperatur, vindstyrka och solinstrålning är yttre faktorer som har stor betydelse för energibehovet i en byggnad.

Marknaden ses över på vilka återvinningsaggregat; värmeväxlare och värmepumpar som finns och vilken teknisk prestanda dessa har. Stor vikt läggs på undersökningar och jämförelser av den tekniska prestandan för respektive aggregat med anledning att erhålla relevanta resultat. Värmeåtervinningsaggregaten, vars tekniska egenskaper är indata till VIP+, är ”typiska” och har tekniska egenskaper som är likvärdiga med andra aggregat på marknaden.

En litteraturstudie görs för att hitta information om de aktuella ventilationssystemen samt tidigare resultat och erfarenheter kring dessa. För att få trovärdiga resultat har vissa resultat från VIP+ jämförts med tidigare erfarenheter. Litteraturstudien består av inhämtning av kunskap från tidigare utförda undersökningar och erfarenheter av de aktuella ventilationssystemen från skrifter och intervjuer. De intervjuade personerna, vars bakgrund

och nuvarande verksamhet är varierande, anses ha god kunskap inom sitt område. Litteraturstudien har också gjorts för att hitta svagheter hos respektive system så att dessa kan undersökas noggrannare.

För att kunna jämföra ventilationssystemen ekonomiskt används Pay-backmetoden samt en analys av respektive systems livscykelkostnad. De ekonomiska analyserna avser nyinstallation av ventilationssystemen.

## **1.4 Problemställning**

**Följande frågeställningar kommer i rapporten att besvaras:**

- Vilket ventilationssystem (FVP) eller (FTX) är mest lönsamt ur energibesparande och ekonomisk synpunkt?
- Har klimatet betydelse för val av ventilationssystem?
- Vilket ventilationssystem är att föredra med avseende på komfort och de krav som ställs på ventilation och innemiljö?
- Är ett ventilationssystem med både värmeväxlare och värmepump termodynamiskt och ekonomiskt möjligt?

**Viktiga delfrågor som också besvaras i rapporten för att nå ovanstående resultat:**

- Hur mycket effekt ger en frånluftsvärmepump?
- Hur kan luftläckaget i byggnader med FTX-ventilation minskas och hur varierar luftläckaget beroende på täthet och undertryck?

## **1.5 Avgränsningar**

I rapporten görs endast jämförelsen av ventilationssystemen på ett teoretiskt plan och inga verkliga mätningar görs därför. Dock omfattar litteraturstudien erfarenheter från verkliga undersökningar och mätningar med avseende på energianvändning i småhus.

## **1.6 Målgrupp**

Studien riktar sig framförallt till uppdragsgivaren för rapporten, Lindab, men också till andra intressenter inom värme- och ventilationsbranschen samt till teknologer vid Lunds Tekniska Högskola. Rapporten bör även kunna läsas av privatpersoner med intresse för ventilation och energibesparingar inom bostäder.

## **2 Ventilation i bostäder**

### **2.1 Varför ventilation**

Ventilation i bostäder tjänar till att tillföra ren luft samtidigt som förorenad luft ska föras bort. Ventilationen ska även utformas så att spridning av förorenad luft motverkas. Det tillförda luftflödet ska vara så avpassat att inomhusklimatet blir behagligt och hälsosamt.

Temperaturen på det tillförda luftflödet får inte skilja för mycket i förhållande till den befintliga inomhustemperaturen för att inte drag och kallras ska uppstå. Mängden luft som tas in på ett ställe får inte heller bli för stor. Människor måste kunna vistas i en byggnad utan att drabbas av vare sig kortvariga irritationer på slemhinnor och hud eller långvariga besvär som huvudvärk, trötthet eller nedsatt motståndskraft mot infektionssjukdomar. Ventilationen kan ibland utformas som en del av byggnadens värmesystem där tilluften blir värmebärande medium.

Kvaliteten hos inomhusluften är av stor vikt för komforten och människans prestationsförmåga. Luften i rummet måste uppfylla vissa krav med avseende på bland annat syreinnehåll, koldioxidinnehåll, lukt, fukt och andra föroreningar.

#### **2.1.1 Ventilationsbehov med hänsyn till syrebehov**

En människa i vila har ett andningsflödesbehov på ungefär 0,5 m<sup>3</sup>/h eller 0,14 l/s. Detta behov ökar då ämnesomsättningen ökar på grund av hårt arbete. Syrehalten i luft är ca 21 % och minskar till ca 16 % i utandningsluften. Om man endast ser till syrebehovet för en person skulle det alltså räcka att tillföra ca 0,03 l/s luft. För en person som befinner sig i ett stängt utrymme är det dock inte den minskade syrehalten i luften som är den kritiska faktorn utan den ökade koldioxidhalten. (Warfvinge, 2001)

#### **2.1.2 Ventilationsbehov med hänsyn till koldioxidhalt**

Luft innehåller ca 300-400 ppm koldioxid. Vid utandning innehåller luften cirka 40 000 ppm (4 %) koldioxid. Koldioxidhalten ökar alltså ca 100 ggr, vilket medför att blodets förmåga att ta upp syre minskar. Vid en koldioxidhalt på ca 20 000 ppm minskar prestationsförmågan hos en människa och symptom som huvudvärk och ökad andningsfrekvens uppstår. Normalt anses luften vara dålig då koldioxidhalten överstiger cirka 1000 ppm. (Warfvinge, 2001)

#### **2.1.3 Ventilationsbehov med hänsyn till lukt**

Människan avskräms av lukter från andningsorgan, matsmältningsorgan och hud. Dessa lukter medför ingen skaderisk på människan men det kan orsaka obehag vid inandning. Detta kan leda till att andningsfrekvensen minskar vilket leder till en försämring av blodets syresättning varvid ämnesomsättningen minskar. Dålig lukt påverkar därmed allmäntillståndet hos en person. (Warfvinge, 2001)

#### **2.1.4 Ventilationsbehov med hänsyn till fukt**

Alltför låg fukthalt inomhus kan ge besvär genom uttorkning av slemhinnor och hud. Normalt kan klagomål över torr luft ses som en indikator på annat, t ex damm, kemiska ämnen eller bara för hög temperatur. Det är den relativa fuktigheten som har betydelse för hur människan uppfattar fukt. Alltså tycker vi i princip att det känns torrare då det är varmare. Vid låg relativ fuktighet blir människan och liksom vissa material lättare statiskt laddad och dammalstringen blir större. En hög luftfuktighet medför större risk för att kondens bildas på insidan av väggar

och tak samt tillväxt av kvalster och alger. Luftfuktigheten inomhus styrs av luftfuktigheten som råder utomhus. Inomhus fuktas luften av människor och olika processer, t ex från matlagning och badrum. Människan avger cirka 40 g vattenånga per timme och för detta krävs ett luftflöde på ca 2 l/s per person för att luftfuktigheten inte ska bli för hög. Den relativa fuktigheten vid normal inomhustemperatur bör ligga mellan 30 och 70 %. (Warfvinge, 2001)

### **2.1.5 Ventilationsbehov med hänsyn till värme**

I lokaler med hög person- eller apparättäthet, t ex skolor, biografer, kontor kan inomhustemperaturen överstiga den önskvärda. Detta kan motverkas med hjälp av luftkyllning. Dock förekommer detta sällan i bostäder, i vilka man istället ökar vädringen för att uppnå eventuell kyleffekt. (Warfvinge, 2001)

### **2.1.6 Ventilationsbehov med hänsyn till andra föreningskällor**

Radon är en farlig gas som kan bidra till lungcancer. Sönderfallet från det radioaktiva ämnet Radium till radon pågår ständigt. Radon kan förekomma i byggnader eftersom radium finns naturligt i vissa markområden och grundvattenbrunnar samt i vissa byggnadsmaterial. En ordentlig luftväxling för bort radon och sänker därmed radonhalten och riskerna med ämnet inomhus.

Tobaksrökning medför hälsorisker för alla som utsätter sig för rök. De vanligaste hälsoeffekterna är irritation i slemhinnor samt besvärande lukt. Rökpartiklar fastnar lätt i textilier vilka under en lång tid kommer att avge tobakslukt.

Dammkvalster kan ge upphov till allergier och astma. Kvalster trivs bäst i temperaturer kring 25°C och cirka 75 % relativ fuktighet.

Alger och mögel är exempel på mikrobiologisk tillväxt som orsakar både lukt, infektioner och allergiska besvär. Sådan tillväxt sker endast då luftfuktigheten är hög.

Byggnads- och inredningsmaterial avger emissioner vilka förorenar inomhusluften. Dessa är organiska material i små koncentrationer som i vissa fall kan orsaka lukt och obehag samt besvär i form av torra slemhinnor och halsirritation. (Warfvinge, 2001)

Vid en sammanvägning av ovanstående ventilationsbehov har Boverket bestämt ett visst minimikrav på luftväxling i bostäder. Se kapitel 6.4.1.

## 2.2 Indelning av ventilationssystem

Ventilationssystem kan delas in i följande typer: (Warfvinge, 2001)

- Självdrag (S)
- Frånluft (F)
- Från och tilluft (FT)

Ventilationstyperna F och FT kan kompletteras med en värmepump respektive värmeväxlare, vilka då får benämningarna:

- Frånluft med värmeåtervinning (värmepump) (FVP)
- Från och tilluft med värmeåtervinning (värmeväxlare) (FTX)

I denna rapport kommer typerna FVP och FTX studeras mer ingående. Men för att ge en bättre översikt av de olika typerna ges en kort förklaring av samtliga system nedan. Mer ingående beskrivning av FVP- och FTX-ventilation finns i kapitel 4 och 5.

Ett ventilationssystem bestående av både värmeväxlare och värmepump (FTX+VP) kommer även studeras. Se kapitel 8.

### 2.2.1 S

**Princip:** I ventilationssystemet finns inga fläktar och denna typ är därför den absolut enklaste typen. Friskluften tränger in i huset via uteluftsventiler, i sovrum och vardagsrum, samt via otätheter i byggnadsskalet. Luften förs ut i frånluftskanaler via frånluftsdon som är placerade i bland annat kök och badrum. Drivkraften för luftflödet i självdragsventilation bygger på densitetsskillnaden mellan den varma inomhusluften och den kalla utomhusluften. Sommartid då ute- och innetemperaturen kan vara densamma kan medföra att luftflödet genom bostaden minskar kraftigt. Luftväxlingen kan helt avstanna och till och med gå baklänges då utetemperaturen överstiger innetemperaturen. Utöver densitetsförhållandena har vindförhållandena betydelse för luftflödet.

Det finns även en ventilationstyp som kallas fläktförstärkt självdrag (FFS). Detta är ett självdragssystem där en fläkt installeras i luftkanalerna för att öka luftväxlingen och på så sätt också garantera denna oavsett det rådande vädret. Systemet är i princip en kombination av S- och F-ventilation.

**Fördelar:** Billig, enkel uppbyggnad, ingen elförbrukning

**Nackdelar:** Risk för drag och kallras finns vid uteluftsventiler, speciellt i täta hus och vid låg utetemperatur. Dålig ventilation, luftväxlingen genom byggnaden kan vid hög utetemperatur bli obefintlig. Risk för ojämn luftväxling i bostadens rum finns och systemet är svårreglerbart.

### 2.2.2 F

**Princip:** Ventilationstypen påminner mycket om självdragstypen men frånluftskanalerna är mindre eftersom en fläkt i detta system står för drivkraften och suger ut luften ur byggnaden. Färre kanaler behövs i detta system då flera kanaler kan slås samman. Utrymmesbehovet är därför mindre jämfört med S-typen. Friskluft, som är ouppvärmad och ofiltrerad, tas precis som i S-typen in via uteluftsventiler och otätheter. Även frånluftsdonen placeras här i rum med sämst luft, alltså kök och badrum. Luftväxlingen blir i detta system jämnare och är ej



beroende av yttre väderbetingelser. F-system kan endast installeras i mindre byggnader där måttliga mängder ouppvärmad luft tas in via uteluftsventiler. I större byggnader ökar tilluftsmängden och risken för kallras och drag blir ännu större eftersom luften ej förvärms i detta system.

**Fördelar:** Billigt och enkel uppbyggnad. Luftflödet kan varieras med hjälp av fläkten. Jämnt luftflöde ut ur huset (men kan vara ojämnt fördelat i bostadens olika rum).

**Nackdelar:** Risk för drag och kallras vid uteluftsventiler finns, speciellt i täta hus och vid låg utetemperatur.

Ventilationsflödet kan variera beroende på var i byggnaden man befinner sig. Eftersom luften tar den lättaste vägen in kan det innebära att tilluftsflödet uteblir i delar av byggnaden om t ex ett fönster i en annan del av byggnaden öppnas.

### 2.2.3 FT

**Princip:** I lokaler som kräver stor luftväxling räcker inte ett F-system till. Mängden luft som skulle behöva tas in via uteluftsventilerna i ett F-system skulle bli för stor och komfortproblem, såsom drag, skulle uppstå. Därför måste ett separat tilluftssystem installeras. Tilluften i detta system tas in via ett aggregat som filtrerar och värmer luften till önskad temperatur. Stora kontor, sjukhus och varuhus är exempel på var FT-system måste användas för att få en väl fungerande ventilation.

FT-ventilation används även i bostäder då den medför vissa fördelar. Tilluften tillförs i sovrum och vardagsrum och sugas ut i rum med sämre luftkvalitet, såsom badrum och kök.

**Fördelar:** FT-systemet bör om det är rätt konstruerat och injusterat ge ett bättre inomhusklimat än S-, F- och FVP-systemen. Systemet medför att uteluft garanterat tillförs i sovrum och vardagsrum. Tilluften filtreras och mindre smuts kommer in i byggnaden. Ett FT-system medger god styrning av från- och tilluftens fördelning i byggnadens lokaler.

**Nackdelar:** Systemet tar större plats än ett F-system eftersom ett separat tilluftssystem finns vilket kan medföra problem med kanaldragningen. Det faktum att dubbla luftkanaler behövs gör att kanalsystemet blir dyrare. Eftersom två fläktar finns ger detta ett ökat elbehov.

### 2.2.4 FVP

**Princip:** Ventilationsmässigt fungerar FVP-systemet precis som F-systemet. Skillnaden är att värmen i frånluften tas tillvara. En värmepump utnyttjar den utgående luftens (frånluften) värme. Denna värme hade i normala fall gått till spillo. Värmepumpen omvandlar den lågvärdiga värmen i frånluften till högvärdig värme som därefter skickas ut i byggnadens vattenburna värmesystem eller tappvarmvattensystem. På så sätt reduceras byggnadens totala inköp av energi.

Mer beskrivning av FVP-systemet finns i kapitel 4 och 5.

**Fördelar:** En stor del av värmen i frånluften tas tillvara, vilket minskar byggnadens totala inköp av energi. Luftflödet kan varieras med hjälp av fläkten. Dock påverkar ändring av luftflöde värmepumpens möjliga uteffekt.

**Nackdelar:** Fläkten och värmepumpen kräver el. Tryckfallet över värmepumpen medför ökad fläkteffekt. Se även kapitel 2.2.2.

### 2.2.5 FTX

**Princip:** Ventilationsmässigt fungerar FTX-systemet precis som FT-systemet. Skillnaden är att värmen i frånluften tas tillvara. Före det att frånluften lämnar byggnaden värmeväxlas denna varma luft mot den inkommande kalla tilluften. Frånluften, som håller inomhustemperatur är under större delen av året är betydligt högre än uteluftens temperatur och värme återvinns därför. På så sätt kan byggnadens behov av energiinköp minskas. Då uteluften förvärms av värmeväxlaren behöver man ej tillsätta lika mycket värme för att uppnå önskad tilluftstemperatur jämfört med ett FT-system. Mer beskrivning av FTX-systemet finns i kapitel 4 och 5.

**Fördelar:** En stor del av ventilationsflödet återvinns vilket gör att behovet av att köpa energi för uppvärmning av byggnaden minskas.

**Nackdelar:** Tryckfall över värmeväxlare och frånluftsfiler kräver ökad fläkteffekt. Se även kapitel 2.2.3.

## 3 Uppvärmning av byggnader

### 3.1 Värmesystem

För att rumsklimatet ska kunna hållas vid en önskad nivå under den kallare tiden av året krävs tillförsel av värmeenergi till byggnaden. Inom byggnaden ska denna värmeenergi distribueras i rätt mängd till de lokaler och utrymmen som ska värmas. Värmen och lufttillförseln ska tillföras ett rum på ett sådant sätt att rumsklimatet blir behagligt. (Warfvinge, 2001)

Värmesystemet består av tre delar:

- Värmeproduktionssystemet
- Distributionssystemet – distribuerar värmeenergin till byggnadens olika delar
- Rumsystemet – avger värmen i respektive rum

#### 3.1.1 Värmeproduktion

I tätorter är det vanligt med fjärrvärme vilken värmer byggnader med hjälp av centralt producerad värme som produceras i kraftvärmeverk eller som utvinns ur spillvärme från industriella processer. I byggnader som inte är anslutna till fjärrvärmesystem installeras en egen värmekälla som t ex oljepanna, värmepump, solfångare eller direktverkande elradiatorer.

#### 3.1.2 Aktiv uppvärmning

Aktiv uppvärmning är den del av uppvärmningsbehovet som måste tillsättas för att uppnå det uppvärmningsbehov som byggnaden kräver. Detta görs t ex med fjärrvärme eller oljepanna via vattenburna radiatorer.

#### 3.1.3 Passiv uppvärmning

Till en viss gräns kan byggnaden klara sig utan att tillsätta någon värme aktivt. Det räcker alltså med den värme som alstras av t ex människor och elektriska apparater i byggnaden samt av solen och eventuell värmeåtervinning. Är utetemperaturen under denna gräns måste man tillsätta värme för att uppnå önskad inomhustemperatur.

Byggnad tillförs värme på flera olika sätt. Den passiva uppvärmningen utgör en väsentlig del av det totala uppvärmningsbehovet. Med hjälp av passiv uppvärmningen kan den aktiva uppvärmningen minskas eller till och med stängas av helt under delar av året.

Solinstrålning, processenergi (hushållsel) och personenergi är exempel på passiv uppvärmning eller gratisvärme, som den också kallas. Med processenergi menas värme som alstras av elektriska apparater, t ex kylskåp, spis. Processenergin är visserligen inte gratis eftersom man betalar för den el som de elektriska apparaterna kräver men värmen är en ”biprodukt” som man får utöver apparatens funktion.

Vid passiv uppvärmning är en viktig faktor att utnyttja infallande solstrålning. Byggnaden bör orienteras så att en stor fönsterarea vänds mot söder, väster och öster.

Stora fönster kan dock medföra att inomhustemperaturen sommartid blir hög. En nackdel med stora fönster är att byggnadens transmissionsförluster kommer att öka eftersom ett fönster har högre U-värde än en vägg. Stor betydelse har byggnadens utformning, konstruktion och läge för hur mycket man kan utnyttja dessa passiva värmekällor.

### 3.1.4 Reglersystem

För att erhålla ett energisnålt uppvärmningssystem ska ett väl fungerande reglersystem finnas som snabbt känner av temperaturvariationer i byggnaden. Till exempel ska reglersystemet känna av om solinstrålning sker i byggnaden och då minska den från radiatorerna avgivna värmetillförseln.

## 3.2 Effektbehov

För att hålla inomhustemperaturen på en konstant och önskad nivå krävs att värmeförluster ersätts med samma mängd värme. Effektbehovet måste först bestämmas eftersom detta avgör värmarnas storlek antal och placering. Storleken på effekt- och energibehov för en byggnad beror framförallt på följande faktorer: (Warfvinge, 2001)

- Väder (klimat)
- Isolering och täthet i byggnaden
- Byggnadens värmetröghet
- Intern värmeavgivning (gratisvärme)
- Ventilationssystem

Under den större delen av uppvärmningssäsongen är effektbehovet endast hälften eller mindre än det dimensionerande. Värmeförluster är linjära med utetemperaturen. (Warfvinge, 2001)

Följande formel beskriver värmebalansen som ska råda i en byggnad:

$$P_t + P_v + P_{ov} = P_w + P_s + P_g \quad [W]$$

### 3.2.1 Transmissionsförluster

$P_t$ : Med transmissionsförluster avses värmefflöde genom olika byggnadsdelar, t ex väggar, tak och fönster. Transmissionsförluster innefattar även förluster från köldbryggor. Köldbryggor uppstår där isolering, på grund av byggnadens konstruktion, saknas. Ju bättre isolering en byggnad har desto lägre blir U-värdet.

### 3.2.2 Ventilationsförluster

Ventilationsförluster består av två delar; styrd och okontrollerad ventilation. Okontrollerad ventilation benämns hädanefter luftläckning.

#### Styrd ventilation

$P_v$ : Styrd ventilation är den önskade luftväxlingen som orsakas av ventilationssystemet. Själva förlusten uppstår då den varma inomhusluften ventileras ut och ersätts av kall utomhusluft som måste värmas upp. Ventilationsförlusterna kan inte på samma sätt som andra förluster minskas eftersom detta luftflöde är nödvändigt för att ge ett bra inomhusklimat. Däremot kan värmeåtervinning av frånluften ske med hjälp av värmeväxlare eller värmepump.

### **Luftläckning**

$P_{ov}$  : Okontrollerad ventilation, även kallad luftläckning, är det oönskade luftflödet som sker genom otätheter i klimatskalet. Luftläckning är alltså det luftflöde som trycks in genom byggnadsskalet utöver det önskade ventilationsluftflödet. Denna luft som håller utomhustemperatur måste värmas till önskad innetemperatur. En tätare byggnad ger mindre luftläckning.

Rummets värmare måste dimensioneras för att värma inströmmande luft vare sig det är luftläckning, kontrollerad tilluft genom ventiler eller undertempererad tilluft från tilluftsdon. Inkommande luft ska värmas till rumstemperatur. Mer om luftläckning i kapitel 7.2.

### **3.2.3 Aktiv effekt**

$P_w$  : Aktiv effekt är den effekt som måste tillsättas för att erhålla önskad inomhustemperatur. Effekten tillförs via någon sorts värmare, radiatorer.

### **3.2.4 Solinstrålning**

$P_s$  : En del av den solinstrålning som faller in mot fönster, men även väggar och tak, transmitteras in i byggnaden och ger ett positivt bidrag till uppvärmningen. Denna värme kan under stora delar av året tillgodogöras och medföra minskad aktiv värmning, men kan sommartid medföra övertemperaturer inomhus.

### **3.2.5 Internvärme**

$P_g$  : Med internvärme avses det värmetillskott som tillförs byggnaden oavsett uppvärmningsbehov, t ex värme från människor, elektriska apparater och belysning. Under uppvärmningssäsong bidrar detta till minskad aktiv uppvärmning men bidrar sommartid till övertemperaturer.

### **3.2.6 Värmekapacitet**

Ett materials värmekapacitet innebär bland annat dess förmåga att lagra värme. Därför har byggnadens materialegenskaper betydelse för hur stor värmelagringen blir. Värmelagring innebär att om en byggnad utsätts för kraftig sol eller värme under dagen kommer värme att byggas upp och lagras i byggnadens delar. Den uppvärmda byggnadsstommen kommer då vid lägre temperaturer avge värmen till rummen i byggnaden, t ex under natten. På så sätt minskas det aktiva uppvärmningsbehovet.

## 4 Energibesparing i bostäder

Det finns ett flertal olika varianter på hur man kan minska uppvärmningsbehovet till en byggnad. Antingen konstruerar man en byggnad med ett välisolerat och tätt klimatskal för att minska behovet av uppvärmning eller så utnyttjar man den värme som finns tillgänglig i eller i närheten av byggnaden. De värmekällor som finns i bostaden, vilka kan återvinnas, är inomhusluft och tappvarmvatten. Dessa är en form av spillvärme då de ventileras ut respektive spolats ner i avloppet. Utanför bostaden finns naturliga värmekällor i mark, berg, luft och vatten. För att kunna utnyttja dessa används värmeväxlare eller värmepumpar, beroende på värmekälla. Värmeväxlarens användningsområde är betydligt mindre än värmepumpens, då den bara används för värmeåtervinning av spillvärme. Värmepumpen däremot kan utnyttjas för både spillvärme och naturvärme. Värmepumparna benämns, beroende på vilken värmekälla som utnyttjas, uteluftsvärmepump, markvärmepump, bergvärmepump, sjövärmepump och frånluftsvärmepump.

I denna rapport kommer endast värmeåtervinning av frånluft med hjälp av värmeväxlare eller frånluftsvärmepump studeras.

Ventilationsluften är inomhustempererad och innehåller därför relativt mycket energi. Värmen i frånluften ventileras ut från bostaden och går om inte värmeåtervinning sker till spillo. Den återvunna värmen utnyttjas på olika sätt i de två systemen.

### 4.1 Värmeåtervinning med frånluftsvärmepump

#### 4.1.1 Systembeskrivning av FVP

Ett frånluftssystem med värmepump är ett kombinerat ventilations- och uppvärmningssystem. Frånluftsvärmepumpen utnyttjar värmen i frånluften för värmning av tilluft, tappvarmvatten eller till ett vattenburet värmesystem. Värmning av tilluft med hjälp av värmepump är inte så vanligt och behandlas ej i denna rapport.

Själva värmepumpsaggregatet innehåller en ackumulatortank med inbyggd elpatron från vilken hela byggnadens behov av tappvarmvatten och varmvatten till värmesystemet tas.

En frånluftsvärmepump utnyttjar husets frånluft som värmekälla. Värmepumpen omvandlar den lågvärdiga värmen i frånluften till högvärdig värme som skickas ut i byggnadens vattenburna värmesystem eller tappvarmvattensystem. På så sätt reduceras byggnadens totala inköp av energi.

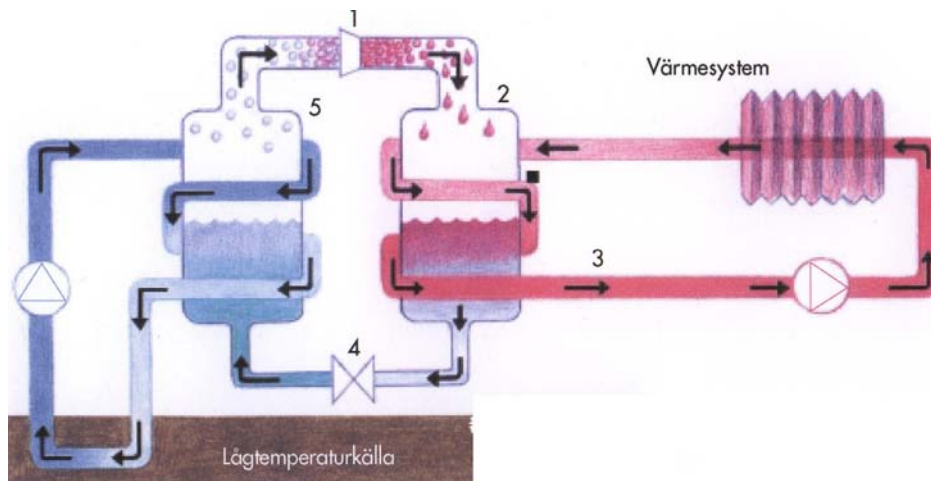
Värmesystemet i ett FVP-system baseras på el som bastillsatsvärme och har en värmepump som toptillsatsvärme medan en uteluftsvärmepump eller bergvärmepump baseras på värmepumpen och har en elpatron som toptillsatsvärme. En uteluftsvärmepump och bergvärmepump är alltså betydligt kraftigare effektmässigt jämfört med en frånluftsvärmepump. (Lindberg, 2004)

Frånluftsvärmepumpen täcker i normala småhus hela tappvarmvattenbehovet samt delar av uppvärmningsbehovet för bostaden.

Energiinnehållet i frånluften är oftast inte tillräckligt stort för att täcka hela byggnadens totala energibehov. Därför måste den kombineras med någon form av tillsatsvärme som t ex elpatron eller värmepanna. (Warfvinge, 2001)

### 4.1.2 Hur fungerar en värmepump

Med hjälp av en kompressor (1) höjs trycket och därmed temperaturen hos köldmediet. När köldmedieångan kondenserar, på grund av kylning mot värmesystemet, till vätska avges ångbildningsvärmets i kondensorn (2). Värme med en temperatur på upp till 55°C kan då avges till värmesystemet (3). När trycket sedan sänks på kompressorns sug sida efter en expansionsventil (4) sjunker temperaturen till ca -8°C och köldmediet börjar på grund av det låga trycket att förångas (koka). Vid denna förångning (5) åtgår energi som tas från en lågtemperaturkälla. Denna värmekällas enda krav är att temperaturen överstiger köldmediets aktuella temperatur, ca -8°C. Köldmediet passerar sedan åter kompressorn. (Energimyndigheten, 2005)



**Figur 4.1** Schematisk bild över värmepumpens funktion

”Magin” med värmepumpen är att den energikrävande förångningen görs av den tillgängliga värmekällan, vilken är gratis. Denna förångningsvärme kan sedan utnyttjas vid värmningen av värmesystemet. Vad kompressorn gör är att den ökar trycket och därmed temperaturen på köldmediet, alltså omvandlar den från lågvärdig värme till högvärdig värme. Annars hade ju köldmediet fått samma temperatur som värmekällan fast i förångat tillstånd, alltså ett högre energiinnehåll men samma temperatur.

För att erhålla en hög värmefaktor ska värmekällans temperatur vara hög samtidigt som kondensortemperaturen ska vara låg.

En frånluftsvärmepump arbetar i ett för en värmepump perfekt förhållande och får därför hög verkningsgrad tack vare värmekällans höga och nästintill konstanta temperatur. En konstant temperatur på värmekällan gör att värmepumpen kan injusteras efter ett visst temperaturläge och driftfall. Frånluftens temperatur håller omkring 20°C året runt.

#### Köldmedium

Köldmedium kallas det ämne som används för att transportera värmen från den kalla sidan till den varma i en värmepump. En frånluftsvärmepump innehåller ungefär 0.4 kg köldmedium. (Nibe Fighter 310P). Tidigare användes mestadels olika freoner som köldmedium. Detta är idag förbjudet av miljötekniska skäl. Idag används t ex HFC-134a som anses vara bättre ur miljösynpunkt. Dock är även dessa HFC-medium inte helt ofarliga och klassas som växthusgaser. Detta leder till krav på aktsamhet vid t ex tillverkning, service, skrotning eftersom risk för läckage då finns. I mindre värmepumpar, t ex frånluftsvärmepumpar,

används bland annat Propan (R290) (Nibe Fighter 310P) vilken är naturligt förekommande och har därför en försumbar växthuspåverkan. Propan är dock brännbar vilket vid ett läckage kan leda till explosion under olyckliga omständigheter.

#### 4.1.3 Verkningsgrad

Verkningsgraden för en värmepump uttrycks som en värmefaktor, vilken anger förhållandet mellan tillsatt och avgiven energi. Värmefaktorn är alltså ett mått på dess förmåga att spara energi. Den varierar framförallt med de temperaturnivåer som processen arbetar vid. (Warfvinge, 2001)

Värmefaktorn förkortas ofta COP, vilket står för Coefficient of Performance.

$$COP = \frac{P_k + P_f}{P_k}$$

$P_k$  = kompressoreffekt

$P_f$  = förångareffekt

Kompressoreffekt är den effekt som kompressorn kräver för att driva runt köldmediet i kylkretsen. Kompressoreffekten är alltså en värmepumps driveffekt. Man talar ofta om att värmepumpen kräver en viss del effekt för att kunna ge avge en högre effekt och vad man då menar är kompressoreffekten. Förångareffekten är den effekt som utvinns ur värmekällan.

Ju högre temperatur värmepumpen är inställd för att avge i kondensorn desto lägre COP får värmepumpen. Detta beror på att kompressorn måste arbeta hårdare vilket medför att den drar mer effekt. Det beror även på att avluftstemperaturen inte kyla lika långt. (Holmberg, 2004) Kondensoreffekt är den effekt som avges på värmepumpens varma sida. Kondensoreffekten är summan av kompressoreffekten och förångareffekten.

#### 4.1.4 Påfrysning

Om värmepumpen tillåts kyla frånluften tillräckligt långt finns risk för påfrysning i förångarbatteriet. Mer om påfrysning beskrivs i kapitel 7.1.2.

#### 4.1.5 Distribution av värme

Värmepumpens värme kan användas för uppvärmning av byggnaden och till tappvarmvatten eller enbart något endera, men oavsett användningssätt används en ackumulatortank för bunkring av varmvatten innan det leds vidare.

En värmepump jobbar mot en vattenackumulatortank vars temperatur normalt brukar ligga runt 50°C (Nibe Fighter 310P). Denna temperatur kan variera beroende på värmepumpstillverkare och användarens önskemål. Så länge temperaturen i tanken är under den i tanken önskade temperaturen arbetar värmepumpen för att höja denna. Då maxtemperaturen i ackumulatortanken är uppnådd stängs värmepumpen av.

Vissa värmepumpar jobbar mot en dubbelmantlad tank. Detta innebär att värme till tappvarmvattnet tas från tankens övre skikt eftersom detta håller en högre temperatur, cirka 53°C, jämfört med det undre skiktet där temperaturen är cirka 44°C. Vattnet från det undre skiktet leds ut i radiatorsystemet. (IVT, 2004)



En nackdel med att låta värmepumpens avgivna värme enbart gå till ett vattenburet radiatorsystem är att den sommartid ej kan utnyttjas eftersom uppvärmningsbehovet under denna tid är litet. Låter man däremot värmepumpens värme gå till tappvarmvattnet enbart kommer den visserligen utnyttjas året om men värmepumpen kommer troligtvis inte utnyttja hela sin kapacitet. Det bästa är alltså om värmen kan värma både värmesystemet och tappvarmvattnet.

Från ackumulatortanken leds varmvattnet till byggnadens värmesystem och eller till tappvarmvatten. Distribution av värmen görs framförallt via vatten men kan också ske via luft.

#### **4.1.5.1 Vatten som värmebärande medium**

Värmesystemet kan antingen vara utformat som ett golvvärmesystem eller ett radiatorsystem.

##### **Golvvärme**

Används ett golvvärmesystem läggs varmvattenslingor i golvet som sprider värmen. Ett sådant system arbetar med lägre framledningstemperaturer än ett radiatorsystem. Detta medför att värmepumpen kommer att arbeta i ett gynnsammare förhållande eftersom värmepumpens varma sida håller en lägre temperatur och får därför en något högre COP (Holmberg, 2004). Ett golvvärmesystem har den nackdelen att det är trögt att reglera. Vid stora belastningsvariationer är det svårt att tillföra rätt värmeeffekt vid rätt tidpunkt eftersom värmerören ligger under golvet och ofta är ingjutna i betong.

##### **Vattenradiatorer**

Från varmvattenberedaren leds varmvatten ut till radiatorerna i huset. I radiatoren avges en del av den värme som finns i vattnet till rummet. Vattnet cirkulerar sedan tillbaks till varmvattenberedaren för att sedan värmas på nytt.

I system med värmepumpar bör returvattnet i radiatorkretsen ej vara för varmt. Ju lägre temperatur returvattnet håller desto högre blir värmepumpens värmefaktor. Det är därför viktigt att värmesystemet justeras in så att temperaturen inte blir högre än nödvändigt.

##### **Olika radiatorsystem**

Värmesystem som projekterades före 1985 dimensionerades efter framledningstemperaturen 80°C och returtemperaturen 60°C, så kallade 80/60 system. Även 90/70 system kunde användas. Dessa system kallas högttemperatursystem eftersom de arbetar med relativt höga temperaturer. I nyare system används temperaturerna 55°C i framledning och 40-45°C i returledning. Dessa så kallade lågtemperatursystem infördes på grund av att isoleringen i hus har blivit bättre samt att man ville möjliggöra framtida anslutning till värmekällor med lägre temperatur, t ex värmepumpar, spillvärme och solvärme. (Warfvinge, 2001)

I vissa äldre hus med högttemperatursystem, där man alltså har få eller små radiatorer, behöver vattnet vara varmare för att normal rumstemperatur ska kunna uppnås. För att värmepumpens funktion ska bli bra kan man då bli tvungen att installera fler radiatorer eller fläktkonvektorer. (se följande kapitel) Man kan även toppvärma radiatorvattnet med elpatron till ca 65°C om önskas. (Nibe Fighter 310P)

#### **4.1.5.2 Luft som värmebärande medium**

Luft är lämpligt som värmebärande medium i hus där värmning sker med elradiatorer. I sådana hus finns alltså inget distributionssystem för värmen, vilket finns i hus med vattenburen värme. I direktelvärmda hus kan en värmepump därför kopplas till fläktkonvektorer. En fläktkonvektor är i princip en vattenradiator som sprider värmen med en fläkt, vilken blåser ut den från radiatorn uppvärmda luften. Fläktkonvektorn måste placeras i närheten av värmepumpen, vilket gör att värmen inte når ut till alla rum. I ett sådant system måste därför vanliga elradiatorer finnas som komplement för att täcka uppvärmningsbehovet kalla dagar. (Energimyndigheten, 2005)

I hus som saknar värmedistributionssystem kan också en värmepump installeras för enbart generering av tappvarmvatten. Ett vattenburet värmesystem kan givetvis installeras men kostnaden för en sådan installation är betydligt dyrare än då ett sådant system redan finns.

#### **4.1.6 Fläktel**

Utöver kompressoreffekten krävs också energi till fläkten, vilken har till uppgift att cirkulera ett luftflöde genom huset. Energin som fläkten kräver räknas ej med i värmefaktorn, men måste givetvis tas med som en elförbrukning i huset.

#### **4.1.7 Uppgradering från F till FVP**

Ett F-system kan uppgraderas till ett FVP-system för att få ett mer energisparande uppvärmningssystem. Byggnadens frånluftskanal leds då bara via värmepumpen.

## **4.2 Värmeåtervinning med frånluftsvärmeväxlare**

### **4.2.1 Systembeskrivning av FTX**

Ett från- och tilluftssystem med värmeväxlare är ett ventilations- och luftuppvärmningssystem. Då den inkommande uteluften förvärms av värmeväxlaren behöver man ej tillsätta lika mycket värme för att uppnå önskad tilluftstemperatur jämfört med ett system utan värmeåtervinning. Ingen värmning av tappvarmvatten sker i värmeväxlaren och FTX-systemet måste därför tillföras värme till tappvarmvatten på annat sätt.

Före det att frånluften lämnar byggnaden värmeväxlas denna varma luft mot den inkommande kalla tilluften. Frånluften håller samma temperatur som inomhusluften och är under större delen av året betydligt högre än uteluftens temperatur. Med hjälp av en värmeväxlare kan byggnadens totala inköp av energi reduceras, eftersom en stor del av ventilationsvärmningen görs av värmeväxlaren.

Värmning av tilluft kan vara mycket energikrävande. Detta varierar givetvis mycket beroende på vilken temperatur uteluften håller och till vilken temperatur den ska värmas. Normalt värmer man tilluften till 15-20°C i bostäder. I nordliga klimat där temperaturen kan sjunka ner mot -40°C kan alltså luften behöva värmas uppemot 60°C. Medan man i varmare klimat kan behöva kyla luften innan den tas in i en byggnad.

Värmeåtervinningen i värmeåtervinningsaggregatet kan antingen vara återluftsföring eller värmeväxling. I denna rapport undersöks endast värmeväxling då återluftsföring ej är tillåten till sovrum i bostäder (Jensen, 2005).

### **4.2.2 Hur fungerar en värmeväxlare**

Värmeväxlare delas in i två olika typer beroende på vilket sätt värmeöverföringen sker. Följande typer finns:

- Rekuperativ
- Regenerativ

Rekuperativ värmeväxling innebär att värmen strömmar genom en värmeväxlande yta. Då värmeväxlingen sker intermittent genom att ett material omväxlande värms och kyls och därigenom överför värme kallas det regenerativ värmeväxling. (Warfvinge, 2001)  
Nedan följer de två vanligaste typerna av värmeväxlare i bostäder (Jensen, 2005).

### **4.2.3 Olika typer av värmeväxlare**

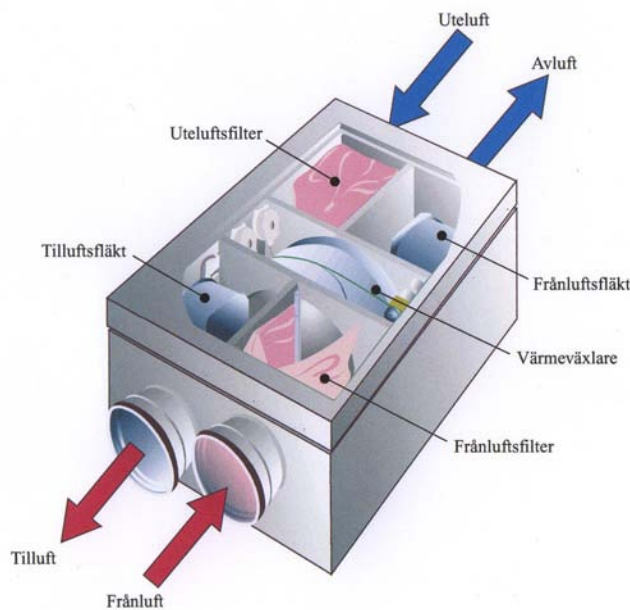
#### **Roterande värmeväxlare**

Den roterande värmeväxlaren är av regenerativ typ. Denna typ av värmeväxlare består av ett rotorhjul med ett stort antal små axiella kanaler. När rotorn passerar den varma luften i frånluftskanalen lagras värme och fukt i kanalerna. Då hjulet roterat vidare och möter den kalla luften i tilluftskanalen avges värme och fukt från kanalerna. Eftersom samma ytor kommer i kontakt med både frånluft och uteluft finns risk för partikelöverföring, men risken är dock inte stor. Filter och ibland renblåsningssektor finns för att rena frånluft och tilluft respektive rotor. Verkningsgraden för en roterande värmeväxlare kan vara så hög som 85 %. (Svennberg, 1983)

En stor fördel med roterande värmeväxlare är att de kan köras utan avfrostning vid låga utetemperaturer utan att frysa på. Därför har en värmeväxlare av denna typ högre årsmedelverkningsgrad jämfört med en plattvärmeväxlare, eftersom de i princip kan köras oavsett utetemperatur och därmed inte behöver stängas av för avfrostning. Vid extremt låga temperaturer kan verkningsgraden sänkas med hjälp av sänkning av rotorhastigheten för att undvika påfrysning. (Svennberg, 1983)

Vid tidpunkter på året då uppvärmningsbehovet är lägre kan verkningsgraden sänkas genom reducering av rotorhastigheten. Sommartid kan rotorn stannas helt eftersom återvinning då sällan behövs. Om utetemperaturen är högre än innetemperaturen kan dock rotorn köras för att kyla tilluften något med frånluften.

Till- och frånluftskanalerna måste dras intill varandra för att värmeväxling ska kunna ske.



**Figur 4.2** Värmeväxlare av roterande typ från Östberg, modell Heru 50

### Plattvärmeväxlare

En plattvärmeväxlare är av rekuperativ typ. Den består av plåtar som lagts ihop växelvis så att tilluften och frånluften passerar varandra i varannan kanal. Till- och frånluften har alltså ingen direkt kontakt med varandra och fukt samt föroreningar kan därför ej överföras. Tilluftens strömningsriktning är vinkelrät mot frånluftens i en korsströmsplattvärmeväxlare, medan den i en motströmsplattvärmeväxlare är parallell och motriktad. Då utetemperaturen är låg finns risk för påfrysning i frånluftskanalen. Plattvärmeväxlarens uppbyggnad är enkel och funktionssäker. Den används både i bostäder och i industriella sammanhang.

Temperaturverkningsgraden är cirka 70 %, men måste sänkas då risk för påfrysning föreligger. Till- och frånluftskanalen måste passera samma aggregat för att värmeväxling ska kunna ske. (Warfvinge, 2001)

#### 4.2.4 Verkningsgrad

Värmeväxlarens verkningsgrad uttrycks som temperaturverkningsgrad. Nedan visas temperaturverkningsgraden för tilluften:

$$\eta = \frac{T_a - T_u}{T_f - T_u}$$

$T_u$  = utetemperatur

$T_f$  = frånluftstemperatur (innetemperatur)

$T_a$  = återvunnen temperatur

Temperaturverkningsgraden anger värmeväxlarens förmåga att överföra värme. Verkningsgraden anger förhållandet mellan utnyttjad temperaturskillnad och maximalt tillgänglig temperaturskillnad. Värmeväxlaren värmer uteluften, med temperaturen  $T_u$ , till  $T_a$ , alltså den temperatur som luften har när den lämnar värmeväxlaren på väg in mot huset. Frånluftstemperaturen och utetemperaturen är givna storheter. Det innebär att mängden återvunnen värme kommer att bero på värmeväxlarens konstruktion och storlek. Det är framförallt de värmeväxlande ytornas storlek och värmetekniska egenskaper som är avgörande för värmeväxlarens förmåga att återvinna värme. Hur stor mängd värme som kommer att överföras i drift bestäms av verkningsgraden samt till- och frånluftsflödenas storlek. (Warfvinge, 2001)

Teoretiskt skulle  $T_a$  bli densamma som  $T_f$  om verkningsgraden var 100 %. Detta är dock ej varken praktiskt genomförbart eller ekonomiskt lönsamt då det skulle kräva en oerhört stor och dyr värmeväxlare. Tryckfallet genom en sådan värmeväxlare skulle också bli stort vilket skulle kräva mer fläktarbete och därmed högre elförbrukning.

Temperaturverkningsgraden tas fram genom provningar av tillverkaren. Eftersom en fläkt utträttar ett arbete på luften ökar lufttemperaturen något. Vid beräkning av temperaturverkningsgrad tar vissa tillverkare med denna höjning i lufttemperaturen som härstammar från fläkten och får på så sätt en högre temperaturverkningsgrad. Detta är felaktigt då fläkten inte har något med själva värmeväxlaregenskaperna att göra. Detta innebär också att ju sämre verkningsgrad fläkten har desto högre verkningsgrad får värmeväxlaren, men systemet i helhet får lägre verkningsgrad.

#### 4.2.5 Påfrysning

Vid vilken temperatur påfrysning kommer att ske är svårt att förutse eftersom det beror på ett flertal parametrar såsom ute- och innetemperatur, luftfuktighet, värmeväxlarens konstruktion och verkningsgrad.

Luftens fukttinnehåll har betydelse för kondensering och eventuell påfrysning, vilket betyder att kondensering och påfrysning inte behöver ske vid 0°C.

##### **Påfrysning i plattvärmeväxlare**

Om värmeväxlaren har hög verkningsgrad och om utetemperaturen är låg finns risk för påfrysning. Påfrysning innebär att frånluften kyles ner så mycket av inkommande uteluft (tilluften) att fukten i frånluften kondenserar ut på de värmeväxlande ytorna och fryser på. Om påfrysning sker minskar verkningsgraden och tilluften kommer gå in i byggnaden med en lägre temperatur än önskat. Detta problem kan avhjälpas med ett påfrysningsskydd. Ett sådant

skydd kan vara ett förvärmningsbatteri som alltså förvärmer den kalla tilluften före den når värmeväxlaren. Ett annat skydd är att mekaniskt stänga till inkommande luftväg så att inte lika mycket kall luft kan passera genom värmeväxlaren, även kallat shuntning. På så sätt kommer isen att tina och tilluftskanalen kan därefter öppnas igen. Verkningsgraden kommer att minska vid shuntning men problemet med påfrysning undviks. Om ej påfrysningsskydd finns kommer isbildningen att fortgå tills utetemperaturen stiger. Det möjliga frånluftflödet kommer också att minska eftersom is blockerar passagen och risk för övertryck i huset finns eftersom tilluftsflödet fortfarande kommer in. Påfrysning kan upptäckas med hjälp av t ex fotoceller eller tryckskillnad över in och utlopp över värmeväxlaren.

I en värmeväxlare är påfrysningsrisken störst vid ca 30 % relativ luftfuktighet i frånluften, det vill säga ganska torr luft. Detta beror på att temperatursänkningen blir större ju lägre luftfuktigheten är. (Fahlén, 2004) Se mer om fuktens betydelse i kapitel 7.1.1.

### **Påfrysning i roterande värmeväxlare**

I en roterande värmeväxlare är påfrysningsrisken mycket liten eftersom frånluften kontinuerligt värmer upp den del av rotorn som varit utsatt för den kalla tilluften. Vid extremt låga temperaturer kan verkningsgraden sänkas med hjälp av sänkning av rotorvarvtalet för att undvika påfrysning. (Svennberg, 1983)

### **Eftervärmning**

Värmeåtervinning räcker normalt sätt inte för att klara hela uppvärmningsbehovet av tilluften under uppvärmningssäsongen. Värmeväxlaren kompletteras därför med en eftervärmare, även kallat eftervärmningsbatteri. Denna värmare, elvärmare eller vattenvärmare, har till uppgift att värma tilluften till önskad tilluftstemperatur. Värmeåtervinningsaggregatet kan även innehålla ett förvärmningsbatteri, beroende på tillverkare. Med ett förvärmningsbatteri elimineras risken för påfrysning i värmeväxlaren. (Warfvinge, 2001)

## **4.2.6 Distribution av värme**

### **Tilluft**

Den värmda tilluften från värmeväxlaren tillförs bostadens rum via tilluftskanaler.

### **Varmvatten**

Varmvattenberedning görs i ett FTX-system separat, t ex i en elpanna. Från elpannan leds varmvattnet till byggnadens värmesystem, som antingen kan vara ett golvvärme- eller radiatorsystem. (Se kapitel 4.1.5.1) Tappvarmvattnet genereras även i elpannan.

## **4.2.7 Fläktel**

Dålig fläktverkningsgrad medför att luften värms. Om tilluftsfläkten har dålig verkningsgrad värms tilluften något. Denna värme går huset tillgodo under uppvärmningssäsong. Eventuell luftvärmning av frånluftsfläkten går ej huset tillgodo. Beroende på var frånluftsfläkten är placerad i förhållande till värmeväxlaren kan dock delar av värmen från frånluftsfläkten tillgodoräknas (Jensen, 2004). Det ska dock tilläggas att fläktvärmetillskott är relativt litet.

## **4.2.8 Uppgradering från FT till FTX**

Ett FT-system kan relativt enkelt uppgraderas till ett FTX-system genom att installera en värmeväxlare, för att spara energi och minska uppvärmningskostnaderna för byggnaden.

## **5 Jämförelse av FVP och FTX**

### **5.1 Fördelar FVP**

#### **5.1.1 Energibesparing**

En frånluftvärmepumps främsta egenskap är att den ger relativt stora energibesparingar. Energibesparingen som görs med FVP-ventilation är normalt högre än de besparingar som kan göras med FTX-ventilation. (Elmroth, 2004) (Häggbom, 2004) Denna siffra varierar dock beroende på driftfall.

Energibesparing görs även sommartid då värmepumpen ger värme till framförallt tappvarmvatten. Mer om energibesparing i kapitel 10.5.

#### **5.1.2 Komfortkyla**

Värmepumpen kan användas som kylmaskin sommartid då kylbehov föreligger. Då värmepumpen tar värme från frånluften för att bereda tappvarmvatten fås en avluftstemperatur som ligger under rumstemperaturen. Denna relativt kalla luft kan användas för att kyla bostaden. För att detta ska vara möjligt krävs dock någon form av tilluftssystem för tillförseln av denna kalla luft, vilket normalt sett inte finns i FVP-system.

### **5.2 Nackdelar FVP**

#### **5.2.1 Luftväxling**

De krav som ställs på ventilation kommer med osäkerhet uppfyllas.

FVP-ventilation ger en ojämn ventilation i byggnadens olika rum. Fläkten suger alltid ut en bestämd mängd luft ur byggnaden, men varifrån luften tas från varierar. Öppnas ett fönster i ett rum kan ventilationen i övriga rum nästintill utebli eftersom luften tar den lättaste vägen in. Med andra ord kan friskluftstillflödet i vissa rum i princip utebli, vilket kan medföra biverkningar och skador på både människor och byggnader. Speciellt i sovrum är det nattetid av hög vikt att friskluftstillflödet säkerställs, vilket görs i FTX-system men ej i F och FVP-system. (Elmroth, 2005) (Quick, 2004)

#### **5.2.2 Komfort**

Komfortproblem såsom kallras vid uteluftsventiler och drag utmed golv är vanligt.

#### **5.2.3 Problem med värmepumpen**

I en rapport från Folksam från oktober 2004 nämns att problem med kompressorerna förekommer ofta. 63 % av alla värmepumpar erhåller någon skada inom en 2-5 års period efter nyinstallation. 2076 skador anmälades 2003 på frånluftsvärmepumpar och av dessa skador var skador och fel på kompressorerna absolut vanligast. Kostnaden per skada var i genomsnitt 10446 kr. Någon uppgift på hur många frånluftsvärmepumpar som såldes totalt finns inte då den undanhålls av värmepumpstillverkarna. (Folksam, 2004)

Det är alltså av stor vikt att värmepumpen kontrolleras då och då för att se att den fungerar väl. Det är ofta svårt för användaren att läsa av vad som egentligen producerar värme, värmepumpen eller elpatronen. Det är alltså svårt att veta hur stor del av den totala

uppvärmningseffekten som kommer från återvunnen värme respektive elpatronen. Man kan lätt inbillas att tro att värmepumpen fungerar bara för att den ”surrar”.

#### **5.2.4 Elberoende**

Under kalla vinterdagar är uppvärmningsbehovet stort i en bostad. Värmepumpens återvunna energi kommer då endast utgöra en liten del av hela uppvärmningsbehovet, medan resten av energin vanligtvis tillförs via en elpatron. I ett FTX-system kan värmeväxlaren däremot återvinna betydligt mer under samma kalla period och behöver därför tillsätta mindre energi. Frånluftsvärmepumpen blir allt vanligare vilket betyder att Sveriges bostäder gör sig mer och mer beroende av el. (Häggbom, 2004) Detta påverkar landets totala elbehov framförallt under de tidpunkter på året då elbehovet är som störst, vid köldknäppar. Ett FVP-system är givetvis mindre elberoende än ett värmesystem som helt baseras på el utan återvinning.

En risk med att utnyttja el för bostadsvärmning, som görs vid utnyttjande av värmepump, är att ökade elpriser leder till ökade värmekostnader för bostaden. Värmepumpen drivs av el vilket gör att man är elberoende för bostadsvärmning. Om en billig alternativ värmekälla finns tillgänglig spelar det mindre roll om värmepumpens värmefaktor är hög eftersom elen den drivs av är dyr.

#### **5.2.5 Styrning av luftflöde**

Den från värmepumpens avgivna effekt varierar med storleken på ventilationsflödet. Alltså kan inte ventilationsflödet ändras utan att värmepumpens dimensionerade effektuttag ändras. Därför bör man känna till att sänkt frånluftsflöde kan innebära minskad kondensoreffekt och övrig tillförd energi för uppvärmning måste därmed ökas. Se mer om detta i kapitel 7.1.

#### **5.2.6 Legionella**

Legionellabakterier trivs i stillastående varmt vatten. Bakterien börjar dö vid 47°C men vattnet ska för säkerhets skull vara 60°C för att bakterierna ska försvinna. Det kan därför finnas viss risk för att sådana bakterier gror i ackumulatortanken eftersom värmepumpen endast värmer vattnet till ca 50°C. Värmepumpsaggregatet har därför en funktion där vattnet värms till 60°C då och då för att undvika legionellatillväxt. (Carlholmer, 2004)

#### **5.2.7 Radon**

I områden där radon finns bör ej F/FVP-ventilation användas eftersom frånluftfläkten skapar ett relativt stort undertryck i byggnaden vilket kan suga in radon (Svensson, 1984).



## **5.3 Fördelar FTX**

### **5.3.1 Energibesparing**

Med FTX-ventilation kan energibesparingar göras. Energibesparingen är som störst då utetemperaturen är som lägst (Quick, 2004). Mängden återvunnen energi ökar med minskad utetemperatur. Detta är mycket positivt då mindre mängd tillsatt elenergi behöver tillsättas jämfört med ett FVP-system vid låga utetemperaturer. Detta främjar indirekt landets energiförbrukning som belastas hårt vid låga utetemperaturer. Mer om energibesparing i kapitel 10.5.

En fördel med FTX-ventilation är att värmesystemet och ventilationssystemet är skilda från varandra. Alltså friheten att välja ett värmesystem är större med FTX-ventilation. I FVP-systemet bygger ju återvinningsfunktionen, på grund av värmepumpen, på el.

### **5.3.2 Inomhusklimat**

Bättre inomhusklimat och komfort fås inomhus eftersom tilluften i princip håller rumstemperatur då den tillförs rummet. Drag och kallras bör därför inte förekomma.

### **5.3.3 Luftväxling och luftfiltrering**

De krav som ställs på god ventilation bör med stor sannolikhet uppfyllas med FTX-ventilation. (Se kapitel 2.1 och kapitel 6.4.1 (luftomsättning)) Via tilluftskanalerna garanteras att uteluft tillförs sovrum och sällskapsrum. Uteluften förs sen vidare till övriga rum. Detta innebär att mängden föroreningar, t ex koldioxid, hålls på en låg nivå i samtliga rum och luften kommer allmänt att kännas fräschare.

Luften som tillförs är även renare jämfört med uteluften eftersom tilluften filtreras från t ex pollen och olika smutspartiklar. Detta bör gynna personer med allergiska eller astmatiska besvär och förhoppningsvis också förebygga sådana problem.

I bostäder där mögel, alger och radon förekommer är luftväxlingen av stor vikt för att inte människan och byggnaden ska skadas. Då FTX-ventilation med större sannolikhet växlar luften i hela huset jämfört med FVP-ventilation är den att föredra.

I ett FTX-system kan till- och frånluftsflödena styras separat, vilket medger större möjligheter att styra ventilationsflödena. Exempelvis kan detta utnyttjas i hus där radon finns där flödena sätts någorlunda lika för att inte få för stort undertryck i byggnaden. Detta görs för att inte radon ska sugas in i byggnaden. FTX-ventilation medför mindre undertryck i byggnaden, jämfört med FVP-ventilation, utan att luftväxlingen försämras.

### **5.3.4 Komfortkyla**

Sommartid, då bostadens inomhustemperatur överstiger den önskade, kan värmeväxlaraggregatet förses med ett kylbatteri. Detta batteri kyler tilluften så att önskad temperatur inomhus erhålls. Kylningen sker oftast med ett separat eldrivet kylaggregat, som inte har något med själva värmeväxlaren att göra. Den kylda luften tillförs som vanligt via tilluftskanaler.

## **5.4 Nackdelar FTX**

### **5.4.1 Luftläckage**

Eftersom luftläckage i byggnader med FT/FTX-ventilation ofta blir relativt stort är behovet för uppvärmning större än i en byggnad med F/FVP-ventilation. (Häggbom, 2004) (Energimyndigheten, 2004) Mer om luftläckage i kapitel 7.2.

### **5.4.2 Återvinning sommartid**

Ingen värmeåtervinning sker till tappvarmvattenberedning i FTX-systemet. Sommartid är därför mängden återvunnen värme relativt liten. Tilluftsvärmning av återvunnen frånluft sker dock vid behov.

### **5.4.3 Fläktel**

Eftersom två fläktar används i ett FTX-system är elbehovet till dessa större jämfört med ett FVP-system, å andra sidan erhålls bättre luftväxling.

### **5.4.4 Utrymme**

Ett FTX-system utnyttjar dubbla luftkanaler, ett för frånluften och ett för tilluften. Detta innebär att systemet kräver mer utrymme jämfört med ett F/FVP-system och kan därför vara krångligare att installera. Det innebär också att kanalkostnaden ökar. Själva värmeväxlaraggregatet är mindre än en frånluftsvärmepump. Dock innehåller ett värmepumpsaggregat en vattenackumulatortank för varmvattenberedning vilket inte ett värmeväxlaraggregat har. I ett FTX-system måste därför en elpanna för varmvattenberedning finnas på annat håll. Totalt sett tar systemen ungefär lika mycket plats, bortsett från kanalsystemet.

### **5.4.5 Fuktproblem vid övertryck**

Om övertryck råder i byggnaden trycks varm och fuktig inomhusluft ut i väggar och tak och kondenserar, vilket kan leda till fuktskador. Normalt injusteras fläktarna så att ett litet undertryck erhålls i byggnaden. Tilluftsflödet ligger normalt mellan 5-10 % under frånluftsflödet för att försäkra sig mot fuktrisken (Engdahl, 2004). Om frånluftsfläkten av någon anledning ger ett lägre flöde än tilluftsfläkten leder detta till att ett övertryck skapas i byggnaden. Det kan t ex också ske om frånluftsfläkten havererar eller om frånluftsfiltret sätts igen. Det är därför av stor vikt att injustering av fläktarna görs rätt i ett FTX-system samt att fläktar och filter enkelt kan kontrolleras för tillsyn. (Elmroth, 2004)

### **5.4.6 Ljudproblem**

Ljud som alstras i tilluftsfläkten kan fortplantas i tilluftskanalen och orsaka störande ljud i bostaden. Dock ska detta inte behöva vara ett problem om systemet installeras rätt och ljuddämpare används.

## 6 Energiberäkningar i VIP+

För att ge så rättvisande resultat, vid jämförelsen av olika ventilationssystemers energibehov, som möjligt i denna rapport diskuterades vilket energiberäkningsprogram som skulle användas. De två program som var aktuella var VIP+ och Enorm. Dessa två program finns båda tillgängliga på avdelningen för installationsteknik och byggnadsfysik.

### 6.1 Val av energiberäkningsprogram

Då en av uppgifterna med detta arbete var att utreda återvinningsmöjligheterna med kombinationer av värmeväxlare och värmepumpar ansågs VIP+ lämpligare, eftersom programmet kan exportera värden timvis på relevanta parametrar.

Enorm simulerar inte vindens påverkan på ett lika verkligt sätt som VIP+ gör, vilket kan ha stor betydelse för luftläckaget vid FTX-system. Enorm tar varken hänsyn till solinstrålning mot fasader eller värmelagring i byggnadens stomme, vilket kan påverka resultatet i hög grad. I en studie som gjorts av Catarina Warfvinge på avdelningen för installationsteknik, LTH, påvisades vid en jämförelse av VIP+ och Enorm att Enorm underskattade energibehovet för en typbyggnad enligt BBR med ca 30 %. (Warfvinge, 2004). Enorm har även vid tidigare studier av verkliga byggnader underskattat energibehovet markant. (Nilsson, 2003) Med ovanstående anledningar valdes VIP+ för energiberäkningarna.

### 6.2 Beskrivning av VIP+

VIP+ togs fram år 1990 av Structural Design Software in Europe AB i Sverige. En uppdatering av programmet genomfördes 1998. Det är ett relativt generellt program som är framtaget för att beräkna en byggnads energibehov för uppvärmning och lämpar sig framförallt för bostäder. VIP+ beaktar ändå många av de viktiga parametrar som flera andra program inte tar hänsyn till. Indatastrukturen är sparsam vilket innebär att programmet kräver relativt hög kunskapsnivå hos användaren. Användaren måste känna till vissa parametrar väl för att resultatet från VIP+ ska vara trovärdigt. Programmet simulerar energibehovet med tidsintervallet en timme, 8760 timmar om året. Programmet kan inte användas för lönsamhetsberäkningar av valda åtgärder utan detta får göras separat. Dock kan en kostnadsbild av valt system redovisas.

VIP+ används i viss mån vid energiberäkning av byggnader i Sverige idag med 45 sålda licenser till och med år 2000. (Häggbom, 2005)

Programmets grundare Sune Häggbom arbetar idag som energikonsult på "Sunda Hus Rådgivning" och använder VIP+ i sin verksamhet. Sune har därför en relativ lång erfarenhet av programmet och har kunnat göra jämförelsen mellan teoretiska och praktiska beräkningar och mätningar.

Programmet har använts vid Avdelningen för installationsteknik och byggnadsfysik i bland annat följande skrifter:

- "Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra hamnen i Malmö" Hans Bagge, Arne Elmroth, Lotti Lindstrii,
- "Sänkta boendekostnader genom energieffektivisering" Ylva Anger, Håkan Ohlsson

### 6.2.1 Yttre faktorer

De yttre faktorerna programmet innefattar är uteklimatet, byggnadens omgivning avseende solinstrålning och utsatthet för vind. Programmet behandlar klimatet timvis i form av utetemperatur, vindhastighet och global solinstrålning mot horisontell yta. Vindhastigheter används för beräkning av byggnadens luftläckage. Ett  $q_{50}$ -värde och flödesexponent anges för varje byggnadsdel. Byggnadens formfaktorer, som anger hur vinden påverkar ytterytorna i de olika väderstrecken anges. Infallande solinstrålning mot byggnaden beaktas genom att användaren anger en solabsorptionskoefficient för ytterväggar och tak. För solinstrålning mot fönster anges en transmissionskoefficient samt ett värde på hur stor andel av den transmittade energin som sker genom strålning. I programmet finns en funktion som beräknar solhöjd och solvinkel för varje timme. Byggnadens utsatthet för sol och vind anges genom att värden på horisontalvinkel, markreflektion och vindreduktion anges.

### 6.2.2 Inre faktorer

Inneklimatet definieras i form av ventilation och temperatur. Båda kan varieras med tre olika tidsintervall: måndag-fredag, lördag och söndag. Temperaturen anges som medeltemperatur samt tillåten lägsta och högsta temperatur. Ventilationen anges som luftomsättningar per timme. De inre effekter som beaktas är termiktryck och värmelagring i stommen. För detta ändamål anges klimatskalets olika höjdnivåer och värmekapacitet för alla ingående material.

Typ av ventilationssystem anges genom val av från- och eller tilluftsflöden. Fläktverkningsgrad och fläkttryck anges för beräkning av fläktens elförbrukning. Internlast anges i tre separata poster för personenergi, processenergi och tappvarmvattenanvändning.

### 6.2.3 Modellering

Byggnaden modelleras genom att area och väderstreck uppges för samtliga byggnadsdelar, såsom fasad, tak, golv, fönster, dörrar och eventuella ventiler. Hela byggnaden kan sedan vridas i förhållande till de fyra väderstrecken. Byggnadstyp, bostad eller lokal, samt dess area och volym skall anges. Byggnadsdelarna definieras av antal materialskikt med tillhörande värmeledningstal, densitet och värmekapacitet. Programmet beräknar utifrån dessa byggnadsdelens U-värde och värmekapacitet. Fönster och dörrar definieras genom U-värde och glasandel, ventiler genom area och luftflöde. Programmet tar ej hänsyn till eventuella köldbryggor. Dessa kan dock simuleras genom att lägga in exempelvis en väggyta med högt U-värde.

### 6.2.4 Resultat

Resultat redovisas som årsvärden på förluster och tillförd energi och kan presenteras per timme, dag, månad eller år. Alla parametrar som har betydelse för uppvärmningsbehovet kan redovisas timme för timme och exporteras till en textfil.

## 6.3 Parametervariation

En parameterstudie har genomförts i VIP+ där ett antal parametrar varierats för att se hur dessa påverkar uppvärmningsbehovet i en byggnad. Se resultat i kapitel 10.1.

Ett annat syfte var att se om det finns några parametrar som har extra stor betydelse för energiflödena i en byggnad i kombination med ett visst ventilationssystem. Dessa parametrar har sedan lagts extra stor vikt vid och studerats noggrannare. Detta för att öka trovärdigheten i VIP+: s slutgiltiga resultat vid jämförelsen av de olika ventilationstyperna. Se kapitel 8.

## 6.4 Val av indata till VIP+

Efter parametervariationen och litteraturstudien valdes nedanstående parametervärden för beräkningarna i VIP+. I kapitel 6.4.1 anges de parametrar som är gemensamma för alla ventilationstyper. I 6.4.2 och 6.4.3 anges värden som är specifika för FVP respektive FTX.

### 6.4.1 Gemensamma parametrar

#### Stad

Tre städer i skilda delar av Sverige har valts för att få en uppfattning om hur energibehovet varierar beroende på klimat. Städerna som valts är Malmö, Stockholm och Haparanda. Årsmedeltemperaturen i dessa städer är 8, 6 respektive 1°C.

#### Klimat

För att VIP+ ska kunna beräkna energibehovet för en byggnad behövs indata i form uppmätta timvärden på utetemperatur, vindhastighet och global solstrålning för respektive stad.

I tabellen visas de värdena på dessa tre parametrar. Utetemperatur och vindhastighet är genomsnittsvärden för ett år, alltså 8760 timmar. Solenergi är den energi som tillförs det aktuella huset under ett år.

**Tabell 6.1** Klimatskillnader för olika städer

Stad	Utetemperatur / °C	Vindhastighet / m/s	Solenergi / kWh/år
Malmö	7,7	3,6	2964
Stockholm	6,7	2,3	3888
Haparanda	1,2	1,5	2458

#### Läge

I VIP+ kan tre olika lägen väljas för en byggnad. Dessa är skyddat-, något skyddat- och öppet läge. "Något skyddat läge" har valts i beräkningarna. Detta läge bör motsvara ett villaområde. Läget beskriver markreflektion, vindreduktionsfaktor och horisontalvinkel för avskärmning av solstrålning. Värdena på dessa är: 0,4, 0,65 respektive 30°.

#### Hustyp

Huset är ett 1,5 plans hus som har rimliga byggnadsegenskaper motsvarande en nybyggt hus idag. Husets golvyta är 120m<sup>2</sup> och har en luftvolym på 266m<sup>3</sup>. (Warfvinge, 2004)  
Se bilaga för byggnadsdelarnas materialdata.

### **Formfaktorer**

Formfaktorerna beskriver hur vindtrycket fördelar sig runt byggnaden. Ett standardvärde på formfaktorn finns inlagt i VIP+ och används i beräkningarna. Formfaktorn är för de olika väderstrecken: söder (-0.6), väster (0.7), norr (-0.6), öster (-0.5) och tak (0.0).

### **Vinkel mot söder**

I VIP+ kan byggnadens vinkel mot söder anges. Vinkeln är satt till 0 i beräkningarna och betyder alltså att husets södersida vetter rakt mot söder.

### **Transmissionsförluster (U-värde)**

För val av U-värde för respektive byggdel se bilaga. Inverkan av köldbryggor har simulerats genom att 1 m<sup>2</sup> vägg med ett U-värde på 12 W/(m<sup>2</sup>·K) lagts in i husets byggnadsskal. (Warfvinge, 2004)

### **Värmekapacitet**

Se bilaga för värmekapacitet.

### **Täthet**

Boverkets krav på täthet är 0,8 l/(s·m<sup>2</sup>) omslutningsarea, varför detta valts som värde för beräkningarna i VIP+. (Enberg, 2004)

Tätheten i byggnadens yttre skal, alltså ytterväggar och yttertak, har betydelse för hur mycket luft som kommer att läcka genom dessa. Tätheten i dessa byggdelar är speciellt viktiga i byggnader med FTX-ventilation och har därför varierats i en speciell simulering. Se kapitel 7.2.2.

### **Inomhustemperatur (frånluftstemperatur)**

Ofta sätts inomhustemperaturen till 20°C i energiberäkningar. Detta har i flera undersökningar och mätningar visats sig vara något lågt. 21°C har därför valts för att få ett värde som stämmer bättre överens med den inomhustemperatur som verkligen råder i bostäder. (Engdahl, 2004)

### **Min- och Maxtemperatur**

Inomhustemperaturen tillåts i VIP+ variera mellan 21°C och 27°C. Är inomhustemperaturen 21°C eller högre kommer ingen rumsuppvärmning att ske. Dock kan tilluftsvärmning fortfarande ske eftersom tilluftstemperaturen alltid måste vara minst 18°C. Detta kan tyckas vara konstigt men det görs för att undvika kallras och drag. Maxtemperaturen är satt till 27°C (VIP+, 2003) för att t ex sol och processenergi inte ska tillgodoräknas då den ej behövs (sommartid), alltså bidra till högre temperaturer än 27°C.

### **Person och processenergi**

Mängden hushållsel per år och kvadratmeter golvyta har bestämts i samråd med Catarina Warfvinge och de uppskattningar Boverket gör i handboken "Termiska beräkningar".

Mängden hushållsel som tillförs huset i form av värme är satt till 4 W/m<sup>2</sup> i VIP+ vilket motsvarar 4205 kWh/år.

Personenergin uppskattas vara 1 W/m<sup>2</sup> enligt Boverket. Dock valdes denna parameter till 0 W/m<sup>2</sup> för inmatning i VIP+. Anledningen till detta är att då människor befinner sig hemma ökar luftläckaget eftersom fönster och dörrar ofta öppnas, vilket reducerar värmebidraget från människor. (Warfvinge, 2004)

### Tappvarmvattenbehov

Enligt Boverket uppskattas tappvarmvattenbehovet till 3960 kWh/år för aktuellt hus, baserat på bostadens yta. I VIP+ finns ett förinställt värde på denna parameter vilket motsvarar 3951 kWh/år. Detta värde stämmer som synes väl överens med Boverkets rekommendation, varför 3951 kWh/år använts i beräkningarna. Effektbehovet för tappvatten är 450 W.

En tappvarmvattenvariation är också genomförd, se kapitel 7.3.

### Luftomsättning

Boverket rekommenderar ett luftflöde på minst  $0,35 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$  golvarea. Detta motsvarar i typhuset ( $120 \text{ m}^2$ ) 42 l/s. Dock finns det även rekommendationer för minsta frånluftsflöde beroende vilka rum och verksamheter som finns i bostaden, enligt tabellen nedan.

(Enberg, 2004)

**Tabell 6.2** Ventilationskrav

Rum	Frånluftsflöde / l/s
Kök	10
Bad- eller duschrum	15*
Toalett	10*
Tvättstuga	10
Extra**	5
<b>Summa</b>	<b>50</b>

\* Luftflödet ska i dessa utrymmen vara något högre eller alternativt kunna ökas vid behov varför 5 l/s extra\*\* lagts till så att ett totalt frånluftsflöde på 50 l/s erhålls.

Ett frånluftsflöde på 50 l/s har valts för beräkningarna i VIP+. (Engdahl, 2004)

50 l/s frånluftsflöde motsvarar  $0,42 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$  golvarea och bör ge ett väl ventilerat hus.

För beräkningarna i VIP+ sattes i FTX-systemet tilluftsflödet till 45 l/s, alltså 10 % lägre än frånluftsflödet. Vid jämförelserna av uppvärmningsbehov för F, FVP och FTX sker beräkningarna med dessa luftflöden. Dock testades även andra kombinationer för FTX-systemet, se figur 7.2.2.

Boverkets krav på luftväxling på  $0,35 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$  golvarea kan uttryckas som omsättningar luft per timme. Med en inre takhöjd på 2,4 m i en byggnad blir kravet 0,5 oms/h. Eftersom huset inte har full takhöjd, på grund av sneda väggar på andra våningen, ska omsättningen luft (frånluft) öka eftersom man utgår efter golvarean, från 0,5 oms/h till 0,57 oms/h.

Från- och tilluftsflödena översatta till omsättningar luft per timme (oms/h) för aktuellt hus är 0,68 respektive 0,61, alltså högre luftomsättning än Boverkets rekommendationer.

(Tilluftsflödet används endast i FTX-systemet.)

### Ekonomi

Elpriset inklusive skatt och moms är satt till 1 kr/kWh vid jämförelsen av uppvärmningsbehov för F, FVP och FTX (Anger och Ohlsson, 2004). En elprisvariation är också genomförd, se kapitel 9.3.

## SFP

SFP betyder Specifik Fläkt Effekt och är ett mått på hur stor fläkteffekt som behövs i förhållande till luftflödet i aktuellt ventilationssystem. Detta värde varierar bland annat på byggnadens tryckfall och fläktverkningsgrad. Olika ventilationssystem har olika tryckfall. Vad som bestämmer tryckfallet är bland annat beroende vilken typ av återvinningsaggregat, luftkanaler och don som används. För att ta reda på detta har ett tryckfall antagits och adderats till tillverkarens uppgifter om tryckfall genom återvinningsaggregatet.

**Tabell 6.3** Tryckfall i kanalsystem, fläkteffekt och SFP

Ventilationssystem	Tryckfall kanalsystem / Pa	Fläkteffekt / W	SFP / (kW / (m <sup>3</sup> ·s))
F	30	27,5	0,55
FVP	30	55	1,1
FTX	30	110	2,2
FTX+VP	30	137,5	2,75

Vid val av SFP-värden har data tagits delvis från tillverkare och dels från tidigare erfarenheter av elförbrukning för fläktar (Jensen, 2004) (Warfvinge, 2004). Tryckfallet i systemen ovan är möjligtvis något låga men det är av mindre betydelse då endast energiförbrukningen för fläktarna är av intresse. ”Tryckfall kanalsystem” används inte i VIP+ för några tryckberäkningar utan endast för beräkning av fläktarnas energiförbrukning.

”Tryckfall kanalsystem” anger tryckfallet som råder i kanalsystem och don. Filter och värmeväxlarytor och förångarytor i FTX- respektive FVP-systemen är ej medräknade i tryckfallet. Dock ökar effektbehovet för fläkten, vilket visas under ”Fläkteffekt”, på grund av det ökade tryckfallet i dessa system.

Tryckfallet över värmeväxlaren och värmepumpen har antagits vara lika stora men eftersom två fläktar finns i FTX-systemet är effektbehovet där större.

I F-systemet har effektbehovet satts till halva fläkteffekten i FVP-systemet.

## 6.4.2 FVP-specifika parametrar

### Värmefaktor (COP)

Värmefaktorn är satt till 3 och är beräknad enligt tillverkarens uppgift. Värmefaktorn är delvis beroende på hur mycket energi som finns tillgänglig i frånluften och kan därför variera något beroende på driftfall (Jonsson, 2004) (Carlholmer, 2004).

En värmefaktor på 3 verkar vara ett rimligt värde vid de förutsättningar som ställs i denna rapport (Häggbom, 2004) (Quick, 2004). En förutsättning för detta är att värmepumpen är rätt installerad och fungerar som den ska.

### Kompressoreffekt

Kompressoreffekten anges inte i VIP+, utan beräknas utifrån angiven kondensoreffekt och värmefaktor. Märkeffekten på den valda värmepumpen är 550 W, men den verkliga driveffekten ligger mellan 450-500 W (Jonsson, 2004). Beräkningar är genomförda med kompressoreffekten 467 W. Detta något udda tal fås genom att kondensoreffekten är 1400 W och värmefaktorn är 3.



### **Kondensoreffekt**

Beräkningarna är genomförda med en kondensoreffekt på 1400 W.

Enligt Nibe är en sådan kondensoreffekt rimligt men kan troligtvis vara något högre (Holmberg, 2004). En förutsättning för att erhålla ovan nämnda värden är att värmepumpen är helt rätt inställd. För mer ingående beskrivning för val av kondensoreffekt se kapitel 7.1.

### **Påfrysning**

Enligt tillverkaren stängs kompressorn av vid eventuell påfrysning på förångarbatteriet. På detta sett kommer frånluften att tina den is som bildats. Då isen är borta sätts åter kompressorn igång. (Carlholmer, 2004)

Med det luftflöde som råder i huset bör risken för påfrysning vara försumbar. Detta har kontrollerats med effektberäkningar med och utan fukt och kondensoreffekten är ej satt till maximalt värde. Se kapitel 7.1. Detta medför att värmepumpen ej behöver kyla frånluften till temperaturer som medför risk för påfrysning och behöver då aldrig heller stängas. Ingen hänsyn behöver därför tas till påfrysning i VIP+. Detta resonemang stärks av (Holmberg, 2004).

## **6.4.3 FTX-specifika parametrar**

### **Luftomsättning**

Beräkningarna i VIP+ genomförs med frånluftsflödet 50 l/s och tilluftsflödet 45 l/s. Detta motsvarar en omsättning på 0,68 respektive 0,61 per timme för aktuellt hus. Tilluftsflödet är alltså 10 % lägre än frånluftsflödet. För FTX-systemet testades även andra kombinationer av luftflöden, se kapitel 7.2.2.

### **Värmeväxlarverkningsgrad**

Verkningsgraden är enligt tillverkaren angiven till 77-79 %. Beräkningarna i VIP+ genomförs med 78 % verkningsgrad. Denna storleksordning på verkningsgrad bör vara rimlig jämfört med många andra värmeväxlare. Värmeväxlarens verkningsgrad påverkas inte av att till- och frånluftsflödena är olika stora. (Svedlund, 2004)

### **Tilluftstemperatur i FTX-systemet**

Tilluftstemperaturen sätts till 18°C. (Engdahl, 2004)

Ingen tilluftsvärmning sker i F- och FVP-systemen eftersom all uppvärmning där sker som rumsuppvärmning.

### **Påfrysning**

Eftersom den valda värmeväxlaren är av roterande typ är risken för påfrysning ytterst liten. Enligt tillverkaren Östberg har något verkligt fall med påfrysning inte förekommit i bostäder med denna värmeväxlare. Värmeväxlaren har sålts och använts upp till Luleå och har där fungerat bra. Någon minskning av värmeväxlarens drifttid på grund av avfrostning görs därför inte i VIP+.

## 7 Viktiga ventilationssystem-specifika parametrar

Vid parametervariationen i VIP+ upptäcktes ett par parameter som har extra stor betydelse för energiflödena och uppvärmningsbehovet för ett visst ventilationssystem. För att kunna göra en rättvis jämförelse av FVP- och FTX-systemen har därför mycket tid lagts ner på att hitta rimliga värden på dessa parametrar i de två systemen. De parametrar som studerats noggrannare är ”tillgänglig effekt vid förångaren i värmepumpen”, luftläckage och tappvarmvattenbehov.

### 7.1 Tillgänglig effekt vid förångaren i värmepumpen

Tillgänglig effekt vid förångaren avgör tillsammans med kompressoreffekten hur stor kondensoreffekten kan bli, det vill säga hur mycket effekt värmepumpen kan avge till bostaden.

När det gäller FVP-systemet är det framförallt tillgänglig effekt vid värmepumpens förångare som undersökts, eftersom det är svårt att hitta några entydiga svar från tillverkare och personer med erfarenhet inom området. Data från tillverkarna finns dock och kan anses riktiga, (Häggbom, 2004) men dessa data varierar från driftfall till driftfall, varför dessa även av denna anledning behöver undersökas för just de förutsättningar och krav som ställs i denna rapport.

Vad man måste känna till val av storlek på värmepump är hur mycket energi som finns tillgängligt på värmepumpens förångarsida. I en frånluftsvärmepump är det storleken på frånluftsflödet som är den begränsande faktorn. Ju större luftflöde desto större möjlig kondensoreffekt kan erhållas. Effekten som kan fås ur frånluften bestäms med formeln: (Warfvinge, 2001)

$$P = c_p \cdot \rho \cdot q \cdot (T_f - T_a) \quad [\text{W}]$$

$c_p$ = värmekapacitet för luft	[Ws/(kg·°C)]
$\rho$ = luftens densitet	[kg/m <sup>3</sup> ]
$q$ = luftflöde	[m <sup>3</sup> /s]
$T_f$ = frånluftstemperatur (inomhustemperatur)	[°C]
$T_a$ = avluftstemperatur	[°C]

Luftflödet och temperaturdifferensen mellan frånlufts- och avluftstemperatur är de parametrar som styr det möjliga effektuttaget ur frånluften. Formeln ovan beskriver effektuttaget ur torr luft. Dock innehåller alltid luft fukt, vilket gör att energiinnehållet även styrs av denna parameter och kommer att öka när man räknar med fukthinnehållet. Hur mycket mer extraeffekt som fås beror på den aktuella fukthalten. Se kapitel 10.2.

### 7.1.1 Luftfuktighetens betydelse för energiinnehållet

#### Allmänt om fukt i luft

Fuktmängden som finns i frånluften har betydelse för energiinnehållet. Högre luftfuktighet medför att energiinnehållet ökar, vilket beror på att vattenångans ångbildningsvärme är högt. Vad som avgör hur mycket vattenånga som luften kan hålla utan att den kondenserar är luftens mättnadsånghalt vid aktuell temperatur. Ju högre lufttemperaturen är desto mer vattenånga kan luften innehålla. Vid själva kondenseringen frigörs energi (trots att temperaturen ej sänks). Detta betyder att man vinner mer energi vid avkylning av fuktig luft än torr luft.

Vid kylning av frånluften kommer eventuellt kondensation ske. Beroende på vilken fukthalt luften håller sker kondensation vid olika temperaturer. Ju högre fukthalt desto tidigare sker kondensering vid kylning av luften.

Luftfuktigheten varierar hela tiden och beror på det rådande vädret. Då uteluften tillförs byggnaden höjs fuktmängden eftersom inneluften fuktas av människans transpiration och utandning samt från exempelvis matlagning och duschar.

#### Energiberäkningar

Beräkningar har genomförts för att se hur mycket extraeffekt fukten i luften ger.

Beräkningarna har gjorts i VIP+ och Excel och grundas på verkliga fuktdata över Stockholm. (Meteotest, 2003) Ekvationer som grundar sig på Mollierdiagrammet har använts för att beräkna luftens entalpi vid aktuell fukthalt och har utförts timme för timme för ett helt år. Luften har adderats mer fukt,  $3,6 \text{ g/m}^3$ , för att efterlikna den befuktning som görs inomhus av människor. (Nevander och Elmarsson, 1994) Beräkning av aktuell mättnadstemperatur har beräknats med data från (Nevander och Elmarsson, 1994). Frånluften kyls från  $21^\circ\text{C}$  till  $4^\circ\text{C}$  vilket innebär att kondensation av fukten i luften oftast sker.

### 7.1.2 Avluftstemperaturens betydelse vid återvinning av frånluft

För att få ut så mycket energi som möjligt ur frånluften önskar man att sänka dess temperatur (avluftstemperaturen) så långt som möjligt. Då värmepumpen kyler luften börjar vattenånga kondensera ut. Om kylningen tillåts gå tillräckligt långt eller om energitillgången vid värmepumpens förångare är låg finns risk för att kondensatet fryser, påfrysning. Hur långt temperaturen kan sänkas är en fråga om lönsamhet, påfrysningsskydd och kompressorkapacitet.

#### Kylning av frånluft då påfrysningsskydd ej finns

Man kan tycka att kylningen av luften skulle kunna ske till noll grader eftersom påfrysning då sker. Dock är fallet inte alltid så. För att få ut så mycket energi som möjligt i frånluften önskar man att sänka denna så nära nollpunkten som möjligt. Men detta görs inte på grund av att vissa delar av förångarbatteriet är kallare än andra och påfrysning där kan inträffa (Jensen, 2004) (Nilsson, 2004). Med andra ord så måste kylningen av luften stanna vid en temperatur som ligger en bit över nollpunkten om påfrysning ska undvikas. Frånluften sänks därför inte längre än till  $5\text{--}10^\circ\text{C}$  (Nilsson, 2004). En av anledningarna till att man inte kyler längre är att om filtrena sätter igen minskas frånluftsflödet och därmed energiinnehållet och påfrysningsrisken ökar. Ovanstående temperaturdata är hämtade från flerbostadshus där inget avfrostningsskydd finns. Liknande resonemang gäller för villafrånluftsvärmepumpar utan avfrostningsskydd.

I frånluftsvärmepumpar för villor finns dock i princip alltid en funktion för avfrostning vilket gör att man kan kyla längre, se nedanstående kapitel.

### **Kylning av frånluft då påfrysningsskydd finns**

De vanligaste frånluftsvärmepumparna är konstruerade så att påfrysning kan ske. Anledningen till detta är att mer energi då kan utvinnas. Om avfrostningsskydd finns kan man riskera att påfrysning sker utan att förångarbatteriet sätter igen på grund av isbildning. Kylningen av luften kan fortgå längre vilket gör att mer energi kan utvinnas. Dessutom frigörs vid övergången från vätska till is en viss mängd omvandlingsenergi, som då tillförs förångaren. Dock måste avfrostning på något sett därefter ske eftersom en större isbildning minskar förångarytan och därmed värmepumpens värmefaktor. Oftast sker avfrostning genom att kompressorn stängs av och frånluft, som håller inomhustemperatur, strömmar genom förångarbatteriet varpå isen smälter. Under denna tid då kompressorn är avstängd sker ingen värmeåtervinning. Därför är det ett balanstagande att tillåta påfrysning. Man vinner energi eftersom kylningen tillåts fortgå till en lägre temperatur samt att man vinner omvandlingsenergin vid själva kondenseringen och påfrysningen, men samtidigt förlorar man energi vid avfrostningen.

Omvandling av vattenånga till vätska ger 2260 kJ/kg. Omvandling från vätska till is ger ytterligare 334 kJ/kg. (Ingelstam, 1971) Så att låta avluften kylas så mycket att fukten fryser på ger nästan 2600 kJ/kg plus den effekt som fås genom själva kylningen. Dock måste man sedan dra av effekt som krävs för att tina isen, det vill säga minskad drifttid för värmepumpen. Vid påfrysning slår kompressorn av och avfrostningen kostar därmed ingen el, men däremot förlorad återvinningstid. Styr och reglerprogrammen som övervakar påfrysning och avfrostning fungerar ej alltid perfekt i praktiken och optimal återvinning erhålls därmed inte alltid.

I frånluftsvärmepumpar tillåter man kylning av luften ner till 0-5°C (Fahlén, 2004). Det finns dock tillverkare vars värmepumpar kyler frånluften ända ner till -15°C.

Som synes är informationen om lägsta möjlig avluftstemperatur något varierande. Det kan dock vara svårt att säga en exakt siffra eftersom den kan variera beroende på driftfall. Driftförhållandena, exempelvis luftfuktighet, varierar och detta medför därför varierande data från tillverkarna. Det är också en fråga om hur avfrostning sker och hur kostsam denna är.

### **Kylning av frånluft på Nibe Fighter 310P**

Tekniska data från Nibe Fighter 310P används i beräkningarna i VIP+ varför den tas upp speciellt här.

Roger Jonsson på Nibe ansåg att avluftstemperaturen skulle hamna på ungefär 2-3°C, (Nibe Fighter 310P) vilket innebär att påfrysning kan ske eftersom vissa delar av förångarbatteriet är kallare. Han trodde dock att ett par grader kallare än så skulle kunna vara möjlig men det är en fråga om lönsamhet eftersom verkningsgraden sjunker. Med en större kompressor kan temperaturen sänkas ytterligare, till omkring -2 till -3°C. (Jonsson, 2004) Men då blir också drifttiden mindre eftersom kompressorn tidvis kommer att stängas av för avfrostning. Det är alltså inte alltid lönsammare att installera en större kompressor eftersom drifttiden kommer att minska. En större kompressor ska endast installeras där luftflödena är tillräckligt stora. (Carlholmer, 2004)

### **Aktiv och passiv avfrostning**

En frånluftsvärmepump har normalt passiv avfrostning. Med det menas att ingen el tillförs för att tina isen. I uteluftsvärmepumpar däremot är avfrostningen aktiv, det vill säga el tillförs för att smälta isen. Skillnaden är att man i frånluftsvärmepumpen utnyttjar den varma frånluften medan man i uteluftsvärmepumpen måste tillföra värme, i form av el, eftersom ingen relativt

varm värmekälla finns att tillgå. Avfrostningen i frånluftsvärmepumpen är förvisso inte helt gratis eftersom återvinning av frånluften ej sker under själva avfrostningen. (Fahlén, 2004)

### **Värsta driftförutsättningen**

Vid utetemperaturer kring noll grader är risken påfrysning normalt som störst. Luftfuktigheten är då relativt stor och kompressorn går för jämnan eftersom värmebehovet är stort vid dessa utetemperaturer. Vid kallare utetemperaturer är luften torrare och frånluften blir trots uppfuktning inomhus torrare. Är utemperaturen högre är värmebehovet ej lika stort och kompressorn gör därför kortare avbrott då och då. Man får då en naturlig avfrostning om eventuell is bildats. (Fahlén, 2004)

### **7.1.3 Val av förångareffekt och kondensoreffekt**

Då beräkningar och undersökningar genomförts enligt kapitel 7.1.1 och 7.1.2 kan slutligen val av kondensoreffekt ske.

Den maximala kondensoreffekten är enligt tillverkaren 1600 W. Detta är beräknat med en värmefaktor på 3,2 och baserar sig på en kompressoreffekt på 550 W. Dessa värden på värmefaktor och kondensoreffekt är enligt Roger Jonsson något höga med tanke på att kompressorns verkliga driveffekt är 450-500 W. Att ange ett exakt värde på dessa parametrar är svårt eftersom de varierar beroende på driftfall. Värmefaktorn har efter diskussion med tillverkarna satts till 3. (Jonsson, 2004) (Carlholmer, 2004)

Resultatet som visas i kapitel 10.1 visar att tillgänglig effekt vid förångaren är 1040 W för torr luft och som minst 1081 W för fuktig luft. Med en tillgänglig förångareffekt i denna storleksordning fås en kondensoreffekt på ungefär 1550 W. Men då värmefaktorn bestämts till 3 och kompressoreffekten ligger mellan 450-500 W har slutligen kondensoreffekten bestämts till 1400 W. I praktiken varierar hela tiden dessa värden men som indata till VIP+ måste fixa värden anges varför dessa värden valts. Kondensoreffekten skulle troligtvis kunna vara något högre, men då ökar också risken för påfrysning och för att undvika denna problematik sätts kondensoreffekten till detta värde.

## **7.2 Luftläckage**

Ett problem som kan uppstå i byggnader med FTX-ventilation är att luftläckageförlusterna genom byggnadsskalet riskerar att bli relativt stora och därmed minska den potentiella energibesparingen. Alltså trots värmeväxlarens relativt stora energiåtervinning, minskar inte uppvärmningsbehovet så mycket, jämfört med FVP-ventilation. Luftläckning finns även i byggnader med FVP-ventilation men är obetydligt små. (Svensson, 1984)

Av denna anledning har denna parameter undersökts noga i litteraturen samt har simuleringar i VIP+ genomförts. Tilluftsflöde och byggnadens täthet har varierats i simuleringen då dessa har betydande inverkan på luftläckaget. För förklaring av luftläckage se kapitel 3.2.2.

Luftläckning är särskilt allvarligt i FTX-system, eftersom tilluften där värms av frånluften och luftläckning sker vid sidan om värmeväxlaren. Denna luftläckning värmeväxlas ej och medför därför extra värmning. (Svensson, 1985)

I F/FVP-system kommer luftflödet genom byggnaden att styras av frånluftsfläkten och luftläckning kan inte exakt skiljas från luftflödet som tas in som tilluftsflöde. I en byggnad med F-system är undertrycket större än i ett FTX-system och luftläckageförlusterna blir av

den anledningen mindre. Luftläckning har därför mindre påverkan uppvärmningsmässigt jämfört med ett FTX-system. Klimatskalets täthet blir med F-ventilation i högre grad en fråga om komfort för att undvika drag. Görs byggnaden tätare minskar luftläckaget genom otätheter i väggar och tak och luftflödet genom ventiler kommer istället att öka. Då luften tas in via ventiler har man större möjlighet att värma denna och risken för kallras minskar (Johansson, 2004).

Enligt Sune Häggbom undviks FTX-system idag då de ej ger någon större återvinning. FTX-systemen blev på 70-talet vanliga då de ansågs kunna återvinna en stor del värme. Det fanns då inga datorprogram som kunde behandla parametrar som t ex luftläckage. Glädjekalkyler gjorde att man satsade på FTX eftersom de på pappret såg ut att kunna ge en relativt stor energiåtervinning. Dock visade det sig att det inte riktigt blev så när de användes i praktiken. Vid mätningar såg man att värmeväxlarens funktion var det inget fel på, men trots detta gav den ingen större förändring på den totala mängden återvunnen energi. Det stod då klart att det måste finnas andra faktorer som är avgörande och det upptäcktes så småningom att luftläckaget i byggnader med FTX-system blev relativt stort, vilket åt upp stora delar av värmen som återvanns. (Häggbom, 2004)

### **7.2.1 Åtgärder för att minska luftläckaget**

#### **Täthet**

För att minska luftläckaget kan byggnaden byggas tätare. Boverket har idag som rekommendation att byggnader ska ha en täthet på  $0,8 \text{ l/sm}^2$ . Enligt Arne Elmroth borde detta krav minskas till en tredjedel, det vill säga till cirka  $0,3 \text{ l/sm}^2$ . Dels för att öka komforten inomhus men också för att återvinningspotentialen då också skulle öka. Görs en byggnad tätare får man även bättre möjlighet att styra luftflödena i ventilationssystemet. (Elmroth, 2004)

Sune Häggbom gör idag på uppdrag av byggföretag täthetsmätningar i byggnader.  $0,8 \text{ l/sm}^2$  är ett normalt täthetsvärde men värden ner mot  $0,4\text{--}0,6 \text{ l/sm}^2$  förekommer (Häggbom, 2004). Det förekommer dock också täthetsvärden som ligger långt ovan Boverkets rekommendation (Warfvinge, 2004). Vid nybyggnation är det alltså av flera anledningar viktigt att husen byggs täta.

Läckageförluster kan minskas genom att lägga extra uppmärksamhet vid klimatskalets täthet. Ofta ligger väggens tätskikt innanför isoleringen så att spikar och skruvar från uppsättning av tavlor och hyllor perforerar folien. Ett sätt att undvika detta är att placera skiktet längre in i väggen utom räckhåll för spikar. (Anger och Ohlsson, 2004) Stora förbättringar på en byggnads täthet kan relativt enkelt åstadkommas vid byggnationen om tätskiktet noggrant appliceras. Det behöver alltså inte till några dyrare eller fler material för att få byggnadsskalet tätare utan det är snarare en fråga om noggrannhet vid byggnationen. (Warfvinge, 2005)

#### **Undertryck i byggnaden**

En annan åtgärd för att minska luftläckaget är skapa ett undertryck i byggnaden. Detta görs genom att sätta tilluftsflödet något lägre än frånluftsflödet. På så sätt kommer inläckande luft inte kunna tryckas ut genom väggarna eftersom byggnadens undertryck håller kvar denna luft. Det krävs då ett undertryck, motsvarande det som finns i byggnaden, på någon av byggnadens utsidor för att luften ska börja sugas ut genom ytterväggarna. Ju större undertryck som råder i byggnaden desto mindre blir det ofrivilliga luftläckaget. (Häggbom, 2004)

### 7.2.2 Täthet-tilluftsvariation

För att se hur luftläckageförlusterna ändras med byggnadstäthet och tilluftsflöde har simuleringar genomförts i VIP+. Typhuset har testats med tre olika tätheter; 0,2, 0,8 och 1,6 l/sm<sup>2</sup>, i kombination med olika tilluftsflöden. Tilluftsflödet i förhållande till frånluftsflödet påverkar trycket i byggnaden. Undertrycket har således skapats genom att sätta tilluftsflödet lägre än frånluftsflödet. Frånluftsflödet har ej varierats utan sattes till kravet på luftväxling enligt tabell 6.2. Tilluftsflödet har i intervall om 10 % minskats relativt frånluftsflödet. Vid 100 % är till- och frånluftsflödena lika, alltså helt i balans, medan tilluftsflödet vid 0 % är noll och motsvarar därmed ett F-system. Se resultat i kapitel 10.3.2.

### 7.3 Tappvarmvattenbehov

Som tidigare nämnts återvinner värmepumpen värme för värmning av tappvarmvatten. Värmepumpen kan givetvis kopplas så att den endast återvinner värme för uppvärmning av byggnaden. Detta har simulerats genom att sätta tappvarmvattenbehovet till 0. Värmepumpens möjliga avsättning av värme minskar därmed och mängden återvunnen värme minskar då vid dessa tillfällen. Detta inträffar framförallt sommartid då uppvärmningsbehovet är lågt. Värmepumpens nytta minskar då detta görs. Ett system där värmepumpen endast kopplas mot byggnadsvärmning är mer likt ett FTX-system, eftersom ingen återvinning till tappvarmvatten görs i FTX-systemet.

Beräkningar med högre tappvarmvattenförbrukning görs även för att se tendenserna på energibehovet. FVP-systemet gynnas av högre tappvarmvattenbehov eftersom värmepumpen då får större värmeavsättning. Tappvarmvattenbehovet dubblas i VIP+ från 3951 kWh/år till 7902 kWh/år. Se resultat i figur 10.6.

## 8 Ett ventilationssystem med värmeväxlare och värmepump

### 8.1 FTX+VP

#### 8.1.1 Systembeskrivning

Ett försök att öka mängden återvunnen energi i ett FTX-system har genomförts. Då avluftstemperaturen, temperaturen efter värmeväxlaren, många gånger överstiger nollpunkten går försöket ut på att testa ett system bestående av både värmeväxlare och värmepump. Systemet ser ut som ett vanligt FTX-system med den skillnaden att en värmepump kopplas till efter värmeväxlaren.

Värmepumpen utnyttjar den energi som finns kvar i värmeväxlarens avluft i de fall då denna överstiger 0°C. Den effekt som värmepumpen ger beräknas som temperaturdifferensen mellan värmeväxlarens avluftstemperatur och 0°C, som är den temperatur vid vilken påfrysning sker i värmepumpen. Påfrysning kommer troligtvis att kunna ske redan vid ett par plusgrader men detta har ej beaktats vid denna beräkning. Å andra sidan har inte den extraeffekt som fukten i luften ger inte heller beaktats. För resultat se kapitel 10.5 och 10.7.

Då inget uppvärmningsbehov av byggnaden finns kan värmepumpen ensam arbeta och producera tappvarmvatten, vilket inte görs i ett vanligt FTX-system. Vid tillfällen då utetemperaturen är så låg att värmeväxlarens avluft understiger 0°C stängs kompressorn i värmepumpen av och värmeväxlaren arbetar ensamt.

Fördelen med detta system är att frånluften kommer alltid kylas lika mycket eller mer än något av de två systemen separat. Det nya systemet drar nytta av de två ventilationssystemens fördelar; FTX-systemets komfort och möjlighet att återvinna stor mängd värme vid låga utetemperaturer samt värmepumpens förmåga att återvinna värme sommartid.

En annan möjlighet med detta system är att kylning av byggnaden kan ske sommartid, alltså en form av komfortkyla. Då värmepumpen producerar tappvarmvatten kyler den frånluften, vilken skulle kunna användas som kylande medium i värmeväxlaren. Det enklaste vore givetvis att direkt skicka tillbaka denna avkylda frånluft i huset men då bryter man mot de krav som ställs på friskluftsväxling, föroreningar, mm. Alternativt kan värmepumpen kopplas om till tilluftskanalen istället och utnyttja värmen i tilluften (uteluften) för tappvarmvattenproduktion samtidigt som denna kyles. Själva värmeväxlaren i värmeväxlaraggregatet är i detta fall urkopplad och aggregatets enda uppgift är att sköta luftväxlingen.

#### 8.1.2 Investeringskostnad

Vid investering kan FTX+VP-systemet ekonomiskt motiveras genom att merkostnaden för en frånluftsvärmepump jämfört med en elpanna ej är så stor och bör kunna få en relativt kort återbetalningstid. En frånluftsvärmepump är något förenklat egentligen en elpanna som man kopplat ihop med en värmepump. En frånluftsvärmepump kostar 36411 kr och en elpanna 24500 kr. (Nibe Fighter 310P respektive Nibe EVC 240) Kostnaden för detta system är således kostnaden för det vanliga FTX-systemet plus mellanskillnaden för frånluftsvärmepumpen och elpannan. Installationskostnaden är densamma som för FTX. För den totala kostnaden för detta system se kapitel 9.2.5.



### 8.1.3 Trovärdighet

Det ska dock nämnas att hur värmepumpen kommer att arbeta och fungera med frånluft som håller en så relativt låg temperatur som den i FTX+VP-systemet är frågan.

Frånluftsvärmepumpen (Nibe Fighter 310P) är dimensionerad för luftflöden med högre energiinnehåll och är troligtvis ej lämplig vid en sådan konstruktion som FTX+VP. En frånluftsvärmepump som är dimensionerad för lägre frånluftstemperaturer och energiinnehåll bör därför väljas. Hur priset för en sådan skulle se ut har ej undersökts i denna rapport.

Det finns redan idag tillverkare av FTX+VP-typ. Exakt hur de återvinningsaggregaten arbetar har ej undersökts i denna rapport, men vissa skillnader finns, exempelvis kyler den frånluften till långt under 0°C. Företaget heter Mecvent. (Stoltz, 2004)

## 8.2 VP+FTX

### 8.2.1 Systembeskrivning

En annan kombination av värmeväxlare och värmepump har testats. Systemet är till uppbyggnaden ett FTX-system men en värmepump kopplas in mellan värmeväxlaren och byggnadens kanalsystem i frånluftskanalen. Tanken med detta system är att värmepumpen kyler frånluften så mycket att tappvarmvattenbehovet täcks. Värmepumpen skulle för att täcka detta behov behöva sänka frånluften ungefär 5°C, vilket motsvarar 300 W vid aktuellt luftflöde. Det totala effektbehovet för tappvarmvattnet är 450 W, så 150 W kommer från kompressorns driveffekt vid en värmefaktor på 3. Frånluften har alltså efter värmepumpen en temperatur på 16°C. Frånluften leds efter värmepumpen in i värmeväxlaren där den som vanligt värmer tilluften. Eftersom frånluften endast håller ca 16°C blir tilluften ej lika varm som när frånluften håller ursprungstemperaturen 21°C och måste därför värmas av ett tillufts batteri före det att den leds in i byggnaden. Tilluften leds in i kanalsystemet som i ett vanligt FTX-system.

Systemet skulle lämpa sig för komfortkyla sommartid då värmepumpen kan utnyttja värmen i tilluften för produktion av tappvarmvatten samtidigt som den kyler denna.

Fördelen med detta system är att det alltid producerar tappvarmvatten men visserligen på bekostnad av att värmeväxlarens nytta minskar. Frånluften skulle då det är kallt ute kylas fler grader än vad en värmepump ensam kan göra. Men samtidigt skulle systemet inte kyla frånluften mer än ett FTX-system ensamt och påfrysning skulle ske vid högre temperaturer.

Systemets uppbyggnad är något märkligt och skulle vara mer avancerat att konstruera än FTX+VP. Någon förmåga att återvinna mer värme och vara mer lönsamt än något annat system är tveksam. Frågan är också hur värmepumpen hade fungerat med en så relativt liten frånluftskylning. Endast enklare energiberäkningar har genomförts på detta system men ej motsvarande de för de övriga systemen.

## 9 Ekonomisk analys

### 9.1 Investeringsbedömning

För att jämföra olika investeringar och dess lönsamhet kan ett flertal olika metoder och investeringskalkyler användas. I denna rapport används Pay-backmetoden och en livscykelkostnadsanalys (LCC). De ekonomiska analyserna avser nyinstallation av de aktuella ventilationssystemen.

#### 9.1.1 LCC

I investeringsbedömningen tar man enbart hänsyn till kostnaden vid investering. Vad man då inte tar med i beaktning är de kommande kostnaderna man får under en produkts livslängd, under drifttiden. För att ta hänsyn till detta använder man en livscykelkostnadsanalys. Livscykelkostnaden är summan av alla kostnader över hela livslängden där framtida kostnader diskonteras till dagens värde (Persson och Nilsson, 1999).

I livscykelkostnadsanalysen i denna rapport räknas kostnaderna för de kommande 30 åren om till ett nuvärde. Kostnaderna har diskonterats med en ränta på 3 %. I kostnaderna ingår energikostnaderna för varje år samt alla kommande underhållskostnader och byten av komponenter. Analysen har gjorts för F, FVP och FTX i Malmö, Stockholm och Haparanda, samt för FTX+VP i Malmö och Stockholm. Kostnaderna för FTX+VP är genomförda med antagandena i kapitel 8.1.2. Kostnaderna redovisas i kapitel 9.2.5. Se resultat i kapitel 10.8.

#### 9.1.2 Pay-backmetoden

Pay-backmetoden är den enklaste formen av investeringskalkyl vilken anger hur lång tid det tar för de ackumulerade årliga inbetalningsöverskotten att nå samma värde som grundinvesteringen (Persson och Nilsson, 1999). Som privatperson är det beroende på dess enkelhet lämpligt att använda denna kalkyl.

Pay-backtiden har beräknats för F, FVP, FTX samt för FTX+VP, i samtliga tre städer. I Pay-backmetoden har det årliga inbetalningsöverskottet ( $a$ ) satts till skillnaden i tillsatsenergi mellan FVP och F, FTX och F respektive FTX+VP och F. Alltså systemen med återvinning jämförs med F-systemet. Investeringskostnaden ( $G$ ) vid beräkning av återbetalningstid är merkostnaden för FVP, FTX och FTX+VP jämfört med F. Alltså hur snabbt betalar sig merkostnaden för ett återvinningssystem tillbaka sig. Se resultat kapitel 10.8.2.

$$\text{Paybacktid} = \frac{G}{a} \quad [\text{år}]$$

$$\begin{aligned} G &= \text{grundinvestering} & [\text{kr}] \\ a &= \text{årligt inbetalningsöverskott} & [\text{kr/år}] \end{aligned}$$

Denna investeringskalkyl ska endast användas som en första grovsåll för att ta bort de alternativ som har för lång återbetalningstid. Därefter bör en mer noggrann utredning göras med en investeringskalkyl som tar hänsyn till fler parametrar t ex kapitalvärdesmetoden. (Persson och Nilsson, 1999) Dock är denna investeringskalkyl fullt tillräcklig ur en privatpersons perspektiv.

## 9.2 Jämförelse av kostnader och underhåll

För att kunna jämföra de olika systemen som kompletta ventilations- och uppvärmningssystem måste man lägga till viss apparatur till vissa system.

Värmeproduktionssystemet har satts till att vara vattenburen elvärme för alla ventilationstyper. Med vattenburen elvärme menas vatten, som värmebärande medium, som värms i en elpanna alternativt i ett värmepumpsaggregat.

I de olika fallen nedan har kostnaden för värmedistributionssystemet ej tagits med i kostnaderna då dessa antas vara lika stora för alla system. Däremot har radiatorkostnaden tagits med då denna kan variera beroende på ventilationssystem.

### 9.2.1 F

#### System

Ett F-system är endast ett ventilationssystem och har därför inget system för uppvärmning. Värmen i ett sådant system måste då komma från t ex fjärrvärme eller värmepanna. I denna rapport antas värmen komma från en elpanna av typ Nibe EVC 240. Kostnaden för en sådan adderas till kostnaden för ventilationssystemet.

Kostnaden för F-systemet med installation är beräknade med sektionsfakta. (Wikells Sektionsfakta, 03/04)

#### Underhåll och byte av komponenter

Livslängden för fläkten har i F-systemet satts till 8 år. Anledningen till att livslängden satts kortare i F-systemet är att fläkten arbetar i en något smutsigare miljö eftersom inget filter finns före fläkten. (Svedlund, 2004)

Elpannans livslängd är 20 år och byts då ut. (Carlholmer, 2004) För kostnader se kapitel 9.2.5.

### 9.2.2 FVP

#### System

Ett frånluftssystem med värmepump är ett kombinerat ventilations- och uppvärmningssystem och själva värmepumpsaggregatet innehåller en varmvattenberedare med elpatron. All värmning av tappvarmvatten och varmvatten till värmesystemet sker i värmepumpens varmvattenberedare.

#### Värmeåtervinningsaggregat

I rapporten har tekniska och ekonomiska data tagits från frånluftsvärmepumpen Nibe Fighter 310P.

#### Underhåll och byte av komponenter

Kompressorns livslängd enligt tillverkaren är 8-12 år och kostar ca 10000 kr att byta inklusive installation. Värmepumpen ska efter 16-24 år bytas ut helt eftersom fler komponenter än bara kompressorn då behöver bytas. (Carlholmer, 2004) I den ekonomiska analysen sätts kompressor- och värmepumpsbytet till 10 respektive 20 år.

Filterbyte bör ske ungefär vartannat år men då filterkostnaden är så liten, 65 kr, kan det göras varje år för att i högre grad försäkra sig om att förångaren och fläkten inte utsätts för mer smuts än nödvändigt. Rengöring av filter med dammsugare ska ske varannan vecka. Fläktens livslängd har för FVP-systemen satts till 10 år. (Carlholmer, 2004)

I kostnaden för FVP-systemet ingår frånluftskanaler med don, ljuddämpare, takgenomföring, värmepump och installation för dessa. För att kostnaderna för de olika systemen ska anses rimliga måste ett visst förarbete gjorts för exempelvis frånluftsvärmepumpen, men dessa har ej beaktats. För kostnader se kapitel 9.2.5.

### 9.2.3 FTX

#### System

Ett FTX-system är ett ventilations- och luftuppvärmningssystem. Således sker ingen värmning av tappvarmvatten och varmvatten till värmesystemet. FTX-systemet kompletteras därför med en elpanna av typ Nibe EVC 240. Denna elpanna är dockningsbar mot andra värmekällor, t ex pellets.

Installationstiden för elpannan och värmeväxlaren har i FTX-systemet satts lika lång som tiden för installation av frånluftvärmepumpen. Detta gjordes eftersom inga installationstider för värmepumpar finns med i sektionsfakta.

Då ventilationsluften (tilluften) värms av återvinningsaggregatet blir värmebehovet till denna betydligt mindre och byggnadens värmesystem kan därför dimensioneras mindre, det vill säga med mindre radiatorer. Kostnaden för radiatorerna är tagna från Wikells Sektionsfakta.

Dimensioneringen av radiatorerna är för samtliga ventilationstyper gjorda för Stockholmsklimat. Således kommer radiatorkostnaden att öka något i Haparanda samt minska något i Malmö. Återvinningsaggregatet innehåller en luftvärmare på 900 W som kan värma tilluften de kalla dagar då återvinningen ej räcker till för att värma denna till önskad tilluftstemperatur. Eftervärmare ska enligt tillverkaren ej behövas i södra Sverige, men tas med i beräkningarna ändå.

#### Värmeåtervinningsaggregat

I rapporten har tekniska och ekonomiska data tagits från värmeväxlaren Heru 50 från Östberg. Värmeväxlaren är av roterande typ och utsågs som delad vinnare tillsammans med Temovex 250 i en tekniktävling som genomförts av Energimyndigheten. (Energimyndigheten, 2004) I tävlingen ställdes krav på bland annat verkningsgrad, ljudnivå, luftfiltrering. Ett problem som ofta förekommer bland roterande värmeväxlare är luftläckage inom värmeväxlaraggregatet, alltså mellan tilluft och frånluft. Läckagetäthet var också ett av de krav som ställdes på värmeväxlarna i tävlingen, vilket borde innebära att aggregatet klarade detta krav. Enligt Östberg själva har problem med luftläckage ej påträffats (Svedlund, 2004).

#### Underhåll och byte av komponenter

Motorn samt drivenheten som driver rotorn i värmeväxlaren anses vara den svagaste länken i värmeväxlaren men bör fungera i ungefär 10 år. Rotorn kan kopplas loss och kan rengöras vid behov. Eftersom filter finns både på från- och tilluftskanalen bör rengöring av rotorn ej behövas speciellt ofta.

Enligt Östberg ska tillsyn av värmeväxlaren ske två gånger per år. Filterbyte bör ske 1-2 gånger per år beroende på hur förorenad luften är på den aktuella platsen. I den ekonomiska beräkningen görs filterbyte en gång per år.

Elpannans livslängd är 20 år och byts då ut (Carlholmer, 2004). Fläktens livslängd har för FTX-systemen satts till 10 år (Svedlund, 2004).

Kostnaden för FTX-systemet (exklusive värmeväxlaren) med installation är beräknade med Wikells sektionsfakta. I kostnaden för FTX-systemet ingår från- och tilluftskanaler samt don, ljuddämpare, väggenomföring, takgenomföring, värmeväxlare och installation för dessa. För

att kostnaderna för de olika systemen ska anses rimliga måste ett visst förarbete gjorts för exempelvis elpanna och värmeväxlare, men dessa har ej beaktats. För kostnader se kapitel 9.2.5.

## 9.2.4 FTX+VP

### System

Se kapitel 8.1.1.

### Värmeåtervinningsaggregat

I rapporten har tekniska och ekonomiska data tagits från värmeväxlaren Heru 50 från Östberg och värmepumpen Nibe Fighter 310P.

### Underhåll och byte av komponenter

Underhåll och byte av komponenter görs enligt FVP- och FTX-systemen. Värmepumpens filter byts dock ej eftersom endast ett filter behövs. Något byte av elpanna sker ej då inte någon sådan finns. Elpannan är ju i detta system ersatt av frånluftsvärmepumpens varmvattenberedare.

## 9.2.5 Kostnader för ventilationssystem

**Tabell 9.1** Kostnader vid investering (kr) (Wikells Sektionsfakta, 03/04)

	F		FVP		FTX	
	Material	Arbete	Material	Arbete	Material	Arbete
Aggregat/fläkt	1176	225	29129	1803	12889	676
Ljuddämpare	219	167	219	167	438	334
Kanaler	1043	3446	1043	3446	2788	8943
Tilluftsdon/ventiler	1950	2705	1950	2705	525	451
Frånluftsdon	225	451	225	451	225	451
Takgenomföring	1006	81	1006	81	1006	81
Väggenomföring	0	0	0	0	214	541
Radiatorer	20070	0	20070	0	17568	0
Elpanna med beredare	19600	1127	0	0	19600	1127
Summa exkl moms	45289	8203	53642	8654	55253	12604
Summa mat och arbete	53492		62296		67857	
Moms 25%	13373		15574		16964	
Total summa	<b>66865</b>		<b>77870</b>		<b>84821</b>	

Kostnaden för ventilationssystemet FTX+VP är 96732 kr. Kostnaden för detta system är kostnaden för FTX-systemet till vilken mellanskillnaden för frånluftsvärmepumpen och elpannan adderats. Installationskostnaden är densamma som för FTX.

**Tabell 9.2** *Kostnader vid komponentbyten (kr)*

Komponent	Underhållskostnad		
	F	FVP	FTX
Filter	-	65	625
Fläkt	1470	1200	1300
Drivenhet rotor	-	-	1560
Kompressor	-	10000	-
Värmepump	-	36411	-
Elpanna	24500	-	24500

För livslängden av respektive komponent se kapitel 9.2.

### 9.3 Elprisvariation

För att se hur de tre systemen belastas vid en ändring av elpriset har en elprisvariation genomförts. Elpriset har varierats från 1-3 kr/kWh. De energiposter som påverkas av elpriset är fläktel, hushållsel och kompressorel. Uppvärmning av byggnaden antas ske med andra energikällor än el. Priset för dessa energikällor är satta till 1 kr/kWh.

Ett elpris på 2-3 kr/kWh kan tyckas något högt men syftet är att visa vad kvoten mellan el- och värmepris får för konsekvenser för kostnadsbesparing vid energiåtervinning med olika ventilationssystem. Ett värmepris på 1 kr/kWh är också något högt. Exempelvis kan nämnas att priset på fjärrvärme är 0,65 kr/kWh. (Anger och Ohlsson, 2004) Se resultat i kapitel 10.8.3.

## **10 Resultat och Analys**

### **10.1 Parametervariation**

#### **10.1.1 Innetemperatur**

För varje grad inomhustemperatur man höjer ökar uppvärmningsbehovet. En enda grad ökar uppvärmningsbehovet med nästan 1000 kWh/år i Malmö. I Stockholm och Haparanda bör motsvarande siffra vara högre.

#### **10.1.2 Ventilens läge**

Vid flertalet ventiler bör västerläge undvikas eftersom luftläckaget ökar. Då byggnaden befinner sig i öppet läge bör absolut ventilläge i väster undvikas då detta kan ge stora luftläckageförluster. Detta gäller för valt typhus och behöver inte gälla allmänt. Det ökade luftläckaget om ventiler placeras i väster beror på att formfaktorerna är satta så att västerläge är känsligast. Det kan däremot vara av vikt att känna till att vissa vädersträck medför ökat luftläckage, då ventilerna ska placeras ut i byggnaden.

#### **10.1.3 Byggnadens läge**

Det finns två parametrar som ändras relativt mycket då byggnadens läge ändras från skyddat till öppet läge; luftläckage och solenergi. Förlusterna i form av luftläckage ökar eftersom byggnaden ej skyddas från vind. Detta har framförallt betydelse för byggnader med FT/FTX-ventilation där luftläckaget blir betydligt större. Det blir större även för F-ventilation men storleksordningen är mycket mindre. FTX-ventilation bör därför undvikas på blåsiga och oskyddade platser och framförallt om huset är otätt.

Öppet eller skyddat läge spelar mindre roll för ventilationsförlusterna eftersom den angivna luftomsättningen (fläktflödet) bestämmer dessa.

Solenergin som strålar in mot en byggnad är större i öppet läge eftersom ej träd och andra byggnader skymmer byggnaden (horisontvinkeln i öppet läge är lägre). En stor del av solenergin härstammar dock från sommarmånaderna och kan inte helt tillgodogöras då innetemperaturen redan överstiger den önskade.

#### **10.1.4 Söderfasadens läge mot söder**

Denna parameter har ej någon betydelse. Förändringarna är obetydligt små.

#### **10.1.5 Personenergi**

Personenergi minskar uppvärmningsbehovet. Dock minskar inte uppvärmningsbehovet lika mycket som personenergin ökar. T ex om personenergin är 1000 kWh/år borde uppvärmningsbehovet minska 1000 kWh/år. Men så är det ej vilket beror på att processenergin inte kan tas tillvara på sommaren då innetemperaturen redan är över den önskade.

### **10.1.6 Processenergi**

Processenergi minskar uppvärmningsbehovet. Dock minskar inte uppvärmningsbehovet lika mycket som processenergin ökar. Samma sak som sker med personenergin händer med processenergin, alltså att processenergin inte kan tas tillvara på sommaren då innetemperaturen redan är över den önskade.

### **10.1.7 Luftomsättning**

Med ökad luftomsättning ökar ventilationsförlusterna kraftigt. Dubblas omsättningen dubblas också ventilationsförlusterna, alltså ändringen sker i princip linjärt. Luftomsättningshastigheten har speciellt betydelse då uttemperaturen är låg, alltså framförallt i norra Sverige.

### **10.1.8 Solenergi**

Typhuset har i solenergitestet försetts med väggar istället för fönster för att se vad som händer energimässigt då fönstren tas bort. All gratisvärme i form av solinstrålning genom fönster förloras givetvis. Däremot tillgodogörs solvärme fortfarande genom väggar och tak. Solenergin genom fönster är relativt stor i fall då byggnaden ligger i ett öppet läge. Transmissionsförlusterna blir betydligt mindre. Detta beror på att U-värdet för ett fönster är betydligt högre än en vägg. Uppvärmningsbehovet minskar oftast då inga fönster finns. Fönster behöver dock inte medföra att uppvärmningsbehovet för byggnaden blir högre, bara de placeras i rätt väderstreck och i lägen där solen kan nå fönstren. Fönster kan alltså också medföra minskat uppvärmningsbehov, eftersom mer solenergi tas tillvara, men det krävs då ett lågt U-värde på fönstren. Kylningsbehovet är sommartid betydligt större i byggnaden med fönster, speciellt där mycket sol finns.

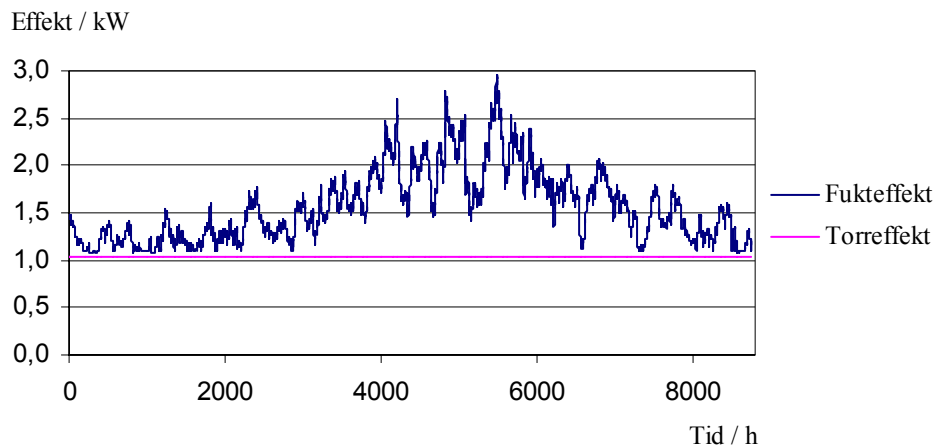
### **10.1.9 Transmissionsförluster**

Isoleras byggnaden mer blir transmissionsförlusterna lägre och uppvärmningsbehovet minskar. En förbättring av byggnadens totala U-värde med 20 % sänker uppvärmningsbehovet med ungefär 13 %. I det fallet lades extra isolering samt byte från 2-glasfönster till 3-glasfönster. I fallet då endast fönsterbyte gjordes minskar uppvärmningsbehovet med cirka 10 %. U-värdet på fönstren gav alltså relativt mycket energibesparing i förhållande till vad tilläggsisolering av väggar och tak gör.



## 10.2 Förångareffekt

### 10.2.1 Lufteffekt vid torr och fuktig luft



**Figur 10.1** Energiinnehåll i frånluften vid torr och fuktig luft vid ett frånluftsflöde på 50 l/s. Data för luftfuktighet är tagen från Stockholm.

Extraeffekten som fås vid beräkning av fuktig luft jämfört med torr luft varierar kraftigt beroende på hur stor mängd fukt luften innehåller.

Med extraeffekt menas den mereffekt som fås då hänsyn tas till fuktig luft jämfört med torr luft, vid kylning av frånluft. Enligt beräkningarna varierar extraeffekten från som minst 4 % till som mest 184 %. Dessa inträffar i januari och februari respektive i augusti. Fuktinnehållet är i snitt lågt under vintermånaderna och extraeffekten är för perioden oktober till april i genomsnitt 29 %. Det är ju under denna period som det är av intresse att veta hur mycket effekt som finns tillgänglig, eftersom uppvärmningsbehov föreligger under dessa månader.

Fukten bidrar alltså till ökat energiinnehåll vilket innebär att förångaren i en värmepump har tillgång till mer effekt under stora delar av året än den effekt som fås vid beräkning av torr luft. Men att dimensionera värmepumpens kondensoreffekt efter en årsgenomsnittlig extraeffekt kan vara dumt eftersom det finns många tillfällen då den tillgängliga effekten inte är så hög som den genomsnittliga. Å andra sidan kan troligtvis en större mängd värme återvinnas totalt sett under året om en kraftigare kompressor används eftersom genomsnittlig tillgänglig förångareffekt är högre. Påfrysning kommer med stor sannolikhet då inträffa vid tillfällen då förångareffekten är lägre, men eftersom påfrysningsskydd finns bör detta inte vara något problem.

Vid ett frånluftsflöde på 50 l/s är den tillgängliga förångareffekten som finns vid beräkning av torr luft 1040 W. Vid den lägsta extraeffekten, 4 %, är motsvarande siffra för fuktig luft 1081 W. Vid den högsta extraeffekten är tillgänglig förångareffekt 2950 W. Dock finns det som tidigare nämnts ingen avsättning för all denna energi, eftersom det inträffar i augusti. Värmepumpen (Fighter 310P) är inte heller dimensionerad för sådana höga effekter och kan därför inte utnyttja all denna.

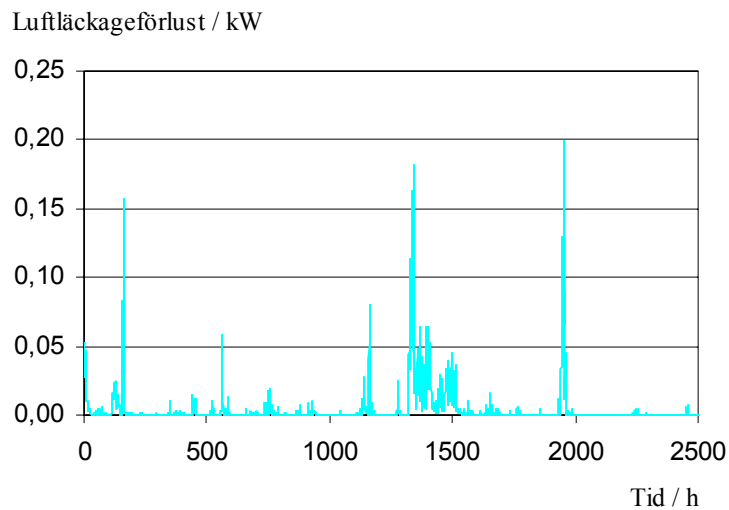
Vid ett frånluftsflöde på 50 l/s och vid kylning från 21°C till 4°C finns alltså alltid en effekt på 1081 W tillgänglig för förångaren.

För val av kondensoreffekt som indata till VIP+ se kapitel 7.1.3.

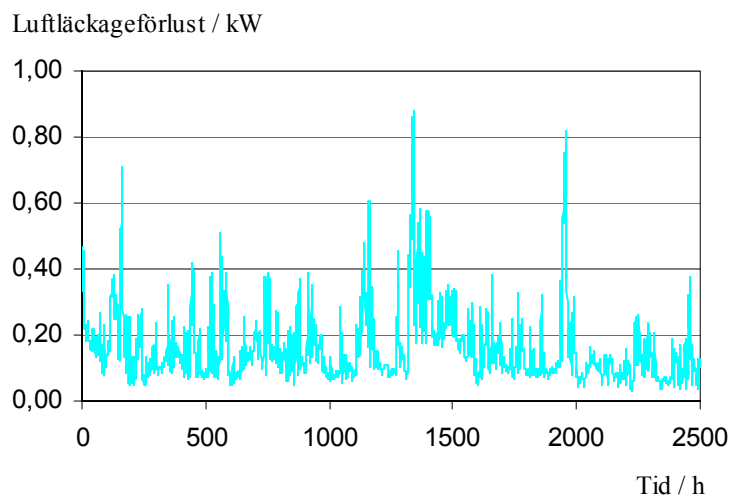
## 10.3 Luftläckage

### 10.3.1 Luftläckageförluster

Luftläckageförlusterna för FVP- respektive FTX-systemet. Figurerna visar att luftläckaget för FTX-systemet är betydligt större. Observera att skalan på y-axeln är olika i figur 10.2 och figur 10.3 samt att endast luftläckageförluster under 2500 timmar redovisas.

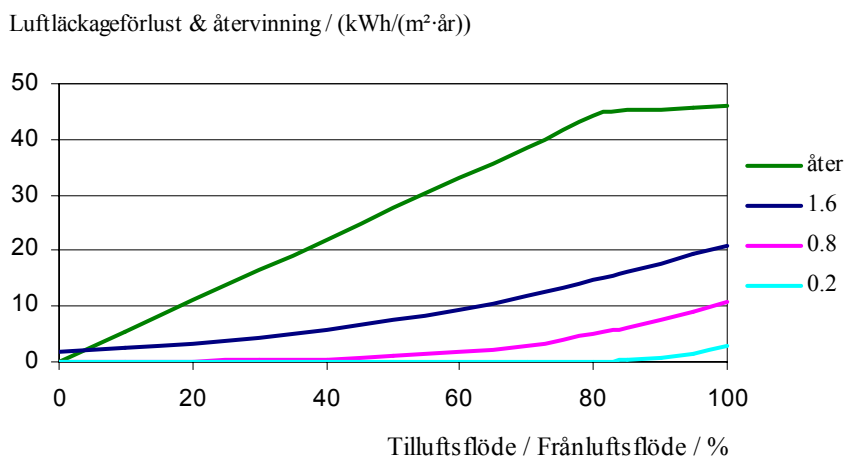


**Figur 10.2** Luftläckageförluster timvis under 2500 timmar för FVP-systemet

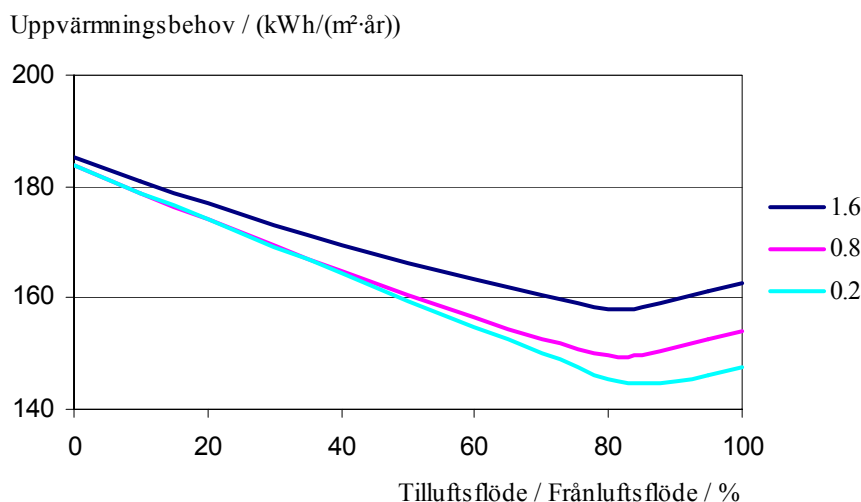


**Figur 10.3** Luftläckageförluster timvis under 2500 timmar för FTX-systemet

### 10.3.2 Täthet-tilluftsvariation



**Figur 10.4** Värmeåtervinning och luftläckageförluster vid 3 byggnadstätheter som funktion av tilluftsflöde



**Figur 10.5** Uppvärmningsbehov vid 3 byggnadstätheter som funktion av tilluftsflöde

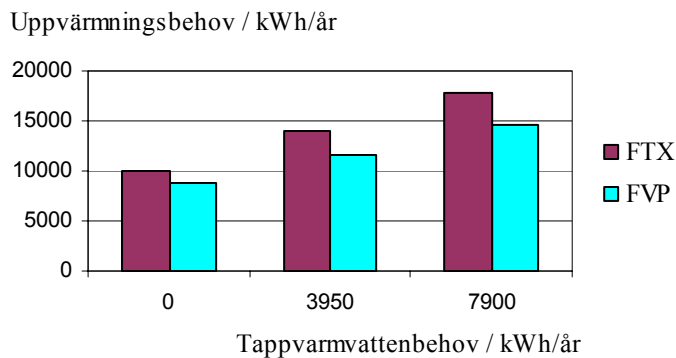
Beräkningar i VIP+ visar att ökat undertryck och ökad byggnadstäthet minskar luftläckageförlusterna. Det optimala driftfallet tycks inträffa då tilluftsflödet är 15-20 % lägre än frånluftsflödet. Med detta tilluftsflöde och en tätare byggnad bör alltså luftläckaget kunna göras betydligt mindre, vilket innebär att byggnader med FTX-ventilation får lägre uppvärmningsbehov. Således minskar också skillnaderna mellan FVP och FTX vad gäller uppvärmningsbehov.

Beräkningarna vid jämförelsen av de olika ventilationssystemen är genomförda med ett tilluftsflöde motsvarande 90 % av frånluftsflödet och vid en täthet på 0,8 l/sm<sup>2</sup>, vilket kan läsas av i figuren ovan. Uppvärmningsbehovet för F-systemet visas vid "0 %" på x-axeln.

## 10.4 Tappvarmvattenvariation

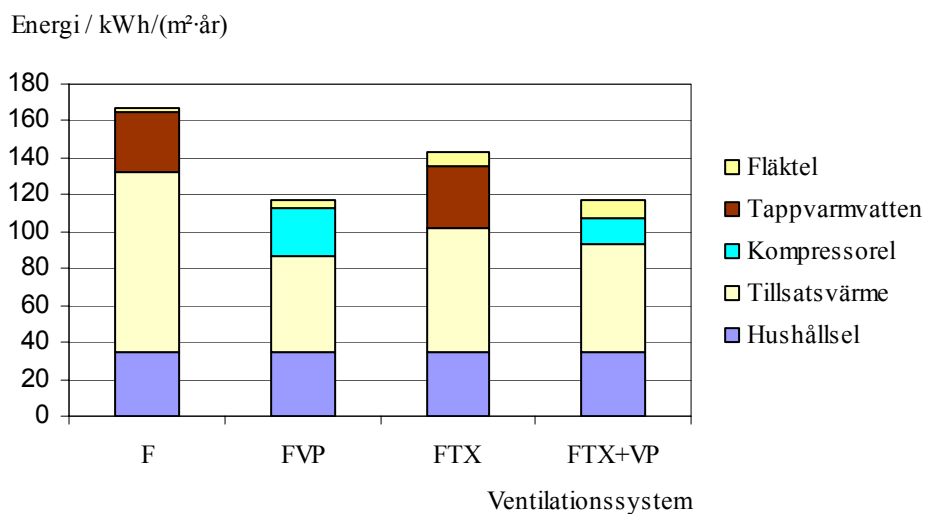
Det visar sig att i ett FVP-system där tappvarmvattenbehovet är 0 minskar nyttan med värmepumpen. Trots detta är behovet av energi för uppvärmning lägre jämfört med FTX, i Malmö och Stockholm. I Haparanda är däremot FTX-systemets behov av energi något lägre. Beräkningar med högre tappvarmvattenförbrukning görs även för att se tendenserna för energibehovet. FVP-systemet gynnas av högre tappvarmvattenbehov eftersom värmepumpen då får större värmeavsättning.

Vid en dubbling av tappvarmvattenbehovet från 3951 kWh/år till 7902 kWh/år ökar endast behovet av tillsatt energi med 3240 kWh/år. Detta beror på värmeåtervinningen under sommaren ökar. FTX-systemets ändring av energibehov är linjär.

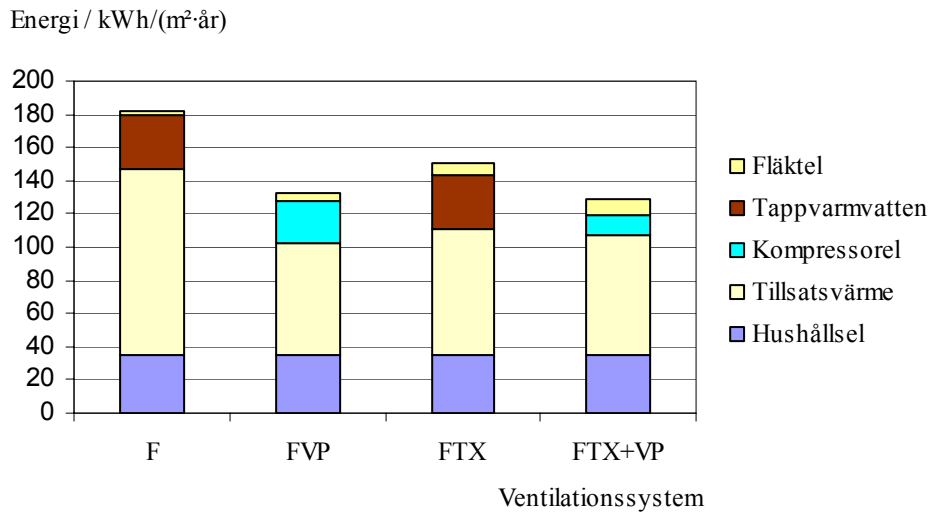


**Figur 10.6** Variation av tappvarmvatten för Stockholm

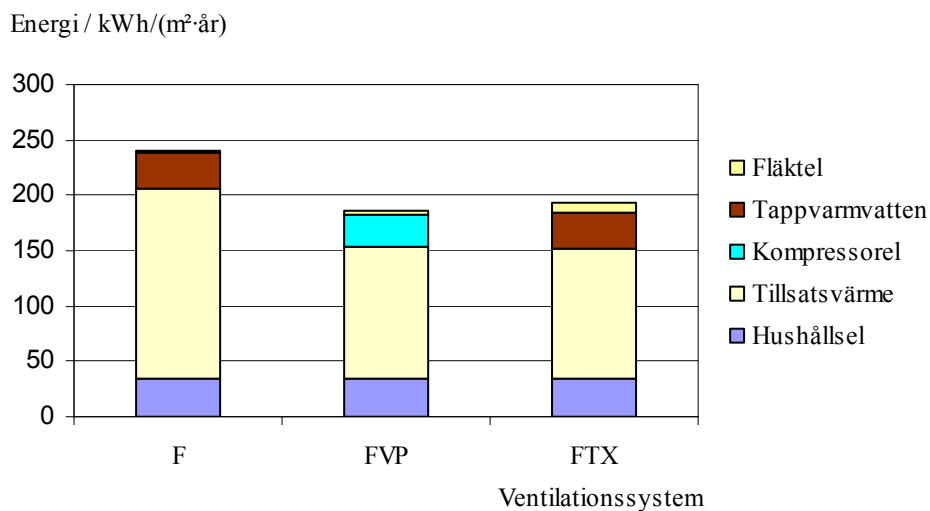
## 10.5 Energibehov för typhuset



**Figur 10.7** Energibehovet för typhuset i Malmö



**Figur 10.8** *Energibehovet för typhuset i Stockholm*

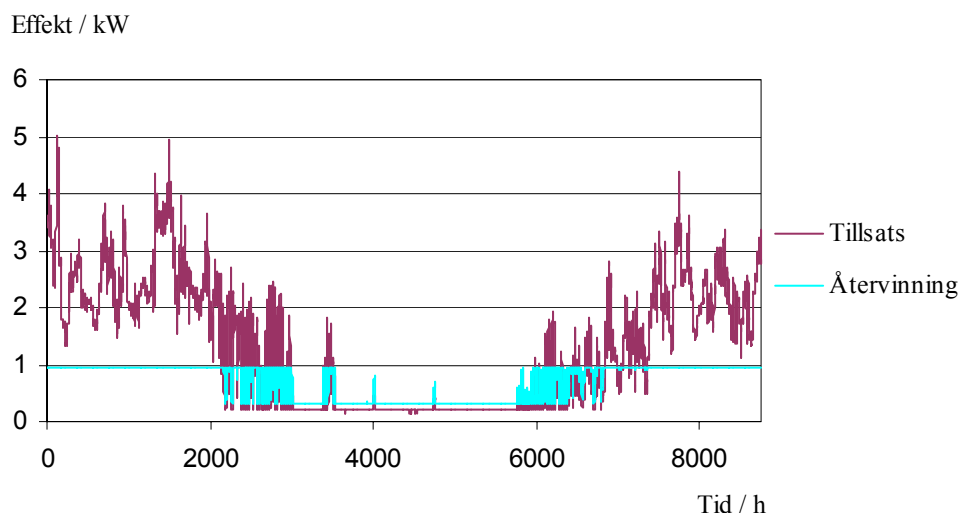


**Figur 10.9** *Energibehovet för typhuset i Haparanda*

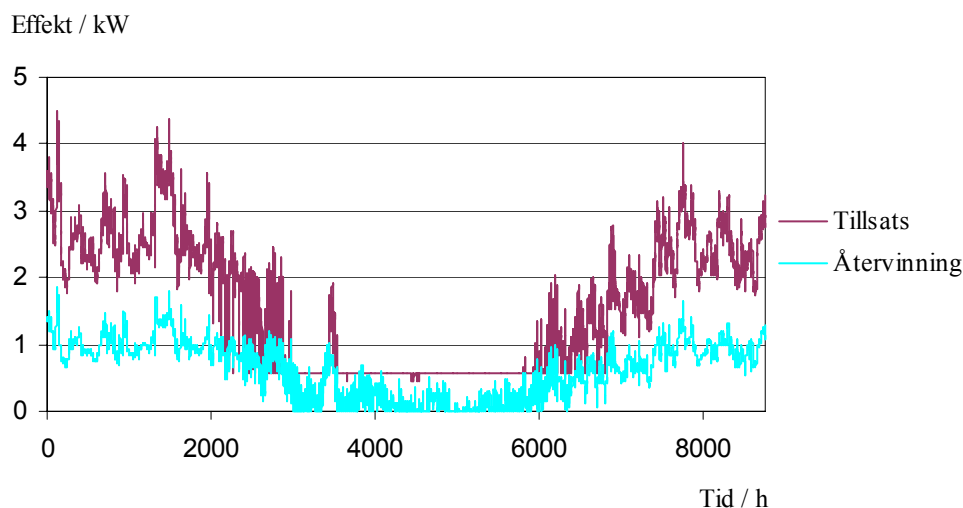
Resultaten från beräkningarna i VIP+ visar att FVP-systemet är det system som ger lägst uppvärmningsbehov i samtliga städer. Dock minskar skillnaden med lägre årsmedeltemperatur. I Malmö är skillnaden som störst medan den i Haparanda är relativt liten. Med andra ord är FTX-systemet lönsammare i kallare klimat. Se även kapitel 10.6. Energibesparingen som FTX-systemet gör i förhållande till F är dock betydande. Den största anledningen till att FVP-systemet ger lägre energibehov än FTX-systemet är att i FTX-systemet är luftläckaget betydligt större än i FVP. Se figur 10.2 och 10.3 för luftläckageförluster.

## 10.6 Värmeåtervinningens karaktär för FVP och FTX

Anledningen till att FTX-systemet lönar sig mer i kallare klimat är att värmeväxlarens och värmepumpens funktion för att återvinna energi skiljer sig åt. Värmeväxlaren kan återvinna mer värme ju kallare uteluften är. Värmepumpens återvunna mängd värme är i princip konstant, vilket beror på att den kyler frånluften cirka tjugo grader oavsett utetemperatur, så länge uppvärmningsbehov föreligger. Den är alltså nästan konstant på samtliga orter samt även i princip konstant under året, bortsett från sommaren. Se figur 10.10.



**Figur 10.10** Tillsatsenergi för uppvärmning och återvunnen energi timvis under ett år för FVP Stockholm. (Hushållsel ingår ej i tillsatsenergin)



**Figur 10.11** Tillsatsenergi för uppvärmning och återvunnen energi timvis under ett år för FTX Stockholm. (Hushållsel ingår ej i tillsatsenergin)

Den totala mängden återvunnen värme under ett år för FVP och FTX är 6218 respektive 5028 kWh/år i Malmö. Motsvarande siffror i Haparanda är 6910 och 7777 kWh/år. Mängden återvunnen värme i Malmö är alltså mindre i FTX-systemet jämfört med FVP-systemet. Däremot i Haparanda är det tvärtom, FTX återvinner mer än FVP. Men fortfarande är uppvärmningsbehovet mindre för FVP. Alltså trots att värmeväxlaren återvinner mer energi är uppvärmningsbehovet större för FTX-systemet, vilket framförallt beror på luftläckaget, men också på det något större elbehovet till fläktarna. Det är alltså inte bara mängden återvunnen värme som är avgörande för skillnaderna i uppvärmningsbehov utan också byggnadens konstruktion, närmare bestämt byggnadens täthet. En annan anledning till att uppvärmningsbehovet för FTX i Malmö är relativt stort är att luftläckningen är större på grund av att det blåser mycket i Malmö. Se tabell 6.1.

### 10.6.1 Återvinning sommartid

Jämför man mängden återvunnen energi och tillsatsenergi i Stockholm under sommarmånaderna juni, juli och augusti ser man att värmepumpen återvinner mer energi och man behöver därför inte tillsätta lika mycket energi som i FTX-systemet. Värmepumpen återvinner ju energi till tappvarmvattnet vilket är anledningen till att detta system är mer lönsamt än FTX sommartid. Energibehovet till tappvarmvatten uppgår till 450 Wh per timme. Detta behov täcks till 2/3 (värmefaktor 3) av värmepumpen, vilket inte görs i FTX-systemet.

**Tabell 10.1** Återvinning och tillsatsvärme sommartid (Hushållsel ingår ej i tillsatsvärmen)

	Stockholm		Haparanda	
	FVP	FTX	FVP	FTX
Medelåtervinning / kW	0.31	0.11	0.45	0.24
Medeltillsatsvärme / kW	0.21	0.56	0.3	0.63

### 10.6.2 Återvinning vintertid

Mängden återvunnen värme under december, januari och februari, vilka är de kallaste vintermånaderna, är något annorlunda för de två systemen. FTX-systemet i Haparanda återvinner i snitt 1,5 gånger så mycket värme jämfört med FVP-systemet, vilket gör att mängden tillsatsvärme är lägre än FVP.

Värmepumpen återvinner i Haparanda maximalt 930 W medan motsvarande värde för värmeväxlaren är 2430 W. Värmeväxlaren återvinner alltså 2,6 gånger så mycket värme som värmepumpen vid detta tillfälle. Detta beror på att värmeväxlaren kan återvinna mer värme ju kallare uteluften är. Se tabell 10.2 Det ska tilläggas att elpriset dagar då det är kallt stiger vilket gör att FTX-systemet då blir extra gynnsamt.

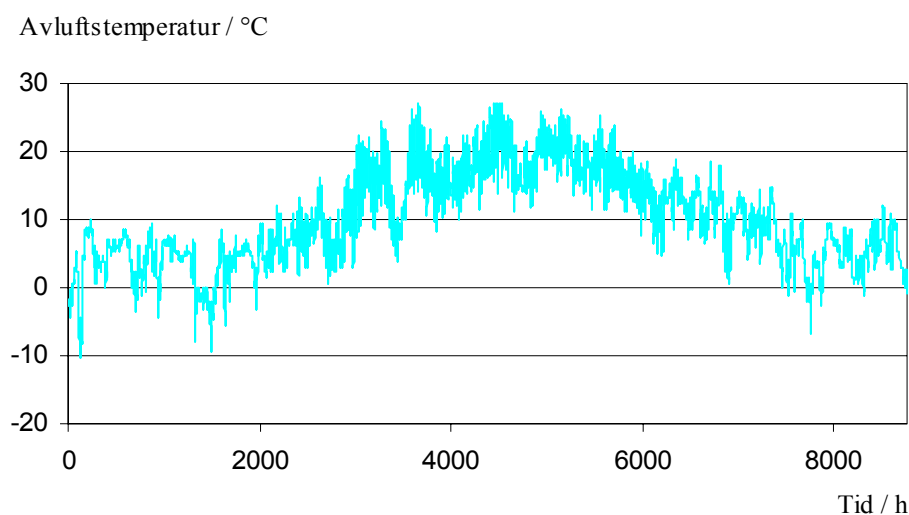
I Stockholm är skillnaderna i mängd återvunnen värme inte så stor, men värmeväxlaren återvinner något mer i snitt. Dock måste ändå mer värme tillföras i FTX, eftersom luftläckageförlusterna är större. För medel- och maxtillsatsvärme, alltså energi som tillsätts utöver återvunnen energi, se diagrammet. Siffrorna är resultat från beräkningar i VIP+ för Stockholm och Haparanda. Se tabellen.

**Tabell 10.2** Återvinning och tillsatsvärme vintertid (Hushållsel ingår ej i tillsatsvärmen)

	Stockholm		Haparanda	
	FVP	FTX	FVP	FTX
Medelåtervinning / kW	0.93	1	0.93	1.46
Medeltillsatsvärme / kW	2.44	2.59	4.04	3.8
Maxåtervinning / kW	0.93	1.85	0.93	2.43

## 10.7 FTX+VP

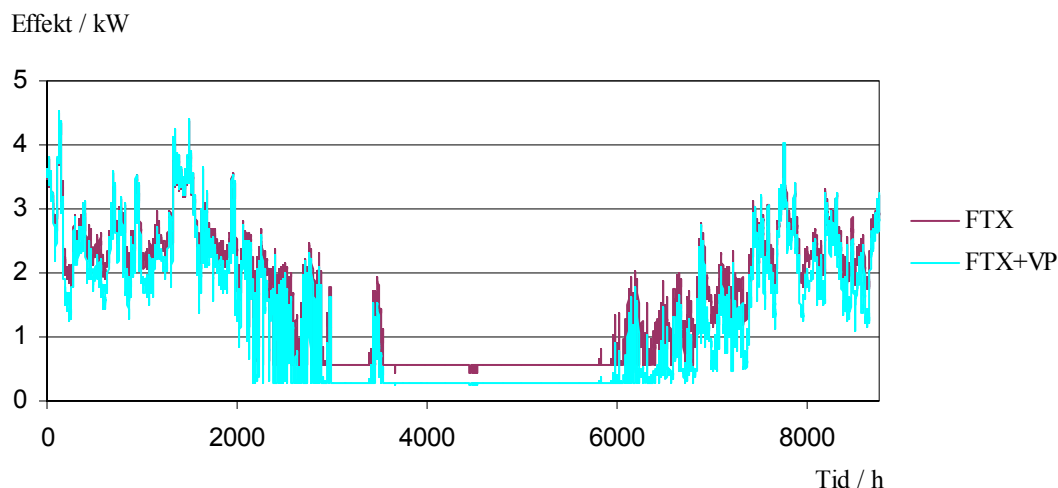
### 10.7.1 Uppvärmningsbehov



**Figur 10.12** Avluftstemperatur (temperatur efter värmväxlaren) i ett FTX-system i Stockholm

Energin som finns i avluften då dess temperatur överstiger 0°C utnyttjas av värmepumpen. Genom att utnyttja denna energi sänks uppvärmningsbehovet. Se jämförelsen av FTX och FTX+VP i figur 10.13.





**Figur 10.13** Jämförelse av uppvärmningsbehov för FTX och FTX+VP i Stockholm. (Hushållsel ingår ej)

Beräkningar för FTX+VP-systemet visar att energibehov sänks betydligt jämfört med FTX-systemet. Jämfört med FVP-systemet är energibehovet ungefär detsamma. Se kapitel 10.5 Med detta system fås alltså FVP-systemets fördel som stor energiåtervinnare och samtidigt FTX-systemets fördelar såsom komfort och tillufts försäkras.

Mängden återvunnen värme är en hel del större i FTX+VP-systemet jämfört med FVP och vanligt FTX. Jämfört med FTX-systemet återvinns ytterligare cirka 3000 kWh/år.

Anledningen till att inte FTX+VP ger lägre uppvärmningsbehov än FVP, trots en större mängd återvunnen energi, är att luftläckageförlusterna fortfarande finns kvar och att elbehovet till fläktarna blir större på grund av det högre tryckfallet genom värmeväxlare och värmepump.

### 10.7.2 Återvinningsprincip

I tabell 10.3 visas hur återvinningen sker i respektive ventilationssystem vid olika utetemperaturer. Utetemperaturerna varierar från  $-30^{\circ}\text{C}$  till  $30^{\circ}\text{C}$  och ventilationstyperna är; FTX+VP, FTX och FVP. Om endast uppvärmningsbehov av tappvarmvatten föreligger sänks frånluften  $5^{\circ}\text{C}$ , då detta antas räcka för att täcka detta behov.

#### Tabellförteckningar

$T_u$  = utetemperatur  $[^{\circ}\text{C}]$

$T_{aVvX}$  = värmeväxlarens avluftstemperatur  $[^{\circ}\text{C}]$

$T_{aVP}$  = värmepumpens avluftstemperatur  $[^{\circ}\text{C}]$

$T_{kyl}$  = frånluftens totala antal kylda grader ( $^{\circ}\text{C}$ ) av värmeväxlaren eller värmepumpen eller av båda två

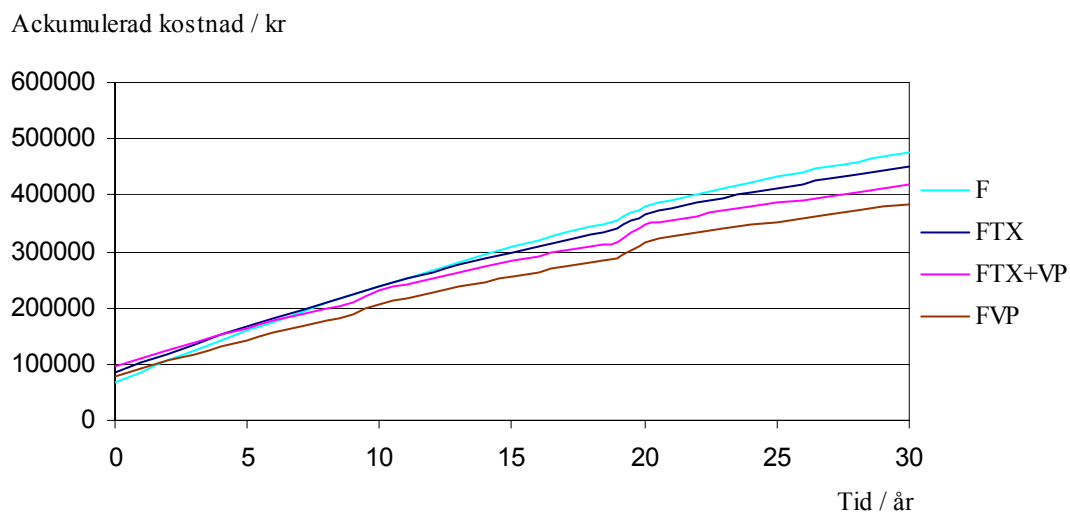
**Tabell 10.3** Värmeväxlarens och värmepumpens avluftstemperatur vid olika utetemperaturer samt total avkylning av frånluften

$T_u$	FTX+VP	FTX	FVP
-30	Endast VVX $T_{aVVX}=-19$ , $T_{kyl}=41$ VP är i detta fall ej möjlig då $T_a$ är för låg Inget tappvarmvatten	$T_{aVVX}=-19$ , $T_{kyl}=41$ Tilluftsvärmning	$T_{aVP}=0$ , $T_{kyl}=21$ Värmning av tappvarmvatten och viss del av rumsvärmning
-20	Endast VVX $T_{aVVX}=-11$ , $T_{kyl}=32$ VP är i detta fall ej möjlig då $T_a$ är för låg Inget tappvarmvatten	$T_{aVVX}=-11$ , $T_{kyl}=32$ Tilluftsvärmning	$T_{aVP}=0$ , $T_{kyl}=21$ Värmning av tappvarmvatten och viss del av rumsvärmning
-10	Endast VVX $T_{aVVX}=-3$ , $T_{kyl}=24$ VP är i detta fall ej möjlig då avluftstemperaturen är för låg Inget tappvarmvatten	$T_{aVVX}=-3$ , $T_{kyl}=24$ Tilluftsvärmning	$T_{aVP}=0$ , $T_{kyl}=21$ Värmning av tappvarmvatten och viss del av rumsvärmning
0	VVX & VP $T_{aVVX}=5$ , $T_{aVP}=0$ , $T_{kyl}=21$ Värmning av tappvarmvatten täcks	$T_{aVVX}=5$ , $T_{kyl}=16$ Tilluftsvärmning	$T_{aVP}=0$ , $T_{kyl}=21$ Värmning av tappvarmvatten och viss del av rumsvärmning
10	VVX & VP $T_{aVVX}=12$ , $T_{aVP}=0$ , $T_{kyl}=21$ Värmning av tappvarmvatten och troligtvis all rumsvärmning	$T_{aVVX}=12$ , $T_{kyl}=9$ Tilluftsvärmning	$T_{aVP}=0$ , $T_{kyl}=21$ Värmning av tappvarmvatten och troligtvis all rumsvärmning
20	Endast VP $T_{aVP}=16$ , $T_{kyl}=5$ Överflöd med energi finns i frånluften. VP utnyttjar en del av denna (5°C) för att täcka tappvarmvattenbehovet Komfortkyla möjlig	VVX avstängd	$T_{aVP}=16$ , $T_{kyl}=5$ Överflöd med energi finns i frånluften. VP utnyttjar en del av denna (5°C) för att täcka tappvarmvattenbehovet
30	Endast VP $T_{aVP}=16^*$ , $T_{kyl}=5$ Överflöd med energi finns i frånluften. VP utnyttjar en del av denna (5°C) för att täcka tappvarmvattenbehovet Komfortkyla möjlig	VVX avstängd	$T_{aVP}=16^*$ , $T_{kyl}=5$ Överflöd med energi finns i frånluften. VP utnyttjar en del av denna (5°C) för att täcka tappvarmvattenbehovet

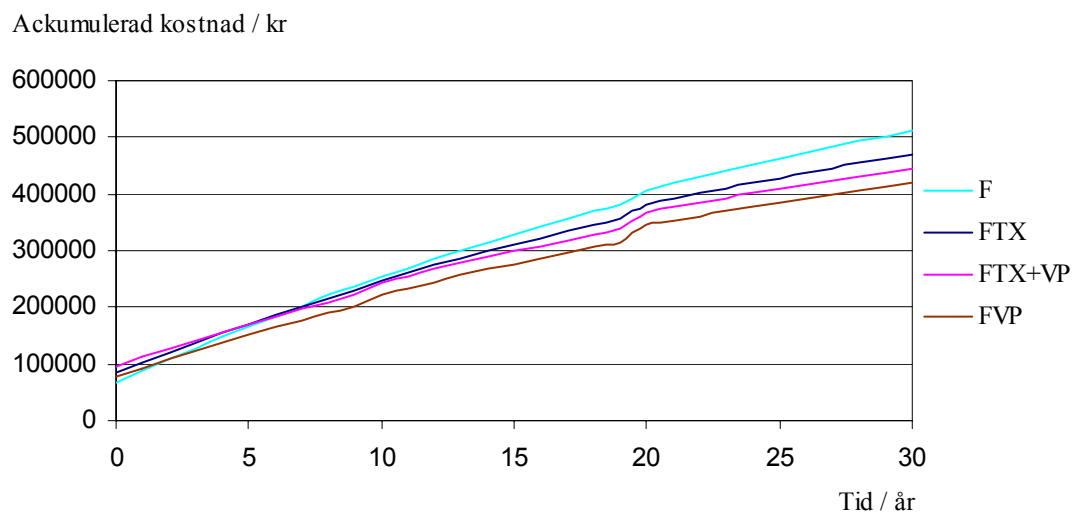
\* Värmepumpens avluft är troligtvis högre eftersom innetemperaturen är högre än 21°C.

## 10.8 Ekonomisk analys

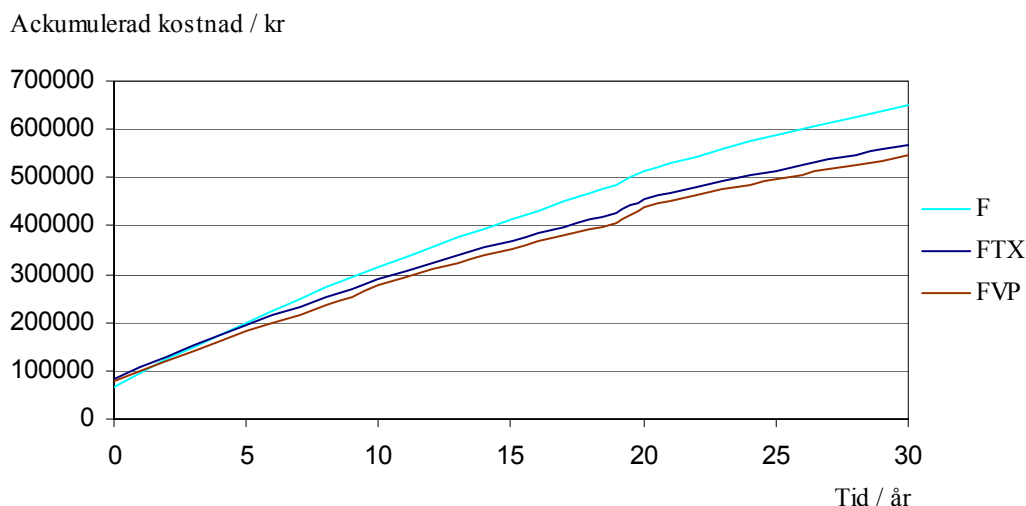
### 10.8.1 LCC



**Figur 10.14** Akkumulerad livscykelkostnad för Malmö uttryckt som nuvärde vid 3 % diskonteringsränta



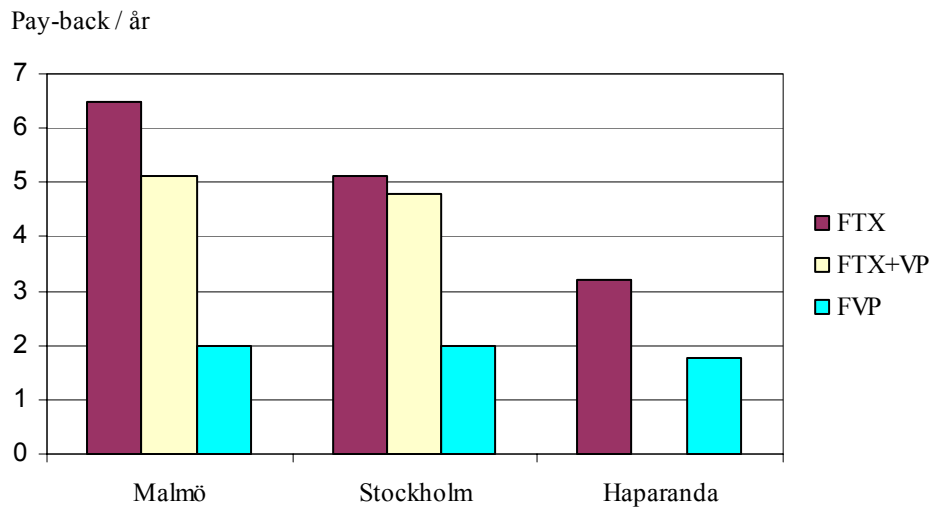
**Figur 10.15** Akkumulerad livscykelkostnad för Stockholm uttryckt som nuvärde vid 3 % diskonteringsränta



**Figur 10.16** Ackumulerad livscykelkostnad för Haparanda uttryckt som nuvärde vid 3 % diskonteringsränta

Den ackumulerade livscykelkostnaden är lägst för FVP-systemet i samtliga städer. Alla ventilationssystem med värmeåtervinning är lönsamma jämfört med F eftersom dess kostnader under livscykeln är mindre. Livscykelkostnaden för FTX blir i förhållande till FVP mindre i kallare klimat. Ventilationssystemen med återvinning, FVP och FTX, får båda större lönsamhet i kallare klimat, vilket visas som en ökad skillnad mellan dessa två och F i figuren. I LCC-beräkningarna används en 3 %-ig diskonteringsränta vilket gör att kostnader i framtiden görs mindre. Den merkostnad ventilationssystemen med värmeåtervinning har vid nyinstallation återbetalas relativt snabbt, vilket kan utläsas där dessa korsar F i figuren. För investeringskostnad av samtliga ventilationssystem se kapitel 9.2.5.

## 10.8.2 Pay-backtid



**Figur 10.17** Pay-backtid för ventilationssystem med värmeåtervinning relativt F

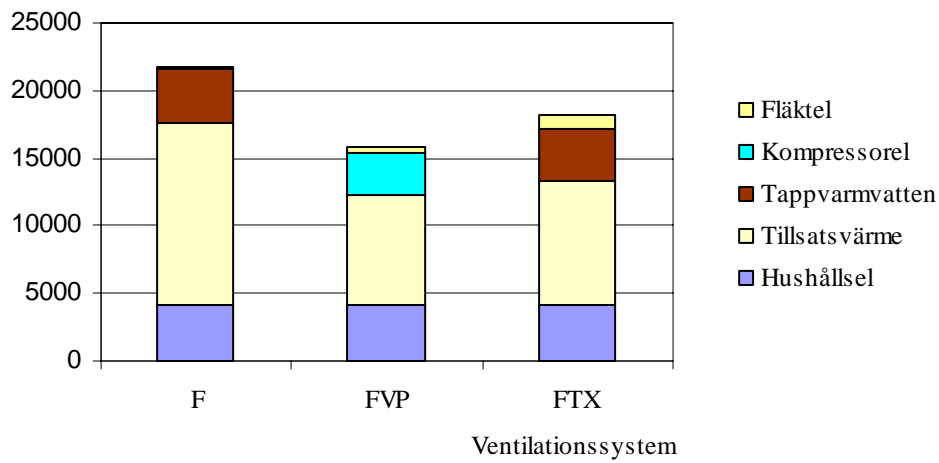
Pay-backtiden som visas i figuren är i princip densamma som kan läsas ur LCC-diagrammen. Skillnaden är att i Pay-backmetoden räknas inte underhållskostnader med. I Pay-backmetoden tas inte heller någon hänsyn till ränta vilket görs i LCC: n. Detta gör att Pay-backtiden enligt Pay-backmetoden är lägre för framförallt FTX och FTX+VP jämfört med Pay-backtiden som kan utläsas ur LCC-diagrammen. Detta beror på att FTX-systemets dyra filterkostnad ger ett relativt stort utslag jämfört med de billiga filter som finns i FVP-systemet.

Jämför man F med FTX-systemet är, som tidigare nämnts, luftläckageförlusterna i FTX-systemet större vilket gör att återbetalningstiden blir relativt lång för detta system. Hade man istället jämfört FTX med FT skulle återbetalningstiden bli betydligt kortare.

FTX+VP-systemets årsenergiförbrukning ligger runt 3000 kWh lägre för både Stockholm och Malmö jämfört med ett vanligt FTX-system. Merkostnaden för frånluftsvärmepumpen kan således relativt snabbt återbetala sig och som visas i figur 10.17 är återbetalningstiden kortare för FTX+VP jämfört med FTX.

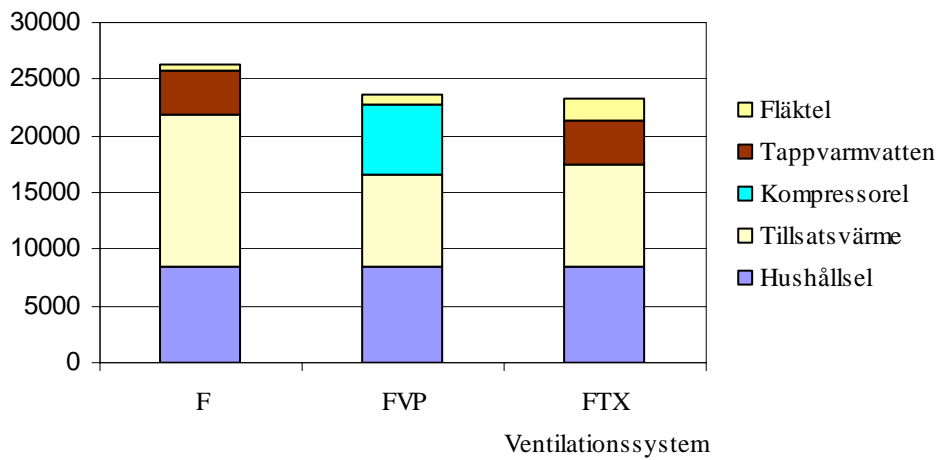
### 10.8.3 Elprisvariation

Energikostnad vid 1 kr/kWh



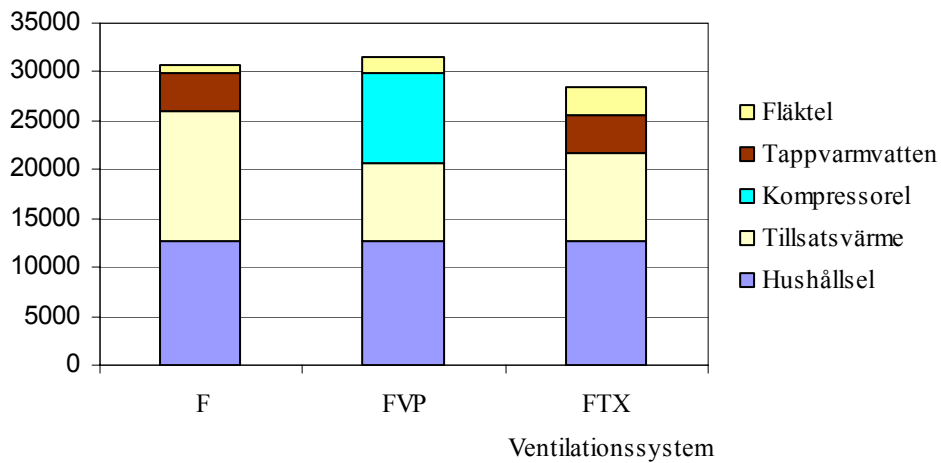
**Figur 10.18** Energikostnad vid ett elpris och värmepris på 1 kr/kWh i Stockholm

Energikostnad vid 2 kr/kWh



**Figur 10.19** Energikostnad vid ett elpris på 2 kr/kWh och ett värmepris på 1 kr/kWh i Stockholm

Energikostnad vid 3 kr/kWh



**Figur 10.20** Energikostnad vid ett elpris på 3 kr/kWh och ett värmepris på 1 kr/kWh i Stockholm

Vid ett elpris på 2 kr/kWh är FTX-systemet mer lönsamt än FVP-systemet som visas i diagrammet ovan. Mer exakt räknat blir FTX lönsammare än FVP vid en el-värmepriskvot på 1,9. Motsvarande siffra är för Malmö 2,2 och för Haparanda 1,3.

Ett högre elpris i förhållande till värmepriset gör alltså att FVP-systemets lönsamhet reduceras eftersom värmepumpen drivs av el. Värmepumpen är alltså endast lönsam under förutsättning att relativt billig el finns att tillgå i förhållande till det pris som betalas för värme. Även FTX-systemet blir mindre lönsamt jämfört med F då elpriset ökar, eftersom FTX-systemets fläkteffekt är större.

## 11 Slutsats och diskussion

FVP-ventilation är den ventilationstyp som medger störst energibesparing, framförallt i södra Sverige. Dock saknar detta ventilationssystem många viktiga egenskaper som FTX-ventilation medför.

FTX-systemet främsta egenskap är alltså inte dess förmåga att spara energi. Visserligen är uppvärmningsbehovet för en byggnad med FTX-ventilation betydligt lägre än motsvarande byggnad med F-ventilation och det är helt klart konkurrenskraftigt mot FVP med avseende på uppvärmningsbehov i kallare klimat. Däremot har den flera andra fördelar jämfört med F- och FVP-ventilation. Komforten och inomhusmiljön i en byggnad med FTX-ventilation är bättre. Risken för drag och kallras förekommer i mindre utsträckning. Tillförseln av uteluft garanteras i samtliga rum med tilluftsdon, vilket inte alltid görs i en byggnad med FVP-ventilation. Tilluften i ett FTX-system filtreras vilket gör att pollen och smutspartiklar inte kommer in i huset. Detta kan ur allergi- och astmasynpunkt vara fördelaktigt. I områden med radon är också risken mindre att suga in radongas i bostaden med FTX-ventilation jämfört med FVP-ventilation.

En av anledningarna till att energibesparingen med FTX-ventilation är lägre än den energibesparing som görs med FVP-ventilation beror på den luftläckageförlust som uppstår i byggnaden. Denna förlust är svår att eliminera helt men den kan åtminstone reduceras väsentligt genom att bygga ett tätare byggnadsskal och genom att skapa ett litet undertryck i byggnaden. Merkostnaden för att göra byggnadsskalet tätare är ej stor utan är mer en fråga om noggrannhet vid byggnationen. Oavsett vilket ventilationssystem som väljs i en bostad medför ett tätare byggnadsskal fördelar för komfort och inomhusmiljö. Det borde av denna anledning vara självklart att ta fram metoder och rutiner för hur ett tätare byggnadsskal skall kunna erhållas.

Ett ventilationssystem bestående av både värmeväxlare och värmepump (FTX+VP) tycks kunna vara lönsamt både med avseende på energibesparingar, återbetalningstid och livscykelkostnad. Systemet skulle utnyttja FTX-systemets fördelar som komfort och inomhusmiljö samtidigt som FVP-systemets fördelar som stor energiåtervinnare fås. Kan luftläckaget samtidigt göras mindre i byggnaden kan systemet stå som det ventilationssystem som medför lägst uppvärmningsbehov av alla. FVP-systemets verkar trots detta medföra den lägsta livscykelkostnaden. Livscykelkostnaden jämfört med vanlig FTX-ventilation är dock lägre.

Ett problem i värme- och ventilationssystem baserade på värmepumpar är värmepumpens skadefrekvens. Relativt ofta förekommer problem med dessa och vanligtvis är det kompressorn som krånglar, vilket leder till dyra reparationer eller komponentbyten. Dessa kostnader har inte tagits med i livscykelkostnaden eftersom det är svårt att i en teoretisk jämförelse av den typ som görs i denna rapport väga in faktorer som t ex skadefrekvens. Men det är helt klart att denna skadefrekvens inte påverkar FVP-systemet i någon positiv riktning.

Installationskostnaden är något högre för FTX-systemet jämfört med FVP-systemet, men i förhållande till den totala kostnaden för ett nybyggt hus är skillnaden obetydlig. Livscykelkostnaden visar sig också vara högre men det är kanske ett pris som kan vara värt att ta för att få ett bättre inomhusklimat. Både FVP- och FTX-systemet är dyrare vid



nyinstallation jämfört med ett F-system men livscykelkostnaderna för de båda är lägre än den för F.

Elpriset är idag en osäker faktor och kommer i framtiden troligtvis stiga mer än konsumentprisindex. Med FVP-ventilation försätter man sig i ett elberoende vilket inte görs med FTX-ventilation. I FTX-ventilation är ventilationssystemet skilt från värmesystemet och man har av den anledningen större frihet att välja värmesystem.

För att värmepumpens energibesparing ska leda till kostnadsbesparing måste elpriset i förhållande till värmepriset vara lågt. Med reellt stigande elpriser kommer värmepumpens nytta som kostnadsbesparare försvinna. Värmepumpen har redan idag ingen marknad i vissa länder i Europa eftersom elpriset där i förhållande till värmepriser är för högt.

FVP-ventilation är idag standard i många nybyggda hus och är betydligt vanligare än FTX-ventilation. Hus som har F-ventilation kan normalt enklare byggas ut till ett FVP-system genom komplettering av en värmepump jämfört med att komplettera med en värmeväxlare och tilluftskanal för att erhålla ett FTX-system.

Trots det något dyrare FTX-systemet bör fördelarna med FTX-ventilation vägas tyngre än vad de idag gör och därmed stå som ett självklart ventilationsval vid nybyggnation av småhus. Systemet bör även kunna medföra flera fördelar i redan färdigbyggda hus. Det är dock av stor vikt vid båda dessa fall att byggnadens täthet är hög, för att undvika alltför stora förluster i form av luftläckage.

Att utse något ventilationssystem som ”vinnare” är svårt att göra eftersom det beror på så många faktorer. Att göra en ekonomisk jämförelse är relativt enkel eftersom resultatet lätt kan visas i siffror. Men att på motsvarande sätt jämföra komfort och inomhusmiljö är inte lika enkelt. Det är alltså snarare en fråga om vad bostadsägaren prioriterar och värderar.

## 11.1 Fortsatta studier

För att säkra slutsatser inom ett ämnesområde ska kunna dras måste ett flertal liknande studier göras. Denna studie håller sig på en teoretisk nivå med vissa tillägg av erfarenheter av verkliga erfarenheter inom ventilationsområdet. Ett intressant fortsatt arbete vore att se hur de teoretiska resultat som framkommit i denna rapport förhåller sig till verkligheten. Genom att bygga verkliga hus med identiska byggnadsegenskaper vilka kompletteras med olika ventilationstyper skulle motsvarande förutsättningar skapas som gjorts i denna rapport fast i en praktisk miljö. Ett problem som dock uppstår i en verklig miljö är att många fler parametrar styr utfallet och det kan därför vara svårt att dra några konkreta slutsatser. Ett exempel på en sådan parameter är människan, vars beteende och behov varierar.

## 12 Referenser

### 12.1 Tryckta källor

AIVC Technical Note 57, Air Information Review March 2003, International Energy Agency

Anger, Ylva och Ohlsson, Håkan (2004): *Sänkta boendekostnader genom energieffektivisering - Balans mellan livscykel- och investeringskostnader i nyproducerade flerbostadshus*. Avdelningen för installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola

Bagge, Hans, Elmroth, Arne och Lindström, Lotti (2004): *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra hamnen i Malmö*. Avdelningen för installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola

Boverket Handbok (2003): *Termiska beräkningar - Rumsklimat, värmeisolering, transmissionsförluster och omfördelningsberäkning*. AB Danagårds grafiska.

Enberg, Helge (utgåva 6, 2004): *Minimikrav på luftväxling*. En tolkning av Boverkets Byggregler, Arbetsmiljöverkets föreskrifter, Socialstyrelsens allmänna råd och andra dokument

Folkhälsoinstitutet (augusti 2000): Östberg-The Fan Company (AB C.A. Östberg): *HERU Heat-Recovery "ren njutning"*. Höglund Grafisk Form.

Ingelstam, Rönngren, Sjöberg (1971): *Tefyma*. Sjöbergs Förlag Stockholm/Bromma

Jensen, Lars (2002): *Värmebehovsberäkning, Installationsteknik FK*. Kursmaterial. Avdelningen för installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola

Meteotest (2003): *Meteonorm handbook*, manual and theoretical background, Switzerland, [www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com) (2005-02-03)

Nevander, Lars Erik och Elmarsson, Bengt (1994): *Fukt - handbok praktik och teori*. Svenskt Tryck AB, Stockholm

Nilsson, Annika (2003): *Energianvändning i nybygga flerbostadshus på Bo01-området i Malmö*. Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola

Persson, Ingvar och Nilsson, Sven-Åke (Upplaga 6:1 1999): *Investeringsbedömning*. AB Boktryck, Helsingborg

Structural Design Software (2003): *VIP+*. Manual till VIP+. Mer info om VIP+ finns på Sunda Hus Rådgivning: <http://www.sundahusradgivning.se> (2005-02-07)

Svensson, Anders (1984) *Värmeåtervinning ur ventilationsluft - några driftserfarenheter*, meddelande M84:15, (erfarenheter från bl a M82:15 och M81:23) Statens institut för byggnadsforskning, Exellan Grafiska Gävle

Svensson, Anders, Blomqvist, Claes och Mellin, Anders (1985): *Värmeåtervinning ur ventilationsluft-Kv.Malstenen Bomhus Gävle*, meddelande M85:10, Statens institut för byggnadsforskning, Exellan Grafiska Gävle

Svennberg, Sven A (1983): *Värmeåtervinning ur ventilationsluft*. Bygghälsningsrådet Spångbergs tryckerier AB, Stockholm 1983

Warfvinge, Catarina (2001): Installationsteknik AK för V. Kursmaterial Avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola

Wikells Byggbäräkningar AB: *Sektiosfakta-VVS 03/04*, Teknisk-ekonomisk sammanställning av VVS. Elanders Svenskt tryck, Surte

Östberg-The Fan Company (AB C.A. Östberg): *HERU Heat-Recovery "ren njutning"*. Höglund Grafisk Form.

Östberg-The Fan Company (AB C.A. Östberg): *Värmeåtervinningsaggregat HERU*. Höglund Grafisk Form.

## 12.2 Elektroniska källor

AB Sunda Hus Rådgivning: <http://www.sundahusradgivning.se> , (2005-02-07)

Energimyndigheten: *Villavärmepumpar - Energimyndighetens sammanställning över vanliga värmepumpar för småhus*. ET 34:2001 / 10000  
[http://www.stem.se/web/biblshop.nsf/FilAtkomst/vp0110.pdf/\\$FILE/vp0110.pdf?OpenElement](http://www.stem.se/web/biblshop.nsf/FilAtkomst/vp0110.pdf/$FILE/vp0110.pdf?OpenElement) , (2005-02-07)

Energimyndigheten: *Värmeåtervinning av ventilationsluft - Förbättra inomhusklimatet och minska energikostnaderna*.  
[http://www.stem.se/web/biblshop.nsf/FilAtkomst/varme.pdf/\\$FILE/varme.pdf?OpenElement](http://www.stem.se/web/biblshop.nsf/FilAtkomst/varme.pdf/$FILE/varme.pdf?OpenElement) , (2005-02-07)

Folksam: [www.folksam.se/resurser/pdf/varmepumpar/sakdor3.pdf](http://www.folksam.se/resurser/pdf/varmepumpar/sakdor3.pdf) , (2005-02-07)

IVT värmepumpar: [www.ivt.se](http://www.ivt.se) , (2004-10-15)

Nibe Industrier: [www.nibe.se](http://www.nibe.se) , (2004-09-01 – 2005-01-31)

Regeringen, SOU 2004:109, Betänkande av Utredningen om byggnaders energiprestanda, *Energideklarering av byggnader*  
<http://www.regeringen.se/content/1/c6/03/29/08/2c3ff6ae.pdf> , (2005-02-07)

Stoltz, Hano, Mecvent / Plåt AB: <http://www.mecvent.se/flvpump.htm> , (2005-02-07)

Ventfunktion AB: [www.ventfunktion.se](http://www.ventfunktion.se) , (2005-02-07)

Östberg-The Fan Company (AB C.A. Östberg): [www.ostberg.com](http://www.ostberg.com) , (2004-09-01 – 2004-12-01)

## 12.3 Muntliga källor

Carlholmer, Richard, Nibe Industrier, Telefonkontakt (2004-12)

Elmroth, Arne, Avdelningen för byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Telefonkontakt, (2004-10)

Engdahl, Fredrik, Lindab, Telefonkontakt och personlig kommunikation (2004-09-01 – 2005-02-01)

Fahlén, Per, Institutionen för Installationsteknik, Chalmers Telefonkontakt (2004-10)

Holmberg, Ted, Nibe Industrier, Telefonkontakt (2004-12-28)

Häggbom, Sune, AB Sunda Hus Rådgivning, Telefonkontakt (2004-10-01 – 2005-02-01)

Jensen, Lars, Avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Personlig kommunikation (2004-09-01 – 2005-02-01)

Johansson, Dennis, Avdelningen för Byggnadsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Personlig kommunikation (2004-09-01 – 2005-02-01)

Jonsson, Roger, Nibe Industrier, Telefonkontakt (2004-11-18)

Lindberg, Gunnar, Nibe Industrier, Telefonkontakt (2004-11-15)

Nilsson, Mats, Qvantum Energi AB, Telefonkontakt (2004-10)

Quick, Jan, Ventfunktion AB, Telefonkontakt (2004-10)

Stoltz, Hano, Mecvent / Plåt AB, Telefonkontakt (2004-10)

Svedlund, Jirry, AB C.A. Östberg, Telefonkontakt (2004-11-04 – 2005-02-07) och personlig kommunikation (2004-11-03)

Warfvinge, Catarina, Avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Personlig kommunikation (2004-09-01 – 2005-02-01)

# Bilagor

## VIP+ utskrift för typhuset med FTX-ventilation

Lindab Sverige AB  
Typhus Stockholm  
FTX-ventilation  
Signatur: RT

VIP+ Ver 2.0.4  
Strusoft  
Datum: 2005-02-20

Sida1(3)

### INDATA

#### Allmänt

Beräkningsdatum: 2005-02-21 Tid: 14:12:20  
Beräkningsperiod - Dag: 1 - 365  
Klimatdata: STOCKHOLM  
Byggnadens läge: NÅGOT SKYDDAT  
Markreflektion: 0.40  
Vindreduktion: 0.65  
Horisontvinkel mot markplan: 30 °  
"Söderfasadens" vinkel mot söder: 0 °  
Verksamhetstyp: Bostad  
Antal lägenheter: 1  
Skalfaktor ventilation: 266 m³  
Uppvärmd bruksarea enl SS021052: 120 m²

#### Energitaxor

Driftfalls- benämning	Vecko- dagar	Dag- nummer	Tid	Rum& Tilluft- kr/kWh	Process- energi kr/kWh	El energi kr/kWh	Tapp- varmvatten kr/kWh
Lindab	MAND-SÖND	1-365	0-24	1.00	1.00	1.00	1.00

### Aktuellt Hus

#### Byggdeltstyper - Katalog:

Byggdeltstyp	Material	Skikt- tjocklek m	Värme- lednings- tal W/m°C	Densitet kg/m³	Värme- kapacitet J/kg°C	U-värde W/m²°C	Delta- U-värde W/m²°C
GIPS-26-ISO	GIPSSKIVA	0.026	0.220	900	1100	0.554	0.020
	MINERALULL	0.070	0.050	50	840		
	GIPSSKIVA	0.026	0.220	900	1100		
GOLVTYP4	MARK3.4	1.000	0.290	1800	800	0.147	0.020
	MINERALULL	0.150	0.050	50	840		
	BETONG	0.100	1.700	2300	800		
	TRÅ-14	0.020	0.140	500	2300		
MAN_5.5_G	LBTG600.160	0.300	0.160	600	1050	0.489	0.000
TAKTYP5	MINERALULL36	0.100	0.036	50	840	0.139	0.000
	REGEL-C600	0.200	0.048	776	936		
	GIPSSKIVA	0.013	0.220	900	1100		
VÄGGTYP6	TRÅ-14	0.020	0.140	500	2300	0.216	0.020
	RGLMU-48	0.200	0.048	776	936		
	TRÅ-14	0.020	0.140	500	2300		

#### Byggnadsdelar - Väggar, bjälklag

Benämning	Byggdeltstyp	Orientering	Area m²	Sol- absorb- tion	Form- faktor vind	---Nivåer--- Lägsta	Högsta	Luftläckage q50 50Pa m³/m²h	expo- nent	Mot- temp °C
Yttervägg	VÄGGTYP6	SÖDER	26.0	0.70	-0.6	0.0	2.4	2.88	0.65	
Yttervägg	VÄGGTYP6	VÄSTER	23.0	0.70	0.7	0.0	6.0	2.88	0.65	
Yttervägg	VÄGGTYP6	NORR	28.0	0.70	-0.6	0.0	2.4	2.88	0.65	
Yttervägg	VÄGGTYP6	ÖSTER	23.0	0.70	-0.5	0.0	6.0	2.88	0.65	
Golvbjälklag	GOLVTYP4	JORD	68.4	0.00	0.0	0.0	0.0	0.10	0.65	
Inner golvtak	MAN_5.5_G	INNER	48.5							
Vindsbjälklag	TAKTYP5	TAK	59.1	0.50	0.0	2.4	5.0	2.88	0.65	
Innervägg	GIPS-26-ISO	INNER	140.0							

## Byggnadsdelar - Fönster dörrar ventiler

Benämning	Byggsdelstyp	Orientering	Area m²	Glasandel %	Skuggfaktor F1 %	F2 %	U-värde W/m²°C	Formfaktor vindh	-Nivåer Lägst m	Högst m	Luftläckage q50 50Pa m³/m²h	Exponent
Fönster	2GLAS1.8-3	SÖDER	7.8	80	80	64	1.80	-0.6	0.5	5.0	2.88	0.65
Fönster	2GLAS1.8-3	VÄSTER	5.4	80	80	64	1.80	0.7	0.5	5.0	2.88	0.65
Fönster	2GLAS1.8-3	NORR	3.3	80	80	64	1.80	-0.6	0.5	2.4	2.88	0.65
Fönster	2GLAS1.8-3	ÖSTER	5.7	80	80	64	1.80	-0.5	0.5	5.0	2.88	0.65
Ytterdörr	DÖRR08	NORR	2.0	0	0	0	1.20	-0.6	0.0	2.0	2.88	0.65
Altandörr	DÖRR08	ÖSTER	1.0	0	0	0	1.20	-0.5	0.0	2.0	2.88	0.65
Köldbrygga	Köldbrygga	VÄSTER	0.5	0	0	0	12.00	0.7	0.0	5.0	2.88	0.65
Köldbrygga	Köldbrygga	ÖSTER	0.5	0	0	0	12.00	-0.5	0.0	5.0	2.88	0.65

## Driftdata

Driftfallsbenämning	Veckodagar	Dagnummer	Tid	Tilluft oms/h	Frånluft oms/h	Processenergi W/m²	Personvärme W/m²	Maxtemp °C	Mintemp °C
Östberg FT4 10%	MAND-SÖND	1-365	0-24	0.61	0.68	4.00	0.00	27.00	21.00

## Installationer:

	Tryckhöjning Pa	Verkningsgrad %
Tilluftsfläkt	30	2.73
Frånluftsfläkt	30	2.73
Värmepump	Kondensoreffekt	0 W
Värmepump	Värmefaktor	0.00
Värmeväxlare	Energiverkningsgrad	78 %
Krav på energisparåtgärder enligt BBR kap 9:3		
Lägsta tilluftstemperatur		18.00

Energiförbrukning för tappvarmvatten  
Energiförbrukning per lägenhetsarea 2.05 W/m²  
Energiförbrukning per lägenhet 205.0 W/lgh  
Värmeåtervinning från spillvatten till tappvarmvatten  
Verkningsgrad 0.00 %

## RESULTAT

### Aktuellt Hus

Period	Avgiven energi kWh			Tillförd energi kWh			Process	Uppvärmning
	Transmission	Luftläckning	Ventilation	Varmvatten	Kylning	Solenergi	Återvinning	
Månad 1	1597	122	1011	336	0	20	757	357
Månad 2	1461	123	931	303	0	31	697	323
Månad 3	1662	114	1061	336	0	84	796	357
Månad 4	1172	73	800	325	0	412	571	346
Månad 5	772	52	605	336	140	826	256	357
Månad 6	586	35	494	325	195	781	115	346
Månad 7	436	24	401	336	393	775	60	357
Månad 8	507	27	422	336	177	607	73	357
Månad 9	694	31	492	325	0	242	304	346
Månad 10	979	67	646	336	0	65	471	357
Månad 11	1402	124	897	325	0	30	668	346
Månad 12	1447	115	925	336	0	16	689	357

## Referenshus

Period	Avgiven energi kWh				Kyl- ning	Tillförd energi kWh		Process Person	Upp- värmning
	Trans- mission	Luft- läckning	Venti- lation	Varm- vatten		Sol- energi	Ater- vinning		

## Nyckeltal

	Referenshus	Aktuellt hus	
Inre värmekapacitet	25.01	40.54	Wh/m <sup>2</sup> °C
Yttre värmekapacitet	24.91	220.89	Wh/m <sup>2</sup> °C
Medeltemperatur	20.00	21.00	°C
Medelvärde ventilation	0.68	0.68	oms/h
Processenergi medel	4.00	4.00	W/m <sup>2</sup>
Personenergi medel	0.00	0.00	W/m <sup>2</sup>
U-värde medel	0.23	0.35	W/m <sup>2</sup> °C
U-värde max tillåtet		0.30	W/m <sup>2</sup> °C
Omslutningsarea		253.63	m <sup>2</sup>
Summa U-värde * Area	58.08	87.79	W/°C
Luftläckage vid 50 Pa		540.30	m <sup>3</sup> /h

## Jämförelse energibalans Referenshus - Aktuellt hus

	Referenshus	Aktuellt hus
Avgiven energi kWh		
Transmission omslutningsytor	8759	12716
Luftläckage	1835	909
Ventilation	7822	8685
Tappvarmvatten	3951	3951
Kylning	1359	905
Tillförd energi kWh		
Solenergi	3888	3888
Energiåtervinning	3620	5458
Personenergi	0	0
Processenergi	4205	4205
UPPVÄRMNING	12012	13927
Uppvärmning per golvarea kWh/m <sup>2</sup>	100	116
Elförbrukning som ingår i UPPVÄRMNING		
El till värmepump	0	0
El till tilluftsfläktar	0	433
El till frånluftsfläktar	0	481

## Ekonomiresultat

	Referenshus	Aktuellt hus	
Uppvärmning Rum & Tilluft	8061	9061	SEK
Processenergi	4205	4205	SEK
Elenergi fläktar	0	914	SEK
Tappvarmvatten	3951	3951	SEK
Totalt	16216	18131	SEK

# VIP+ utskrift för typhuset med FVP-ventilation

Lindab Sverige AB  
Typhus-Stockholm  
FVP-ventilation  
Signatur: RT

VIP+ Ver 2.0.4  
Strusoft  
Datum: 2005-02-20

Sida1(3)

## INDATA

### Allmänt

Beräkningsdatum: 2005-02-21 Tid: 18:56:02  
Beräkningsperiod - Dag: 1 - 365  
Klimatdata: STOCKHOLM  
Byggnadens läge: NÅGOT SKYDDAT  
Markreflektion: 0.40  
Vindreduktion: 0.65  
Horisontvinkel mot markplan: 30 °  
"Söderfasadens" vinkel mot söder: 0 °  
Verksamhetstyp: Bostad  
Antal lägenheter: 1  
Skalfaktor ventilation: 266 m³  
Uppvärmd bruksarea enl SS021052: 120 m²

### Aktuellt Hus

#### Byggsdelstyper - Katalog:

Byggsdelstyp	Material	Skikt- tjocklek	Värme- lednings- tal	Densitet	Värme- kapacitet	U-värde	Delta- U-värde
		m	W/m°C	kg/m³	J/kg°C	W/m²°C	W/m²°C
GIPS-26-ISO	GIPSSKIVA	0.026	0.220	900	1100	0.554	0.020
	MINERALULL	0.070	0.050	50	840		
	GIPSSKIVA	0.026	0.220	900	1100		
GOLVTYP4	MARK3.4	1.000	0.290	1800	800	0.147	0.020
	MINERALULL	0.150	0.050	50	840		
	BETONG	0.100	1.700	2300	800		
	TRÅ-14	0.020	0.140	500	2300		
MAN_5.5_G	LBTG600.160	0.300	0.160	600	1050	0.489	0.000
TAKTYP5	MINERALULL36	0.100	0.036	50	840	0.139	0.000
	REGEL-C600	0.200	0.048	776	936		
	GIPSSKIVA	0.013	0.220	900	1100		
VÄGGTYP6	TRÅ-14	0.020	0.140	500	2300	0.216	0.020
	RGLMU-48	0.200	0.048	776	936		
	TRÅ-14	0.020	0.140	500	2300		

#### Byggnadsdelar - Väggar, bjälklag

Benämning	Byggsdelstyp	Orientering	Area	Sol- absorb- tion	Form- faktor vind	---Nivåer--- Lägsta	Högsta	Luftläckage q50 50Pa m³/m²h	expo- nent	Mot- temp °C
			m²			m	m			
Yttervägg	VÄGGTYP6	SÖDER	26.0	0.70	-0.6	0.0	2.4	2.88	0.65	
Yttervägg	VÄGGTYP6	VÄSTER	23.0	0.70	0.7	0.0	6.0	2.88	0.65	
Yttervägg	VÄGGTYP6	NORR	28.0	0.70	-0.6	0.0	2.4	2.88	0.65	
Yttervägg	VÄGGTYP6	ÖSTER	23.0	0.70	-0.5	0.0	6.0	2.88	0.65	
Golvbjälklag	GOLVTYP4	JORD	68.4	0.00	0.0	0.0	0.0	0.10	0.65	
Inner golvtak	MAN_5.5_G	INNER	48.5							
Vindsbjälklag	TAKTYP5	TAK	59.1	0.50	0.0	2.4	5.0	2.88	0.65	
Innervägg	GIPS-26-ISO	INNER	140.0							



## Byggnadsdelar - Fönster dörrar ventiler

Benämning	Byggsdelstyp	Orientering	Area m <sup>2</sup>	Glasandel %	Skuggfaktor F1 %	F2 %	U-värde W/m <sup>2</sup> °C	Formfaktor vindh m	-Nivåer- Lägst m	Högst m	Luftläckage q50 50Pa m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	Exponent
Fönster	2GLAS1.8-3	SÖDER	7.8	80	80	64	1.80	-0.6	0.5	5.0	2.88	0.65
Fönster	2GLAS1.8-3	VÄSTER	5.4	80	80	64	1.80	0.7	0.5	5.0	2.88	0.65
Fönster	2GLAS1.8-3	NORR	3.3	80	80	64	1.80	-0.6	0.5	2.4	2.88	0.65
Fönster	2GLAS1.8-3	ÖSTER	5.7	80	80	64	1.80	-0.5	0.5	5.0	2.88	0.65
Ytterdörr	DÖRR08	NORR	2.0	0	0	0	1.20	-0.6	0.0	2.0	2.88	0.65
Altandörr	DÖRR08	ÖSTER	1.0	0	0	0	1.20	-0.5	0.0	2.0	2.88	0.65
Ventilsovrurn	VENTIL40	ÖSTER	2.0	0	0	0	0.00	-0.5	2.4	5.0	40.00	0.50
Ventilsovrurn	VENTIL40	ÖSTER	1.0	0	0	0	0.00	-0.5	0.0	2.4	40.00	0.50
Ventilvardagsru	VENTIL40	SÖDER	1.0	0	0	0	0.00	-0.6	0.0	2.4	40.00	0.50
Ventilvardagsru	VENTIL40	NORR	1.0	0	0	0	0.00	-0.6	0.0	2.4	40.00	0.50
Köldbrygga	Köldbrygga	VÄSTER	0.5	0	0	0	12.00	0.7	0.0	5.0	2.88	0.65
Köldbrygga	Köldbrygga	ÖSTER	0.5	0	0	0	12.00	-0.5	0.0	5.0	2.88	0.65

## Driftdata

Driftfallsbenämning	Veckodagar	Dagnummer	Tid	Tilluft oms/h	Frånluft oms/h	Processenergi W/m <sup>2</sup>	Personvärme W/m <sup>2</sup>	Maxtemp °C	Mintemp °C
Östberg F Ny	MAND-SÖND	1-365	0-24	0.00	0.68	4.00	0.00	27.00	21.00

## Installationer:

Tryckhöjning Pa	Verkningsgrad %
Tilluftsfläkt 1	0.00
Frånluftsfläkt 30	2.73
Värmepump Kondensoreffekt	1400 W
Värmepump Värmefaktor	3.00
Värmepumpsenergi till uppvärmning av rum	
Värmepumpsenergi till uppvärmning av tappvarmvatten	
Värmeväxlare Energiverkningsgrad	0 %
Krav på energisparåtgärder enligt BBR kap 9:3	
Lägsta tilluftstemperatur	18.00

Energiförbrukning för tappvarmvatten	
Energiförbrukning per lägenhetsarea	2.05 W/m <sup>2</sup>
Energiförbrukning per lägenhet	205.0 W/lgh
Värmeåtervinning från spillvatten till tappvarmvatten	
Verkningsgrad	0.00 %

## RESULTAT

### Aktuellt Hus

Period	Avgiven energi kWh			Tillförd energi kWh			Process		
	Transmission	Luftläckning	Ventilation	Varmvatten	Kylning	Solenergi	Återvinning	Person	Uppvärmning
Månad 1	1597	2	1011	336	0	20	694	357	1873
Månad 2	1461	5	931	303	0	31	627	323	1718
Månad 3	1662	3	1061	336	0	84	694	357	1929
Månad 4	1164	0	795	325	0	412	598	346	932
Månad 5	735	0	583	336	110	826	329	357	284
Månad 6	547	0	470	325	156	781	220	346	149
Månad 7	411	0	386	336	382	775	229	357	155
Månad 8	477	0	404	336	162	607	231	357	156
Månad 9	687	0	488	325	0	242	501	346	408
Månad 10	979	0	646	336	0	65	672	357	865
Månad 11	1402	3	897	325	0	30	672	346	1579
Månad 12	1447	4	925	336	0	16	694	357	1641

## Referenshus

Period	Avgiven energi kWh					Tillförd energi kWh			
	Trans- mission	Luft- läckning	Venti- lation	Varm- vatten	Kyl- ning	Sol- energi	Ater- vinning	Process Person	Upp- värmning

## Nyckeltal

	Referenshus	Aktuellt hus	
Inre värmekapacitet	25.01	40.54	Wh/m <sup>2</sup> °C
Yttre värmekapacitet	24.91	220.89	Wh/m <sup>2</sup> °C
Medeltemperatur	20.00	21.00	°C
Medelvärde ventilation	0.68	0.68	oms/h
Processenergi medel	4.00	4.00	W/m <sup>2</sup>
Personenergi medel	0.00	0.00	W/m <sup>2</sup>
U-värde medel	0.23	0.35	W/m <sup>2</sup> °C
U-värde max tillåtet		0.30	W/m <sup>2</sup> °C
Omslutningsarea		253.63	m <sup>2</sup>
Summa U-värde * Area	58.08	87.79	W/°C
Luftläckage vid 50 Pa		740.30	m <sup>3</sup> /h

## Jämförelse energibalans Referenshus - Aktuellt hus

	Referenshus	Aktuellt hus
Avgiven energi kWh		
Transmission omslutningsytor	8759	12571
Luftläckage	1835	17
Ventilation	7822	8597
Tappvarmvatten	3951	3951
Kylning	1359	810
Tillförd energi kWh		
Solenergi	3888	3888
Energiåtervinning	3620	6161
Personenergi	0	0
Processenergi	4205	4205
UPPVÄRMNING	12012	11690
Uppvärmning per golvarea kWh/m <sup>2</sup>	100	97
Elförbrukning som ingår i UPPVÄRMNING		
El till värmepump	0	3081
El till tilluftsfläktar	0	0
El till frånluftsfläktar	0	481

## Ekonomiresultat

	Referenshus	Aktuellt hus	
Uppvärmning Rum & Tilluft	8061	7258	SEK
Processenergi	4205	4205	SEK
Elenergi fläktar	0	481	SEK
Tappvarmvatten	3951	3951	SEK
Totalt	16216	15895	SEK