

Värmeåtervinning i ventilationssystem

– En fallstudie av verkningsgraden i regenerativa centralvärmväxlare i flerbostadshus



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Bygg- & Miljöteknik / Instalations- & klimatiseringslära

Examensarbete:
Viktor Hendess
Joakim Larsson

© Copyright Viktor Hendess, Joakim Larsson

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2012

Sammanfattning

Detta examensarbete handlar om verkningsgraden hos roterande värmeväxlare. Verkningsgraden beskriver hur mycket energi (värme) som kan återvinnas ur luftmassor som ventileras ut ur byggnader det kan även vara fukt som återvinns. En hög verkningsgrad ger en hög återvinningsfaktor, sålunda en låg verkningsgrad ger en låg återvinningsfaktor.

Det är av intresse när nya hus projekteras att kunna beräkna hur stora driftskostnaderna blir, därför är det viktigt att alla material, installationer och apparaturer lever upp till deras specificerade egenskaper.

Verkningsgraden för roterande värmeväxlare testas enligt standarden SS-EN308. Den beskriver vilka förhållanden som ska råda då verkningsgraden provas i ett laboratorium.

Verkningsgraden hos värmeväxlare testas i ett laboratorium vid givna och konstanta förhållanden. Det görs eftersom resultaten ska kunna jämföras med andra modeller som prövas och för att få en säkerhet i provresultaten. Ett problem som uppstår är då aggregaten används i verkligheten råder aldrig givna och ännu mindre konstanta förhållanden. Därför har författarna beräknat verkningsgraden för två olika centralaggregat vid verklig användning och jämfört resultatet med tillverkarens specifikationer.

Författarna fann att verkningsgraden vid verklig användning var 77 % för det ena huset och 83 % för det andra.

I arbetet ingår även en kort branschundersökning där författarna tagit kontakt med Mats Öberg på NCC som har kunskap och erfarenhet av roterande värmeväxlare.

Nyckelord: Värmeväxlare, temperaturverkningsgrad, SS-EN308

Abstract

This thesis is about the efficiency of the rotary heat exchangers. The efficiency describes how much energy (heat) that can be recovered from the air mass that are vented out of the building. It can also refer to the amount of moisture recovered. A high efficiency gives a high recovery factor, and a low efficiency, a low recovery factor.

It is of interest when new homes are designed to be able to calculate the operating costs, so it is important that all materials, installations and apparatus meet their specifications.

The efficiency of rotary heat exchangers are tested according to SS-EN308. It describes the conditions that should be used when efficiency is tested in a laboratory.

The efficiency of the heat exchangers are tested in a laboratory at given and constant conditions. This is done so that the results are comparable with other models being tested and to get accurate test results. A problem that arises is that the aggregates used in the real world never have constant conditions. Therefore, the authors calculated the efficiency of two different central units in actual use, and compared the results with the manufacturer's specifications.

The authors found that the thermal efficiency in reality was 77% for one house, and 83% for the other.

The work also includes a brief industry survey where the authors made contact with Mats Öberg at NCC who has knowledge and experience in rotary heat exchangers.

Keywords: heat exchangers, thermal efficiency, SS-EN308

Förord

Som grund till detta examensarbete fanns en idé från Dennis Johansson och Stephen Burke som berör osäkerheten i temperaturverkningsgrad för värmeväxlare vid verklig användning. Den deklarerade verkningsgraden utreds i ett laboratorium enligt ett standardiserat testutförande. Verkliga driftsförhållanden är annorlunda och det finns en osäkerhet beträffande verkningsgraden vid verklig användning.

Stort tack till både Dennis Johansson och Stephen Burke som har agerat som examinerare samt handledare på detta examensarbete, kommit med värdefull input och tillhandahållit med sin expertis inom ämnet.

Vi vill tacka Mats Öberg på NCC för att ha ställt upp på en intervju samt gett oss tillgång till ett annat examensarbete som berör nästan samma sak.

Erik Österlund på Svensk Ventilation och Mikeal Lönnberg på Systemair vill vi ägna ett tack till för hjälpen med ånghaltsberäkningarna. Dessvärre kunde dessa inte presenteras eftersom vi kom fram till att mätutrustningen inte fungerade korrekt vid mättillfället.

Vi vill även ägna ett tack till alla som hjälpt och stöttat oss under arbetets gång, men även för möjligheten att vi har fått genomföra detta examensarbete. Sist vill vi även tacka våra nära och kära samt varandra för ett gott samarbete.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problemformulering	1
1.3 Syfte	3
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Metod	3
2 Ventilation Teori	4
2.1 Regenerativ värmeväxlare	5
2.2 Temperaturverkningsgrad	6
3 Utrustning	7
3.1 Swegon Gold RX Allmänt	7
3.2 Swegon Gold RX mekanisk konstruktion	7
3.3 Loggrar	7
4 Certifiering	8
4.1 Eurovent	8
5 Beskrivningar av beräkningar avseende flerbostadshus i Umeå 9	
5.1 Temperaturverkningsgrad	10
5.2 Medelenergiåtervinningsgrad	12
5.3 Presentation av diagram	12
5.3.1 Hus 1	12
5.3.2 Hus 2	18
6 Branschundersökning	24
7 Analys och diskussion	27
7.1 Hus 1	27
7.2 Hus 2	28
8 Slutsatser	30

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Energi- och klimatfrågor är ett av vår tids mest diskuterade problem. Många olika vetenskapliga undersökningar och ett stort antal olika rapporter har skrivits inom ämnet. Även om NASA har sedan en lång tid samlat in diverse data för klimatforskning och några av deras senaste resultat tyder på att årsmedeltemperaturen för hela jordklotet jämnar ut sig och går mot en minskning. (NASA Klimatforskning, 2013), tyder en stor del av all forskning som gjorts på att vi går mot en global uppvärmning. Vi måste minska vårt koldioxidutsläpp och börja använda mindre energi. Detta leder till högre krav på energihushållning och nya standarder som tvingar tillverkarna att utveckla nya lösningar för en minskad energianvändning. (Europalagstiftningen, 2012)

Boverkets byggregler har ett antal olika krav på byggnader när det gäller energihushållning. Kraven avser hur mycket energi som högst får tillämpas för att värma eller kyla en byggnad (BBR 18, 2011). Energiåtervinning i form av värmeåtervinning i till och frånluft är ett alternativ för att minska energianvändningen för en byggnad.

Värmeåtervinningssystem har en viktig roll när det gäller energianvändning i byggnader. Kan man minska energin som används för att värma bostäder sparar man inte bara pengar utan även på de resurser som används för uppvärmningen.

Den aktiva delen i ett värmeåtervinningssystem är en värmeväxlare och den fungerar genom att återanvända värmen i frånluften för att värma tilluften. All värme kan inte återanvändas och verkningsgraden för värmeåtervinning är en viktig aspekt att beakta när man utför energibalansberäkningar för en byggnad. Överskattas verkningsgraden kan det leda till ett större energibehov än beräknat vilket i sin tur leder till högre driftskostnader och högre miljöpåverkan.

1.2 Problemformulering

Verkningsgraden för värmeväxlare definieras som: $\eta_{tilluft} = \frac{T_{till} - T_{ute}}{T_{från} - T_{ute}}$

Definitionsmässigt kan bara temperaturverkningsgraden ligga i intervallet 0 till 1. En hög verkningsgrad ger ett högt utbyte av värme.

Verkningsgraden för olika värmeväxlare certifieras enligt Eurovents certifiering där verkningsgraden bestäms vid konstanta förhållanden (konstanta temperaturer, lika relativ fuktighet) i ett laboratorium. När

aggregaten sedan används efter installation är förhållandena skiftande. Detta medför att en osäkerhet i vad den verkliga verkningsgraden är kan uppstå. Verkningsgraden är beroende av tilluft, frånluft och utelufts- temperaturerna, där endast tillufts- och frånluftstemperaturen ska vara nästintill konstanta. För att få tillräckligt hög temperatur på tilluften kan ett extra värmebatteri användas för att värma luften precis innan den går in som tilluft för att undvika att temperaturen sjunker inomhus.

Byggnader bör uppfylla utlovad energiprestanda och ett värmeåtervinningssystem behöver uppfylla sin deklarerade prestanda för att inte få ökade driftskostnader. Intresse finns att undersöka verkningsgraden i värmeväxlare. Den angivna verkningsgraden mäts enligt standardiserade tester i laboratorium men förhållanden i laboratoriet skiljer sig från verkliga driftsförhållanden.

Om ett visst aggregat har en deklarerad verkningsgrad på 85 % men levererar endast 80 % kommer det att leda till att extra uppvärmning kan behöva användas, det i sin tur leder till högre driftkostnader för byggnaden än projekterat. För att undvika detta bör värmeväxlaren leva upp till deklarerad prestanda för att undvika detta problem. Det finns ett intresse både för tillverkaren att göra en bra produkt samtidigt som projektörer vill ha en större säkerhet i byggnadens funktionsegenskaper.

Fukt är också ett problem i byggnader och en följd av transport av luft är transport av fukt. Luft vid olika temperaturer och olika relativ fuktighet (härefter RF) innehåller olika mycket vattenånga. Luft vid ett givet tryck och temperatur har en gräns för hur stor mängd vattenånga luften maximalt kan innehålla, överskrids denna gräns kommer kondens att uppstå. Kall luft har en sämre förmåga att innehålla vatten än varm luft. Detta blir ett problem när varm frånluft går genom värmeväxlaren för att värma den kalla uteluften för att sedan bli kall avluft. I det flödet kommer luftens förmåga att innehålla vattenånga att sjunka. En följd av detta kan då bli att vatten stannar i växlaren och följer med tilluften tillbaka in i byggnaden och vi har därmed fått en fuktåtervinning. (Nevander och Elmarsson, 2008)

1.3 Syfte

Syftet med examensarbete är att undersöka om temperaturverkningsgraden som tillverkare angivet stämmer överrens med verklig prestanda.

Examensarbetet är begränsat till mätningar på centralaggregat i flerbostadshus. Aggregaten är av från- och tilluftssystem med värmeväxling (FTX). Mätningarna är utförda på två identiska flerbostadshus i Umeå med samma typ av värmeåtervinningssystem.

1.4 Avgränsningar

Författarna har undersökt om den deklarerade verkningsgraden stämmer med utgångspunkt från temperaturskillnader. Det fanns även ambition att undersöka fuktåtervinningen genom ånghaltsverkningsgraden, men ånghaltsverkningsgraderna gick inte att presentera på grund av att mätutrustningen inte fungerade som den skulle under mätperioden. Arbetet omfattar inte vad som händer med verkningsgraden då frysning av avluft uppstår, eftersom det troligen inte inträffade under mätperioden.

1.5 Metod

Genom mätningar på aggregat har författarna undersökt om den deklarerade verkningsgraden stämmer överens med verklig prestanda. Författarna har även utfört en litteraturstudie för att bättre förstå hur värmeåtervinningssystem och värmeväxlare fungerar.

2 Ventilation Teori

Ett ventilationssystem har fyra grundläggande funktioner:

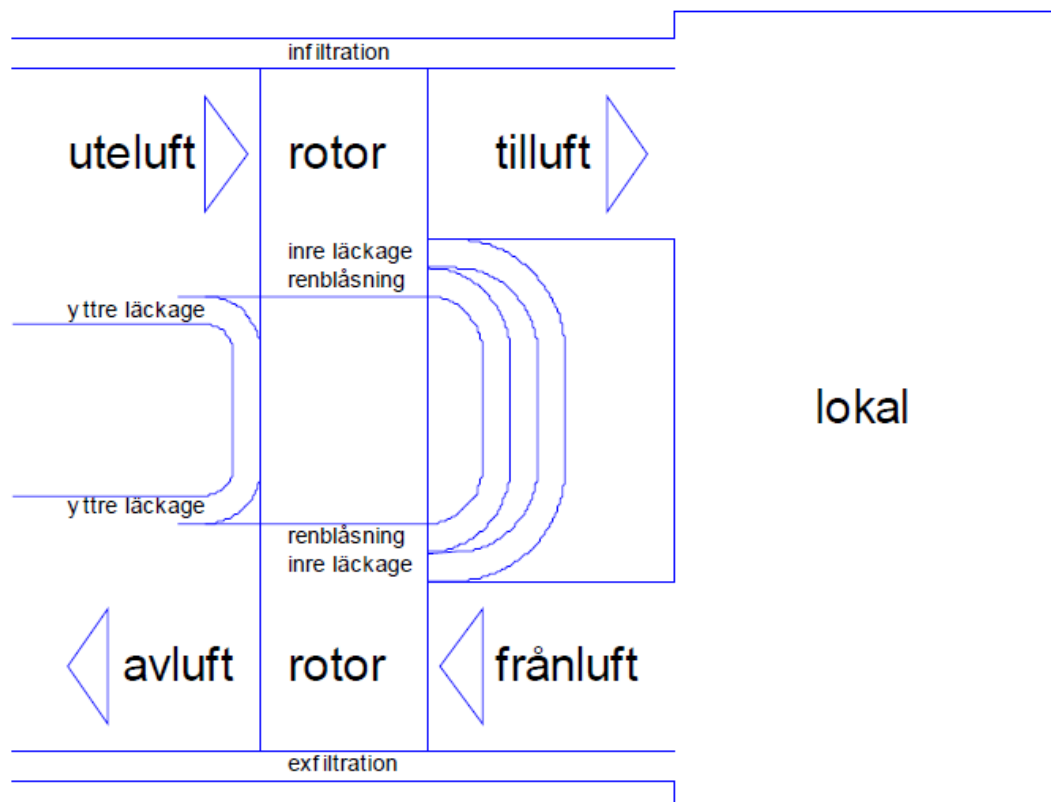
- Förnya inomhusluften genom att tillföra frisk luft och föra bort förorenad luft
- Förhindra och eliminera luftföroreningar i byggnaden
- Skapa ett undertryck inomhus
- Värma eller kyla klimaten inomhus

Det är viktigt att det är hög luftkvalité inomhus för att förebygga för höga koldioxidhalter, fukthalter och andra luftföroreningar som kan leda till obehagligt inomhusklimat. Vistas människor en längre tid i inomhusklimat med dåliga luftförhållanden kan olika sjukdomar som astma och allergier utvecklas (Warfinge och Dahlblom, 2010).

Ett ventilationssystem är uppbyggt med fyra huvudkomponenter:

- Till- och frånluftsdon i rummet
- Distributionssystem med kanaler för transport av luften
- Luftbehandlingsaggregatet, värmeväxlaren
- Styr och reglersystem för tryck, temperatur och flöden

Vidare finns det olika typer av system, i detta arbete har man kollat på ett av typen till- och frånluftssystem med värmeåtervinning, typ FTX. Det är ett system där uteluften tas in genom ett FTX-aggregat där luften kan filtreras, värmas eller eventuellt kylas. Värmning eller kylning sker i en värmeväxlare samt med ett värme- eller kylbatteri beroende på vilket som är nödvändigt för att få väntat resultat (Warfinge och Dahlblom, 2010).



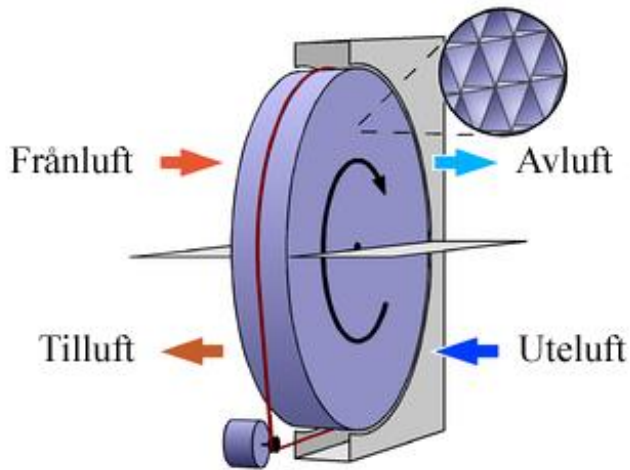
Figur 1.1 Principskiss för luftflöden (Jensen, 2011).

Figur 1.1 visar en schematisk skiss över luftflödena i en värmepåbyggnad.

2.1 Regenerativ värmepåbyggnad

Värmepåbyggnadens funktion är att ta tillvara på värmeenergin i frånluften för att värma tilluften. En roterande värmepåbyggnad (regenerativ) är uppbyggd av ett rotorhjul med ett stort antal små aluminiumkanaler för lufttransport. Varm frånluft värmer upp kanalerna när den passerar och kanalerna värmer i sin tur upp tilluften (Jensen, 2006).

I de värmepåbyggnader som undersökts har uteluften värmts av värmepåbyggnad till en temperatur som inte är tillräcklig för att hålla 19° C. För att få en behaglig temperatur på tilluften värms luften ytterligare av ett värmebatteri till ca 19° C innan den går in till rummet. I de fall då värmepåbyggnaden klarat av att värma luften tillräckligt har värmebatteriet inte använts för ytterligare uppvärmning.



Figur 2.1 Roterande värmeväxlare i genomskärning.

2.2 Temperaturverkningsgrad

Temperaturverkningsgraden beskriver en värmeväxlarens förmåga att återvinna värme och har betecknas η . Temperaturverkningsgraden definieras som kvoten mellan temperaturändringen vid ett visst flöde samt den teoretiskt eller största möjliga temperaturändringen, vilket är skillnaden mellan de två flödenas inloppstemperaturer.

Temperaturverkningsgraden är en apparatkonstant, vilket betyder att den beror på den värmeväxlarens storlek, material och värmeövergångstalet på båda sidor om den värmeförande ytan (Warfinge och Dahlblom, 2010).

Verkningsgraden kan endast ligga i intervallet 0 till 1 (0 till 100 %), där 1 betyder fullständigt värmeutbyte. För att en jämn temperaturverkningsgrad skall kunna hållas måste värmeväxlaren vara ren och de filter som ingår måste rengöras eller bytas regelbundet (Bagge et al., 2004).

Temperaturverkningsgraden för en värmeväxlare kan skrivas med sambanden:

$$\text{För tilluft:} \quad \eta_{tilluft} = \frac{T_{till} - T_{ute}}{T_{från} - T_{ute}} \quad (\text{Ekvation 1})$$

$$\text{För frånluft:} \quad \eta_{frånluft} = \frac{T_{från} - T_{av}}{T_{från} - T_{ute}} \quad (\text{Ekvation 2})$$

3 Utrustning

3.1 Swegon Gold RX Allmänt

Aggregaten som finns i husen i Umeå är av typen Swegon Gold RX. Det är ett komplett luftbehandlingsaggregat med direktdrivna till- samt frånluftsfläktar, till- samt frånluftsfilter samt värmeväxlare. Värmeväxlaren är en roterande värmeväxlare. Aggregaten har ett inbyggt styrsystem som sköts via en handterminal. El- och styrsystemet är helt integrerat med aggregatet och den mikroprocessorbaserade utrustningen styr och reglerar temperaturer, luftflöden och övriga funktioner.

Aggregaten är certifierade med Eurovent nr AHU-06-06-319. Swegon AB har i sin tur certifierat kvalitetssystem enligt ISO 9001 och certifierat miljöledningssystem enligt ISO 14001.

3.2 Swegon Gold RX mekanisk konstruktion

Fläktarna består av typen GOLD Wing som är en unik axiradiell fläkt med inriktning på god eleffektivitet, jämn luftströmning och låg ljudnivå. Fläkten är framtagen av Swegon AB. Motorerna som driver fläktarna är högeffektiva i klass eff1, vilket innebär de mest energieffektiva motorerna enligt klassificering av EU och tillverkarorganisationen CEMEP.

Fläktmotorerna har frekvensomriktare för steglös varvtalsreglering och fläktarna har mättuttag för kontinuerlig mätning och reglering av luftflödet. Fläktarna är fixerade i sin position med låsrattar och klämband.

Swegon Gold RX har en deklarerad verkningsgrad som ska uppgå till 85 %. Värmebehovet regleras genom automatisk och steglös varvtalsreglering. Värmeväxlaren är försedd med en sektion för renblåsning. (Swegon produktinformation, 2012)

3.3 Loggrar

Loggrarna som använts för att mäta och registrera temperaturen är av märket Hobo U12-011. Det är en datalogger med 12-bits upplösning. Loggern kan göra mätningar i intervallet -20°C till 70°C och har en temperaturnoggrannhet på $\pm 0.35^\circ\text{C}$. För relativ fuktighet är osäkerheten $\pm 2.5\%$ i intervallet 5 % till 95 %. (Hobo produktinformation, 2012)

4 Certifiering

4.1 Eurovent

Eurovent är en organisation som bildades 1959 av den europeiska kommittén för konstruktörer av lufthanteringsutrustning. Eurovents syfte är att förbättra den tekniska utvecklingen inom tillverkning, idrifttagning och utveckling av material som är relevanta för luftbehandling, för att förbättra yrkesstatusen av dess medlemmar och för att underlätta handelsutbyte mellan de ingående länderna i forskning för bättre kvalitet i utrustning och antagandet av regler, direktiv och uppförandekoder i de ingående länderna i både tekniska och ekonomiska områden. (Eurovent, 2012)

I Eurovent certifieringen av luftbehandlingsaggregat ingår mätningar av tilluftens torra temperaturverkningsgrad enligt standarden SS-EN 308. Den är utformad för att testa en enskild värmeväxlare. När mätningarna görs ser de till att temperaturgivare är placerad på sådant vis att fläktarnas inverkan på temperaturen inte kommer med i resultatet.

SS-EN 308 specificerar olika metoder för att fastställa prestanda för luft-till-luft värmeåtervinningsaggregat. Standarden beskriver testmetoder för att mäta externt luftläckage, internt läckage från avluft till tilluft, temperatur, luftfuktighet samt tryckskillnaden över avluften och tilluften.

Referensförhållandena för luft vid olika tester ska vara luft med en densitet på $1,20 \text{ kg/m}^3$, dynamisk viskositet på $18,2 \cdot 10^{-6} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$ och ett tryck på 101,3 kPa (standardtryck). Luft vid 101,3 kPa med en temperatur på 20°C och en relativ fuktighet på 50 % har ungefär dessa egenskaper.

Luftläckaget bestäms genom ett test med ett positivt och negativ tryck på 400 Pa relativt till omgivande förhållanden. De mätta massflödena vid positivt och negativt tryck ska testas och presenteras som en andel av det nominella flödet. Luftdensiteten ska vara mellan $1,16 \text{ kg/m}^3$ och $1,24 \text{ kg/m}^3$. (SS-EN308).

5 Beskrivningar av beräkningar avseende flerbostadshus i Umeå

Under våren 2012 utfördes mätningar på värmeväxlarna i centralaggregat i två flerbostadshus i Umeå. Med hjälp av dessa mätningar kan den verkliga verkningsgraden för värmeväxlarna beräknas och ge mer klarhet i vad det är som påverkar verkningsgraden positivt respektive negativt. Dessutom jämförs de verkningsgrader som tas fram med det tillverkaren uppger.

För att få så exakta resultat som möjligt togs det bort orimliga värden från mätningarna. Värden i början och i slutet av mätningarna har tagits bort så att inga felmätningar under installering av loggrarna ska finnas med. Det intressanta fallet är när växlaren utnyttjas för fullt. Detta kan kontrolleras genom att mäta rotorvarvtalet, eller som här genom att jämföra temperaturen före och efter värmebatteriet. Värden där temperaturskillnaden mellan tilluften efter värmningsbatteriet och temperaturen i värmeväxlaren som var mindre än 0,2 °C togs därför bort. Där inget annat angivits presenteras enbart data då rotorn har gått för fullt.

Loggrarna som användes under testerna mätte temperaturen och den relativa fuktigheten, eftersom det finns en viss felmarginal i loggrarna beräknades även de värsta och bästa fallen. Temperaturmätningarna kunde variera med $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$, enligt ekvation 1 är värsta fall när uteluften är $+0.35^{\circ}\text{C}$ och när frånluften är -0.35°C . När det gäller den relativa fuktigheten visade det sig genom olika beräkningar att ju fuktigare det är desto sämre verkningsgrad blir det, därför används +0.3% på den relativa fuktigheten, som är felmarginalen för dessa mätningar. Ånghalten beräknade med hjälp av ett program utvecklat för att räkna ut ånghalten för många olika poster (Converter, Stephen Burke), alla övriga beräkningar är gjorda för hand eller i Microsoft Excel.

Genom att använda ekvation 1 fick vi fram tilluftsverkningsgraden för varje tidpunkt under mätperioden, med hjälp av dessa kunde det jämföras med de olika förhållanden som skulle kunna påverka prestandan av värmeväxlaren. För att på ett tydligt sätt kunna jämföra verkningsgraderna med de olika förhållandena ställs dessa upp i olika diagram med verkningsgraden som funktion av förhållandena. Det samma gjordes för frånluftsverkningsgraden med hjälp av ekvation 2 eftersom det inte framgår vilken metod som företagen som gör värmeväxlarna använder.

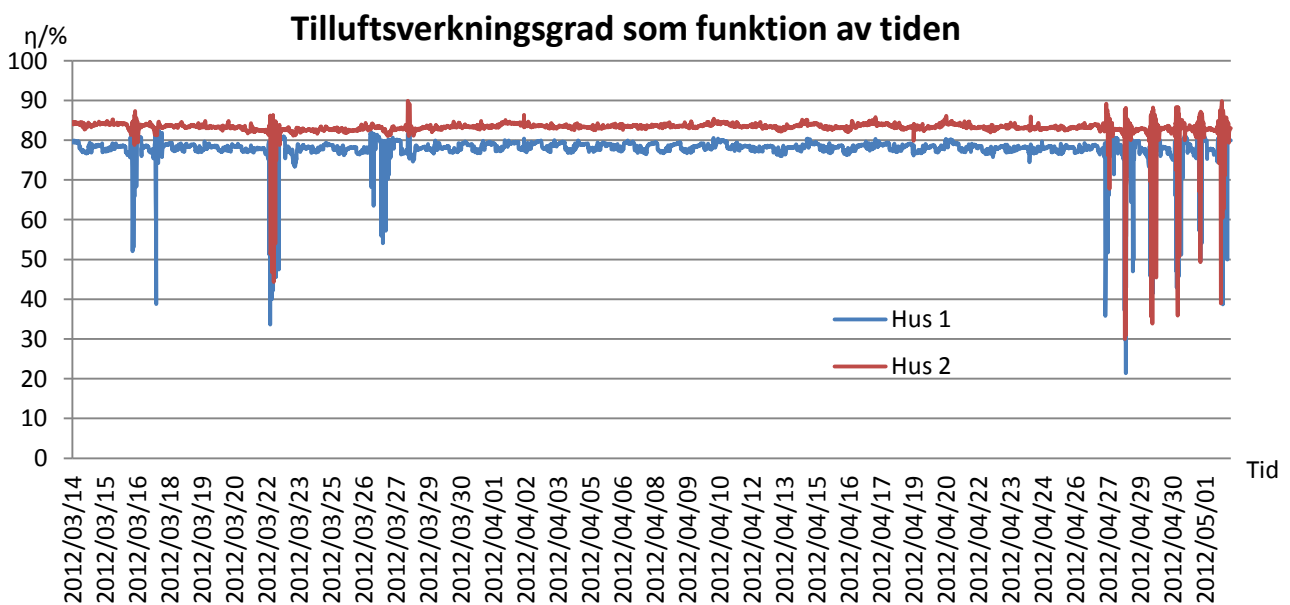
Författarna har valt att kalla de två olika husen för Hus 1 samt Hus 2, husen i sig är nästan identiska och har samma sorts värmeväxlare. Det som skiljer husen åt är hur de bosatta lever, till exempel hur mycket värme eller fukt de producerar.

Tabell 5.1 Medelvärde i temperaturskillnader.

Medelvärden av temperaturskillnader mellan hus 1 och hus 2	
Uteluftstemperatur	0,18°C
VVX temperatur	0,51°C
Frånluftstemperatur	1,78°C
Avluftstemperatur	0,37 °C

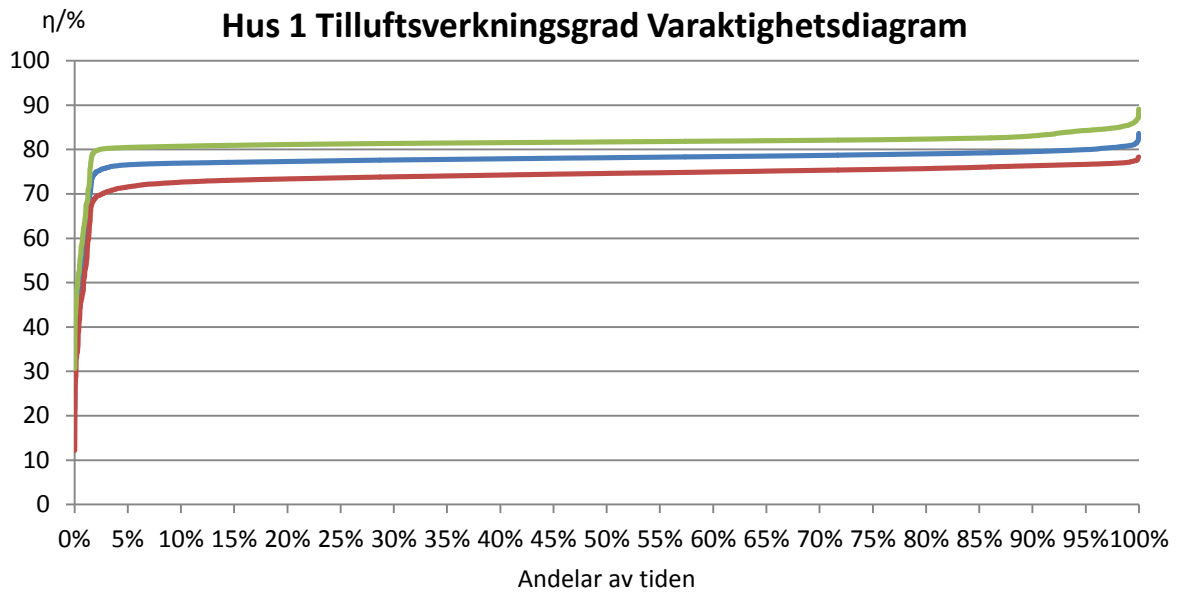
I tabell 5.1 presenteras medelvärdena för de olika temperaturskillnaderna från hus 1 och hus 2. Det är tydligt att frånluftstemperaturen skiljer sig mest och det är hus 1 som har högre frånluftstemperatur, det gäller för alla värden.

5.1 Temperaturverkningsgrad



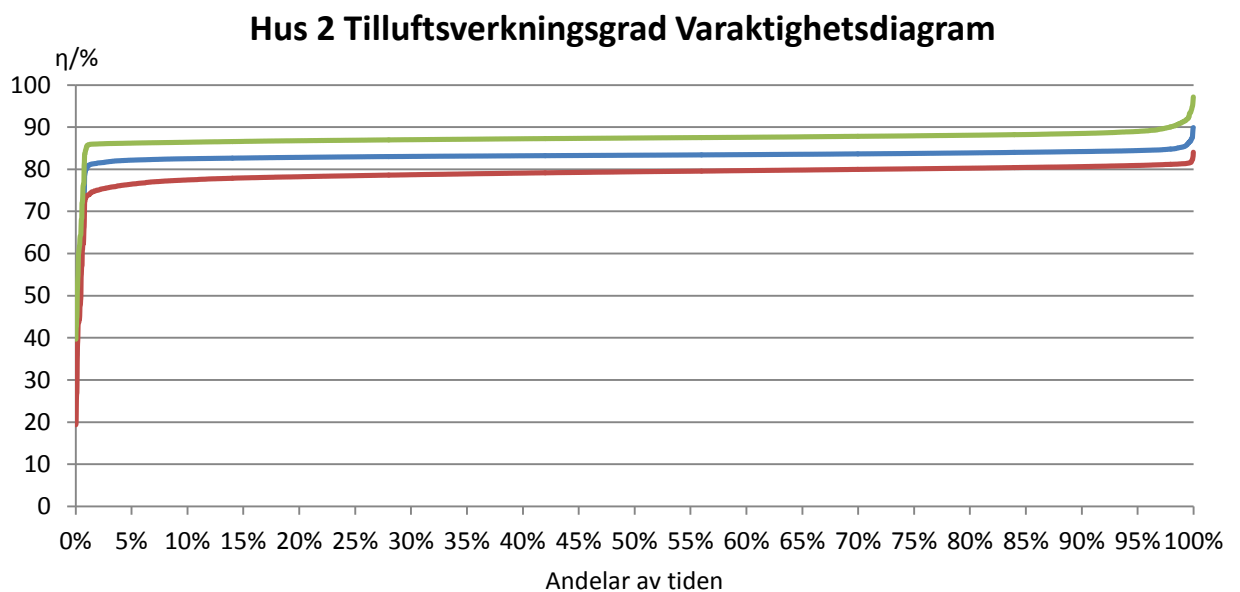
Figur 5.1 Tilluftsverkningsgrad som funktion av tiden.

I figur 5.1 presenteras tilluftsverkningsgraden över hela mätperioden. För hus 1 var medeltilluftsverkningsgraden 77,8 % och för hus 2 var den 83,1 %.



Figur 5.2 Varaktighetsdiagram över tilluftsverkningsgrad för hus 1.

I figur 5.2 presenteras värdena för tilluftsverkningsgraden från lägst till högst. Detta har gjorts för att tydligare se avvikelser och hur stora dem är. Där den översta kurvan är **Bästa fall**, den mellersta är **normalfall**, och den understa är **värsta fall** baserat på loggrarnas feldata.



Figur 5.3 Varaktighetsdiagram över tilluftsverkningsgraden för hus 2.

I figur 5.3 presenteras värdena för tilluftsverkningsgraden från lägst till högst. Detta har gjorts för att tydligare se avvikelser och hur stora de är. Där den översta kurvan är **Bästa fall**, den mellersta är **normalfall**, och den understa är **värsta fall**.

5.2 Medelenergiåtervinningsgrad

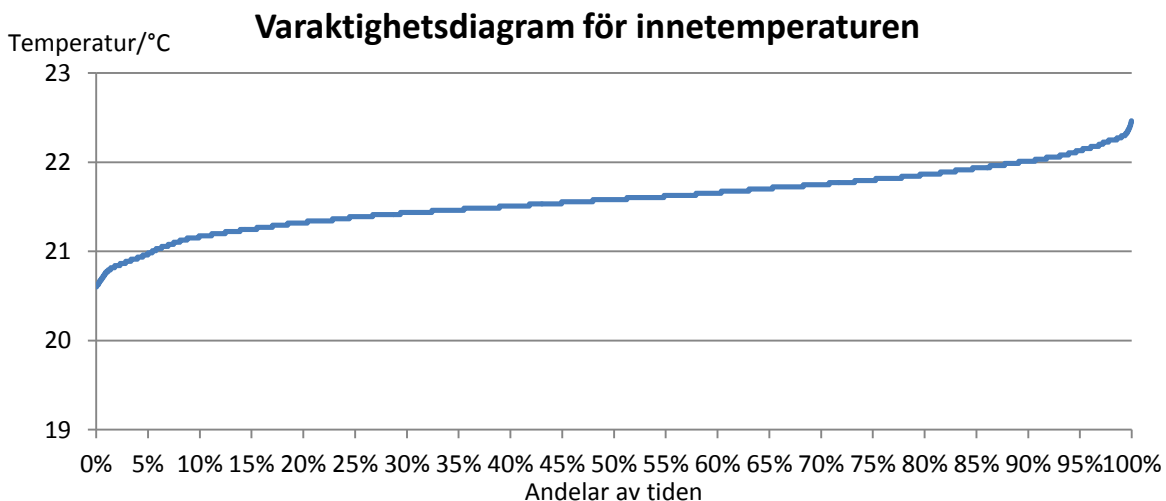
Eftersom verkningsgraden ger en högre effektåtervinning när det är kallt ute togs en medelenergiåtervinningsgrad fram som beror på frånluftstemperaturen, där summan av VVX-temperaturerna och ute temperaturerna delas med summan av tilluftstemperaturerna och utetemperaturerna ger en medelkvot på energiåtervinningsgraden. För hus 1 blir den ca 89 % och för hus 2 blir den ca 86 %. Dessa kvoter blir högre än medelverkningsgraden eftersom frånluften är varmare än vad man vill att tilluften ska vara.

5.3 Presentation av diagram

Här presenteras diagrammen som tagits fram genom de mätningar och beräkningar som gjorts på de två olika husen i Umeå. Husen presenteras var för sig, först presenteras Hus 1 sedan Hus 2. Värden där batteriet inte varit igång har tagits bort i alla diagram där inget annat angivits. Detta för att rotern ska gå på max effekt hela tiden och därför ha maximalt utbyte av värmeväxling.

5.3.1 Hus 1

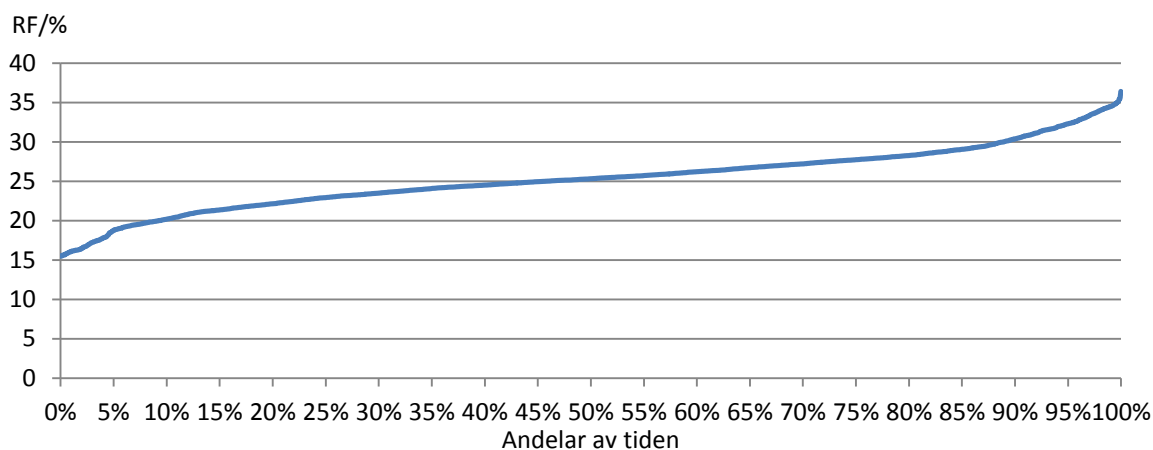
I figur 5.4–5.6 presenteras data för att få en uppfattning om hur klimatet har varit inomhus, samt folks beteende i hus 1.



Figur 5.4 Varaktighetsdiagram för innetemperaturen.

I figur 5.4 presenteras variationer i innetemperaturen. Det framkommer att temperaturen är relativt konstant och ligger oftast mellan 21-22°C.

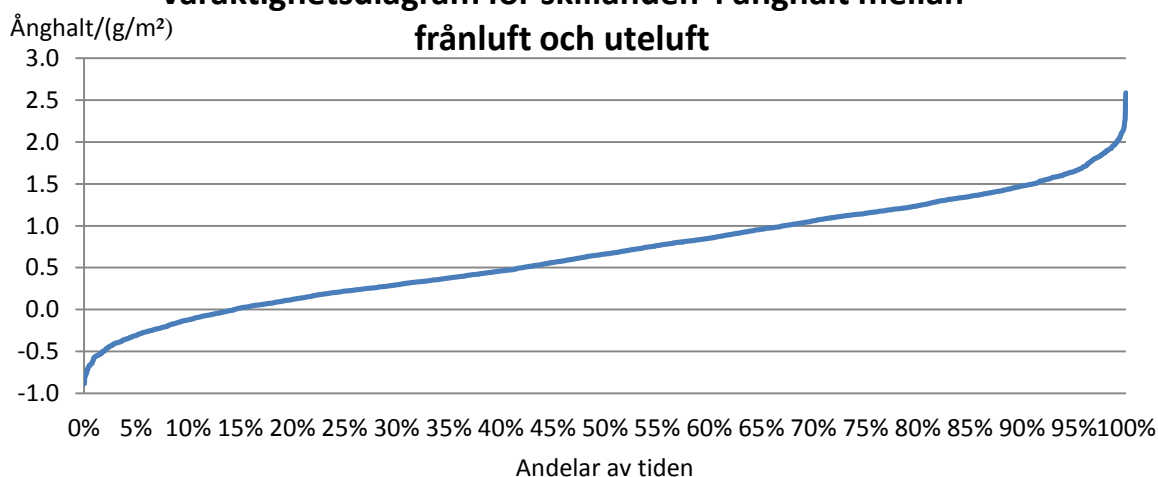
Varaktighetsdiagram för relativfuktighet inomhus



Figur 5.5 Varaktighetsdiagram för relativ fuktighet inomhus.

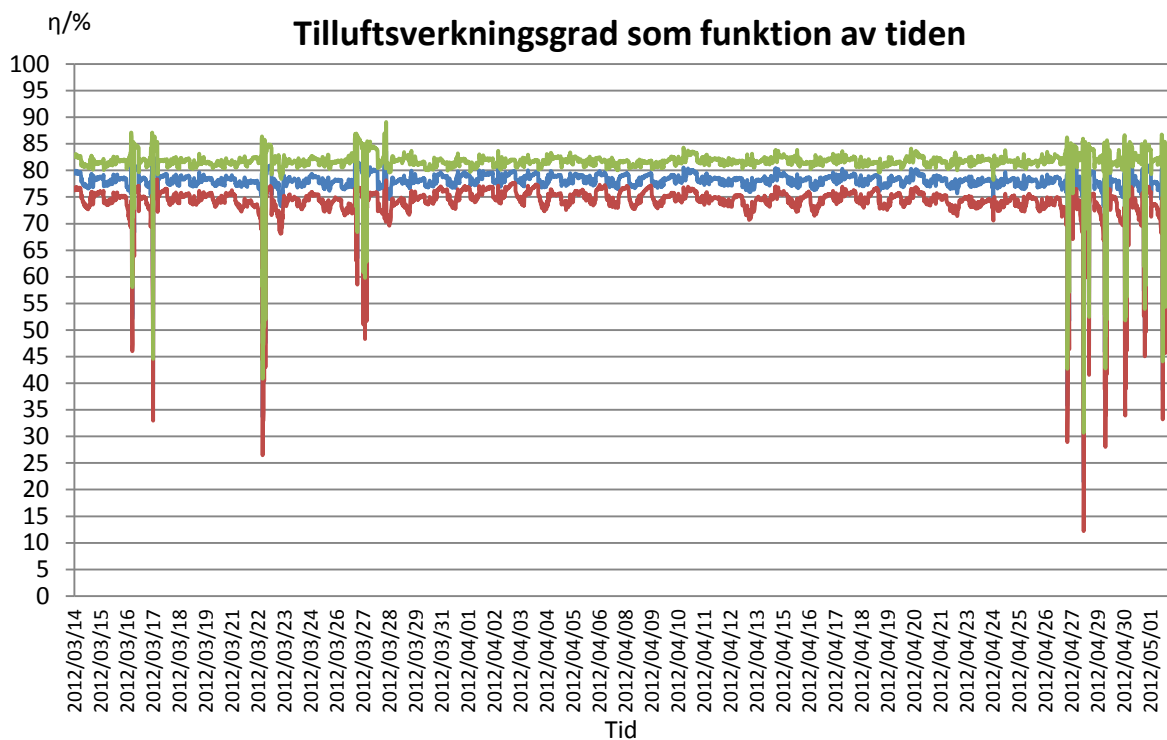
Figur 5.5 presenterar den relativa fuktigheten inomhus.

Varaktighetsdiagram för skillanden i ånghalt mellan frånluft och uteluft

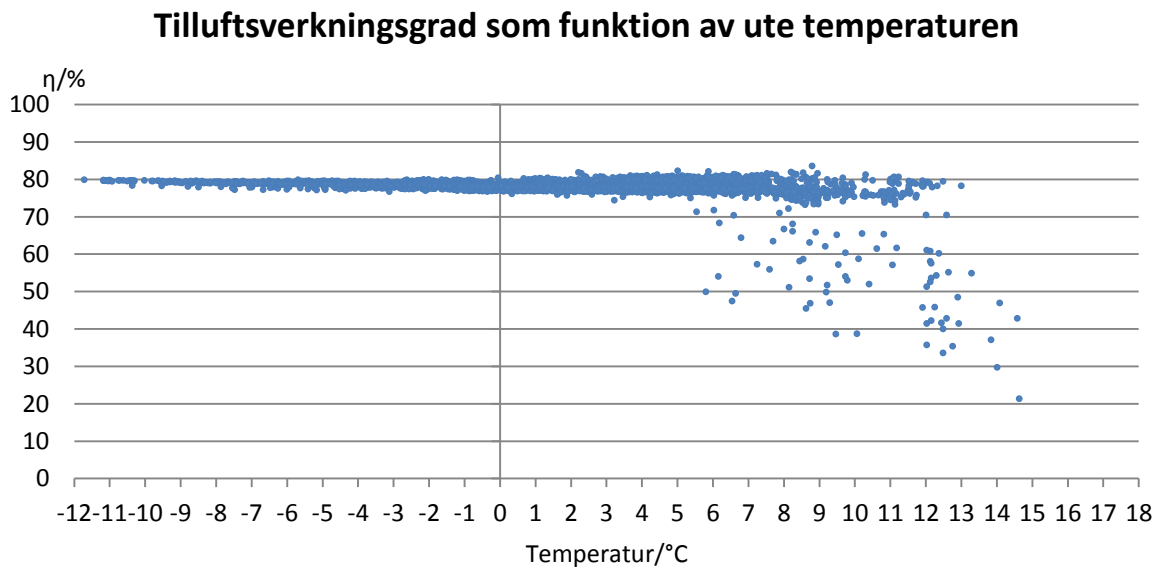


Figur 5.6 Varaktighetsdiagram för skillnaden i ånghalt mellan frånluft och uteluft.

Fuktillskottet framkommer av figur 5.6 och är ett mått på fuktillskottet, alltså folks beteende i huset.



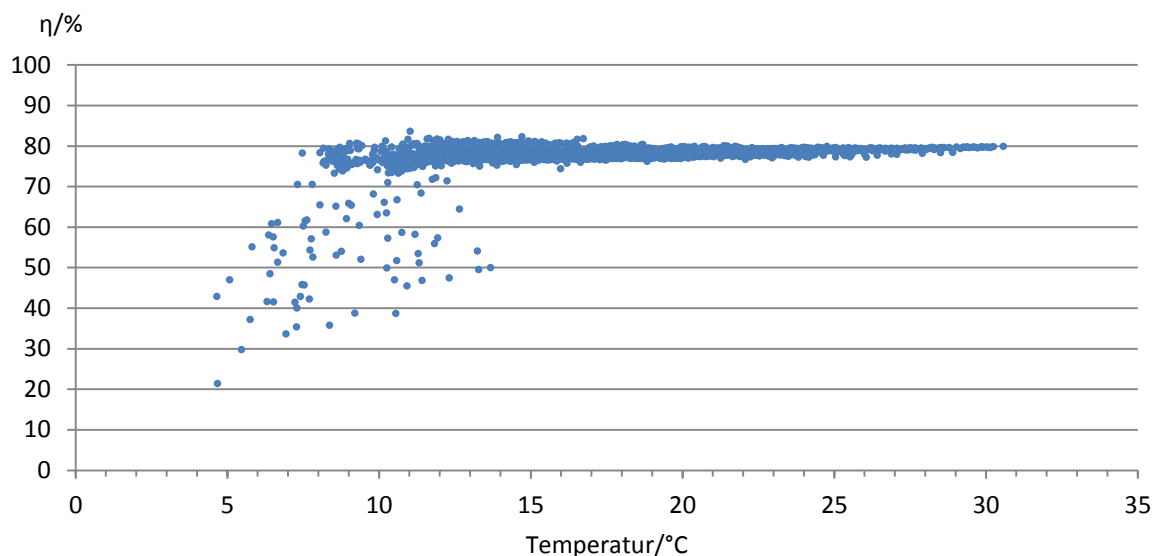
Figur 5.7 Tilluftsverkningsgrad som funktion av tiden. Där den översta kurvan är **bästa fall**, den mellersta är **normalfall**, och den understa är **värsta fall**.



Figur 5.8 Tilluftsverkningsgrad som funktion av utetemperaturen.

I figur 5.8 presenteras tilluftsverkningsgrad som funktion av utetemperaturen. Här är all relevant data med, dock har inga begränsningar gjorts för att få fram värsta fallet. Av detta kan vi se att en hög verkningsgrad kan uppnås när temperaturskillnaderna är stora, då utluftstemperaturen stiger och närmar sig tilluftens temperatur uppstår enstaka ogynnsamma avvikelser i tilluftsverkningsgraden.

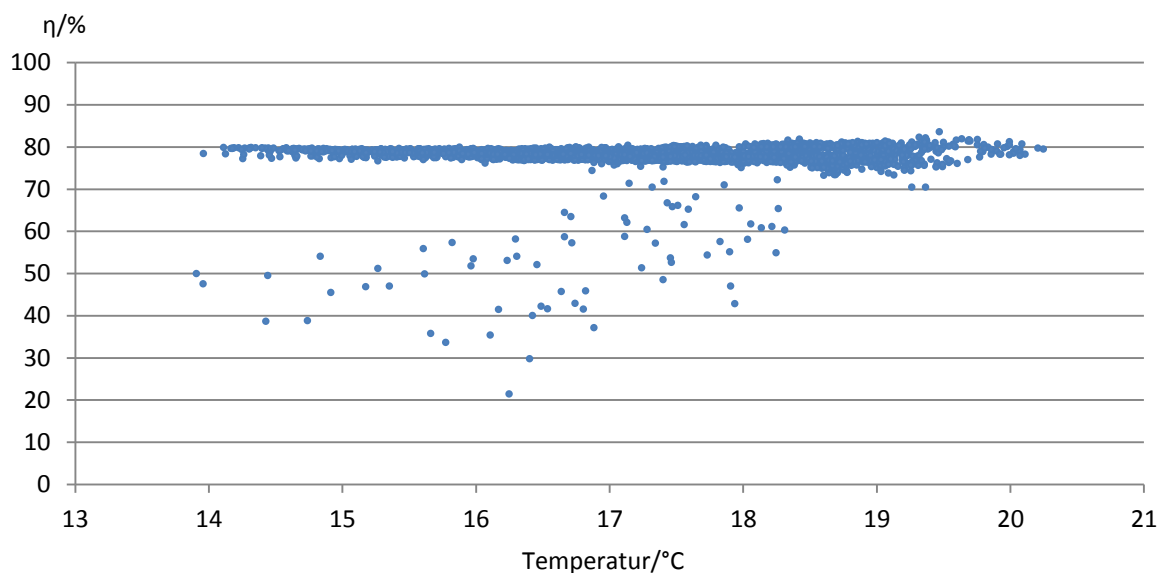
Tilluftsverkningsgrad som funktion av temperaturskillnad tilluft-uteluft



Figur 5.9 Tilluftsverkningsgrad som funktion av temperaturskillnaden tilluft-uteluft.

I figur 5.9 presenteras tilluftsverkningsgrad som funktion av temperaturskillnaden i tilluft och uteluft. Det syns tydligt att när det blir mindre temperaturskillnad har verkningsgraden en tendens att sjunka vid enstaka tillfällen och fenomenet blir mer frekvent desto mindre skillnaden är.

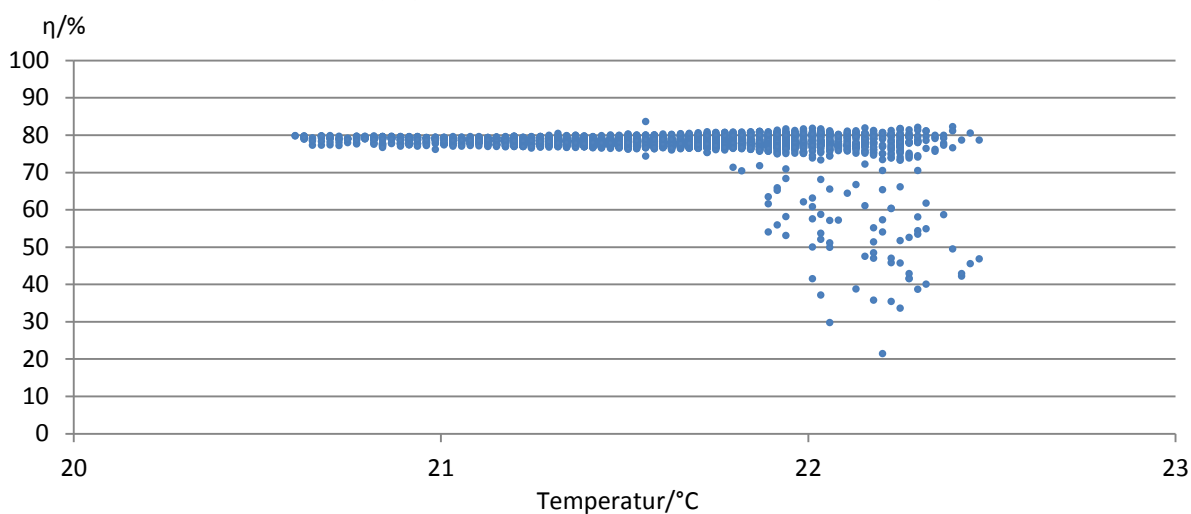
Tilluftsverkningsgrad som funktion av VVX-temperatur



Figur 5.10 Tilluftsverkningsgrad som funktion av VVX -temperatur.

I figur 5.10 presenteras tilluftsverkningsgrad som funktion av VVX-temperatur. VVX-temperaturen är mätt direkt efter värmeväxlaren alltså innan luften vid behov värms ytterligare till önskad temperatur.

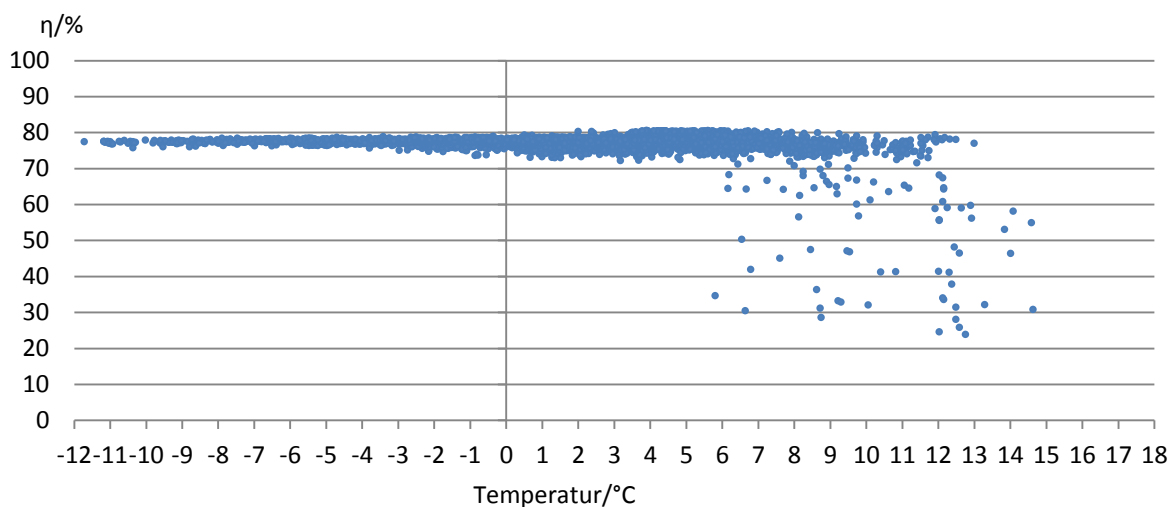
Tilluftsverkningsgrad som funktion av frånluftstemperatur



Figur 5.11 Tilluftsverkningsgrad som funktion av frånluftstemperatur.

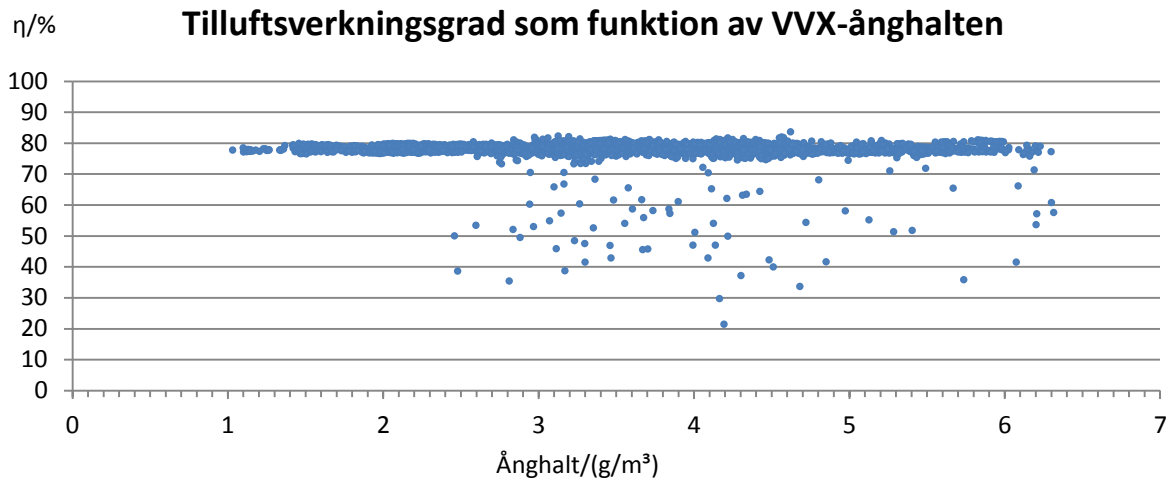
I figur 5.11 presenteras tilluftsverkningsgrad som funktion av frånluftstemperatur. Det är besynnerligt att tilluftsverkningsgraden har enstaka negativa värden då frånluftstemperaturen är högre, eftersom det är frånluften som värmer upp uteluften.

Frånluftsverkningsgrad som funktion av utetemperatur



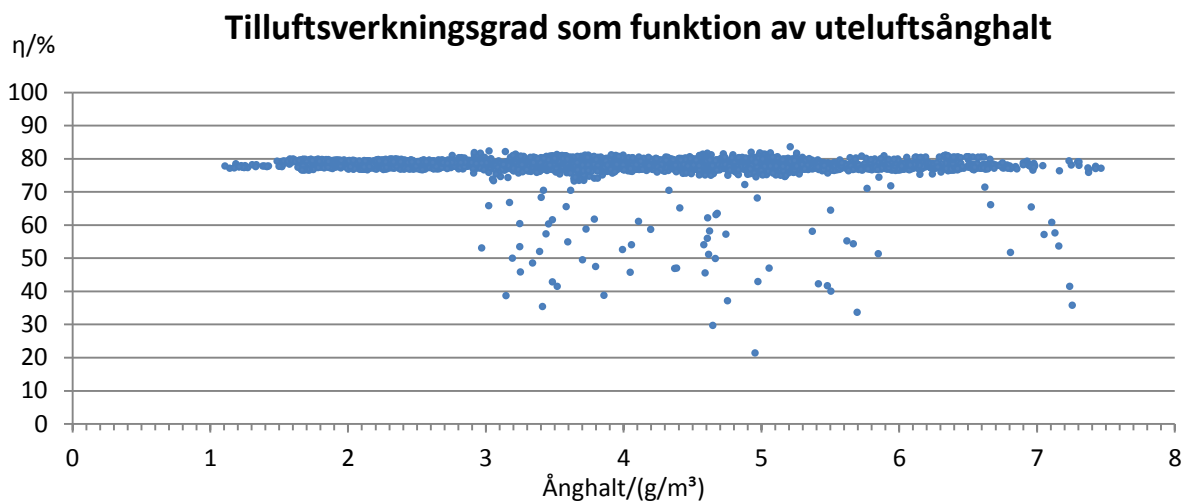
Figur 5.12 Frånluftsverkningsgrad som funktion av uteluftstemperatur.

I Figur 5.12 presenteras frånluftsverkningsgrad som funktion av uteluftstemperatur på samma sätt som tilluftsverkningsgraden presenteras i Figur 5.8. Vi ser samma fenomen som i Figur 5.8 att då temperaturen stiger uppstår enstaka ogynnsamma värden på verkningsgraden.



Figur 5.13 Tilluftsverkningsgraden som funktion av VVX-ånghalten.

Figur 5.13 presenteras tilluftsverkningsgrad som funktion av VVX-ånghalten. En hög VVX ånghalt gör att enstaka ogynnsamma värden på tilluftsverkningsgraden uppstår.

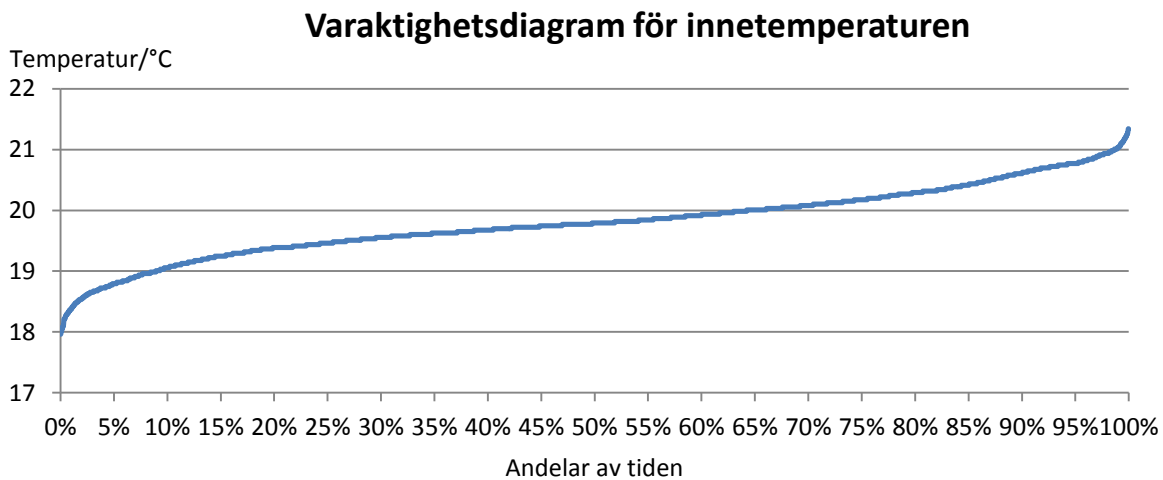


Figur 5.14 Tilluftsverkningsgrad som funktion av uteluftsånghalt.

I figur 5.14 presenteras frånluftsverkningsgrad som funktion av uteluftsånghalt. Här kan man ana att en ånghalt över 3 g/m^3 kan i vissa enstaka fall påverka verkningsgraden negativt.

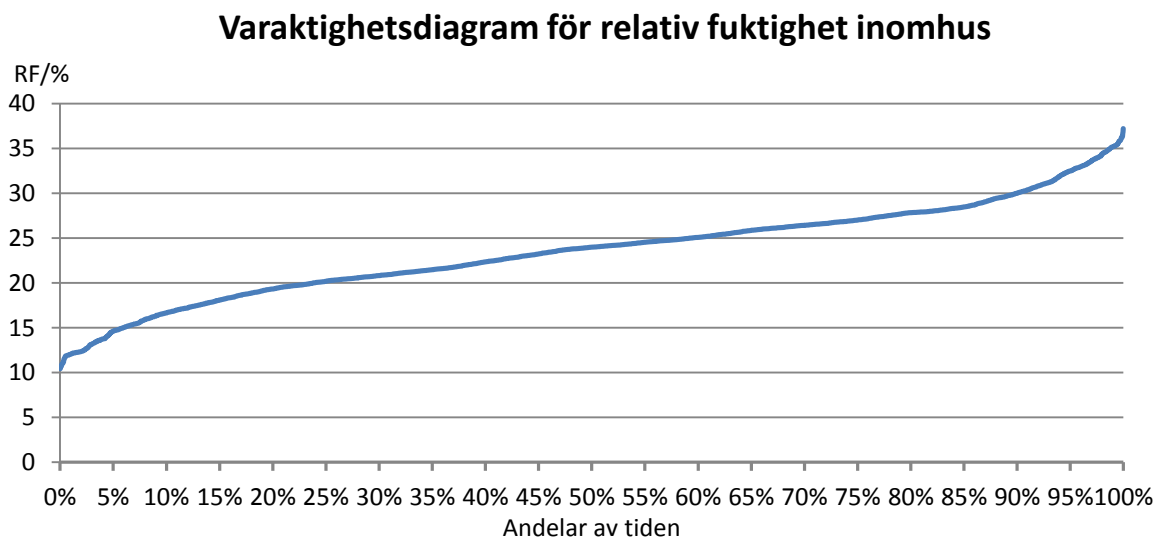
5.3.2 Hus 2

I figur 5.15–5.17 presenteras data för att få en uppfattning om hur klimatet har varit inomhus, samt folks beteende i hus 2.



Figur 5.15 Varaktighetsdiagram för innetemperaturen.

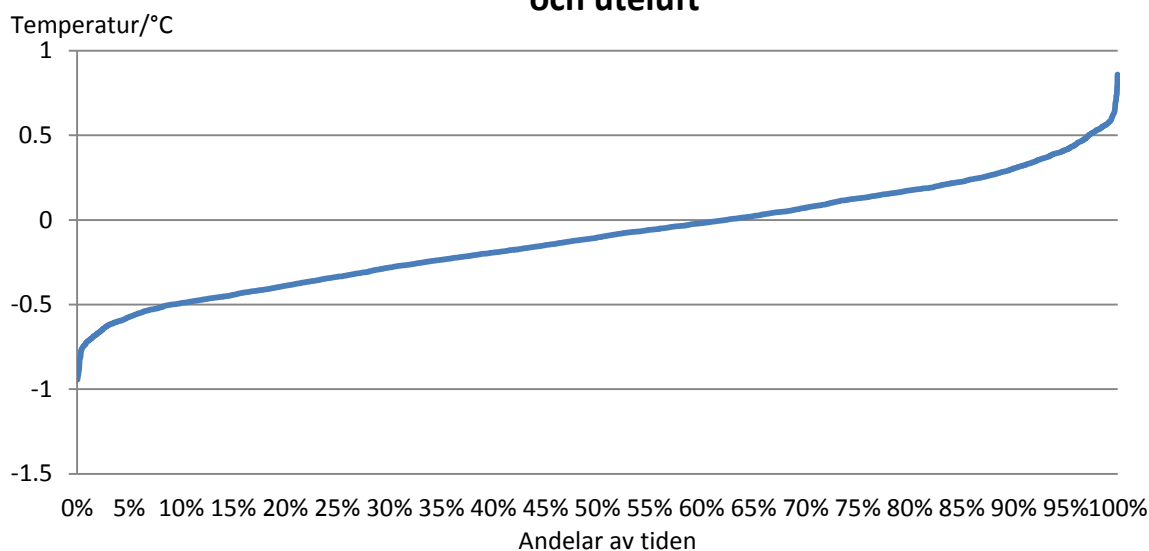
I figur 5.15 presenteras variationer i innetemperaturen. Det framkommer att temperaturen är relativt konstant och ligger oftast mellan 19-21°C.



Figur 5.16 Varaktighetsdiagram för relativfuktighet inomhus.

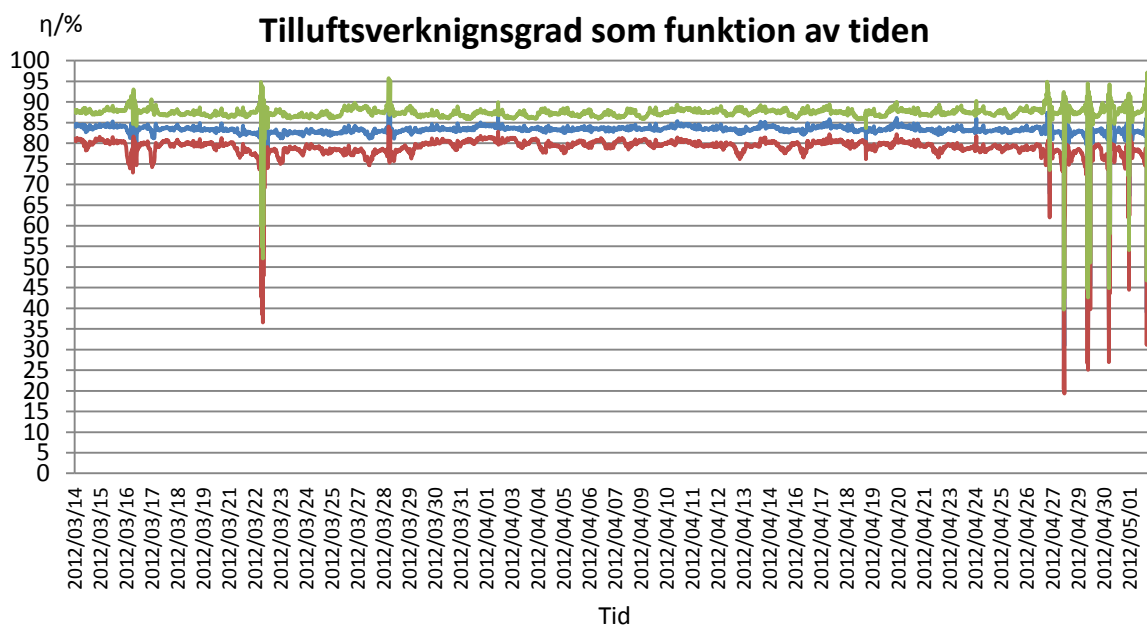
Figur 5.16 presenterar den relativa fuktigheten inomhus.

Varaktighetsdiagram för skillanden i ånghalt mellan frånluft och uteluft



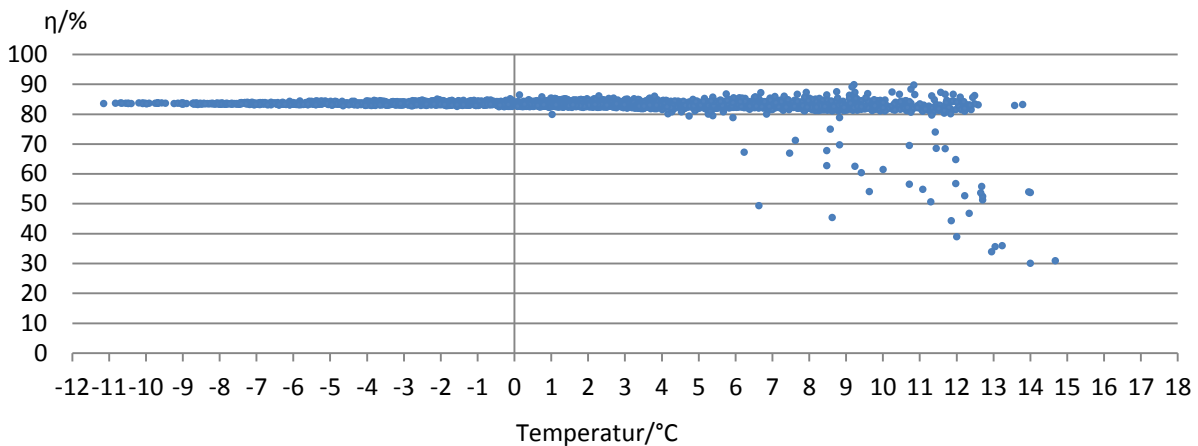
Figur 5.17 Varaktighetsdiagram för skillnaden i ånghalt mellan frånluft och uteluft.

Fuktillskottet framkommer av figur 5.17 och är ett mått på fuktillskottet, alltså folks beteende i huset.



Figur 5.18 Tilluftsverkningsgrad som funktion av tiden. Där den översta kurvan är **bästa fall**, den mellersta är **normalfall**, och den understa är **värsta fall**.

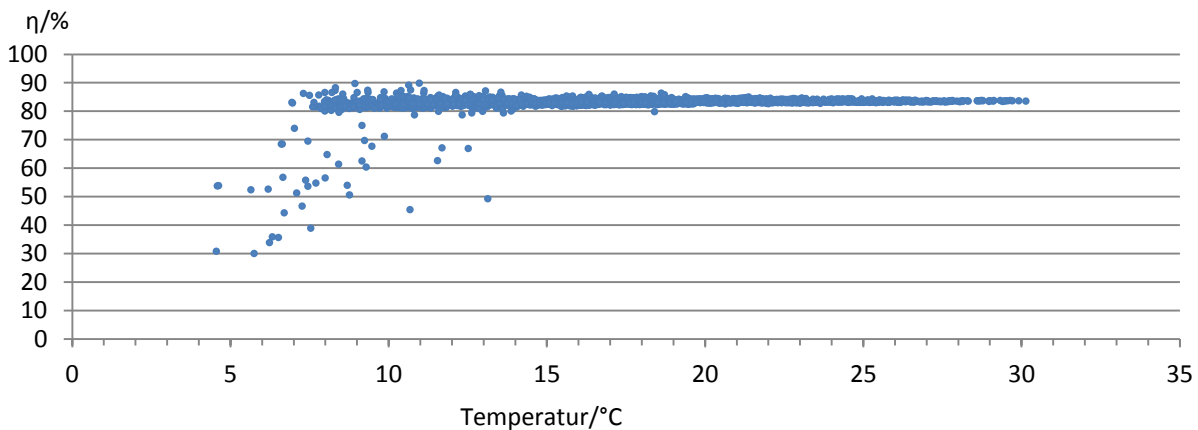
Tilluftsverkningsgraden som funktion av utetemperatur



Figur 5.19 Tilluftsverkningsgraden som funktion av utetemperatur.

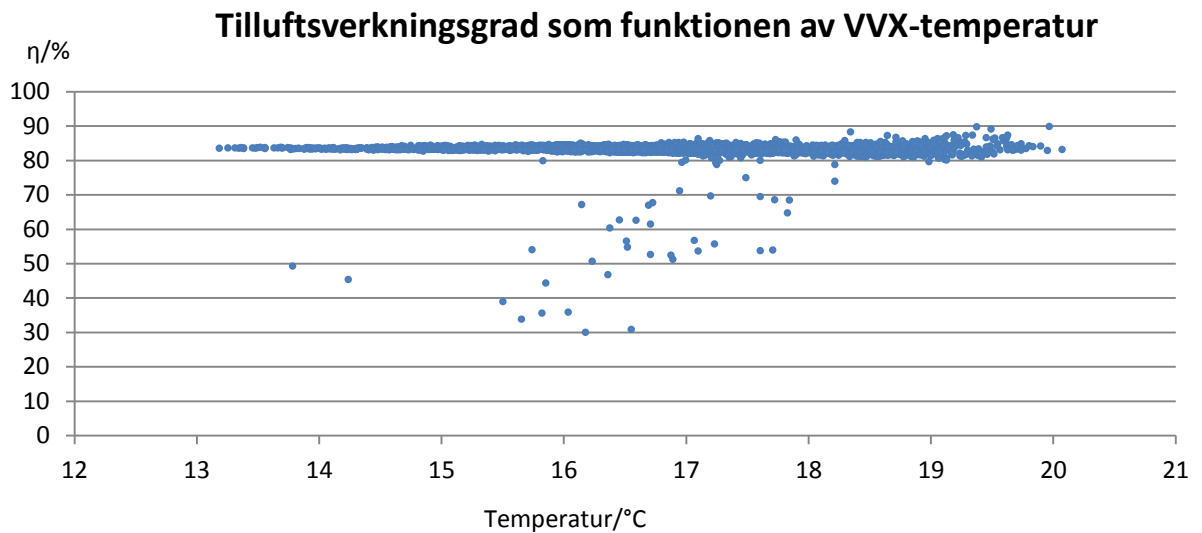
I figur 5.19 presenteras tilluftsverkningsgrad som funktion av utetemperatur. Här är all relevant data med, dock har inga begränsningar gjorts för att få fram värsta fallet. Av detta syns tydligt att en hög verkningsgrad kan uppnås när temperaturskillnaderna är stora, då uteluftstemperaturen stiger och närmar sig tilluftens temperatur uppstår enstaka ogynnsamma avvikelser i tilluftsverkningsgraden.

Tilluftsverkningsgraden som funktion av temperaturskillnaden tilluft-uteluft



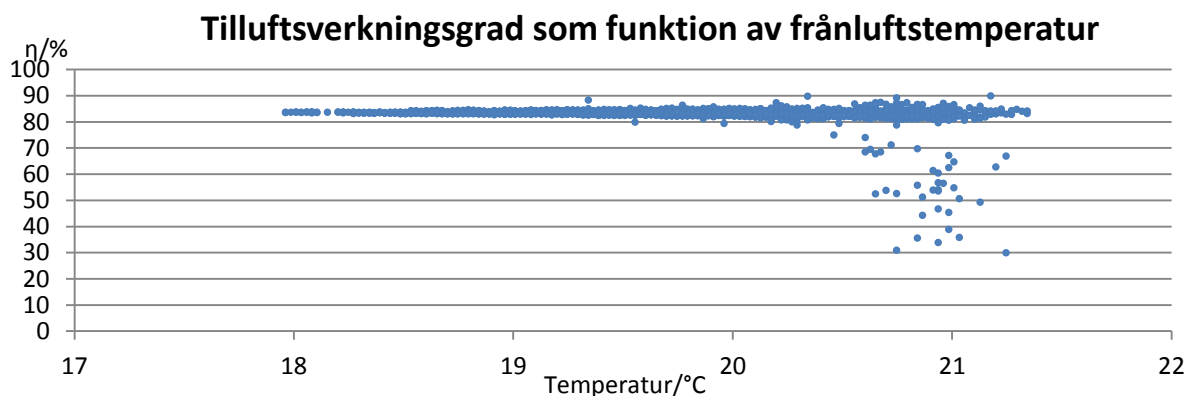
Figur 5.20 Tilluftsverkningsgraden som funktion av temperaturskillnaden tilluft-uteluft.

I figur 5.20 presenteras tilluftsverkningsgrad som funktion av temperaturskillnaden i tilluft och uteluft. Det syns tydligt att när det blir mindre temperaturskillnad har verkningsgraden en tendens att sjunka vid enstaka tillfällen och fenomenet blir mer frekvent desto mindre skillnaden är.



Figur 5.21 Tilluftsverkningsgrad som funktion av VVX-temperatur

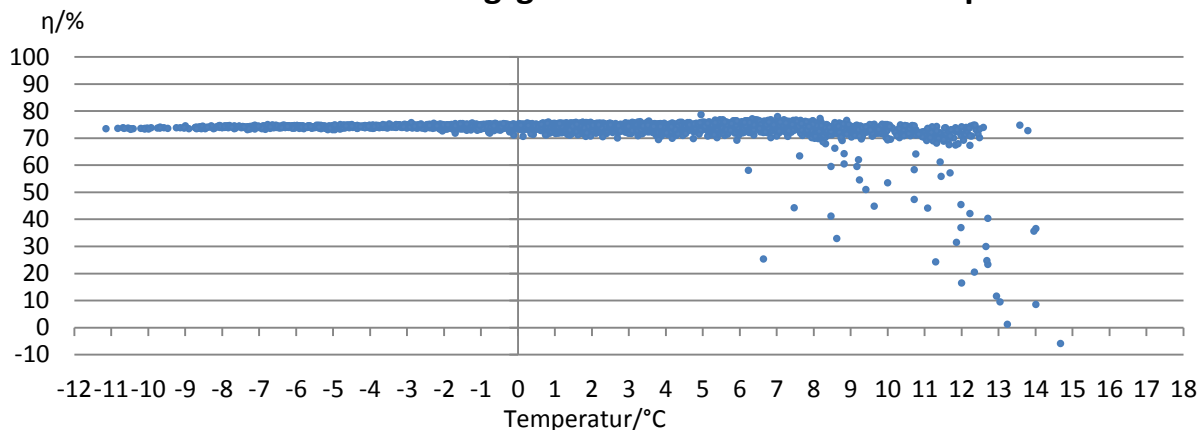
I figur 5.21 presenteras tilluftsverkningsgrad som funktion av VVX-temperatur. VVX-temperaturen är mätt direkt efter värmeväxlaren alltså innan luften vid behov värms ytterligare till önskad temperatur.



Figur 5.22 Tilluftsverkningsgrad som funktion av frånluftstemperatur.

I figur 5.22 presenteras tilluftsverkningsgrad som funktion av frånluftstemperatur. Det är besynnerligt att tilluftsverkningsgraden har enstaka negativa värden då frånluftstemperaturen är högre, eftersom det är frånluften som värmer upp uteluften.

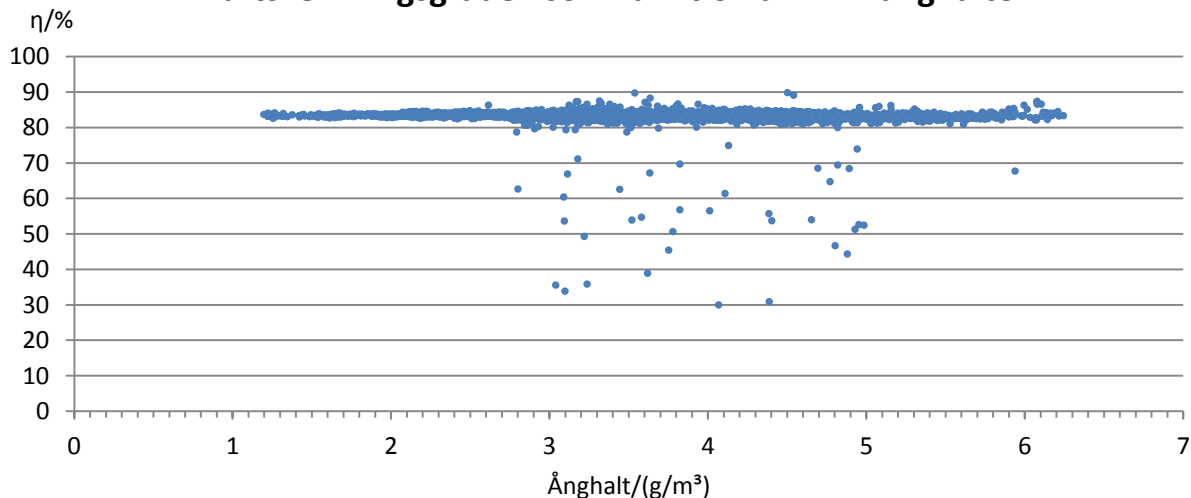
Frånluftsverkningsgrad som funktion av utetemperatur



Figur 5.23 Frånluftsverkningsgrad som funktion av uteluftstemperatur.

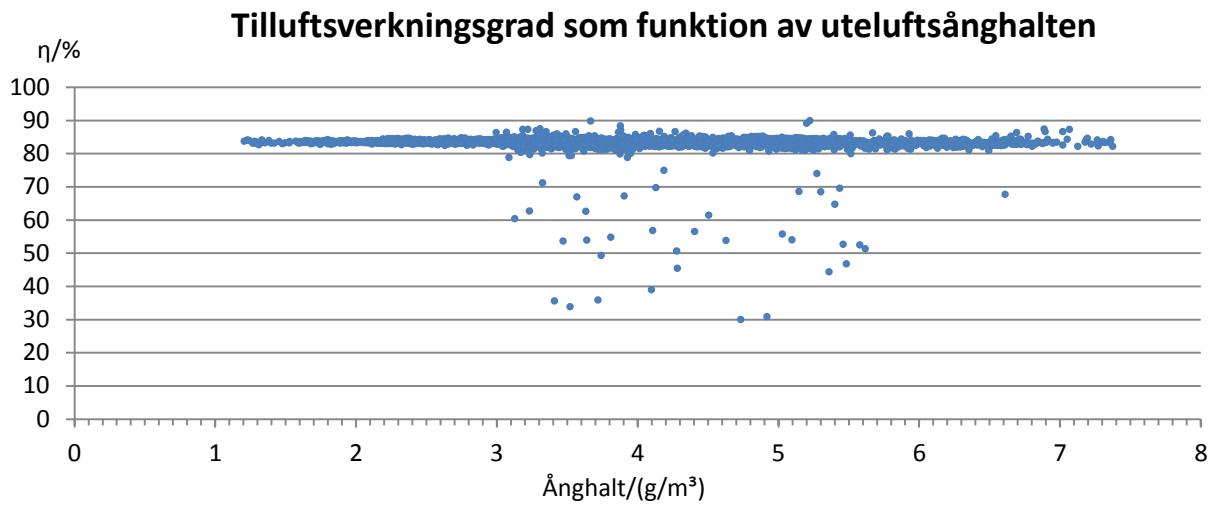
I Figur 5.24 presenteras frånluftsverkningsgrad som funktion av uteluftstemperatur på samma sätt som tilluftsverkningsgrad presenteras i Figur 5.19. Vi ser samma fenomen som i Figur 5.19 att då temperaturen stiger uppstår enstaka ogynnsamma värden på verkningsgraden.

Tilluftsverkningsgraden som funktion av VVX-ånghalten



Figur 5.24 Tilluftsverkningsgrad som funktion av VVX-ånghalten.

Figur 5.24 presenteras tilluftsverkningsgrad som funktion av VVX-ånghalten. En hög VVX-ånghalt gör att enstaka ogynnsamma värden på tilluftsverkningsgraden uppstår.



Figur 5.25 Tilluftsverkningsgrad som funktion av uteluftsånghalten.

I figur 5.25 presenteras frånluftsverkningsgrad som funktion av uteluftsånghalten. Här kan man ana att en ånghalt över $3 \text{ g}/\text{m}^3$ kan i vissa enstaka fall påverka verkningsgraden negativt.

6 Branschundersökning

Författarna har försökt att få tag i personer i branschen som gjort liknande mätningar som de som författarna presenterar i denna rapport. En undersökning i form av ett frågeformulär skickades ut till olika personer av intresse. Det skickades ut cirka 15 frågeformulär, tyvärr var det bara två som svarade, övriga hade inte kunskapen eller inte gjort några mätningar inom området. Text skriven i kursivt är författarnas frågor, text skriven i vanlig stil är svaren. I detta avsnitt kan termer som inte är förklarade förekomma.

Hej,

Vi är två studenter vid LTH som skriver examensarbete om verkningsgraden i värmewäxlare i FTX-system med fokus på bostäder. Vi undersöker om den angivna verkningsgraden stämmer överens med prestanda i verklig drift. Vi har också mätdata från två flerbostadshus i Umeå.

Vi undersöker också vilka erfarenheter som finns av värmeåtervinning i FTX-ventilation, om den motsvarar förväntningarna, vilka problem som finns samt om det finns mätningar eller annan kunskap om dessa system. Vi undrar också om du vet personer som har sådan kunskap. Syftet med detta är att dels samla in denna kunskap, dels få en uppfattning om vilken kunskap som finns i branschen.

Har du/ni gjort några mätningar på temperaturverkningsgrader eller motsvarande i växlare.

Väldigt sällan – det jag spårade var med ex-jobb som jag skickat separat.

I så fall vilka resultat gav det och vilken typ av växlare var det?

Var det centralt eller decentraliserat aggregat?

Hur gjordes mätningarna?

Hur resonerades det om "systemet" kontra bara aggregatet?

På vilket sätt kan förluster, exempelvis från kanaler på kall vind ha påverkat?

Har du/ni några referenser på mätningar eller har tillgång till standarder för hur dessa mätningar görs?

Har du/ni funderat på kanaldragning och isolering med tanke på att få en lyckad värmeåtervinning och i så fall hur?

Ja vi har interna föreskrifter om isolering:

Ute- och avluftskanaler innanför klimatskalet ska kondensisoleras samt värmeisoleras så att kravet på byggnadens specifika energianvändning och värmeförlusttal klaras. Ute- och avluftskanaler innanför klimatskalet ska isoleras med motsvarande minst 100 mm mineralull utanför fläktrum.

Om du/ni simulerar energianvändning i bostäder, vilket program används då med tanke på FTX-aggregatet?

Vi använder IDA och VIP

Använder du/ni centrala eller decentraliserade aggregat i bostäder? Vilken fördelning är det?

Vi använder normalt centralt aggregat. I enstaka projekt förekommer lgh.-aggregat. De första passivhusprojekten använde t.ex. lgh aggregat men vår inriktning framåt är centrala växlare.

På vilka grunder väljer du/ni typ av växlare? I vilka typer av byggnader? I bostäder?

Idag väljer projekten utgående från prestanda och pris. Det kommer även att ske i framtiden men vi arbetar mot att låsa valet till ett fåtal leverantörer och på ett mer sammanhållet sätt integrera produkten i ventilationssystemet.

Har det förekommit problem relaterade till växlare i FTX-aggregat och hur är det med olika typer av växlare

o Frysning

o Luktöverföring

Finns i några projekt med roterande växlare

o Andra problem?

Se nästa fråga.

Har fuktåtervinning diskuterats, mätts eller gett några problem i roterande växlare, och i så fall vad?

I ett projekt med småhus i Helsingborg har vi konstaterat problem. Det verkar dock i första hand relaterat till bristande underhåll av aggregaten.

Indikationer har också förekommit i Umeå genom invändig kondens på fönster i flerbostadshus med centrala FTX.

Vilka är dina/era förväntningar på värmeåtervinning? Vad borde utvecklas?

System för att utnyttja återvinningen för tappvattenvärmning så att aggregaten ger nytta också under den varma delen av året.

Hur ser du/ni på motsatsen mellan hög värmeåtervinning och låg fläktelanvändning? En "djupare" värmväxlare höjer verkningsgraden men ger mer tryckfall och därmed mer elbehov. Bör utvecklingen gå åt något håll i frågan?

Låg elanvändning bör prioriteras. El bestraffas med multiplikator 2 i många kommuner. Lite oklart om hur det ska tolkas dock.

7 Analys och diskussion

Verkningsgraden för aggregaten som undersökts under denna tidsperiod ligger under den deklarerade. Där finns perioder då värmepumpen levererar vad tillverkaren lovar, t.o.m. korta perioder då optimala förhållanden för värmepumpen råder (samma som aggregatet är testat mot i laboratoriet) då värmepumpen levererar en högre verkningsgrad än deklarerat. Dessa perioder är dock korta och uppkommer sällan.

Det som påverkar temperaturverkningsgraden mest är skillnaden i inneluftstemperatur och uteluftstemperatur. Då temperaturskillnaden är hög fungerar växlaren som tänkt men då skillnaden är låg uppstår problem och verkningsgraden minskar markant vid flera tillfällen även om dessa tillfällen är relativt få.

Andra faktorer som kan spela roll för temperaturverkningsgraden är: Vilka som bor i huset, vilka dagligvanor de har. Om de skärmar av fönster när solen är framme. Hur mycket elektrisk apparatur som används och när den används. När de duschar och lagar mat kommer en stor mängd fukt att behöva transporteras bort, samt uppstår det en mindre temperaturhöjning. Dock har inga givna samband hittats för att påvisa att något av detta skulle ha någon inverkan på den uppmätta temperaturverkningsgraden.

Skillnaden i uteluftstemperaturen mellan de två husen är i snitt 0.18 °C. Detta kan bero på många olika faktorer. Vilken orientering husen har samt aggregatens placering och orientering. Aggregaten är placerade på vinden på båda husen men eftersom det är skillnad i uteluftstemperaturen finns där någonting som påverkar förhållandena. Det kan vara att placeringen av kanalen som tar in luft i värmepumpen skiljer sig i orientering för de olika byggnaderna. Exempelvis kan det ena aggregatet få sin uteluft från en österfasad och då ha skugga stor del av dagen medans det andra aggregatet kan få sin uteluft från en söderfasad och då ha luft som inte varit i skugga. Det kan finnas en höjdskillnad på de två husen och således en höjdskillnad på aggregatens placering vilket leder till en skillnad i temperatur. Det är dock ingen stor skillnad och kan därför bortses ifrån. Det kan även vara så enkelt att det är felmarginerna på loggrarna som ställer till det.

7.1 Hus 1

För att se hur stor andel av verkningsgraden i hus 1 som avviker från medelvärdet sätts en gräns vid 95 % av medelverkningsgraden på 77,8%. Således är det 2,4 % av värdena som avviker från medelvärdet. Dessa värden avviker markant från medelvärdet och uppkommer efter det att

temperaturskillnaden mellan utetemperatur och tilluftstemperatur är mindre än 14°C. Det kan vara verkningsgrader som är så låga som 20 %, och de uppkommer mellan två värden som inte avviker från medelvärdet eller under korta perioder på en kvart upp till en timme. Det är tydligt att dessa värden uppkommer då temperaturen efter värmewäxling, alltså VVX temperaturen (i värmewäxlaren) har sjunkit markant jämfört med närliggande värden då värmewäxlaren presterar värden nära medelvärdet.

Tabell 7.1 exempel på avvikande värden för hus 1.

Datum & tid	VVX temperatur/°C	Tilluftsverkningsgrad/%
2012-03-16 15:15	19,81	77,31
2012-03-16 15:30	16,85	53,06
2012-03-16 15:45	20,10	79,75
2012-03-22 14:00	20,50	76,02
2012-03-22 14:15	20,68	77,38
2012-03-22 14:30	17,04	40,03
2012-03-22 14:45	17,15	41,64
2012-03-22 15:00	19,00	61,25
2012-03-22 15:15	20,01	70,59
2012-03-22 15:30	20,55	76,29
2012-03-22 15:45	20,74	77,47
2012-03-22 16:00	17,11	42,24
2012-03-22 16:15	18,65	58,07
2012-03-22 16:30	19,94	71,58
2012-03-22 16:45	20,17	74,20

I tabell 7.1 presenteras två exempel på avvikande värden från hus 21. Först ett exempel där verkningsgraden under en kort period på en halvtimme pendlar från 77 % ner till 53 % och sedan tillbaka upp till 79 %. Vidare ett exempel där verkningsgraden över 2 timmar och 45 minuter pendlar två gånger från normala värden ner till ca 41 % och sedan tillbaka. Det syns tydligt att när VVX-temperaturen sjunkit ca 3 °C under normalt medför det att låga värden på verkningsgraden uppstår. Medel-VVX-temperaturen för hus 1 är 17,3 °C

7.2 Hus 2

För att se hur stor andel av verkningsgraden i hus 2 som avviker från medelvärdet sätts en gräns vid 95 % av medelverkningsgraden på 83,1%. Således är det 1,1 % av värdena som avviker från medelvärdet. Hus 2 har en medeltemperatursverkningsgrad som är 83 % och är högre än för hus 1. Medel-VVX-temperaturen är 16,9 °C för hus 2 vilket är lägre än för hus 1.

Tabell 7.2 Exempel på avvikande värden för hus 2.

Datum & tid	VVX temperatur	Tilluftsverkningsgrad %
2012-03-22 13:00	19,5067	86,24007205
2012-03-22 13:15	16,8903	51,30278527
2012-03-22 13:30	16,8743	52,489409
2012-03-22 14:30	19,6097	85,59268099
2012-03-22 14:45	16,3587	46,75042655
2012-03-22 15:00	16,7077	52,64063172
2012-03-22 16:00	19,5937	85,73334858
2012-03-22 16:15	17,8257	64,76211568
2012-03-22 16:30	15,8507	44,34084434
2012-03-22 16:45	17,8413	68,48390447
2012-03-22 17:00	18,2140	73,98736934
2012-03-22 18:15	15,7397	54,03102147
2012-03-22 18:30	19,2923	84,72765615

8 Slutsatser

Apparatur bör prestandamässigt leva upp till vad som utlovats av tillverkaren. Gör den inte det kommer andra metoder att behöva tillämpas för att nå önskade resultat. Konsekvensen av att en värmeväxlare inte når upp till önskade verkningsgrader är att mer energi behövs för att värma en byggnad, vilket ger större miljöpåverkan.

Hus 1 och hus 2 är nästan identiska, dock har tydliga skillnader i temperaturverkningsgrad uppmätts. Det finns således faktorer som leder till att två hus vilka är lika projekterade och är placerade i närheten av varandra kan ha olika temperaturverkningsgrader. Detta kan i vårt fall förklaras av att frånluftstemperaturen för hus 1 alltid är högre än för hus 2.

Det som tydligast framgår som orsaken till att temperaturverkningsgraden varierar är temperaturskillnaden mellan tilluften och uteluften, vilket framgår i figur 5.9 och figur 5.20. Alltså är det rimligt att dra slutsatsen: när det är kallt ute fungerar värmeväxlaren bättre och vice versa.

Värmeväxlarna höll överlag en jämn verkningsgrad under testperioden bortsett från några få tillfällen då verkningsgraden sjönk markant. Problemet som vi ser är att de inte presterar den verkningsgrad som är utlovad.

Denna rapport hade även för avsikt att presentera fuktåtervinning, detta gick inte eftersom mätutrustningen inte fungerade som den skulle under mätperioden.

Efter att pratat med några i branschen var det väldigt få som kunde hjälpa oss, endast två av femton kunde fylla i frågeformuläret. Få mätningar av temperaturverkningsgrader likt denna har gjorts. Det behövs flera mätningar för att få bort osäkerheten vid verklig användning och således kunna göra säkrare energiberäkningar. Fler oberoende mätningar sätter även press på tillverkarna att leverera så bra produkter som möjligt samt att öka kännedomen om problemet inom branschen.

Det vore bra om testen som beskrivs av standarden SS-EN 308 utökades till att även prova värmeväxlarens förmåga vid olika förhållanden. Ett försök att simulera verkliga förhållanden och då få fram riktvärden för värmeväxlaren i olika klimat. Detta kan även vara intressant för andra aspekter som fuktåtervinning. Värmeväxlarens prestanda kan även presenteras i ett intervall, som det gjorts tidigare i denna rapport (figur 5.2 samt figur 5.3).

8.1 Vidare forskning

Eftersom denna rapport inte kunde ta upp fuktåtervinning vore det lämpligt om någon annan undersökte detta. Vidare bör fler mätningar inom samma område göras som komplement till detta arbete. Det kan även finnas intresse av att kolla på andra typer av växlare, andra typer av byggnader samt andra klimatförhållanden.

9 Referenser

Warfinge C. och Dahlblom M. (2010) – Projektering av installationer i byggnader

Boverkets byggregler 18 (2011) – kapitel 9 Elektroniskt tillgänglig
<http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2011/BBR-18/9-energiushallning-bbr-18.pdf> [2012-08-11]

Bagge H. Elmroth A. Lindstrij L. (2004) Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västa Hamnen i Malmö

Nevander L. Elmarsson B. (2008) Fukt handbok praktik och teori

Europalagstiftningen (2012) Elektroniskt tillgänglig
http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/index_en.htm [2012-08-12]

Eurovent (2012) Elektroniskt tillgänglig http://www.eurovent-association.eu/about-us/presentation_en_000151.html [2012-08-15]

Hobo data logger (2012) – Elektroniskt tillgänglig
http://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/13127-A-MAN-U12011.pdf
[2012-09-30]

Lars Jensen (2011) – Regenerativ värmeväxling och renblåsning 2011

Lars Jensen (2006) – Roterande värmeväxlare 2006

Nasa klimatforskning 1 (2013) elektroniskt tillgänglig
http://climate.nasa.gov/key_indicators [2013-04-15]

Nasa klimatforskning 2 (grafer)(2013) Elektroniskt tillgänglig
http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/ [2013-04-15]

Svensk Standard (2012) SS-EN308

Swegon Gold RX produktspecifikation (2012) – Elektroniskt tillgänglig
http://web1.swegon.com/upload/airhandling/catalogue/se/02_desc-ahu.pdf
[2012-08-15]

Bidlänkar

1. Original: <http://www.hvac.lth.se/fileadmin/hvac/files/TVIT-7000pdf/TVIT-7033LJ.pdf> sidan 5.
2. Original: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/79/Rotary_heat_exchanger.png/220px-Rotary_heat_exchanger.png