



Linnéuniversitetet

Institutionen för teknik

Examensarbete i byggt teknik

Värmeförluster vid utvändigt placerade ventilationssystem

Thermal heat losses on exterior ventilation systems



Författare Tobias Ahlgren

Författare: Jalal Eliassi

Handledare företag Tony Timm, Inpro
Installationsconsult AB

Handledare LNU Leif Gustavsson

Examinator, LNU Anders Olsson

Författare VT12 15 hp

Ämne/kurskod 2BY03E

Sammanfattning

För att klara morgondagens energikrav måste vi begränsa vår energianvändning. Byggnadssektorn står idag för ca 40 % av all energianvändning i samhället. Regeringen har satt upp mål om att vi ska minska energianvändningen i våra byggnader med 20% till år 2020 och 50% till år 2050 jämfört med år 1995. För att klara det måste vi energieffektivisera vårt befintliga byggnadsbestånd.

En stor del av den energi som används går till uppvärmning. Genom att installera till- och frånluftventilation med värmeväxlare (FTX) kan värmeenergin i frånluften användas för att värma upp tilluften. Det leder till minskad energianvändning för uppvärmningen.

Ett FTX-system är utrymmeskrävande och det kan vara svårt att få plats med aggregaten invändigt i ett befintligt hus. Det kan vara en fördel att placera luftbehandlingsaggregat och kanaler utvändigt på taket då det innebär en lägre kostnad i byggfasen jämfört med att bygga ett nytt fläktrum. Men utvändig placering gör att det kommer bli värmeförluster i både kanalsystemet och aggregatet.

Målet med detta arbete var att undersöka hur stora värmeförlusterna blir på utvändigt placerade luftbehandlingsaggregat och kanalsystem. Undersökning har utförts med hjälp av teoretiska beräkningar och temperaturmätningar i till och frånluftkanaler. LCC-analyser har gjorts för att se hur man på ett ekonomiskt sätt kan minska värmeförlusterna. Två byggnader, Höstvägen 14 och 22 i Växjö, som utrustats med ett FTX-system i takutförande har studerats. Installationen av kanalsystemen skiljer husen åt och de två olika installationerna har utvärderats.

Vi har kommit fram till att värmeförlusterna genom ventilationssystemet på Höstvägen 14 och 22 är betydande. Merparten av värmeförlusterna sker i kanalsystemen. I aggregaten är det i de köldbryggor som ramverket bildar som de största förlusterna sker.

Summary

To be able to handle tomorrows need for limited energy consumption we need to reduce our use of energy. The building sector stands for around 40 % of all energy consumption in the society. The government has put up a goal to reduce the energy consumption in our buildings with 20 % by year 2020 and 50 % by year 2050 compared with year 1995. To be able to do reach that goal we need a more energy efficient building stock.

The main part of the energy used in our buildings is used for space heating. By installing ventilation systems with heat recovery on the exhaust air it is possible to use the heat-energy in the exhaust air to warm up the incoming air. This can contribute to a reduction in energy use.

A ventilation system with heat recovery on the exhaust air is space demanding and there can be problems with finding enough space to do the installation indoors. Therefore it can be an advantage to place the aggregate and the ducts on the outside of the buildings climate shell. A placement exterior of the buildings climate shell or in an unheated space leads to thermal heat losses.

The aim with this essay is to investigate how significant the heat losses are on exterior placed ventilation systems. The investigation has been done with help of theoretical calculations and measurements of the temperature difference in the ventilation ducts. Analysis has been made on life cycle costs on how to reduce the heat losses in an economic manner. To buildings, Höstvägen 14 and 22 in Växjö, which have been equipped with exterior placed ventilation systems have been studied. The two buildings have two different types of installation of the ducts.

Our result shows that the heat losses through the ventilation systems on Höstvägen 14 and 22 are significant. The majority of the losses occur in the ducts. In the aggregate the thermal bridges in the framework accounts for the larger part.

Abstract

I detta arbete studeras de värmeförluster som sker på utvändigt placerade luftbehandlingsaggregat med tillhörande kanalsystem. Två byggnader, Höstvägen 14 och 22, med utvändigt placera FTX-system studeras. Ventilationssystemen utvärderas ur ett energiförbrukningsperspektiv. Luftbehandlingsaggregatets ramverks inverkan på värmeflödet genom aggregatets klimatskal studeras och åtgärder för att minska värmeflödet undersöks.

Värmeförluster, FTX, Köldbryggor, Luftbehandlingsaggregat, Ventilationskanaler, Värmeåtervinning

Förord

Detta examensarbete har utförts vid institutionen för teknik på Linnéuniversitetet i Växjö. Frågeställningen arbetet behandlar är väckt av Tony Timm som vi kom i kontakt med genom GodaHus.

Vi vill tacka för all hjälp vi har fått för att genomföra detta arbete. Speciellt vill vi tacka Tony Timm på In-Pro Installationsconsult AB som varit vår handledare, Magnus Fransson på Hyresbostäder i Växjö AB som hjälpt oss med information och frågor angående Höstvägen 14 och 22 samt Bengt Svensson på IV Produkt AB som bidragit med information och svar på frågor angående luftbehandlingsaggregaten.

Vi vill också tacka Håkan Gustafsson på Isover AB som bidragit med en licens till beräkningsprogrammet IsoDim.

In-Pro Installationsconsult AB är en konsultfirma i Växjö som jobbar med VVS och EL-teknik. In-Pro Installationsconsult AB har driftoptimerat värmesystemen på Höstvägen 14 och 22.

Hyresbostäder i Växjö AB är ett kommunalt bostadsbolag som ägs av Växjö kommun. De äger och förvaltar byggnaderna på Höstvägen 14 och 22.

Goda Hus är en förening för energieffektivt byggande i sydost.

IV Produkt AB tillverkar och säljer luftbehandlingsaggregat har tillverkning och huvudkontor i Växjö.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	III
Summary.....	IV
Abstract.....	V
Förord.....	VI
Innehållsförteckning.....	VII
1. Introduktion.....	1
1.1 Syfte och mål.....	2
1.2 Avgränsningar.....	2
2. Teori.....	4
2.1 Värmeöverföring.....	4
2.1.1 Ledning.....	4
2.1.2 Konvektion.....	4
2.1.3 Strålning.....	6
2.2 Värme flöde genom cirkulär cylindriska skikt.....	7
2.3 Luftens värmekapacitet.....	8
2.4 Köldbryggor.....	9
2.5 Årsmedeltemperatur och gradtimmar.....	10
2.6 Plattvärmväxlare och värmeåtervinning.....	11
3. Metod.....	13
3.1 Metod för beräkning av värmeförluster i kanalsystemen.....	13
3.2 Metod för beräkning av värmeförluster i luftbehandlingsaggregaten.....	14
3.2.1 Beräkning av u-värden.....	14
3.2.2 Beräkning av temperaturer i aggregatet.....	15
3.3 Life Cycle Cost.....	18
4. Luftbehandlingsaggregat och kanalsystem.....	20
4.1 Luftbehandlingsaggregaten.....	20
4.2 Kanalsystemen.....	22
5. Resultat.....	24
5.1 Värmeförluster i huvudkanalerna.....	24
5.1.1 LCC-analys av ökad kanalisolering.....	25
5.2 Beräkning av värmeförluster i luftbehandlingsaggregaten.....	26
5.2.1 Värmeförluster i befintligt aggregat med 25 mm isolering.....	26
5.2.2 Värmeförluster i ett aggregat med 45 mm isolering.....	28
5.2.3 Värmeförluster i ett aggregat med 45 mm isolering och modifierat ramverk.....	29
5.2.4 Värmeförluster i ett aggregat med 45 mm isolering och ramverk av stål.....	30
5.2.5 Värmeförluster i ett aggregat utan temperaturfall i frånluftkanalen.....	30
5.2.6 Beräkning av besparingar med hjälp av LCC-analys.....	31
6. Temperaturmätningar utförda i till- och frånluftsdon.....	32
7. Diskussion, analys och slutsatser.....	35
7.1 Kanalsystemen.....	35
7.2 Luftbehandlingsaggregaten.....	37
7.3 Slutsatser.....	39
8. Referenser.....	40
9. Bilagor.....	

1. Introduktion

Vi står inför en stor utmaning i dagens samhälle. Ökande befolkning, urbanisering och ökande levnadsstandard leder till en ökande energianvändning (Bahadori 2010). Byggnadssektorn står idag för ca 40 % av vår totala energianvändning (Dodoo 2011). Ju mindre energi som går åt till att värma upp våra byggnader desto mindre kommer vi att påverka vårt klimat och vår miljö (Renovera Energismart 2012).

Regeringen har satt upp mål om att energianvändningen ska minska i bostäder och lokaler med 20 % till år 2020 och med 50 % till år 2050, med år 1995 som referensvärde. Den största delen av energieffektiviseringen måste ske inom den befintliga bebyggelsen eftersom nybyggnationer endast står för ca 2 % av det totala byggandsbeståndet i Sverige (Boverket 2012).

Boverkets byggregler kräver idag vid större renoveringar att byggnaden efter renoveringen ska klara dagens energikrav (Boverket 2012). Energikraven är idag tuffare än när en majoritet av Sveriges befintliga byggnadsbestånd uppfördes. Samtidigt är en stor del av vårt byggnadsbestånd i behov av ombyggnad och renovering.

Många hus är idag byggda med frånluftsventilation och denna typ av ventilation ger upphov till stora värmeförluster genom ventilationssystemet. Frånluftens funktion är att föra bort förorenad luft och medverka till att föroreningar inte sprids i byggnaden. Samtidigt skapar frånluftsventilationen ett undertryck i byggnaden. Frisk luft sugas in genom uteluftsventiler och otätheter i byggnadens klimatskal (Warfvinge 2010). Ventilationen står för ca 30-60 % av en byggnads energianvändning. Energin används till att värma upp den kalla uteluft som sugas in samt för att driva fläktar (Dodoo 2011).

Värmeåtervinning av frånluften kan minska energianvändningen. Förlusterna via ventilation ligger vanligen på 35-40 kWh/m²,år för ett normalt flerbostadshus. Genom att installera ett till- och frånluftssystem med värmeväxlare (FTX) kan man återvinna upp emot 90 % av värmeenergin i frånluften beroende på hur lufttätt och välisolerat huset är (Dodoo 2011). I ett hus med FTX-system skapas inget undertryck inne i byggnaden. Det gör att det ställs högre krav på att klimatskalet är lufttätt för att ventilationen inte ska påverkas av inträngande luft på grund av vind (Warfvinge 2010). Att installera ett FTX-system kan sänka den totala energianvändningen för uppvärmning med 20-50 % (Dodoo 2011).

Ett FTX-system är utrymmeskrävande (Warfvinge 2010) och problem uppkommer när man ska placera både aggregat och kanaler på ett tillfredställande sätt utan att göra för stora ingrepp i byggnaden. Avvägningar måste göras med hänsyn både till arkitektur och ekonomi.

Genom att placera luftbehandlingsaggregatet på taken minskar byggkostnaderna jämfört med att placera det invändigt. Men det innebär ett ingrepp på den yttre arkitekturen och de värmeförluster som sker på vintern när luften transporteras i utvändiga ventilationskanalerna måste beaktas (McQuiston 2005).

I detta examensarbete studeras hur stora värmeförlusterna blir på utvändigt placerade ventilationssystem samt hur det går att minska dessa. Undersökningen utförs med hjälp av teoretiska beräkningar. Temperaturmätningar utförs samtidigt i huvudkanalerna för att få ett värde på hur stort temperaturfallet är. Detta görs för att få ett referensvärde till de teoretiska beräkningarna.

På Höstvägen 14 och Höstvägen 22 i Växjö har två flerbostadshus byggda 1969-70 utrustats med FTX-system. Båda husen är försedda med luftbehandlingsaggregat och huvudkanaler placerade utvändigt på taken. På Höstvägen 22 har huvudkanalerna byggts in med en plåtbyggnad. Kanalerna på Höstvägen 14 har placerats helt utvändigt men har fått en ökad mängd isolering och ett plåtinsvep runt kanalerna.

Frågeställningen om värmeförluster vid utvändigt placerade ventilationssystem har väckts av Tony Timm på In-Pro Installationsconsult AB.

1.1 Syfte och mål

Syftet med detta arbete var att studera hur stora värmeförlusterna blir på utvändigt monterade luftbehandlingsaggregat med tillhörande ventilationskanaler på Höstvägen 14 och 22. Samt att undersöka fördelar och nackdelar med de två olika typerna av installationer av utvändigt monterade ventilationssystem.

Målet var att med hjälp av beräkningar och mätningar uppskatta de värmeförluster som uppkommer i ventilationskanalerna och i aggregaten. För att ge underlag till framtida energieffektiviseringsåtgärder vid renovering av flerbostadshus.

1.2 Avgränsningar

Detta arbete undersöker värmeförluster vid utvändigt placerade luftbehandlingsaggregat med tillhörande kanalsystem. Två hus med två olika installationer kommer att studeras. De två installationerna ska utvärderas ur värmeförlustsynpunkt.

I arbetet studeras vad det innebär med en ökad mängd isolering runt kanalerna och vilka åtgärder som kan användas för att minska köldbryggornas inverkan på värmeflödet i aggregaten.

Livscykelkostnadsanalyser genomförs för att se hur stor ekonomisk påverkan ökande isoleringsmängd och minskade köldbryggor har.

2. Teori

I detta kapitel presenteras en teoretisk bakgrund för att läsaren ska få en djupare förståelse om frågeställningen.

2.1 Värmeöverföring

Värmeöverföring är den transport av värmeenergi som sker på grund av en temperaturskillnad. Energitransporten sker alltid i riktning från den varma till den kalla sidan (Alvarez 2006). Drivkraften är temperaturskillnader och värmetransporten kommer att fortgå tills jämvikt är uppnådd (Sandin 2010).

Värmeöverföring kan ske i huvudsak genom tre olika sätt: Ledning, konvektion och strålning. Vanligtvis är ett av sätten dominerande (Sandin 2010).

2.1.1 Ledning

Värmetransport vid ledning uppstår när två material eller medier är i direkt kontakt med varandra och sker genom transport av rörelseenergi från det varmare mediet till det kallare.

Värmeflödet genom ett material är förutom temperaturskillnad beroende av materialets värmekonduktivitet och tjocklek (Alvarez 2006). Ekvation 1 beskriver hur värmeflödet genom ledning beräknas.

$$q = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx}$$

$$\begin{aligned} q &= \text{värmeflödet (W/m}^2\text{)} \\ \lambda &= \text{värmekonduktivitet (W/m}\cdot\text{K)} \\ \frac{dT}{dx} &= \text{temperaturgradient (K/m)} \end{aligned}$$

(Ekv. 1)

2.1.2 Konvektion

Konvektion är den värmetransport som sker när en strömmande gas eller vätska för bort värme till ett kallare område. Man skiljer på egenkonvektion och påtvingad konvektion. Egenkonvektion syftar på den termiska drivkraft som uppstår på grund av densitetskillnader i gasen eller vätskan. Påtvingad konvektion syftar på när det är en yttre kraft, exempelvis en fläkt eller vind som sätter mediet i rörelse (Sandin 2010).

Värmeflödet som överförs genom konvektion beräknas med hjälp av värmeövergångskoefficienten, α (Alvarez 2006). Med hjälp av ekvation 2 kan värmeflödet på grund av konvektion beräknas.

$$q = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

$$\begin{aligned} q &= \text{värmeflödet (W/m}^2\text{)} \\ \alpha &= \text{värmeövergångskoefficient (W/m}^2\text{·K)} \\ \Delta T &= \text{temperaturskillnad (K)} \end{aligned}$$

(Ekv. 2)

Värmeövergångskoefficienten är beroende av lufthastigheten. Ekvation 2 används för att beräkna koefficienten vid påtvingad konvektion förbi plana väggar (Alvarez 2006).

$$\begin{aligned} c < 5 \text{ m/s} &\rightarrow \alpha = 5,8 + 3,9 \cdot c \\ c > 5 \text{ m/s} &\rightarrow \alpha = 7,15 \cdot c^{0,78} \end{aligned}$$

$$c = \text{lufthastigheten (m/s)}$$

(Ekv. 3)

För egenkonvektion förbi vågräta rör beräknas värmeövergångskoefficienten med ekvation 4 (Alvarez 2006).

$$\alpha = k \cdot \frac{\Delta T^{0,25}}{d}$$

$$\begin{aligned} k &= \text{korrektionsfaktor beroende av lufttemperaturen} \\ d &= \text{rördimensionen (m)} \\ \Delta T &= \text{temperaturskillnad (K)} \end{aligned}$$

(Ekv. 4)

För påtvingad konvektion förbi vågräta rör beräknas värmeövergångskoefficienten med ekvation 5 (ISO 12241:2008).

$$\alpha = 8,9 \cdot \frac{c^{0,90}}{d}$$

$$\begin{aligned} c &= \text{lufthastigheten (m/s)} \\ d &= \text{rördimensionen (m)} \end{aligned}$$

(Ekv. 5)

Stillastående luft har lägre värmeöverföringskoefficient än luft som är i rörelse. Värmetransporten som sker på grund av konvektion kommer därför att bli större vid utvändigt placerade ventilationskanaler då de är utsatta för påtvingad konvektion i form av vind. Stillastående luft blir endast påverkad av egenkonvektion och har därmed lägre värmeöverföringsförmåga. En utvändigt placerad kanal kommer få en högre utvärdig övergångskoefficient

(Alvarez 2006). Förenklat går det säga att stillastående luft isolerar bättre än luft i rörelse.

En hög hastighet i kanalen ger upphov till en högre invändig värmeövergångskoefficient i förhållande till ett strömmande medie med lägre hastighet. Värmeförlusterna blir därför större desto högre hastighet det strömmande mediet i kanalen har (Alvarez 2006).

2.1.3 Strålning

Alla kroppar som har en temperatur som ligger över den absoluta nollpunkten emitterar värmestrålning. Man skiljer på långvågig och kortvågig strålning. Solstrålningen är kortvågig och strålning som sker mellan olika ytor med låg temperatur räknas som långvågig (Sandin 2010). I slutna system, till exempel rör och kanaler, kan man invändigt bortse från strålningen (ISO 12241:2008).

Emittansen är den faktor som avgör hur stor värmeövergångskoefficienten för strålning är för ett specifikt material. Enligt Sandin (2010) sätts emittansen för svartmålad färg till 0,97. Isovers beräkningsprogram IsoDim sätter emittansen för mineralull till 0,97. Aluminium har en lägre emittans och praktiskt används 0,30 (Alvarez 2006).

En lägre emittans gör att kroppen strålar mindre värme till omkringliggande material. Det innebär att en kropp som har låg emittans har en lägre värmeöverföringsförmåga än ett material med hög emittans. Ekvation 6 beräknar värmeövergångskoefficienten för strålning (Alvarez 2006).

$$\alpha_s = 4 \cdot \varepsilon_{12} \cdot \sigma_s \cdot T_m^3$$

α_s = värmeövergångskoefficient ($W/m^2 \cdot K$)

ε_{12} = emittansen

σ_s = Boltzmanns konstant, $5,7 \cdot 10^{-8}$

T = medeltemperaturen (K)

(Ekv.6)

Den instrålade effekten från solstrålningen vid jordytan är cirka $1090 W/m^2$ och kallas för solarkonstanten. Värmen som kan absorberas av solstrålningen beror dels på materialets absorptans och dels på solvinkeln. Solvinkeln varierar under året och den absorberade effekten blir i Sverige som störst under sommaren då ligger den på ca $800-900 W/m^2$. Förenklat kan man säga att mörka ytor har en hög absorptans medan ljusa har en låg. Värmeflödet för långvågig strålning kan beräknas med ekvation 7 (Sandin 2010).

$$q = \alpha_{ks} \cdot I_0 \cdot \cos \varphi$$

$$\begin{aligned}
q &= \text{värmeflödet (W/m}^2\text{)} \\
\alpha_{ks} &= \text{absorptans} \\
I_0 &= \text{strålningsintensitet (W/m}^2\text{)} \\
\varphi &= \text{stålningsvinkeln}
\end{aligned}$$

(Ekv. 7)

Absorptansen för svartmålad plåt är enligt IsoDim ungefär 0,94. Solstrålningen kommer ge ett mindre värmetilskott under vinterhalvåret då solintensiteten är låg. Under sommarhalvåret kan värmeöverskottet bli betydande om kanalerna är dåligt isolerade. Detta kan medföra en för hög temperatur i tilluftsdonen inne i lägenheterna.

2.2 Värmeflöde genom cirkulär cylindriska skikt

När man beräknar värmeflödet genom cirkulära kanaler eller rör beräknas värmeflödet vanligen per meter rör (Alvarez 2006). För att förenkla beräkningarna tas ett u-värde fram som tar hänsyn till ledning, konvektion och strålning. Ekvation 8 beräknar ett u-värde som tar hänsyn till värmeöverföring genom n -antal skikt.

$$\frac{1}{U_{cyl}} = \frac{1}{\alpha_v \cdot r_v} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} + \frac{1}{\alpha_k \cdot r_k}$$

$$\begin{aligned}
U_{cyl} &= \text{värmegenomgångskoefficient (W/m} \cdot \text{K)} \\
\alpha_v &= \text{värmeövergångskoefficient på varma sidan (W/m} \cdot \text{K)} \\
\alpha_k &= \text{värmeövergångskoefficient på kalla sidan (W/m} \cdot \text{K)} \\
r_v &= \text{radien vid varma sidan (m)} \\
r_k &= \text{radien vid kalla sidan (m)} \\
\lambda_i &= \text{värmekonduktivitet för skikt } i \text{ (W/m} \cdot \text{K)} \\
r_i &= \text{innerradie för skikt } i \text{ (m)} \\
r_{i+1} &= \text{ytterradie för skikt } i \text{ (m)}
\end{aligned}$$

(Ekv. 8)

Värmeövergångskoefficienten på den varma och den kalla sidan är ett sammanvägt värde av koefficienten från strålning och konvektion.

Höstvägen 22 har en byggnad av plåt runt ventilationskanalerna. Det leder till att luften runtomkring blir stillastående och endast kommer att påverkas av egenkonvektion. Detta medför att värmeövergångskoefficienten blir lägre. Enligt Sandin (2010) kan värmemotståndet för ett plåttak sättas till $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$. Det utvändiga värmemotståndet för en byggnad sätts vanligen till $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$. Värmemotståndet är det inverterade värdet av övergångskoefficienten.

Värmeförlusten kan sedan beräknas med ekvation 9.

$$P = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot U_{cyl} \cdot \Delta T$$

P = värmeenergiförlust (W)

L = rörets längd (m)

U_{cyl} = värmeövergångskoefficient för röret (W/m·K)

ΔT = temperaturskillnad (K)

(Ekv. 9)

Ekvationen ovan ger endast den momentana värmeenergiförlusten vid en given temperaturskillnad. För att kunna beräkna den totala värmeförlusten under hela året måste hänsyn tas till de lokala förhållandena. Detta kan göras med beräkningar av årsmedeltemperatur och gradtimmar.

Vid beräkning av värmeförluster är temperaturskillnaden mellan luftens temperatur i kanalerna och uteluften en avgörande faktor. Om röret är täckt med minst 45mm mineralull kan man vid kortare rörsträckor anta att medeltemperaturskillnaden är lika med skillnaden mellan tilluftstemperaturen från aggregatet och uteluften. Är kanalsystemen långa gäller däremot inte det antagandet. Beräkningen bör då istället göras utifrån skillnaden mellan medeltemperaturen i kanalen och uteluften (McQuiston 2005).

2.3 Luftens värmekapacitet

Ett ämnes specifika värmekapacitet, c_p , är den mängd värmeenergi som måste tillföras för att värma upp ämnet en grad. Den specifika värmemängdskapaciteten är beroende av temperaturen. Nollgradig torr luft har ett värde på 1275 J/(m³·K) (Alvarez 2006). Vid beräkningar sätter man oftast den specifika värmekapaciteten som beroende av massan. Värmekapaciteten för luft sätts därför till 1000 J/(kg·K). Densiteten för luft är ca 1,2 kg/m³ (Warfvinge 2010). Är flödet och temperaturfallet känt går det räkna ut förlorad värmeenergi med hjälp av ekvation 10.

$$P = \rho \cdot c_p \cdot q \cdot \Delta T$$

P = energiförlust (W)

ρ = densitet (kg/m³)

c_p = specifik värmekapacitet (J/(m³·K))

q = flöde (kg/s)

ΔT = temperaturskillnad (K)

(Ekv. 10)

2.4 Köldbryggor

En köldbrygga är i egentlig mening en värmebrygga då det är värmen som transporteras och inte kylan. Köldbryggor uppstår i en konstruktion där ett material med lägre isolerförmåga bryter igenom ett med högre. Det gör att mer värme kommer att flöda genom det materialet. Vid beräkning av värmeförluster är det viktigt att ta hänsyn till köldbryggor då de kan påverka värmeflödet genom en konstruktion i mycket hög grad (Sandin 2010). Värmeförlusterna blir där större per ytenhet än i resten av konstruktionen. Figur 1 visas hur temperaturfördelningen kan se ut vid en köldbrygga.

Vid beräkningar delas köldbryggor upp i två olika typer, linjära och punktformiga. Det är svårt att få ett exakt värde på hur stor en köldbrygga är. Det går att beräkna köldbryggor för hand men då blir precisionen inte större än +20 %. Vid numerisk beräkning kan man nå en högre noggrannhet på +5 % (Svensk standard 14683:2007). Ekvation 11 visar hur köldbryggorna summeras för att beräkna värmeflödet.

$$P = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \psi_k + \sum_j \chi_j$$

P = värmeenergiförlust (W)

A_i = area (m^2)

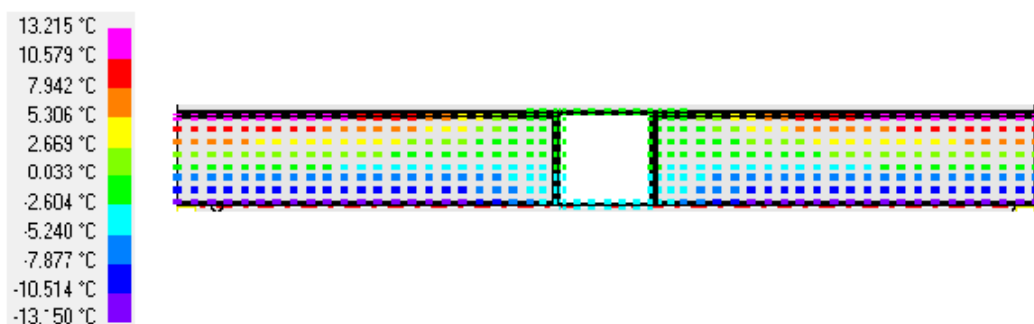
U_1 = värmeledningskoefficient ($W / (m^2 \cdot K)$)

L_k = köldbryggans längd (m)

ψ_k = värmeledningstal för linjär köldbrygga ($W / (m \cdot K)$)

χ_j = värmeledningstal för punktformig köldbrygga (W / K)

(Ekv. 11)



Figur 1. Exempel på temperaturfördelningen vid en köldbrygga i ett luftbehandlingsaggregat. Utetemperatur $-14,4^{\circ}C$ och innetemperatur $19^{\circ}C$. Beräkningen är utförd med VIP-Energy.

2.5 Årsmedeltemperatur och gradtimmar

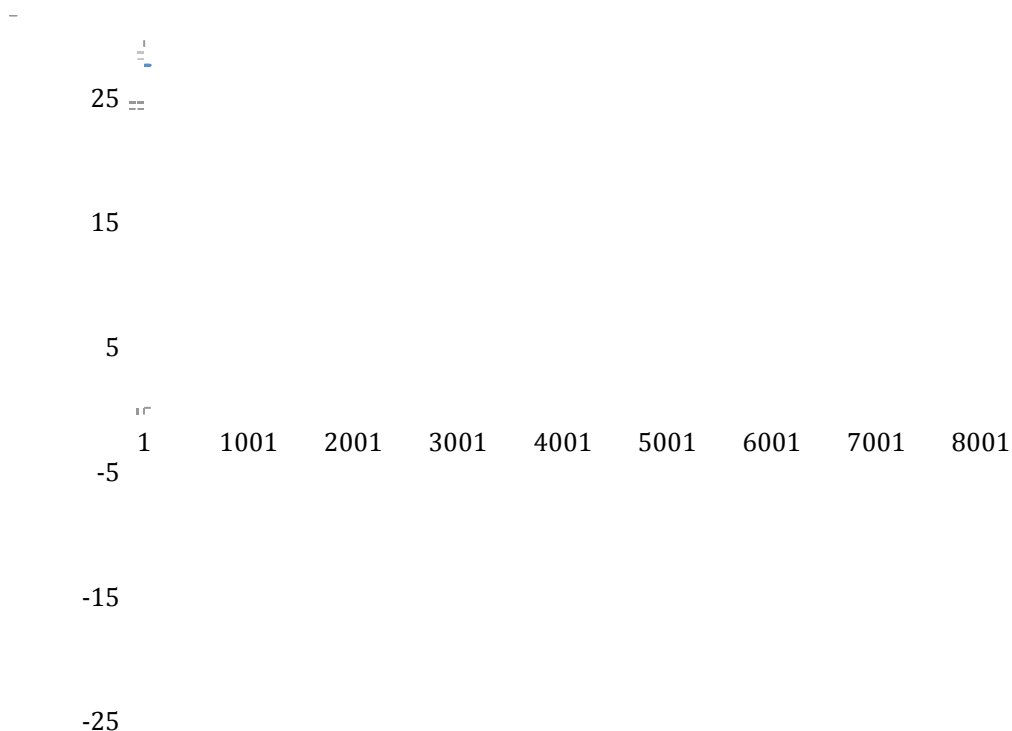
Utetemperaturen varierar under året och värmeförlusterna varierar därefter. För att kunna beräkna energibehovet för uppvärmningen av en byggnad eller lokal använder man sig av gradtimmar. Antalet gradtimmar är beroende av årsmedeltemperaturen och vilken gränstemperatur som hålls i det uppvärmda utrymmet.

Årsmedeltemperaturen för Växjö är 6,4 °C. Tilluften har en beräknad temperatur på 19 °C. Med 19 °C som gränstemperatur får man 111 800 gradtimmar. Med en gränstemperatur på 21 °C som är den dimensionerande temperaturen för frånluften är antalet gradtimmar 128 160 (Warfvinge 2010). Antalet gradtimmar hämtas ur diagram och är beroende av normalårstemperaturen och gränstemperaturen. Figur 2 visar ett varaktighetsdiagram för Växjö.

Värmeförlusterna i kanalerna över hela året för ett genomsnittsår beräknas med hjälp av ekvation 12.

$$P = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot U_{cyl} \cdot \text{Gradtimmar}$$

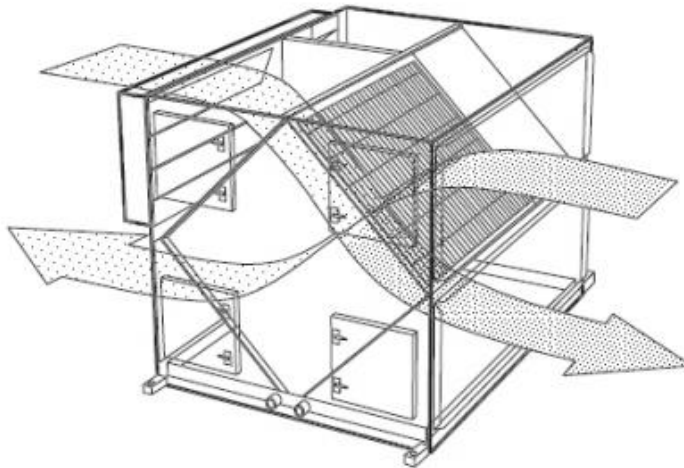
(Ekv. 12)



Figur 2. Varaktighetsdiagram för Växjö med en årsmedeltemperatur på 6,4°C. Diagrammet visar antal timmar beroende av uteluftstemperatur under ett genomsnittsår. Klimatdata är inhämtad från VIP-Energy.

2.6 Plattvärmväxlare och värmeåtervinning

En plattvärmväxlare består av tunna lamellplåtar med hög värmeledningsförmåga, vanligtvis aluminium, och har som uppgift att värma tilluften med hjälp av frånluften. I varannan spalt strömmar kall uteluft och i varannan varm frånluft (Warfvinge 2010). Figur 3 visar luftflödet genom en plattvärmväxlare.



Figur 3. Plattvärmväxlare Bildkälla: <http://www.xetexinc.com>, 2012-05-12

Hur mycket temperaturen på tilluften kan höjas jämfört med uteluften är beroende på värmväxlarens temperaturverkningsgrad. Temperaturverkningsgraden för en plattvärmväxlare ligger normalt på mellan 50-60%. Placerar man flera växlare i serie kan verkningsgraden öka (Warfvinge 2010). Ekvation 13 och 14 visar hur temperaturerna i till och frånluften är beroende av flödet, utelufttemperaturen och verkningsgraden.

$$\eta_{till} = \frac{(T_{\dot{a}} - T_{ute})}{(T_{fr\ddot{a}n} - T_{ute})} \cdot \frac{q_{till}}{q_{fr\ddot{a}n}} \quad (\text{Ekv. 13})$$

$$\eta_{fr\ddot{a}n} = \frac{(T_{fr\ddot{a}n} - T_{av})}{(T_{fr\ddot{a}n} - T_{ute})} \cdot \frac{q_{till}}{q_{fr\ddot{a}n}} \quad (\text{Ekv. 14})$$

η_{till} = tilluftens temperaturverkningsgrad
 $\eta_{fr\ddot{a}n}$ = frånluftens temperaturverkningsgrad
 $T_{\dot{a}}$ = temperatur efter återvinning (°C)
 T_{ute} = utetemperatur (°C)
 T_{av} = avluftstemperatur (°C)
 $T_{fr\ddot{a}n}$ = frånluftstemperatur (°C)
 q_{till} = tilluftsflöde (m³/s)
 $q_{fr\ddot{a}n}$ = frånluftsflöde (m³/s)

Verkningsgraden korrigeras sedan beroende på förhållandet mellan tilluft och frånluft (Warfvinge 2010).

Vid hög temperaturverkningsgrad kan problem uppstå vintertid med isbildning i plattvärmväxlaren. När det är kallt ute och frånluften kyls ner under daggpunkten och kan kondens bildas som fryser. För att kunna upprätthålla en hög värmeåtervinning måste aggregatet avfrostas. Avfrostningen sker antingen genom att den kalla uteluften styrs förbi växlaren, att tilluftsfläkten stängs av tillfälligt eller att tilluften blockeras delvis (Warfvinge 2010). Avfrostningen innebär en minskning av värmeåtervinning i värmväxlaren. På Höstvägen 14 och 22 sker den per automatik och styrs av den relativa fuktigheten i frånluften¹. Temperatur då avfrostningen påbörjas är beroende av förhållandet mellan till- och frånluftflödet. Ett högre flöde på frånluften i förhållande till tilluften gör att temperaturen då avfrostningen påbörjas sjunker.

¹ Magnus Fransson, 2012-04-12

3. Metod

För att ta reda på temperaturfallet i huvudkanalerna började arbetet med mätvärdesinsamlingar. Temperaturloggar placerades i till- och frånluftsdon i lägenheterna längst bort från luftbehandlingsaggregaten på Höstvägen 14 och 22.

Vidare söktes information i litteratur, internet, standarder och vetenskapliga tidskrifter om hur värmeförluster uppstår och hur ventilationssystem fungerar.

Under arbetets gång har det fortlöpande skett kontakter med IV-produkt, Hyresbostäder i Växjö samt InPro Installationsconsult AB för handledning och informationsinsamling.

Med hjälp av litteraturstudier och i samråd med Tony Timm, Bengt Svensson och Leif Gustafsson togs en metod för beräkning av värmeförluster i aggregaten och kanalsystemen fram.

3.1 Metod för beräkning av värmeförluster i kanalsystemen

Värmeförlusterna i kanalerna beräknades med hjälp av Isovers beräkningsprogram för teknisk isolering, IsoDim. Programmet tar hänsyn till värmeöverföring genom ledning, konvektion och strålning. RockWool och Paroc har liknande program. De använder sig av samma beräkningssätt så resultaten blir likvärdiga. IsoDim har använts då det ansågs ha en högre användarvänlighet samt att de företag vi har haft kontakt med använder sig av det.

Luftflöden och längder på kanalerna har tagits fram med hjälp av VVS-ritningar och uppmätta luftflöden i till och frånluftsdon. Flödena summerades för varje kanalsträcka och med hjälp av flödet räknades sedan lufthastigheten fram. Värdet på grundflödet på frånluften har korrigerats med hänsyn till antalet inkopplade spisfläktar. Vi har antagit att spisfläktarna är igång i snitt 2 timmar per dygn. Grundflödet i frånluftskanalen har korrigerats med ekvation 15.

$$\text{Korrigerat flöde} = \text{Grundflöde} + \frac{2}{24} \cdot \text{antal spisfläktar} \cdot 20 \text{ l/s}$$

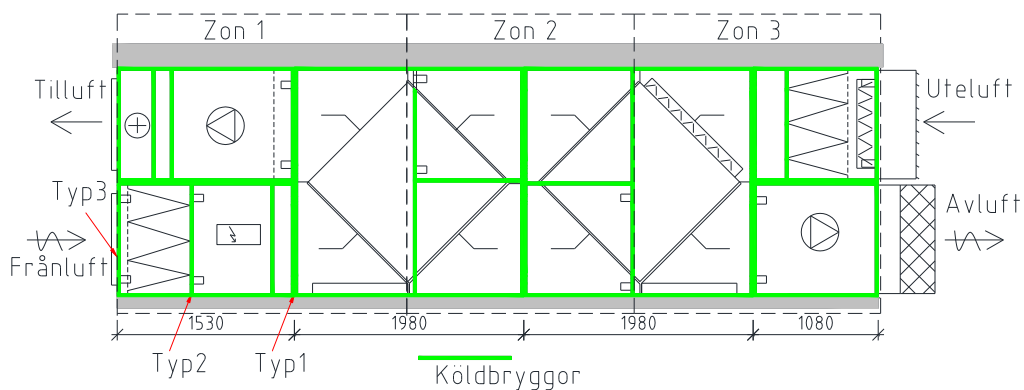
(Ekv. 15)

Värmeförlusterna beräknades med IsoDim för varje delsträcka och summerades sedan. Till och frånluftskanaler för varje hus summerades var för sig.

All information för att ta fram ingående värden har tillhandahållits av Hyresbostäder i Växjö AB och InPro Installationsconsult AB.

3.2 Metod för beräkning av värmeförluster i luftbehandlingsaggregaten

Inne i aggregatet blandas kall uteluft med varm frånluft. Uteluften värms upp medan frånluften kyls av. Det gör att temperaturen i aggregatet varierar. För att hantera situationen med olika temperaturer har aggregatet delats upp i tre zoner. Figur 4 visar zonindelningen och köldbryggornas placering i aggregatets klimatskal. Uppbyggnaden av modellen gjordes med hjälp av konstruktions ritning från IV-Produkt AB. Se bilaga 1.



Figur 4. Ritning med zonindelning av luftbehandlingsaggregaten på Höstvågen 14 och 22

3.2.1 Beräkning av U-värden

För att ta fram U-värden användes VIP-Energy. VIP-Energy är ett program för att beräkna energianvändning i byggnader. Programmet använder sig av en numerisk metod för beräkning av köldbryggor och är validerat mot gällande standarder för energiberäkningsprogram (Strusoft 2012). Ett annat program är Heat 2. Det beräknar också U-värden med hänsyn till köldbryggor med en numerisk metod (Building Physics 2012).

Vi har valt att använda VIP-Energy på grund av att hjälp och handledning har kunnat fås i programmet då det har funnits tillgängligt både på Linnéuniversitetet och hos InPro Installationssonsult AB.

I VIP-Energy modellerades panelerna i aggregatet upp med de olika skikten. Ramverket behandlades som en tvådimensionell linjär köldbrygga.

Vid beräkning av värmeförluster tas endast långsidorna av aggregatet som ligger i riktning mot väst och öst samt aggregatets golv och tak i beaktan.

Detta på grund av att den södra sidan domineras av stora kanalanslutningar. Den norra sidan tas nästan helt upp av uteluftsintag och utblås för avluften. Därför har vi bortsett helt från de värmeförluster som sker där.

U-värdet beräknades för zon 1 och zon 2 var för sig.

Zon 3 är endast en transportzon i aggregatet för ouppvärmad uteluft och avkyld frånluft. Ute luften som kommer in i aggregaten är ännu inte uppvärmd, den börjar värmas upp i zon 2 och frånluften har redan passerat värmeväxlaren den är nästan lika kall som uteluften. Därför bortser vi från de värmeförluster som sker i zon 3.

3.2.2 Beräkning av temperaturer i aggregatet

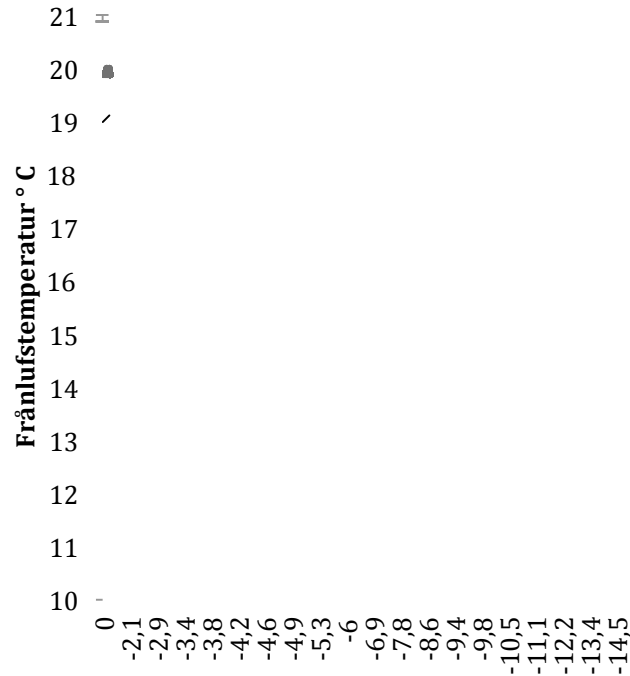
Temperaturen i zon 1 beräknas genom att ta fram medeltemperaturen av frånluften och tilluften med hänsyn till hur stora flödena är.

Frånluftskanalerna är placerade utvändigt och det innebär att temperaturförluster sker i kanalerna. Med hjälp av temperaturloggar placerade inne i aggregaten gjordes ett diagram för frånluftstemperaturens beroende av uteluftstemperaturen. Med hjälp av kalkylprogrammet Microsoft Excel togs en trendlinje fram. 2430 mätpunkter vid utetemperaturer mellan 0°C och -15,8°C. Figur 5 visar trendlinjen och temperaturfördelningen i mätningarna.

Ekvation 16 visar hur trendlinjen ser ut.

$$T_{från} = 0,125 \cdot T_{ute} + 19$$

(Ekv. 16)



Figur 5. Frånluftstemperaturens beroende av utluftstemperaturen.

Tilluftstemperaturen efter värmeväxlaren beräknas med ekvation 17.

$$T_{\text{å}} = \eta (T_{\text{från}} - T_{\text{ute}}) + T_{\text{ute}} \quad (\text{Ekv. 17})$$

Medeltemperaturen i Zon 1 beräknas med ekvation 18.

$$T_{\text{zon1m}} = \frac{(T_{\text{å}} * Q_{\text{till}} + T_{\text{från}} * Q_{\text{från}})}{(Q_{\text{till}} + Q_{\text{från}})} \quad (\text{Ekv. 18})$$

Temperaturen på avluften beräknas med ekvation 19.

$$T_{\text{av}} = T_{\text{från}} - \eta (T_{\text{från}} - T_{\text{ute}}) \quad (\text{Ekv. 19})$$

Temperaturfallet mellan zon 1 och zon 3 antas vara linjärt. Därför kan temperaturen i zon 2 beräknas som medeltemperaturen mellan zon 1 och zon 3. Detta beräknas med ekvation 20.

$$T_{zon2m} = \frac{\left(\frac{(T_{\text{å}} - T_{ute})}{2} + T_{ute}\right) * Q_{till} + \left(\frac{(T_{från} - T_{av})}{2} + T_{av}\right) * Q_{från}}{(Q_{till} + Q_{från})} \quad (\text{Ekv. 20})$$

Med hjälp av VIP-Energy's klimatdata fil för Växjö togs antalet timmar vid en viss given utetemperatur fram. Se figur 2.

Värmeförlusten beräknades sedan för varje zon och grad med ekvation 21.

$$P = \Delta T \cdot U \cdot A \cdot \text{Antalet timmar} \quad (\text{Ekv. 21})$$

Tilluften är dimensionerad för att hålla 19°C. Det innebär att värmeväxlarna måste bypassas när temperaturen stiger för att inte få för höga temperaturer på tilluften. Brytpunkten för när värmeväxlarna börjar bypassas beräknas med hjälp av ekvation 22.

$$T_{ute} = \frac{(19 - 19\eta)}{(1 - 0,875\eta)}$$

$$T_{ute} = 11 \text{ °C då } \eta = 0,9 \quad (\text{Ekv. 22})$$

Därför tas ej värmeförluster vid utetemperaturer över 11°C med i beräkningarna. Formeln ovan tar hänsyn till temperaturförluster i kanalerna. Sker inga förluster i frånluftskanalen kommer utetemperaturen då värmeväxlarna börjar bypassa att sjunka².

Värmeförlusterna under hela året beräknades sedan genom att summera förlusterna för varje zon och utetemperatur.

Avfrostningen påverkar temperaturfördelningen i aggregatet. På grund av ett högt flöde på frånluften i förhållande till tilluften i aggregaten på Höstvägen 14 och 22 sätts inte avfrostningen igång förrän vid -15°C, se bilaga 2. Det innebär att samma höga temperaturverkningsgrad bibehålls ända ner till -15°C. På grund av att det endast är kallare än -15°C i 34 timmar under ett genomsnittså i Växjö tas ingen hänsyn till avfrostningen vid värmeförlustberäkningarna. Det har inte gjorts någon vidare undersökning om hur den ändrade temperaturfördelningen vid avfrostning kan påverka värmeförlusterna.

Värmeförlusterna för fyra olika typer av klimatskal för aggregaten beräknades. Först undersöktes hur stora förlusterna är på det befintliga aggregatet för att sedan se hur mycket förlusterna skulle minska om isoleringstjockleken ökades. En tredje beräkning utfördes för att se hur

² Bengt Svensson, 2012-04-27

värmeförlusterna skulle påverkas om godstjockleken på aluminiumprofilerna i ramverket minskades. En beräkning utfördes på hur stora förlusterna skulle bli om stål användes i ramverket istället för aluminium. Till sist undersöktes hur stora förlusterna blir om temperaturfallet i frånluftkanalen begränsas.

I bilaga 3 redovisas areor på väggar, tak och golv samt längder på köldbryggorna.

3.3 Life Cycle Cost

Livscykelkostnaden (Life Cycle Cost) är totalkostnaden för en investering under hela dess livslängd. En livscykelkostnadsanalys tar bland annat hänsyn till förväntad brukstid, avkastningskrav, inflation, dagens energipris, förväntad energiprisökning, investeringskostnad, drift och underhåll (Jernkontoret 2007).

Drift och underhållskostnader kan variera mellan åren men en LCC-analys räknar med ett längre perspektiv och då antas kostnaderna vara lika stora varje år (Jernkontoret 2007).

För att beräkna hur mycket en framtida besparing eller intäkt är värd i dag använder vi oss av nusummefaktorn. Nusummefaktorn beräknades med ekvation 23. (Skärvad 2008).

$$\text{Nusummefaktor} = \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}$$

r_k = kalkylräntan med hänsyn till energiprisökning och inflation (%)

n = ekonomisk livslängd (år)

(Ekv. 23)

Kalkylräntan är det lägsta krav på avkastning som ett företag ställer på en investering (Skärvad 2008). Enligt energimyndigheten (2012) har fastighetsägarnas investeringskrav en på kalkylränta på 6 %.

Energiprisökningen är en uppskattning men har historiskt sett legat på ca 2 % utöver inflationen (Energimyndigheten 2012). Kalkylräntan med hänsyn till energiprisökningen beräknades med ekvation 24.

$$r_k = r - e$$

r_k = kalkylräntan med hänsyn till energiprisökning (%)

r = kalkylränta (%)

e = energiprisökning utöver inflation (%)

(Ekv. 24)

Vid beräkning av isolermängd sätts alltid underhållskostnaden till noll (Swedisol 2012).

Den ekonomiska livslängden för luftbehandlingsaggregat beräknas vara 25 år. Byggnader och kanalsystem beräknas ha en livslängd på 50 år (ISO 23993).

För att beräkna om en ökad isoleringsmängd är lönsam eller inte jämfördes investeringskostnaden med den årliga energibesparingen. Det beräknades med hjälp av ekvation 25.

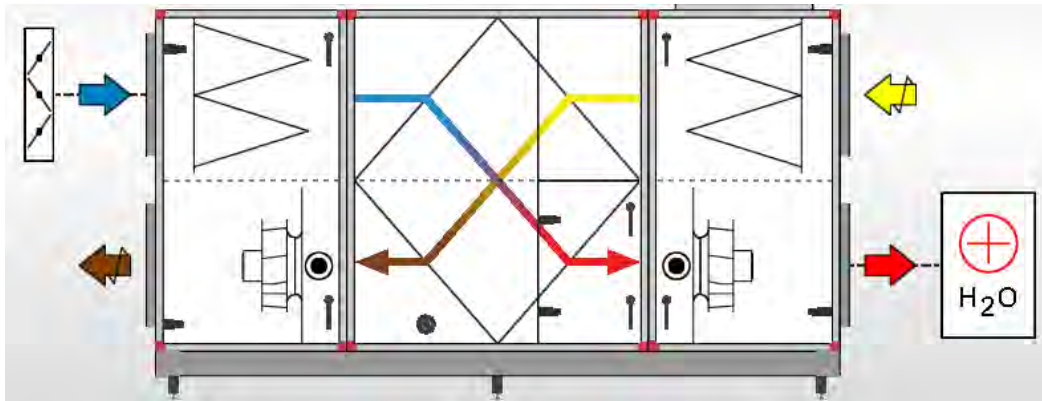
$$\text{Resultat} = \text{Investering} - \text{Nusumme faktorn} \cdot \text{Årlig energikostnad}$$

(Ekv. 25)

4. Luftbehandlingsaggregat och kanalsystem

I det här kapitlet ges en beskrivning av luftbehandlingsaggregaten och kanalsystemen som finns installerade på Höstvägen 14 och 22. I slutet på kapitlet ges en kort genomgång av hur uppvärmningen sker i byggnaderna.

4.1 Luftbehandlingsaggregaten



Figur 6. Luftbehandlingsaggregatet med enkel plattvärmeväxlare.
Bildkälla: IV-Produkt

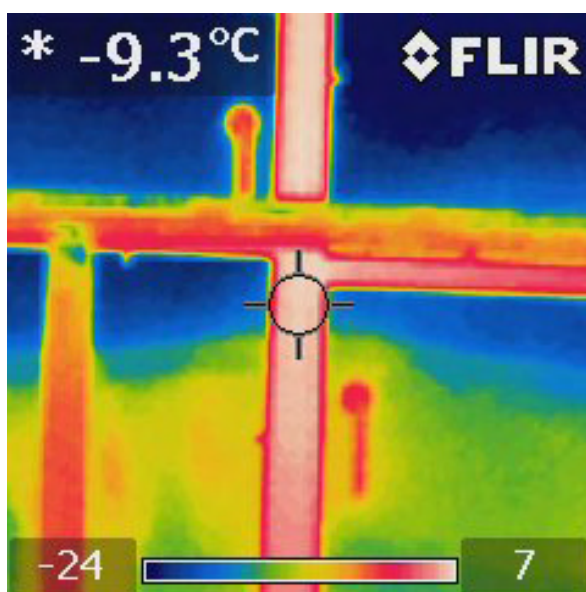
Luftbehandlingsaggregaten som är monterade på Höstvägen 14 och 22 är av typen Flexomix 360 från IV Produkt. Aggregatet är ett FTX-aggregat och är en del i ett till- och frånluftssystem som använder sig av en värmeväxlare för att värma tilluften med värmeenergin i frånluften. Ett FTX-aggregat består bland annat av uteluftsintag, spjäll, luftfilter, luftvärmare och fläktar (Warfvinge 2010). Aggregaten har dubbla plattvärmeväxlare som är placerade i serie för att få en hög verkningsgrad i värmeåtervinningen. Figur 6 illustrerar hur ett luftbehandlingsaggregat med en enkel plattvärmeväxlare ser ut och fungerar.

Figur 7 visar luftbehandlingsaggregatet på Höstvägen 22 som är centralt placerat på huset.



Figur 7. Utvändigt placerat FTX-aggregat på Höstvågen 22, 2012-04-09

Aggregatets klimatskal består av paneler med ett 0,8mm tjock plåthölje som är isolerade med 25 mm mineralull³. Taket är inklätt med svart plåt för att tillgodose tillräcklig täthet och vattenavrinning. Stommen är uppbyggd av ett ramverk av aluminium. Då aluminium har en mycket högre värmeledningsförmåga än mineralull (Alvarez 2006) ger ramverket upphov till köldbryggor. Figur 8 visar hur ramverket syns som köldbryggorna i luftbehandlingsaggregatet på Höstvågen 14.



Figur 8. Bild på luftbehandlingsaggregatet på Höstvågen 14 tagen med värmekamera, 2012-02-02

Aggregaten är monterade på samma sätt på både Höstvågen 14 och 22. Det är installationen av kanalsystemen som skiljer byggnaderna åt.

³ Bengt Svensson, 2012-04-02

4.2 Kanalsystemen

Huvudkanalerna är placerade på taket. De är kopplade till stamkanaler som går genom schakt i varje lägenhetsstråk.

Kanalerna på Höstvågen 14 är insvepta med svartmålad plåt. På Höstvågen 22 är kanalerna inbyggda av en plåtbyggnad som bildar ett ventilerat utrymme runt kanalerna liknande en ventilerad kallvind. Kanalerna har en invändig diameter på mellan 315 och 500 mm. På Höstvågen 14 är kanalerna isolerade med 120 mm mineralull. Kanalerna på Höstvågen 22 är isolerade med 100 mm. Figur 9-10 visar hur kanalerna är placerade. Figur 11 visar hur plåtbyggnaden ser ut.



Figur 9. Utvändigt placerade huvudkanaler på Höstvågen 14, 2012-02-17



Figur 10. Invändigt placerade huvudkanaler på Höstvågen 22, 2012-04-12



Figur 11. Byggnad runt huvudkanaler på Höstvägen 22, 2012-04-12

4.3 Uppvärmning

Radiatorer inne i lägenheterna och värmebatteriet i luftbehandlingsaggregatet tillför värmeenergi för att värma upp luften. Varje förlorad Wh i kanalsystem och luftbehandlingsaggregat måste kompenseras med ökad uppvärmning.

Uppvärmning av tilluften sker i aggregatet. Efter att uteluften passerat värmeväxlarna värms luften upp med hjälp av ett värmebatteri. Hur stor effekt värmebatteriet måste ha är beroende av hur hög tilluftstemperaturen är efter värmeväxlingen. Temperaturfallet i tilluftkanalerna gör att temperaturen på luften i tilluftsdonet inne i lägenheterna blir lägre. Är temperaturfallet stort måste radiatorerna inne i lägenheterna ha högre effekt för att kunna upprätthålla tillräckligt hög innetemperatur⁴.

Vid analysering av en byggnads värmeenergiförluster menar McQuiston (2005) att värmeförlusterna i tilluftkanalen skall läggas till de interna värmeförlusterna i byggnaden. Förlusterna som uppstår i frånluftkanalerna ska inte ses som en del i själva byggnadens värmeförluster utan istället tas med i beräkningen för verkningsgraden i värmeväxlaren. Det blir värmebatteriet som får arbeta mer när det sker förluster i frånluftkanalen (McQuiston 2005).

⁴ Tony Timm, 2012-04-27

5. Resultat

I detta kapitel presenteras de beräkningar som utförs på kanalsystem och luftbehandlingsaggregat.

5.1 Värmeförluster i huvudkanalerna.

Tabell 1 redovisar ingående värden för beräkning med IsoDim. Längder och lufthastigheter redovisas tillsammans med resultatet i bilaga 4.

Tabell 1. Ingående värden för värmeförlustberäkning i huvudkanaler.

	Höstvägen 14		Höstvägen 22	
	Tilluft	Frånluft	Tilluft	Frånluft
Lufttemperatur	19 °C	21 °C	19 °C	21 °C
Isoleringstjocklek	120 mm	120 mm	100 mm	100 mm
Ytskikt	Svart lackerad plåt	Svart lackerad plåt	Mineralull	Mineralull
Placering	Utvändigt	Utvändigt	Invändigt (egenkonvektion)	Invändigt (egenkonvektion)

Tabell 2 visar beräknade värmeförluster (kWh/år) i till- och frånluftkanalerna för huvudkanalerna på Höstvägen 14 och 22.

Tabell 2. Beräknade värmeförluster för 120 respektive 100mm isolering.

Höstvägen 14:		Höstvägen 22:	
Tilluft:	5246	Tilluft:	5910
Frånluft:	6429	Frånluft:	7053
Summa:	11675	Summa:	12963

Tabell 3 visar beräknade värmeförluster (kWh/år) i till- och frånluftskanalerna om kanalisoleringen ökas till 150 mm.

Tabell 3. Beräknade värmeförluster för 150mm isolering.

Höstvägen 14:		Höstvägen 22:	
Tilluft:	4432	Tilluft:	4372
Frånluft:	5424	Frånluft:	5332
Summa:	9856	Summa:	9704

Tabell 4 visar U-värden (W/mK) för olika isolertjocklekar på de utvändigt placerade tilluftkanalerna på Höstvägen 14.

Tabell 4. U-värden för olika isolertjocklekar

Isolertjocklek	Kanaldimension		
	315 mm	400 mm	500 mm
100 mm	0.41	0.50	0.60
120 mm	0.36	0.43	0.52
140 mm	0.32	0.38	0.46
150 mm	0.30	0.36	0.43
160 mm	0.29	0.35	0.41
170 mm	0.28	0.33	0.39
180 mm	0.27	0.32	0.38
190 mm	0.26	0.31	0.36
200 mm	0.25	0.30	0.35

5.1.1 LCC-analys av ökad kanalisolering

Genom att öka mängden isolering runt rören blir värmeförlusterna lägre. Ökad mängd isolering innebär ökade installationskostnader. För att förenkla beräkningen studeras nu endast värmeförlusterna på en meter tilluftkanal på Höstvägen 14.

I tabell nedan visas hur mycket värmeförlusterna minskar med ökad mängd isolering samt hur kostnaden påverkas. Ingående värden som ytskikt, lufthastighet och medietemperatur antogs vara oförändrad. Energipriset sattes till 45 öre/kWh. Prisökningen avser den initiala ökningen av installationskostnaden för att öka isolermängden från 120mm på en kanal med diametern 500 mm. LCC-analysen anger hur mycket besparing eller kostnadsökning som åtgärden innebär. Tabell 5 visar hur en ökad isolertjocklek påverkar livscykelkostnaden. En negativ siffra betyder kostnadsökning per meter. Prisuppgifter är tillhandahållna från Sydisolering AB⁵.

Nusummefaktorn för 50 års livslängd med en kalkylränta på 6 % och en energiprisökning på 2 % beräknas med ekvation 26.

$$\frac{1-(1+0,04)^{-50}}{0,04} = 21,48$$

(Ekv. 26)

Nusummefaktorn för 25 års livslängd med en kalkylränta på 6 % och en energiprisökning på 2 % beräknas med ekvation 27

$$\frac{1-(1+0,04)^{-25}}{0,04} = 15,62$$

(Ekv. 27)

⁵ Roger Dahlberg, 2012-04-18

Tabell 5. LCC-analys av ökad isolermängd

Isolertjocklek	Prisökning kr/meter	Värmeförlust kWh/m,år	Besparing kWh/m,år	LCC-analys 50 år, kr/m	LCC-analys 25 år, kr/m
120 mm	0	56,93	0	0	0
140 mm	105	50,46	6,47	-42,46	-60,51
150 mm	162,5	47,85	9,08	-74,73	-100,07
160 mm	220	45,55	11,38	-110	-141,75
170 mm	307,5	43,5	13,43	-177,69	-215,16
180 mm	395	41,68	15,25	-247,59	-290,14
190 mm	482,5	40,05	16,88	-319,34	-366,43
200 mm	570	38,68	18,25	-393,6	-444,51

5.2 Beräkning av värmeförluster i luftbehandlingsaggregaten

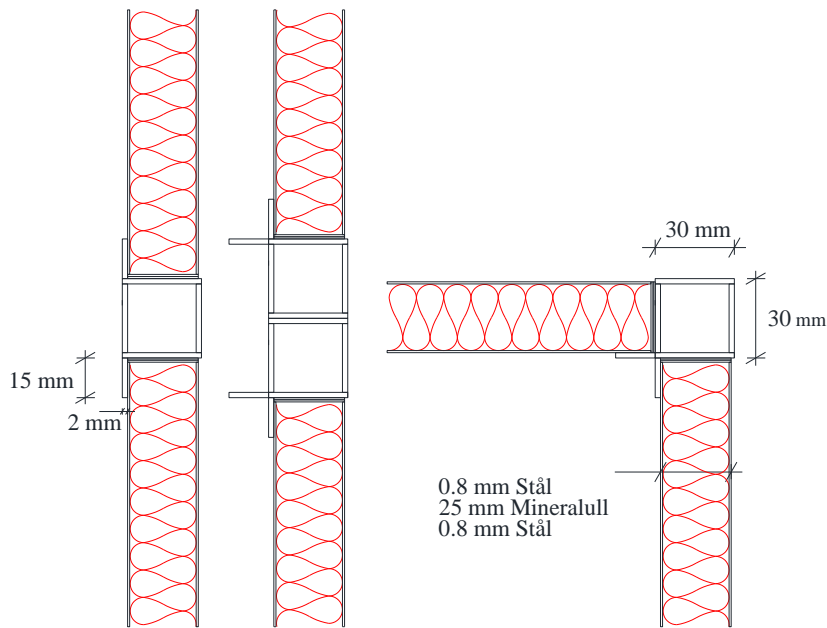
Här presenteras resultatet av värmeförlustberäkningarna för luftbehandlingsaggregatet. Första beräkningen finns redovisad i tabellform i bilaga 5.

5.2.1 Värmeförluster i befintligt aggregat med 25mm isolering

Aggregatets ramverk består av aluminiumprofiler med dimensionen 30x30 mm och har en godstjocklek på 2 mm. På insidan av ramverket sitter 15 mm flänsar för att hålla panelerna på plats. Panelerna består av 25 mm mineralull och är insvepta med 0,8 mm stålplåt. VIP-Energy sätter värmekonduktiviteten för aluminium till 200 W/m²K (Strusoft 2011). Mineralullens värmekonduktivitet⁶ sätts till 0,033 W/m²K. Tabell 6 visar resultat från beräkning i VIP-Energy.

Figur 12 visar de tre typer av köldbryggor som har identifierats. Figuren visar en två-dimensionell bild av hur ramverket bryter igenom isoleringsskiktet.

⁶ Bengt Svensson, 2012-04-02



Figur 12. Från vänster visas typ 1, typ 2 och typ 3.

Tabell 6. U- och Psi-värden beräknade med VIP-Energy.

	U-värde (W/m ² ,k)
Byggdeltyp	Psi-värde W/m,k
Panel	1,157 W/m ² ,k
Köldbrygga typ 1	1.260 W/m,k
Köldbrygga typ 2	1.596 W/m,k
Köldbrygga typ 3	1.214 W/m,k
U-värde Zon 1	2,136 W/m ² ,k
U-värde Zon 2	2,033 W/m ² ,k

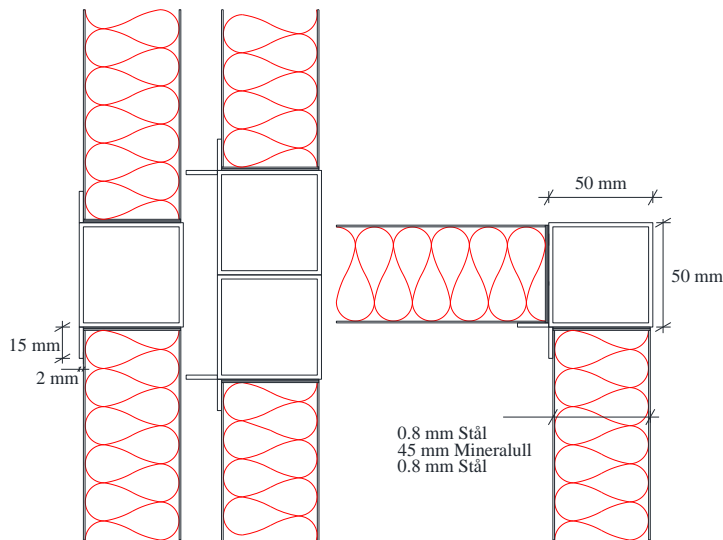
Totala värmeförlusterna i aggregatet är beräknade till ca 5379 kWh/år.

Om köldbryggorna elimineras blir värmeförlusterna 2960 kWh/år. Det innebär att köldbryggorna i konstruktionen ökar värmeförlusterna med 2419 kWh/år jämfört med en konstruktion utan köldbryggor.

5.2.2 Värmeförluster i ett aggregat med 45 mm isolering

Flexomix aggregatet finns i utförande med ett plushölje⁷ som har 45 mm isolering i panelerna och ett ramverk aluminiumprofiler med dimensionen 50x50 mm. Figur 13 visar hur köldbryggorna ritats upp. Samma ingående data som tidigare ligger till grund för beräkningarna. Tabell 7 visar resultat från beräkning i VIP-Energy.

⁷ Bengt Svensson, 2012-02-23



Figur 13. Från vänster visas typ 1, typ 2 och typ 3.

Tabell 7. U- och Psi-värden beräknade med VIP-Energy.

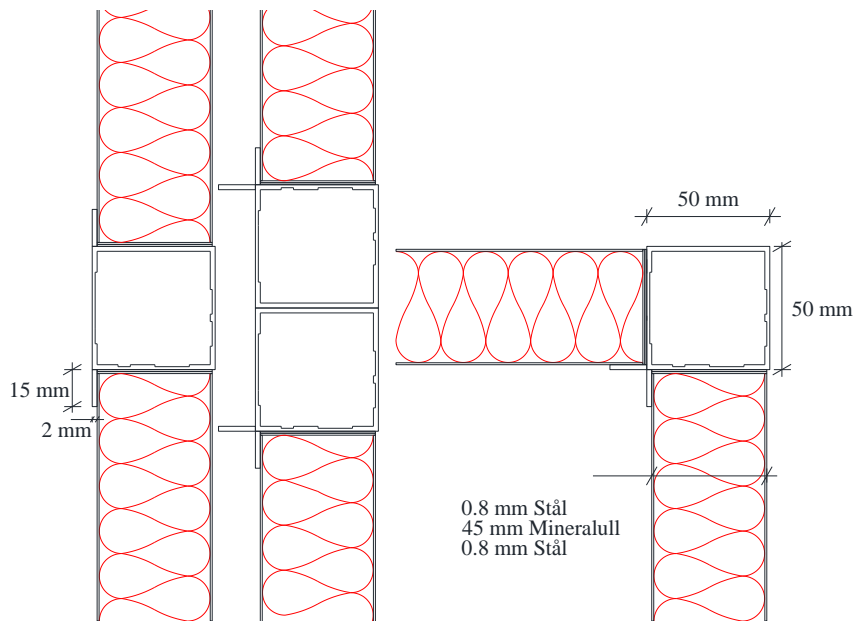
	U-värde (W/m ² ,k)
Bygghelstyp	Psi-värde W/m,k
Panel	0,704 W/m ² ,k
Köldbrygga typ 1	1,268 W/m,k
Köldbrygga typ 2	1,719 W/m,k
Köldbrygga typ 3	1.163 W/m,k
U-värde Zon 1	1,904 W/m ² ,k
U-värde Zon 2	1,782 W/m ² ,k

Totala värmeförlusterna i aggregatet med plushölje är beräknade till ca 4769 kWh/år.

Om köldbryggorna elimineras blir värmeförlusterna 1801 kWh/år. Det innebär att köldbryggorna i konstruktionen ökar värmeförlusterna med 2968 kWh/år jämfört med en konstruktion utan köldbryggor.

5.2.3 Värmeförluster i aggregat med 45 mm isolering och modifierat ramverk

IV-produkt har tittat på att förändra profilerna i ramverket. Samma stomme som i plushöljet används. I dessa profiler har tjockleken på godset minskats i profilerna. Figur 14 visar hur köldbryggorna har modifierats. Samma ingående data som tidigare ligger till grund för beräkningarna. Tabell 8 visar resultat från beräkning i VIP-energy.



Figur 14. Från vänster visas typ 1, typ 2 och typ 3.

Tabell 8. U- och Psi-värden beräknade med VIP-Energy.

	U-värde (W/m ² ,k)
Byggdeltyp	Psi-värde W/m,k
Panel	0,704 W/m ² ,k
Köldbrygga typ 1	1,266 W/m,k
Köldbrygga typ 2	1.709 W/m,k
Köldbrygga typ 3	1.155 W/m,k
U-värde Zon 1	1.896 W/m ² ,k
U-värde Zon 2	1.776 W/m ² ,k

Totala värmeförlusterna i aggregatet med modifierade profiler är beräknade till ca 4750 kWh/år.

Om köldbryggorna elimineras blir värmeförlusterna 1801 kWh/år. Det innebär att köldbryggorna i konstruktionen ökar värmeförlusterna med 2949 kWh/år jämfört med en konstruktion utan köldbryggor.

5.2.4 Värmeförluster i aggregat med 45 mm isolering och ramverk av stål

Samma paneler som i plushöljet används. I dessa profiler har materialet bytts ut till stål. Stål har en värmekonduktivitet på 50 W/m²K (Alvarez 2006). Samma ingående data som tidigare ligger till grund för beräkningarna. Tabell 9 resultat från beräkning i VIP-Energy.

Tabell 9. U- och Psi-värden beräknade med VIP-Energy.

	U-värde (W/m ² ,k)
Bygghelstyp	Psi-värde W/m,k
Panel	0,704 W/m ² ,k
Köldbrygga typ 1	1,186 W/m,k
Köldbrygga typ 2	1.600 W/m,k
Köldbrygga typ 3	1,078 W/m,k
U-värde Zon 1	1.799 W/m ² ,k
U-värde Zon 2	1.689 W/m ² ,k

Totala värmeförlusterna i aggregatet är beräknade till ca 4511 kWh/år.

Om köldbryggorna elimineras blir värmeförlusterna 1801 kWh/år. Det innebär att köldbryggorna i konstruktionen ökar värmeförlusterna med 2710 kWh/år jämfört med en konstruktion utan köldbryggor.

5.2.5 Värmeförluster i aggregat utan temperaturfall i frånluftkanalen

Ligger temperaturen på frånluften in i aggregatet på 21°C. Kommer värmeväxlaren att börja bypassas vid 2°C.

Värmeförlusterna för ett aggregat med 45 mm isolering med en 50x50 mm profil av aluminium i ramverket blir då ca 3077 kWh/år.

Ligger temperaturen på frånluften in i aggregatet på 22°C. Kommer värmeväxlaren att börja bypassas vid -8°C.

Värmeförlusterna för ett aggregat med 45 mm isolering med en 50x50 mm profil av aluminium i ramverket blir då ca 517 kWh/år.

5.2.6 Beräkning av besparingar med hjälp av LCC-analys

Med hjälp av LCC-analys beräknas hur mycket en investering för ett fläktrum maximalt får kosta för att inte innebära en fördyrning. Livslängden sätts till 25 år, kalkylräntan till 6 %, energiprisökningen till 2 % och energipriset 45 öre/kWh. Ekvation 28 visar hur stor besparingen blir om energiförlusterna helt kan elimineras.

$$5379 \text{ kWh/år} \cdot 0,45 \text{ kr/kWh} \cdot 15,62 = 37\,936 \text{ kr} \quad (\text{Ekv. 28})$$

Besparing för att byta ut aggregatet med 25 mm isolering mot ett med 45 mm isolering visas av ekvation 29.

$$(5379 - 4769) \text{ kWh/år} \cdot 0,45 \text{ kr/kWh} \cdot 15,62 = 4\,289 \text{ kr} \quad (\text{Ekv. 29})$$

Besparing för att byta ut aggregatet med 25 mm isolering mot ett med 45 mm isolering och ett ramverk av stål visas av ekvation 30.

$$(5379 - 4510) \text{ kWh/år} \cdot 0,45 \text{ kr/kWh} \cdot 15,62 = 6\,108 \text{ kr} \quad (\text{Ekv. 30})$$

Besparing för att byta ut aggregatet med 25 mm isolering mot ett med 45 mm isolering samt öka frånluftstemperaturen till 21°C genom ökad isolering runt kanalerna visas av ekvation 31.

$$(5379 - 3077) \text{ kWh/år} \cdot 0,45 \text{ kr/kWh} \cdot 15,62 = 16\,181 \text{ kr} \quad (\text{Ekv. 31})$$

Besparing för att byta ut aggregatet med 25 mm isolering mot ett med 45 mm isolering samt öka frånluftstemperaturen till 22°C genom ökad isolering runt kanalerna visas av ekvation 32.

$$(5379 - 517) \text{ kWh/år} \cdot 0,45 \text{ kr/kWh} \cdot 15,62 = 34\,175 \text{ kr} \quad (\text{Ekv. 32})$$

6. Temperaturmätningar utförda i till och frånluftsdon

I det här kapitlet beskrivs hur mätningarna på temperaturfallet i huvudkanalerna utfördes. En genomgång ges av de resultat som framkom. Kapitlet behandlar också en del av de problem som uppkom under mätperioden och som skapade en viss osäkerhet om korrektheten i resultatet.

Mellan den 2:a och 6:e februari loggades temperaturerna i till och frånluftsdonen i två lägenheter. De två lägenheter som valdes för att placera temperaturloggarna i ligger placerade på översta våningen i trappuppgång G och ligger längst bort från ventilationsaggregatet. En temperaturlogg placerades i vardera till- och frånluftsdon. Temperaturen loggades en gång varje halvtimme.

Den del av huvudkanalen som ligger till grund för mätningarna har utvändigt längd på totalt 54,5 m och en invändig diameter på 500 mm. Både till- och frånluftkanalerna har ungefär samma totala längd.

Under samma period hämtades värden på temperaturerna i ventilationsaggregatet in med hjälp av loggar fast monterade i aggregatet.

Den 5:e februari kl 03:00 låg utetemperaturen på $-15,8^{\circ}\text{C}$. Detta var den lägsta temperatur som inträffade under mätperioden. Temperaturförlusterna redovisas i tabell 9.

Tabell 9. Temperaturförluster vid utetemp $-15,8^{\circ}\text{C}$ 20120205 kl 03:00.

2012-02-05 kl. 03:00	Aggregat	Don	Temperaturförlust
Höstvågen 14			
Tilluft	19°	16,7°	2,3°
Frånluft	16°	22,2°	6,2°
Höstvågen 22			
Tilluft	15,9°	15,9°	0°
Frånluft	17,5°	20,5°	3°

Luften från alla lägenheter blandas upp med varandra i kanalerna och det kan vara missvisande att räkna med att temperaturförlusten på frånluftkanalen med enbart utgångspunkt från en temperatur i ett frånluftsdon. För att få en noggrannare uppskattning jämförs frånluftstemperaturen i aggregatet med medeltemperaturerna i lägenheterna. Temperaturfallet redovisas i tabell 10.

Tabell 10. Temperaturfallet vid utetemp -15,8° C beräknat från medeltemperatur i lägenheterna.

2012-02-05 kl. 03:00	Aggregat	Medeltemp	Temperaturförlust
Höstvågen 14			
Frånluft	16°	21,4°	5,4°
Höstvågen 22			
Frånluft	17,5°	21,6°	4,1°

På Höstvågen 14 låg temperaturfallet på 21,4°C. Mätlågheten hade en frånlufttemperatur på 22,2°C. Det gör att felet på mätning är ca +0,8°C. På Höstvågen 22 låg medeltemperaturen på 21,6 ° C. Frånlufttemperaturen i mätlågheten låg på 20,5°C. Det gör felet på mätningen där var ca -1,1°C.

Temperaturfallen är ändå inte helt jämförbara då flödena i kanalerna skiljer sig åt. Delar av plan 2 på Höstvågen 14 upptas av Hyresbostäder i Växjö AB´s kontor. Denna del betjånas av ett eget ventilationsaggregat. Det gör att aggregatet och kanalerna på Höstvågen 22 betjånar fler lågheter. Lufthastigheten på kanalerna på Höstvågen 14 är därför lågre än på Höstvågen 22. Flödet i kanalerna där mätvärdena togs är ca 25 % större på Höstvågen 22 än på Höstvågen 14. Bilaga 4 redovisar flödena för de olika delsträckorna. Ett lågre flöde ger större temperaturfall. Men det innebär inte att värmeförlusterna per meter rör är större. Ett högre flöde ger ett lågre övergångstal på insidan av kanalen och det gör att värmeöverföringsförmåga blir större.

Tillförlitligheten på mätstudien försämrades på grund av att under mätperioden gick ett spjäll sönder på Höstvågen 14. Detta gjorde att avfrostningen sattes ur spel och fastighetsågharen valde då att sänka trycket i aggregatet för att klara av avfrostningen i värmevåxlaren⁸.

Temperaturloggen i luftbehandlingsaggregatet på Höstvågen 22 verkar vara placerad så att den kan ha blivit påverkad av avfrostningen. När temperaturen sjunker ner mot 15-16 minusgrader så visar våra mätningar att temperaturfallet i tilluftskanalen på Höstvågen 22 är noll grader.

På grund av att temperaturloggarna inne vid tilluftkanalen i aggregatet ej verkar vara tillförlitlig jämför vi temperaturen i tilluftsdonen i lågheterna med den dimensionerande tilluftstemperaturen.

Vad vi kan konstatera utifrån mätningarna i donen i lågheterna är att de lågheter som är placerade längst bort från aggregaten får en lågre tilluftstemperatur när det blir kallt ute. På Höstvågen 22 ligger temperaturen

⁸ Magnus Fransson, 2012-04-10

i tilluftsdonet 3,1 grader lägre än den dimensionerande temperaturen när det är $-15,8^{\circ}\text{C}$. På Höstvågen 14 ligger temperaturen $2,3^{\circ}\text{C}$ lägre vid samma tidpunkt. Förutsatt att värmebatteriet i aggregatet fungerar kan vi anta att temperaturfallet sker i huvudkanalerna. Detta stämmer överens med de teoretiska beräkningar vi gjort. Värmeförlusterna blir större på Höstvågen 22.

7. Diskussion, analys och slutsatser

I det här kapitlet diskuteras isoleringstjockleken utifrån både ekonomiska och energibesparande perspektiv. Värmeförlusterna som uppstår i luftbehandlingsaggregaten analyseras och en kort genomgång om vilka osäkerhet som finns i beräkningsmodellen ges. Vi kan utifrån beräkningar utförda i resultatdelen visa att det är genom köldbryggorna som de största förlusterna sker. Det diskuteras också varför det mest effektiva sättet att minska värmeförlusterna i aggregatet är genom att minska temperaturfallet i frånluftkanalen.

7.1 Kanalsystemen

En väl utförd projektering och installation av kanalsystemet är viktig för att få ett energieffektivt system. Kortaste möjliga rörsträcka skall användas för att värmeförluster ska kunna minimeras. Samtidigt ska man eftersträva att ha stora dimensioner på kanalerna för att få låga hastigheter på luften (ArchNews 2012). Väljer man att placera ventilationskanalerna utomhus eller i ett uppvärmt utrymme är det viktigt att ta hänsyn till de värmeförluster som sker (McQuiston 2005).

Även om man väljer att placera kanalerna invändigt i ett uppvärmt utrymme så kan förlusterna bli betydande. Det som är avgörande är inte om placeringen är utvändigt eller invändigt. Det avgörande är om utrymmet är uppvärmt eller inte. Den enda fördelen ur värmeförlustsynpunkt vi har hittat med att placera kanalerna invändigt i ett uppvärmt utrymme jämfört med utvändigt placering är att kanalerna inte utsätts för påtvingad konvektion. Enligt Sandin (2010) kan värmemotståndet hos en ventilerad kallvind med plåttak sättas till $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$. Det motsvarar värmemotståndet hos ca 5mm mineralull.

Enligt beräkningar med IsoDim så är värmeförlusterna större på huvudkanalerna på Höstvägen 22 som är placerade invändigt jämfört med dem utvändigt placerade kanalerna på Höstvägen 14. Vi kan också anta att så är fallet utifrån temperaturmätningarna som utfördes.

Isoleringen av kanalerna görs för att bibehålla temperaturen på till- och frånluften (VVS AMA 09). Om kanalerna är dåligt isolerade kan man vid långa kanalsystem få problem med stora temperaturfall på luften i kanalerna. Vid projekteringen är det viktigt att ett avvägande görs av hur stora temperaturfall som är godtagbara. Det finns idag inga riktlinjer om hur mycket som är rimligt. Boverkets byggregler från 1994 (Boverket 2012) angav att det maximala temperaturfallet i ett kanalsystem fick vara max 3°K .

Temperaturmätningarna visar att temperaturfallet i tilluftskanalen på Höstvägen 14 ligger på $3,1^\circ\text{C}$ när utetemperaturen ligger på $-15,8^\circ\text{C}$. På Höstvägen 22 ligger temperaturfallet på $2,3^\circ\text{C}$ vid samma tidpunkt.

Temperaturfallet på frånluften ligger något högre. På Höstvägen 22 ligger enligt mätningarna temperaturfallet på över 4 °C vid samma tidpunkt. Det finns osäkerheter med hur korrekt mätningen för temperaturfallet i frånluftskanalen är. En annan osäkerhetsfaktor kan vara otätheten. Ingen provtryckning har gjorts⁹ och det gör att lufttätheten i kanalerna inte kan garanteras.

Krav på isolertjocklek finns i de flesta fall i beskrivningen. Men det är sällsynt att krav ställs på isoleringens värmekonduktivitet. (AMA 2012). I VVS AMA 09 (2010) finns rekommenderade för isoleringstjocklekar. De anser att vid en invändig diameter på över 350mm bör minst 100mm isolering med en värmekonduktivitet på minst 0,037 W/m²K användas. Enligt framräkningen av u-värden för olika isolertjocklekar på huvudkanalerna kan vi, med hjälp av interpolering i tabell 4, se att u-värdet på en utvändigt placerad kanal enligt VVS AMA 09 (2010) är ca 0,44 W/m²,K. För att uppnå samma U-värde för en kanal med en diameter på 500 mm krävs 150 mm isolering.

Då det saknas gränsvärden från myndigheter på hur välisolerad en kanal bör vara har Isover valt att använda sig av en annan standard för att jämföra om isoleringen är tillräcklig på ett kanalsystem¹⁰. Standarden heter EN ISO 12828:2006 och är en standard som behandlar isolering av vattenburna värmesystem. Jämförelsen görs mot class 6. Standarden anger att en utvändigt placerad kanal med diametern 500mm ska ha ett u-värde på högst 0,35 W/m,K. För att komma ner till det u-värdet krävs minst 200 mm isolering.

I de byggregler som gäller idag ställs krav på energianvändningen istället för krav på funktionen av enskilda byggdelar. En byggnad får enligt BBR 19 inte använda mer än 90 kWh/m² och år per uppvärmd m² golvyta (Boverket 2012). Uppvärmd golvyta på Höstvägen 22 är 5055 m². Bilaga 6 redovisar en areasammanställningen. Total värmeförlust i huvudkanaler och aggregat är enligt beräkningarna 12963 + 5379 kWh. Ekvation 33 visar hur stor värmeförlusten blir i hela ventilationssystemet i förhållande till uppvärmd golvyta.

$$\frac{12963 + 5379 \text{ kWh}}{5050 \text{ m}^2} = 3,6 \text{ kWh/m}^2$$

(Ekv. 33)

Om ombyggnaden hade gjorts idag skulle den tillförda energin för att täcka värmeförlusterna på ventilationssystemet på Höstvägen 22 stå för ca 4 % av den totalt tillåtna energianvändningen.

⁹ Magnus Fransson, 2012-04-12

¹⁰ Håkan Gustavsson, 2012-04-17

7.2 Luftbehandlingsaggregaten

Vid projektering är det viktigt att tänka på placeringen av fläktrummet. Att placera fläktrummet på taket gör att aggregatet lätt kan bytas ut samt att installationen av kanalsystemet underlättas. (Warfvinge 2010)

Utvändig placering av luftbehandlingsaggregaten ställer krav på isolering för att värmeförlusterna inte ska bli för stora vintertid. Boverkets byggregler anger inga krav på hur mycket kanaler och aggregat måste isoleras. De nämner dock att ett luftbehandlingsaggregat skall isoleras och vara så tätt att energiförluster begränsas (Boverket 2012).

IV-produkt har gjort mätningar på u-värdet enligt standarden EN 1886:2006. Ett aggregat med en 45mm isolering i panelerna och 50x50 mm aluminiumprofiler i ramverket har ett uppmätt u-värde på 1,40 W/m²K. Modellen som mätningen är utförd på är en standardisering för att få fram jämförelsevärden mellan olika aggregat. Det gör att en klassificering kan göras av aggregatet. Det uppmätta u-värdet är inte direkt jämförbart med de beräkningar vi har gjort då den modellen har mindre köldbryggor. Mätningen är dessutom gjord inomhus vilket gör att ingen hänsyn tas till påtvingad konvektion i form av vind.

Det finns osäkerhetsfaktorer i beräkningarna. VIP-energy är i första hand ett program som är till för att beräkna energianvändningen i byggnader inte för att hantera beräkningar av värmeförluster i ett luftbehandlingsaggregat. Vid beräkning av u- och psi-värden tar programmet ingen hänsyn till att det sker påtvingad konvektion invändigt. Det invändiga övergångsmotståndet skulle därför troligtvis behöva korrigeras för att få ett noggrannare värde. Ingen hänsyn har heller tagits till otätheter som finns. U-värdet tar endast hänsyn till förluster genom ledning, konvektion och strålning. Otätheten i klimatskalet på aggregatet är enligt IV-Produkt AB under 0,44 l/s,m²¹¹. Vi kan därför anta att värmeförlusterna i aggregatet är något högre än vad vi kommit fram till med våra beräkningar.

Enligt de beräkningar vi har gjort ligger värmeförlusterna på ca 5379 kWh/år för de aggregat som idag sitter monterade på Höstvägen 14 och 22. Vi har visat att det går att minska värmeförlusterna genom att öka mängden isolering. Det har också visats att det är genom ramverket i aggregatet som de största förlusterna sker.

Vi kan också se att aluminiumets värmemotstånd är så lågt att det nästan blir försumbart i förhållande till luftens övergångsmotstånd. Det leder till att en modifierad aluminiumprofil med tunnare godstjocklek inte ger någon nämnvärd förändring av U-värdet. Vi kan se att värmeflödet minskar om materialet i ramverket byts ut mot stål. Stålets värmemotstånd är fyra gånger

¹¹ Bengt Svensson, 2012-04-02

så stort som aluminiumets men det är fortfarande luftens övergångsmotstånd som är dominerande. Vi har också visat i resultatet att värmeflödet genom köldbryggorna blir större vid ökad isolertjocklek i panelerna.

Vår undersökning visar att om man ska kunna minska värmeflödet genom aggregatets klimatskal på ett effektivt sätt måste köldbryggorna minskas. Ett sätt är att ändra så att aluminiumet i ramverket inte bryter rakt igenom isoleringen. Många fönstertillverkare använder sig av aluminiumprofiler i sina karmar. Där minskas värmeledningsförmågan genom att bryta av köldbryggan med en plast- eller gummilist mitt i profilen¹². Detta leder dock till en lägre hållfasthet i ramverket och att brandsäkerheten kan påverkas. Vi anser ändå att det är här man bör titta vidare för att minska värmeflödet i ramverket.

En osäkerhetsfaktor i beräkningarna är vilken temperatur frånluften har när den når aggregatet. Resultatet av beräkningar med ökad frånlufttemperatur visar att när frånlufttemperaturen sjunker från 22°C till 21°C ökar värmeförlusterna med ca 2500 kWh/år. Vi ser därför att det effektivaste sättet att minska värmeförlusterna i aggregatet är genom att begränsa temperaturfallet i frånluftkanalen. Resultatet visar att det går att minska värmeförlusterna från 4769 kWh/år till ner mot 500 kWh/år för ett aggregat med 45 mm isolering. Detta sker på grund av att värmeväxlaren börjar bypassas vid en lägre temperatur och kan ta tillvara på mer värmeenergi i frånluften än vad som krävs för att värma tilluften. I egentlig mening så minskar inte värmeförlusterna men överskottet av värmeenergi som finns i frånluften används för att täcka upp den värmetransport som sker genom klimatskalet.

Aggregaten på Höstvägen 14 och 22 är utrustade med dubbla plattvärmeväxlare. Idag finns det nyare typer av värmeväxlare som är mindre utrymmeskrävande. Om installationen av luftbehandlingsaggregaten hade gjorts idag skulle ett aggregat med motströmsväxlare ha valts¹³. Ett aggregat med motströmsväxlare ger en mindre omslutande yta i jämförelse med ett aggregat med dubbla plattvärmeväxlare. En mindre omslutande yta leder till mindre värmeförlusterna.

I ett annat projekt har kostnaden tagits fram för att bygga ett fläktrum runt luftbehandlingsaggregatet. Förutsättningarna liknar de som råder på Höstvägen 14 och 22 men ett förhållandevis mindre aggregat med motströmsväxlare ska installeras. Det innebär att fläktrummet blir mindre än vad som skulle behövas för att bygga in de aggregat vi studerat. Fördyrning för att bygga fläktrummet på taket är 306 000 kr¹⁴. Det är rimligt att anta att

¹² Andreas Helmersson, 2012-04-17

¹³ Bengt Svensson, 2012-04-12

¹⁴ Tony Timm, 2012-04-16

kostnaden för att bygga ett fläktrum runt aggregaten på Höstvägen 14 och 22 hade varit högre.

7.3 Slutsatser

Värmeförlusterna som sker i ventilationssystemet är betydande och kan inte försummas. Men utifrån en värmeförlustsynpunkt kan vi inte finna det ekonomiskt lönsamt att bygga ett fläktrum runt ett utvändigt placerat aggregat. För att minska förlusterna är det mer kostnadseffektivt att öka mängden isolering runt kanalerna då en ökad mängd isolering runt kanalerna inte bara minskar värmeförlusterna i kanalerna utan också sänker värmeförlusterna i aggregatet. Men vi har inte kunnat se att det ger någon ekonomisk besparing med att öka mängden isolering runt kanalerna från de 120 mm som är monterade på Höstvägen 14.

En ökning av isolertjockleken i aggregatets klimatskal leder till minskade värmeförluster. Men vi ser samtidigt att värmeflödet genom köldbryggorna som ramverket ger upphov till blir större vid ökad isolertjocklek. Vi drar därför slutsatsen att det mest effektiva sättet att minska värmetransporten i klimatskalet är genom att försöka bryta köldbryggorna.

Kostnaden för att bygga in kanalerna på Höstvägen 22 har varit större än kostnaden för den utvändiga installationen på Höstvägen 14. Dessutom är de utvändigt placerade kanalerna mindre skrymmande och gör att utseendet på byggnaden inte störs lika mycket. Vi anser därför att installationen på Höstvägen 14 är en bättre installation med hänsyn till både ekonomi, arkitektur och energieffektivitet.

8. Referenser

Litteratur:

- Alvarez, Henrik (2006). Energiteknik. D. 1. 3. uppl. Lund: Studentlitteratur
AMA VVS & Kyl 09: allmän material- och arbetsbeskrivning för VVS- och kyltekniska arbeten. (2010). Stockholm: Svensk byggtjänst
Jensen, Lars (2011) Värmeförlust för otäta isolerade kanalsystem, Lund: Lunds Tekniska Högskola
McQuiston, Faye C., Parker, Jerald D. & Spitler, Jeffrey D. (2005). Heating, ventilating, and air conditioning: analysis and design. 6. ed. Hoboken, N.J.: Wiley
Sandin, Kenneth (2010). Praktisk byggnadsfysik. 1. uppl. Lund: Studentlitteratur
Skärvad, Per-Hugo & Olsson, Jan (2008). Företagsekonomi 100. Faktabok. 14. uppl. Malmö: Liber
Warfvinge, Catarina & Dahlblom, Mats (2010). Projektering av installationer i byggnader. Provtr. Lund: Studentlitteratur

Standarder:

- Köldbryggor i byggnadskonstruktioner: linjär värmegenomgångskoefficient - förenklade metoder och schablonvärden. (1999) Svensk Standard. ISO 14683:1999
Thermal insulation for building equipment and industrial – Calculations rules. (2008) British Standards. EN ISO 12241:2008
Ventilation for buildings – Air handling units – Mechanical performance. (2006) European Standard. EN 1886:2006
Värmeisoleringsprodukter för teknisk isolering - Värmekonduktivitet - Bestämning av beräkningsvärden. (2010) Svensk Standard. SS EN ISO 23993:2010
Värmesystem i byggnader - Utförande och installation av vattenburna värmesystem. (2003) Svensk Standard. SS EN 12828:2003

Vetenskapliga artiklar:

- Bahadori A, Vuthaluru H. A simple method for the estimation of thermal insulation thickness. Applied Energy 2010;87:613-619.
Dadoo A, Gustavsson L, Sathre R. Primary energy implications of ventilation heat recovery in residential buildings. Energy and Buildings. 2011;43:1566-1572.

Internet:

- Air Conditioning Heating & Refrigeration News, Tips how to make Ductwork energyefficient, www.archnews.com, 2012-04-15
Boverket, Boverkets byggregler (BBR), www.boverket.se, 2012-04-20
Boverket, Boverkets byggregler för ändring av byggnader (BÄR), www.boverket.se 2012-04-20
AMA, Dimensionering av värmeisolerings på rörledningar , www.ama.byggtjanst.se, 2012-04-20

Energi Effektiviserings Företagen, Livscykelkostnaden är avgörande för din investering, www.eef.se, 2012-04-20
Swedisol, Bilaga J, www.swedisol.se, 2012-04-20
Renovera Energismart, www.renoveraenergismart.se, 2012-04-20
Hyresbostäder I Växjö AB, www.hyresbostaderivaxjo.se, 2012-04-20
Energimyndigheten, www.energimyndigheten.se. 2012-04-20
Isover, www.isover.se, 2012-04-20 Jernkontorets energihandbok, www.energihandbok.se. 2012-04-20
Strusoft, VIP-Energy, www.strusoft.se, 2012-05-09
Building Physics, Heat 2, www.buildingphysics.com, 2012-05-09
Byggherrarna, Livscykelkostnad – LCC i teori och praktik, www.byggherre.se, 2012-04-24
Eon, Jämför din förbrukning. www.eon.se, 2012-04-24

Muntliga källor:

Dahlberg Roger, Sydisolering, telefonkontakt, 2012-04-18
Fransson Magnus, Hyresbostäder i Växjö, möte och mailkontakt 2012-02-07, 2012-03-15, 2012-04-12
Gustafsson Håkan, Saint Gobian Isover, telefonkontakt, 2012-04-17
Helmersson Andreas, Profilgruppen AB, telefonkontakt 2012-04-16, 2012-04-17
Svensson Bengt, IV-Produkt, möte och mailkontakt 2012-02-07, 2012-04-12
Timm Tony, InPro Installationsconsult AB, regelbunden kontakt, 2012-02 till 2012-05

9. Bilagor

Bilaga 1: Ritning över aggregatet

Bilaga 2: Heatex

Bilaga 3: Ingående värden för beräkning i Vip-Energy

Bilaga 4: Sammanställning av flöden och kanallängder

Bilaga 5: Beräkning av värmeförluster i aggregatet

Bilaga 6: Sammanställning av areor på Höstvägen 22.

BILAGA 2



HEATEX AB Sverige, Fax : +46 410 710 529

2012-04-26

Version: 4.9.0



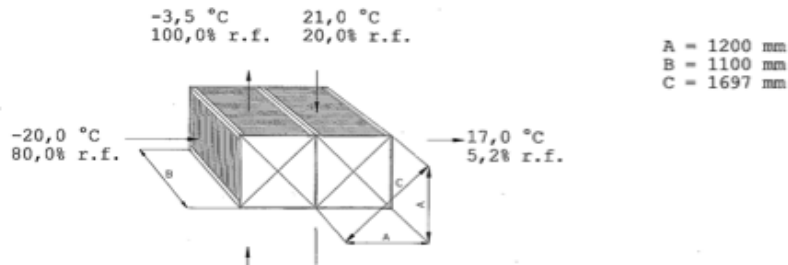
Kund:
Anläggning:

BESKRIVNING

Värmeväxlare:	H1200/6.0/E		
Plåtar:	Aluminium med turbulensyta.		
Ramar:	Kantad gavel (Aluzink) 20 mm. 90° Al list		
Tätning:	Silikonfri (max 90°C)		
Bestående av:	2 Moduler	Nominellt plätavstånd:	6 mm
Antal VVX-steg:	2	Total bredd:	1100 mm
Total värmeväxlarevikt:	349,8 kg		

RESULTAT (Vinter)

	Frånluft	Tilluft
Luftflöde:	2 Nm ³ /s	1,345 Nm ³ /s
Tryckfall:	206 Pa	104 Pa
Verkningsgrad:	60%	90%
Lufthastighet: (front/kanal):	1,52 / 3,82 m/s	0,88 / 2,48 m/s
Kondensmängd:	1,4 l/h, tkond < 0 °C	tfrost < -18,0 °C
Effekt:	60 kW	



Lufttryck: 101325 Pa

Beräkningarna görs i enlighet med europeiska normen EN 308 och dess underdokument.
På grund av kontinuerlig produktutveckling förbehåller sig Heatex AB rätten att införa ändringar både vad gäller design och priser utan föregående varning.

BILAGA 3

Zon 1			Mängd
Beskrivning	Benämning för	Orientering	Area (m ²)
	Bygghelstyp		Längd (m)
			Antal
Väst	<i>Yttervägg</i>	VÄSTER	5m ²
Öst	<i>Yttervägg</i>	ÖSTER	5m ²
Tak	<i>Tak</i>	TAK	3.9m ²
Golv	<i>Golv</i>	TEMP	3.9m ²
Köldbryggor Väst	<i>Typ2</i>	VÄSTER	3.5 m
Köldbryggor Väst	<i>Typ3</i>	VÄSTER	7.0 m
Köldbryggor Öst	<i>Typ1</i>	ÖSTER	3.8 m
Köldbryggor Öst	<i>Typ2</i>	ÖSTER	3.5 m
Köldbryggor Öst	<i>Typ3</i>	ÖSTER	7.0 m
Köldbryggor Tak	<i>Typ1</i>	TAK	3.0 m
Köldbryggor Tak	<i>Typ2</i>	TAK	1.5 m
Köldbryggor Tak	<i>Typ3</i>	TAK	1.5 m
Köldbryggor Golv	<i>Typ1</i>	GOLV	1.5 m
Köldbryggor Golv	<i>Typ2</i>	GOLV	1.5 m
Köldbryggor Golv	<i>Typ3</i>	GOLV	3.0 m

Zon 2			Mängd
Beskrivning	Benämning för	Orientering	Area (m ²)
	Bygghelstyp		Längd (m)
			Antal
Väst	<i>Yttervägg</i>	VÄSTER	4.0m ²
Öst	<i>Yttervägg</i>	ÖSTER	4.0m ²
Tak	<i>Tak</i>	TAK	3.2m ²
Golv	<i>Golv</i>	TEMP	3.2m ²
Köldbryggor Öst	<i>Typ1</i>	ÖSTER	5.8 m
Köldbryggor Öst	<i>Typ2</i>	ÖSTER	2.0 m
Köldbryggor Väst	<i>Typ2</i>	VÄSTER	2.0 m
Köldbryggor Tak	<i>Typ1</i>	TAK	1.5 m
Köldbryggor Tak	<i>Typ2</i>	TAK	1.5 m
Köldbryggor Tak	<i>Typ3</i>	TAK	4.0 m
Köldbryggor Golv	<i>Typ1</i>	GOLV	4.0 m
Köldbryggor Golv	<i>Typ2</i>	GOLV	1.5 m
Köldbryggor Golv	<i>Typ3</i>	GOLV	1.5 m

BILAGA 4

Summering av tilluftflöden						
Sträcka: 14A - Aggregat						
Uppmätta värden				Beräknade värden		
Kanalanslutning	14 A T1					
Utgående flöde	173,00	l/s				
Ack flöde	173,00	l/s		Medelhastighet:	2,22	m/s
Dimension	315,00	mm		Värmeförlust::	274,00	kWh/år
Längd	6,97	m		Ack värmeförlust:	274,00	kWh/år
Kanalanslutning	---					
Utgående flöde	0,00	l/s				
Ack flöde	173,00	l/s		Medelhastighet:	1,38	m/s
Dimension	400,00	mm		Värmeförlust::	46,00	kWh/år
Längd	1,00	m		Ack värmeförlust:	320,00	kWh/år
Kanalanslutning	14A T2					
Utgående flöde	110,00	l/s				
Ack flöde	283,00	l/s		Medelhastighet:	2,25	m/s
Dimension	400,00	mm		Värmeförlust::	289,00	kWh/år
Längd	6,10	m		Ack värmeförlust:	609,00	kWh/år
Kanalanslutning	14B T1					
Utgående flöde	81,00	l/s				
Ack flöde	364,00	l/s		Medelhastighet:	2,90	m/s
Dimension	400,00	mm		Värmeförlust::	291,00	kWh/år
Längd	6,10	m		Ack värmeförlust:	900,00	kWh/år
Kanalanslutning	---					
Utgående flöde	0,00	l/s				
Ack flöde	364,00	l/s		Medelhastighet:	1,85	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	135,00	kWh/år
Längd	2,40	m		Ack värmeförlust:	1035,00	kWh/år
Kanalanslutning	14B T2					
Utgående flöde	116,00	l/s				
Ack flöde	480,00	l/s		Medelhastighet:	2,44	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	397,00	kWh/år
Längd	6,97	m		Ack värmeförlust:	1432,00	kWh/år
Kanalanslutning	14C T1					
Utgående flöde	108,00	l/s				
Ack flöde	588,00	l/s		Medelhastighet:	2,99	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	641,00	kWh/år
Längd	11,20	m		Ack värmeförlust:	2073,00	kWh/år

Kanalanslutning	14C T2					
Utgående flöde	100,00	l/s				
Ack flöde	688,00	l/s		Medelhastighet:	3,50	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	114,00	kWh/år
Längd	1,98	m		Ack värmeförlust:	2187,00	kWh/år
Kanalanslutning	14D T1					
Utgående flöde	83,00	l/s				
Ack flöde	771,00	l/s		Medelhastighet:	3,93	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	207,00	kWh/år
Längd	3,60	m		Ack värmeförlust:	2394,00	kWh/år
Summering av tilluftflöden						
14G-Aggregat						
Uppmätta värden				Beräknade värden		
Kanalanslutning	14G T2					
Utgående flöde	63,00	l/s				
Ack flöde	63,00	l/s		Medelhastighet:	0,32	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	332,00	kWh/år
Längd	6,40	m		Ack värmeförlust:	332,00	kWh/år
Kanalanslutning	14 G T1					
Utgående flöde	56,00	l/s				
Ack flöde	119,00	l/s		Medelhastighet:	0,61	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	475,00	kWh/år
Längd	9,00	m		Ack värmeförlust:	807,00	kWh/år
Kanalanslutning	14F T2					
Utgående flöde	79,00	l/s				
Ack flöde	198,00	l/s		Medelhastighet:	1,01	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	460,00	kWh/år
Längd	8,40	m		Ack värmeförlust:	1267,00	kWh/år
Kanalanslutning	14 F T1					
Utgående flöde	84,00	l/s				
Ack flöde	282,00	l/s		Medelhastighet:	1,44	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	469,00	kWh/år
Längd	8,40	m		Ack värmeförlust:	1736,00	kWh/år
Kanalanslutning	14E T2					
Utgående flöde	84,00	l/s				
Ack flöde	366,00	l/s		Medelhastighet:	1,86	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	423,00	kWh/år
Längd	7,50	m		Ack värmeförlust:	2159,00	kWh/år
Kanalanslutning	14E T1					
Utgående flöde	81,00	l/s				
Ack flöde	447,00	l/s		Medelhastighet:	2,28	m/s

Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	562,00	kWh/år
Längd	9,90	m		Ack värmeförlust:	2721,00	kWh/år
Kanalanslutning	14D T2					
Utgående flöde	75,00	l/s				
Ack flöde	522,00	l/s		Medelhastighet:	2,66	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	131,00	kWh/år
Längd	2,30	m		Ack värmeförlust:	2852,00	kWh/år
Summering av frånluftsflöden						
Sträcka 14A - Aggregat						
Uppmätta värden				Beräknade värden		
Kanalanslutning	14A F 1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	135,00	0,00	0,00			
Ack flöde	135,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	0,00	l/s
Dimension	315,00	mm		Korrigerat flöde:	135,00	l/s
Längd	3,50	m		Medelhastighet:	1,73	m/s
Antal spiskåpor	0,00	st		Värmeförlust::	165,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	165,00	kWh/år
Kanalanslutning	14A IM 1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	0,00	40,00	4,00			
Ack flöde	175,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	0,00	l/s
Dimension	315,00	mm		Korrigerat flöde:	175,00	l/s
Längd	4,00	m		Medelhastighet:	2,25	m/s
Antal spiskåpor	4,00	st		Värmeförlust::	191,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	356,00	kWh/år
Kanalanslutning	---					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde						
Ack flöde	175,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	6,67	l/s
Dimension	400,00	mm		Korrigerat flöde:	181,67	l/s
Längd	1,50	m		Medelhastighet:	1,45	m/s
Antal spiskåpor	4,00	st		Värmeförlust::	84,00	kWh/år

				Ack värmeförlust:	440,00	kWh/år
Kanalanslutning	14A F2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	72,00	42,00	4,00			
Ack flöde	289,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	13,33	l/s
Dimension	400,00	mm		Korrigerat flöde:	302,33	l/s
Längd	6,00	m		Medelhastighet:	2,41	m/s
Antal spiskåpor	8,00	st		Värmeförlust::	344,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	784,00	kWh/år
Kanalanslutning	14B F1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	78,00	31,00	3,00			
Ack flöde	398,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	18,33	l/s
Dimension	400,00	mm		Korrigerat flöde:	416,33	l/s
Längd	4,70	m		Medelhastighet:	3,31	m/s
Antal spiskåpor	11,00	st		Värmeförlust::	272,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	1056,00	kWh/år
Kanalanslutning	---					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde						
Ack flöde	398,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	18,33	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	416,33	l/s
Längd	1,60	m		Medelhastighet:	2,12	m/s
Antal spiskåpor	11,00	st		Värmeförlust::	110,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	1166,00	kWh/år
Kanalanslutning	14B F2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	76,00	41,00	4,00			
Ack flöde	515,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	25,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	540,00	l/s
Längd	6,50	m		Medelhastighet:	2,75	m/s

Antal spiskåpor	15,00	st		Värmeförlust::	449,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	1615,00	kWh/år
Kanalanslutning	14C F1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	88,00	40,00	4,00			
Ack flöde	643,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	31,67	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	674,67	l/s
Längd	8,80	m		Medelhastighet:	3,44	m/s
Antal spiskåpor	19,00	st		Värmeförlust::	611,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	2226,00	kWh/år
Kanalanslutning	14 C IM 2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde		42,00	4,00			
Ack flöde	685,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	38,33	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	723,33	l/s
Längd	2,50	m		Medelhastighet:	3,68	m/s
Antal spiskåpor	23,00	st		Värmeförlust::	174,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	2400,00	kWh/år
Kanalanslutning	14 C F2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	70,00					
Ack flöde	755,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	38,33	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	793,33	l/s
Längd	4,50	m		Medelhastighet:	4,04	m/s
Antal spiskåpor	23,00	st		Värmeförlust::	314,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	2714,00	kWh/år
Kanalanslutning	14D F1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	63,00	31,00	3,00			
Ack flöde	849,00	l/s				
Dimension	500,00	mm		Tillägg för	43,33	l/s

				spiskåpor:		
Längd	3,00	m		Korrigerat flöde:	892,33	l/s
Antal spiskåpor	26,00	st		Medelhastighet:	4,54	m/s
				Värmeförlust::	210,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	2924,00	kWh/år
Summering av frånluftsflöden						
Sträcka 14G - Aggregat						
Uppmätta värden				Beräknade värden		
Kanalanslutning	14G F2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	77,00					
Ack flöde	77,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	0,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	77,00	l/s
Längd	2,20	m		Medelhastighet:	0,39	m/s
Antal spiskåpor	0,00	st		Värmeförlust::	138,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	138,00	kWh/år
Kanalanslutning	14G IM 2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde		20,00	2,00			
Ack flöde	97,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	3,33	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	100,33	l/s
Längd	3,40	m		Medelhastighet:	0,51	m/s
Antal spiskåpor	2,00	st		Värmeförlust::	213,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	351,00	kWh/år
Kanalanslutning	14 G F1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	53,00	21,00	2,00			
Ack flöde	171,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	6,67	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	177,67	l/s
Längd	10,50	m		Medelhastighet:	0,90	m/s
Antal spiskåpor	4,00	st		Värmeförlust::	691,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	1042,00	kWh/år
Kanalanslutning	14F F2					

Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	57,00	33,00	3,00			
Ack flöde	261,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	11,67	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	272,67	l/s
Längd	6,40	m		Medelhastighet:	1,39	m/s
Antal spiskåpor	7,00	st		Värmeförlust::	431,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	1473,00	kWh/år
Kanalanslutning	14F F1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	46,00	22,00	2,00			
Ack flöde	329,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	15,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	344,00	l/s
Längd	10,20	m		Medelhastighet:	1,75	m/s
Antal spiskåpor	9,00	st		Värmeförlust::	694,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	2167,00	kWh/år
Kanalanslutning	14E F1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	58,00	32,00	3,00			
Ack flöde	419,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	20,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	439,00	l/s
Längd	5,70	m		Medelhastighet:	2,24	m/s
Antal spiskåpor	12,00	st		Värmeförlust::	391,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	2558,00	kWh/år
Kanalanslutning	14E IM 2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	0,00	31,00	3,00			
Ack flöde	450,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	25,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	475,00	l/s
Längd	1,30	m		Medelhastighet:	2,42	m/s
Antal spiskåpor	15,00	st		Värmeförlust::	89,00	kWh/år

				Ack värmeförlust:	2647,00	kWh/år
Kanalanslutning	14E F2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	57,00	0,00	0,00			
Ack flöde	507,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	25,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	532,00	l/s
Längd	7,90	m		Medelhastighet:	2,71	m/s
Antal spiskåpor	15,00	st		Värmeförlust::	545,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	3192,00	kWh/år
Kanalanslutning	14D F2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	53,00	0,00	0,00			
Ack flöde	560,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	25,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	585,00	l/s
Längd	1,50	m		Medelhastighet:	2,98	m/s
Antal spiskåpor	15,00	st		Värmeförlust::	104,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	3296,00	kWh/år
Kanalanslutning	14D IM2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	0,00	30,00	3,00			
Ack flöde	590,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	30,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	620,00	l/s
Längd	3,00	m		Medelhastighet:	3,16	m/s
Antal spiskåpor	18,00	st		Värmeförlust::	208,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	3504,00	kWh/år
Summering av tilluftflöden						
Sträcka: 22A - Aggregat						
Uppmätta värden				Beräknade värden		
Kanalanslutning	22A T1					
Utgående flöde	173,00	l/s				
Ack flöde	173,00	l/s		Medelhastighet:	2,22	m/s
Dimension	315,00	mm		Värmeförlust::	303,00	kWh/år
Längd	6,97	m		Ack värmeförlust:	303,00	kWh/år

Kanalanslutning	---					
Utgående flöde	0,00	l/s				
Ack flöde	173,00	l/s		Medelhastighet:	1,38	m/s
Dimension	400,00	mm		Värmeförlust::	52,00	kWh/år
Längd	1,00	m		Ack värmeförlust:	355,00	kWh/år
Kanalanslutning	22A T2					
Utgående flöde	110,00	l/s				
Ack flöde	283,00	l/s		Medelhastighet:	2,25	m/s
Dimension	400,00	mm		Värmeförlust::	321,00	kWh/år
Längd	6,10	m		Ack värmeförlust:	676,00	kWh/år
Kanalanslutning	22B T1					
Utgående flöde	81,00	l/s				
Ack flöde	364,00	l/s		Medelhastighet:	2,90	m/s
Dimension	400,00	mm		Värmeförlust::	324,00	kWh/år
Längd	6,10	m		Ack värmeförlust:	1000,00	kWh/år
Kanalanslutning	---					
Utgående flöde	0,00	l/s				
Ack flöde	364,00	l/s		Medelhastighet:	1,85	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	151,00	kWh/år
Längd	2,40	m		Ack värmeförlust:	1151,00	kWh/år
Kanalanslutning	22B T2					
Utgående flöde	116,00	l/s				
Ack flöde	480,00	l/s		Medelhastighet:	2,44	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	442,00	kWh/år
Längd	6,97	m		Ack värmeförlust:	1593,00	kWh/år
Kanalanslutning	22C T1					
Utgående flöde	108,00	l/s				
Ack flöde	588,00	l/s		Medelhastighet:	2,99	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	715,00	kWh/år
Längd	11,20	m		Ack värmeförlust:	2308,00	kWh/år
Kanalanslutning	22C T2					
Utgående flöde	100,00	l/s				
Ack flöde	688,00	l/s		Medelhastighet:	3,50	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	127,00	kWh/år
Längd	1,98	m		Ack värmeförlust:	2435,00	kWh/år
Kanalanslutning	22D T1					
Utgående flöde	83,00	l/s				
Ack flöde	771,00	l/s		Medelhastighet:	3,93	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	231,00	kWh/år
Längd	3,60	m		Ack värmeförlust:	2666,00	kWh/år
Summering av tilluftflöden						
22G-Aggregat						

Uppmätta värden				Beräknade värden		
Kanalanslutning	22G T2					
Utgående flöde	117,00	l/s				
Ack flöde	117,00	l/s		Medelhastighet:	0,60	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	374,00	kWh/år
Längd	6,40	m		Ack värmeförlust:	374,00	kWh/år
Kanalanslutning	22G T1					
Utgående flöde	109,00	l/s				
Ack flöde	226,00	l/s		Medelhastighet:	1,15	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	552,00	kWh/år
Längd	9,00	m		Ack värmeförlust:	926,00	kWh/år
Kanalanslutning	22F T2					
Utgående flöde	110,00	l/s				
Ack flöde	336,00	l/s		Medelhastighet:	1,71	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	526,00	kWh/år
Längd	8,40	m		Ack värmeförlust:	1452,00	kWh/år
Kanalanslutning	22F T1					
Utgående flöde	110,00	l/s				
Ack flöde	446,00	l/s		Medelhastighet:	2,27	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	532,00	kWh/år
Längd	8,40	m		Ack värmeförlust:	1984,00	kWh/år
Kanalanslutning	22E T1					
Utgående flöde	110,00	l/s				
Ack flöde	556,00	l/s		Medelhastighet:	2,83	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	478,00	kWh/år
Längd	7,50	m		Ack värmeförlust:	2462,00	kWh/år
Kanalanslutning	22E T2					
Utgående flöde	109,00	l/s				
Ack flöde	665,00	l/s		Medelhastighet:	3,39	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	634,00	kWh/år
Längd	9,90	m		Ack värmeförlust:	3096,00	kWh/år
Kanalanslutning	22D T2					
Utgående flöde	75,00	l/s				
Ack flöde	740,00	l/s		Medelhastighet:	3,77	m/s
Dimension	500,00	mm		Värmeförlust::	148,00	kWh/år
Längd	2,30	m		Ack värmeförlust:	3244,00	kWh/år
Summering av frånluftsflöden						
Sträcka 22A - Aggregat						
Uppmätta värden				Beräknade värden		
Kanalanslutning	22A F 1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			

Inkommande flöde	135,00	0,00	0,00			
Ack flöde	135,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	0,00	l/s
Dimension	315,00	mm		Korrigerat flöde:	135,00	l/s
Längd	3,50	m		Medelhastighet:	1,73	m/s
Antal spiskåpor	0,00	st		Värmeförlust::	182,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	182,00	kWh/år
Kanalanslutning	22A IM 1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	0,00	40,00	4,00			
Ack flöde	175,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	0,00	l/s
Dimension	315,00	mm		Korrigerat flöde:	175,00	l/s
Längd	4,00	m		Medelhastighet:	2,25	m/s
Antal spiskåpor	4,00	st		Värmeförlust::	211,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	393,00	kWh/år
Kanalanslutning	---					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde						
Ack flöde	175,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	6,67	l/s
Dimension	400,00	mm		Korrigerat flöde:	181,67	l/s
Längd	1,50	m		Medelhastighet:	1,45	m/s
Antal spiskåpor	4,00	st		Värmeförlust::	94,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	487,00	kWh/år
Kanalanslutning	22A F2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	72,00	42,00	4,00			
Ack flöde	289,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	13,33	l/s
Dimension	400,00	mm		Korrigerat flöde:	302,33	l/s
Längd	6,00	m		Medelhastighet:	2,41	m/s
Antal spiskåpor	8,00	st		Värmeförlust::	383,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	870,00	kWh/år
Kanalanslutning	22B F1					

Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	78,00	31,00	3,00			
Ack flöde	398,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	18,33	l/s
Dimension	400,00	mm		Korrigerat flöde:	416,33	l/s
Längd	4,70	m		Medelhastighet:	3,31	m/s
Antal spiskåpor	11,00	st		Värmeförlust::	303,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	1173,00	kWh/år
Kanalanslutning	---					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde						
Ack flöde	398,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	18,33	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	416,33	l/s
Längd	1,60	m		Medelhastighet:	2,12	m/s
Antal spiskåpor	11,00	st		Värmeförlust::	122,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	1295,00	kWh/år
Kanalanslutning	22B F2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	76,00	41,00	4,00			
Ack flöde	515,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	25,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	540,00	l/s
Längd	6,50	m		Medelhastighet:	2,75	m/s
Antal spiskåpor	15,00	st		Värmeförlust::	501,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	1796,00	kWh/år
Kanalanslutning	22C F1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	88,00	40,00	4,00			
Ack flöde	643,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	31,67	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	674,67	l/s
Längd	8,80	m		Medelhastighet:	3,44	m/s
Antal spiskåpor	19,00	st		Värmeförlust::	682,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	2478,00	kWh/år

Kanalanslutning	22C IM 2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde		42,00	4,00			
Ack flöde	685,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	38,33	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	723,33	l/s
Längd	2,50	m		Medelhastighet:	3,68	m/s
Antal spiskåpor	23,00	st		Värmeförlust::	194,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	2672,00	kWh/år
Kanalanslutning	22 C F2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	70,00					
Ack flöde	755,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	38,33	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	793,33	l/s
Längd	4,50	m		Medelhastighet:	4,04	m/s
Antal spiskåpor	23,00	st		Värmeförlust::	350,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	3022,00	kWh/år
Kanalanslutning	22D F1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	63,00	31,00	3,00			
Ack flöde	849,00	l/s				
Dimension	500,00	mm		Tillägg för spiskåpor:	43,33	l/s
Längd	3,00	m		Korrigerat flöde:	892,33	l/s
Antal spiskåpor	26,00	st		Medelhastighet:	4,54	m/s
				Värmeförlust::	234,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	3256,00	kWh/år
Summering av frånluftsflöden						
Sträcka 22G - Aggregat						
Uppmätta värden				Beräknade värden		
Kanalanslutning	22G F2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	103,00					

Ack flöde	103,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	0,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	103,00	l/s
Längd	2,20	m		Medelhastighet:	0,52	m/s
Antal spiskåpor	0,00	st		Värmeförlust::	153,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	153,00	kWh/år
Kanalanslutning	22G IM 2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde		20,00	2,00			
Ack flöde	123,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	3,33	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	126,33	l/s
Längd	3,40	m		Medelhastighet:	0,64	m/s
Antal spiskåpor	2,00	st		Värmeförlust::	243,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	396,00	kWh/år
Kanalanslutning	22 G F1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	75,00	21,00	2,00			
Ack flöde	219,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	6,67	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	225,67	l/s
Längd	10,50	m		Medelhastighet:	1,15	m/s
Antal spiskåpor	4,00	st		Värmeförlust::	785,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	1181,00	kWh/år
Kanalanslutning	22F F2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	77,00	33,00	3,00			
Ack flöde	329,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	11,67	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	340,67	l/s
Längd	6,40	m		Medelhastighet:	1,74	m/s
Antal spiskåpor	7,00	st		Värmeförlust::	487,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	1668,00	kWh/år
Kanalanslutning	22F F1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			

Inkommande flöde	83,00	22,00	2,00			
Ack flöde	434,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	15,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	449,00	l/s
Längd	10,20	m		Medelhastighet:	2,29	m/s
Antal spiskåpor	9,00	st		Värmeförlust::	785,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	2453,00	kWh/år
Kanalanslutning	22E F1					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	81,00	32,00	3,00			
Ack flöde	547,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	20,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	567,00	l/s
Längd	5,70	m		Medelhastighet:	2,89	m/s
Antal spiskåpor	12,00	st		Värmeförlust::	441,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	2894,00	kWh/år
Kanalanslutning	22E IM 2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	0,00	31,00	3,00			
Ack flöde	578,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	25,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	603,00	l/s
Längd	1,30	m		Medelhastighet:	3,07	m/s
Antal spiskåpor	15,00	st		Värmeförlust::	101,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	2995,00	kWh/år
Kanalanslutning	22E F2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	82,00	0,00	0,00			
Ack flöde	660,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	25,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	685,00	l/s
Längd	7,90	m		Medelhastighet:	3,49	m/s
Antal spiskåpor	15,00	st		Värmeförlust::	615,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	3610,00	kWh/år
Kanalanslutning	22D F2					

Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	53,00	0,00	0,00			
Ack flöde	713,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	25,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	738,00	l/s
Längd	1,50	m		Medelhastighet:	3,76	m/s
Antal spiskåpor	15,00	st		Värmeförlust::	117,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	3727,00	kWh/år
Kanalanslutning	22D IM2					
Kanal	Frånluft	IM-kanal	Antal spiskåpor			
Inkommande flöde	0,00	30,00	3,00			
Ack flöde	743,00	l/s		Tillägg för spiskåpor:	30,00	l/s
Dimension	500,00	mm		Korrigerat flöde:	773,00	l/s
Längd	3,00	m		Medelhastighet:	3,94	m/s
Antal spiskåpor	18,00	st		Värmeförlust::	234,00	kWh/år
				Ack värmeförlust:	3961,00	kWh/år

BILAGA 5

H	Tute	Tfrån	Tå	Tav	Tzon1	Tzon2	Azon1	Azon2	Uzon1	Uzon2	Whzon1	Whzon2
14	-18,0	16,8	13,3	-14,5	15,4	-0,3	17,8	16,4	2,136	2,033	17753	8269
10	-17,0	16,9	13,5	-13,6	15,5	0,3	17,8	16,4	2,136	2,033	12362	5758
10	-16,0	17,0	13,7	-12,7	15,7	0,8	17,8	16,4	2,136	2,033	12042	5609
19	-15,0	17,1	13,9	-11,8	15,8	1,4	17,8	16,4	2,136	2,033	22274	10375
17	-14,0	17,3	14,1	-10,9	16,0	1,9	17,8	16,4	2,136	2,033	19386	9030
17	-13,0	17,4	14,3	-10,0	16,2	2,5	17,8	16,4	2,136	2,033	18844	8777
24	-12,0	17,5	14,6	-9,1	16,3	3,0	17,8	16,4	2,136	2,033	25836	12034
27	-11,0	17,6	14,8	-8,1	16,5	3,6	17,8	16,4	2,136	2,033	28204	13137
44	-10,0	17,8	15,0	-7,2	16,6	4,1	17,8	16,4	2,136	2,033	44557	20753
69	-9,0	17,9	15,2	-6,3	16,8	4,7	17,8	16,4	2,136	2,033	67670	31519
80	-8,0	18,0	15,4	-5,4	17,0	5,3	17,8	16,4	2,136	2,033	75903	35354
92	-7,0	18,1	15,6	-4,5	17,1	5,8	17,8	16,4	2,136	2,033	84351	39289
149	-6,0	18,3	15,8	-3,6	17,3	6,4	17,8	16,4	2,136	2,033	131855	61415
212	-5,0	18,4	16,0	-2,7	17,4	6,9	17,8	16,4	2,136	2,033	180836	84229
234	-4,0	18,5	16,3	-1,8	17,6	7,5	17,8	16,4	2,136	2,033	192130	89489
253	-3,0	18,6	16,5	-0,8	17,8	8,0	17,8	16,4	2,136	2,033	199652	92993
348	-2,0	18,8	16,7	0,1	17,9	8,6	17,8	16,4	2,136	2,033	263509	122736
340	-1,0	18,9	16,9	1,0	18,1	9,1	17,8	16,4	2,136	2,033	246595	114857
308	0,0	19,0	17,1	1,9	18,2	9,7	17,8	16,4	2,136	2,033	213551	99467
417	1,0	19,1	17,3	2,8	18,4	10,2	17,8	16,4	2,136	2,033	275811	128466
401	2,0	19,3	17,5	3,7	18,6	10,8	17,8	16,4	2,136	2,033	252424	117573
375	3,0	19,4	17,7	4,6	18,7	11,3	17,8	16,4	2,136	2,033	224084	104372
319	4,0	19,5	18,0	5,6	18,9	11,9	17,8	16,4	2,136	2,033	180435	84042
332	5,0	19,6	18,2	6,5	19,0	12,5	17,8	16,4	2,136	2,033	177187	82529
325	6,0	19,8	18,4	7,4	19,2	13,0	17,8	16,4	2,136	2,033	163074	75955
339	7,0	19,9	18,6	8,3	19,4	13,6	17,8	16,4	2,136	2,033	159274	74186
310	8,0	20,0	18,8	9,2	19,5	14,1	17,8	16,4	2,136	2,033	135750	63229
290	9,0	20,1	19,0	10,1	19,7	14,7	17,8	16,4	2,136	2,033	117732	54837
338	10,0	20,3	19,2	11,0	19,8	15,2	17,8	16,4	2,136	2,033	126427	58886
Summa förluster zon 1 i kWh/år:												
3670												
Summa förluster zon 2 i kWh/år												
1709												
Summa förluster totalt kWh/år:												
5379												

BILAGA 6

Kv. Skatan 8 - Höstvägen 22, Växjö				2012-05-15
Höstv.22	Atemp	Plan 1	1238	m2
		Plan 2	1277	m2
		Plan 3	1270	m2
		Plan 4	1270	m2
		Summa:	5055	m2
Sammanställt av Tony Timm, InPro				

Lnu.se

Institutionen för teknik

351 95 Växjö

tel 0772-28 80 00, fax 0470-76 85 40