

# Energiutredning med åtgärdsförslag

## Radiohusets kontorsbyggnad



Foto: [www.Eniro.se](http://www.Eniro.se) (2006-11-23)

---

Examensarbete vid Mälardalens Högskola i samarbete  
med Helenius AB och fastighetsförvaltningen på Sveriges Radio

## **Förord**

Detta examensarbete har ej varit möjligt att genomföra om det ej hade varit för all den hjälp jag har fått av flertalet personer. Jag vill börja med att tacka Torkel Jäderö på Sveriges Radios fastighetsförvaltning som har ställt upp med sin tid, information och som låtit mig ha fri tillgång till byggnaden. Utan denna hjälp hade mätningar och loggningar varit ogenomförbara. Jag vill även tacka min handledare på högskolan Robert Öman och min handledare på Helenius AB, Lars Ellergren. Mina handledare har varit till stor hjälp under projektets gång med sin stora expertis inom området. Gert Bard har hjälp mig med mätinstrument och annan utrustning som behövts till utredningen. Ingemar Josefsson har varit examinator för examensarbetet och har hjälp mig med att nå mina mål i arbetet.

## Sammanfattning

Examensarbete genomfördes i samråd med Helenius konsultbyrå. Syftet med arbetet var att utreda och undersöka möjligheterna att förbättra driftekonomi och inneklimat på Radiohusets kontorsbyggnad som är beläget på Gärdet i de centrala delarna av Stockholm. Bakgrunden till arbetet var att det fanns relativt stora problem med inneklimatet i denna del av byggnaden under både sommar och vinter. Vintertid upplevde en stor del av personalen som vistades i byggnaden dragproblem och sommartid är inneklimatet alldeles för varmt för att personalen kan jobba effektivt. En annan del av problemet var att stora mängder energi användes för temperera byggnaden vintertid. Den stora energianvändningen beror till stor del av en otät och dåligt isolerad fasad.

Huvuddelen av arbete gick ut på att kartlägga energianvändningen och hitta besparingsförslag för energianvändningen samt att ge förslag på klimatförbättrande åtgärder. Energikartläggningen genomfördes dels genom att bygga upp byggnaden i energisimuleringsprogrammet *IDA- Klimat och Energi 3.0* och därefter genomföra parameterstudier på möjliga åtgärder. Den andra delen av energikartläggningen bestod av att genomföra ett flertal mätningar och loggningar.

En åtgärd som tidigare har varit på tal är att fasadrenovera hela byggnaden men enligt denna utredning är åtgärden ej lönsam i energibesparande syfte. Då ingen kyla finns installerad i byggnaden utreddes effekten och energikostnaden av denna åtgärd. Det som kom fram i var att om någon typ av kyla skall installeras bör solavskärmningen förbättras avsevärt för att inte energikostnaden för kylenergin skall bli för stor. Ett annat förslag var att förbättra värmeåtervinningen på ventilationsaggregaten. Återvinningen är idag av vätskekopplade batterier på grund av aggregatens placering. Då det ventileras stora mängder luft i byggnaden ger relativt små förbättringar av verkningsgraden på återvinningen stora besparingar i energiförbrukningen. En sista åtgärd som kom fram ur en av temperaturloggningarna som genomfördes var att funktionen nattkyla ej fungerade tillfredställande. Då ventilationen är aktiv nattetid och skall kyla byggnaden med den svala nattluften värms luften istället så att kyleffekten minskar avsevärt.

# Innehållsförteckning

<b><u>1</u></b>	<b><u>INLEDNING</u></b> .....	<b>5</b>
1.1	BAKGRUND.....	5
1.2	SYFTE OCH MÅL .....	5
1.3	AVGRÄNSNINGAR.....	5
1.4	METOD .....	6
1.5	BERÄKNINGSVERKTYG .....	6
<b><u>2</u></b>	<b><u>TEORI</u></b> .....	<b>7</b>
2.1	EFFEKT OCH ENERGI .....	7
2.2	GRADDAGSBERÄKNING.....	7
2.3	BERÄKNING AV DAGGPUNKT .....	8
2.4	TEMPERATURVERKNINGSGRAD .....	9
2.5	NORMALÅRSJUSTERING .....	10
2.6	UPPLEVT INNEKLIMAT – PMV & PPD .....	11
<b><u>3</u></b>	<b><u>TEKNISK BYGGNADSBESKRIVNING</u></b> .....	<b>13</b>
3.1	KLIMATSKAL .....	14
3.1.1	VÄGGAR OCH FÖNSTER .....	14
3.2	TAPPVARMVATTEN .....	15
3.3	VENTILATIONSSYSTEM.....	15
3.3.1	NATTKYLA .....	16
3.4	UPPVÄRMNINGSSYSTEM .....	17
3.5	ENERGIFÖRBRUKNING.....	18
3.5.1	VÄRMEENERGI .....	18
<b><u>4</u></b>	<b><u>ENERGIKARTLÄGGNING</u></b> .....	<b>19</b>
4.1	MÄTNINGAR.....	19
4.1.1	TEMPERATURLOGGNING AV TILL- OCH FRÅNLUFT I KONTORSUTRYMMEN.....	19
4.1.2	MÄTNING AV VÄRMEÖVERFÖRING MELLAN VENTILATIONSKANALER .....	21
4.1.3	MÄTNING AV LUFTTEMPERATURER I VENTILATIONSAGGREGATEN.....	21
4.2	ENERGISIMULERING .....	23
4.2.1	HELA BYGGNADEN - UPPVÄRMNING .....	23
4.2.2	HELA BYGGNADEN - KYLNING .....	23
4.2.3	KONTOR LÄNGS SYDFASADEN - SOLAVSKÄRMNING .....	23
4.2.4	HELA BYGGNADEN – FÖRBÄTTRAD VÄRMEÅTERVINNING.....	23
<b><u>5</u></b>	<b><u>ÅTGÄRDSFÖRSLAG</u></b> .....	<b>24</b>
5.1	FASADRENOVERING .....	24
5.2	INSTALLATION AV KYLA .....	25
5.3	SOLAVSKÄRMNING .....	26

<b>5.4</b>	<b>INSTALLATION AV NYTT ÅTERVINNINGSBATTERI.....</b>	<b>26</b>
<b>5.5</b>	<b>SÄNKT TEMPERATUR PÅ NATTKYLA .....</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b><u>SLUTDISKUSSION.....</u></b>	<b><u>30</u></b>
<b>7</b>	<b><u>REFERENSER.....</u></b>	<b><u>31</u></b>
<b>7.1</b>	<b>LITTERATUR .....</b>	<b>31</b>
<b>7.2</b>	<b>INTERNET .....</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b><u>BILAGOR.....</u></b>	<b><u>32</u></b>
<b>8.1</b>	<b>ENERGISTATISTIK.....</b>	<b>32</b>
<b>8.2</b>	<b>ENERGISTATISTIK – NORMALÅRSKORRIGERAD.....</b>	<b>33</b>
<b>8.3</b>	<b>INGÅNGSDATA FÖR ENERGISIMULERINGAR I IDA ENERGI OCH KLIMAT .....</b>	<b>34</b>
<b>8.4</b>	<b>STYRNING AV TILLUFTSTEMPERATUR .....</b>	<b>35</b>
<b>8.5</b>	<b>VÄRMEENERGIFÖRDELNING .....</b>	<b>36</b>
<b>8.6</b>	<b>RESULTAT FRÅN IDA SIMULERINGAR.....</b>	<b>37</b>
<b>8.6.1</b>	<b>EN ZON VID SYDFASADEN.....</b>	<b>37</b>
<b>8.6.2</b>	<b>HELA BYGGNADEN UNDER JULI MÅNAD .....</b>	<b>39</b>

## Enhetsbeteckningar

<i>t</i>	<i>tid</i>	<i>[h]</i>
<i>T</i>	<i>Temperatur</i>	<i>[°C]</i>
<i>E</i>	<i>Ångtryck</i>	<i>[Pa]</i>
<i>Es</i>	<i>Mättnadsångtryck</i>	<i>[Pa]</i>
<i>RH</i>	<i>Relativ fukthalt</i>	<i>[%]</i>
<i>Tdc</i>	<i>Daggpunkt</i>	<i>[°C]</i>
<i>GD</i>	<i>Graddagar</i>	<i>[°C*dygn]</i>
<i>V</i>	<i>Volym</i>	<i>[m<sup>3</sup>]</i>
<i>P</i>	<i>Effekt</i>	<i>[W]</i>
<i>Q</i>	<i>Energi</i>	<i>[kWh]</i>
<i>n</i>	<i>Antal luftomsättningar per timme</i>	<i>[h<sup>-1</sup>]</i>
<i>A</i>	<i>Area</i>	<i>[m<sup>2</sup>]</i>
<i>d</i>	<i>Tjocklek</i>	<i>[m]</i>
<i>C<sub>p</sub></i>	<i>Specifik värmekapacitet</i>	<i>[W/m<sup>2</sup>, K]</i>
<i>PMV</i>	<i>Förväntat medelutlåtande</i>	<i>[-]</i>
<i>PPD</i>	<i>Förväntat antal missnöjda</i>	<i>[-]</i>

## Begrepp och förklaringar

<b>Graddagar</b>	Graddagar är en summa av differensen mellan uttemperaturen och inomhustemperaturen integrerat över tiden (dygn). Statistik med graddagar från normalår går att beställa från SMHI.
<b>Varsamhetsbestämmelser</b>	Ändringar av en byggnad skall utföras varsamt så att byggnadens karaktärsdrag beaktas och dess byggnadstekniska, historiska, kulturhistoriska, miljömässiga och konstnärliga värden tas till vara. Lag (1998:805).
<b>BTA</b>	Bruttoarea – area av mätvärda delar av ett våningsplan, begränsad av omslutande byggnadsdelars utsida <sup>1</sup> .
<b>BRA</b>	Bruksarea – area av nyttjandeenhet eller annan grupp av sammanhörande mätvärda utrymmen, begränsad av omslutande byggnadsdelars insida eller annan för mätvärdhet angiven begränsning <sup>2</sup> .
<b>LOA</b>	Lokalarea - area för utrymmen inrättade för annat ändamål än boende, sidofunktioner till boende, byggnadens drift eller allmän kommunikation <sup>3</sup> .
<b>Ärvärde</b>	Ärvärde är det nuvarande värdet av den storhet som ska regleras <sup>4</sup> .
<b>Börvärde</b>	Börvärdet är det värde som man vill att den reglerade processen ska uppnå <sup>5</sup> .
<b>DUC</b>	<b>XXXX</b>

---

<sup>1</sup> [www.tnc.se](http://www.tnc.se) Sveriges nationella centrum för terminologi och fackspråk 2006-12-12

<sup>2</sup> Ib.

<sup>3</sup> Ib.

<sup>4</sup> <http://sv.wikipedia.org/wiki/%C3%84rv%C3%A4rde> 2007-01-24

<sup>5</sup> <http://sv.wikipedia.org/wiki/B%C3%B6rv%C3%A4rde> 2007-01-24

## 1 Inledning

I samarbete med konsultbyrån Helenius AB togs idén till examensarbetet fram. Tanken var att undersöka och utreda möjligheter att förbättra driftekonomi och inneklimat på kontorsbyggnaden på Radiohuset. Byggnaden ligger på Oxenstiernsgatan 13 i närheten av Gärdet som är beläget i de östra centrala delarna av Stockholm. Idén till examensarbetet kom fram på grund av att byggnaden hade ett stort årligt energibehov och att innetemperaturen sommartid var för hög.

### 1.1 Bakgrund

Radiohuset är av stort kulturhistoriskt värde och får inte rivas. Vid en eventuell ombyggnad måste vissa skyddsbestämmelser beaktas på grund av att byggnaden är kulturmärkt. Verksamheten i sig är även den viktig och mycket beroende av möjligheter att förbättra byggnaden och inneklimatet.

Tidigare utredningar<sup>6</sup> har utrett möjligheterna till en fasadrenovering. Utredningarna tyder på att det är möjligt att utanpå den befintliga fasaden sätta upp en ny fasad. Detta innebär stora och kostsamma ingrepp men skulle avsevärt förbättra inneklimatet och minska energiförbrukningen.

På grund av en befintlig fasadkonstruktion med dålig isolering och stort luftläckage har inneklimatet blivit lidande. Personal klagar på dragproblem vintertid och för höga temperaturer sommartid. Tidigare har kylinstallationer utvärderats och testats i mindre skala, men då kylan lätt ”läcker” ut genom fasaden har inga större installationer genomförts då driftkostnaden skulle bli mycket stor. Problemen upplevs mestadels sommartid då innetemperaturen i kontoren blir mycket hög. Ingen installation av kyla finns och endast ett fåtal kontor har yttre solavskärmning. Vintertid är energiförbrukningen stor med anledning av dåligt isolerade väggar och ett stort luftläckage. Solavskärmning används i första hand med invändiga persienner men även på ett fåtal kontor med hjälp av markiser.

### 1.2 Syfte och mål

På grund av bakgrunden är syftet med utredningen att utreda och ta fram förslag till förbättringsåtgärder som gynnar energianvändningen och inneklimatet.

### 1.3 Avgränsningar

Arbetet omfattar endast kontorsbyggnaden på Radiohuset och intilliggande byggnader ingår ej. Brukarvanor är ej uppmätta utan endast uppskattade utifrån verksamheten. Statistik på energi- samt varmvattenförbrukning innehåller hela Radiohuset och fördelningen till enbart kontorsdelen har uppskattats utifrån simuleringar.

---

<sup>6</sup> Ramböll Sverige AB, *Radiohuset – fasad*, Bengt Lindblad, Uppdragsnummer 10437, 2004-10-08



### **1.4 Metod**

Examensarbetet genomfördes med olika beräkningshjälpmedel. För de komplicerade energisimuleringarna användes simuleringsprogrammet ”*IDA Klimat och Energi 3.0*”. Andra beräkningar har gjorts i kalkylprogrammet Excel. Klimatfilen som användes vid simulering avser Bromma året 1977.

En stor del av själva metoden är att skriva en utförlig rapport på hela arbetet. Rapporten består av tre delar, den första är en teoridel, den beskriver teorin runt en byggnads energibalans och inneklimat. Teoridelen framkom utifrån en litteraturstudie som har genomförts under arbetets gång. Den andra delen är en byggnadsbeskrivningsdel som beskriver den befintliga byggnaden och den tredje, en utredningsdel som utreder olika förbättringsförslag som kommit fram ur mätningar och analyser.

### **1.5 Beräkningsverktyg**

Energisimuleringsprogrammet ”*IDA Klimat och Energi 3.0*” har använts för de mer komplicerade energiberäkningarna. IDA ger en möjlighet att studera det termiska inomhusklimatet i så väl enskilda rum till energiförbrukningen för en hel byggnad. Varje rum kan kompletteras med VVS-installationer, personlast, belysning och all slags annan nödvändig information för att efterlikna byggnaden i verkligheten. För simuleringarna används klimatfiler med loggade värden från Bromma under året 1977. Denna klimatfil innehåller uppmätta lufttemperaturer, fukthalter, vindhastigheter, solinstrålningseffekter och vindriktningar för varje timme under ett hela året som sedan används som beräkningsgrund för simuleringsprogrammet. Att just dessa uppmätta värden från 1977 används är att detta år efterliknar närmst ett normalår i Stockholm.

## 2 Teori

I detta avsnitt förklaras de termer, ekvationer och beräkningar som används i rapporten.

### 2.1 Effekt och energi

För att beräkna erforderliga effekter för uppvärmning och kylning av ventilationsluften används nedanstående ekvation.

$$P = \dot{V} * \delta * C_p * \Delta T \quad \text{Ekv 1}$$

$$P = \text{Effekt [kW]}$$

$$\dot{V} = \text{Volymflöde [m}^3\text{]}$$

$$\delta = \text{Densitet [kg/m}^3\text{]}$$

$$C_p = \text{Värmekapacitet [kJ/kg, K]}$$

$$\Delta T = \text{Temperaturskillnad [}^\circ\text{C]}$$

Då effekten integreras med tiden enligt ekvation 2 beräknas energin (Q) i enheten kWh.

$$Q = \int_1^2 (P) dt \quad \text{Ekv 2}$$

$$Q = \text{Energi [kWh]}$$

$$P = \text{Effekt [kW]}$$

### 2.2 Graddagsberäkning

För att beräkna energiåtgången och energibesparingen för ventilationssystemet används graddagsberäkningar. Ekvation 3 nedan används för att utifrån medeltemperaturen på orten och timmen på året generera en graddagskurva enligt figur 1. Ekvationerna (linjerna) integreras sedan för att på så sätt få fram erforderliga energimängderna för den specifika beräkningen. I nedanstående fall används en värmeåtervinning med 50 % verkningsgrad och en konstant frånluftstemperatur på 22°C vilket genererar det lila fältet som kan ses som en gratisenergi som utan återvinning skulle få tillföras med tillskottsvärme. Det gula fältet är den uppvärmning som måste tillföras för att hålla den önskvärda tilluftstemperaturen på 18°C. Desto bättre verkningsgraden på värmeväxlaren desto mindre blir den gula ytan och desto mindre behöver tilluften värmas för att hålla den önskade tilluftstemperaturen.

$$T f(v) = ((h - 4380) * (3,9 - 0,086 * v) * 0,001 + v) + \quad \text{Ekv 3}$$

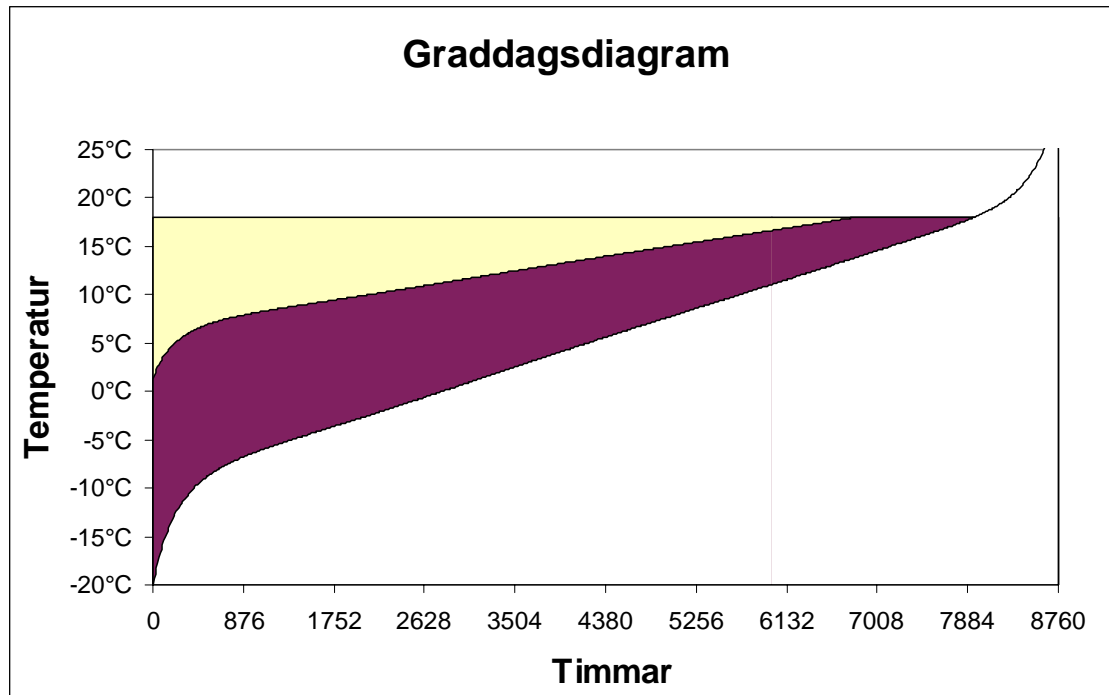
$$(h * (1 + (8 - v)/586)/8300)^{38} - (1550/(700 + h))^3 +$$

$$(1,5 * ((v/8) * (1200/(500 + h))))^2 * \text{COS}((900 - h)/585)$$

$$T = \text{Temperatur vid timmen } h \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$h = \text{Timmen på året [1-8760]}$$

$$v = \text{Medeltemperaturen på orten i fråga [}^\circ\text{C]}$$



**Figur 1** – Grafisk presentation av graddagsberäkningen. Det lila fältet visar den energi som tillvaratas i värmeåtervinningen och tillförs tilluften. Det gula visar den energi som måste tillföras på annat sätt för att hålla den önskvärda tilluftstemperaturen. Den gräns till höger i figuren där det gula fältet slutar är den gränstemperatur då tillförsel av annan energi än från värmeåtervinningen upphör på grund av den varmare uteluftstemperaturen.

### 2.3 Beräkning av daggpunkt<sup>7</sup>

Om luft som innehåller fukt kyls ner kommer fukten i luften vid en viss temperatur fällas ut och bilda kondens. Denna temperatur kallas för daggpunkt och är beroende av luftens temperatur och fukthalt. Nedanstående ekvationer används för att beräkna daggpunkten från en given temperatur [°C] och fukthalt [%].

#### Mättnadsångtryck

$$E_s = 6,11 * 10^{\left( \frac{7,5 * T_C}{237,7 + T_C} \right)} [Pa] \quad \text{Ekv 4}$$

$T_C$  = Temperatur [°C]

#### Verkligt ångtryck

$$E = \frac{RH * E_s}{100} [Pa] \quad \text{Ekv 5}$$

$E_s$  = Mättnadsångtryck [Pa]

$RH$  = Relativ fukthalt [%]

<sup>7</sup> Gorham/Schaffler Inc (2006)

**Daggpunkt**

$$T_{dc} = \frac{-430,22 + 237,7 * \ln(E)}{-\ln(E) + 19,08} \quad [^{\circ}C]$$

Ekv 6

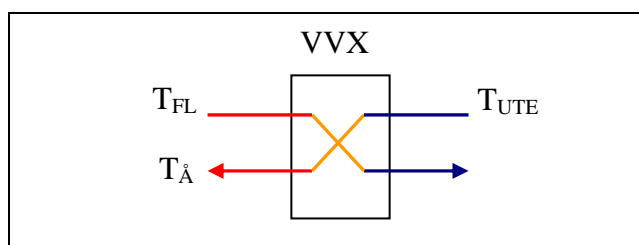
$$E = \text{Verkligt ångtryck [Pa]}$$

**2.4 Temperaturverkningsgrad**

För att återvinna värme från den luft som tas ut från byggnaden (frånluft) används vanligtvis värmeväxlare. Dessa kan vara av typ heatpipe, korsströmsvärmeväxlare, roterande värmeväxlare, samt vätskekopplade batterier. Den roterande värmeväxlaren har vanligtvis den bästa verkningsgraden men läcker även en del luft från frånluften till tilluften. I vissa fall när detta läckage ej är acceptabel används ej denna typ av värmeväxlare. Dessa fall kan vara då frånluften innehåller farliga ämnen och/eller har en stark lukt t.ex. då en stor del av frånluften kommer från toaletter. En fördel med värmeåtervinning med vätskekopplade batterier är att värmeåtervinning kan ske även då frånluftsaggregat och tilluftsaggregat är placerade långt ifrån varandra.

**Tabell 1** – Olika växlare och dess ungefärliga verkningsgrad<sup>8</sup>.

Typ av värmeväxlare	Verkningsgrad	Fördelar	Nackdelar
Roterande	~75-85 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hög verkningsgrad</li> <li>• Överför fukt till tilluften kalla vinterdagar</li> <li>• Kräver ingen dräneringsanslutning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ej tät</li> <li>• Överför fukt tillbaka in i byggnaden</li> <li>• Fler rörliga delar</li> <li>• Kan alstra ljud</li> </ul>
Platt/Kors	~55-70 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingen fuktöverföring</li> <li>• Tyst</li> <li>• Inga rörliga delar</li> <li>• Priset</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lägre verkningsgrad</li> <li>• Kräver dränering och avfrostning</li> </ul>
Heatpipe	~55-70 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingen fuktöverföring</li> <li>• Tyst</li> <li>• Inga rörliga delar</li> <li>• Priset</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lägre verkningsgrad</li> <li>• Kräver dränering och avfrostning</li> </ul>
Vätskekopplade	~50-60 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ej behov av närhet mellan till- och frånluftsaggregaten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lägre verkningsgrad</li> <li>• Kräver dränering och avfrostning</li> </ul>



**Figur 2** – Förklaring av temperaturer i värmeväxlare för beräkning av temperaturverkningsgrad.

<sup>8</sup> Cederborg, F. Ekman P (2000)

För att beräkna temperaturverkningsgraden i ett värmeåtervinningssystem för ventilation utifrån uppmätta temperatur används ekvation 7. Återvinningstemperaturen är temperaturen på den luft som har passerat värmeväxlaren och därefter (vanligtvis) går in i ett värmebatteri för att värmas upp till den önskade tilluftstemperaturen.

$$\eta = \frac{T_{\dot{A}} - T_{UTE}}{T_{FL} - T_{UTE}} [\%] \quad \text{Ekv 7}$$

$T_{\dot{A}}$  = Återvinningstemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{UTE}$  = Utetemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{FL}$  = Frånluftstemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

## 2.5 Normalårsjustering

En normalårsjustering innebär att den uppmätta energiförbrukningen som går till uppvärmning av byggnaden justeras till ett normalår. Ett normalår är ett medelvärde på utetemperaturer på ett år över en lång tid, vanligtvis 30 år. Om det aktuella året varit kallare eller varmare än ett normalår justeras energiförbrukningen till det som den skulle ha varit under ett normalår. För att jämföra och beräkna energiförbrukningen för en fastighet bör den uppmätta energiförbrukningen för ett år normalårsjusteras. Vid en normalårsjustering justeras endast energiförbrukningen som är utetemperaturberoende, energi som t.ex. går till uppvärmning av varmvatten justeras ej eftersom den ej beror av utetemperaturen.

$$GD = \sum_i (t_{balans,i} - t_{ute,i}) \quad i=1, 2, \dots, N \text{ dagar}^9 \quad \text{Ekv 8}$$

$t_{balans,i}$  = Balanstemperaturen, [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{ute,i}$  = Utetemperatur, [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Balanstemperaturen är den utomhustemperatur som medger att uppvärmningssystemet kan stängas av. Denna balans påverkas av passiv värme så som solinstrålning och personvärme, belysning m.m.

$$Q_{korrigerad} = Q_{ko} + (Q_{total} - Q_{ko}) * \frac{GD_{normalår}}{GD_{aktuell}} \quad \text{Ekv 9}$$

$Q_{korrigerad}$  = Normalårskorrigerad energianvändning, [kWh]

$Q_{ko}$  = Klimatberoende energianvändning, (t.ex. tappvarmvatten) [kWh]

$Q_{total}$  = Total energianvändning, [kWh]

$GD_{normalår}$  = Antal graddagar under ett normalår, [ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{dagar}$ ]

$GD_{aktuell}$  = Antal graddagar under det aktuella året, [ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{dagar}$ ]

För att beräkna den klimatberoende energianvändningen, vanligtvis enbart den energi som åtgår till att värma tappvarmvatten kan man anta tappvarmvattendelen till 1/3 av uppmätt kallvattenförbrukning.

<sup>9</sup> Schultz, L. (2003)

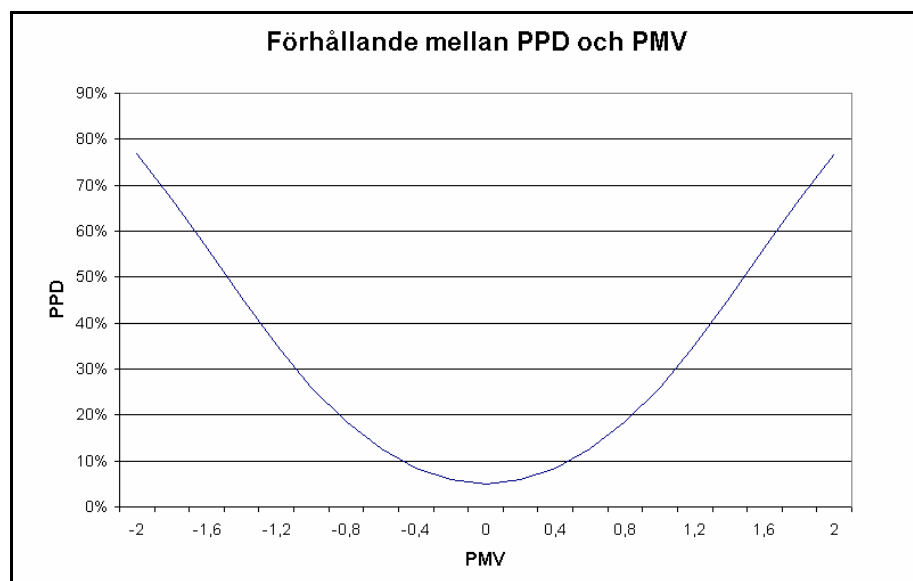
## 2.6 Upplevt inneklimat – PMV & PPD

Inneklimatet upplevs olika av olika människor. För en stor grupp människor kan ändå ett förväntat medelutlåtande beräknas<sup>10</sup> (PMV – Predicted Mean Vote) m h a ekvation 10. Beräkningen tar hänsyn till omgivningen och personernas aktivitet och beklädnad. Resultatet har 7 nivåer och går från +3 till -3 enligt tabell 2.

**Tabell 2** – De 7 nivåerna som det upplevda inneklimatet delas in i (PMV).

+3	Mycket för varmt
+2	För varmt
+1	Komfortabelt varmt
0	Idealt, varken för kallt eller för varmt
-1	Komfortabelt kallt
-2	För kallt
-3	Mycket för kallt

Utifrån PMV kan PPD (Percentage of Predicted Dissatisfied) beräknas<sup>11</sup>. PPD är en väntad andel människor i en stor grupp som upplever inneklimatet otillfredsställande. Det bästa resultatet som kan uppnås är 5 % missnöjda eller motsvarande 95 % nöjda.



**Figur 3** – Beskriver hur PPD och PMV förhåller sig till varandra. Redan vid ett medelutlåtande på  $\pm 1$ , d.v.s. komfortabelt varmt eller komfortabelt kallt är 27 % av en stor grupp människor otillfredsställda med inneklimatet.

$$PPD = 100 - 95 * e^{-(0,03353 * PMV^4 + 0,2179 * PMV^2)}$$

**Ekv 10**

Förhållandet mellan PPD och PMV visar tydligt på hur viktigt det är att hålla ett stabilt och komfortabelt inneklimat för att människor ska känna sig nöjda. Desto mer inneklimatet avviker från en persons komfortabla temperatur, desto sämre kommer denna person att prestera den uppgift denna skall utföra på t.ex. ett arbete.

<sup>10</sup> Nillson P-E., (2003)

<sup>11</sup> [http://www.byv.kth.se/avd/itek/pers/olander/undervis/Beraknings samband/Kap\\_08.pdf](http://www.byv.kth.se/avd/itek/pers/olander/undervis/Beraknings samband/Kap_08.pdf) 2006-11-27

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) * \left. \begin{aligned} & \left[ (M - W) - 3,05 * 10^{-3} [5733 - 6,99(M - W) - p_a] - 0,42 * \right. \\ & \left. \left[ (M - W) - 58,15 \right] - 1,7 * 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0,0014M * \right. \\ & \left. \left[ (34 - t_r) - 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] - f_{cl} \alpha_c (t_{cl} - t_r) \right] \right\} \quad \text{Ekv 11} \end{aligned}$$

där

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} f_{cl} \alpha_c (t_{cl} - t_r) - I_{cl} \left\{ 3,96 * 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] \right\}$$

$$\alpha_c = \begin{cases} 2,38(t_{cl} - t_r)^{0,25} & \text{för } 2,38(t_{cl} - t_r)^{0,25} > 12,1\sqrt{v_{ar}} \\ 12,1\sqrt{v_{ar}} & \text{för } 2,38(t_{cl} - t_r)^{0,25} < 12,1\sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 12,90I_{cl} & \text{för } I_{cl} < 0,078m^2C/W \\ 1,05 + 0645I_{cl} & \text{för } I_{cl} < 0,078m^2C/W \end{cases}$$

$M$  = Metabolisk nivå kropps yta (1 metabolism = 1met=58,2W/m<sup>2</sup>), [W/m<sup>2</sup>]

$W$  = Yttre värmeförlust på kroppsytan, (noll för de flesta aktiviteter), [W/m<sup>2</sup>]

$I_{cl}$  = Termiskt motstånd på beklädnad, (1clothing unit = 1 clo = 1,55m<sup>2</sup>K/W), [m<sup>2</sup>K/W]

$f_{cl}$  = Förhållande mellan kroppsytan på en beklädd kropp och en naken kropp[-]

$t_r$  = Lufttemperatur, [°C]

$t_{mrt}$  = Medel strålningstemperatur, [°C]

$v_{ar}$  = Lufthastighet i förhållande till människokroppen, [m/s]

$p_a$  = Partialtryck på vattenånga, [Pa]

$\alpha_c$  = Konvektiv värmeöverföringskoefficient, [W/m<sup>2</sup>K]

$t_{cl}$  = Beklädnadens ytemperatur, [°C]

### 3 Teknisk byggnadsbeskrivning

Radiohuset är beläget i närheten av Gärdet i de östra centrala delarna av Stockholm. Kontorsdelen på Radiohuset som ingår i denna studie är format som ett stort T. Byggnaden har 12 våningar varav 2 är under markplan. Den totala bruksarean är på ca 57 000 m<sup>2</sup> och den del av byggnaden som ingår i examensarbetet kan ses i figur 4.



**Figur 4** – Flygfoto över Sveriges Radio. Byggnaden som ingår i utredningen är den byggnad som ser ut som ett stort T och som pilen pekar på<sup>12</sup>

Radiohuset är av kulturhistoriskt värde. Eftersom verksamhetens behov har stor betydelse har varsamhetsbestämmelser används istället för skyddsbestämmelser. Särdrag som måste beaktas vid ombyggnad för Radiohuset är<sup>13</sup>:

- Att längsfasader består av vanligt och fasadglas
- Färg på glaset är olika nyanser av grått
- Proportioneringen av fasaden
- Detaljer i karmar som material och tjocklekar
- Kortfasaderna av betong med smala glasöppningar, proportioner och utförande
- Plana tak

<sup>12</sup> [www.hitta.se](http://www.hitta.se) 2006-12-11

<sup>13</sup> Sweco Projektledning PM 2004-06-11 – Tidigare undersökning





**Figur 5** – Den svarta linjen ringar in den del av Radiohuset som ingår i detta arbete (kontorsbyggnaden) den andra röda linjen visar den andra delen som ej ingår i arbetet men som ändå ingår i all energistatistik.

Byggnationsåret för byggnaden är 1960. Byggnaden består av en betongstomme med en fasad uppbyggt av moduler. Dessa moduler är dåligt isolerade och har med tiden börjat spricka i tätningarna runt modulerna.

### 3.1 Klimatskal

#### 3.1.1 Väggar och fönster

Enligt tidigare utredningar<sup>14</sup> och enligt egna beräkningar är U-värden på fönster 2,0 W/m<sup>2</sup>K och på för övriga fasaddelar 0,5 W/m<sup>2</sup>K. Orsaken till den dåliga värmeisoleringen beror delvis på att byggnaden byggdes på 1960-talet då oljepriset var lågt och gjorde att det ej fanns ekonomiska incitament för att isolera bättre. Vid jämförelse med U-värden ifrån Boverket vid nybyggnation är skillnaden stor. De högsta U-värden får enligt Boverket<sup>15</sup> för omslutande byggnadsdelar vid nybyggnation, ej överstiga värden i tabell 3:

**Tabell 3** – Högsta U-värden för omslutande byggnadsdelar vid nybyggnation enligt Boverket.

U <sub>vägg</sub> =	0,18 W/m <sup>2</sup> K
U <sub>fönster</sub> =	1,3 W/m <sup>2</sup> K

De fasadmoduler som fasaden är uppbyggd av har ett stort värmeläckage. Tätningen mellan fasadmodul och betongstomme består utav metervis med gummilister. Dessa gummilister har med tiden torkat och spruckit på många ställen, vilket bidrar till ytterligare luft- och värmeläckage.

<sup>14</sup> Ramböll Sverige AB, *Radiohuset – fasad*, Bengt Lindblad, Uppdragsnummer 10437, 2004-10-08

<sup>15</sup> Boverket, Regelsamling för byggande, 2007-01-26

**Tabell 4** – Teknisk beskrivning av den befintliga väggkonstruktionens uppbyggnad och dess olika skikt.

Väggkonstruktion	Tjocklek [m]	R-värde [W/mK]
<i>Inside</i>		
Gipsskiva	0,015	0,22
Asfaltpapp (plast)	0,001	0,18
70mm mineralull med träregelstomme	0,07	0,044
Fiberskiva (eternit)	0,025	0,13
<i>Utsida</i>		
U-värde [W/m <sup>2</sup> K]	0,493	

Den del av väggen som är under mark har antagits ha samma U-värde som den del som är över mark.

### 3.2 Tappvarmvatten

Produktion av tappvarmvatten sker i första hand med spillvärme från kylmaskinerna (VS0). Räcker inte spillvärmerna till spetsas tappvarmvattnet med energi ifrån fjärrvärmerna (VP1). Ingående tappvatten antas hålla en temperatur på 5°C året runt och tappvarmvattnet håller en temperatur på 57°C när den har passerat värmeväxlarna. Varmvattenkretsen har även en varmvattencirkulation (VVC) för att hålla rätt temperatur i hela systemet.

### 3.3 Ventilationssystem

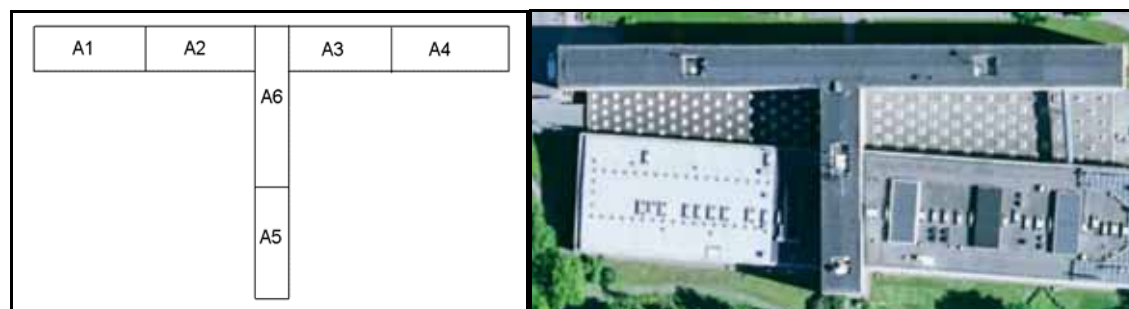
Ventilationen i Radiohuset är av FTX typ (Frånluft, Tilluft, Värmeåtervinning). Tilluftsfläktarna är placerade på den övre delen av byggnaden och frånluftfläktar är placerade i den nedre delen av byggnaden. Återvinning sker med hjälp av vätskekopplade batterier. Uppvärmningen sker delvis med fjärrvärme och med överskottsvärme från kylkompressorer från intilliggande byggnader. Installation av kylbatterier har ej skett då värmeisolering och solavskärmning är dålig. Frånluftskanaler på våningsplan ligger invändigt i tilluftskanaler. Samtliga motorer till de större till- och frånluftfläktarna är direktdrivna och utrustade med frekvensomvandlare. Samtliga fläktar som betjänar Radiohuset redovisas i tabell 5.

**Tabell 5** – Samtliga fläktar som betjänar byggnaden. Se figur 6 för ytterligare beskrivning. Totalt ventileras 43m<sup>3</sup>/s i frånluft ut ur byggnaden dagtid.

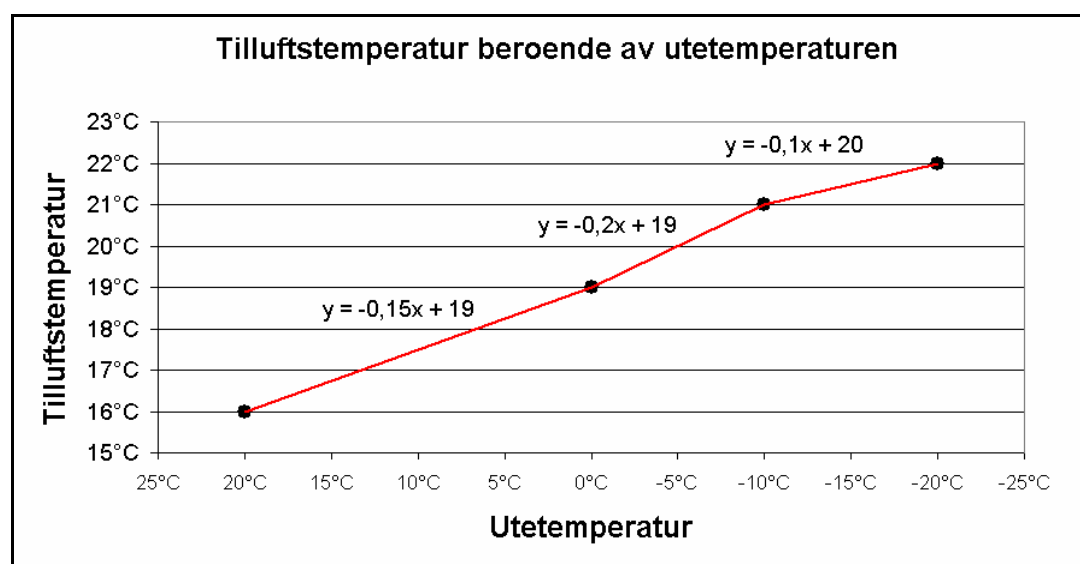
Aggregatbeteckning	Fläkttyp	Projekterat flöde [l/s]	Uppmätt <sup>16</sup> flöde [l/s]	Betjänar
<b>IA-A1</b>	T	8400	8400	A1 N2-7tr
UA-A1	F	6500	6500	A1 N2-7tr
TF-A1	F	2100	1900	A1 WC N2-7tr
<b>IA-A2</b>	T	8500	8500	A2, N2-7tr
UA-A2	F	6400	6390	A2, N2-7tr
TF-A2	F	2100	2070	A2 WC N2-7tr
<b>IA-A3</b>	T	8148	8148	A3 N2-7tr
UA-A3	F	6650	6650	A3 N2-7tr
TF-A3	F	1390	1450	A3 WC N2-7tr
<b>IA-A4</b>	T	8350	8350	A4 N2-7tr
UA-A4	F	6540	6540	A4 N2-7tr
TF-A4	F	1800	1810	A4 Toaletter N2-7tr

<sup>16</sup> Besiktningssprotokoll OVK 2006-09-11

IAK-29	F	400	400	OB. Buss garage
<b>IA-A5</b>	T	9600	9600	A5, A6 N2-7tr
UA-A5	F	8000	8000	A5, A6 N2-7tr
TF-A5	F	1450	1450	A5, A6 WC N2-7tr



Figur 6 – De olika husdelarna på kontorsbyggnaden på Radiohuset



Figur 7 – Kurvan som styr reglering av tilluftstemperaturen beroende på uteluftstemperaturen. När uteluftstemperaturen överstiger 16,5°C kommer uppvärmningen att stanna eftersom tilluftstemperaturen enligt kurvan skall vara lägre än uteluftstemperaturen och på grund av att ingen kyla av tilluften finns.

### 3.3.1 Nattkyla

Om byggnaden under dagtid lagrar så mycket energi så ett restöverskott kvarstår följande morgon skall denna energi borttransporteras med hjälp av nattkylning med uteluft. Denna funktion innebär att fläktarna som normalt är avstängda nattetid (01:00-05:00) startar och går utan tillskottsvärme och värmeåtervinning. Nattkylan startas när lokal temperaturen är över 22°C och avbrytes när lokaltemperaturen är under 19°C. Under nattkylningsperioden är värmeåtervinningen stoppad.

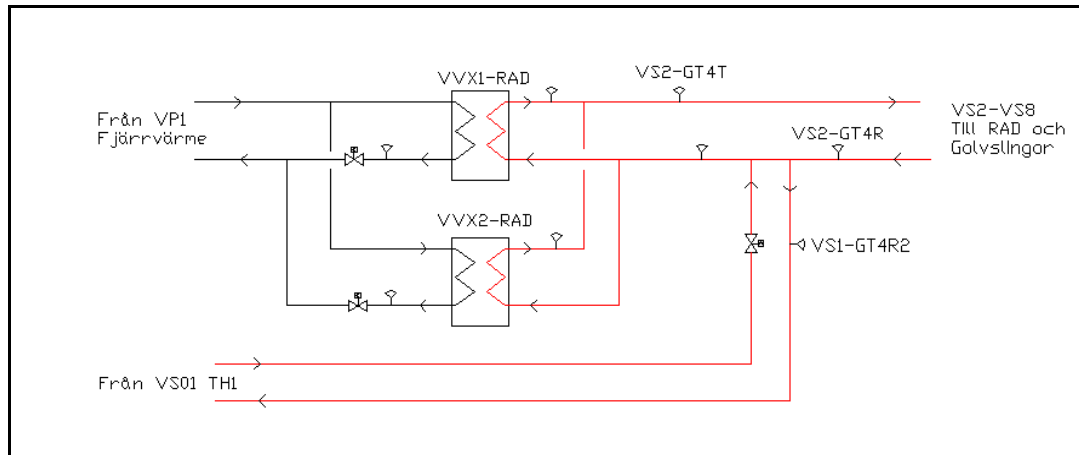
Tabell 6 – Drifttider för luftbehandling Sveriges Radio (vår, vinter, höst)

	Från	Till
Helfart	07:00	19:00
Halvfart	19:00	23:00
1/3 fart	23:00	07:00

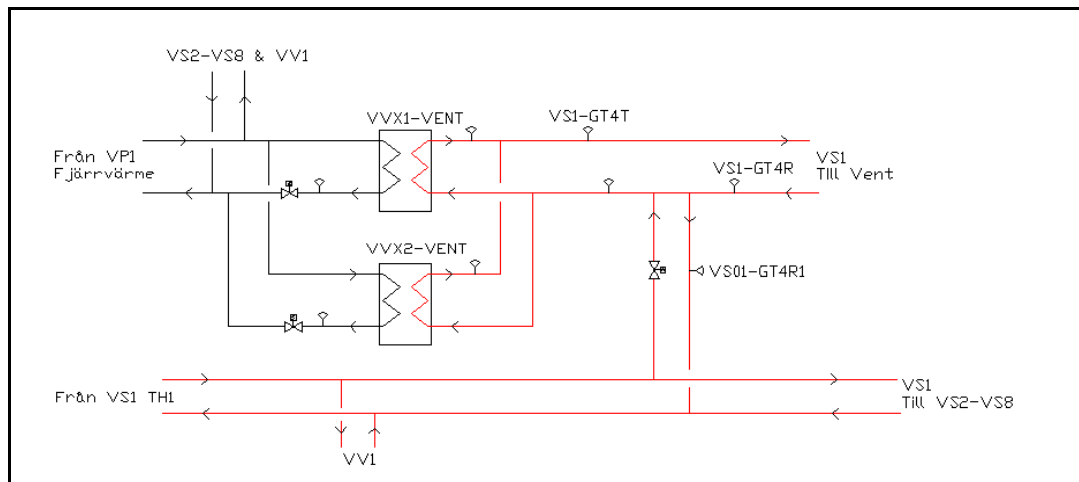
### 3.4 Uppvärmningssystem

Den aktiva uppvärmningen av byggnaden sker med vattenfyllda radiatorer och golvvärmslingor. All uppvärmning sker från Värme Undercentral (RH-N2B-9-19). Överskottsvärme från kylmaskiner (ingår ej i denna utredning) som betjänar andra intilliggande byggnader används som ”gratisenergi” i så stor utsträckning som möjligt.

I figur 8 och 9 beskrivs flödesschemat för uppvärmningssystemet.



**Figur 8** – Flödesschema<sup>17</sup> till uppvärmningssystemet. Framledningstemperaturen (VS2-GT4T) styrs via utekompenserad kurva. Överskottsvärme från kylmaskiner (VS01 TH1) återvinns om temperaturen i framledningen (VS01 TH1) är varmare än returen från (GT4R)



**Figur 9** – Flödesschema<sup>18</sup> till uppvärmning av ventilationsbatterier. Framledningstemperaturen (VS1-GT4T) styrs via utekompenserad kurva. Överskottsvärme från kylmaskiner (VS01 TH1) återvinns om temperaturen i framledningen (VS01 TH1) är varmare än returen från (VS1-GT4R)

<sup>17</sup> Driftkort 56:02 Kv. Förrådsbacken Radiohuset

<sup>18</sup> Driftkort 56:01 Kv. Förrådsbacken Radiohuset

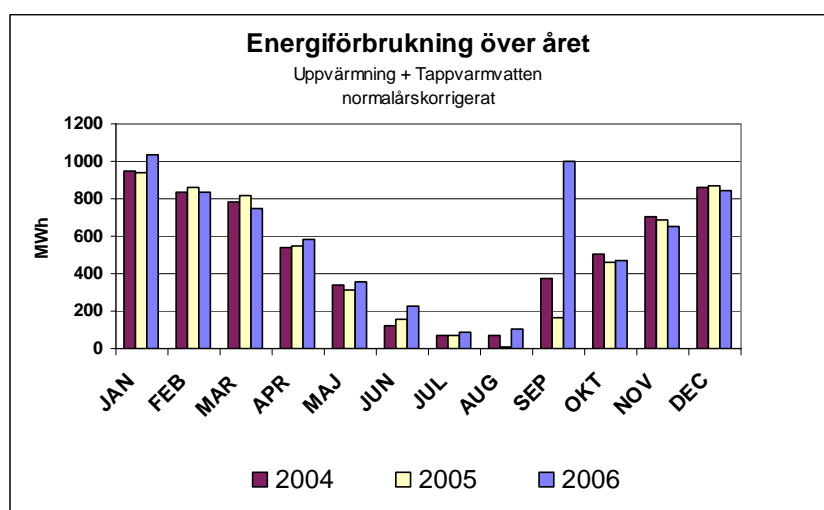
### 3.5 Energiförbrukning

På grund av gemensam undercentral innehåller energistatistiken statistik från hela Radiohuset. Därför är delar som ej ingår (studiobyggnaden) i denna utredning med i siffrorna. Energiförbrukningen för kontorsdelen är antagen utifrån simuleringar med energisimuleringsprogrammet IDA.

#### 3.5.1 Värmeenergi

Den specifika kostnaden för värmeenergi (fjärrvärme) från Fortum är 0,85 kr/kWh exklusiva moms och 1,06 kr/kWh inklusive moms. I den specifika kostnaden ingår även de fasta avgifterna i abonnemanget.

**Figur 10** – Energiförbrukningen för hela Radiohuset under åren 2004 till 2006. Det höga värdet i september 2006 beror på byte av energiloggar.



## 4 Energikartläggning

### 4.1 Mätningar

Flertalet mätningar genomfördes för att få insikt i byggnadens status. Små temperaturloggers av typ Tinytag placerades ut på olika platser vid olika tillfällen i byggnaden. Anledningen till loggningarna var att få insikt i värmeöverföring mellan ventilationskanaler, temperaturskillnader på olika fasad sidor samt effekterna av funktionen nattkylning. Denna funktion används under sommaren då byggnaden även nattetid har ett värmeöverskott.

#### 4.1.1 Temperaturloggning av till- och frånluft i kontorsutrymmen

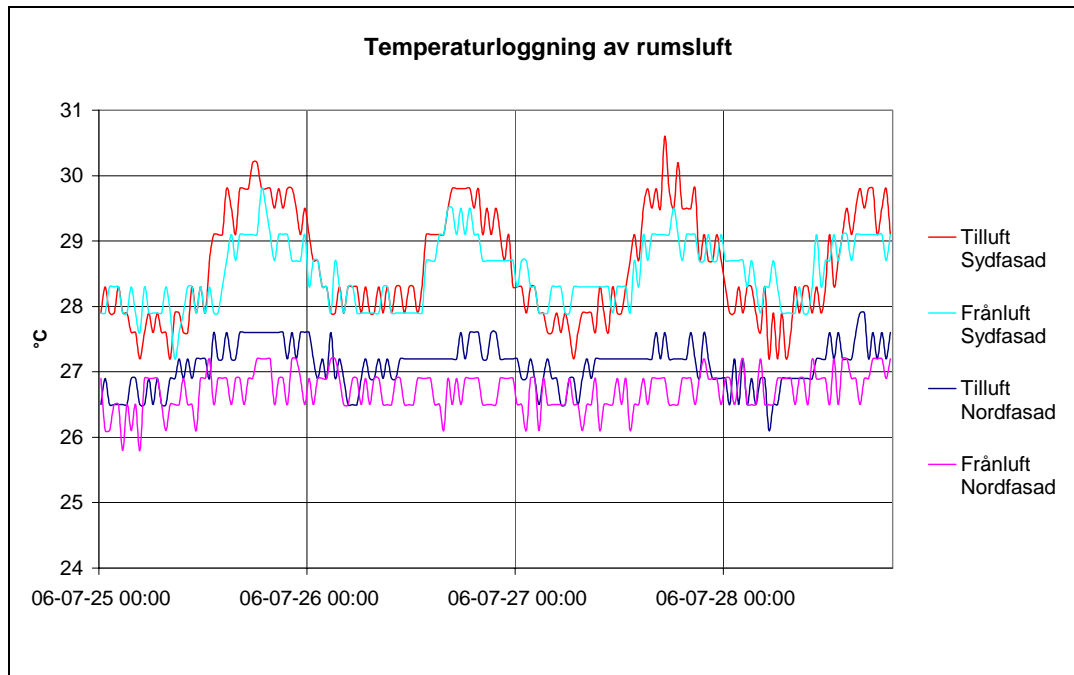
Temperatur och luftfuktighetsmätningar genomfördes på plan 6 i den västra delen. Två lokaler mitt emot varandra utan personbelastning valdes. Solavskärmningen bestod av nervinklade vita persienner. Mätningen gjordes för att få kännedom om temperaturskillnaden på de olika fasadsidorna. Den ena fasaden har riktning mot NNO och den andra mot SSV.

**Tabell 7** – Information om temperatur- och fuktmätning på nordsidan av den västra delen på byggnaden.

Info	Nordfasad Västra delen	
Startdatum	2006-07-14	2006-07-14
Givare	TL1	FL1
Lokal	6B-44	6B-44
Flöde	0,6 m/s, 38*3cm, 6,8 l/s (1/3 fart)	4 l/s + 3 l/s Totalt 7 l/s (1/3 fart)
Typ	Tilluft	Frånluft
Anm.	Lokalen började nyttjas 7/8 - Fönster och dörr öppnad dagtid.	

**Tabell 8** – Information om temperatur- och fuktmätning på sydsidan av den västra delen av byggnaden.

Info	Sydfasad Västra delen	
Startdatum	2006-07-14	2006-07-14
Givare	TL2	FL2
Lokal	6B-45	6B-45
Flöde	0,5 m/s, 38*3cm, 5,7 l/s (1/3 fart)	4 l/s + 4 l/s (1/3 fart)
Typ	Tilluft	Frånluft
Anm.	Lokalen var outnyttjad under hela mätningen. Nervinklade persienner, vita	



Figur 11 – Loggade temperaturer i två rum på olika fasadsidor (NNO och SSV).

## Osäkerhet

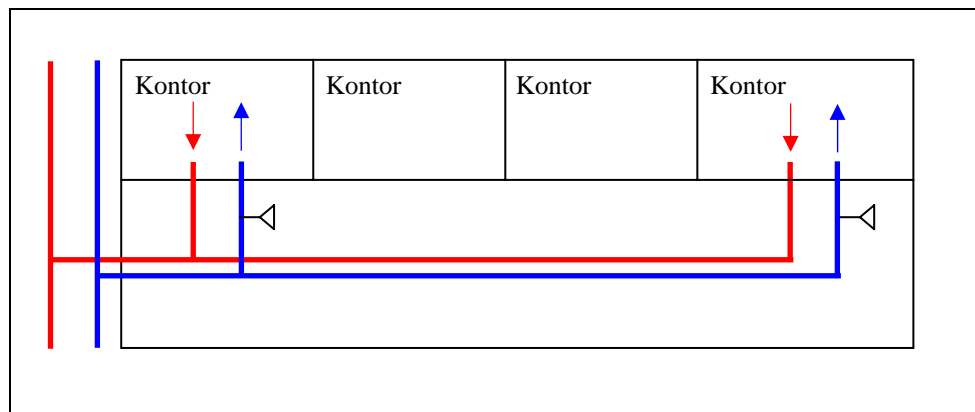
Då enda möjligheten att mäta tilluftstemperaturen i lokalen var att placera mätaren på tilluftsdonet. Då tilluftsdonet är relativt smalt och placerat intill väggen finns risk för medejktering av rumsluft som gör att mätarna visar mindre temperatur skillnad mellan till- och frånluft. Medejkterings påverkan på mätningen uppskattas till acceptabel.

## Analys

Dagtid under varma somrardagar är frånluftstemperaturen ca 1°C varmare än tilluftstemperaturen. För att inte värma bygganden för mycket med varm uteluft går fläktarna normalt på en lägre hastighet (1/3-fart) dagtid. Mätningen tyder även på relativt stor skillnad på tilluftstemperaturer mellan nord och sydfasaden vilket kan orsakas av värmeöverföring från frånluften och eller medejktering av rumsluft vid mätpunkten.

### 4.1.2 Mätning av värmeöverföring mellan ventilationskanaler

Då frånluftskanalerna ligger invändigt i tilluftskanalerna finns en värmeöverföring mellan de två flödena. För att få en uppfattning om mängden energi som överförs mellan kanalerna loggades tilluftstemperaturer i fyra kontor. Två av loggarna placerades nära stigarschaktet, en på norra sidan och en på södra sidan. De andra två givarna placerades längre ut på våningsplanet längre bort från stigaren. De två loggarna nära schaktet antogs ha liknande temperaturer på grund av att det ej hunnit överföras någon energi mellan kanalerna. De två andra loggarna som placerades längre ut på våningsplanet mäter då värmeöverföringen som har skett efter den första loggen.



Figur 12 – Förklaring av mätning för värmeöverföring mellan ventilationskanaler.

Tabell 9 – Information om mätning för värmeöverföring mellan ventilationskanaler.

Info	Västra delen			
Startdatum	2006-08-09			
Givare	TL1	TL2	FL1	FL2
Lokal	6B-06	6B-30	6B-48	6B-82
Typ	Tilluft	Tilluft	Tilluft	Tilluft

### Osäkerhet

Då tillgången till antalet loggar var begränsat loggades ej frånluftstemperaturen. För att beräkna värmeöverföringen uppskattades frånluftstemperaturen utifrån tidigare mätningar på frånluften.

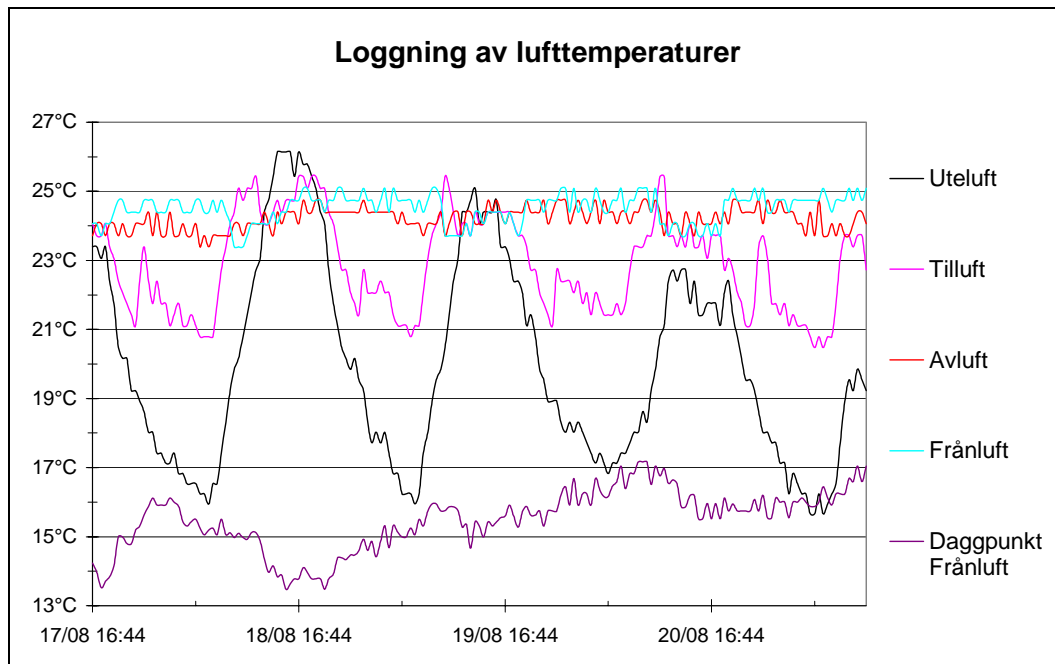
### Analys

Då temperaturskillnaden mellan frånluft och tilluft var relativt liten gav mätningen inget tydligt resultat. Tidvis var temperaturskillnaden mellan de olika tilluftstemperaturerna noll och ibland bara någon grad. För att få mer tillförlitlighet i mätningen bör temperaturskillnaden mellan frånluft och tilluft vara betydligt större.

### 4.1.3 Mätning av lufttemperaturer i ventilationsaggregaten

Till- och frånluftsläktarna är placerade på olika våningsplan i byggnaden och återvinning (kyla/värme) sker med vätskekopplade batterier. För att få uppgifter om verkningsgrad och hur styrningen av systemet fungerar i verkligheten undersöktes temperaturer på till- från- av- och uteluften. Mätningen skedde under en sommarperiod då behov av nattkyla fanns.





**Figur 13** – Temperaturer på till- av- och frånluft samt daggpunktens temperatur på frånluften. Diagrammet visar tydligt hur den kalla nattluften inte används maximalt för att kyla byggnaden.

**Tabell 10** – Information om mätning lufttemperaturer i ventilationsaggregat

Info	Västra delen IA-A2 & UA-A2			
Startdatum	2006-08-17			
Givare	TL1	TL2	FL1	FL2
Placering	B31A, RH N3		B05, RH N3	
Typ	Tilluft	Uteluft	Avluft	Frånluft

## Osäkerhet

Placering av givare vid frånluftsfläkten (UA-A2) mellan återvinningsbatteri och värmebatteri kan påverkas av det korta mellanrummet mellan batterierna. Lufttemperaturerna är olika vid utloppet från batteriet beroende av placering av givare och då mätpunkten är relativt nära batteriet kan felet på värdet bli stort. Då resultatet inte är mycket beroende av noggrannheten på denna mätning spelar detta fel en liten roll.

## Analys

Mätningen tyder på en dålig utnyttjning av den svala uteluften nattetid då nattkyla är aktiverat. Utetemperaturen är betydligt kallare än tilluftstemperaturen som enbart bara vore någon grad varmare än uteluften på grund av värmeavgivning från fläktmotorn.

## **4.2 Energisimulering**

För att få uppfattning om energiförbrukningen i endast kontorsdelen på Radiohuset användes energisimuleringsprogrammet ”*IDA Klimat och Energi 3,0*”. Ingångsdata för energisimuleringarna redovisas i bilaga 7.3.

När hela byggnaden simulerades i IDA gjordes en modell som är av samma storlek och mått som den befintliga byggnaden. En förenkling av verkligheten gjordes genom att se hela byggnaden som en stor volym. Om varje våningsplan, fönster och kontor skulle ha lagts in i beräkningsprogrammet hade tiden för varje simulering flerdubblats och gjort arbetet onödigt tidsödande.

### **4.2.1 Hela byggnaden - Uppvärmning**

För att få uppgifter om energibehovet till uppvärmningen av den del av Radiohuset som ingår i utredningen simulerades byggnaden i *IDA Klimat och Energi 3,0*. Ingångsdata finns i bilaga 7.3.

### **4.2.2 Hela byggnaden - Kylning**

För att få uppgifter om energibehovet vid en tänkt kylinstallation med passiva kylbafflar simulerades byggnaden på samma sätt som i uppvärmningsfallet men med kylbafflar installerade. Olika parametrar ändrades för att se effekterna av dessa. Mer information om resultatet finns i kapitel *Åtgärdsförslag*.

### **4.2.3 Kontor längs sydfasaden - Solavskärmning**

För att få uppgifter om effekten av olika solavskärmningar och fönstervädringar simulerades endast ett fåtal kontor längs sydfasaden av byggnaden. Mer information om resultatet finns i kapitel *Åtgärdsförslag*.

### **4.2.4 Hela byggnaden – Förbättrad värmeåtervinning**

För att få uppgifter om effekterna av en förbättrad värmeåtervinning på ventilationssystemets värmeåtervinning genomfördes både hand och datasimuleringar. Mer information om resultatet finns i kapitel *Åtgärdsförslag*.

## 5 Åtgärdsförslag

Utredningen tyder på flera möjligheter att genom både enklare eller mer omfattande ingrepp spara mycket energi. Driftoptimering i byggnaden sker kontinuerligt och driftpersonalen är kunnig inom detta men utredande uppdrag som detta har ändå hittat parametrar som kan ändras och förbättras.

Det stora problemet för fastigheten är överskottsvärmen på sommaren. Vintertid har det tidigare varit kallt i vissa utrymmen men då det alltid går att "gasa på" med mer värme har detta problem lösts. Eftersom det inte finns någon kyla installerad och på grund av att solavskärmningen är dålig är det sommartid svårt att hålla nere temperaturen. Vid många tillfällen är temperaturen i kontoren uppe långt över 30°C. Vid dessa förhållanden påverkas arbetseffektiviteten mycket. Utifrån beräkningar med PMW och PPD blir andelen missnöjda med inneklimatet uppåt 80 % (beräknat i IDA) under normala sommardagar, vilket resulterar i förlorad arbetstid hos personalen. (bilaga 7.6 tabell 20).

### 5.1 Fasadrenovering

För att förbättra klimatskalets värmeisolering skulle en omfattande fasadrenovering behövas. Tidigare utredningar<sup>19</sup> visar att en fasadrenovering med tilläggsisolering skulle kosta mellan 80-100 miljoner kronor. Ett förslag är att på den befintliga fasaden sätta upp en ny kompletterande fasadkonstruktion. I tabell 11 redovisas det tänka förslaget och det nya U-värdet.

Tabell 11 – Förslag till fasadrenovering.

	Tjocklek [m]
<b>Befintlig väggkonstruktion</b>	
Gipsskiva	0,015
Asfaltpapp (plast)	0,001
70mm mineralull med träregelstomme	0,07
Fiberskiva (Spånskiva)	0,025
Summerat U-värde	0,49 [W/m²K]
<b>Kompletterande väggkonstruktion</b>	
Diffusionsspärr	
Mineralull med träregelstomme	0,190
Vindskiva	
Ny fasadbeklädnad av glas lika befintlig	
Summerat U-värde	0,16[W/m²K]

För att få uppgifter om energiförbrukningen efter en fasadrenovering simulerades byggnaden med det nya U-värdet. I ursprungshuset användes 2 215 MWh för uppvärmning av byggnaden under ett år. Efter en tänkt fasadrenovering sjönk energibehovet till 1 598 MWh vilket ger en årlig besparing på 617 MWh årligen. I verkligheten bör energibesparingen vara större då tätskiktet förbättras och minskar luftläckaget. I ett rent ekonomiskt syfte är ändå en investering på nästan 100 miljoner kronor ej försvarbar då den årliga energibesparingen endast blir 617 MWh. Vid en pay-off beräkning utan hänsyn till stigande energipriser, räntor och inflation ger investeringen en pay-off tid på över 150 år.

<sup>19</sup> Ramböll Sverige AB, *Radiohuset – fasad*, Bengt Lindblad Uppdragsnummer 10437

Incitamenten för en fasadrenovering finns i att göra Radiohuset mer attraktivt för den befintliga eller en framtida annan brukare. Dagens kontorslokaler är alltid utrustade med datorer och annan värmealstrande utrustning och med denna utrustning kommer nästan alltid att behov av kyla. Innan kyla installeras i byggnader bör fasaden, tätskiktet och framför allt solavskärmningen förbättras så att inte kostnaden för en framtida driftkostnad för kyla blir allt för stor.

**Tabell 12 - Energidata från energisimuleringar vid olika åtgärder. Primärenergi är det totala energibehovet för byggnaden. Energi från rumsapparater är energi som avges i radiatorer. Förbrukad eller återvunnen energi i centralaggregatet är den energi som avges och återvinns i ventilationsaggregatet. Samtliga värden är i enheten kWh.**

Rubrik	Primärenergi	Energi från rumsapparater	Förbrukad eller återvunnen energi i centralaggregatet		Besparing per år
	Konsumtion	Värme	Värme	Återvinning	
Ursprung	2 215 000	1 292 000	923 000	1 622 000	-
Fasadrenovering	1 598 000	704 000	895 000	1 661 000	617 000

## 5.2 Installation av kyla

Ingen installation av kyla har skett då byggnaden är i behov av en stor renovering, speciellt med tanke på fasaden. Ytterväggarnas U-värden är dåliga och tätskiktet bör ses över. En annan orsak till att ingen kylinstallation i form av kylbatterier i tilluften har skett är att ventilationskanalerna på varje våningsplan har en skiljevägg som separera dem åt. Denna vägg ger en viss värmeöverföring från den svalare tilluften (om undertempererad tilluft används) till den varmare frånluften. Då den ena ventilationskanalen (tilluft) ligger i den andra (frånluft) och på grund av att de ligger ingjutna finns ingen enkel lösning till att värmeisolera kanalerna.

Ett alternativ kan vara att installera passiva kylbafflar i varje kontorsrum. En sådan installation är mycket kostsam men skulle förbättra inneklimatet avsevärt sommardag. Systemet skulle behöva en eller flera centrala kylmaskiner, de passiva kylbafflarna kan placeras i tak i varje kontor och rörledningar kan dras i korridorer och i befintliga schakt.

För att få kännedom om energiförbrukningen vid en kylinstallation simulerades byggnaden i simuleringsprogrammet. Parametrarna som ändrades var börvärdet på inomhustemperaturen och typen av solavskärmning. Resultatet presenteras i tabell 13 och i kolumnen ”energi från rumsapparater” och är den kylenergi som totalt behövs i kylbafflarna under ett år för att hålla börvärdet (maxtemperaturen). Se kapitel *fasadrenovering* för ytterligare information om simulering 4 och 5.

**Tabell 13 – Årligt energibehov för att hålla önskad inomhustemperatur (max) med hjälp av kylbafflar installerade i kontoren. Parametrar som solavskärmning och maxtemperatur varieras för att se effekterna av dessa. Se kapitel *fasadrenovering* för ytterligare information.**

Simulering	Maxtemperatur	Persiennier	Övrigt	Energi från rumsapparater (kWh)
1	23°C	Invändiga	-	266 000
2	25°C	Invändiga	-	121 000
3	25°C	Utvändiga	-	63 000
4	23°C	Invändiga	Fasadrenovering	287 000
5	25°C	Invändiga	Fasadrenovering	116 000

### 5.3 Solavskärmning

För att få uppgifter om effekterna på inneklimatet beroende på typ av solavskärmning och fönstervädning användes programvaran ”IDA Klimat och Energi 3.0”. Effekterna på medeltemperaturen i ett rum vid sydfasaden redovisas i bilaga 7.6.1 och i tabell 14 nedan. I tabellen redovisas maxtemperaturerna på luften i rummet. Värdena avser maxtemperaturer i rummet under den varmaste veckan i juli. Värdena är till för att jämföras inbördes för att på så sätt jämföra effekterna av de olika alternativen.

**Tabell 14** - De olika maxtemperaturerna i ett kontor på sydfasaden under en varm vecka i juli. Den yttre solavskärmningen är en persienn som sitter utvändigt på fönstret. Den inre solavskärmningen är en persienn som sitter mellan glasen i fönstret

Yttre solavskärmning, ingen vädring	32°C
Yttre solavskärmning och vädring	29°C
Inre solavskärmning och ingen vädring	35°C
Inre solavskärmning och vädring	31°C
Ingen solavskärmning och ingen vädring	41°C

I tabell 14 kan man se effekterna av olika solavskärmningar och om man vädrar eller inte. Det bästa alternativet är i att både vädra och ha en yttre solavskärmning. Den inre solavskärmningen stoppar och reflekterar solstrålarna längre in i byggnaden vilket medför att mer energi stannar inne i byggnaden istället för att stoppas utanför.

Den nuvarande solavskärmningen är persienner mellan fönstren (inre). En yttre solavskärmning ger en lägre inomhustemperatur jämfört med den inre. Eftersom inte alla kontor används sommartid är det flertalet kontor där persiennerna ej är nerdragna och nedvinklade. På grund av detta sprids värme från dessa rum till andra rum där personal vistas. Med en yttre solavskärmning av fast eller automatisk typ kommer instrålningen att avskämmas oavsett personalens ”glömska”.

### 5.4 Installation av nytt återvinningsbatteri

Eftersom verkningsgraden på återvinningsbatterierna är relativt låg (~50 %) genomfördes fler parameterstudier i beräkningsprogrammet med variationer på verkningsgraden i värmeåtervinningsystemet. Utrymmesmässigt finns möjlighet att förstora eller förlänga batterierna för att förbättra återvinningen. Resultatet i tabell 15 visar på stora ekonomiska vinster redan vid några få procentenheter bättre verkningsgrad.

Genom att totalrenovera alternativt byta ut eller förlänga värmeåtervinningsbatterierna kan en förbättrad verkningsgrad uppnås. För att konstruktionsmässigt få en större uppfattning om möjligheterna att förbättra värmeåtervinningen behövs en djupare undersökning i produktval, dimensionering och genomförande.

**Tabell 15** – Förändring av årligt energibehov till uppvärmning vid förbättrad verkningsgrad på värmeåtervinningsbatterier.

<b>Nuvarande verkningsgrad värmeåtervinning</b>	<b>51 %</b>
Luftflöde (max)	43 m <sup>3</sup> /s
Energibehov (totalt)	2 557 MWh
Energikostnad	0,85 kr/kWh
<b>Energikostnad</b>	<b>2 716 000 kr (inkl moms)</b>
<b>Ny verkningsgrad värmeåtervinning</b>	<b>55 %</b>
Luftflöde (max)	43 m <sup>3</sup> /s
Energibehov	2 442 MWh
Energikostnad	0,85 kr/kWh
<b>Energikostnad</b>	<b>2 595 000 kr (inkl moms)</b>
<b>Besparing</b>	<b>122 000 kr</b>
<b>Ny verkningsgrad värmeåtervinning</b>	<b>60 %</b>
Luftflöde (max)	43 m <sup>3</sup> /s
Energibehov	2 302 MWh
Energikostnad	0,85 kr/kWh
<b>Energikostnad</b>	<b>2 445 000 kr (inkl moms)</b>
<b>Besparing</b>	<b>271 000 kr</b>

### 5.5 Sänkt temperatur på nattkyla

Utifrån mätningar av till-, från- av, och uteluft framkom uppgifter att funktionen nattkyla ej utnyttjades maximalt. I figur 13 syns hur tilluften hålls på en lägsta temperatur runt 21°C även då utetemperaturen är betydligt kallare (<18°C). Funktionen nattkyla skall vara i drift under nattens kallaste period som normalt är mellan 01:00 till 05:00. Eftersom minimalt eller ingen personal vistas i byggnaden under denna period är dragproblem inte något bekymmer och därför bör tilluftstemperaturen vara så låg som möjligt. Den risk som finns med att tillföra byggnaden en låg tilluftstemp är att kondens kan bildas eftersom till- och frånluftskanalerna på varje våningsplan har viss termiskt kontakt. Under mätperioden har även daggpunkten på den fuktiga frånluften beräknats (ekvation 6) och infogats i diagrammet och som visar sig i figur 13 är utetemperaturen nästan hela tiden över daggpunktstemperaturen. Även när temperaturen på uteluften är samma eller något kallare än daggpunkten på frånluften är risken liten för kondensering då ett visst värmemotstånd finns mellan ventilationskanalerna.

För att vara 100 % säker på att inte fuktutfällning sker kan daggpunkten beräknas på frånluften genom mätning av fukthalt och temperatur. På så sätt kan tilluftstemperaturen hållas på en minimal och optimal nivå.

**Tabell 16** – Visar den verkliga och möjliga kyleffekten natten den 18/8 – 06. För att beräkna den möjliga kyleffekten har skillnaden mellan frånluften och uteluften beräknats samt ett avdrag på tilluften för temperaturökningen i fläktarna på 1°C enligt ekv 1. Mätningen genomfördes på aggregat IA-A2 men beräkningen är utförd på att samtliga aggregat går på samma sätt.

Tid	Verklig Kyleffekt [kW]	Möjlig kyleffekt [kW]
01:14	144	340
01:44	197	358
02:14	179	342
02:44	162	374
03:14	178	356
03:44	178	372
04:14	161	372
04:44	197	390
05:14	214	406
Medel	179	368
Kylenergi	715kWh	1471kWh

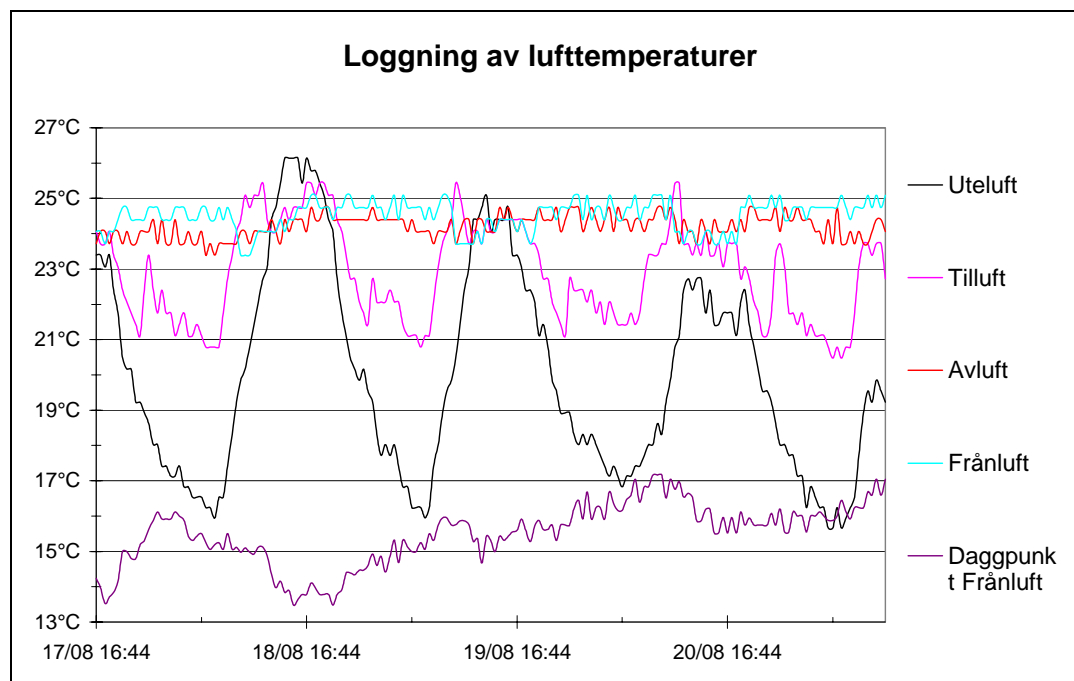
Enligt värden från driftkort skall tilluftstemperaturen vara densamma som uteluftstemperaturen. Funktionen nattkyla skall starta då lokaltemperaturen (frånluften) är över 22°C dagtid och utetemperaturen (GTU) är över 24°C dagtid och stanna då lokaltemperaturen når ett värde kallare än <19°C

**Tabell 17** – Kriterier som måste uppfyllas för att funktionen nattkyla skall vara aktiv under natten (01:00 – 05:00) enligt driftkorten

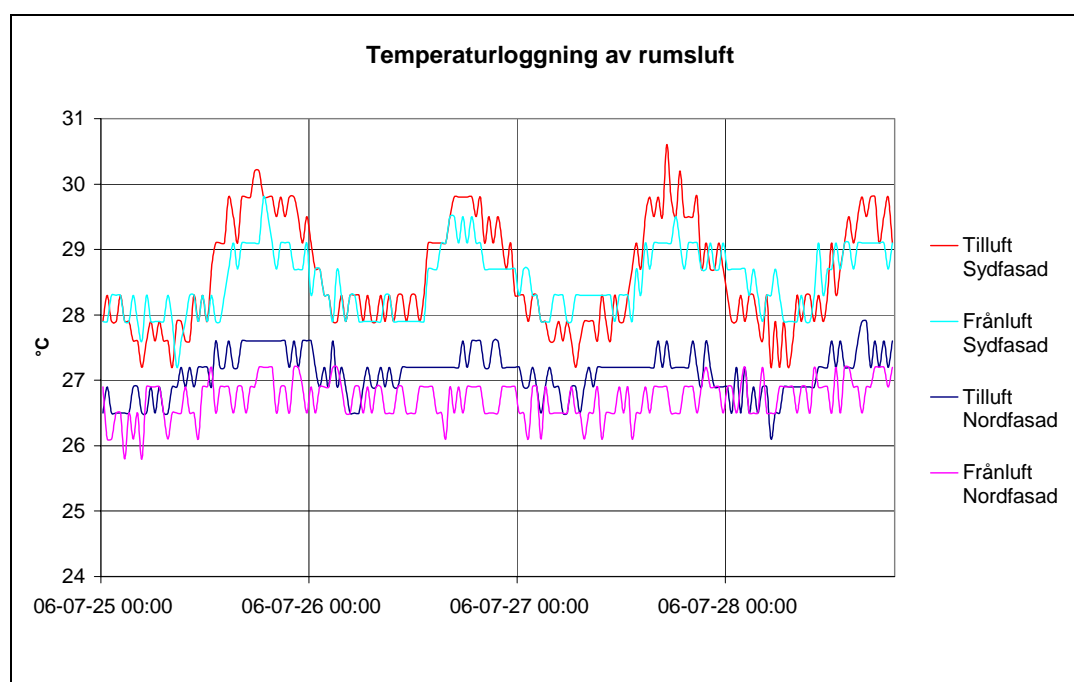
<b>Startar då alla nedanstående kriterier uppfylls</b>		
Utetemperaturen (GTU)	>24°C	Dagtid
Frånluftstemperaturen	>22°C	Dagtid
<b>Stoppas då något av nedanstående kriterier uppfylls</b>		
Lokaltemperaturen (frånluften)	<19°C	Under drift (01:00 – 05:00)
Utetemperaturen (GTU)	<12°C	Under drift (01:00 – 05:00)

Kostnaden för denna åtgärd är minimal. Det enda som behöver undersökas är inställningar i DUC<sup>20</sup>:en och om någon givare möjligen är defekt och ger fel värde. Effekterna av att funktionen fungerar som den ska kommer att vara att temperaturen inomhus kommer att under förmiddagen hållas på betydligt behagligare temperaturer.

<sup>20</sup> Se Begrepp och förklaringar



**Figur 14** – Loggade lufttemperaturer i aggregat under nästan 4 dygn. Diagrammet visar att uteluften värms upp även då byggnaden har ett värmeöverskott. Eftersom viss värmeöverföring sker mellan till- och frånluftskanaler kan den kalla tilluftstemperaturen kyla den varma fuktiga frånluften och därför finns risk för kondensutfällning. På grund av detta har även daggpunkten på frånluften beräknats och visas i diagrammet.



**Figur 15** – Loggade temperaturer i två rum på olika fasadsidor (NNO och SSV). Under denna period loggades endast till- och frånluftstemperaturer och inte uteluftstemperaturen. Annan data tyder på att utetemperaturen var betydligt lägre än tilluftstemperaturen på den kallare nordfasaden vilket ytterligare bevisar att något är fel på nattkylningsfunktionen.



## 6 Diskussion

Åtgärdsförslagen som kom fram av utredning bedöms alla vara genomförbara. Problemen i genomförandet kan vara att skyddsbestämmelserna kan göra att vissa yttre åtgärder som yttre solavskärmning omöjliggörs. Ett annat problem i fasadrenoveringsåtgärden som också byggnaden är i störst behov av är den stora investeringen som krävs.

Den åtgärd som bör genomföras utan större vidareundersökning är att se till att nattkyla funktionen fungerar som önskat. Troligen är kostnaden för att få funktionen i drift igen minimal samt att inneklimatet avsevärt borde förbättras sommartid. Andra åtgärder som förbättring av värmeåtervinningen bör utredas ytterligare rent praktiskt för att verkligen se potentialen och möjligheten.

I övrigt är byggnaden i stort behov av en totalrenovering och installation av kyla. Den dagen då Sveriges Radio flyttar ut från byggnaden kan ytorna bli mycket svåruthyrda med tanke på bristen på bra inneklimat. Då placeringen av byggnaden är i ett mycket attraktivt område i de centrala delarna av Stockholm borde framtida hyresintäkter bli mycket större om byggnadens klimat förbättrades.

Delar som skulle kunna ha utretts mer är att istället för att simulera energianvändningen i byggnaden använda sig av flödesmätare och temperaturloggrar för att mäta tillförd energi i värmesystemet. Detta borde ha genomförts under uppvärmningssäsongen för att få den värdefulla informationen. Med dessa data hade det varit möjligt att få verkliga siffror istället för att uppskatta energianvändningen genom en datasimulering. Denna energianvändning skulle sedan med temperaturkorrigering beräknas för hela året. På så sätt skulle även den del energi som kommer från fjärrvärme och den del som kommer från spillvärme från kylmaskinerna kvantifieras. Tyvärr genomfördes samtliga mätningar under den varma delen av året då uppvärmningssystemet var avstängt vilket gjorde mätningen ogenomförbar.

En annan åtgärd som inte har diskuterats i denna utredning är att gå vidare med att utreda möjligheten att sälja spillvärme från de centrala kylmaskinerna till omkringliggande byggnader och/eller till fjärrvärmenätet. Denna utredning kräver flertalet mätningar och loggningar men bör vara mycket intressant att gå vidare med. Om värmen kan säljas vidare till någon extern kund ökar även incitamenten att effektivisera byggnaderna ytterligare för att få möjlighet att sälja ännu mer energi.

Denna utredning visar på möjligheterna att optimera och effektivisera en byggnad även där driftorganisationen är strukturerad och driftpersonalen mycket kunnig. Att komma in med ”nya ögon” i en komplex byggnad har oftast visa sig ge resultat.

## 7 Referenser

### 7.1 Litteratur

Schultz, L., (2003). *Normalårskorrigerig av energianvändningen i byggnader – en jämförelse av två metoder*. EFFEKTIV ISBN 91-7848-932-6

Nevander, LE., Elmarsson B., (1994). *Fukthandboken Praktik och teori*. AB Svensk Byggtjänst ISBN 91-7332-716-6

Nillson, P-E., (2003). *Achieving the desired indoor climate*. IMI Indoor Climate and Studentlitteratur. ISBN 91-44-03235-8

Cederborg, F., Ekman, P., (2000). *Grundläggande ventilationsteknik*. Mälardalens Högskola

### 7.2 Internet

Gorham/Schaffler Inc, (2006). *Humidity Formulas*. URL: [http://www.gorhamschaffler.com/humidity\\_formulas.htm](http://www.gorhamschaffler.com/humidity_formulas.htm) (2006-11-21)

## 8 Bilagor

### 8.1 Energistatistik

#### MWh Summa av Fjärrvärme och Egenvärme

Totalt	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	HUS TOT
2004	1008	819	733	459	293	126	71	71	211	488	771	761	5812
2005	779	819	907	453	274	155	71	0	81	368	591	821	5319
2006	935	859	935	565	316	144	88	108	149	340	552	574	5565

#### Varmvatten

m <sup>3</sup>	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	Totalt
2004	147	143	176	136	130	122	86	107	127	129	144	129	1577
2005	134	140	147	148	150	142	78	109	131	130	154	142	1605
2006	161	147	189	135	148	117	71	112	131	146	157	125	1638

#### Varmvatten Uppvärmning från 5°C till 57°C

MWh	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	Totalt
2004	9	9	11	8	8	7	5	6	8	8	9	8	95
2005	8	8	9	9	9	9	5	7	8	8	9	9	97
2006	10	9	11	8	9	7	4	7	8	9	10	8	99

**8.2 Energistatistik – Normalårskorrigerad****Uppvärmning**

<b>MWh</b>	<b>JAN</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>APR</b>	<b>MAJ</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AUG</b>	<b>SEP</b>	<b>OKT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEC</b>	<b>HUS TOT</b>
<b>2004</b>	943	822	769	530	327	118	66	64	369	496	698	853	6055
<b>2005</b>	932	855	812	537	303	147	66	0	157	453	676	864	5802
<b>2006</b>	1024	822	736	577	352	215	84	102	995	461	647	834	6849

**Uppvärmning + Tappvarmvatten**

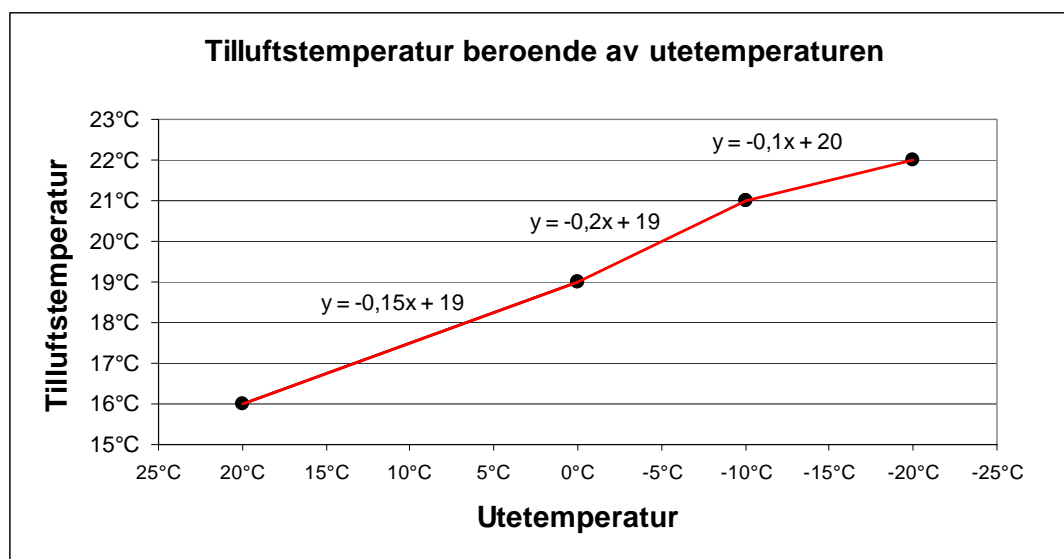
<b>MWh</b>	<b>JAN</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>APR</b>	<b>MAJ</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AUG</b>	<b>SEP</b>	<b>OKT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEC</b>	<b>HUS TOT</b>
<b>2004</b>	952	831	780	538	335	126	71	71	376	504	706	861	6150
<b>2005</b>	940	864	821	546	312	155	71	7	165	461	685	872	5899
<b>2006</b>	1034	831	747	586	361	222	88	108	1003	470	656	842	6948

### 8.3 Ingångsdata för energisimuleringar i IDA Energi och Klimat

Tabell 18 – Värden som används som ingångsdata till energisimuleringar i IDA Energi och Klimat.

<b>Byggnad</b>	
Våningsplan	12 st
Rumshöjd	2,7 – 3,3 m
U-värde vägg	0,408 W/m <sup>2</sup> K
U-värde fönster	3,0 W/m <sup>2</sup> K
U-värde golv	2,9 W/m <sup>2</sup> K
U-värde tak	0,172 W/m <sup>2</sup> K
Total byggnadshöjd	36,5 m
Byggnadshöjd över mark	30,5 m
Läckageyta vid 4Pa 1m över golv	0,002 m <sup>2</sup>
<b>Ventilation</b>	
Ventilationsflöde	33 400 l/s
Verkningsgrad värmeåtervinning	51 %
<b>Belysning</b>	
Antal armaturer per våningsplan	288 st
Totalt antal armaturer	3456 st
Effekt per armatur	56 W
Beläggingsfaktor	80 %
Armaturer efter beläggingsfaktor	2765 st
Total effekt	194 kW
Tidsschema	08:00 - 17:00 vardagar
<b>Personlast</b>	
Antal	1386 st
Beläggingsfaktor	80 %
Personer efter beläggingsfaktor	1109 st
Tidsschema	08:00 - 17:00 vardagar
<b>Datorlast m.m.</b>	
Antal kontor per våningsplan	126 st
Datorlast per kontor	100 W
Total effekt	151 kW
Totalt antal datorlaster	1512
Beläggingsfaktor	80 %
Antal laster efter beläggingsfaktor	1210
Tidsschema	08:00 - 17:00 Vardagar

## 8.4 Styrning av tilluftstemperatur

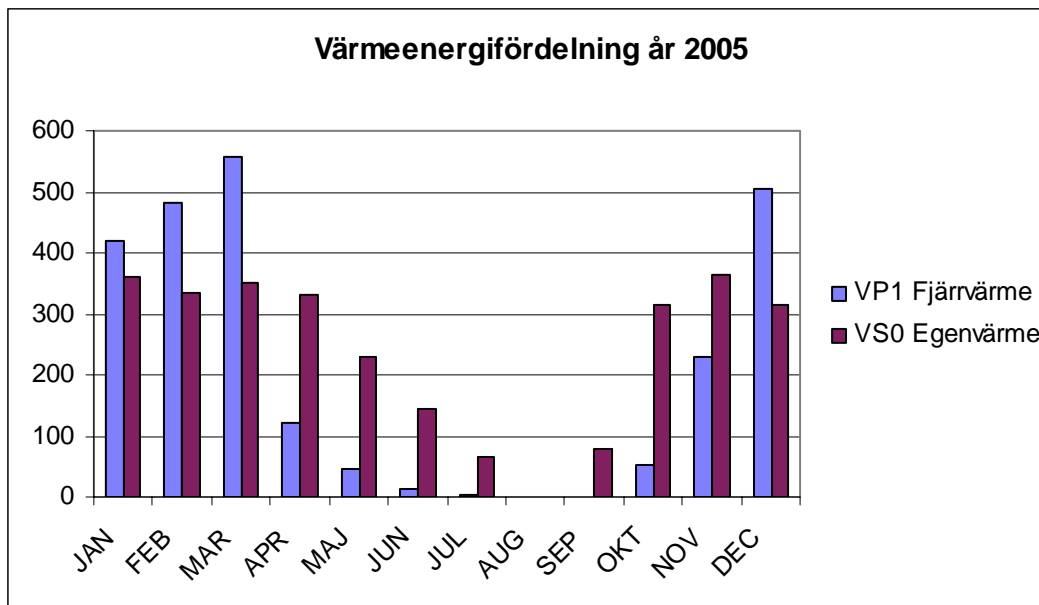


**Figur 16** – Tilluftstemperatur beroende av uteluftstemperatur. Då ingen kyla finns installerad kommer tilluftens temperatur bli densamma som uteluftens temperatur vid brytpunkten 16,5°C.

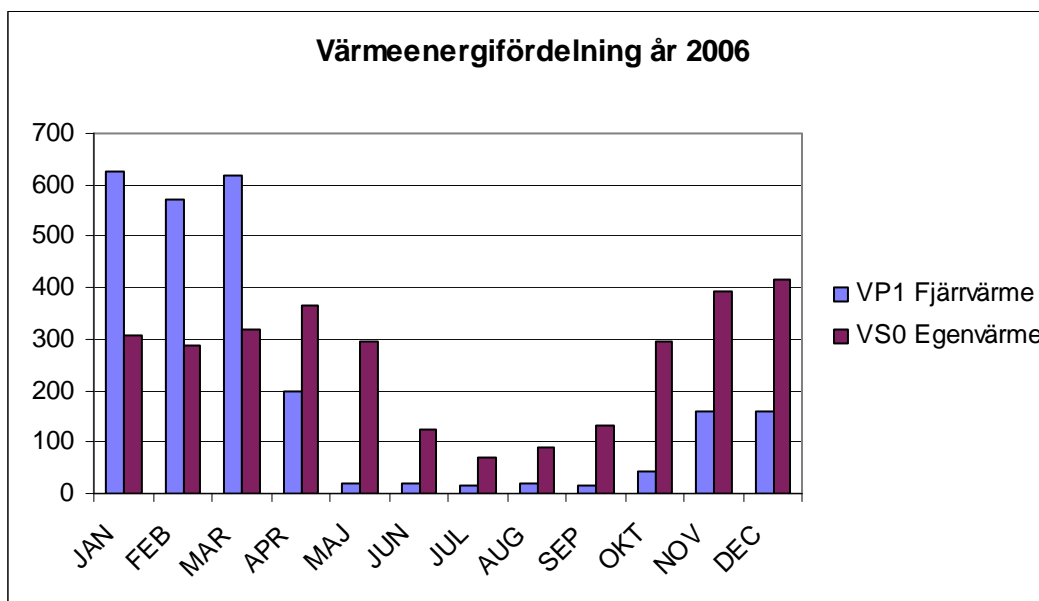
**Tabell 19**– Börvärden för styrning av tilluftstemperaturen beroende på uteluftstemperaturen.

Utetemperatur	Tilluftstemperatur
-20°C	22°C
-10°C	21°C
0°C	19°C
20°C	16°C

## 8.5 Värmeenergifördelning



Figur 17 – Fördelning av värmeenergi under år 2005.

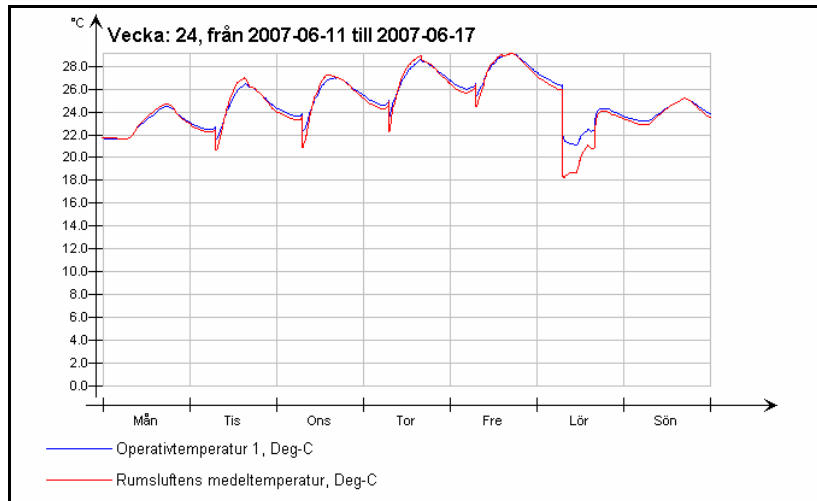


Figur 18 – Fördelning av värmeenergi under år 2006.

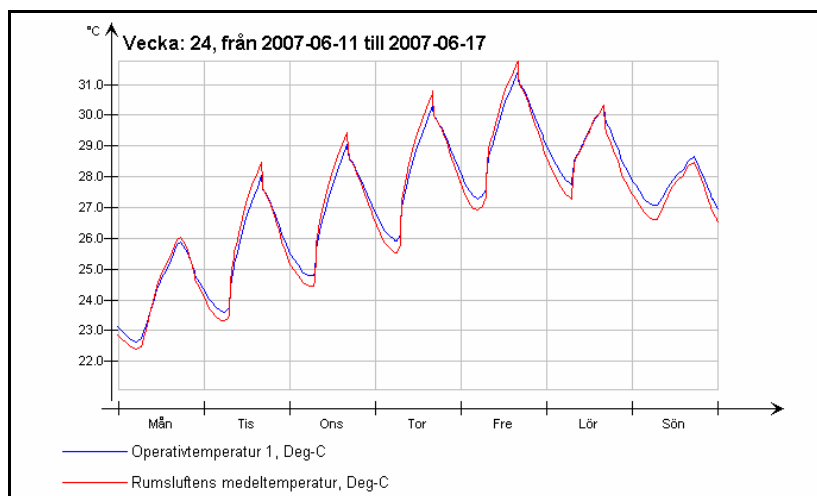
## 8.6 Resultat från IDA Simuleringar

### 8.6.1 En zon vid sydfasaden

Resultatsammanställning från simulering i ett kontor på sydfasaden med olika solavskärmningar och vädrings alternativ. Se beskrivning för varje figur.

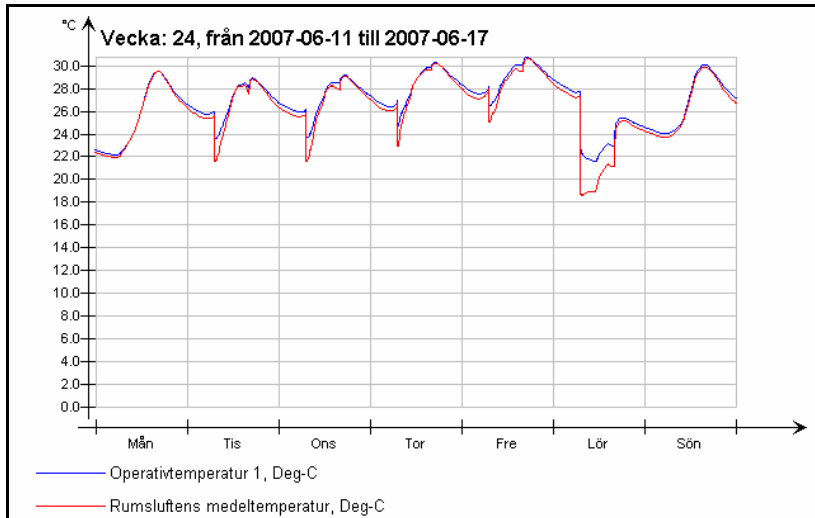


**Figur 19** – Temperaturer i ett rum på sydfasaden med yttre solavskärmning och vädring under hela dagen.

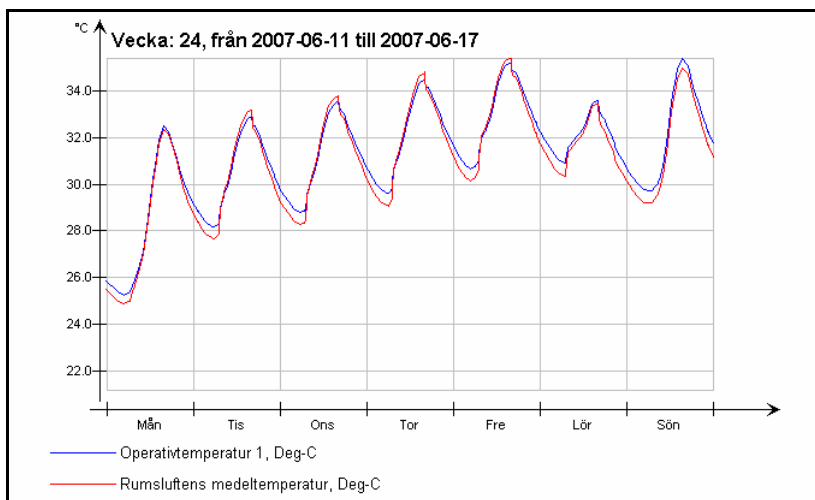


**Figur 20** – Temperaturer i ett rum på sydfasaden med yttre solavskärmning och ingen fönstervädring

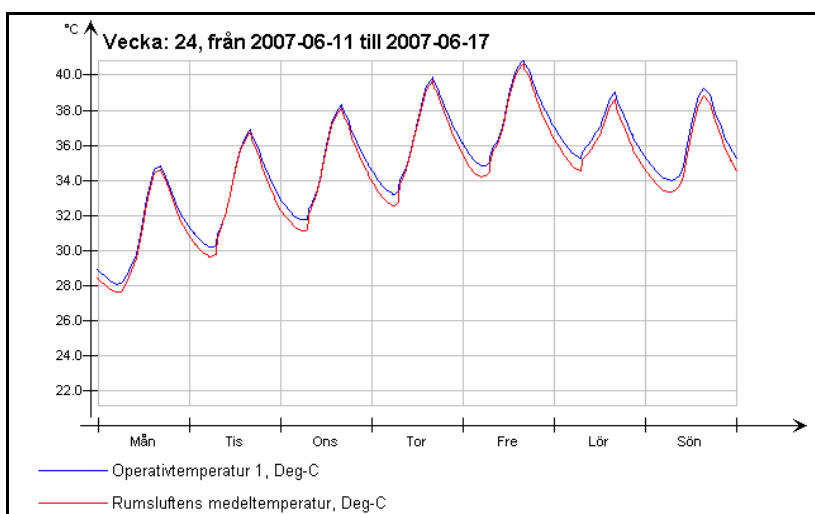




**Figur 21** – *Temperaturer i ett rum på sydfasaden med inre solavskärmning (persienner) och fönstervädring.*



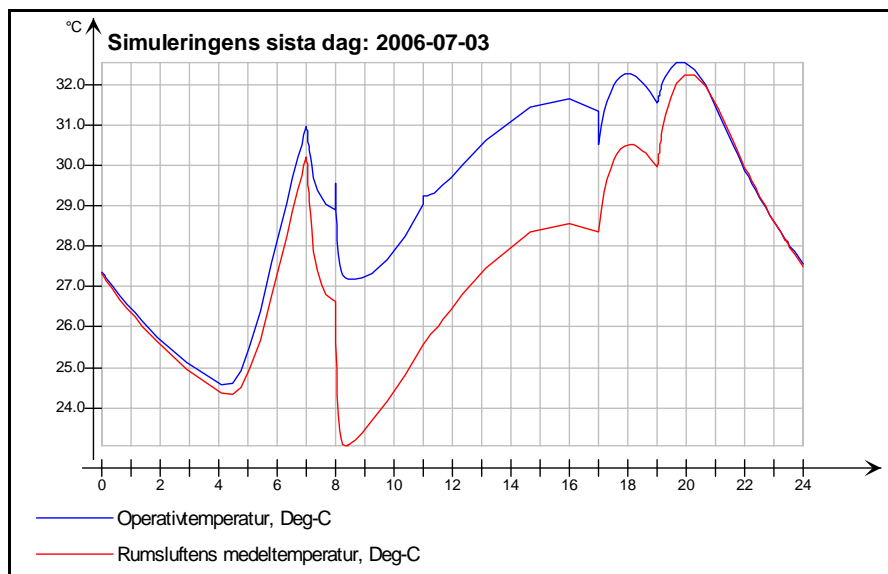
**Figur 22** - *Temperaturer i ett rum på sydfasaden med inre solavskärmning (persienner) och utan fönstervädring.*



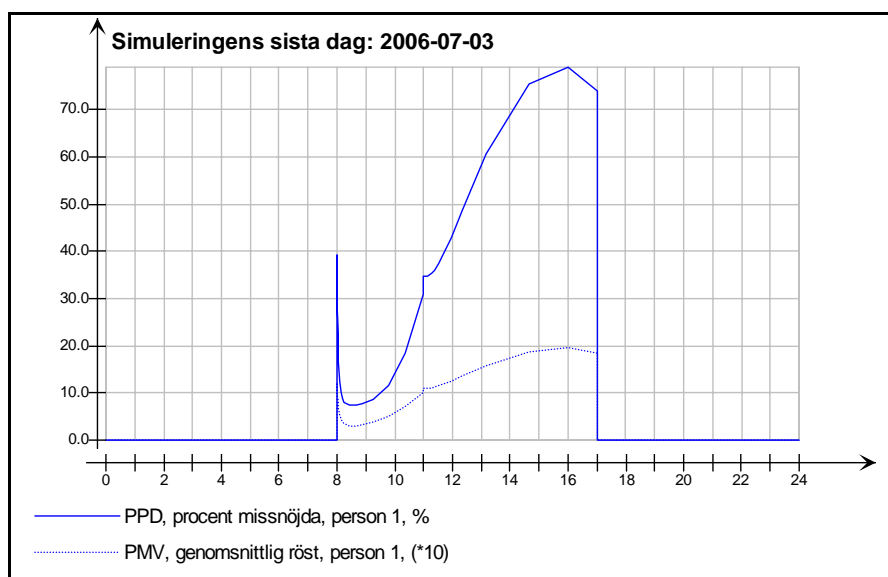
**Figur 23** - *Temperaturer i ett rum på sydfasaden utan solavskärmning och utan fönstervädring.*

### 8.6.2 Hela byggnaden under juli månad

Simuleringen genomfördes under en syntetisk sommardag i juli. Fönstervädring mellan klockan 07:00 till klockan 17:00



**Figur 24** – Temperaturer i byggnaden under en simulerad sommardag. Temperaturen stiger något över 30°C fram på eftermiddagen.



**Figur 25** – Andelen missnöjda under den simulerade sommardagen. Uppåt 80 % är missnöjda med inneklimatet fram på eftermiddagen.

**Tabell 20** – Förlorad arbetstid på grund av termisk okomfort beräknat utifrån PPD och PMV. Se

Månad	Total arbetstid	Förlorad arbetstid
7.	12 474,00	1 192,00
Total	12 474,00	1 192,00