

# Utvärdering av inomhusmiljö

## En studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus

**Hans Bagge & Lotti Lindström**

Examensarbete TVBH-5052 Lund 2003  
Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH



**LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA**  
Lunds universitet

## **Abstract**

In connection with the International housing exhibition, Bo01, in Malmö in 2001, two energy-efficient single-family houses were built in co-operation with the Swedish Energy Agency. Evaluation of the indoor climate, with regard to thermal comfort and air quality, has been executed. A selection of parameters has been studied by measurements in the houses. The results have been compared with Swedish building regulations. In broad outline the results fulfil the requirements, however, some problems with the ventilation and uncomfortably high temperatures have been detected. (Swedish)

Keywords: indoor climate, thermal comfort, air quality, energy-efficient houses, Bo01, LB-hus AB, Yxhult AB

---

## **FÖRORD**

Detta examensarbete har genomförts vid Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola med Professor Arne Elmroth som handledare.

Vi vill tacka samtliga vid Avdelningen för Byggnadsfysik. Särskilt tack riktas till Dennis Johansson för noggrann övervakning av vår närvaro. Vi vill även tacka Professor Lars Jensen vid Avdelningen för Installationsteknik som visat stort engagemang för våra funderingar. Ett tack riktas även till berörda på Yxhult AB och LB-hus AB.

Slutligen tackar vi vår handledare Professor Arne Elmroth för utmärkta synpunkter och kommentarer.

Lund, september 2003

Hans Bagge & Lotti Lindstrii

---

## SUMMARY

This Master of Science Thesis, with the title “Evaluation of indoor climate, A study of thermal comfort and air quality in two low energy houses”, has been executed at the Department of Building Physics, Lund Institute of Technology, University of Lund, Sweden with Professor Arne Elmroth as supervisor.

In connection with the International housing exhibition, Bo01, in Malmö in 2001, LB-hus AB and Yxhult AB built two energy-efficient single-family houses in co-operation with the Swedish Energy Agency. Some requirements regarding the energy-efficiency, indoor climate, and choice of white goods and heat recovery aggregates as well as the exterior shape of houses were made upon the two houses.

The Swedish Energy Agency demanded for the district heated house from Yxhult AB a yearly maximum of 100 kWh bought energy per m<sup>2</sup> living area while the electricity heated house from LB-hus AB should use no more than 80 kWh bought energy per m<sup>2</sup> and year. Water-filled radiators should do heating and an aggregate awarded by the Swedish Energy Agency should do heat regain of exhaust air. The white goods should be the best according to the regulations of the European Union. Furthermore, the houses should be adapted to a single-family. The city plan regulated the maximum height of the house as well as the maximum area of the first floor. The first floor should be no more than 60 % of the bottom floor. Also, the Swedish Energy Agency made demands on the indoor climate. Comfortable indoor temperature and good air quality should be achieved.

Indoor climate can be divided into different technical areas: thermal comfort, air quality, illumination, acoustics and electric and magnetic fields. In this Master of Science Thesis, thermal comfort and air quality have been evaluated. Nowadays 90 % of our lifetime is spent indoors (Bygghälsöversynsgruppen, T6: 2000). The interior environment is important both to our physical and psychological health. About one of eight Swedes has symptoms related to indoor environment. (Victorin et al., 2001)

The well being of human depends strongly on the thermal climate. The most important climate factors are the air temperature in the room, the air movement (draft) and the temperature of the surrounding surfaces. Thermal conditions do not cause bad health. However, too low or too high temperatures may cause increased sensibility (Bygghälsöversynsgruppen, T6: 2000). Reduced muscle function due to low temperature may cause fumblingness and increased risk of accidents. Uncomfortably high temperature causes drowsiness, dryness, tiredness and headache. The experience of the thermal climate depends on the clothing and the physical activity. Depending on individual thermal experience it is not possible to define a thermal climate that satisfies all people.

Poor air quality affects the health and well being of humans (Bygghälsöversynsgruppen, T9: 2000). Poor air quality may cause dry mucous membranes, irritated skin, tiredness and headache. The indoor air quality depends of the pureness of the supply air, the sources of pollution in the house, the relative humidity of the air, filters and the ventilation-efficiency.

A building can be seen as an energy system where the incoming energy flow is equal to the outgoing energy flow. The outgoing heat flow may be due to the transmission of heat or air leakage through the construction or due to the ventilation. The incoming energy flow may be bought energy but may as well be sun energy or personal heat. Technical and aesthetic factors and human behaviour affect the system. One can to great extent affect both the energy use and the indoor climate by adapting the design planning and placing of the house to the surroundings and to the climate.

---

The house built by Yxhult AB is a lightweight concrete construction (Ytong) with an exhaust air ventilated crawlspace-ground. The house is ventilated by supply and exhaust air, recovering the heat in ventilation exhaust through a heat exchanger. The heat source is district heat and radiators make the heating. A big part of the windows is facing south. On the first floor, the windows facing south are equipped with exterior sun protection devices. The U-values of the windows are between 0,8 and 1,0 W/(m<sup>2</sup>K). Daylight transmission is 64 % and the sun energy transmission is 53 %.

LB-hus AB has constructed a timber house made by light-framed walls with 300-mm insulation. The house is ventilated mechanically by exhaust air with heat recovery through a heat pump. The heat source is electricity and radiators make the heating. The U-value of the windows is 1,0 W/(m<sup>2</sup>K). Daylight transmission is 65 % and the sun energy transmission is 52 %.

In order to evaluate the thermal comfort and the air quality, a selection of parameters has been studied by measurements. In the evaluation of thermal comfort surface temperatures, operative temperature, asymmetric radiation, vertical temperature gradient and air speed have been studied in the occupied zone. Moreover, in the house built by LB-hus AB the temperature of supply air at the suppliers has been examined. In the evaluation of air quality the flow rate of supply and exhaust air and the air exchange rate have been analysed.

The results of the measurements have been compared with Swedish building regulations and the standard ISO 7730. Analyses of the results have been made and advises of how to improve the indoor climate has been given.

In both houses, surface temperature has been measured instantaneously on walls, roof, floor and windows with an infrared thermometer several times during spring 2002 and 2003. In the house of Yxhult AB a thermal bridge has been detected in the living room on the bottom floor at the connection between the floor structure and the south wall of the upper floor. The thermal bridge is not estimated to decrease the thermal comfort, however, it may increase the energy-need.

In both houses, the operative temperature has been calculated for a sitting person using the standardised height 60-cm, for a standing person using the standardised height 110-cm, as well as a mean value independent of height. A cube thermometer has been used to measure the direct operative temperature at different locations during one day in spring 2003. In the house of Yxhult AB, high values occurred on the upper floor near the south windows. Measurement of the air temperature during winter and spring 2002/2003 shows that uncomfortably high temperatures occurs frequently on the upper floor during the spring months. Manual exterior sun protection devices exist but have not been used. The house is sensitive to solar radiation: it's well insulated and the windows allow a large portion of the sun energy to enter through the glass. Therefore automatically sun protection devices would be positive to the thermal comfort in avoiding uncomfortably high temperatures.

By measuring the temperature at three different locations in each house during a couple of weeks in spring 2002, at the standardised heights of 0,1 m, 1,1 m and 1,8 m, vertical temperature gradient has been calculated. High gradient values occur quite often in the house of Yxhult AB. If exterior sun protection devices had been used, the thermal comfort would have been much better.

The values of air speed were in both houses much better than the demands of Swedish Building Regulations or ISO 7730.

In the house of LB-hus AB temperatures of the supplied air has been measured. To decrease the effect of wind on the ventilation system the supply air is taken in under the facade's wood panel. During the transport from outdoors to indoor the air is heated at least two or three de-

---

grees. Daytime the temperature increases a lot more. In east, the difference between outdoor temperature and indoor temperature may daytime be up to 25°C. Maximum measured temperature of supply air has been 37°C in east. In south the highest measured temperature of supply air has been 24°C. Supply air with too high temperature decreases the thermal comfort and may also cause short circuit. During heating season pre-heated supply air may decrease the energy-need to a great extent and improve the thermal comfort.

The rates of exhaust flow have been measured in the house of LB-hus AB in spring 2003. In the house of Yxhult AB the rate of supply and exhaust air have been measured in spring 2003. General demand of 0,35 l/(sm<sup>2</sup>) was fulfilled in both houses but not the additional recommendations for exhaust air in kitchen and bathrooms in the LB house. The ventilation system in the Yxhult house was supposed to be balanced, 55 l/s supply air and 55 l/s exhaust air, and measurements done in spring 2002 showed such results. Measurements made in spring 2003 discovered that the rate of exhaust air was largely increased and the rate of supply air greatly decreased. However, in large numbers the relation between the projected flows and the measured flows still remains the same. This may be the result of changed number of revolutions on one or several of the fans. When the exhaust flow is larger than the supply air the flow difference enter the house through leakage in the construction. The result is an increased heating demand due to the lack of heat exchange between the cold outdoor air and the warm exhaust air.

A tracer gas investigation has been executed in both houses during spring 2002. Tracer gas (sulphatehexafluoride) was dosed in a bedroom on the upper floor. A gas monitor measured the gas concentration in different rooms. By knowledge of the gas concentrations air flows and air exchange rate have been calculated. The air exchange rate in the investigated bedrooms was in both houses better than the demands of Swedish Building Regulations.

The peculiar result of gas concentration in a bedroom in the house of Yxhult AB was deeper penetrated. The outcome was an incorrectly placement of the combined waste air and outdoor air supplier on the outside of the building. The exhaust air contaminated the supply air and therefore an abnormally high concentration of gas was detected in the bedroom, brought by the contaminated supply air. The incorrectly placement of the waste air and outdoor air supplier must be changed to secure good air quality.

In broad outline the results fulfil the requirements even though some measures must be taken to ameliorate the ventilation flows in both houses and improve the thermal comfort on the upper floor of the Yxhult house. Furthermore something must be done to secure the air quality in the house of Yxhult AB. Further investigations concerning the frequency of high supply air temperatures in the house of LB-hus AB are recommended to conduct.

---

## **SAMMANFATTNING**

Detta examensarbete har utförts vid Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.

Till den europeiska bomässan Bo01 som hölls i Malmö sommaren 2001 uppfördes två lågenergihus av Yxhult AB och LB-hus AB. Statens Energimyndighet ställde krav på husens energianvändning och inomhusklimatet. Utöver det fanns krav på storlek och utformning.

Uppemot 90 % av vårt liv tillbringas inomhus. Detta medför att den inre miljön är mycket viktig för såväl vår fysiska som psykiska hälsa. Inomhusmiljö kan delas upp i flera olika delområden. I detta arbete behandlas endast termisk komfort och luftkvalitet. Ett antal faktorer som bedöms vara viktiga inom dessa områden har valts ut och undersökts genom mätningar i de båda husen. Mätdata har jämförts med krav enligt BBR och riktlinjer enligt ISO 7730.

Resultaten visar att den termiska komforten i stora drag är god i de båda husen. Vissa brister finns i husens ventilationssystem.

Utvändiga solskydd på Yxhulthuset bör användas aktivt för att undvika övertemperaturer på ovanvåning. Till- och frånluftflödena i Yxhulthuset är ej balanserade i enlighet med projektering vilket medför att all tilluft ej värmeväxlas. Utformning av kombidon medför att tilluften blir kontaminerad av frånluften. Frånluftflöden i LB-huset uppfyller ej BBR:s råd för specifika utrymmen. Tilluften uppvisar under våren mycket höga temperaturer i LB-huset, framför allt gäller det vid don på östfasad.

---

## INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Metod	1
1.4	Avgränsning	1
<b>2</b>	<b>Termisk komfort och luftkvalitet</b>	<b>2</b>
2.1	Termisk komfort	2
2.2	Luftkvalitet	4
<b>3</b>	<b>Energihushållning</b>	<b>6</b>
3.1	Värmeförluster	6
3.2	Värmetillskott	7
<b>4</b>	<b>Beskrivning av husen</b>	<b>8</b>
4.1	Gemensamma förutsättningar	8
4.2	Yxhulthuset	8
4.3	LB-huset	10
<b>5</b>	<b>Mätmetodik och mätinstrument</b>	<b>11</b>
5.1	Beskrivning av mätmetodik	12
5.2	Beskrivning av mätutrustning	13
<b>6</b>	<b>Mätresultat med analys avseende Yxhulthuset</b>	<b>15</b>
6.1	Yttemperatur - vägg	15
6.2	Yttemperatur – tak	20
6.3	Yttemperatur – golv	28
6.4	Operativ temperatur och strålningsasymmetri	31
6.5	Vertikal temperaturgradient	34
6.6	Rumstemperatur	41
6.7	Lufthastighet i vistelsezonen	44
6.8	Till- och frånluftflöde	46
6.9	Spårgasundersökning	49
<b>7</b>	<b>Mätresultat med analys avseende LB-huset</b>	<b>55</b>
7.1	Yttemperatur - vägg	55
7.2	Yttemperatur - golv	61
7.3	Yttemperatur - fönster	63
7.4	Operativ temperatur och strålningsasymmetri	65



---

7.5	Vertikal temperaturgradient.....	69
7.6	Lufthastighet i vistelsezonen.....	75
7.7	Tillufttemperatur.....	77
7.8	Frånluftflöde .....	83
7.9	Spårgasundersökning.....	85
<b>8</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>90</b>
	<b>Referenser.....</b>	<b>91</b>
	<b>Bilaga 1: Klimatdata för Yxhulthuset</b>	
	<b>Bilaga 2: Klimatdata för LB-huset</b>	

## **1 INLEDNING**

### **1.1 BAKGRUND**

Inför bomässan Bo01 i Västra Hamnen, Malmö sommaren 2001, gick Statens Energimyndighet (STEM) ut med en inbjudan till ett antal byggföretag att bygga en energisnål villa till bomässan. STEM ville visa att det går att bygga och bo energisnålt utan dyra lösningar och utan avkall på estetisk utformning eller funktion och dessutom med en bra inomhusmiljö med höga krav på komfort och bekvämlighet. Inbjudan ledde till att två hus byggdes: ett lättbetonghus från Yxhult AB och ett trähus från LB-hus AB. Husen förväntas behöva ungefär en tredjedel mindre energi än en genomsnittlig nybyggd villa. På uppdrag av Statens Energimyndighet utför Lunds Tekniska Högskola en vetenskaplig utvärdering av de båda husen avseende energianvändning och termiskt inomhusklimat. En del av utvärderingen innebär stickprovsmätningar av termiska komfortfaktorer och luftflöden.

Inomhusmiljö är ett vitt begrepp som innefattar flera olika tekniska områden såsom termisk komfort, luftkvalitet, ljus, ljud och elektriska och magnetiska fält. Den inre miljön påverkar såväl den psykiska som fysiska hälsan. Denna rapport avhandlar termisk komfort och luftkvalitet och därutöver andra aspekter än vad som ingår i den vetenskapliga utvärderingen för Statens Energimyndighet.

### **1.2 SYFTE**

Syftet med detta examensarbete är att undersöka om den termiska komforten och luftkvaliteten uppfyller de krav som ställs på de två lågenergihus, både vad gäller krav enligt Boverkets Byggregler (BBR) och enligt Statens Energimyndighet. Därutöver diskuteras möjliga orsaker till resultat ur bland annat byggnadsfysikalisk synvinkel. Aspekter som inte direkt berörs av de på husen ställda kraven, tas också upp. Analys av mätresultat ger förutom svar på om krav uppfylls även en möjlighet till erfarenhetsåterföring vad gäller vilka krav som ska ställas och vilka mätmetoder som är lämpliga att använda vid utvärdering av energisnåla småhus.

### **1.3 METOD**

För att ge svar på om inomhusmiljön i husen är bra kan exempelvis enkätundersökningar, intervjuer eller mätningar utföras. Då krav både från STEM och Boverket (BBR) är ställda på fysiska storheter är denna studie baserad på mätningar av fysiska storheter såsom temperaturer och luftflöden. Det vore intressant att kombinera mätningar med en undersökning av de boendes upplevelse men eftersom husen var obebodda då utvärdering påbörjades kunde enkätundersökning eller intervjuer ej komma ifråga.

För att utvärdera den termiska komforten och luftkvaliteten har ett antal faktorer som bedöms vara viktiga valts ut. Mätning av ytemperatur, riktad operativ temperatur, lufttemperatur, lufthastighet och ventilationsflöde samt en spårgasundersökning har utförts. Mätdata har jämförts med krav enligt BBR och ISO 7730 i de fall sådana finns. För att verifiera mätresultat har förväntade värden i förekommande fall beräknats som en jämförelse.

### **1.4 AVGRÄNSNING**

Mätningar har på grund av begränsad tidstillgång utförts som stickprov och endast i enstaka fall under en sammanhängande period. Uteklimatet vid tiden för mätningarna påverkar i olika hög grad de undersökta faktorerna. Vissa krav uppfylls lättare vid den aktuella mätperioden medan andra riskerar att hamna utanför gränsvärden. Till största del har mätningar utförts under april och maj månad. Under dessa månader uppstår inga extremtemperaturer. Däremot är solinstrålningen av betydande storlek.

## 2 TERMISK KOMFORT OCH LUFTKVALITET

Nuförtiden tillbringar vi stor del av vår tid inomhus. Uppemot 90 % av vårt liv tillbringas inomhus (Bygghälsorådet, T6:2000). Detta medför att den inre miljön är mycket viktig för såväl vår fysiska som psykiska hälsa. Drygt en miljon svenskar uppger att de har symptom som de relaterar till inomhusmiljön. 70 000 av dessa hänförde symptomen till inomhusmiljön i bostaden (Victorin et al., 2001).

En god luftkvalitet måste säkras och temperaturer måste vara anpassade efter människan och de aktiviteter som utförs i byggnaden. Dålig ventilation och ej anpassade temperaturer skadar inte bara människan utan påverkar även byggnaden negativt genom att fukt- och mögelskador kan uppstå.

### 2.1 TERMISK KOMFORT

Människans välbefinnande är starkt beroende av det omgivande termiska klimatet. De viktigaste termiska klimatfaktorerna är rumsluftens temperatur, rumsluftens rörelser (drag) samt de omgivande rumsytornas temperatur.

De termiska förhållandena orsakar sällan direkt ohälsa. Däremot orsakar för låga eller för höga temperaturer ökad känslighet för andra påfrestningar (Bygghälsorådet, T6:2000). Reumatiska besvär kan orsakas eller påverkas av nedkylning och luftdrag. Nedsatt muskelfunktion vid nedkylning kan medföra fumlighet och därmed ökad risk för olycksfall. För hög temperatur ger torrhets känsla och sänkt vakenhetsgrad. För hög temperatur kan också orsaka trötthet och huvudvärk. Människor med allergi är mer känsliga för höga temperaturer, sträng kyla och kraftiga temperatursvängningar än icke-allergiker.

Upplevelsen av det termiska klimatet bestäms i hög grad av klädsel och fysisk aktivitet. Äldre personer och personer med funktionsnedsättningar som sitter stilla mycket behöver en högre temperatur än yngre personer. Beroende på sådana individuella skillnader är det omöjligt att specificera en termisk omgivning som tillfredsställer alla samtidigt. En del av dem som vistas i en lokal kan alltid förväntas vara otillfredsställda med det termiska klimatet. Det är däremot möjligt att specificera ett optimalt termiskt klimat då en hög andel anser klimatet tillfredsställande.

Människan upplever det termiska klimatet som behagligt när det råder jämvikt mellan den värme som produceras i kroppen och den värme som avges från kroppen till omgivningen. Om jämvikt inte råder ändras kroppens temperatur och om den förskjuts med mer än 0,5 °C kan obehag uppstå (Bygghälsorådet, T6:2000).

Värmeöverföringen styrs av fyra mekanismer:

- konvektion (*värme transporteras bort eller tillförs av den rumsluft som förs förbi kroppen*)
- strålning (*värme strålar från kroppen/kläderna till kalla omgivningar eller till kroppen/kläderna från varma omgivningar*)
- avdunstning (*värme avges genom andning, svettning eller genom kondensation i kläderna eller på kroppen*)
- ledning (*värme leds från kroppen till kallare ytor såsom stol eller golv eller till kroppen från varmare ytor*)

Konvektion och strålning uppskattas stå för vardera 40 % av värmeöverföringen (Bygghälsorådet, T6:2000).

### 2.1.1 Riktad operativ temperatur och operativ temperatur

Det är inte bara rumsluftens temperatur som påverkar kroppens värmeavgivning utan människan reagerar även på omgivande ytors yttemperatur. Operativ temperatur tar hänsyn till både luftens och ytors temperaturer.

Riktad operativ temperatur definieras som medelvärdet av den omgivande luftens temperatur i en viss punkt och den temperatur som omgivande ytor i en viss riktning har (Warfvinge, 2000). Operativ temperatur bestäms genom en sammanvägning av riktad operativ temperatur i alla riktningar.

### 2.1.2 Strålningsasymmetri

När människor klagat på ”drag” är det ofta inte luftrörelser som är problemet utan värmeavgivning från den varma människokroppen till kallare omgivande ytor. Värmeavgivningen i form av strålning kallas för strålningsdrag.

Strålningsasymmetri används som uttryck för att ange den asymmetriska strålning som människan utsätts för då omgivande ytor har olika temperaturer. Stora strålningsasymmetrier ökar risken för att människan upplever strålningsdrag.

### 2.1.3 Lufthastighet

Luftrörelser inomhus orsakas främst av ventilation, kallas vid fönster och människans rörelser, men även av otätheter i klimatskalet. I moderna byggnader är dock fönster så pass bra att kallas normalt inte är ett problem. När det gäller ventilation är det framför allt tilluft som skapar luftrörelser som kan orsaka drag. Temperaturen på tilluft är ofta lägre än rumsluften och det kan vara svårt att få den tillförda luftströmmen att blanda sig med rumsluften. Risken för drag ökar med ökad temperaturdifferens mellan tilluft och rumsluft.

Genom otätheter i en fasad kan uteluft läcka in och skapa drag. Hur mycket luft som läcker in genom don eller otätheter beror på tryckförhållandet mellan in- och utsida av fasaden. Upplevelsen av drag ökar med ökad lufthastighet och lägre lufttemperatur.

### 2.1.4 Vertikal temperaturgradient

Temperaturskillnader i höjdlid kan upplevas som mycket obehagliga. Det gäller framför allt temperaturskillnad mellan huvud och fot, och i synnerhet för sittande personer. Temperaturförändringen i höjdlid benämns vertikal temperaturgradient och mäts i °C/m.

### 2.1.5 Krav på termisk komfort

Boverkets byggregler (BBR) ställer krav på att byggnader, där personer vistas mer än tillfälligt, skall utformas så att tillfredsställande termiskt inomhusklimat kan erhållas i vistelsezon. Definitionen på bostadens vistelsezon varierar mellan olika källor men avser ofta ett område 0,6 meter från yttervägg och från golv till 1,8 meter över golv (Boverket, 1998).

BBR:s krav för bostäder är uppfyllda om byggnaden utformas så att följande förhållande råder vid dimensionerande utetemperatur:

- ❑ den lägsta riktade operativa temperaturen i vistelsezonen beräknas bli 18°C i bostads- och arbetsrum och 20°C i hygienutrymme
- ❑ den riktade operativa temperaturens differenser vid olika punkter i rummets vistelsezon beräknas bli högst 5 K
- ❑ ytttemperaturen på golv i vistelsezonen beräknas bli lägst 16°C ( i hygienutrymme lägst 18°C) och högst 27°C
- ❑ lufthastigheten i ett rums vistelsezon inte beräknas överstiga 0,15 m/s (Boverket, 2002:00)

Förutom BBR:s krav finns det andra riktlinjer och rekommendationer. Standarden ISO 7730 beskriver vilken termisk komfort som krävs vid en särskild aktivitet och klädsel. Riktlinjerna kan sammanfattas genom följande:

- lufttemperaturen bör vara 20-24°C
- den operativa temperaturen bör vara 20-24°C vintertid och 20-26°C sommartid
- golvtemperaturen i vistelsezon bör vara 19-26°C
- den vertikala temperaturgradienten bör vara mindre än 3°C/m
- lufthastigheten bör vara mindre än 0,15 m/s
- strålningsasymmetrin på 0,6 meters höjd bör vara mindre än 10°C

## 2.2 LUFTKVALITET

Människans hälsa och välbefinnande beror till stor del på kvaliteten på den luft som vi andas (Bygghälsorådet, T9:2000). Faktorer som bestämmer kvaliteten på inomhusluften är tilluftens renhet, filter, föroreningskällor i byggnaden, luftens relativa fuktighet, ventilationsflöden och ventilationens effektivitet. Låg luftkvalitet kan ge besvär i form av torra slemhinnor, irriterad hud, trötthet och huvudvärk. Luftföroreningarnas hälsopåverkan beror på faktorer som temperatur och luftfuktighet (Bygghälsorådet, T6:2000).

Fukt i luft kan orsaka kondensation på kalla ytor eller i konstruktionen vilket skulle kunna leda till mikrobiell påväxt och kemisk reaktion/nedbrytning som kan medföra kemisk emission (Björck, 2001). Torr luft ökar halten luftburet damm och risken för elektrostatiska urladdningar.

### 2.2.1 Ventilationsflöden

En persons syrebehov kan täckas med mycket små luftflöden. För att hålla koncentrationer av koldioxid, fukt, lukt och andra föroreningar på en acceptabel nivå krävs betydligt högre luftflöden. Ventilationen har som uppgift att föra bort föroreningar och därför skall ventilationsflöden anpassas utifrån föroreningsgrad.

Vid ett givet luftflöde kan föroreningar bortföras mer eller mindre effektivt. Om en del av tilluften inte blandar sig med luften i vistelsezonen utan strömmar direkt från tilluftdon till frånluftdon (så kallad kortslutning) blir luftomsättningen i vistelsezonen lägre än den skulle varit vid fullständig omblandning. Om övertempererad luft tillförs via tilluftdon vid tak och frånluftdonen också är placerade vid tak finns risk för kortslutning.

### 2.2.2 Krav på luftväxling

Boverkets byggregler (2002:19) ställer det generella kravet att byggnader skall utformas så att god luftkvalitet erhålls i vistelsezon i rum eller delar av rum där personer vistas mer än tillfälligt. Boverkets byggregler (BBR) definierar inte vad god luftkvalitet innebär och anger inga krav på högsta tillåtna halt av hälsopåverkande föroreningskällor utan anger endast att luften inte ska innehålla föroreningar som medför negativa hälsoeffekter eller besvärande lukt.

Uteluft till bostäder skall i första hand tillföras i rum eller del av rum för daglig samvaro och för sömn och vila. God luftkvalitet är tänkt att säkerställas genom att uteluftflödet skall vara lägst 0,35 l/s per m<sup>2</sup> golvarea (Boverket, 2002:19). Därutöver finns det rekommendationer för specifika utrymmen. Rekommendationer för luftflöden till och från olika utrymmen i bostäder redovisas i tabell 1 och 2.

Tabell 1 Enligt BBR bör utluftflödet till rum eller del av rum anordnas med en lägsta kapacitet i bostäder (Boverket, 2002:19).

Utrymme	Minsta tilluftflöde
Rum eller del av rum för sömn och vila	4 l/s per sovplats

Tabell 2 Enligt BBR bör frånluftflödet vid mekanisk ventilation anordnas med en lägsta kapacitet i bostäder (Boverket, 2002:19).

Utrymme	Minsta frånluftflöde
Kök	10 l/s, forcering med minst 75 % uppfångningsförmåga för luftföroreningar
Bad- eller duschrum med öppningsbart fönster	10 l/s <sup>1</sup>
Toaletterum	10 l/s
Tvättstuga/torkrum	10 l/s <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Om golvarean är större än 5 m<sup>2</sup> bör frånluftflödet ökas med 1 l/s för varje tillkommande m<sup>2</sup> därutöver. Om man ska kunna installera tvättmaskin, torktumlare eller liknande i badrum bör ökade krav ställas för luftväxling.

### **3 ENERGIHUSHÅLLNING**

En byggnad kan ses som ett energisystem där det sammanlagda energiflödet till huset är detsamma som det sammanlagda energiflödet från huset. Det finns en mängd faktorer som påverkar systemet, både tekniska, estetiska och beteendestyra.

Energianvändningen beror dels på utformningen av huset, dels på de som bor i huset. Om exempelvis övertemperaturer ofta uppkommer inomhus kan de boende tvingas vädra ut överskottsvärmen. Genom att anpassa husets placering och planlösning till omgivning och klimat kan man i stor utsträckning påverka såväl energianvändningen som inomhusmiljön.

#### **3.1 VÄRMEFÖRLUSTER**

##### **3.1.1 Transmissionsförluster**

Transmissionsförluster utgörs av värmetransport genom byggnadens klimatskal. Isoleringsgrad och temperaturdifferens mellan in- och utsida av klimatskalet påverkar hur stor värmetransporten blir. Vissa detaljlösningar i en konstruktionsdel kan transportera värme bättre än konstruktionsdelen i stort. Dessa detaljer benämns köldbryggor. Köldbryggor försämrar husets värmeisolering och ger ett ökat energibehov för uppvärmning. Fuktiga material leder värme bättre än torra material. Om en del av huskonstruktionen är fuktig kommer energin för uppvärmning även att användas för att torka ut fukten. I betong- och lättbetong finns mycket byggfukt som måste torkas ut.

##### **3.1.2 Ventilationsförluster**

Ventilationsförluster innebär att värme förloras genom transport av varm inomhusluft ut i det fria. Den varma luften som transporterats ut ersätts med kall tilluft som skall värmas upp till rumstemperatur. Förlusterna kan minskas genom användning av ventilationssystem med värmeåtervinning. Värmeåtervinningsaggregatets verkningsgrad bestämmer den möjliga värmeåtervinningen. Den återvunna värmen kan användas för att värma tilluften eller tappvarmvatten och radiatorervatten.

##### **3.1.3 Luftläckageförluster**

Läckageförluster uppstår när värme förloras genom luftläckage via otätheter i byggnadens klimatskärm. I ett hus som är otätt kan de boende dessutom behöva öka inomhustemperaturen som kompensation för drag, vilket även ökar transmissionsförlusterna. Om en från- och tilluftsvärmeväxlare används i ett hus med stort luftläckage kommer inte all ventilationsluft att passera värmeväxlaren vilket medför ökad energianvändning.

## **3.2 VÄRMETILLSKOTT**

### **3.2.1 Solinstrålning**

Värme från solinstrålning kan tas tillvara för att värma ett hus, framförallt under vår och höst. Hur mycket av värmen från solen som kan utnyttjas beror på hur huset är utformat.

Beroende på latitud och årstid varierar solens bana; hur högt den står på himlen, vilket väderstreck den rör sig från och till och hur många soltimmar byggnaden utsätts för. Genom att placera stor andel av fönstren i de fasader som vetter mot öster, söder och väster kan solinstrålning utnyttjas. Detta kan ge ett minskat behov för uppvärmning men även förorsaka övertemperaturer som kan ge dålig komfort.

Glasdel i fönster och fönsterkarm har olika värmegenomgångskoefficient (U-värde). Glasdelen har ofta bättre U-värde än karmen och dessutom har glaset i mitten av fönsterrutan bättre U-värde än glaset vid kanten. På grund av detta är det mer fördelaktigt att ha få stora fönster än många små. Det medför också att kvadratiska fönster är fördelaktigare än rektangulära eftersom karmandelen blir mindre.

Ett fönster placerat långt ut i fasaden ger mer värmetskott på grund av solstrålning än ett indraget fönster som avskärmas av väggen.

### **3.2.2 Hushållsel och processel**

Hushållsapparater, belysning och installationer såsom varmvattenberedare avger värme som kommer huset tillgodo. Under uppvärmningssäsongen bidrar denna värme till uppvärmningen. Spillvärmen kan utanför uppvärmningssäsongen orsaka övertemperaturer. Användande av lågenergiprodukter som A-klassade vitvaror och lågenergilampor ger minskad mängd spillvärme.

### **3.2.3 Personvärme**

Hur mycket värme en människa producerar beror på aktivitetsnivån. Värme avges från kroppen genom konvektion, strålning, ledning och avdunstning. Vid värmebehov kan den personvärme som avges tas tillvara för uppvärmning av byggnaden.



## 4 BESKRIVNING AV HUSEN

### 4.1 GEMENSAMMA FÖRUTSÄTTNINGAR

Inför uppförandet av Yxhulthuset och LB-huset ställde Statens Energimyndighet en rad krav, bland annat gällande energieffektivitet och inomhusklimat.

Yxhulthuset som är fjärrvärmeuppvärmt har ett krav på maximalt 100 kWh köpt energi per m<sup>2</sup> golvarea och år medan LB-huset som är uppvärmt med elektricitet har ett strängare krav på maximalt 80 kWh köpt energi per m<sup>2</sup> golvarea och år. Vitvaror skall vara A-klassade enligt EU:s system för energiklassning där A-klassen är den mest energieffektiva.

Krav finns på att inomhusklimatet ska vara bra. Komfortabel inomhustemperatur och god luftkvalitet ska uppnås. Inomhustemperaturen ska kunna väljas inom ett intervall 17- 23°C. Under uppvärmningssäsongen ska inomhustemperaturen inte avvika mer än 0,3°C från den inställda temperaturen.

Uppvärmning ska ske genom vattenfyllda radiatorer. Temperaturen på vattnet till radiatorerna skall styras av en termostat placerad utomhus. Husen skall ha en effektiv och snabb styrning av värmesystemet som gör att tillförseln bryts redan när temperaturen inomhus ligger en halv grad över inställd temperatur. Tillskott av energi från solstrålning, personer och apparater kan annars inte tas tillvara. Den avgivna värmen från radiatorerna skall kontrolleras av termostater i rummen. Värmeåtervinning av ventilationsluften skall ske med aggregat som fått utmärkelse av Statens Energimyndighet.

Krav fanns även på att storleken på husen skulle anpassas efter en normalstor familj. Utformningen av huskroppen begränsades av att stadsplanen föreskriver att övervåningens golvarea maximalt får vara 60% av bottenvåningens area.

### 4.2 YXHULTHUSET

Det hus som Yxhult AB byggt är ett lättbetonghus (Ytong) med fjärrvärme som uppvärmningskälla. Huset är ventilerat med från- och tilluft där värme återvinns ur frånluften till tilluften med en värmeväxlare (FTX).

#### 4.2.1 Konstruktionen

- Yxhulthuset har en frånluftventilerad kryppgrund. Grundläggningen är gjord med platsgjutna sulor på stoppslagna stålplåtar. På sulorna är 250 mm tjocka prefabricerade grundbalkar av betong placerade. Kryppgrundens botten utgörs av heltäckande markisolering som är 200 mm tjock. Isoleringen är gjord av expanderad cellplast av typen EPS. Även de yttre grundbalkarna är invändigt isolerade med 200 mm EPS som ovan.
- Bottenbjälklaget består av 200 mm armerade lättbetongelement.
- Ytterväggarna är byggda av 450 mm tjocka lättbetongelement som är prefabricerade. Elementen som har färdiga hål för fönster och dörrar levereras i rätt storlek och sammanfogas på plats. Utvändigt finns 20 mm 3-skiktets KC-puts och på insidan är väggen putsad med 6-8 mm KC-tunnputs.
- Innerväggarna är gjorda av lättbetong. De bärande innerväggarna är 200 mm tjocka och övriga är 70, 100 eller 150 mm tjocka.
- Mellanbjälklaget består av 200 mm lättbetong.

- Terrassbjälklaget är uppbyggt av 200 mm lättbetong och utvändigt isolerat med 370- 430 mm (beroende på lutning för avrinning) extruderad cellplast och 20 mm mineralullsboard.  
Ovanpå isoleringen ligger en tätskiktsmatta av SBS-modifierad bitumen med kraftig polyesterarmering. På tätskiktsmattan ligger en skyddspapp och på den är bärläkten placerad. På bärläkten ligger tryckimpregnerade reglar och ovanpå det 28 mm trallvirke av lärkträ.
- Taket består av 200 mm lättbetong och isolerat med 400- 450 mm (beroende på lutning för avrinning) lösull av cellulosafiber. Ovanpå isoleringen finns ett uppstolpat yttertak med 22 mm råspont och takpapp.
- Yxhulthuset har tre olika typer av fönster. Fasta fönster och köksytterdörr har trippelrutor med argon. Fönsterdörrar har 2+1-glas med argon mellan rutorna i 2-glasdelen. Dessa fönster har U-värde 1,0 W/(m<sup>2</sup>K). Burspråk på ovanvåning har trippelrutor med argon och U-värdet är 0,8 W/(m<sup>2</sup>K).  
Glaset i fönstren har låga värmeförluster men kan ändå släppa in det värmande solljuset på grund av en särskild lågemissionsytbeläggning. Extra omsorg har lagts på fönsterkarmarnas infästningar och täthet. Glasets förmåga att släppa in dagsljus (dagsljustransmittans) är 64 %. Genomsläpplighet av värme från solen (solenergitransmittans) är 53 %.
- Ytterdörrarna har U-värde 1,0 W/(m<sup>2</sup>K).

#### **4.2.2 Uppvärmning och ventilation**

- Yxhulthuset värms med fjärrvärme och vattenfyllda radiatorer.
- Ventilationen sköts med mekanisk från- och tilluft med värmeväxling genom FTX-aggregatet TEMOVEX 250. Värmeväxlingsaggregatet har en temperaturverkningsgrad på 83 % enligt tillverkaren.

### 4.3 LB-HUSET

Det hus som LB-hus AB byggt är ett trähus med el som uppvärmningskälla. Huset är mekaniskt frånluftventilerat med värmeåtervinning ur frånluften med en värmepump (FVP).

#### 4.3.1 Konstruktion

- Grundläggningen är utförd som platta på mark (betong) med underliggande isolering bestående av tre lager cellplast à 100 mm och ytterligare ett lager cellplast om 50 mm. För att säkerställa täthet är isoleringens skarvar förskjutna och genomföringar har tätats i samband med uppbyggnad av varje isoleringsskikt. Kantelementen är isolerade med 170 mm isolering.
- Ytterväggarna är uppbyggda av 230 mm stående lättregel med 230 mm mineralullsisolering och 70 mm liggande regel med 70 mm mineralullsisolering. Utanpå regelstommen finns en vindskyddsväv och spikläkt på vilken liggande träpanel är förankrad. Väggarna är prefabricerade och levereras våningshöga och med samma längd som husväggen.
- Yttertaket är uppbyggt av prefabricerade kassetter som är 2,4 m breda och 6 m långa. Kassetterna kommer från fabrik med takpapp, råspont, 500 mm mineralullsisolering, plastfolie samt glespanel.
- De fasta fönstren är treglasfönster. De öppningsbara fönstren är 2+1-glasfönster. U-värdet på båda fönstertyperna är 1,0 W/(m<sup>2</sup>K). Vid montage av fönstren har energiförlusterna reducerats genom montage av invändig smyg i polyuretan. Glasets förmåga att släppa in dagsljus (dagsljustransmittans) är 65 %. Glasets genomsläpplighet av värme från solen (solenergitransmittans) är 52 %.
- Ytterdörrarna som har isolering av polyuretan har U-värde 0,6 W/(m<sup>2</sup>K).

#### 4.3.2 Uppvärmning och ventilation

- Värmesystemet är vattenburen elvärme med radiatorer styrda av termostater i samtliga rum inomhus samt utomhus. Huset har en frånluftvärmepump (Solvik från Thermia) med elpatron för tillskott av värme under de kallaste månaderna. Värmepumpen tar tillvara värmen i frånluften och återanvänder energin för uppvärmning av tappvarmvatten och radiatorvatten.
- För att ventilerat huset används mekanisk frånluftventilation där värmepumpen återvinner energin i frånluften. Ventilationssystemet har frånluftdon i badrum, klädkammare, kök och sovrum. Frånluftdon i sovrummen gör att det blir en fullgod luftväxling i dessa rum även om ett fönster är öppet någonstans i huset. Tilluften tas in bakom fasadens liggande träpanel för att skapa en tryckutjämning och minska effekten av vindpåverkan.

## 5 MÄTMETODIK OCH MÄTINSTRUMENT

För att utvärdera termisk komfort och luftkvalitet har ett antal mätningar utförts. De komfortfaktorer som studerats är ytemperatur, operativ temperatur, strålningsasymmetri, rumstemperatur, vertikal temperaturgradient, lufthastighet och tillufttemperatur. De två luftkvalitetsfaktorerna som studerats är ventilationsflöde och luftomsättning.

Tabell 3 Utvalda faktorer som mätts i Yxhulthuset respektive LB-huset.

Undersökta faktorer	Yxhult	LB
Luftflöde	x	x
Lufthastighet	x	x
Operativ temperatur	x	x
Rumstemperatur	x	-
Strålningsasymmetri	x	x
Tillufttemperatur	-	x
Ventilationsflöden	x	x
Vertikal temperaturgradient	x	x
Ytemperatur -tak	x	-
Ytemperatur -golv	x	x
Ytemperatur -vägg	x	x
Ytemperatur -fönster	-	x

Ytemperatur på golv, operativ temperatur, strålningsasymmetri, vertikal temperaturgradient, lufthastighet, ventilationsflöde och luftomsättning har undersökts för att kunna göra jämförelse med BBR:s och ISO 7730:s krav.

Ytemperatur på vägg och tak har undersökts för att detektera eventuella köldbryggor. Ytemperatur på fönster i norr har mätts i LB-huset för att undersöka om den termiska komforten påverkas av hög fönsterandel mot norr.

Rumstemperatur har undersökts i Yxhulthuset då risk finns att övertemperaturer uppkommer på grund av solinstrålning genom de stora fönstertyorna i söder.

I LB-hus har temperaturen på tilluft mätts beroende på att luften förvärms bakom träpanelen. Då de många tilluftdonen är placerade i olika väderstreck kan luften bli olika mycket uppvärmd beroende på mängden solstrålning mot träpanelen.

I kapitel 5.1 beskrivs hur mätningar utförts och i kapitel 5.2 beskrivs de mätinstrument som använts vid mätningar.

## 5.1 BESKRIVNING AV MÄTMETODIK

Temperatur på golv, väggar och tak har mätts momentant vid upprepade tillfällen med hjälp av en IR-termometer. IR-termometern mäter värmeenergin som avges från ett föremål och beräknar temperatur utifrån valt emissionstal. Temperatur på fönster har mätts momentant vid upprepade tillfällen med en elektronisk termometer av termistortyp.

Riktad operativ temperatur har mätts momentant med en kubtermometer vid olika platser under en dag i respektive hus. Kubtermometern mäter riktad operativ temperatur i sex riktningar. För att få så verklighetsanknutna mätningar som möjligt har val av mätplatser gjorts utifrån befintlig möblering i husen. Kubtermometern placerades på sådant sätt att riktningarna på termometern motsvarar riktningarna på en människa i samma position. Utifrån uppmätta riktade operativa temperaturer beräknas den totala operativa temperaturen i en punkt (valfri mät höjd), för en sittande person (mät höjd 0,6 meter) och för en stående person (mät höjd 1,1 meter) enligt formel och viktningsfaktorer hämtade ur instruktionsboken till mätinstrumentet (TCAK 1100, Mätforum). Strålningsasymmetri mellan parallella sidor beräknas utifrån uppmätta riktade operativa temperaturer enligt formel från instruktionsboken till mätinstrumentet (TCAK 1100, Mätforum).

Rumstemperatur i Yxhulthuset har mätts kontinuerligt mellan 2002-11-11 och 2003-05-31 med hjälp av temperaturgivare, installerade i huset för forskningsprojektet 'Vetenskaplig utvärdering av två lågenergihus uppförda på Bo01 av LB-Hus AB och Yxhult AB' på Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH.

Genom att mäta temperatur i vistelsezonen på de standardiserade höjderna 0,1 meter, 1,1 meter och 1,8 meter, kan den vertikala temperaturgradienten beräknas. Temperaturen har mätts med en elektronisk termohygrograf som lagrar värden. Temperaturmätningarna utfördes var tionde minut under några veckor i respektive hus.

Lufthastighet har mätts momentant med en lufthastighetsmätare i vistelsezonen i olika rum i respektive hus.

Tillufttemperaturer i LB-hus har mätts med elektroniska termohygrografer placerade på tilluftdon vid inkommande luftflöde.

För att mäta till- och frånluftflöden har en stös använts. Två olika mätprogram har använts vid mätning: "average flow" (AF) och "back pressure" (BP). Vid mätning på tilluftdon ska BP-programmet användas och vid mätning på frånluftdon ska AF- eller BP-programmet användas. BP-programmet används framför allt vid mätning på frånluftdon i ventilationssystem med låga tryckfall och stora flöden då man behöver korrigera mätvärdena för den strypning av systemet som mätstosen utgör. Frånluftflöden har mätts momentant i LB-huset och till- och frånluftflöden har mätts momentant i Yxhulthuset.

För att få fram luftflöden och luftomsättning har en spårgasapparat använts. Gas pytsas ut i ett rum i sådan mängd att gaskoncentrationen i rummet hålls konstant. Slangar kopplade till spårgasapparaturen placeras i utrymmen där gaskoncentration ska mätas. Gaskoncentrationen mäts av en gasmonitor och därefter behandlas informationen av en dator som kontrollerar hur mycket spårgas som ska släppas ut i det aktuella rummet. Utifrån uppmätt gastillförsel för att hålla konstant gaskoncentration kan luftflöde och luftomsättning beräknas.

## 5.2 BESKRIVNING AV MÄTUTRUSTNING

### 5.2.1 Termohygrograf Testostor 175-2

Mätning av lufttemperatur med syfte att få fram den vertikala temperaturgradienten och mätning av tillufttemperatur har utförts med hjälp av loggar av typ Testostor 175-2. Loggen är en elektronisk termohygrograf som mäter lufttemperatur och relativ fuktighet (RF) momentant med konstant tidsintervall. De kan maximalt lagra 2000 temperaturvärden och 2000 RF-värden och behöver därefter tömmas på mätdata. Loggarna bör kalibreras regelbundet för att visa ett korrekt resultat. Mätnoggrannheten är  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  och  $\pm 3\%$  RF.



Figur 1 Termohygrografen Testostor 175-2 har använts vid mätning av lufttemperatur.

### 5.2.2 Infraröd termometer Raynger MX4

Yttemperatur på vägg, golv och tak har uppmätts med en "IR-pistol". Pistolen mäter temperatur genom infraröd strålning. På pistolen anges emissionsvärde beroende på vilket material mätningarna utförs på. Mängden infraröd energi som en yta avger är beroende på dess emissivitet och dess temperatur. Emissiviteten är beroende av materialet samt dess ytbeskaffenhet. Mätnoggrannheten är  $\pm 1\%$  av den uppmätta temperaturen eller  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  beroende på vilket som är störst. Under  $0^{\circ}\text{C}$  är mätnoggrannheten  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .



Figur 2 Infraröd termometer Raynger MX4 har använts vid mätning av yttemperatur.

### 5.2.3 Termometer TCAK 1100

Yttemperatur på fönster och golv samt riktad operativ temperatur har uppmätts med ett mikroprocessorbaserat mätinstrument TCAK 1100. För att mäta yttemperaturer kopplas mätinstrumentet samman med en temperaturgivare i form av en termistor. Då termistorn ändrar

sin resistans beroende på temperatur kan mätinstrumentet räkna fram temperaturen på ytan. En kubtermometer kopplas till instrumentet då man mäter riktad operativ temperatur. Mät-noggrannheten är  $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ .

#### 5.2.4 Lufthastighetsmätare, TSI Omnisensor, modell 1640

Lufthastighet i vistelsezonen har mätts med lufthastighetsmätare TSI Omnisensor, modell 1640. Instrumentet är gjort för att mäta låga lufthastigheter och mäter hastighet oberoende av riktning med hjälp av en aluminiumklädd svärisk topp. Lufthastigheter mellan 0,01 m/s och 3,0 m/s mäts med en noggrannhet av  $\pm 2\%$  av högsta värde i mätområdet. Tre mätområden kan väljas; 0-0,3 m/s, 0,25-1,2 m/s och 1,0-3,0 m/s.

#### 5.2.5 SwemaFlow 125 och SwemaAir 300

Till- och frånluftflöde har mätts med luftflödesstos SwemaFlow 125. Stosen kan mäta flöden mellan 2 och 125 l/s med en noggrannhet på  $\pm 3\%$ , dock aldrig bättre än  $\pm 1$  l/s. Stosen kopplas till mätinstrumentet SwemaAir 300.



Figur 3 Stosen SwemaFlow 125 och mätinstrumentet SwemaAir 300 har använts vid mätning av till- och frånluftflöde.

#### 5.2.6 Spårgasapparatur

Gaskoncentration har mätts med hjälp av spårgas. Följande två apparater och tillhörande mjukvara har använts:

- Multipoint Sampler and Doser 1303
- Photoacoustic Multi-gas Monitor 1312
- Application Software 7620

De två apparaterna 1303 och 1312 kan styras av datorprogrammet 7620. 1303 doserar gas genom slangar på upp till sex olika platser och kan ta luftprover på lika många platser. Dose-ring och provtagning kan ske med maximalt 50 meter långa slangar. Mängden gas som dose-rats beräknas automatiskt av apparaten 1303.

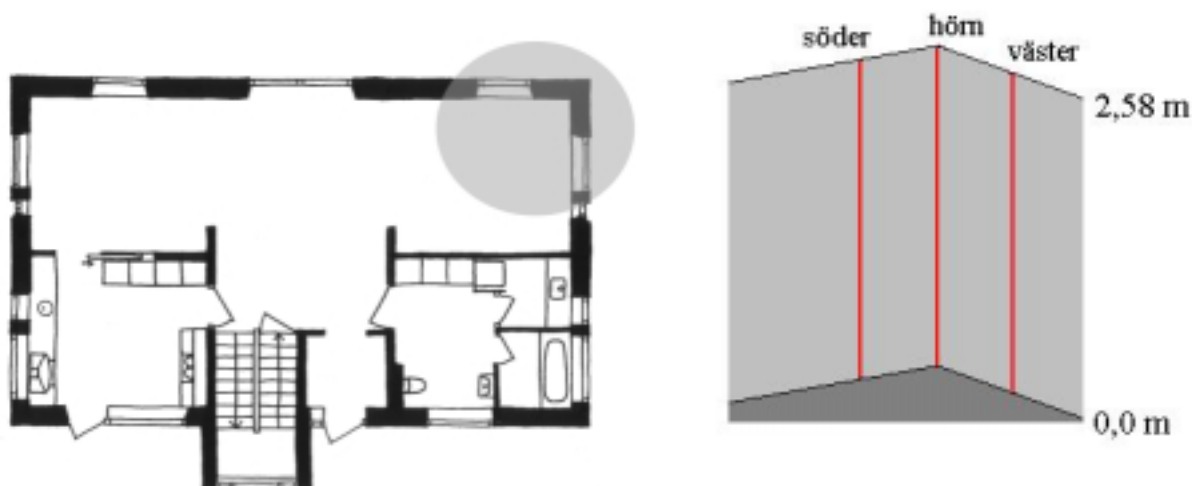
Luftproverna som apparaten 1303 tar analyseras av apparaten 1312 som samtidigt kan mäta fem olika gaser och ånghalt. 1312:s undre detektionsgräns beror på vilken gas som mäts men ligger omkring  $10^{-2}$  ppm. Mät-noggrannheten är  $\pm 1\%$  av den uppmätta gaskoncentrationen. Temperatur, luftfuktighet och tryck kan påverka noggrannheten.

## 6 MÄTRESULTAT MED ANALYS AVSEENDE YXHULTHUSET

I kapitlet redovisas mätresultat av utförda mätningar, beräkningar baserade på uppmätta data, jämförelse med krav enligt BBR och ISO 7730 samt analys. Klimatdata för mätperioden redovisas i bilaga 1.

### 6.1 YTTEMPERATUR - VÄGG

Väggtemperaturer har uppmätts i vardagsrum vid fyra olika tillfällen i april 2002 (3/4, 5/4, 10/4, 19/4). Emissionstal 0,94 har använts vid mätning på trä. För mätpunkter på lättbetong har emissionstal 0,95 använts. Mätnoggrannheten är  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

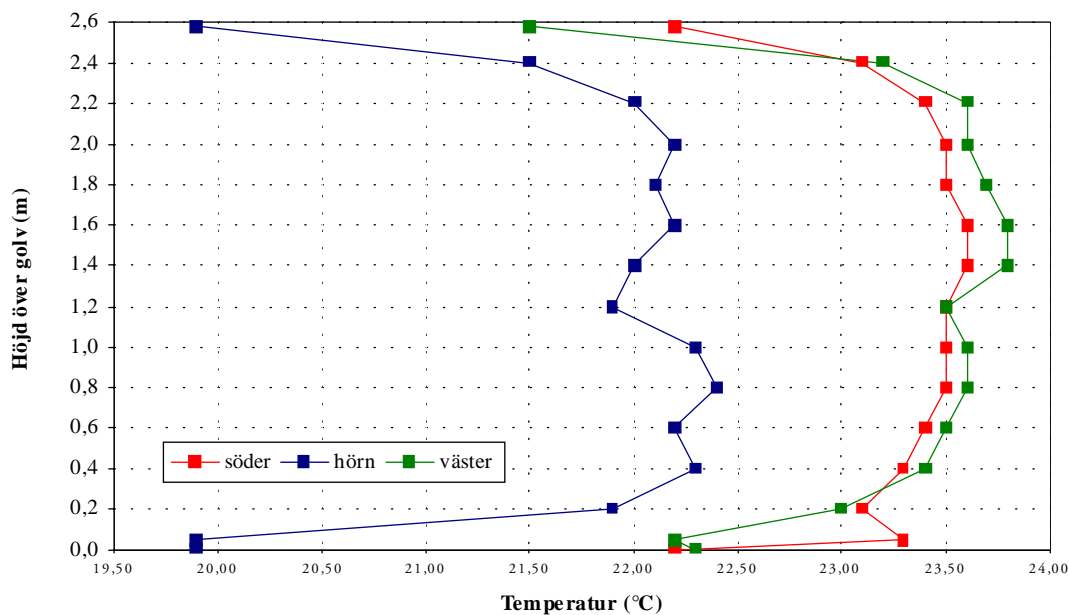


Figur 4 Temperatur på vägg i vardagsrum mättes i hörn i sydväst och 0,5 meter till höger respektive till vänster om hörnet enligt röda markeringar i figuren. Temperaturer uppmättes längs med tre linjer i vertikal led från anslutning mellan golv och vägg upp till anslutning mellan vägg och tak



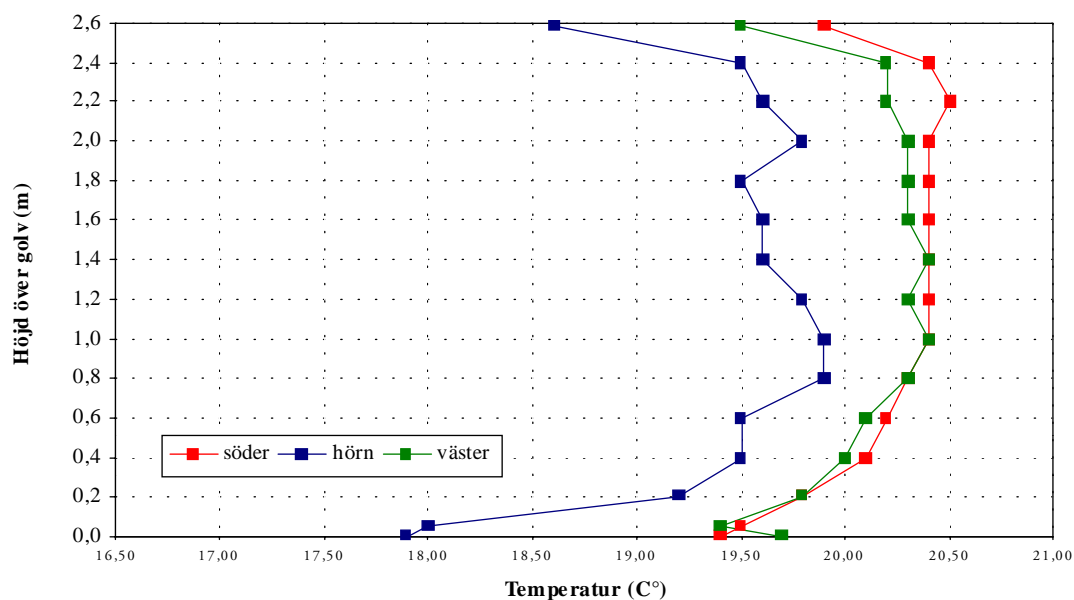
### 6.1.1 Uppmätta yttemperaturer på vägg

Nedan redovisas uppmätta temperaturer i de olika mätpunkterna.



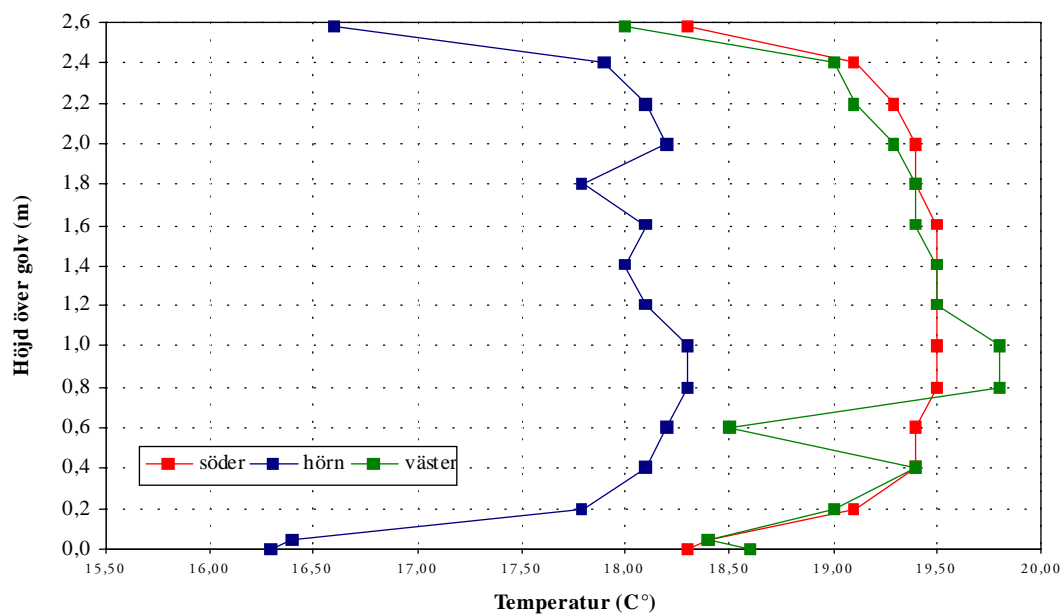
Figur 5

Diagrammet visar väggtemperaturer uppmätta 2002-04-03. Uteklimat för den aktuella dagen redovisas i bilaga 1 (s. 3-4).

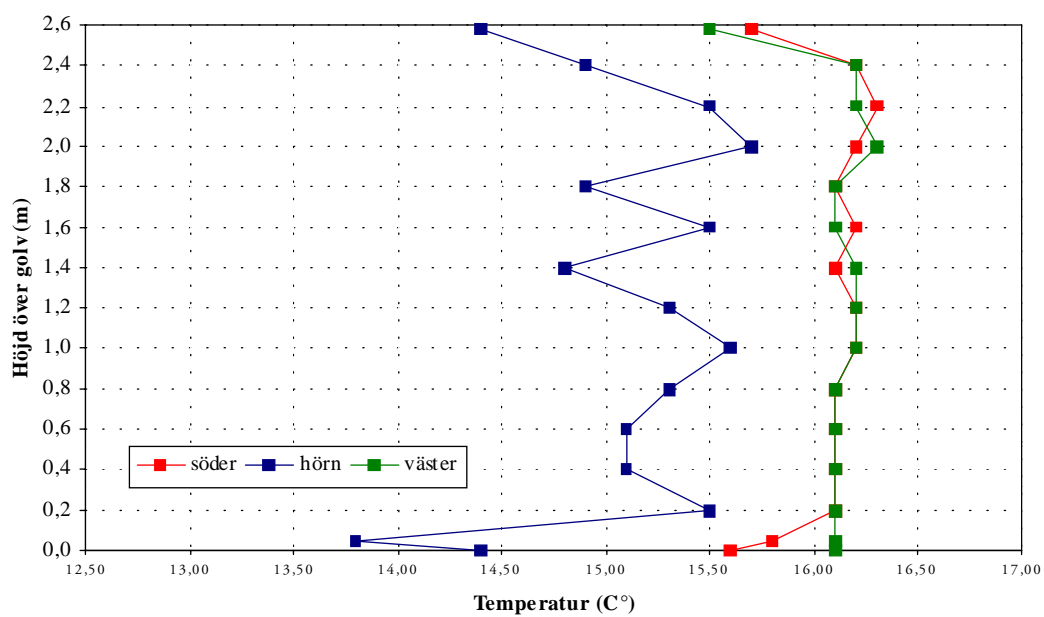


Figur 6

Diagrammet visar väggtemperaturer uppmätta 2002-04-05. Uteklimat för den aktuella dagen redovisas i bilaga 1 (s. 5-6).



Figur 7 Diagrammet visar väggtemperaturer uppmätta 2002-04-10. Uteklimat för den aktuella dagen redovisas i bilaga 1 (s. 7-8).

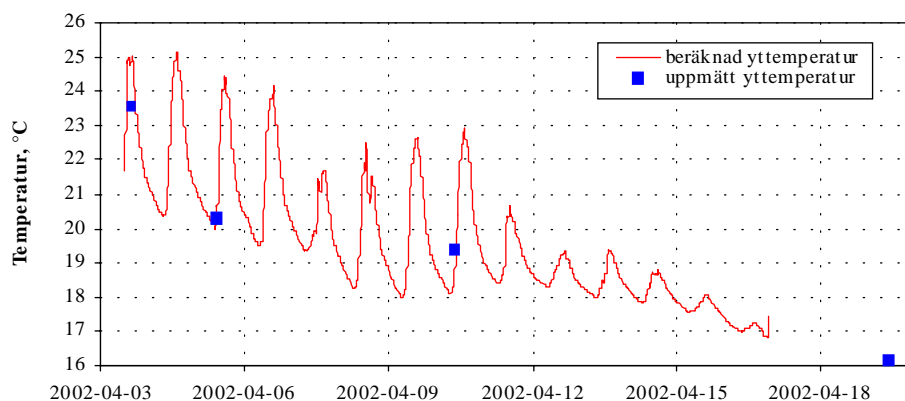


Figur 8 Diagrammet visar väggtemperaturer uppmätta 2002-04-19. Uteklimat för den aktuella dagen redovisas i bilaga 1 (s. 9-10).

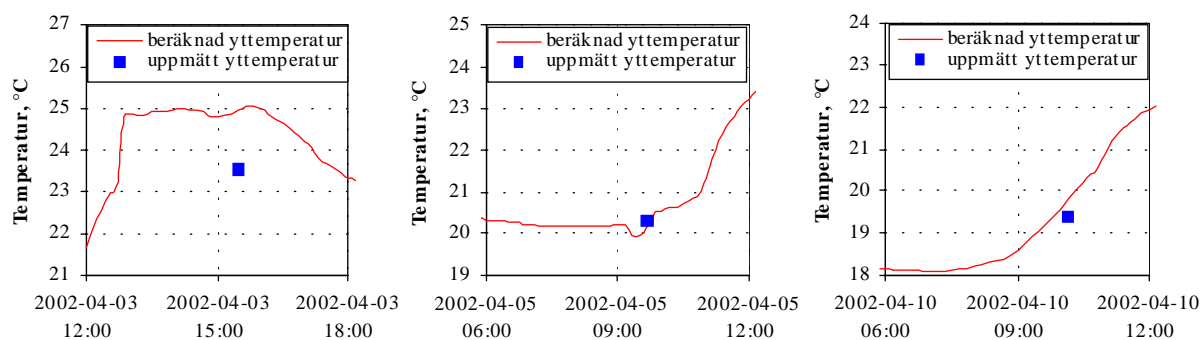
### 6.1.2 Analys

Lägst temperatur har uppmätts vid anslutning mellan tak och vägg samt mellan vägg och golv. Temperaturer uppmätta längs mätlinje i hörn varierar relativt mycket mellan de olika mätpunkterna. Dessutom ligger hörntemperaturer 0,5-1,5 °C lägre än temperaturer på södervägg och på västervägg.

Förväntad yttemperatur på vägg har beräknats stationärt (Nevander och Elmarsson, 2001) utifrån uppmätt lufttemperatur utomhus och på bottenvåning samt väggens värmemotstånd ( $R_T = 3,88 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ ).



Figur 9 Förväntad yttemperatur på vägg har beräknats stationärt för tidsperioden 2002-04-03 till 2002-04-17. Yttemperatur på vägg har uppmätts vid fyra olika tillfällena (3/4, 5/4, 10/4 och 19/4). Uppmätta yttemperaturer redovisas som medelvärde för mätpunkter belägna 0,4 meter till 2,2 meter över golv längs mätlinje söder och väster.



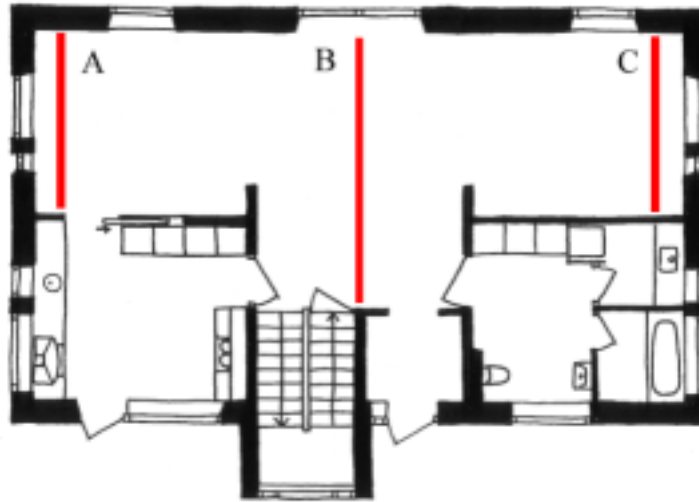
Figur 10 Yttemperatur på vägg har beräknats stationärt samt uppmätts 3/4, 5/4 och 10/4. Uppmätta yttemperaturer redovisas som medelvärde för mätpunkter belägna 0,4 m till 2,2 meter över golv längs mätlinje söder och väster.

Förväntade yttemperaturer grundade på stationär beräkning överensstämmer väl med uppmätta yttemperaturer på väggens insida. I beräkning tas ingen hänsyn till inverkan av solstrålning. Fasaden är ljus och absorberar därmed mindre värme än mörk färg. Om fasaden haft annan kulör hade sannolikt solstrålning mot fasaden inverkat på resultatet i större utsträckning. Differensen mellan beräknad och uppmätt yttemperatur 2002-04-03 kan bero på att sol lyst in genom stora fönsterytor i söder och värmt upp rumsluften medan lättbetongen ännu ej värmts upp i motsvarande grad på grund av dess värmetröghet. Detta skulle kunna visa på den utjämning av temperaturvariationer som en något tyngre stomme medför. Om icke-stationär beräkning utförts hade möjligen bättre överensstämmelse uppnåtts i detta fall.

BBR (2002:00) och ISO 7730 ställer inget krav på yttemperaturen på väggens insida. Yttemperaturer påverkar dock operativ temperatur och strålningsasymmetri. Vid dimensionerande utetemperatur baserad på ort och konstruktion enligt Warfvinge (2000) och rekommenderad inomhustemperatur 20-24°C enligt ISO 7730 blir yttemperaturen på väggen en grad lägre än lufttemperaturen i rummet, dvs som lägst 19°C.

## 6.2 YTTEMPERATUR – TAK

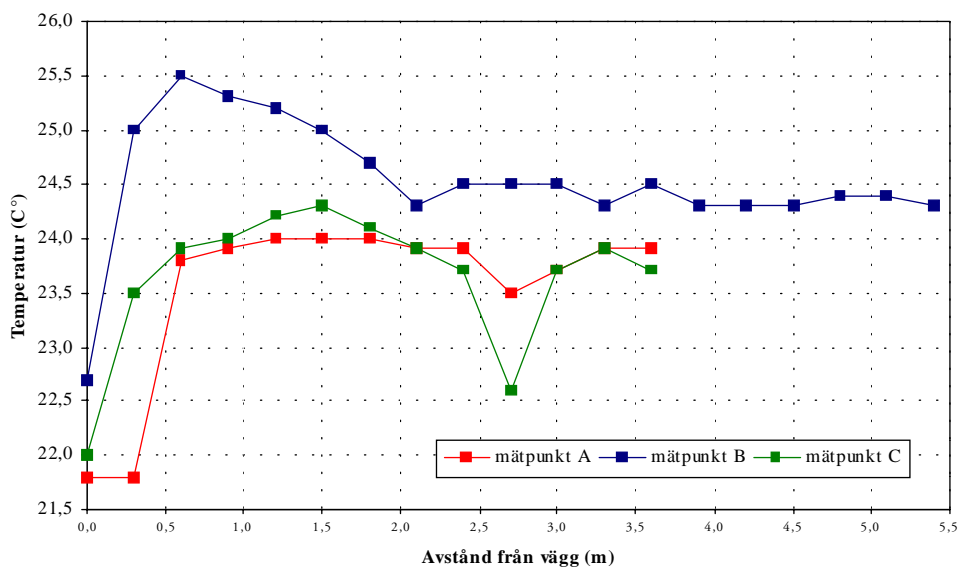
Taktemperaturer har uppmätts i vardagsrum vid fyra olika tillfällen under april 2002 (3/4, 5/4, 10/4, 19/4). Emissionstal 0,95 har använts. Mät noggrannheten är  $\pm 1^\circ\text{C}$ .



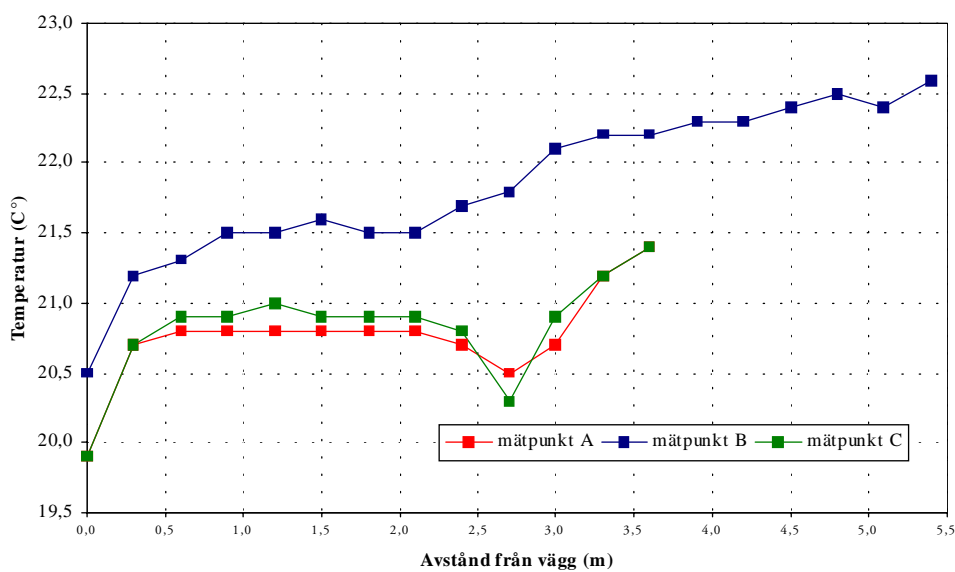
Figur 11 Yttemperaturer har uppmätts längs tre linjer i tak med ett konstant intervall från yttervägg vid husets långsida in till motstående innervägg.

## 6.2.1 Uppmätta yttemperaturer på tak

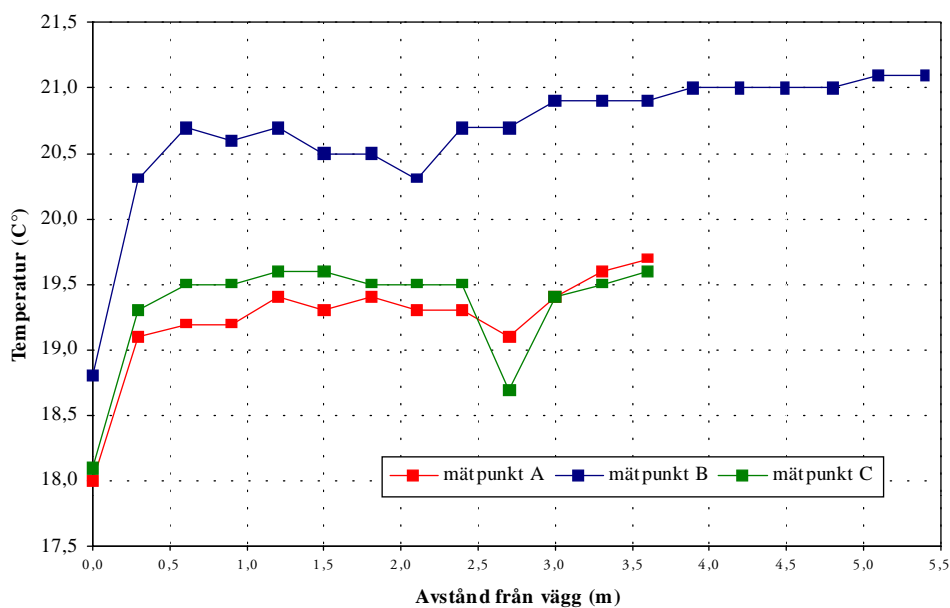
Nedan redovisas uppmätta temperaturer i de olika mätpunkterna.



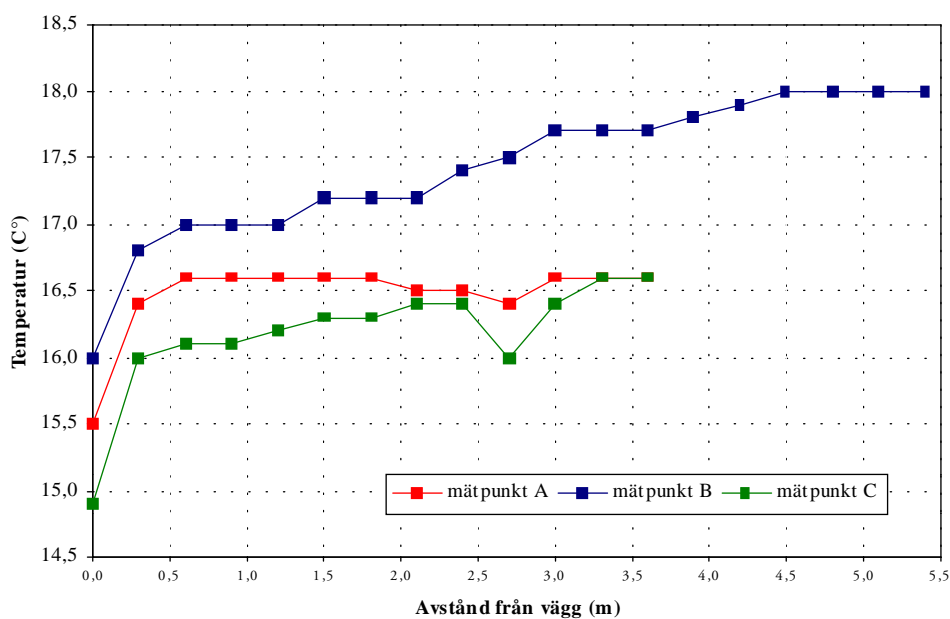
Figur 12 Diagrammet visar taktemperaturer uppmätta 2002-04-03. Uteklimat för den aktuella dagen redovisas i bilaga 1 (s. 3-4).



Figur 13 Diagrammet visar taktemperaturer uppmätta 2002-04-05. Uteklimat för den aktuella dagen redovisas i bilaga 1 (s. 5-6).



Figur 14 Diagrammet visar taktemperaturer uppmätta 2002-04-10. Uteklimat för den aktuella dagen redovisas i bilaga 1 (s. 7-8).



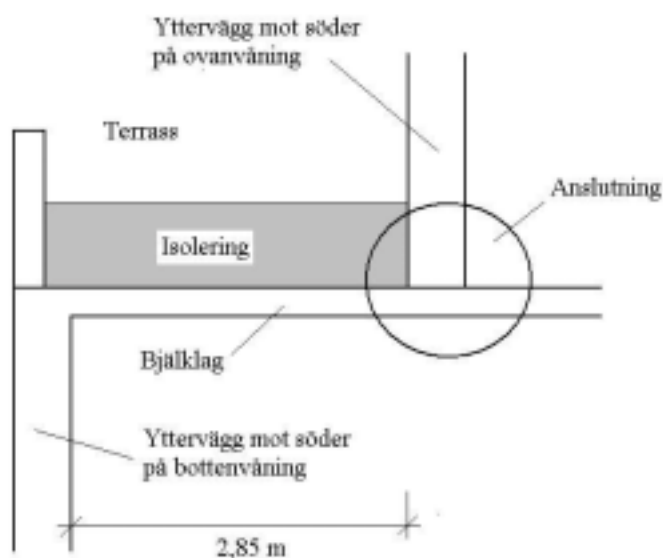
Figur 15 Diagrammet visar taktemperaturer uppmätta 2002-04-19. Uteklimat för den aktuella dagen redovisas i bilaga 1 (s. 9-10).

### 6.2.2 Analys

De två mätpunkterna på respektive mätlinje som ligger närmast yttervägg mot söder uppvisar lägre temperaturer än övriga mätpunkter. Vidare uppvisar mätlinje A och C lägre temperatur än mätlinje B på grund av större värmeförlust längs med ytterväggar.

Längs mätlinje A och C sänks temperaturen vid mätpunkt belägen 2,7 meter från yttervägg i söder. På avståndet 2,85 meter från yttervägg slutar terrass på ovanvåning och bostad tar vid.

Längs mätlinje B sjunker eller stagnerar temperaturen vid mätpunkt belägen 2,1 meter från yttervägg för att därefter bli högre ju längre in i huset man kommer på grund av högre lufttemperatur på ovanvåning än bottenvåning. På ovanvåning finns det utskjutande burspråket vid avståndet 2,25 meter från yttervägg.

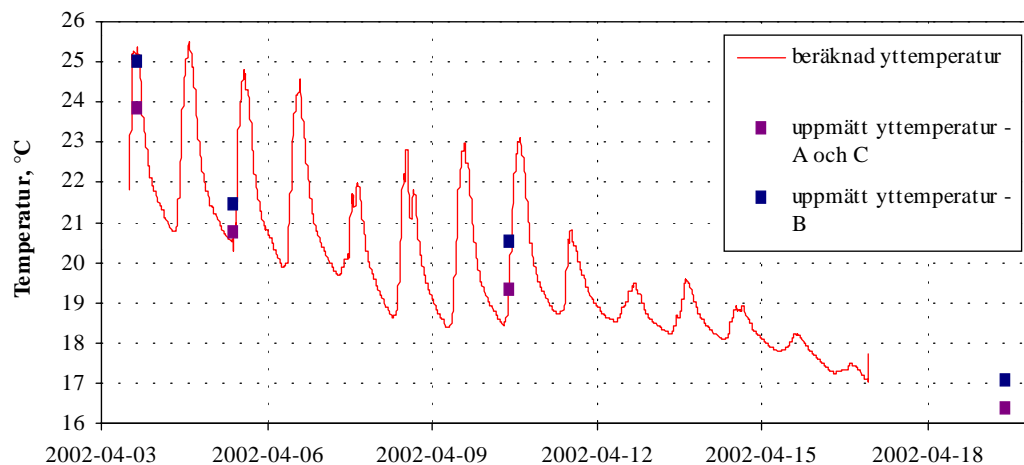


Figur 16 Anslutning mellan terrassbjälklag och yttervägg på ovanvåning där en möjlig köldbrygga detekterats.

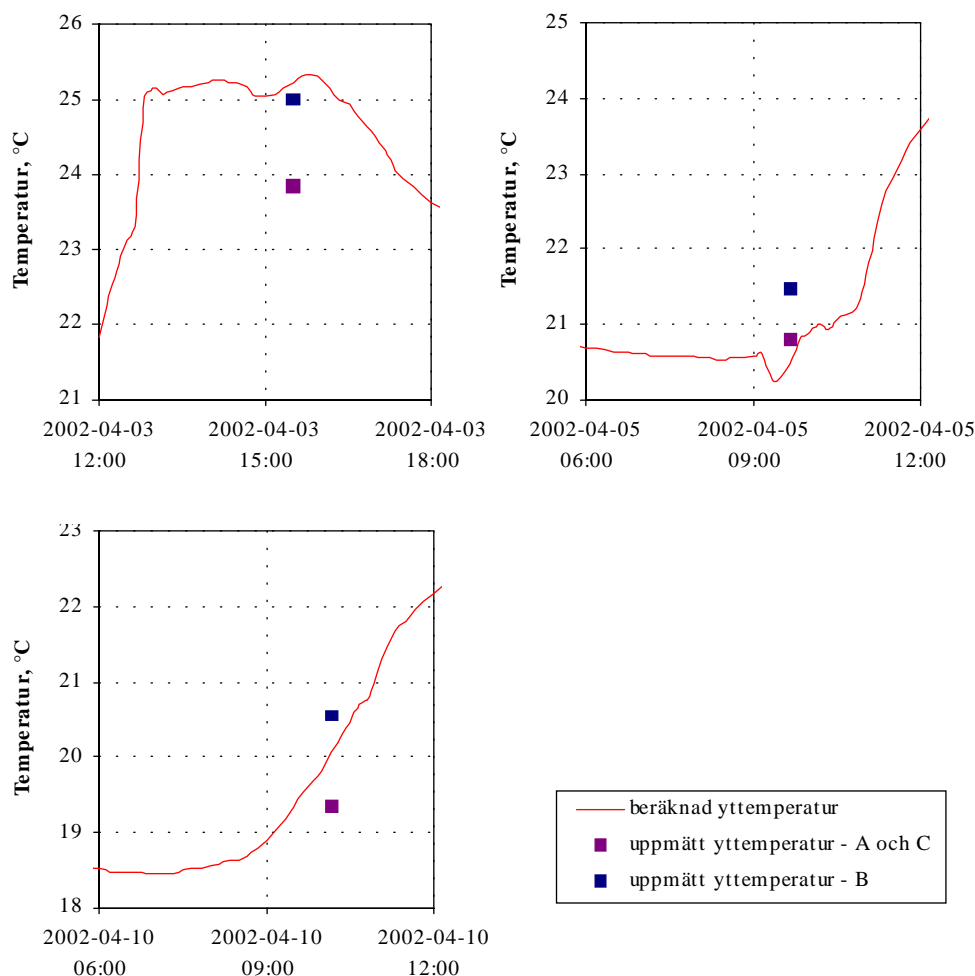
I anslutning mellan terrassbjälklag och yttervägg mot söder på ovanvåning sker troligen en värmetransport vilket kan orsaka temperatursänkningen. Värmetransporten ut ur huset genom anslutningen leder till ett ökat uppvärmningsbehov under uppvärmningssäsongen.



Förväntad yttemperatur på insida av tak under terrassbjälklag respektive mellanbjälklag har beräknats stationärt (Nevander och Elmarsson, 2001) utifrån uppmätt lufttemperatur utomhus, på bottenvåning och ovanvåning samt takets värmemotstånd ( $R_T = 10,75 \text{ (m}^2\text{K)/W}$  för terrassbjälklag och  $R_T = 2,01 \text{ (m}^2\text{K)/W}$  för mellanbjälklag).



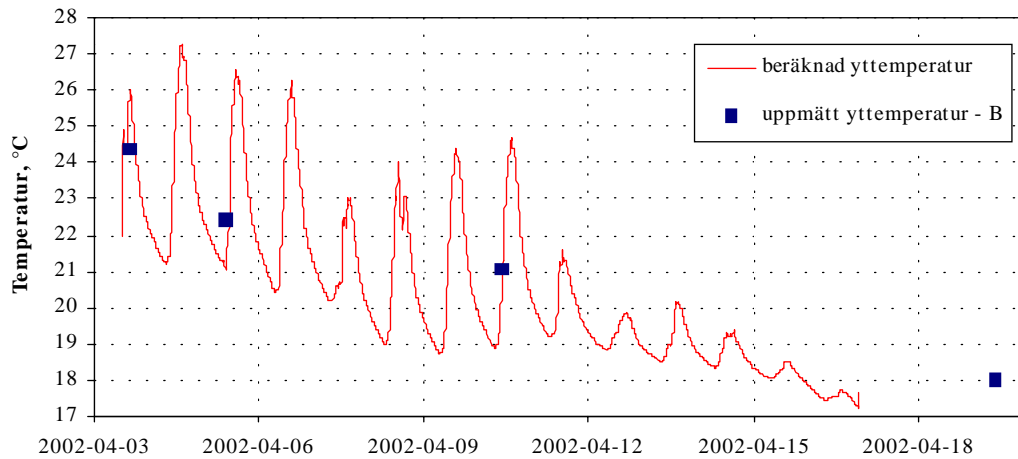
Figur 17 Förväntad yttemperatur på tak under terrassbjälklag har beräknats stationärt för tidsperioden 2002-04-03 till 2002-04-17. Yttemperatur på tak har uppmätts vid fyra olika tillfällen (3/4, 5/4, 10/4 och 19/4). Uppmätta yttemperaturer redovisas för mätlinje A och C som medelvärde för mätpunkter belägna 0,6 meter från yttervägg i söder fram till terrassbjälklagets slut 2,7 meter från yttervägg och för mätlinje B som medelvärde för mätpunkter belägna 0,6 meter från yttervägg i söder fram till terrassbjälklagets slut 2,1 meter från yttervägg.



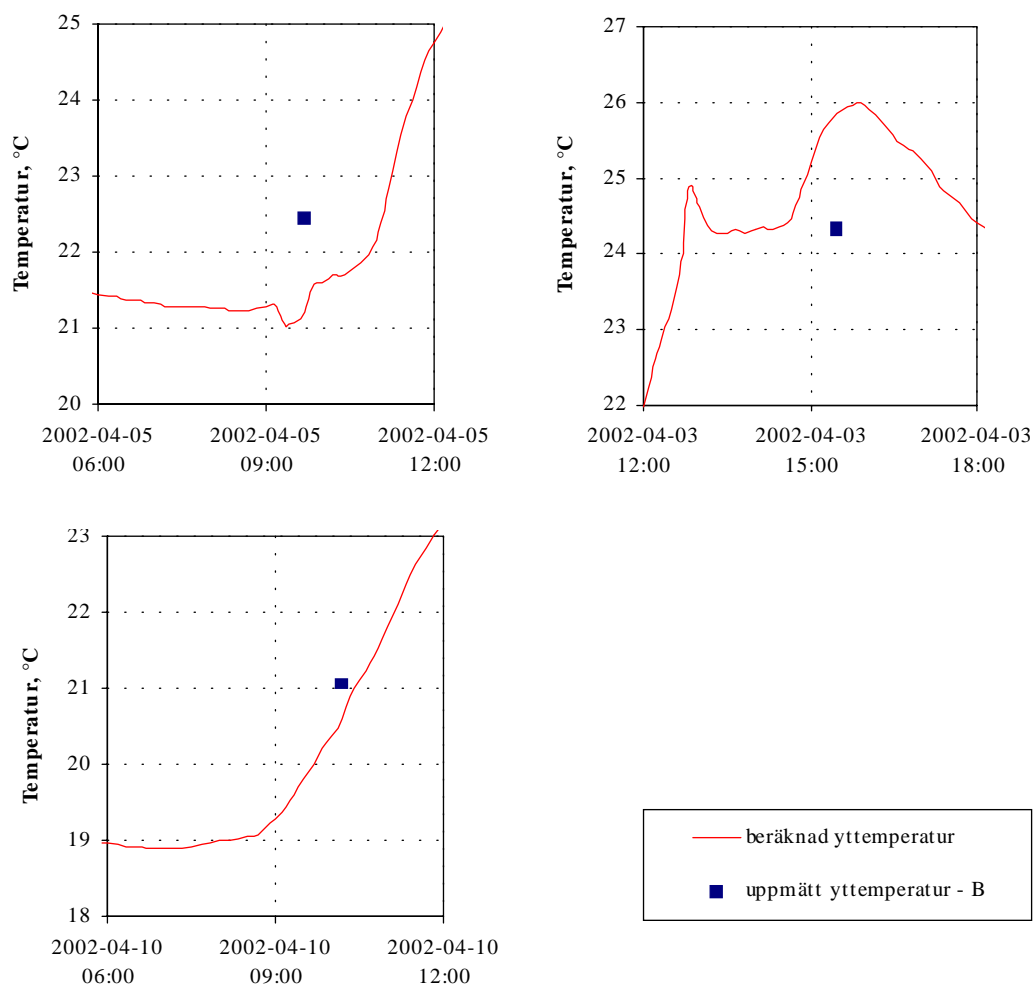
Figur 18 Yttemperatur på innertak under terrassbjälklag har beräknats stationärt samt uppmätts 3/4, 5/4 och 10/4. Uppmätta yttemperaturer redovisas för mätlinje A och C som medelvärde för mätpunkter belägna 0,6 meter från yttervägg i söder fram till terrassbjälklagets slut 2,7 meter från yttervägg och för mätlinje B som medelvärde för mätpunkter belägna 0,6 meter från yttervägg i söder fram till terrassbjälklagets slut 2,1 meter från yttervägg.

Förväntade yttemperaturer grundade på stationär beräkning överensstämmer väl med uppmätta yttemperaturer på takets insida. Differensen mellan beräknad och uppmätt yttemperatur 2002-04-03 kan bero på lättbetongens värmetröghet som medför en utjämning av temperaturvariationer.

BBR (2002:00) och ISO 7730 ställer inget krav på yttemperaturen på takets insida. Yttemperaturen påverkar däremot operativ temperatur och strålningsasymmetri. Vid dimensionerande utetemperatur baserad på ort och konstruktion enligt Warfvinge (2000) och rekommenderad inomhustemperatur 20-24°C enligt ISO 7730 blir yttemperaturen på tak cirka 0,4 grader lägre än lufttemperaturen i rummet, dvs som lägst 19,6°C.



Figur 19 Förväntad yttemperatur på tak under mellanbjälklag har beräknats stationärt för tidsperioden 2002-04-03 till 2002-04-17. Yttemperatur på tak har uppmätts vid fyra olika tillfällen (3/4, 5/4, 10/4 och 19/4). Uppmätta yttemperaturer redovisas för mätlinje B som medelvärde för mätpunkter belägna under mellanbjälklag.



Figur 20 Yttemperatur på tak har beräknats stationärt samt uppmäts 3/4, 5/4 och 10/4. Uppmätta yttemperaturer redovisas för mätlinje B som medelvärde för mät-punkter belägna under mellanbjälklag.

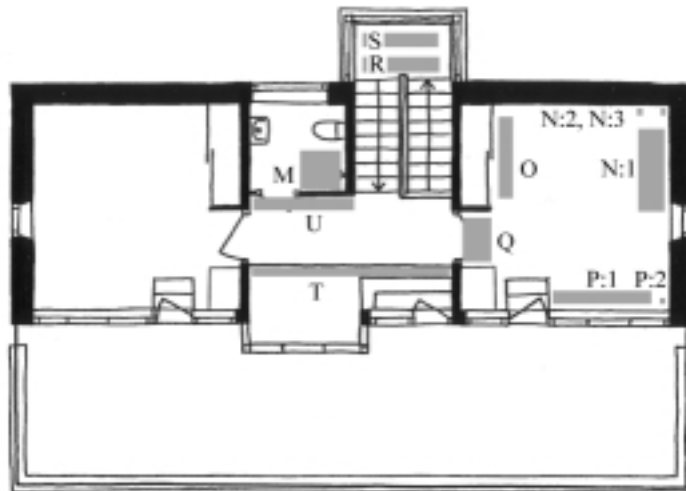
BBR (2002:00) och ISO 7730 ställer inget krav på yttemperaturen på takets insida. Yttempe-raturen påverkar däremot operativ temperatur och strålningsasymmetri.

### 6.3 YTTEMPERATUR – GOLV

Golvtemperaturer har uppmätts vid fyra olika tillfällen under april 2002 (3/4, 5/4, 10/4, 19/4) samt 2003-05-02. Mätnoggrannheten är  $\pm 1^\circ\text{C}$ .



Figur 21 Temperatur på golv har uppmätts i badrum, vardagsrum och kök på bottenvåning 2003-05-02 på ytor markerade i figuren.



Figur 22 Temperatur på golv har uppmätts i WC/dusch, hall och sovrum i öster på ovanvåning 2003-05-02 på ytor markerade i figuren.

### 6.3.1 Uppmätta golvtemperaturer

Nedan redovisas yttemperaturer på golv uppmätta 2003-05-02 på olika platser enligt figurer på föregående sida.

Tabell 4 Yttemperaturer på golv har uppmätts 2003-05-02 på olika golvmaterial på olika platser i huset enligt figurer på föregående sida. Uteklimat för den aktuella dagen redovisas i bilaga 1 (s. 11-12).

placering	A	B	C	D	E	F	G
emissionstal	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
yttemperatur, °C	22,3	22,2	21,1	21,9	23,0	22,7	22,2

placering	H	I:1	I:2	J	K	L	M
emissionstal	0,90	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
yttemperatur, °C	22,7	22,2	19,0	23,0	21,1	20,3	22,5

placering	N:1	N:2	N:3	O	P:1	P:1	Q
emissionstal	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
yttemperatur, °C	23,5	22,5	20,5	23,3	23,1	21,6	24,3

placering	R	S	T	U
emissionstal	0,92	0,92	0,90	0,90
yttemperatur, °C	23,0	22,6	25,5	24,5

Nedan redovisas medelyttemperaturer på golv i vardagsrum, uppmätta vid fyra tillfällen under april 2002. Emissionstal 0,94 har använts.

Tabell 5 Medelyttemperaturer har uppmätts på trägolv i vardagsrum vid fyra olika tillfällen under april 2002 (3/4, 5/4, 10/4 och 19/4). Yttemperaturer har mätts på golv i vistelsezon, längs med ytterväggar samt i anslutning mellan golv och vägg i hörn. Uteklimat för de aktuella dagarna redovisas i bilaga 1 (s. 3-10).

datum	2002-04-03	2002-04-05	2002-04-10	2002-04-19
plats	temperatur [°C]	temperatur [°C]	temperatur [°C]	temperatur [°C]
golv i vistelsezon	24	21	20	17
längs yttervägg	22	21	19	16
hörn vid yttervägg	20	20	18	15

### 6.3.2 Analys

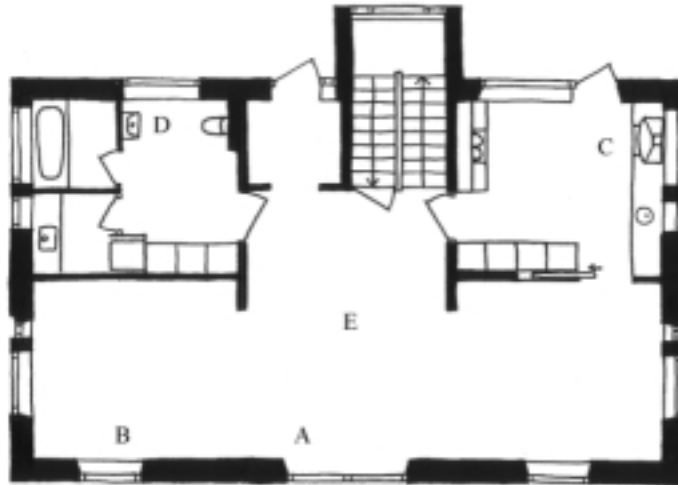
Förväntad yttemperatur på golv på bottenvåning och ovanvåning har beräknats stationärt (Nevander och Elmarsson, 2001) utifrån uppmätt lufttemperatur på bottenvåning, ovanvåning och i kryppgrund samt bjälklagets värmemotstånd ( $R_T = 2,01 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ ). Stationär beräkning ger för 2003-05-02 att golvtemperaturer på bottenvåning förväntas bli 22°C och på ovanvåning 24°C. Golvtemperaturer uppmätta på golvpartier som är tillämpliga vid stationär beräkning varierar på bottenvåning mellan 22,2 och 22,3°C och på ovanvåning mellan 23,3 och 24,5°C.

BBR ställer krav på att yttemperaturer på golv i vistelsezonen skall vara lägst 16°C vid dimensionerande utetemperatur. I hygienutrymmen skall yttemperaturen på golv vara lägst 18°C. Enligt ISO 7730 bör golvtemperaturer vara mellan 19 och 26°C. Golvtemperaturer uppmätta 2002-04-19 uppfyller ej kraven enligt ISO 7730. Vid tidpunkten för mätningen var utomhustemperaturen lägre än vid övriga mättillfällen, huset var obebott och termostaterna

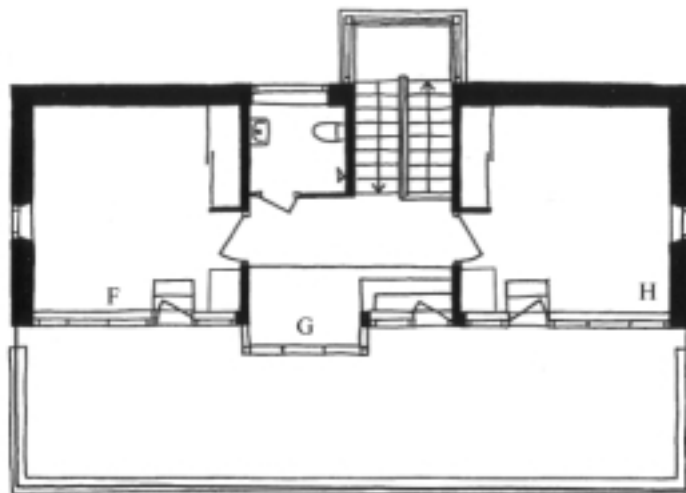
var inställda för låg värmeförsörjning. Med en frånluftsventilerad varmgrund finns ingen risk för att golvtemperaturen på bottenvåningen understiger 16°C under förutsättning att rumstemperaturen överstiger 16°C.

#### 6.4 OPERATIV TEMPERATUR OCH STRÅLNINGSASYMMETRI

Mätning av riktad operativ temperatur har utförts 2003-05-02 med hjälp av en kubtermometer. Riktad operativ temperatur har uppmätts i husets alla rum utom WC/dusch på ovanvåning. Mät noggrannheten är  $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ .



Figur 23 Riktad operativ temperatur har uppmätts på bottenvåning på platser markerade med bokstäver i figuren (A, B, C, D och E).



Figur 24 Riktad operativ temperatur har uppmätts på ovanvåning på platser markerade med bokstäver i figuren (F, G, och H).



Kubtermometern mäter riktad operativ temperatur (ROT) i sex riktningar vilka har följande benämningar:

ROT:1 = upp

ROT:2 = vänster

ROT:3 = fram

ROT:4 = höger

ROT:5 = bak

ROT:6 = ner

Tabell 6 Riktad operativ temperatur för olika riktningar (ROT:1 - ROT:6) har uppmätts vid olika höjder på bottenvåning (placering A, B, C, D och E) samt på ovanvåning (placering F, G och H).

placering	A	B	C	D	E	F	G	H
höjd, cm	60	90	110	110	110	60	60	60
ROT: 1, °C	22,95	23,15	22,80	21,66	22,50	25,33	26,75	24,38
ROT: 2, °C	22,45	23,15	22,85	21,61	22,45	24,61	26,18	24,00
ROT: 3, °C	23,25	22,65	22,70	21,61	22,05	25,00	25,44	23,90
ROT: 4, °C	22,40	22,65	22,80	21,57	22,85	24,27	25,55	23,85
ROT: 5, °C	22,10	23,45	22,95	21,57	22,50	24,27	25,94	23,95
ROT: 6, °C	22,30	23,10	22,70	21,52	22,60	24,05	25,33	23,70

#### 6.4.1 Operativ temperatur

Nedan redovisas utifrån uppmätt riktad operativ temperatur beräknad operativ temperatur på olika platser i huset.

Tabell 7 Operativ temperatur har beräknats för en stående person (OPT A), sittande person (OPT B) och i en punkt (OPT C) med olika viktningsfaktorer utifrån uppmätt riktad operativ temperatur på olika höjder, enligt anvisningar i instruktionsbok till mätinstrumentet (Mätforum, TCAK).

placering	A	B	C	D	E	F	G	H
höjd, cm	60	90	110	110	110	60	60	60
OPT A, °C	-	-	22,82	21,59	22,44	-	-	-
OPT B, °C	22,58	-	-	-	-	24,59	25,84	23,95
OPT C, °C	22,58	23,03	22,80	21,59	22,49	24,59	25,87	23,96

### 6.4.2 Strålningsasymmetri

Nedan redovisas utifrån uppmätt riktad operativ temperatur beräknad strålningsasymmetri mellan olika plan vid olika placeringar.

Tabell 8 Strålningsasymmetrin har beräknats utifrån uppmätt riktad operativ temperatur på bottenvåning (placering A, B, C, D och E) och på ovanvåning (placering F, G och H) enligt anvisningar i instruktionsbok till mätinstrumentet (Mätforum, TCAK).

placering	A	B	C	D	E	F	G	H
T(1,6), °C	1,30	0,10	0,20	0,28	-0,20	2,56	2,84	1,36
T(2,4), °C	0,10	1,00	0,10	0,08	-0,80	0,68	1,26	0,30
T(3,5), °C	2,30	-1,60	-0,50	0,08	-0,90	1,46	-1,00	-0,10

### 6.4.3 Analys

Enligt BBR ska den riktade operativa temperaturen vara större än 18°C i bostads- och arbetsrum och större än 20°C i hygienutrymme. Alla uppmätta riktade operativa temperaturer är högre än krav enligt BBR.

Enligt standarden ISO 7730 bör strålningsasymmetrin på 0,6 meters höjd vara mindre än 10°C. Kubtermometern har vid placering A, F, G och H mätt på 0,6 meters höjd. Högsta beräknade strålningsasymmetrin vid dessa är 2,84°C vilket innebär att krav enligt ISO 7730 uppfylls.

Vidare säger standarden ISO 7730 att operativ temperatur vintertid bör vara 20-24°C och sommartid 20-26°C. Operativa temperaturer varierar mellan 21,59°C och 25,87°. Operativ temperatur är lägre än övre gränsen sommartid enligt ISO 7730. Mätningar är dock gjorda i början av maj.

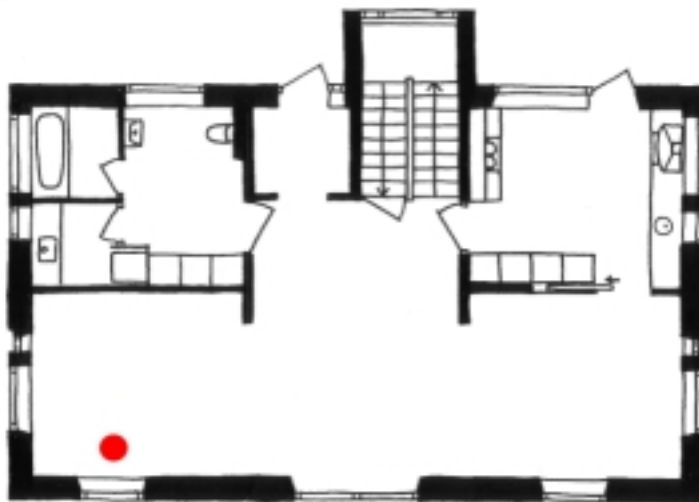
Högsta operativa temperaturer finns i söderläge på ovanvåning (placering F, G och H). För den aktuella dagen har stationär beräkning av yttemperaturer på ovanvåning utförts enligt Nevander och Elmarsson (2001). Beräkningen som är baserad på uppmätt temperatur utomhus, på bottenvåning samt byggnadsdelarnas värmemotstånd ger yttemperaturer mellan 23 och 24,5°C. I beräkning tas ej hänsyn till solstrålning mot ytorna. Utifrån uppmätt lufttemperatur och beräknade yttemperaturer skulle operativ temperatur ej kunna bli högre än 24,5°C.

Då mätning av riktad operativ temperatur utfördes lyste solen in genom de stora fönstren i söder. Operativa temperaturer högre än 24,5°C anses kunna bero på att invändiga ytor kan ha absorberat värme från solstrålning vilket skulle medföra högre yttemperaturer än de beräknade.

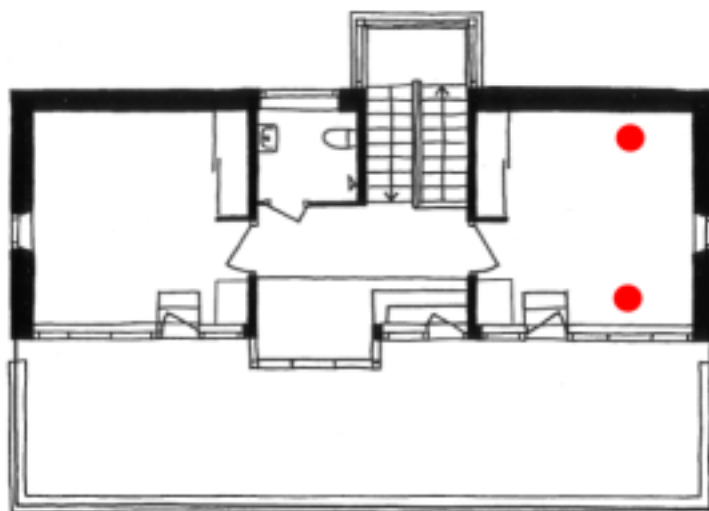
## 6.5 VERTIKAL TEMPERATURGRADIENT

Temperatur på höjderna 0,1 meter, 1,1 meter och 1,8 meter har uppmätts i vistelsezon under perioden 2002-04-03 - 2002-04-17 med nio temperaturloggar som har mätnoggrannheten  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

Loggarna placerades framför söderfönster i vardagsrum på plan 1 och i sovrum i öster på plan 2. I sovrummet placerades tre stycken framför ett fönster i söder och tre stycken framför väggen i norr. Invändigt solskydd i sovrum på ovanvåning drogs ner för att inte utsätta loggarna framför de stora söderfönstren för direkt solstrålning.



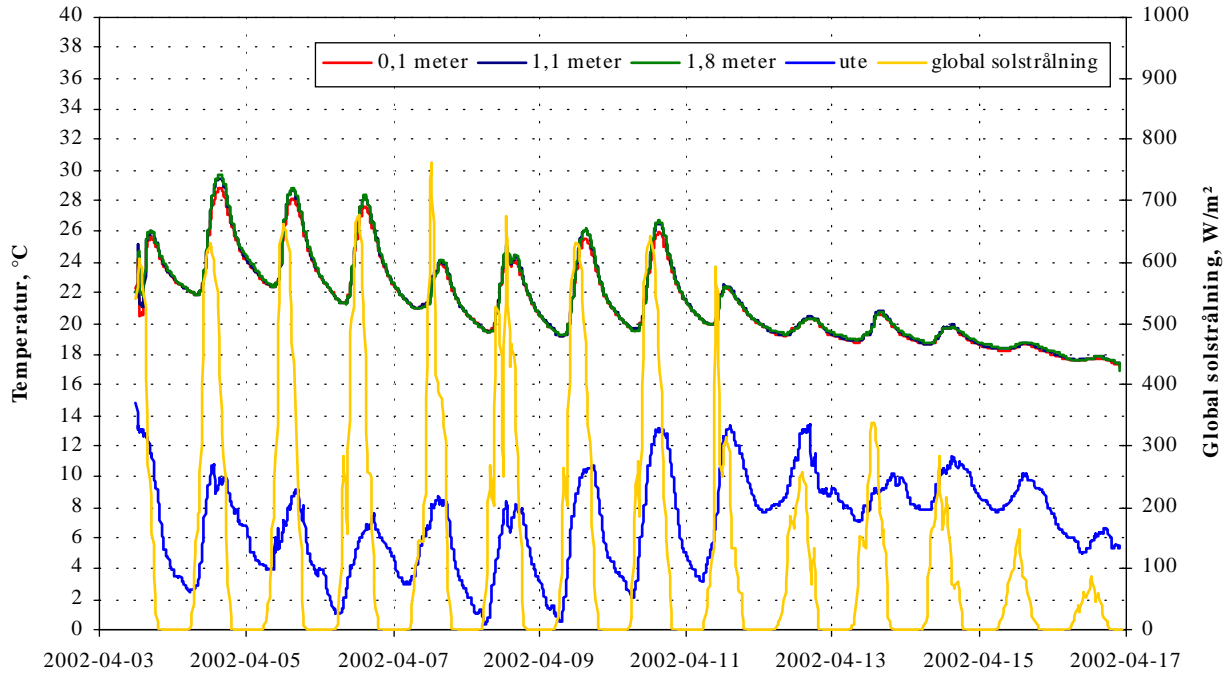
Figur 25 Temperatur på höjderna 0,1 meter, 1,1 meter och 1,8 meter har uppmätts i vardagsrum på bottenvåningen vid markering i figuren.



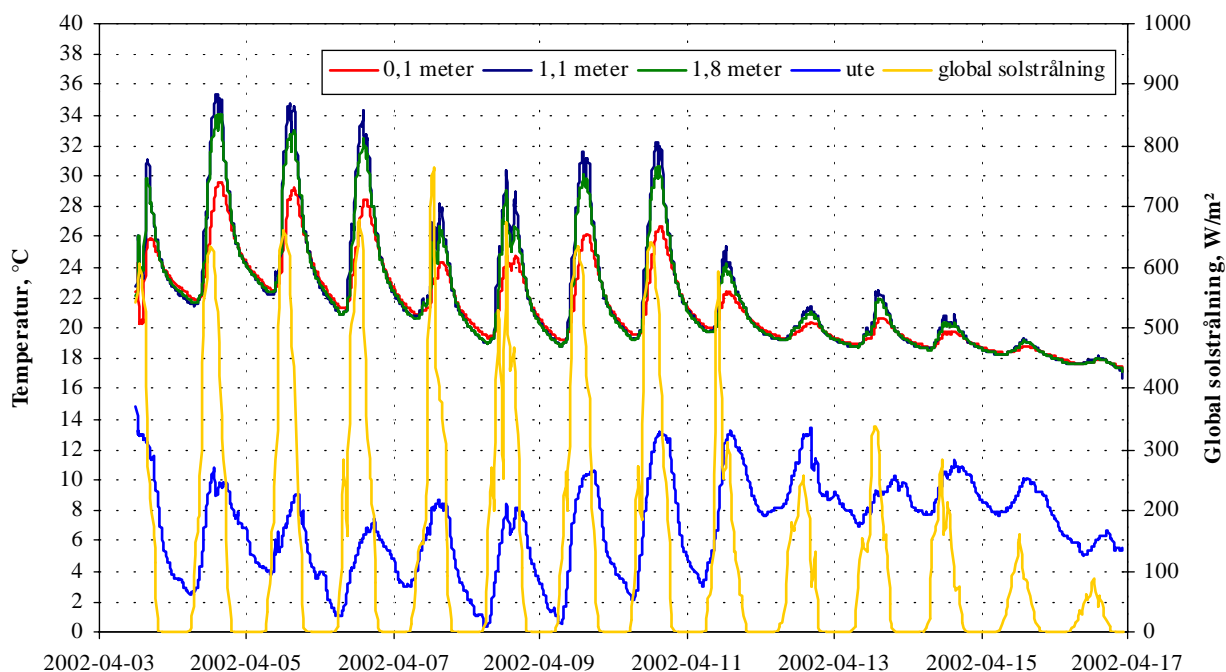
Figur 26 Temperatur på höjderna 0,1 meter, 1,1 meter och 1,8 meter har uppmätts i sovrum mot öster på ovanvåningen vid markeringar i figuren.

### 6.5.1 Uppmätta lufttemperaturer

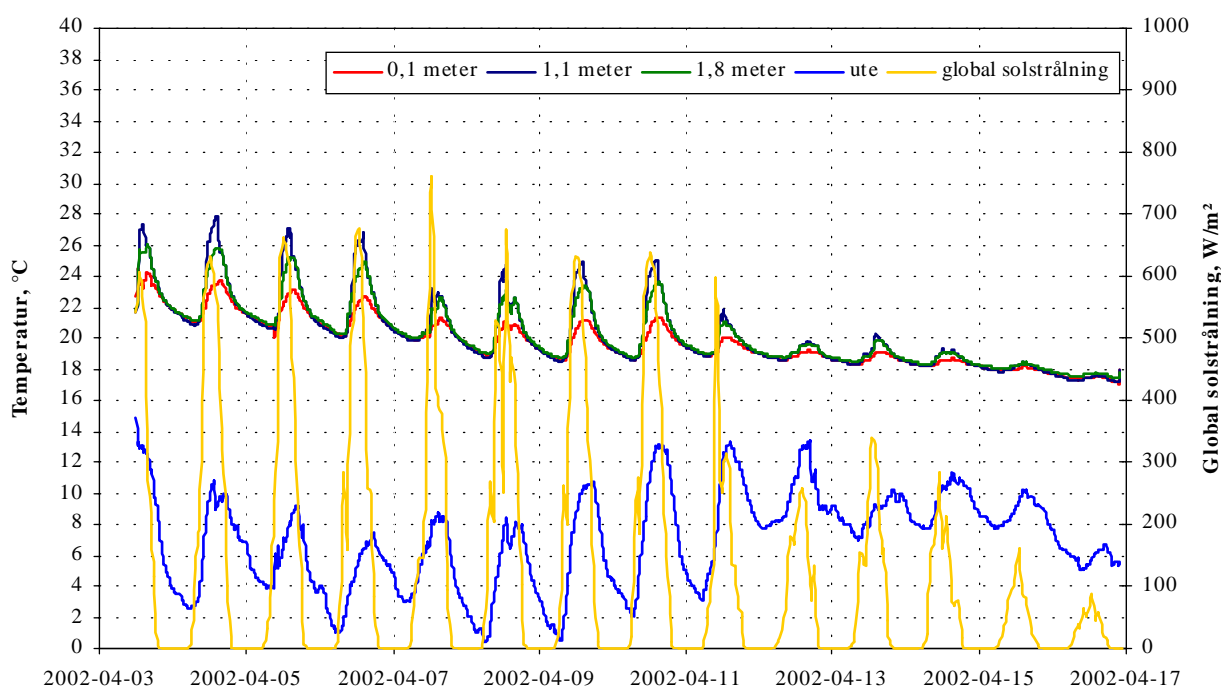
Uppmätta temperaturer på höjderna 0,1 meter, 1,1 meter och 1,8 meter redovisas nedan tillsammans med uppmätt utomhustemperatur samt global solstrålning uppmätt vid Heleneholmsverket i Malmö.



Figur 27 Lufttemperatur har uppmätts i sovrum mot öster framför fönster på höjderna 0,1 meter, 1,1 meter och 1,8 meter samt utomhus på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt på Heleneholmsverket i Malmö.

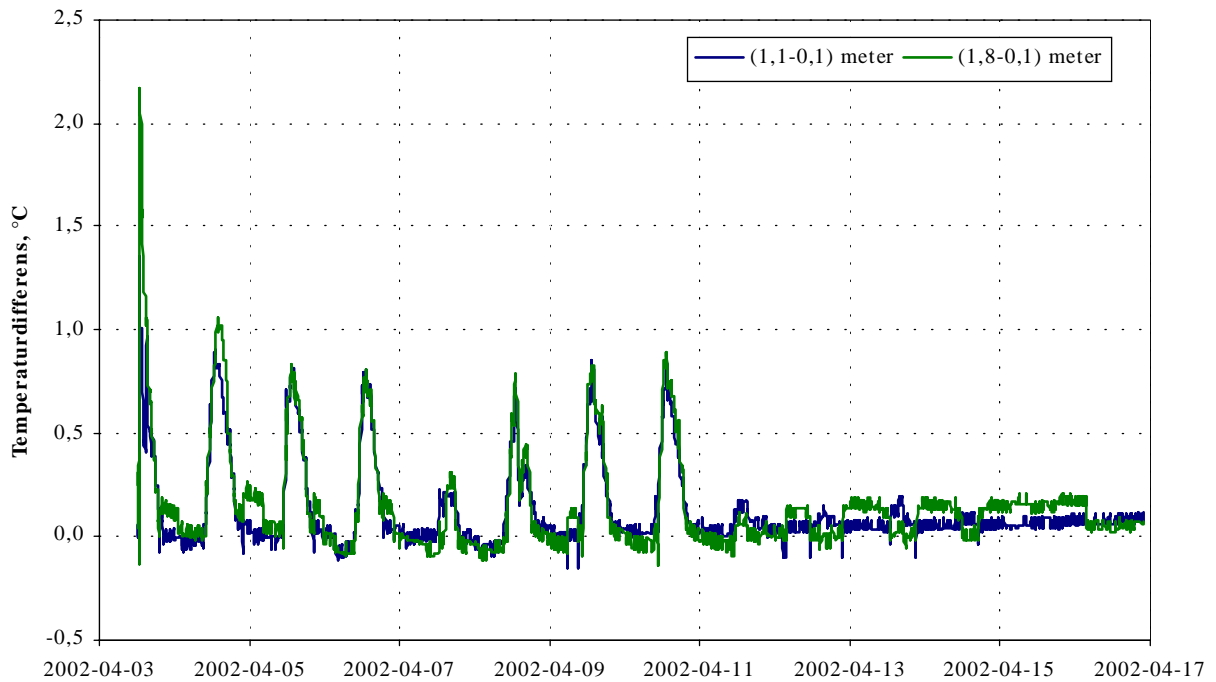


Figur 28 Lufttemperatur har uppmätts i sovrum mot öster vid norrvägg på höjderna 0,1 meter, 1,1 meter och 1,8 meter samt utomhus på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt på Heleneholmsverket i Malmö.

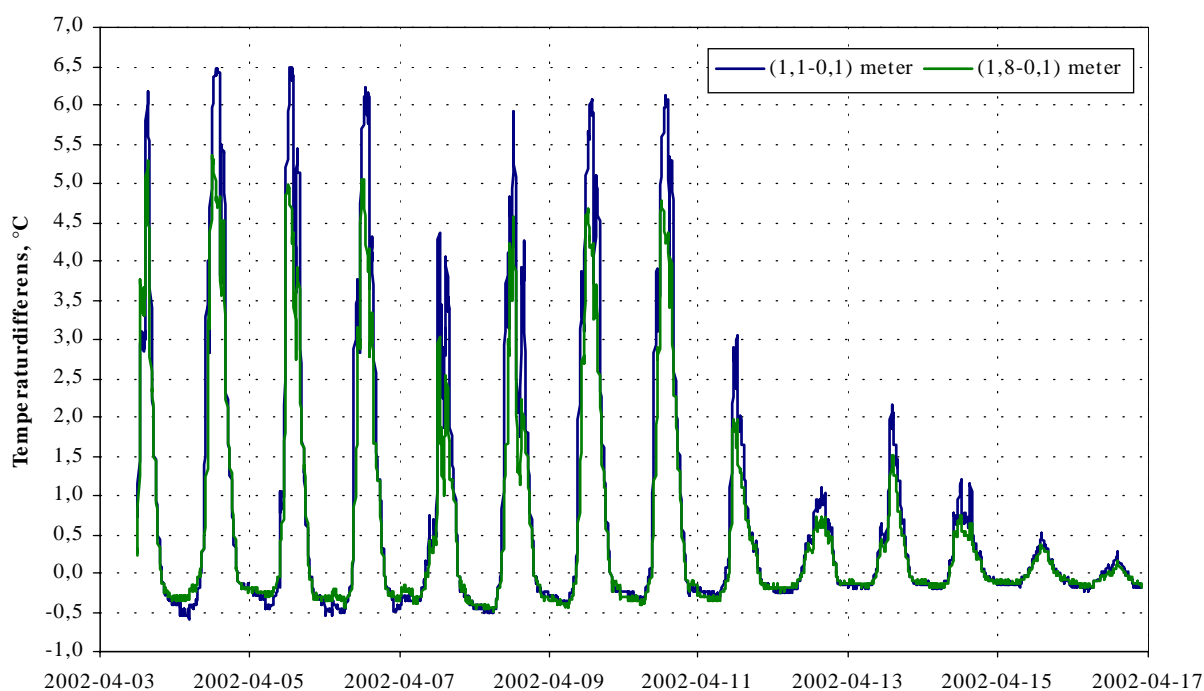


Figur 29 Lufttemperatur har uppmätts i vardagsrum på höjderna 0,1 meter, 1,1 meter och 1,8 meter samt utomhus på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt på Heleneholmsverket i Malmö.

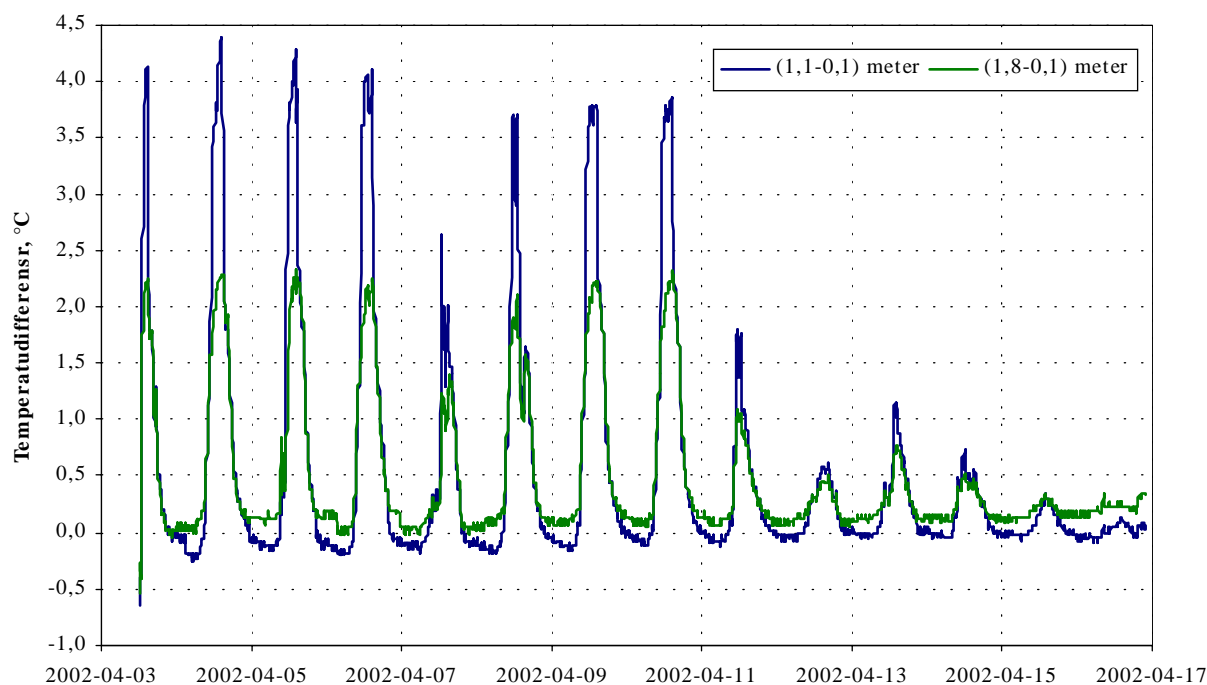
Differenser mellan uppmätta temperaturer på höjderna 0,1 och 1,1 meter respektive 0,1 och 1,8 meter redovisas i diagram nedan.



Figur 30 Temperaturdifferenser har beräknats utifrån uppmätta temperaturer framför fönster i sovrum i öster på höjderna 0,1 och 1,1 meter respektive 0,1 och 1,8 meter. Positivt värde anger att uppmätt temperatur på höjden 1,1 respektive 1,8 meter är högre än uppmätt temperatur på höjden 0,1 meter.



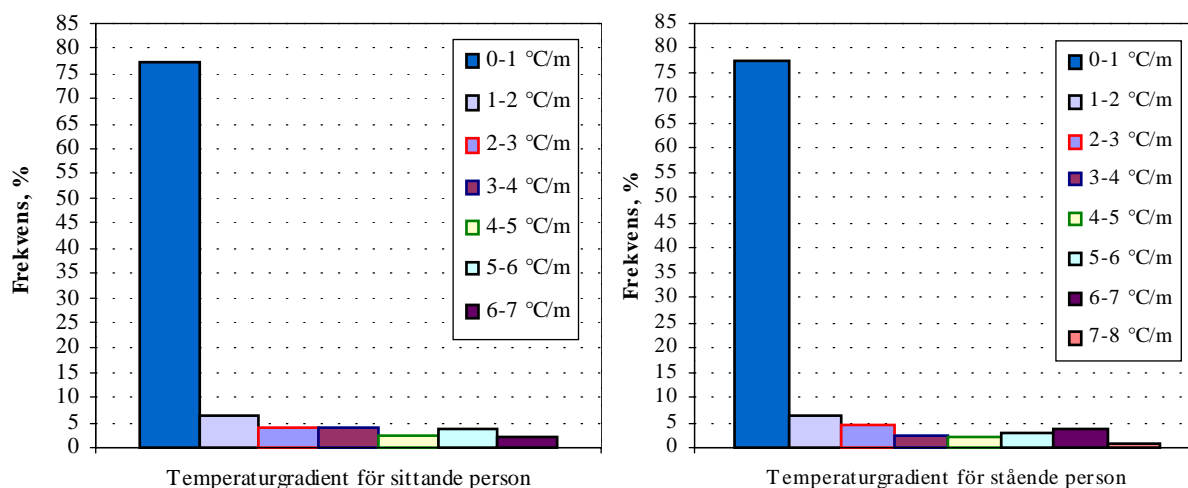
Figur 31 Temperaturdifferenser har beräknats utifrån uppmätta temperaturer vid vägg i sovrum i öster på höjderna 0,1 och 1,1 meter respektive 0,1 och 1,8 meter. Positivt värde anger att uppmätt temperatur på höjden 1,1 respektive 1,8 meter är högre än uppmätt temperatur på höjden 0,1 meter.



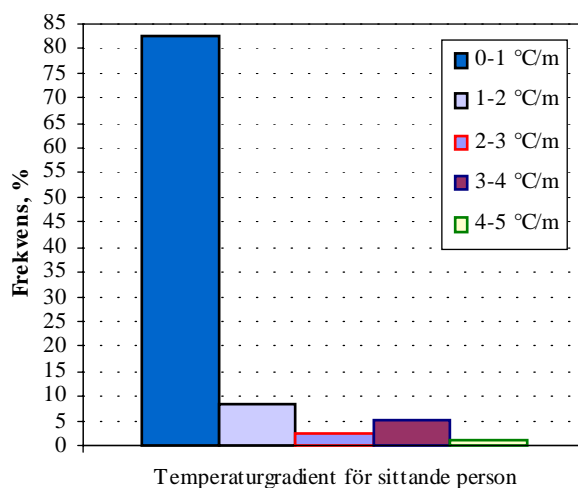
Figur 32 Temperaturdifferenser har beräknats utifrån uppmätta temperaturer i vardagsrum på höjderna 0,1 och 1,1 meter respektive 0,1 och 1,8 meter. Positivt värde anger att uppmätt temperatur på höjden 1,1 respektive 1,8 meter är högre än uppmätt temperatur på höjden 0,1 meter.

### 6.5.2 Analys

Temperaturgradient för sittande person beräknas som temperaturdifferensen per meter mellan temperaturer uppmätta höjderna 0,1 och 1,1 meter och för stående person som temperaturdifferensen per meter mellan temperaturer uppmätta på höjderna 0,1 och 1,8 meter. Enligt standarden ISO 7730 bör den vertikala temperaturgradienten vara mindre än  $3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Vid ett flertal tillfällen har högre temperaturgradient registrerats vilket redovisas i figurer nedan. Vid norrvägg i sovrum mot öster har temperaturgradient större än  $3^{\circ}\text{C}/\text{m}$  registrerats under 12 % av mättiden. I vardagsrum har temperaturgradient större än  $3^{\circ}\text{C}/\text{m}$  mellan höjderna 0,1 och 1,1 meter registrerats 6 % av mättiden. Vid fönster i sovrum mot öster har inga temperaturgradientser större än  $3^{\circ}\text{C}$  registrerats.



Figur 33 Diagrammen visar frekvensen i procent för olika temperaturgradientser för sittande respektive stående person vid norrvägg i sovrum i öster.



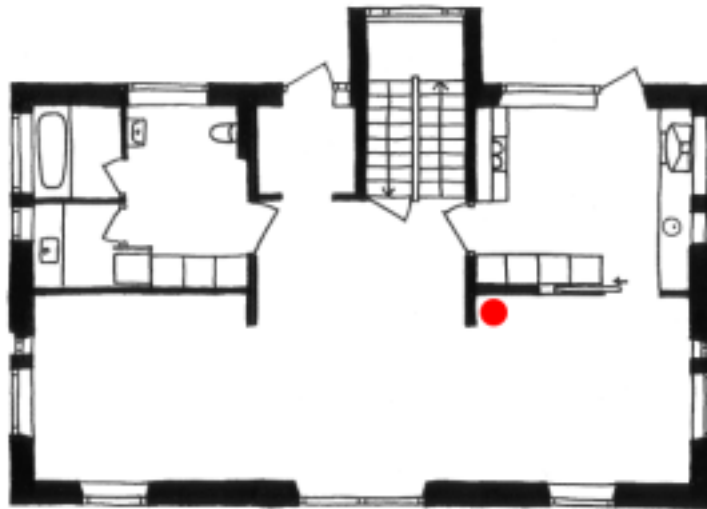
Figur 34 Diagrammet visar frekvensen i procent för olika temperaturgradientser för sittande person i vardagsrum.



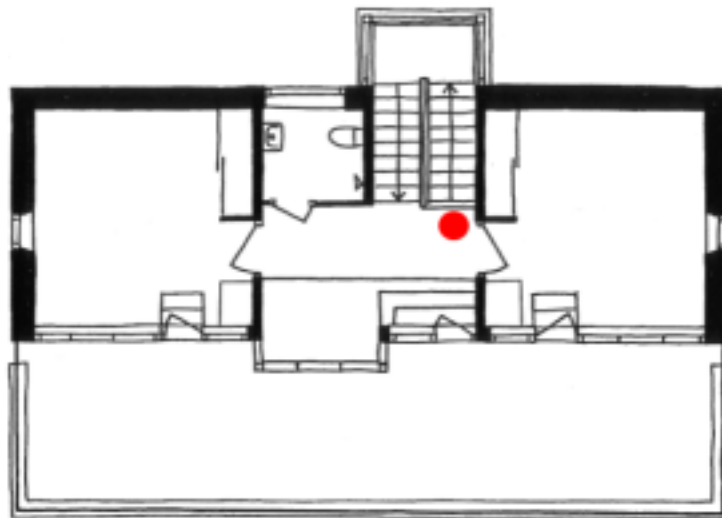
Mätperioden bestod av många soliga dagar. De yttre manuella solskydden användes ej då huset vid mättillfället var obebott. Dock var inre solskydd på ovanvåning neddragna. Uppmätta temperaturer vid vägg i sovrum mot öster bedöms vara alltför höga för att ge en god termisk komfort. Om yttre solskydd använts skulle man troligtvis kunna få ett bättre termiskt inomhusklimat. Då huset har stora glasareor i söderläge, framför allt på ovanvåning, vore automatisk reglering av de yttre solskydden positivt för att skapa en god inomhusmiljö.

## 6.6 RUMSTEMPERATUR

Inomhustemperatur har mätts momentant varje timme mellan 2002-11-11 och 2003-05-30 med hjälp av temperaturgivare, installerade i huset för forskningsprojektet 'Vetenskaplig utvärdering av två lågenergihus uppförda på Bo01 av LB-Hus AB och Yxhult AB' på Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH.



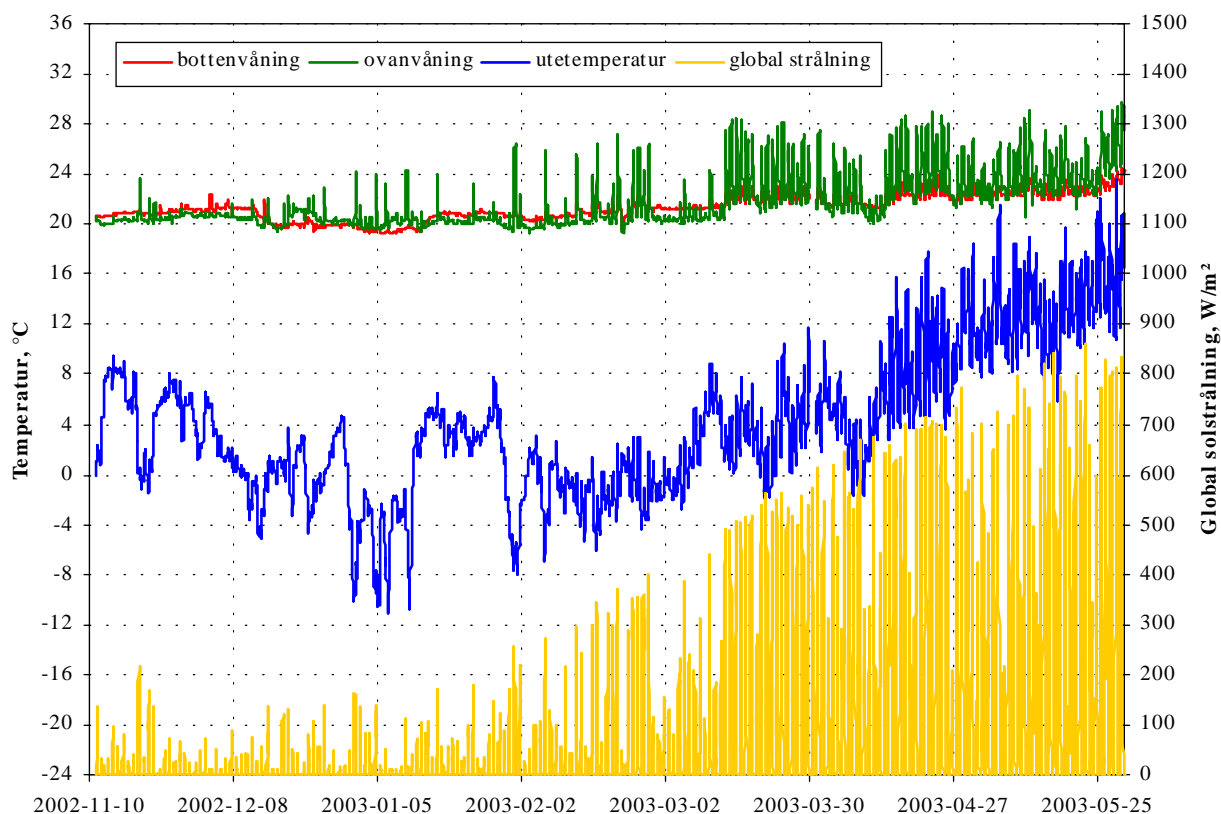
Figur 35 Rumstemperatur har uppmätts på bottenvåning vid markering i figur.



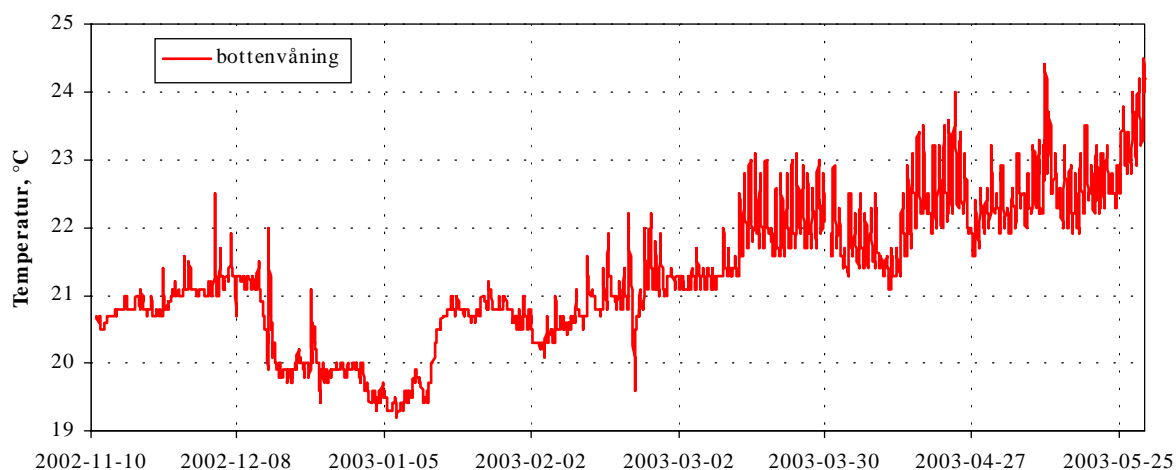
Figur 36 Rumstemperatur har uppmätts på ovanvåning vid markering i figur.

### 6.6.1 Uppmätta lufttemperaturer

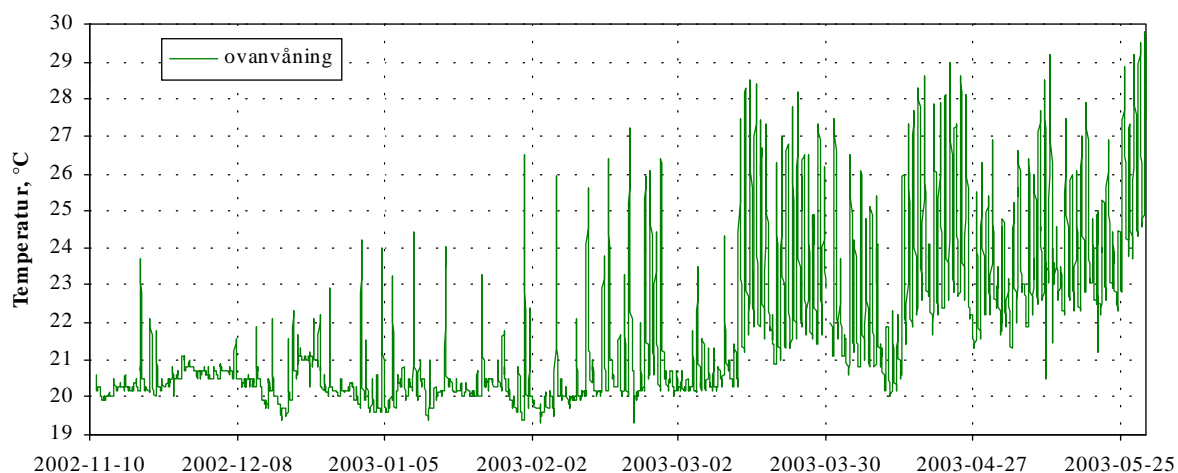
Nedan redovisas uppmätta inomhustemperaturer.



Figur 37 Lufttemperaturer har uppmätts på botten- och ovanvåning samt utomhus. Global solstrålning är uppmätt på Heleneholmsverket i Malmö.



Figur 38 Lufttemperatur har uppmätts på bottenvåning.



Figur 39 Lufttemperatur har uppmätts på ovanvåning.

### 6.6.2 Analys

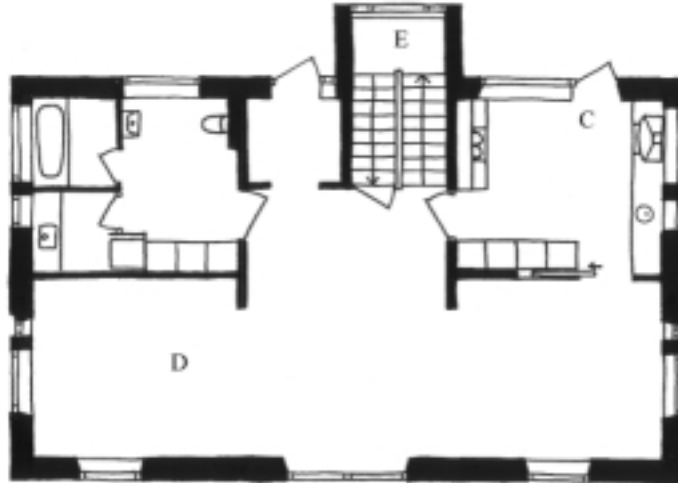
Enligt standarden ISO 7730 bör inomhustemperaturen vara 20-24°C. Temperaturen på bottenvåningen understiger 20°C under stor del av december och januari. Temperaturen på ovanvåningen understiger 20°C vid ett flertal tillfällen men framför allt överstiger den 24°C under mycket stor del av mätperioden.

Kraftiga övertemperaturer är uppmätta på ovanvåning i Yxhulthuset. Vid besök i maj 2003 uppmärksammades att det fanns värme i radiatorerna trots att lufttemperaturen inomhus på ovanvåning var drygt 24°C. Under mätperioden har ej utvändiga solskydd använts.

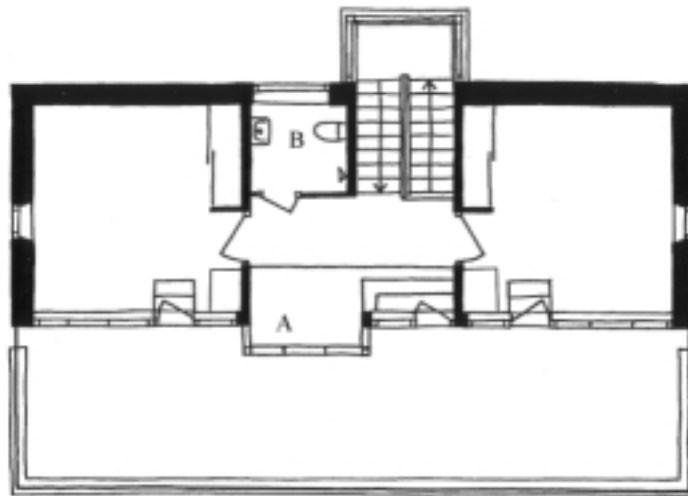
När de utvändiga solskydden ej används aktivt blir ovanvåningen mycket känslig för solinstrålning och övertemperaturer uppkommer ofta.

## 6.7 LUFTHASTIGHET I VISTELSEZONEN

Mätning av lufthastigheter har utförts i vistelsezon i kök, vardagsrum, trapphus, WC/dusch på ovanvåning och upphöjd del av hall på ovanvåning 2002-05-02. Mätinstrumentet placerades på olika höjder mellan 40 och 85 centimeter. I WC/dusch-utrymme har mätning skett dels med öppen, dels med stängd dörr. Mät noggrannheten är  $\pm 0,006$  m/s.



Figur 40 Lufthastigheter har uppmätts i vistelsezon på bottenvåning på platser markerade med bokstäver i figuren (C, D och E).



Figur 41 Lufthastigheter har uppmätts i vistelsezon på ovanvåning på platser markerade med bokstäver i figuren (A och B).

### 6.7.1 Uppmätta lufthastigheter i vistelsezon

Tabell 9 Lufthastigheter har uppmätts på olika höjder på platser i vistelsezon enligt figurer på föregående sida.

placering	A	B	B	C	D	E
höjd, cm	45	40	40	50	45	85
hastighet, m/s	0,04-0,06	0,02-0,05	0,04-0,09	0,03	0,02	0,02
kommentar		öppen dörr	stängd dörr			

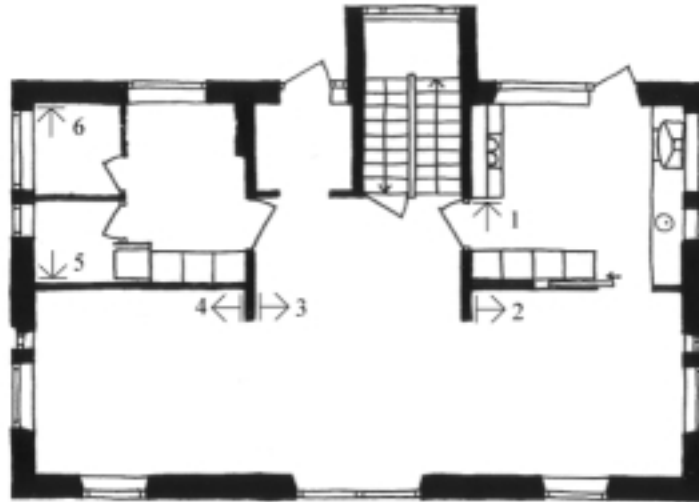
### 6.7.2 Analys

Enligt BBR ska lufthastigheten i vistelsezonen vara mindre än 0,15 m/s. Uppmätta lufthastigheter är mellan 0,02 och 0,09 m/s vilket innebär att kravet är uppfyllt. Täthetsprovning utförd i november 2001 visar att huset är mycket tätt vilket även uppmätta lufthastigheter tyder på.

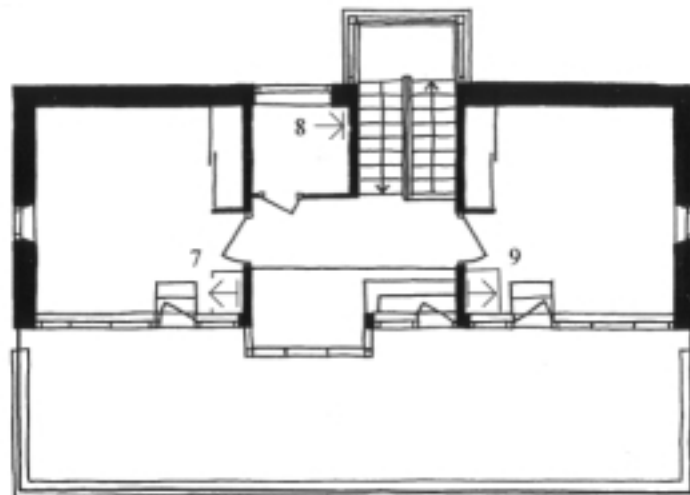
Skillnad i uppmätt lufthastighet för stängd respektive öppen dörr tros kunna bero på att samma flöde passerar genom olika areor. Då dörren är stängd tvingas inströmmande luft passera genom dörrspringor som har en mycket liten area jämfört med den relativt stora area som en öppen dörr utgör.

## 6.8 TILL- OCH FRÅNLUFTFLÖDE

Luftflöden har mätts med en luftflödesstos på alla till- och frånluftdon i huset 2003-05-02. Minst två mätningar har genomförts på varje don. Två olika mätprogram har använts vid mätning: "average flow" (AF) och "back pressure" (BP). Vid mätning på tilluftdon har BP-programmet använts och vid mätning på frånluftdon har både AF- och BP-programmet använts. Mät noggrannheten är  $\pm 1$  l/s.



Figur 42 Till- och frånluftdon på bottenvåning är placerade enligt siffermarkeringar i figur (1, 2, 3, 4, 5 och 6).



Figur 43 Till- och frånluftdon på ovanvåning är placerade enligt siffermarkeringar i figur (7,8 och 9).

### 6.8.1 Uppmätta till- och frånluftflöden

Tabell 10 Tilluft- och frånluftflöden har mätts genom olika mätmetoder med en stos. Uppmätt flöde har medelvärdeberäknats och jämförts med projekterade värden. Differens mellan medelflöde och projekterat flöde samt kvot mellan medelflöde och projekterat flöde har beräknats.

tilluftdon	mätning	mätmetod	flöde, l/s uppmätt	flöde, l/s medel	flöde, l/s projekterat	flöde, l/s differens	flöde, - kvot
2	1	BP	12,3	11,7	15,0	-3,3	0,78
	2	BP	11,1				
3	1	BP	7,2	6,7	10,0	-3,3	0,67
	2	BP	6,2				
4	1	BP	6,0	6,5	10,0	-3,6	0,65
	2	BP	6,9				
7	1	BP	6,8	6,7	10,0	-3,3	0,67
	2	BP	6,6				
9	1	BP	7,2	7,4	10,0	-2,7	0,74
	2	BP	7,5				

frånluftdon	mätning	mätmetod	flöde, l/s uppmätt	flöde, l/s medel	flöde, l/s projekterat	flöde, l/s differens	flöde, - kvot
1	1	AF	12,8	12,9	10,0	2,9	1,29
	2	AF	12,9				
5	1	AF	7,1	7,0	5,0	2,0	1,40
	2	AF	6,9				
6	1	BP	26,9	26,1	20,0	6,1	1,30
	2	BP	25,4				
	3	AF	25,8				
	4	AF	26,1				
8	1	BP	32,8	31,4	20,0	11,4	1,57
	2	BP	33,4				
	3	AF	29,3				
	4	AF	29,9				

### 6.8.2 Analys

Uppmätta flöden skiljer sig kraftigt från de projekterade flödena. Tilluftflödet är lägre än de projekterade medan frånluftflödet är större. Tilluftflödena i sovrum uppfyller ej BBR:s krav förutsatt att all tilluft tillförs via ventilationssystemet. Frånluftflödena uppfyller BBR:s krav med god marginal.

Utifrån våra mätningar fungerar inte ventilationssystemet i enlighet med projektering. Skillnaden mellan projekterade flöden och uppmätta flöden av sådan storlek att resultatet inte kan bero på mätnoggrannheten. Ventilationssystemet är konstruerat för att till- och frånluftflöden ska vara lika stora. När frånluftflödet är större än tilluftflödet kommer ett undertryck att uppstå i huset. Det flöde som utgörs av skillnaden mellan till- och frånluft kommer att läcka in genom otätheter. Luft kan läcka in antingen utifrån eller från grunden. Om luften som läcker in har samma temperatur som uteluften kommer ett ökat uppvärmningsbehov uppstå under uppvärmningssäsongen.

Enligt täthetsprovning gjord i november 2001 är huset mycket tätt. Därför borde det vara omöjligt för en större mängd luft att läcka in genom klimatskalet. Eventuellt kan luft läcka in genom någon otäthet som uppkommit efter täthetsprovning.

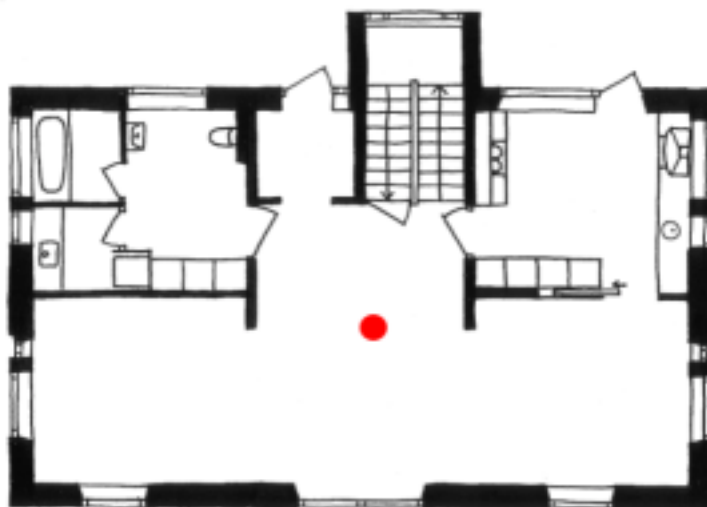


De uppmätta tilluftflödena är cirka 30 % lägre än de projekterade och de uppmätta frånluftflödena är cirka 40 % större än de projekterade. Förhållandet mellan de uppmätta flödena överensstämmer relativt väl med förhållandet mellan de projekterade flödena. En orsak till ovanstående kan vara att varvtal på tilluftfläkt sänkts medan varvtal på frånluftfläkt höjts. Vidare undersökning bör göras för att utreda orsakerna till de uppmätta flödena.

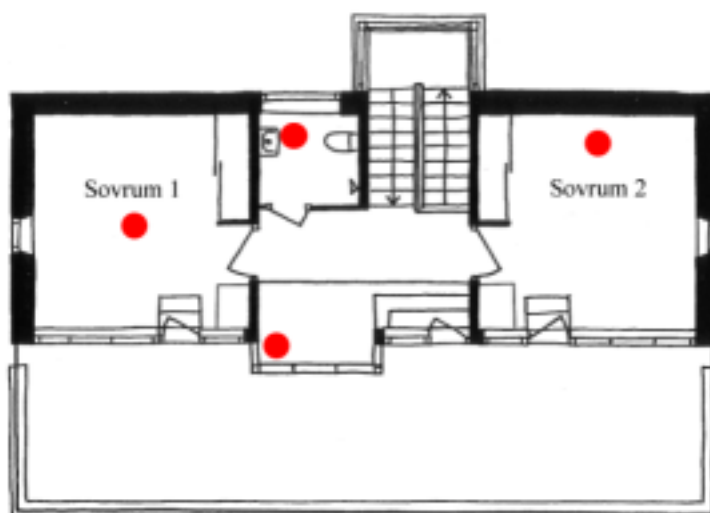
## 6.9 SPÅRGASUNDERSÖKNING

Koncentrationer av gasen svavelhexafluorid har mätts under perioden 2002-04-03 - 2002-04-19 med hjälp av spårgasapparat.

Mätning av gaskoncentration har utförts i fem olika utrymmen; de båda sovrummen, hall och hygienutrymme på ovanvåning samt i vardagsrum på bottenvåning. Slangarna placerades på sex olika platser; två stycken i sovrum i öster och en slang vardera i WC/dusch, sovrum i väster och hall på ovanvåningen och i vardagsrum på bottenvåningen. En av slangarna i sovrum mot öster användes för att styra hur mycket gas som skulle doseras i rummet för att hålla gaskoncentrationen konstant. Övriga slangar användes för att mäta gaskoncentrationen i respektive utrymme. I sovrum i öster placerades även en slang genom vilken spårgasen doserades.



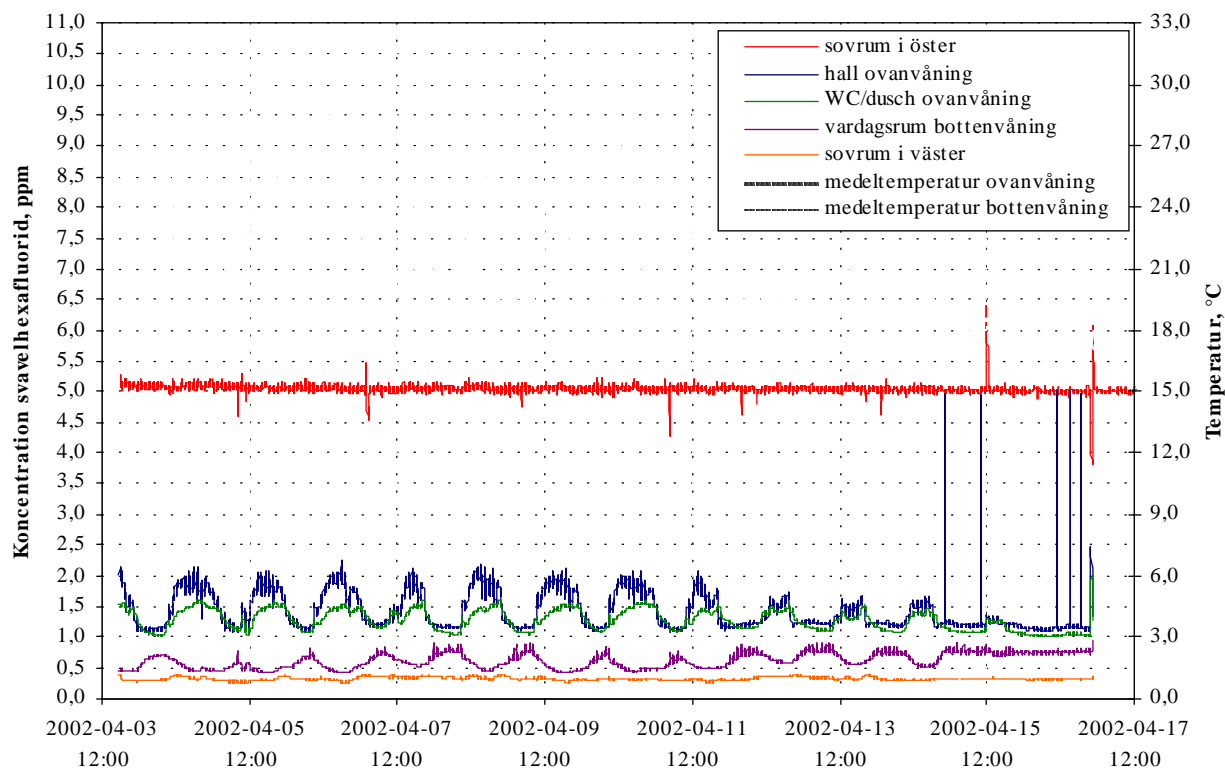
Figur 44 Gaskoncentrationer mättes på bottenvåning vid markering i figur.



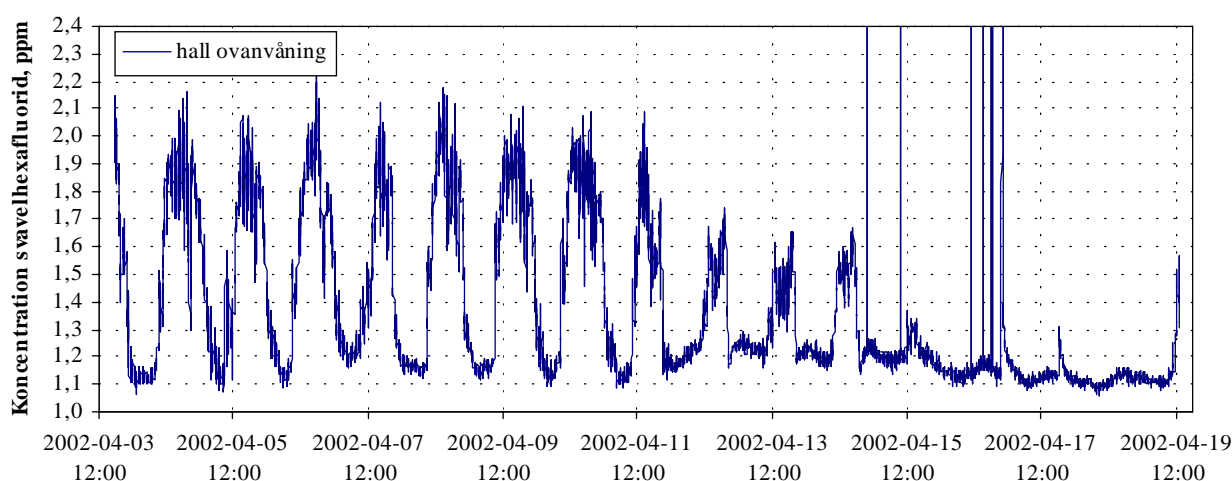
Figur 45 Gaskoncentrationer mättes på ovanvåning vid markeringar i figur.

### 6.9.1 Uppmätta gaskoncentrationer

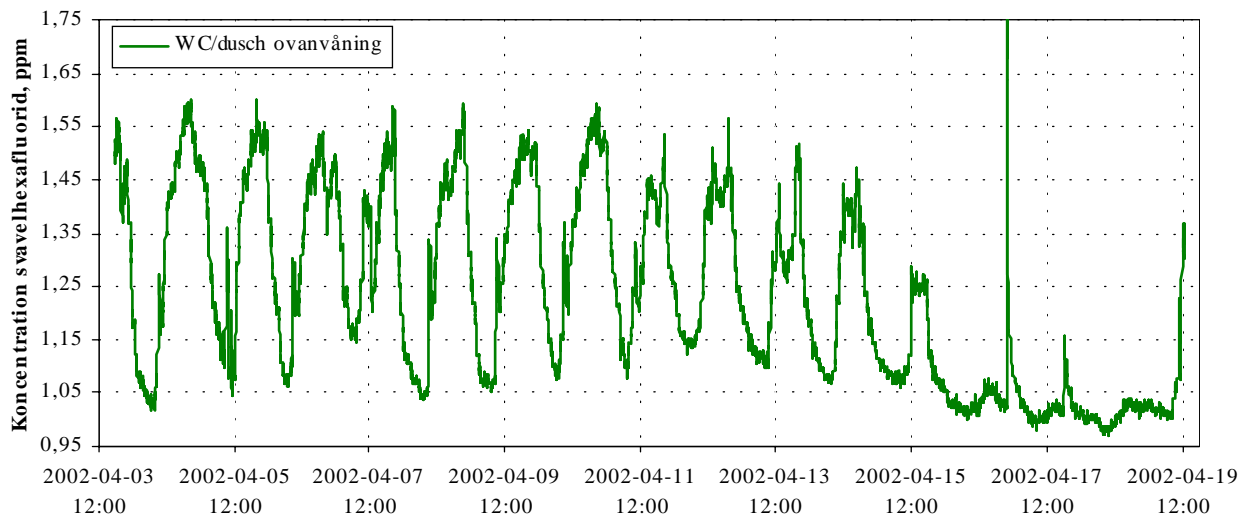
De uppmätta gaskoncentrationerna i de olika utrymmena redovisas först gemensamt i ett diagram tillsammans med medeltemperaturer på ovanvåning och bottenvåning. Därefter redovisas gaskoncentrationer för varje utrymme i var sitt diagram.



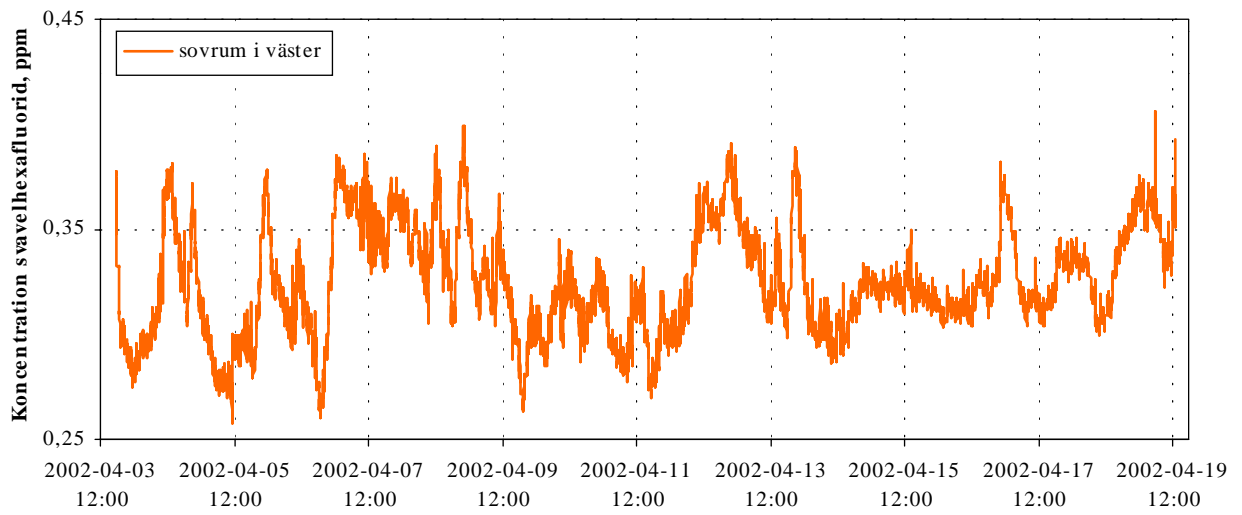
Figur 46 Gaskoncentrationer har mätts på olika platser på både ovan- och bottenvåning. Medeltemperaturer har beräknats för ovan- och bottenvåning.



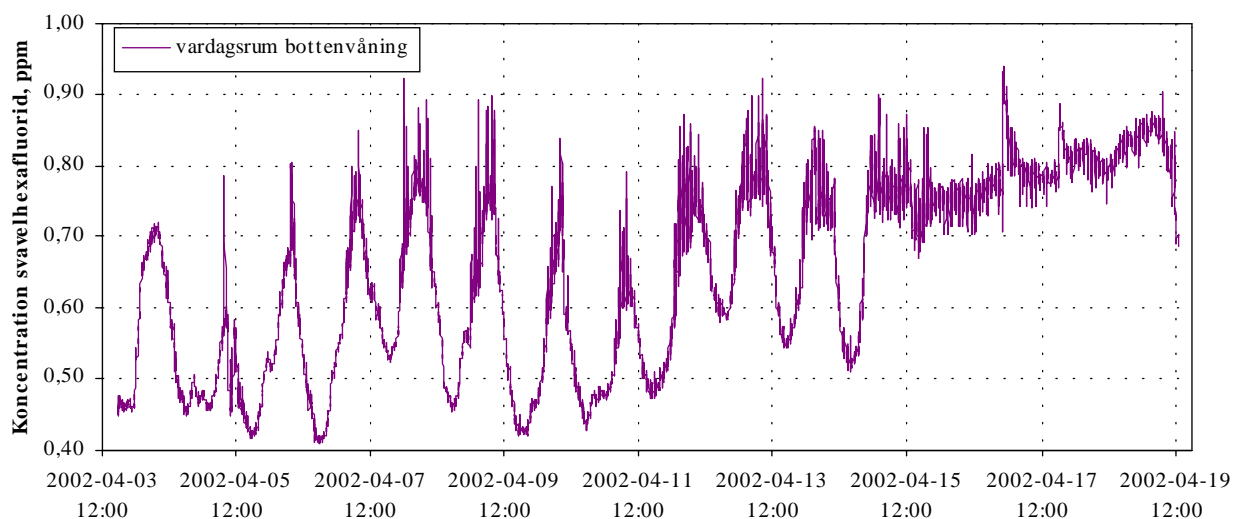
Figur 47 Koncentrationen av svavelhexafluorid har mätts i hall på ovanvåning.



Figur 48 Koncentrationen av svavelhexafluorid har mätts i WC på ovanvåning.



Figur 49 Koncentrationen av svavelhexafluorid har mätts i sovrum i väster.



Figur 50 Koncentrationen av svavelhexafluorid har mätts i vardagsrum på bottenvåning.

### 6.9.2 Analys av uppmätta gaskoncentrationer

Då temperaturen stiger inomhus ökar koncentrationen av gas i WC/dusch och hall på ovanvåningen samtidigt som koncentrationen sjunker i vardagsrum på bottenvåningen. Omvänt förhållande råder då temperaturen inomhus sjunker. Gaskoncentrationen i sovrum 1 påverkas inte av temperaturförändringen. Förändringen av gaskoncentrationen mellan våningsplanen antas bero på den termiska drivkraften.

Under mätperioden har alla dörrar i huset varit stängda. Trots det har en viss koncentration av svavelhexafluorid uppmätts i sovrum mot väster. Det finns två tänkbara möjligheter till hur gasen har kunnat komma in i rummet. Antingen är tilluften förorenad eller finns dubbelriktat flöde mellan sovrum och hall. Drivkraft för det omvända flödet skulle vara temperaturskillnad mellan rummen. En kombination av kontaminerad tilluft och dubbelriktat flöde mellan sovrum mot väster och hall skulle också kunna vara ett tänkbart alternativ.

Genom att ansätta en luftflödesbalans med okänd tilluftskoncentration, kända till- och frånluftflöden och känd gaskoncentration i de olika utrymmena kan man få fram storleken på det dubbelriktade flödet samt gaskoncentrationen i tilluften. För att åstadkomma dubbelriktat flöde måste en viss temperaturskillnad finnas. Den krävda temperaturskillnaden kan beräknas då kännedom om areor och flöden finns. För att driva de aktuella luftflödena genom dörrspringor under och ovan dörr behövs en temperaturskillnad mellan rummen för att skapa ett ökat tryck på den kalla sidan som kan driva luftflödet genom dörrspringorna.

Genom att ansätta att tryckdifferensen på grund av temperaturskillnad mellan rummen är lika stor som summan av trycken som uppkommer på grund av ett visst luftflöde genom dörrspringorna (Nevander och Elmarsson, 2000) kan temperaturskillnaden beräknas. Genom den ansatta luftflödesbalansen och kännedom om dörrspringorna storlek fås att en temperaturskillnad på 14°C krävs för att driva igenom flödet.

Då en temperaturskillnad mellan de två angränsande rummen på nästan 14°C bedöms som orimlig måste tilluften vara kontaminerad för att den uppmätta koncentrationen i sovrum mot väster ska vara möjlig. Vid okulär besiktning av kombidon konstaterades att kortslutning förelåg. Kombidonets konstruktion gör att avluft sugts in i tilluften.



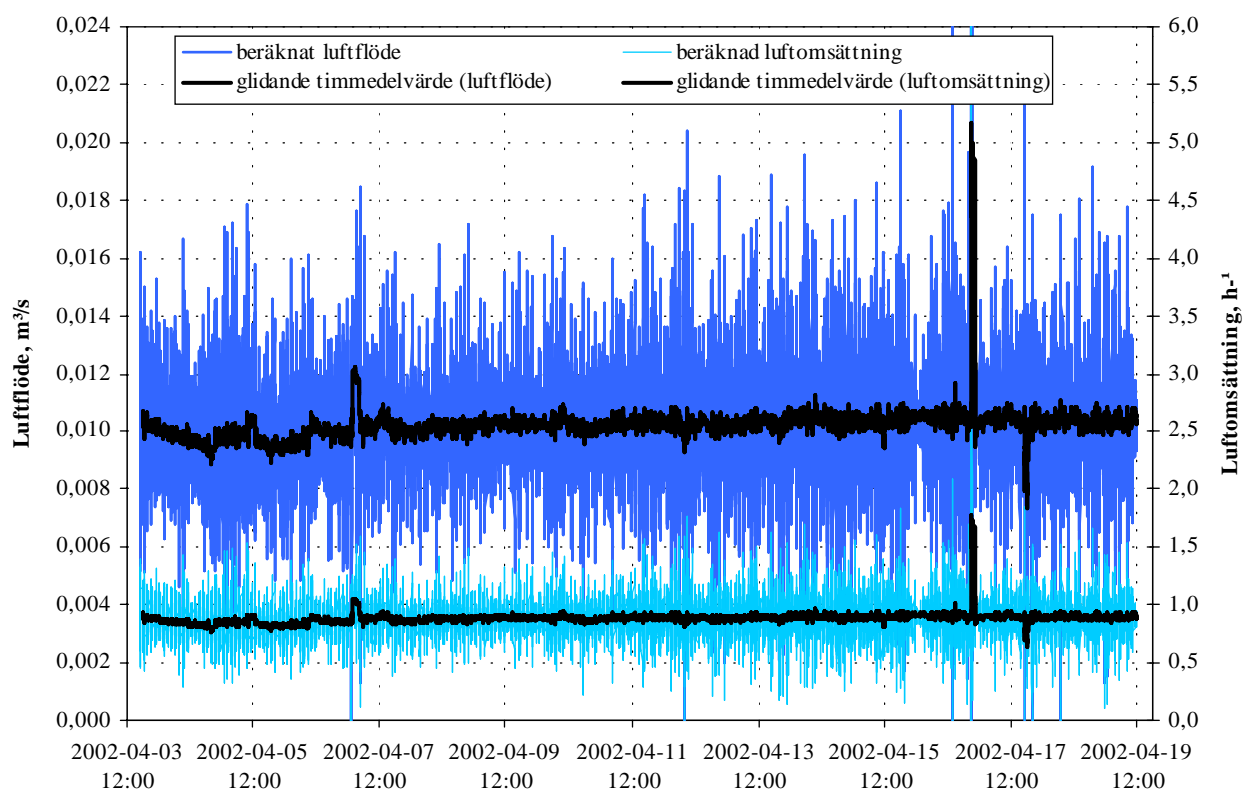
Figur 51 Ovan visas två bilder över utluftdon och avluftdon. På respektive bild är utluftdonet till vänster och avluftdonet till höger.

Även det faktum att gaskoncentrationen i sovrum 1 ej påverkas av gaskoncentrationen i hallen på ovanvåningen leder till slutsatsen att inget dubbelriktat flöde genom dörrspringor förekommer. Den uppmätta gaskoncentrationen i sovrum 1 antas bero på kortslutning mellan avluft och utluft.

### 6.9.3 Beräknat luftflöde och luftomsättning

Luftflödet i ett rum eller i en byggnad kan bestämmas utifrån uppmätta koncentrationer och tillförd mängd spårgas med hjälp av kontinuitetsekvationen (Grieve, 1991). På grund av konstaterad kortslutning ansätts i beräkningen gaskoncentrationen i tilluften till samma värde som den uppmätta koncentrationen i sovrum mot väster. Med kännedom om luftflöde och volym kan luftomsättning beräknas.

Nedan redovisas beräknat luftflöde och luftomsättning i sovrum i öster.



Figur 52 Luftflöde i sovrum i öster har beräknats utifrån uppmätta gaskoncentrationer. Luftomsättning i sovrum i öster har beräknats utifrån luftflödet och rummets volym. Glidande timmedelvärde (enligt Microsoft Excel™) har beräknats för både luftflöde och luftomsättning.

### 6.9.4 Analys av beräknat luftflöde och luftomsättning

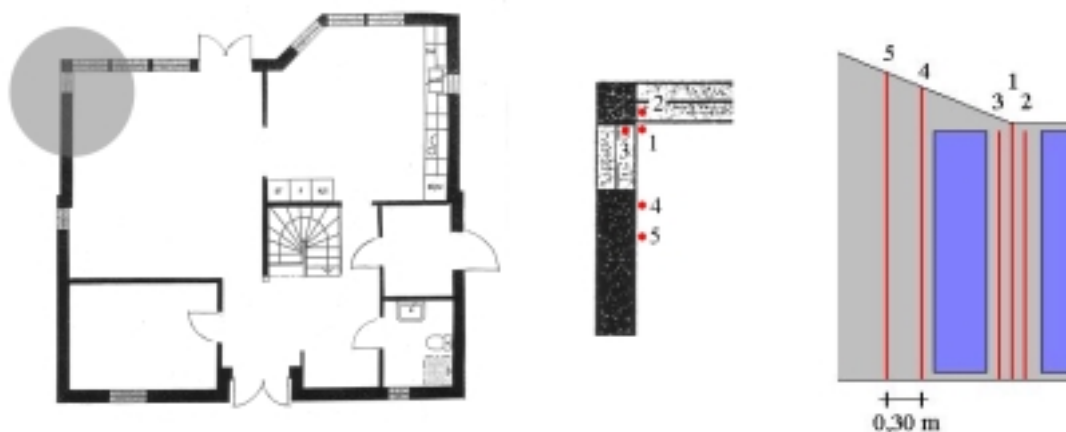
Enligt BBR ska tilluftflödet i rum eller del av rum för sömn och vila vara 4 l/s per sovplats. Projekterat flöde för sovrum i öster är 10 l/s vilket ger en luftomsättning på  $0,87 \text{ h}^{-1}$ . Beräknat flöde pendlar kring 10 l/s ( $0,010 \text{ m}^3/\text{s}$  i figur ovan) vilket överensstämmer med projekterat flöde. Luftomsättningen ligger kring  $0,87 \text{ h}^{-1}$ . Beräknat luftflöde överensstämmer med projekterat flöde och följer BBR:s rekommendationer.

## 7 MÄTRESULTAT MED ANALYS AVSEENDE LB-HUSET

I kapitlet redovisas mätresultat av utförda mätningar, beräkningar baserade på uppmätta data, jämförelse med krav enligt BBR och ISO 7730 samt analys. Klimatdata för mätperioden redovisas i bilaga 2.

### 7.1 YTTEMPERATUR - VÄGG

Väggtemperaturer har uppmäts i vardagsrum vid fem olika tillfällen i maj 2002 (2/5, 7/5, 14/5, 16/5, 21/5). För mätpunkter på höjden 0,00 meter över golv har emissionstal 0,94 använts. För övriga mätpunkter har emissionstal 0,93 använts. Mät noggrannheten är  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

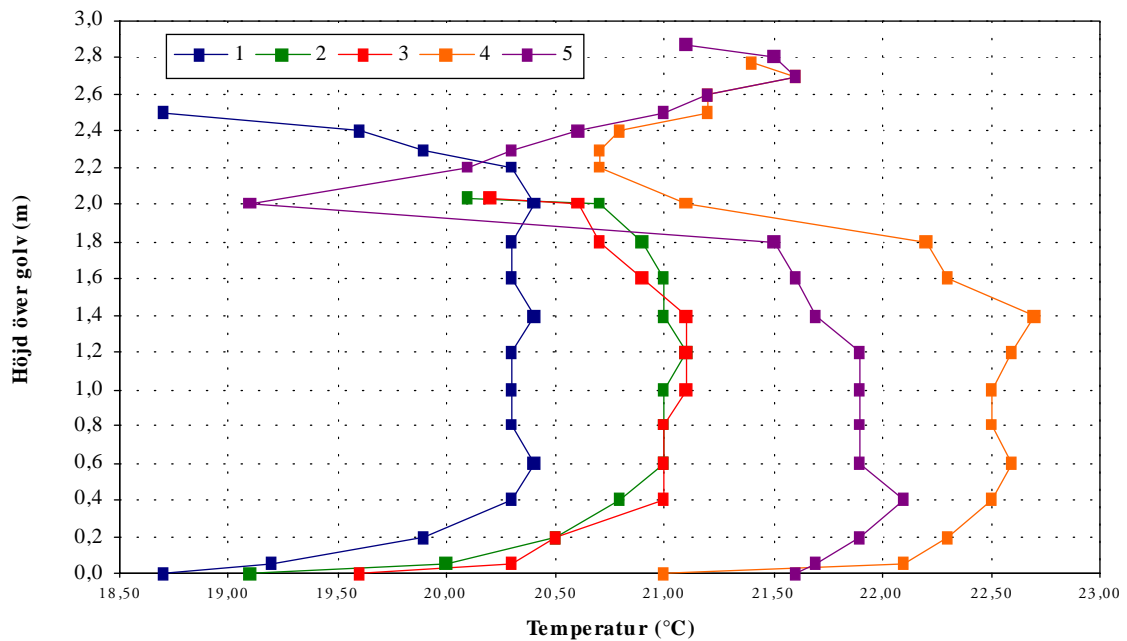


Figur 53 Temperatur på vägg i vardagsrum mättes i anslutning till fönster i hörn i nordväst enligt röda markeringar i figuren. Temperaturer uppmättes längs med fem linjer i vertikal led från anslutning mellan golv och vägg upp till anslutning mellan vägg och tak.

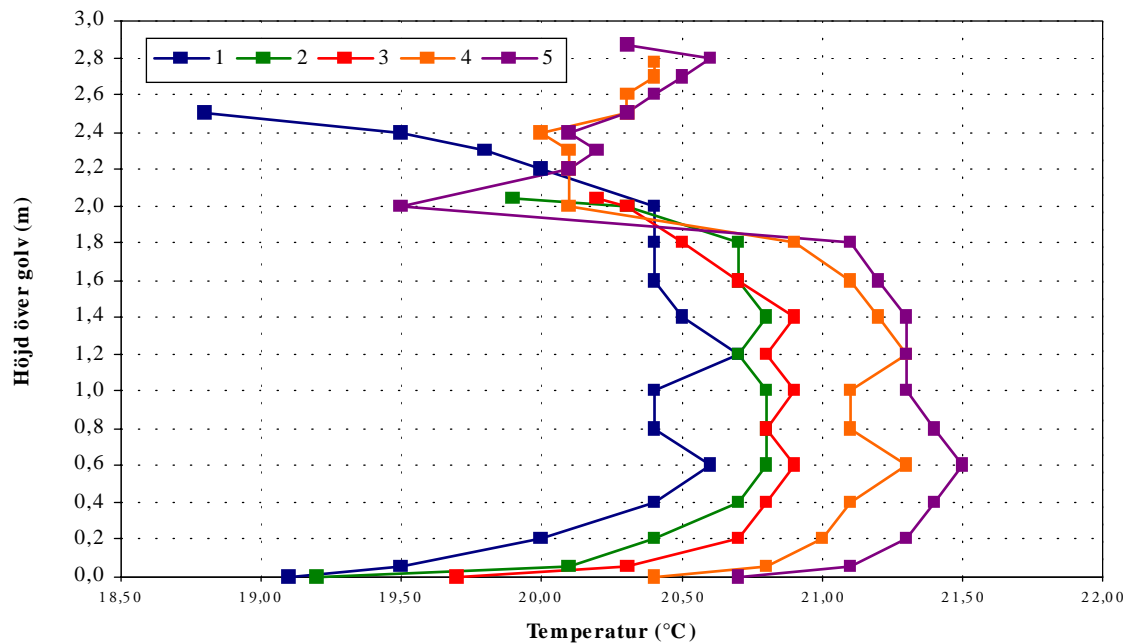


### 7.1.1 Uppmätta yttemperaturer på vägg

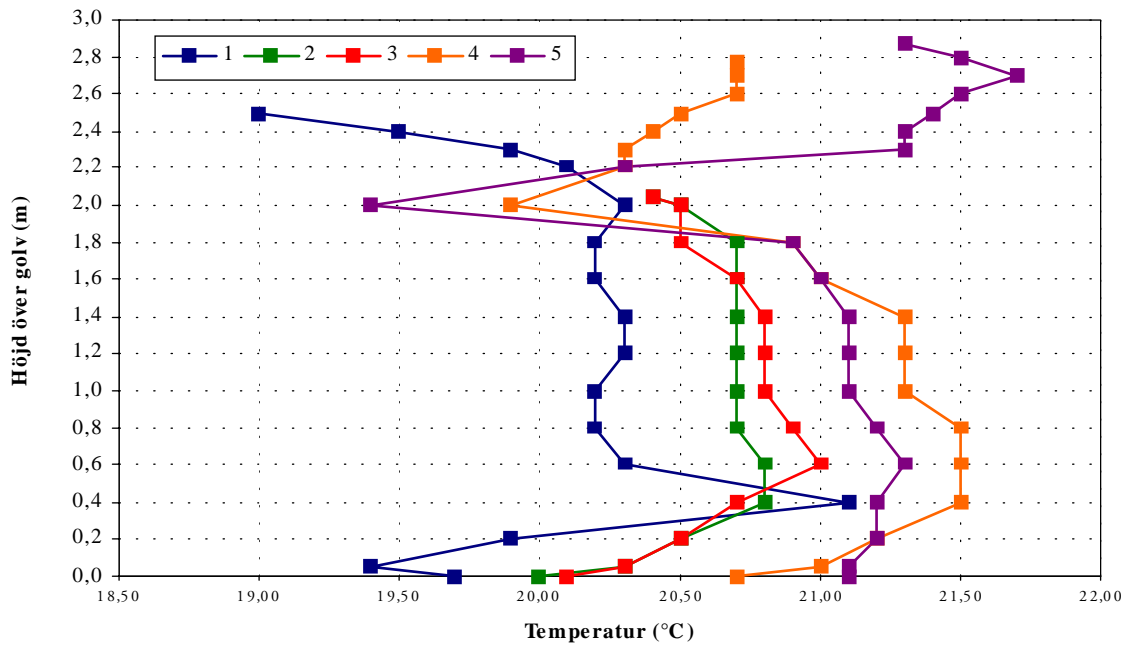
Nedan redovisas uppmätta temperaturer i de olika mätpunkterna.



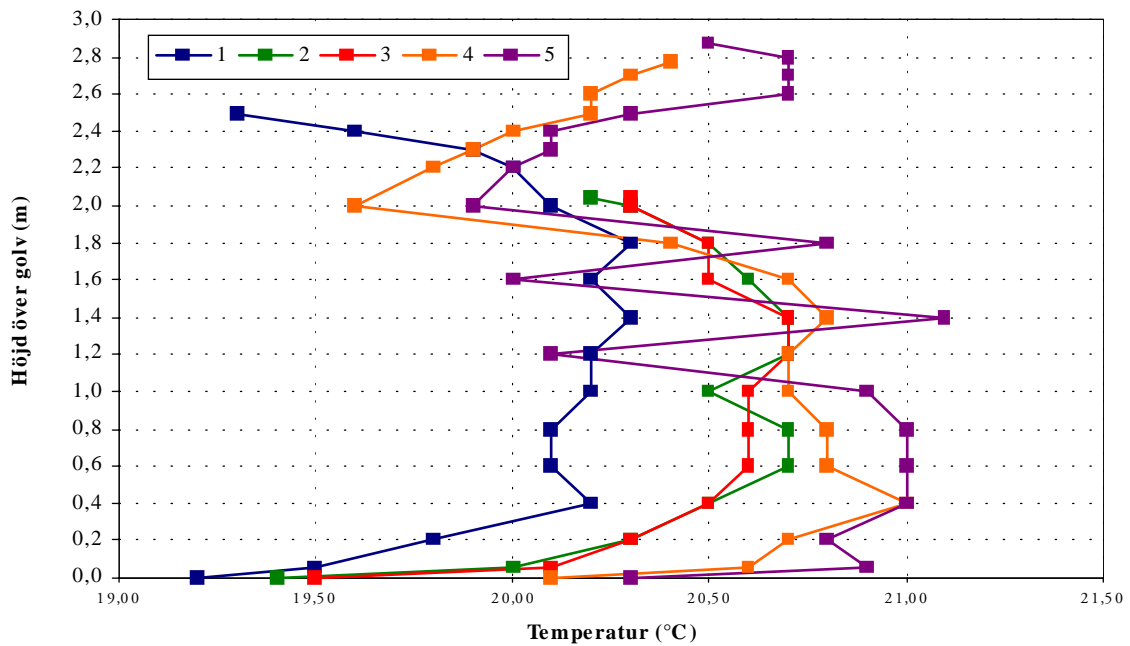
Figur 54 Diagrammet visar väggtemperaturer uppmätta 2002-05-02. Uteklimatet för den aktuella dagen redovisas i bilaga 2 (s. 3-4).



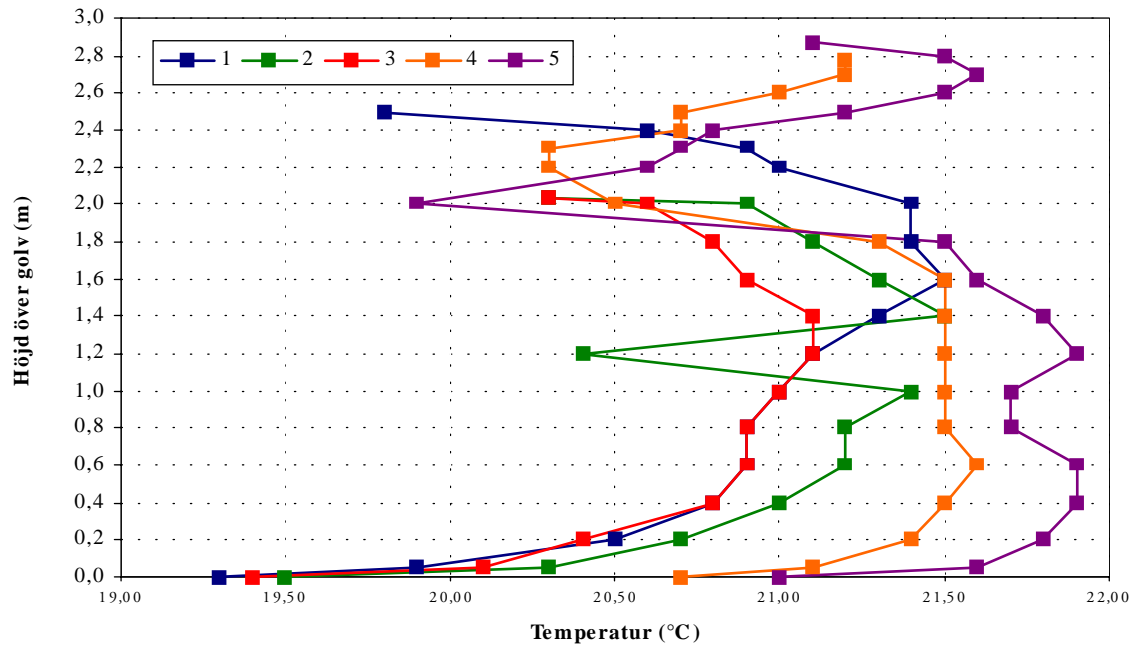
Figur 55 Diagrammet visar väggtemperaturer uppmätta 2002-05-07. Uteklimatet för den aktuella dagen redovisas i bilaga 2 (s. 5-6).



Figur 56 Diagrammet visar väggtemperaturer uppmätta 2002-05-14. Uteklimatet för den aktuella dagen redovisas i bilaga 2 (s. 7-8).



Figur 58 Diagrammet visar väggtemperaturer uppmätta 2002-05-16. Uteklimatet för den aktuella dagen redovisas i bilaga 2 (s. 9-10).

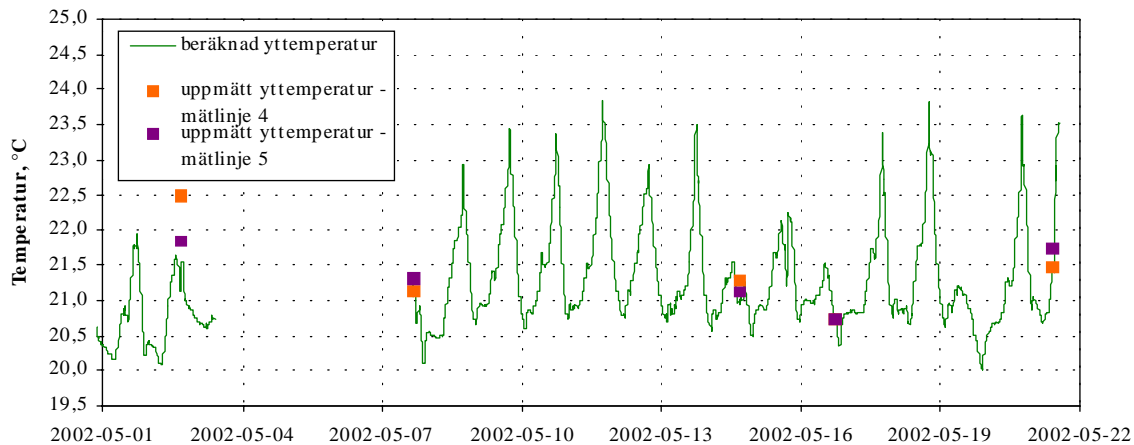


Figur 59 Diagrammet visar väggtemperaturer uppmätta 2002-05-21. Uteklimatet för den aktuella dagen redovisas i bilaga 2 (s. 11-12).

### 7.1.2 Analys

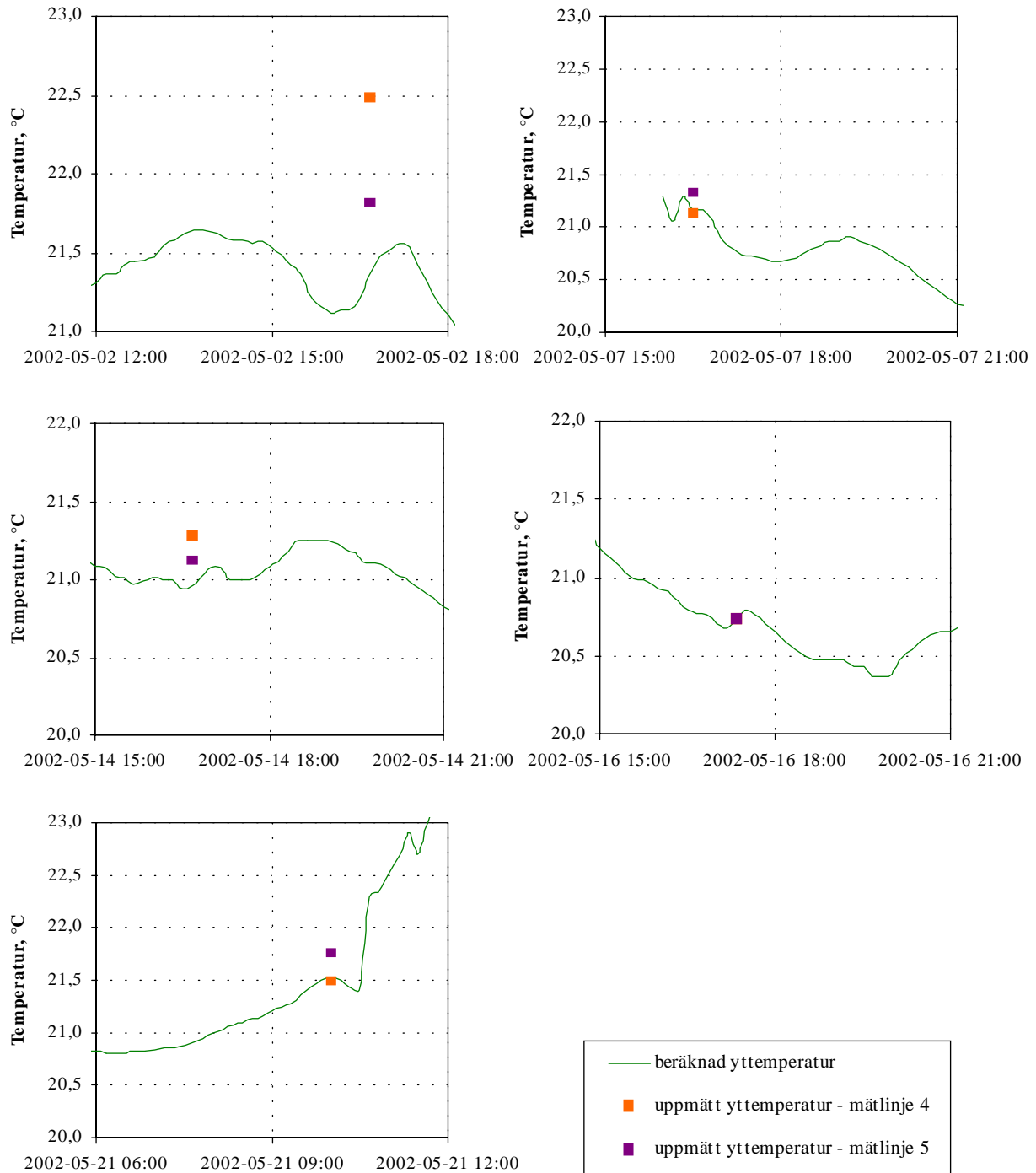
Generellt gäller att temperaturer längs mätlinje 1 är lägre än övriga. Temperaturer längs mätlinje 2 och 3 följs åt relativt väl och är något högre än uppmätta temperaturer längs mätlinje 1. Vid anslutning mellan golv och vägg har i förhållande till övriga mätpunkter låga temperaturer för mätlinje 1, 2 och 3 uppmätts. För mätlinje 1 gäller även att förhållandevis låga temperaturer har uppmätts vid anslutning mellan vägg och tak. Vid höjden 2,0 meter har uppemot 2°C lägre temperatur än vid övriga höjder uppmätts längs mätlinje 4 och 5. Detta tros bero på att ett tilluftdon är placerat mellan mätlinje 4 och 5 vid denna höjd.

Förväntad yttemperatur på vägg har beräknats stationärt (Nevander och Elmarsson, 2001) utifrån uppmätt lufttemperatur utomhus och på bottenvåning samt väggens värmemotstånd ( $R_T = 5,62 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ ).



Figur 60

Förväntad yttemperatur på vägg har beräknats stationärt för tidsperioderna 2002-05-01 till 2002-05-03 och 2002-05-07 till 2002-05-21. Yttemperatur på vägg har uppmätts vid fem olika tillfällen (2/5, 7/5, 14/5, 16/5, 21/5). Uppmätta yttemperaturer redovisas som medelvärde för mätpunkter belägna 0,4 meter till 1,8 meter över golv längs mätlinje 4 och 5.



Figur 61 Yttemperatur på vägg har beräknats stationärt samt uppmätts 2/5, 7/5, 14/5 16/5 och 21/5. Uppmätta yttemperaturer redovisas som medelvärde för mät-punkter belägna 0,4 meter till 1,8, meter över golv längs mätlinje 4 och 5.

Förväntade yttemperaturer grundade på stationär beräkning överensstämmer väl med uppmätta yttemperaturer på väggens insida för alla mättillfällen utom 2/5 då mätlinje 4 skiljer sig cirka 1°C från beräknad yttemperatur.

BBR (2002:00) och ISO 7730 ställer inget krav på yttemperaturen på väggens insida. Yttemperaturer påverkar dock operativ temperatur och strålningsasymmetri.

## 7.2 YTTEMPERATUR - GOLV

Golvtemperaturer har uppmätts i vardagsrum på bottenvåning vid fyra olika tillfällen under maj 2002 (7/5, 14/5, 16/5, 21/5) samt i badrum, vardagsrum hall, tvättrum och kök på bottenvåning samt i WC/dusch utrymme och hall på ovanvåning 2003-04-25. Mätnoggrannheten är  $\pm 1^\circ\text{C}$ .



Figur 62 Temperatur på golv uppmättes på bottenvåning enligt markering i figur.



Figur 63 Temperatur på golv uppmättes på ovanvåning enligt markering i figur.

### 7.2.1 Uppmätta golvtemperaturer

Nedan redovisas uppmätta medeltemperaturer på golv i vardagsrum. Mätningarna är gjorda momentant vid fyra tillfällen under maj 2002. Emissionstal 0,94 har använts.

Tabell 11 Medeltemperatur på golv i vistelsezon har mätts i vardagsrum vid fyra olika tillfällen i maj 2002 (7/5, 14/5, 16/5 och 21/5).

datum	2002-05-07	2002-05-14	2002-05-16	2002-05-21
<b>plats</b>	<b>temperatur [°C]</b>	<b>temperatur [°C]</b>	<b>temperatur [°C]</b>	<b>temperatur [°C]</b>
golv i vistelsezon	21	21	21	22

Tabell 12 Temperaturer på golv har mätts på olika platser enligt figur på föregående sida. Mätningarna är gjorda momentant 2003-04-25.

placering	A	A	B	B	C	D	E
<b>emissionstal</b>	0,94	0,90	0,94	0,90	0,92	0,90	0,90
<b>yttemperatur, °C</b>	20,0	20,5	21,5	22,0	22,0	22,0	21-21,5

placering	F	G	H	I	J:1	J:2	J:3
<b>emissionstal</b>	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
<b>yttemperatur, °C</b>	22,0	22,5	21,5	23,0	21,0	21,5	20,0

placering	K	L:1	L:2	L:3	L:4
<b>emissionstal</b>	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
<b>yttemperatur, °C</b>	23	21,0	20,5	20,0	19,5

### 7.2.2 Analys

BBR ställer krav på att yttemperaturer på golv i vistelsezonen skall vara lägst 16 °C vid dimensionerande utetemperatur. I hygienutrymmen skall yttemperaturen på golv vara lägst 18 °C. Golvtemperatur bör vara 19-26°C enligt ISO 7730. Mycket isolering under betongplatta på mark medför höga golvtemperaturer även utan golvvärme.

### 7.3 YTTEMPERATUR - FÖNSTER

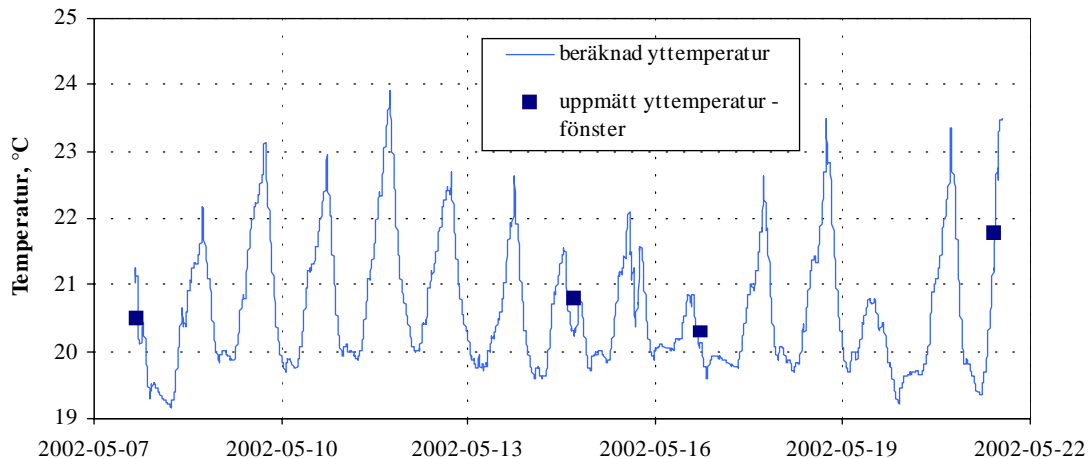
Yttertemperaturer på fönsterglas i fönster mot norr i vardagsrum uppmättes vid fyra tillfällen i maj 2002 (7/5, 14/5, 16/5 och 21/5). Mätnoggrannheten är  $\pm 0,35^\circ\text{C}$ . Nedan redovisas uppmätta yttertemperaturer på fönsterglas.

Tabell 13 Yttertemperatur på fönster mot norr i vardagsrum har mätts vid fyra olika tillfällen i maj 2002 (7/5, 14/5, 16/5 och 21/5).

datum	2002-05-07	2002-05-14	2002-05-16	2002-05-21
plats	temperatur [ $^\circ\text{C}$ ]	temperatur [ $^\circ\text{C}$ ]	temperatur [ $^\circ\text{C}$ ]	temperatur [ $^\circ\text{C}$ ]
fönster mot norr i vardagsrum	20,5	20,8	20,3	21,8

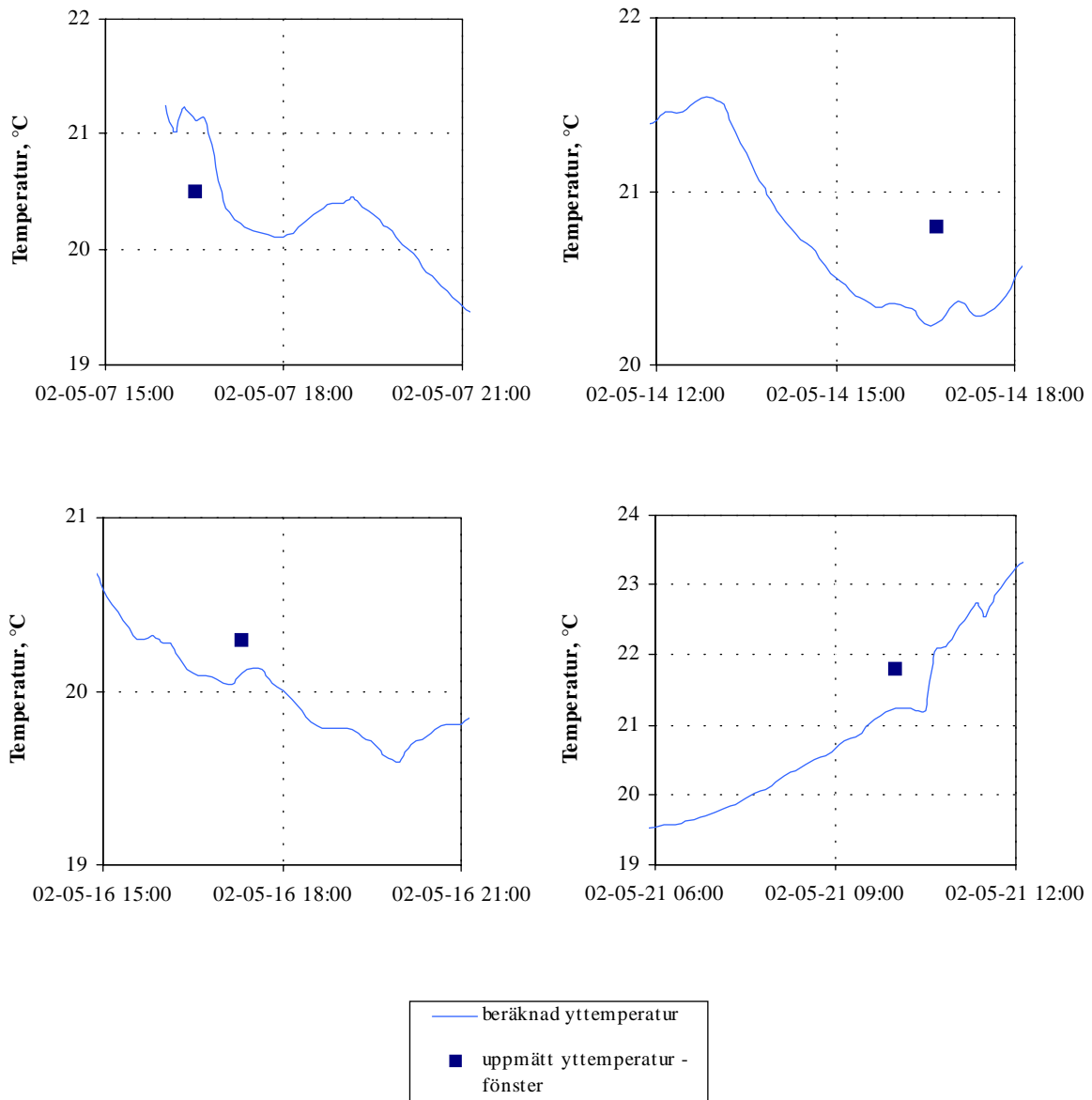
#### 7.3.1 Analys

Förväntad yttertemperatur på fönster har beräknats stationärt (Nevander och Elmarsson, 2001) utifrån uppmätt lufttemperatur utomhus och på bottenvåning samt fönstrets värmemotstånd ( $R_T = 1,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ ).



Figur 64 Förväntad yttertemperatur på fönster har beräknats stationärt för tidsperioden 2002-05-07 till 2002-05-21. Yttertemperatur på fönster har uppmätts vid fyra olika tillfällen (7/5, 14/5, 16/5 och 21/5).



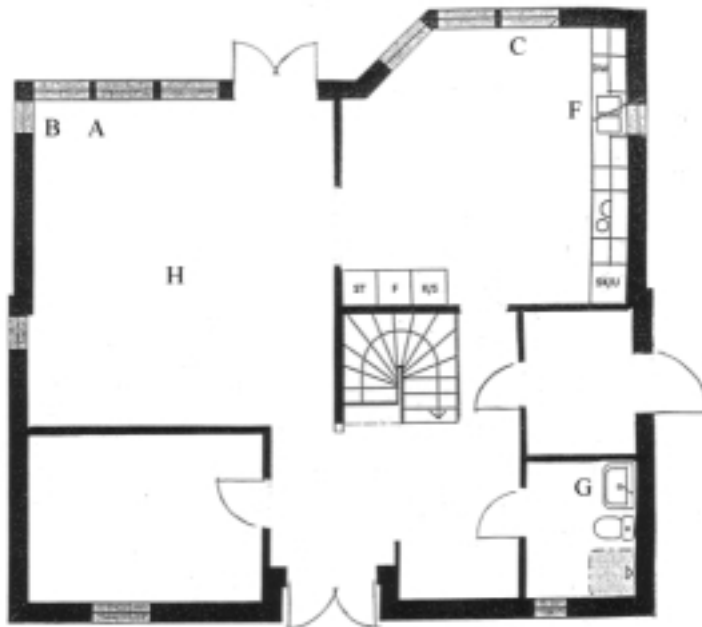


Figur 65 Yttemperatur på fönster har beräknats stationärt samt uppmätts 7/5, 14/5, 16/5 och 21/5.

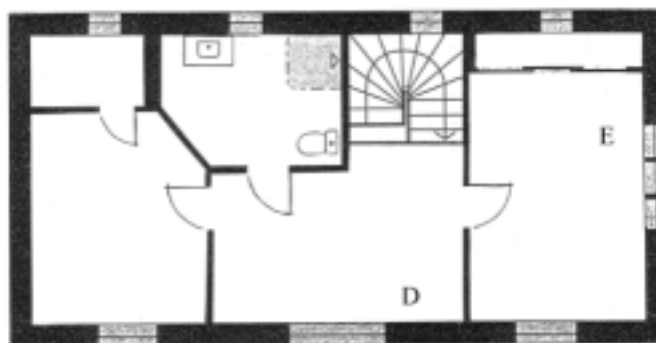
Förväntade yttemperaturer grundade på stationär beräkning överensstämmer relativt väl med uppmätta yttemperaturer på fönstrets insida.

#### 7.4 OPERATIV TEMPERATUR OCH STRÅLNINGSASYMMETRI

Mätning av riktad operativ temperatur har utförts 2003-04-25 med hjälp av en kubtermometer. Riktad operativ temperatur har uppmätts i husets alla rum utom WC/dusch på ovanvåning. Mät noggrannheten är  $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ .



Figur 66 Riktad operativ temperatur har uppmätts på bottenvåning på platser markerade med bokstäver i figuren (A, B, C, F, G och H).



Figur 67 Riktad operativ temperatur har uppmätts på bottenvåning på platser markerade med bokstäver i figuren (D och E).

Kubtermometern mäter riktad operativ temperatur (ROT) i sex riktningar vilka har följande benämningar:

ROT:1; upp

ROT:2; vänster

ROT:3; fram

ROT:4; höger

ROT:5; bak

ROT:6; ner

Tabell 14 Riktad operativ temperatur har mätts på 60 centimeters höjd vid olika placeringar.

placering	A	B	B	C	D	E	E
höjd, cm	60	60	60	60	60	60	60
ROT: 1, °C	21,23	21,42	21,61	21,71	22,50	22,25	22,10
ROT: 2, °C	21,19	21,57	21,76	21,52	22,55	22,15	21,95
ROT: 3, °C	21,28	21,38	21,52	21,47	22,70	22,30	22,10
ROT: 4, °C	21,33	21,38	21,52	21,80	22,25	22,20	22,05
ROT: 5, °C	21,23	21,14	21,33	21,52	22,20	22,15	22,05
ROT: 6, °C	20,95	21,04	21,19	21,83	22,40	22,10	21,90

Tabell 15 Riktad operativ temperatur har mätts på 110 centimeters höjd vid olika placeringar.

placering	F	G	H
höjd, cm	110	110	110
ROT: 1, °C	21,85	22,15	22,30
ROT: 2, °C	21,80	22,00	22,30
ROT: 3, °C	21,76	21,90	22,30
ROT: 4, °C	21,80	22,05	22,30
ROT: 5, °C	21,85	22,05	22,30
ROT: 6, °C	21,66	21,95	22,25

### 7.4.1 Operativ temperatur

Nedan redovisas utifrån uppmätt riktad operativ temperatur beräknad operativ temperatur på olika platser i huset.

Tabell 16 Operativ temperatur har beräknats för en stående person (OPT A), sittande person (OPT B) och i en punkt (OPT C) med olika viktningsfaktorer utifrån uppmätt riktad operativ temperatur på olika höjder, enligt anvisningar i instruktionsbok till mätinstrumentet (Mätforum, TCAK).

placering	A	B	B	C	D	E	E
höjd, cm	60	60	60	60	60	60	60
OPT B, °C	21,21	21,32	21,49	21,62	22,43	22,20	22,03
OPT C, °C	21,20	21,32	21,49	21,64	22,43	22,19	22,03

placering	F	G	H
höjd, cm	110	110	110
OPT A, °C	21,80	22,00	22,30
OPT C, °C	21,79	22,02	22,29

### 7.4.2 Strålningsasymmetri

Nedan redovisas utifrån uppmätt riktad operativ temperatur beräknad strålningsasymmetri mellan olika plan vid olika placeringar.

Tabell 17 Strålningsasymmetrin har beräknats utifrån uppmätt riktad operativ temperatur på bottenvåning (placering A, B, C, F, G och H) och på ovanvåning (placering D och E) enligt anvisningar i instruktionsbok till mätinstrumentet.

placering	A	B	B	C	D	E	E
T(1,6), °C	0,56	0,76	0,84	-0,24	0,20	0,30	0,40
T(2,4), °C	-0,28	0,38	0,48	-0,56	0,60	-0,10	-0,20
T(3,5), °C	0,10	0,48	0,38	-0,10	1,00	0,30	0,10

placering	F	G	H
T(1,6), °C	0,38	0,40	0,10
T(2,4), °C	0,00	-0,10	0,00
T(3,5), °C	-0,18	-0,30	0,00

### **7.4.3 Analys**

Enligt BBR ska den riktade operativa temperaturen vara större än 18°C i bostads- och arbetsrum och större än 20°C i hygienutrymme vid dimensionerande utetemperatur. Huset är välisolerat vilket medför att riktade operativa temperaturer nära sammanfaller med inomhus-temperaturen.

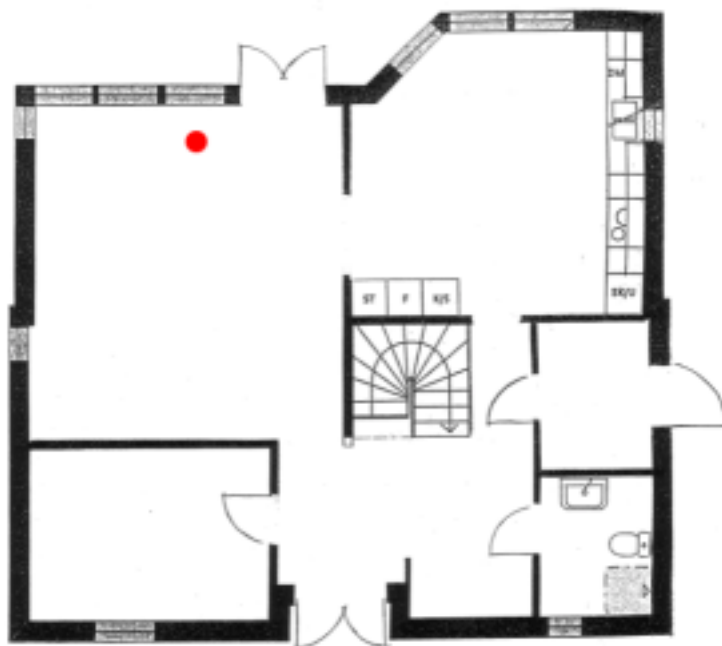
Enligt standarden ISO 7730 bör strålningsasymmetrin på 0,6 meters höjd vara mindre än 10°C. Kubtermometern har vid placering A, B, C, D och E mätt på 0,6 meters höjd. Högsta beräknade strålningsasymmetrin vid dessa är 0,84°C vilket innebär att krav enligt ISO 7730 uppfylls.

Vidare säger standarden ISO 7730 att operativ temperatur vintertid bör vara 20-24°C och sommartid 20-26°C. Operativ temperatur varierar mellan 21,20°C och 22,43°C under mätperioden. Operativ temperatur är lägre än övre gränsen vintertid enligt ISO 7730.

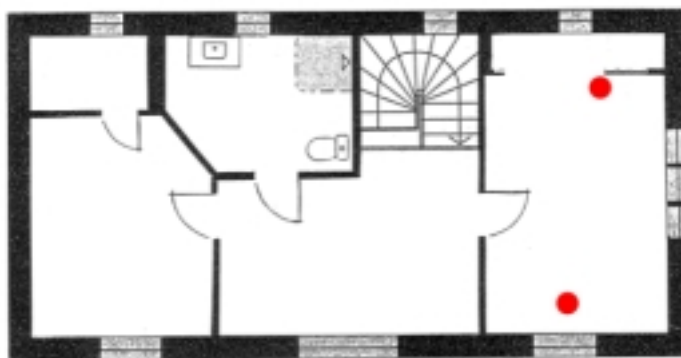
### 7.5 VERTIKAL TEMPERATURGRADIENT

Lufttemperatur på höjderna 0,1 meter, 1,1 meter och 1,8 meter har uppmätts i vistelsezon under perioderna 2002-04-19 - 2002-05-03 och 2002-05-07 - 2002-05-21 med nio temperaturloggar som har mätnoggrannheten  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

Loggarna placerades framför norrfönster i vardagsrum på plan 1 och i sovrum i öster på plan 2. I sovrummet placerades tre stycken framför fönster i söder och tre stycken framför väggen i norr. För att inte utsätta loggarna för direkt solstrålning drogs invändigt solskydd drogs för.



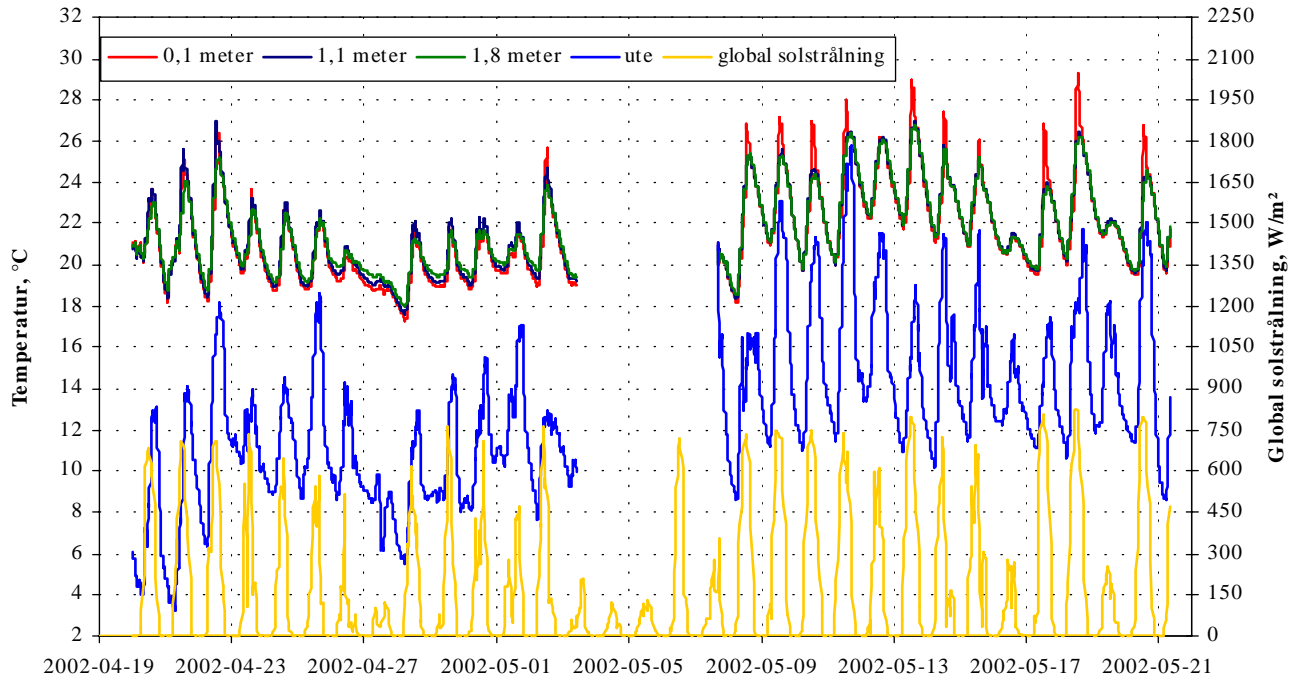
Figur 68 Temperatur på höjderna 0,1 meter, 1,1 meter och 1,8 meter har uppmätts i vardagsrum på bottenvåningen vid markering i figuren.



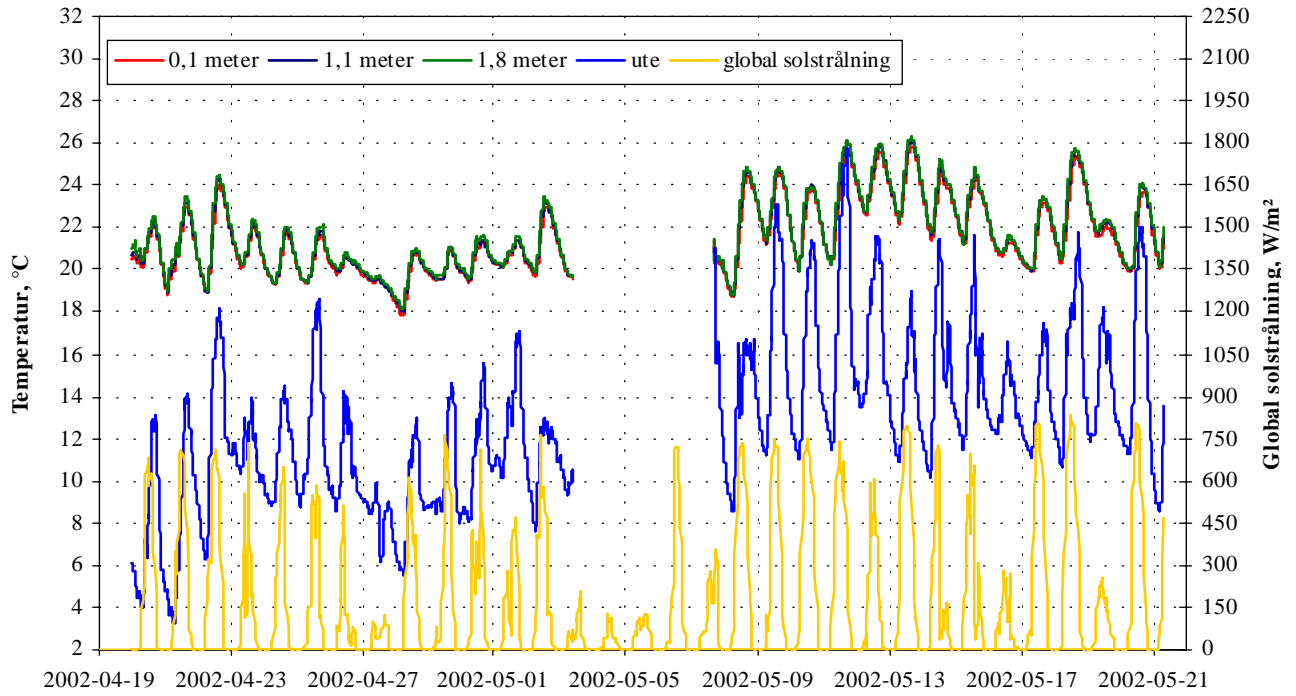
Figur 69 Temperatur på höjderna 0,1 meter, 1,1 meter och 1,8 meter har uppmätts i sovrum i öster på ovanvåningen vid markeringar i figuren.

### 7.5.1 Uppmätta lufttemperaturer

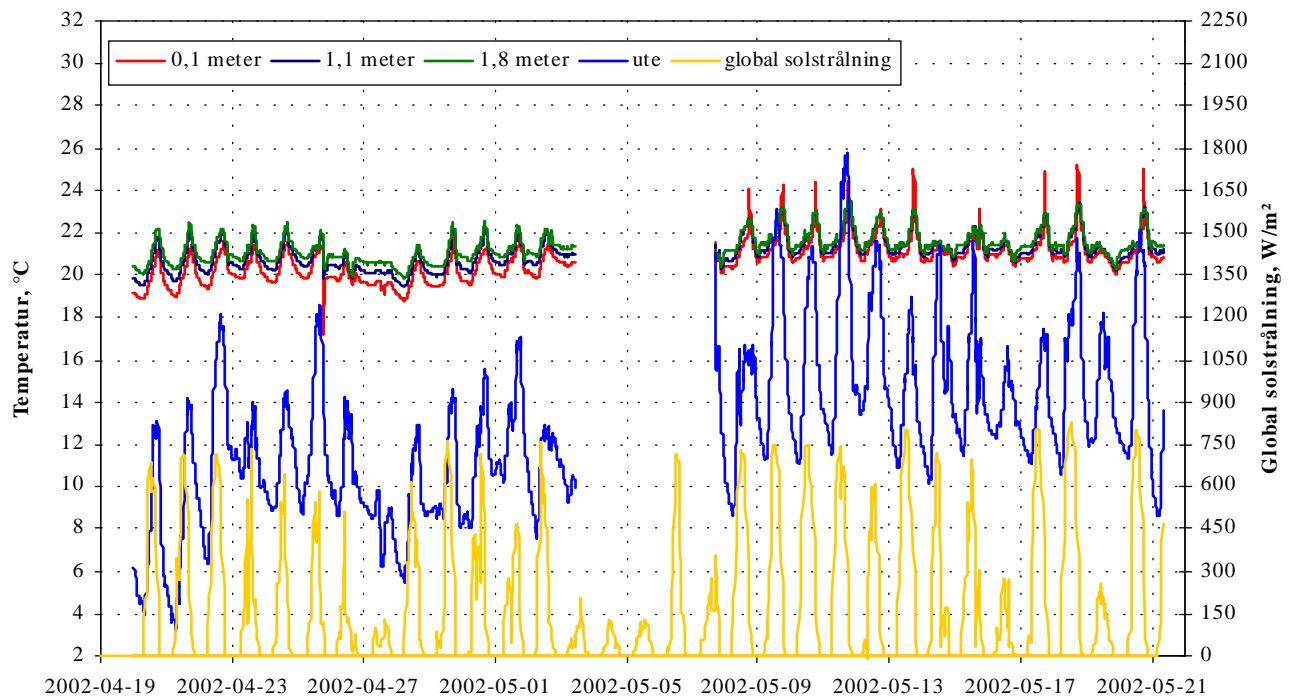
Uppmätta temperaturer på höjderna 0,1 meter, 1,1 meter och 1,8 meter redovisas nedan tillsammans med uppmätt utomhustemperatur samt global solstrålning uppmätt vid Heleneholmsverket i Malmö. Global solstrålning anses kunna representera solförhållanden i Västra Hamnen.



Figur 70 Lufttemperatur har uppmätts på olika höjder vid fönster i sovrum i öster och på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt vid Heleneholmsverket i Malmö.



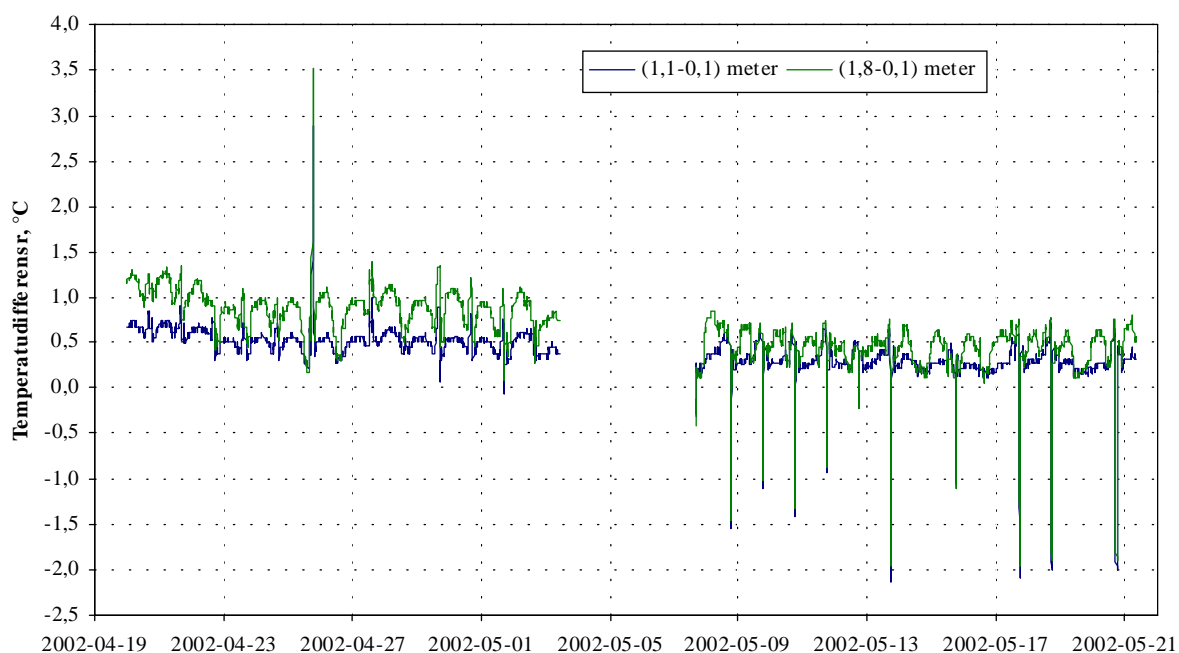
Figur 71 Lufttemperatur har uppmätts på olika höjder vid norrvägg i sovrum i öster och på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt vid Heleneholmsverket i Malmö.



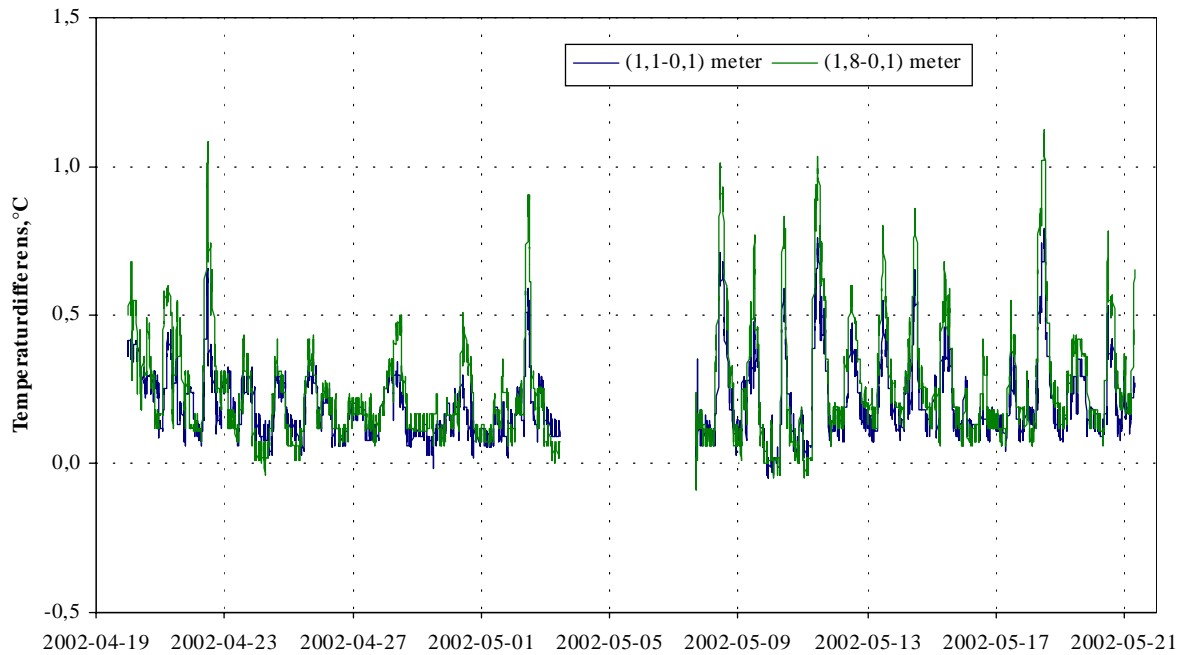
Figur 72 Lufttemperatur har uppmätts på olika höjder vid söderfönster i vardagsrum och på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt vid Heleneholmsverket i Malmö.



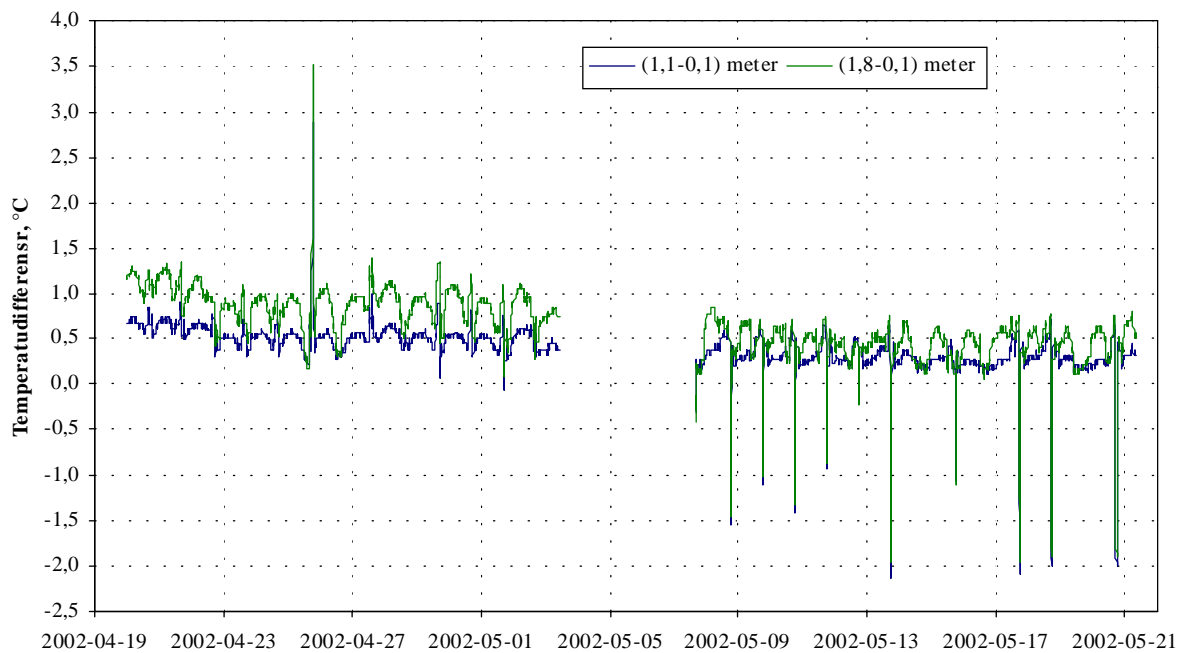
Differenser mellan uppmätta temperaturer på höjderna 0,1 och 1,1 meter respektive 0,1 och 1,8 meter redovisas i diagram nedan.



Figur 73 Temperaturdifferenser har beräknats utifrån uppmätta temperaturer vid fönster i sovrum i öster på höjderna 0,1 och 1,1 meter respektive 0,1 och 1,8 meter. Positivt värde anger att uppmätt temperatur på höjden 1,1 respektive 1,8 meter är högre än uppmätt temperatur på höjden 0,1 meter.



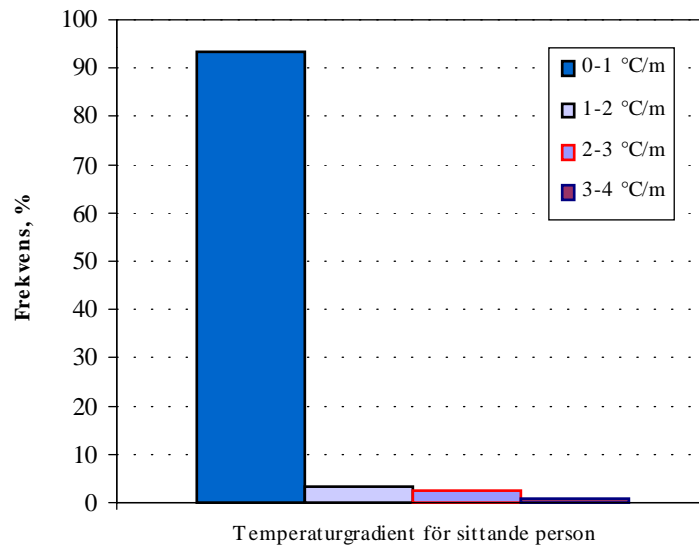
Figur 74 Temperaturdifferenser har beräknats utifrån uppmätta temperaturer vid vägg i sovrum i öster på höjderna 0,1 och 1,1 meter respektive 0,1 och 1,8 meter. Positivt värde anger att uppmätt temperatur på höjden 1,1 respektive 1,8 meter är högre än uppmätt temperatur på höjden 0,1 meter.



Figur 75 Temperaturdifferenser har beräknats utifrån uppmätta temperaturer i vardagsrum på höjderna 0,1 och 1,1 meter respektive 0,1 och 1,8 meter. Positivt värde anger att uppmätt temperatur på höjden 1,1 respektive 1,8 meter är högre än uppmätt temperatur på höjden 0,1 meter.

### 7.5.2 Analys

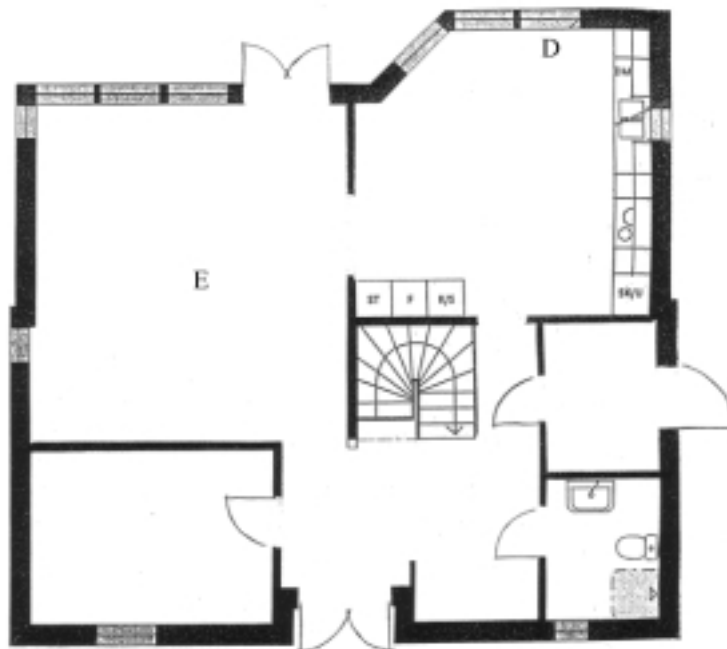
Temperaturgradient för sittande person beräknas som temperaturdifferensen per meter mellan temperaturer uppmätta på höjderna 0,1 och 1,1 meter och för stående person som temperaturdifferensen per meter mellan temperaturer uppmätta på höjderna 0,1 och 1,8 meter. Enligt standarden ISO 7730 bör den vertikala temperaturgradienten vara mindre än  $3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Vid ett fåtal tillfällen har högre temperaturgradient registrerats framför söderfönster i sovrum i öster vilket redovisas i figurer nedan. Dessa tillfällen har inträffat när utetemperaturen snabbt stigit. I övrigt är den vertikala temperaturgradienten lägre än  $3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ .



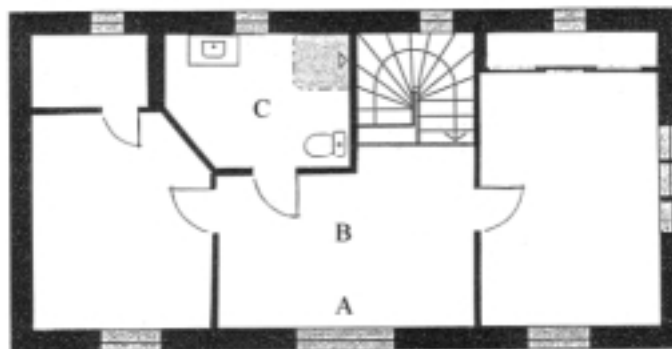
Figur 76 Diagrammet visar frekvensen i % för olika temperaturgradienter mellan 0,1 och 1,1 meters höjd vid fönster i sovrum 2.

## 7.6 LUFTHASTIGHET I VISTELSEZONEN

Mätning av lufthastigheter har utförts i vistelsezon i kök, vardagsrum, WC/dusch på ovanvåning och i hall på ovanvåning 2002-04-25. Mätinstrumentet placerades på olika höjder mellan 50 och 65 centimeter. Mätnoggrannheten är  $\pm 0,006$  m/s.



Figur 77 Lufthastigheter har uppmätts i vistelsezon på bottenvåning på platser markerade med bokstäver i figuren (D och E).



Figur 78 Lufthastigheter har uppmätts i vistelsezon på ovanvåning på platser markerade med bokstäver i figuren (A, B och C).

### 7.6.1 Uppmätta lufthastigheter i vistelsezon

Tabell 18 Lufthastighet har uppmätts vid olika höjder samt placeringar.

placering	A	B	C	D	E	F
höjd, cm	50	65	65	65	50	50
hastighet, m/s	0,08	0,03-0,04	0,02-0,03	0,02	0,02-0,04	0,02

### 7.6.2 Analys

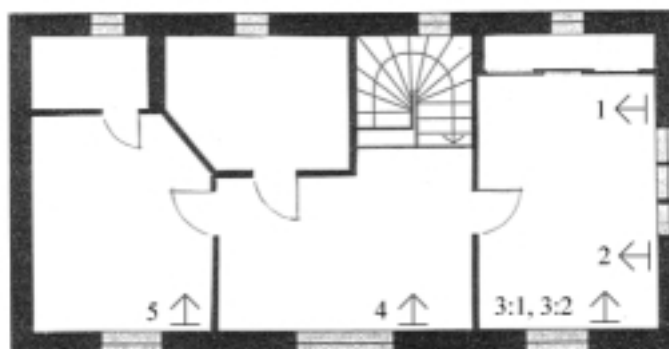
Enligt BBR ska lufthastigheten i vistelsezonen vara mindre än 0,15 m/s. Uppmätta lufthastigheter är mellan 0,02 och 0,08 m/s vilket innebär att kravet är uppfyllt med god marginal.

## 7.7 TILLUFTTEMPERATUR

Mätning av tillufttemperatur har utförts under perioden 2002-04-23 – 2002-05-07. Temperaturen på tilluften har mätts intill tilluftdonens inblås i olika rum på ovanvåningen. Uttemperaturen mättes på husets norrsida. Tillufttemperaturer och utetemperatur har mätts med temperaturloggar som har mätnoggrannheten  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

Benämning av don vid vilka loggarna är placerade är enligt nedan:

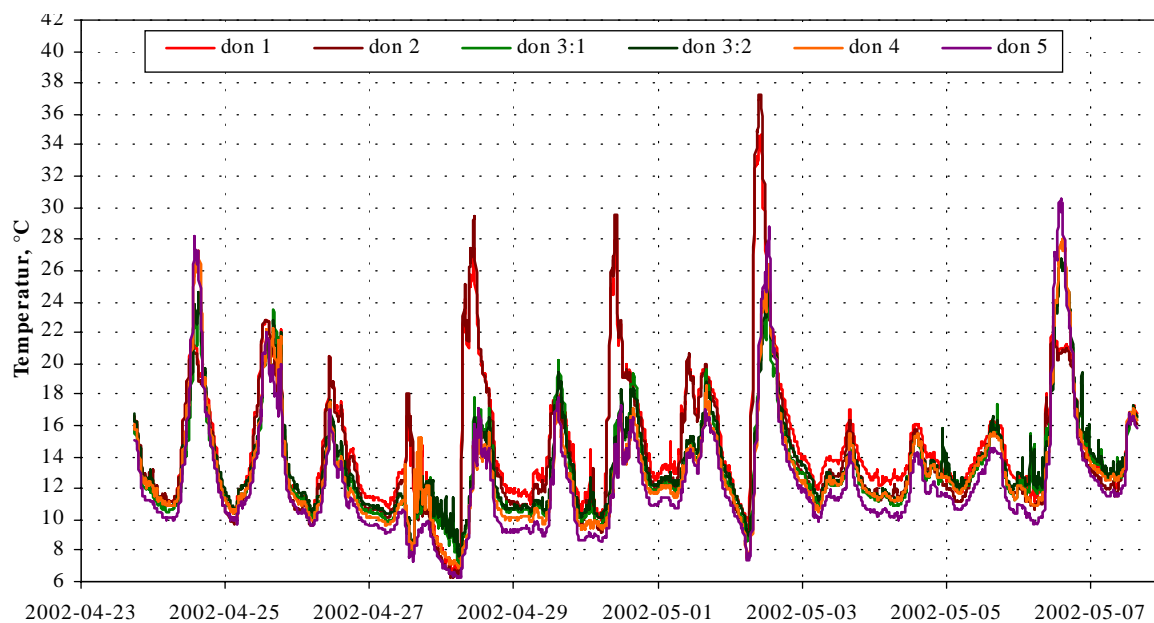
- Don 1        östervägg (sovrums i öster)
- Don 2        östervägg (sovrums i öster)
- Don 3:1      södervägg (sovrums i öster)
- Don 3:2      södervägg (sovrums i öster)
- Don 4        södervägg (hall)
- Don 5        södervägg (sovrums i väster)



Figur 79        Loggarna placerades vid don (1, 2, 3:1, 3:2, 4 och 5) på ovanvåning.

### 7.7.1 Uppmätta tillufttemperaturer

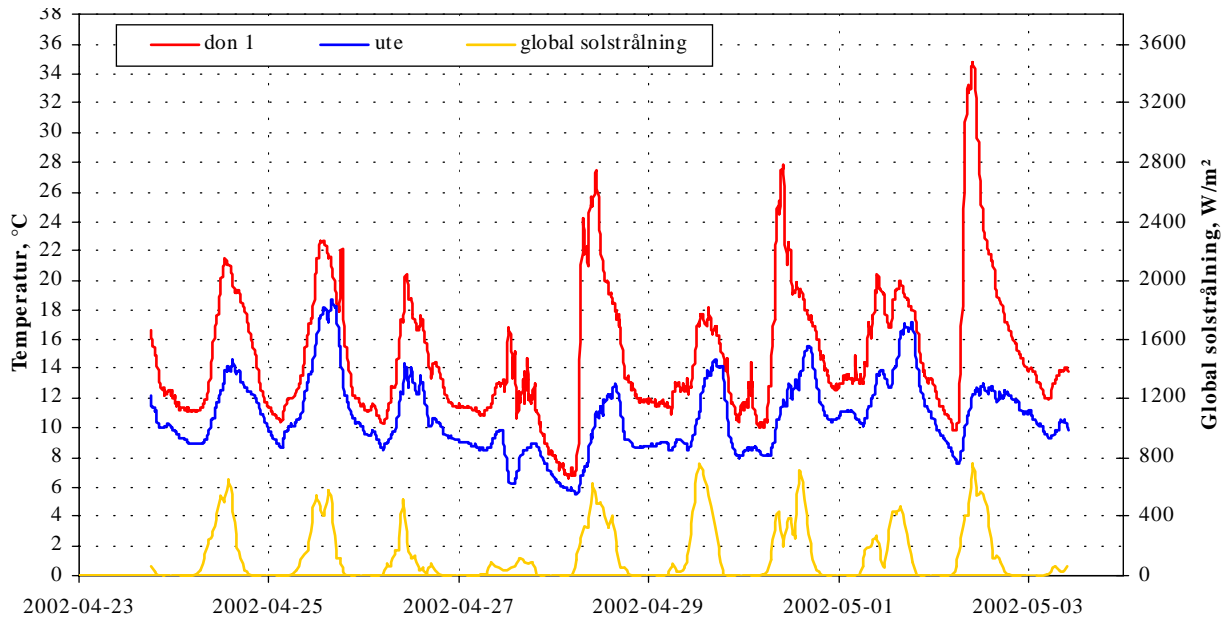
Nedan redovisas uppmätt tillufttemperatur vid de olika donen.



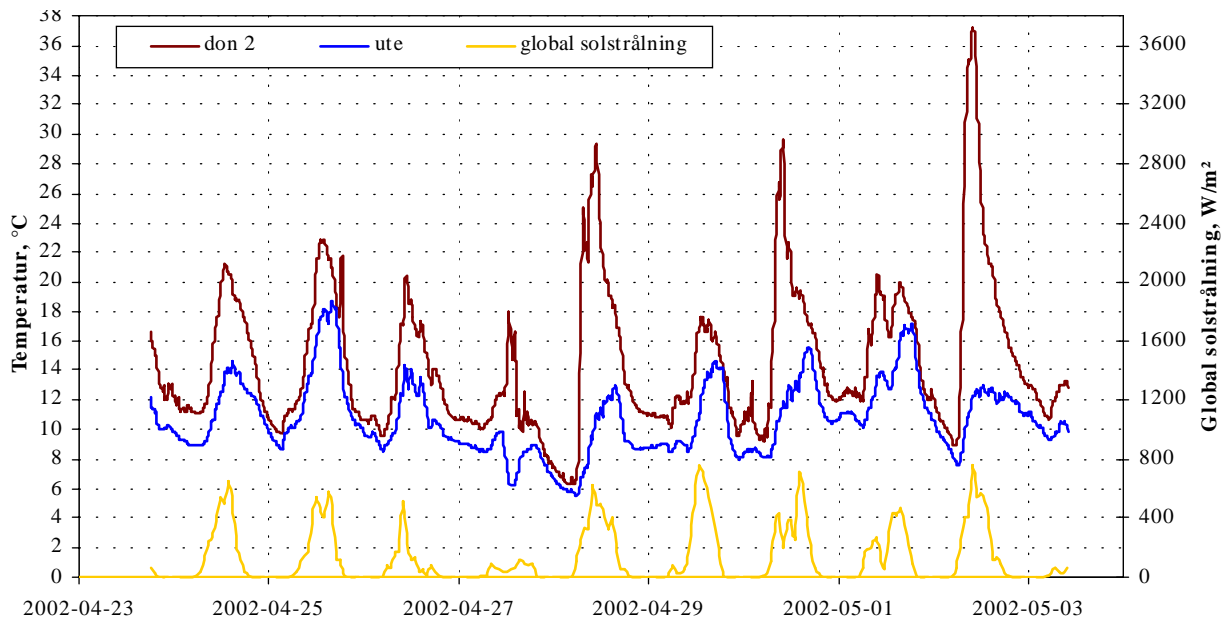
Figur 80 Uppmätta tillufttemperaturer vid don 1, 2, 3:1, 3:2, 4 och 5.

Nedan redovisas uppmätt tillufttemperatur för varje enskilt don, utetemperatur samt global solstrålning. Global solstrålning är uppmätt på Heleneholmsverket, Malmö, men anses kunna representera solförhållanden i Västra Hamnen, Malmö.

Då mätdata för utomhustemperatur saknas för de tre sista dagarna i mätperioden redovisas endast de mät dagar då både tillufttemperatur, utomhustemperatur och data för global solstrålning finns att tillgå.

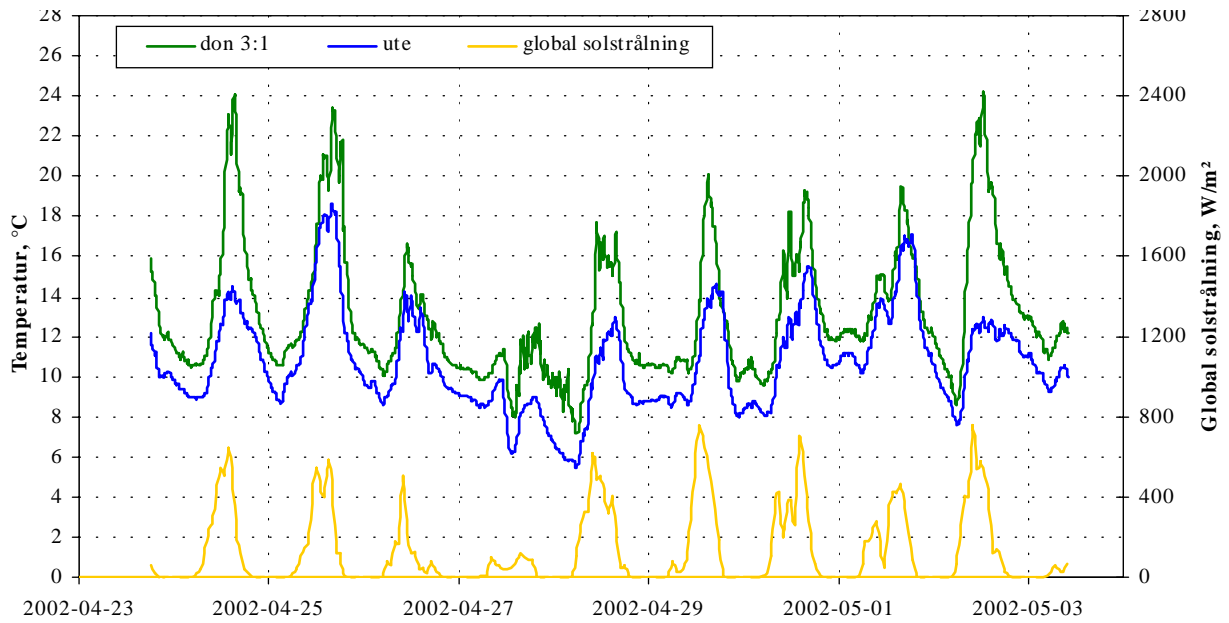


Figur 81 Tillufttemperatur har uppmätts vid don 1. Utetemperatur är uppmätt på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt på Heleneholmsverket i Malmö.

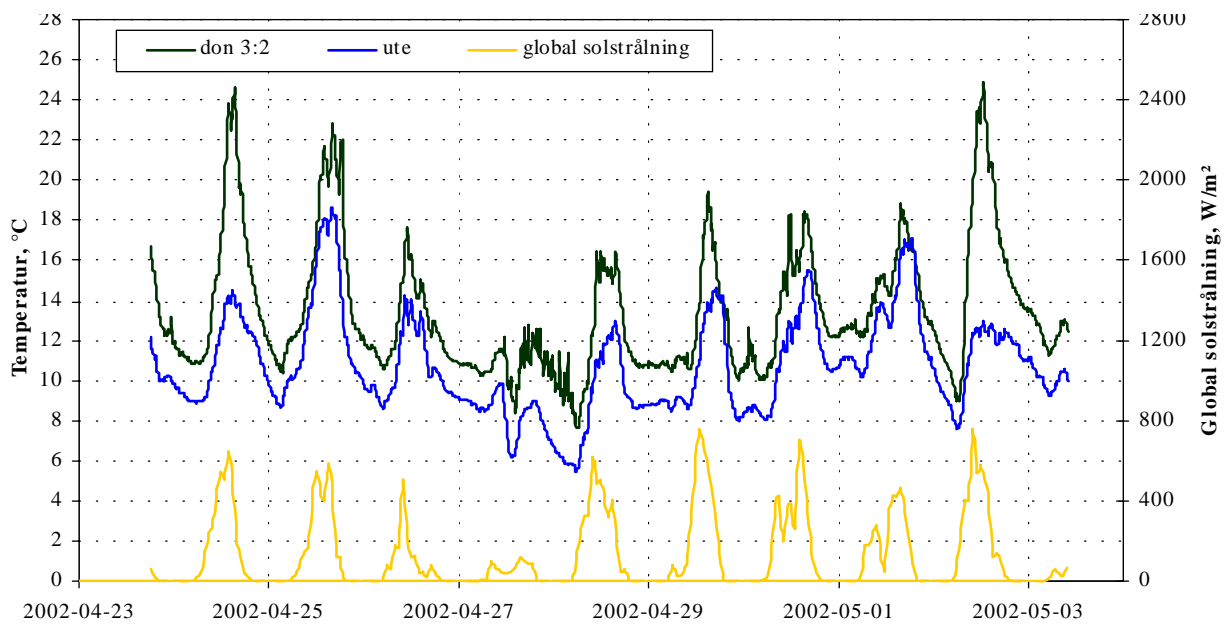


Figur 82 Tillufttemperatur har uppmätts vid don 2. Utetemperatur är uppmätt på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt på Heleneholmsverket i Malmö.

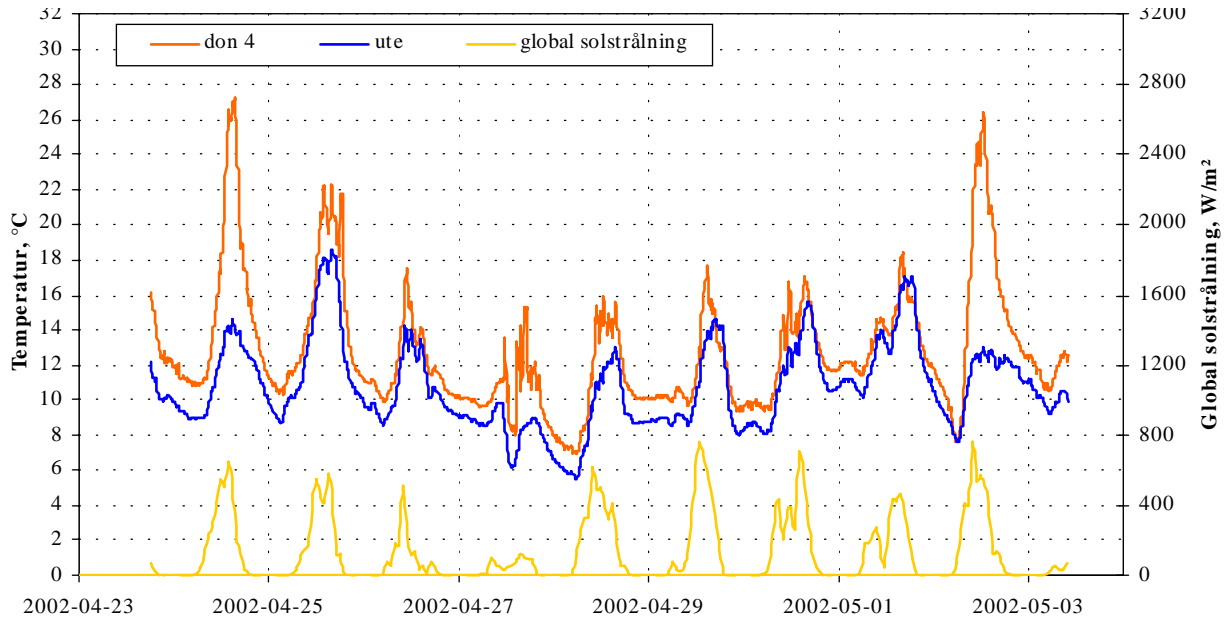




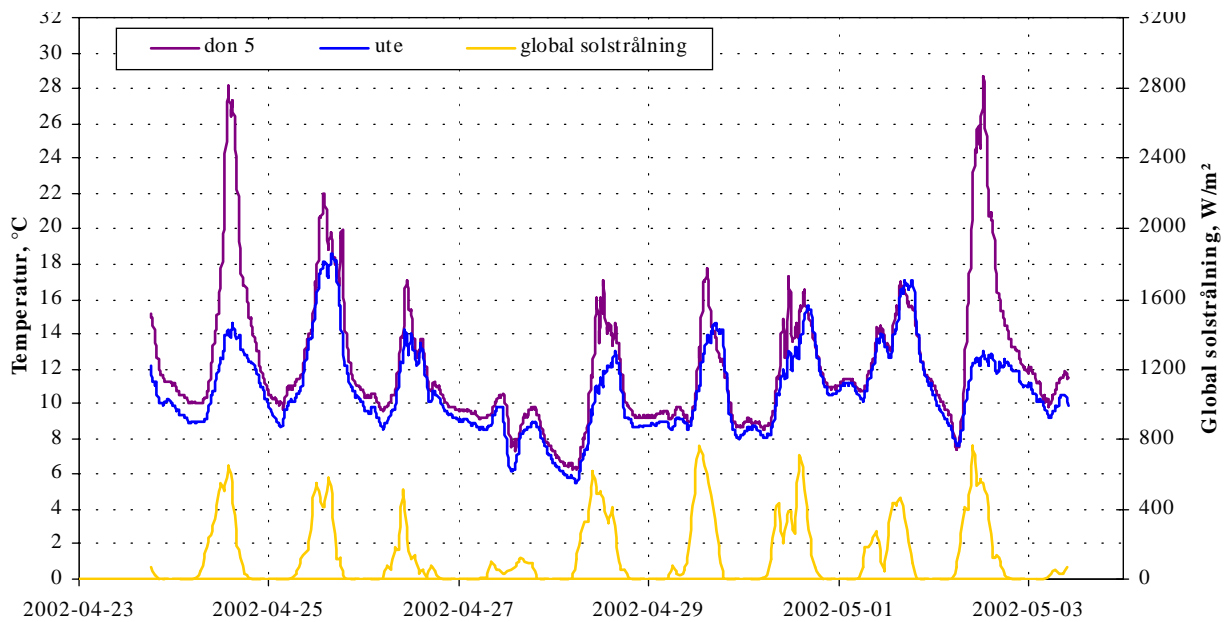
Figur 83 Tillufttemperatur har uppmätts vid don 3:1. Utetemperatur är uppmätt på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt på Heleneholmsverket i Malmö.



Figur 84 Tillufttemperatur har uppmätts vid don 3:2. Utetemperatur är uppmätt på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt på Heleneholmsverket i Malmö.

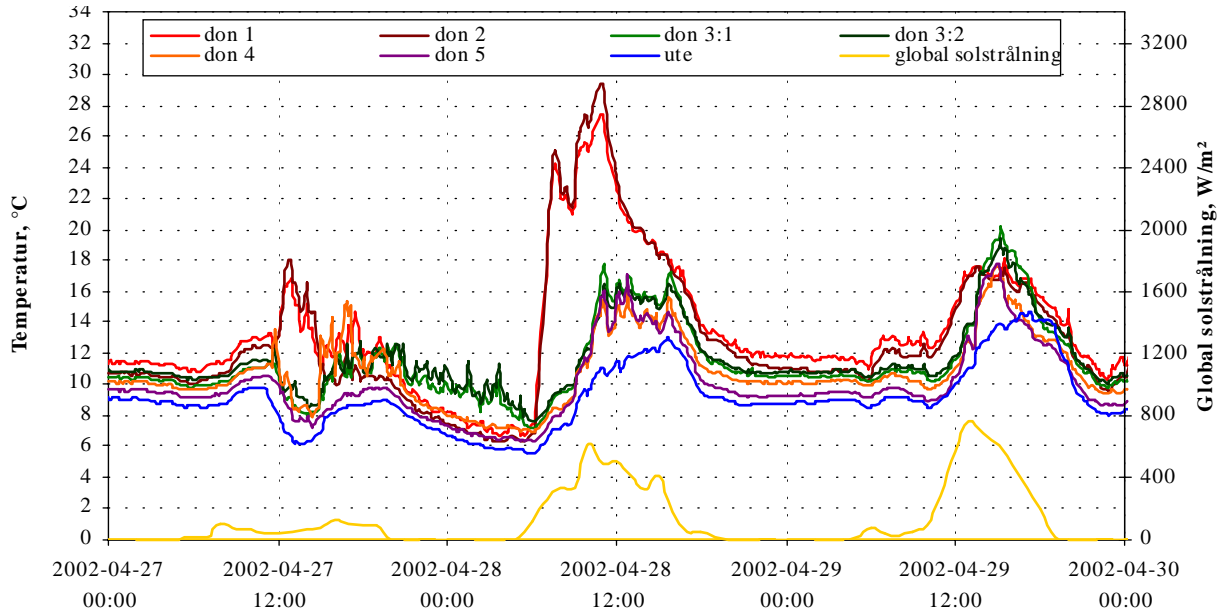


Figur 85 Tillufttemperatur har uppmätt vid don 4. Utetemperatur är uppmätt på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt på Heleneholmsverket i Malmö.



Figur 86 Tillufttemperatur har uppmätt vid don 5. Utetemperatur är uppmätt på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt på Heleneholmsverket i Malmö.

Nedan redovisas tre utvalda dygn av mätperioden. Ur diagrammet kan bland annat utläsas att tilluftstemperaturen är högst vid don 1 och 2 under stor del av dygnet. Detta gäller både då mycket global solstrålning föreligger under förmiddagen och när den globala solstrålningen är liten under hela dagen. Då toppen i global solstrålning kommer senare på eftermiddagen blir tilluftstemperaturen högst vid don 3 som är placerad i söderfasad.



Figur 87 Diagrammet visar tre dygn av mätperioden (27/4 kl 00:00- 30/4 kl 00:00). Tilluftstemperaturer har uppmätts vid don 1, 2, 3:1, 3:2, 4 och 5. Utetemperatur är uppmätt på husets norrsida. Global solstrålning är uppmätt på Heleneholmsverket i Malmö.

### 7.7.2 Analys

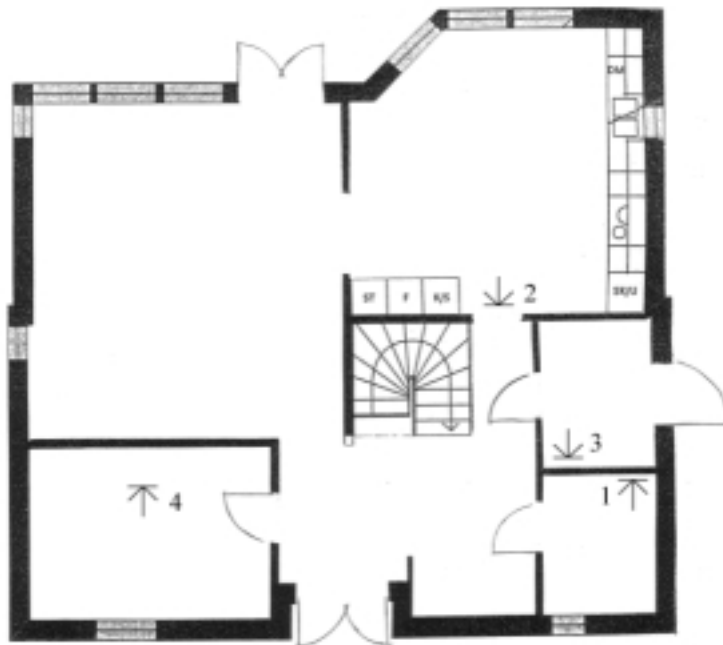
Uppmätta tilluftstemperaturer ligger mellan 6 och 37°C när utetemperaturen varierar mellan 5 och 14°C. Natttid ligger tilluftstemperaturen oftast högst vid don 1 och därefter kommer tilluftstemperaturen vid don 2, 3, 4 och 5 i fallande ordning. Det är framför allt vid don 1 och don 2, placerade i öster, som höga tilluftstemperaturer är uppmätta.

Inget entydigt samband mellan tilluftstemperatur och global solstrålning föreligger. Global solstrålning består både av diffus och direkt solstrålning. Det verkar som om tilluftstemperaturen skulle kunna bero på storleken av den direkta solstrålningen samt den tid den specifika husväggen utsätts för denna. Höga tilluftstemperaturer har framför allt uppmätts då utetemperaturen varit låg och globala solstrålningen hög vilket skulle kunna indikera kalla klara dagar med hög direkt solstrålning.

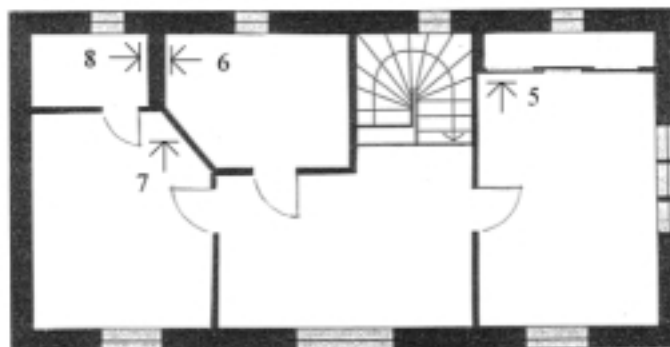
Fasadens färg påverkar yttemperaturen (Hedberg och Svennberg, 1991). I månadskiftet april/maj då utomhustemperaturen är 12°C beräknas en röd fasad få en yttemperatur kring 40°C, vilket är drygt 20°C högre yttemperatur än om fasaden hade varit vit. LB-husets mörkgrå fasad bedöms få ungefär samma yttemperatur som en röd fasad. Träpanelens temperatur bestämmer hur varm tilluften kan bli. Högsta uppmätta tilluftstemperatur är 37°C (utomhustemperaturen 12°C), vilket anses vara rimligt då beräknad yttemperatur är kring 40°C.

## 7.8 FRÅNLUFTFLÖDE

Luftflöden har mätts med en luftflödesstos på alla frånluftdon i huset 2002-04-25. Två mätningar har genomförts på varje don. Mätprogram "back pressure" (BP) har använts. Mät noggrannheten är  $\pm 1$  l/s.



Figur 88 Mätning av frånluftsföde på bottenvåning har gjorts vid don placerade enligt markering i figuren (1, 2, 3 och 4).



Figur 89 Mätning av frånluftsföde på ovanvåning har gjorts vid don placerade enligt markering i figuren (5, 6, 7 och 8).

### 7.8.1 Uppmätta frånluftflöden

Tabell 19 Frånluftflöden har mätts med stos genom olika mätmetoder. Uppmätt flöde har medelvärdeberäknats och jämförts med projekterade värden. Differens mellan medelflöde och projekterat flöde samt kvot mellan medelflöde och projekterat flöde har beräknats.

frånluftsdon	mätning	mätmetod	flöde, l/s <i>uppmätt</i>	flöde, l/s <i>medel</i>	flöde, l/s <i>projekterat</i>	flöde, l/s <i>differens</i>	flöde, - <i>kvot</i>
1	1	BP	8,2	8,5	6	2,5	1,42
	2	BP	8,8				
2	1	BP	7,4	7,7	10	-2,3	0,77
	2	BP	8,0				
3	1	BP	10,1	9,5	6	3,5	1,58
	2	BP	8,8				
4	1	BP	6,7	6,6	4	2,6	1,64
	2	BP	6,4				
5	1	BP	9,1	9,3	8	1,3	1,16
	2	BP	9,5				
6	1	BP	6,0	6,2	6	0,2	1,03
	2	BP	6,3				
7	1	BP	5,7	5,6	4	1,6	1,40
	2	BP	5,5				
8	1	BP	5,2	5,1	4	1,1	1,28
	2	BP	5,0				

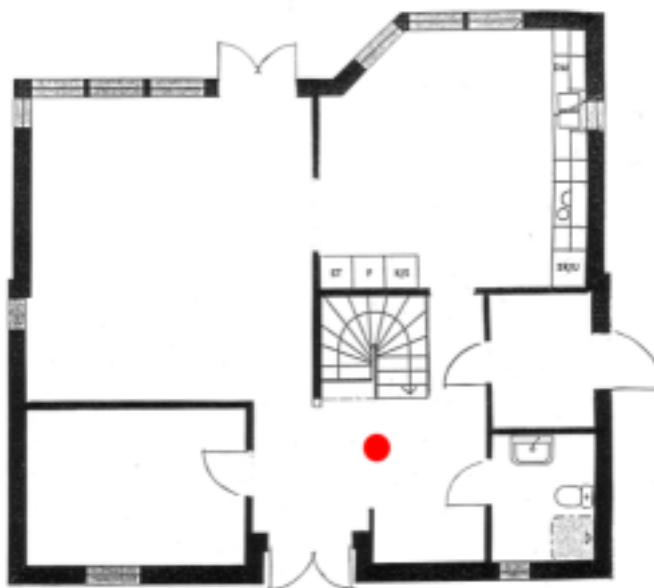
### 7.8.2 Analys

Uppmätta flöde skiljer sig från projekterade flöde även då hänsyn tas till mätnoggrannheten. Projekterade flöden i WC på bottenvåning och WC på ovanvåning är lägre än BBR:s rekommendationer för specifika utrymmen. BBR rekommenderar 10 l/s i toalettutrymmen. Projekterade värden är 6 l/s. Uppmätt totalflöde är 20 % större än projekterat totalflöde. Ökat ventilationsflöde medför ökade värmeförluster.

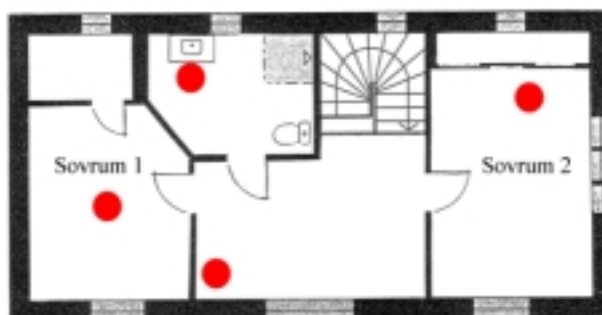
## 7.9 SPÅRGASUNDERSÖKNING

Mätning av koncentrationer av gasen svavelhexafluorid har utförts under perioden 2002-04-19 - 2002-05-21 med hjälp av spårgasapparatur (Multipoint Sampler and Doser 1303, Photoacoustic Multi-gas Monitor 1312 och Application Software 7620).

Mätning av gaskoncentration har utförts i fem olika utrymmen; de båda sovrummen, hall och hygienutrymme på ovanvåning samt i hall på bottenvåning. Slangarna placerades på sex olika platser; två stycken i sovrum i öster och en slang vardera i WC/dusch, sovrum i väster och hall på ovanvåningen och i hall på bottenvåningen. En av slangarna i sovrum i öster användes för att styra hur mycket gas som skulle doseras i rummet för att hålla gaskoncentrationen konstant. Övriga slangar användes för att mäta gaskoncentrationen i respektive utrymme. I sovrum i öster placerades även en slang genom vilken spårgasen doserades.



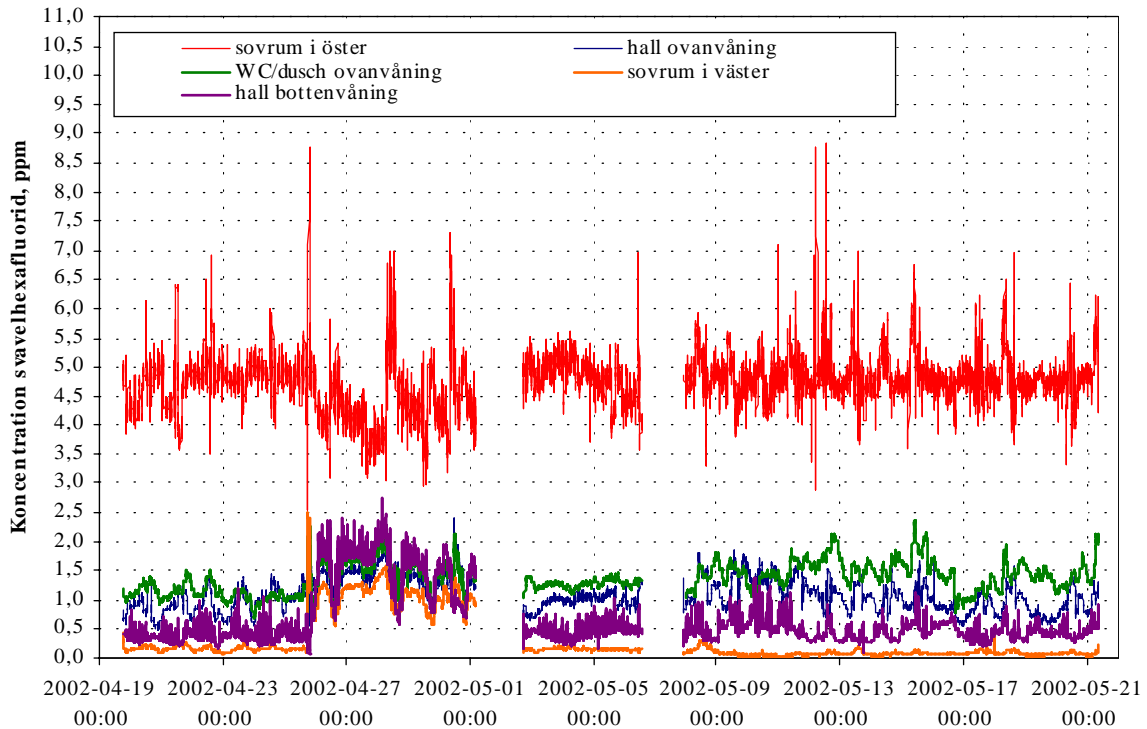
Figur 90 Ovan visas var slang som användes vid gasmätning var placerad på bottenvåningen.



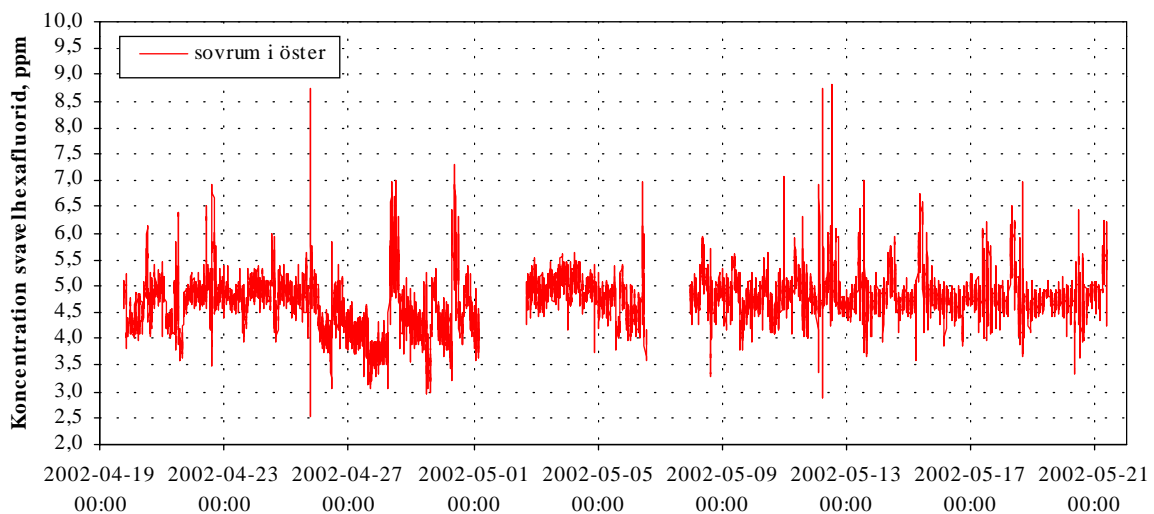
Figur 91 Ovan visas var slang som användes vid gasmätning var placerad på ovanvåningen.

### 7.9.1 Uppmätta gaskoncentrationer

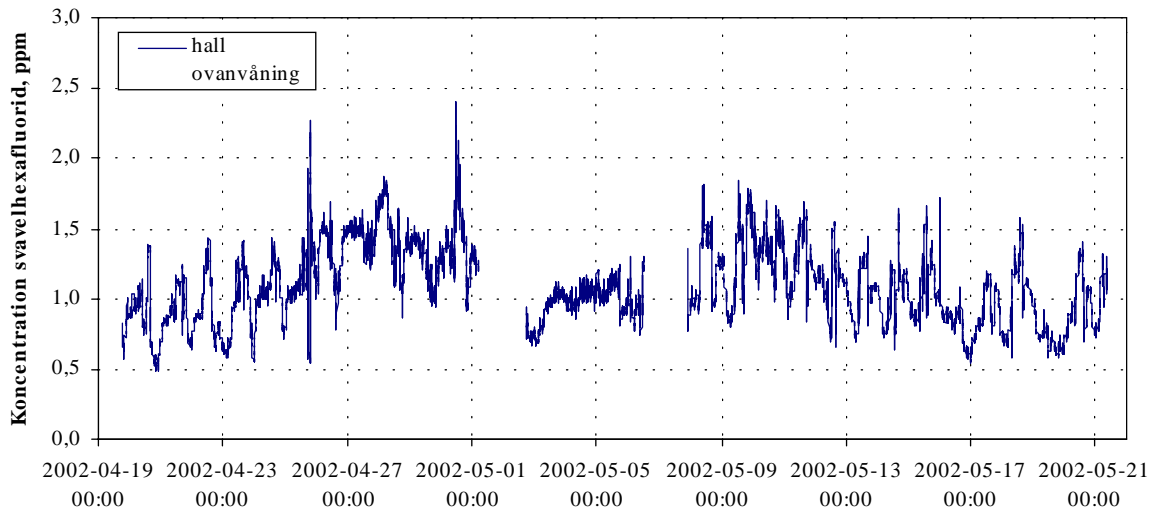
De uppmätta gaskoncentrationerna i de olika utrymmena redovisas först gemensamt i ett diagram tillsammans med medeltemperaturer på ovanvåning och bottenvåning. Därefter redovisas gaskoncentrationer för varje utrymme i var sitt diagram. Mätning genomfördes med stängda dörrar. Den 25:e april besöktes huset av mäklare och dörrar lämnades öppna efter besöket vilket syns tydligt i diagrammen. Vid besök i huset 2:a maj upptäcktes att spårgasapparaturen slutat fungera. Felet åtgärdades och mätningar återupptogs. Från och med denna dag är dörrar åter stängda. Spårgasapparaturen slutade att fungera vid ytterligare ett tillfälle. Efter åtgärdande av fel återupptogs mätningar.



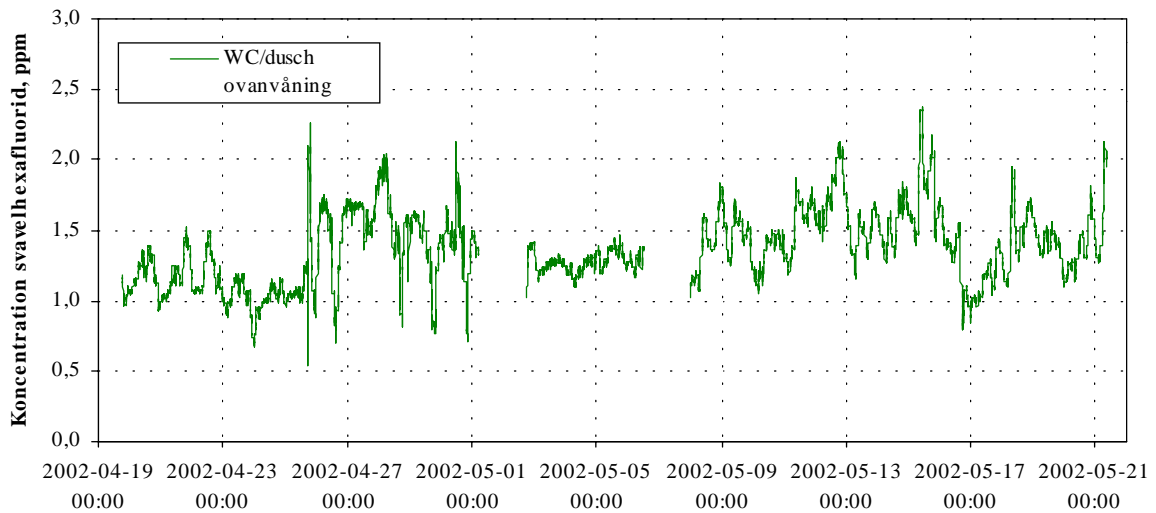
Figur 92 Koncentration av svavelhexafluorid har mätts i sovrums i öster, sovrums i väster, hall och WC/dusch på ovanvåning samt i hall på bottenvåning.



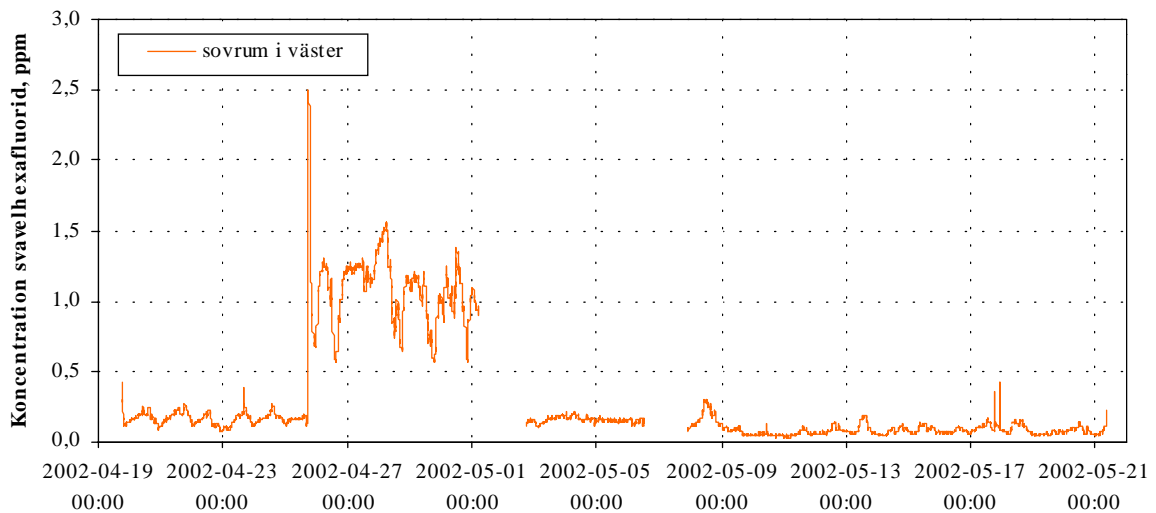
Figur 93 Koncentration av svavelhexafluorid har mätts i sovrums i öster på ovanvåning.



Figur 94 Koncentration av svavelhexafluorid har mätts i hall på ovanvåning.

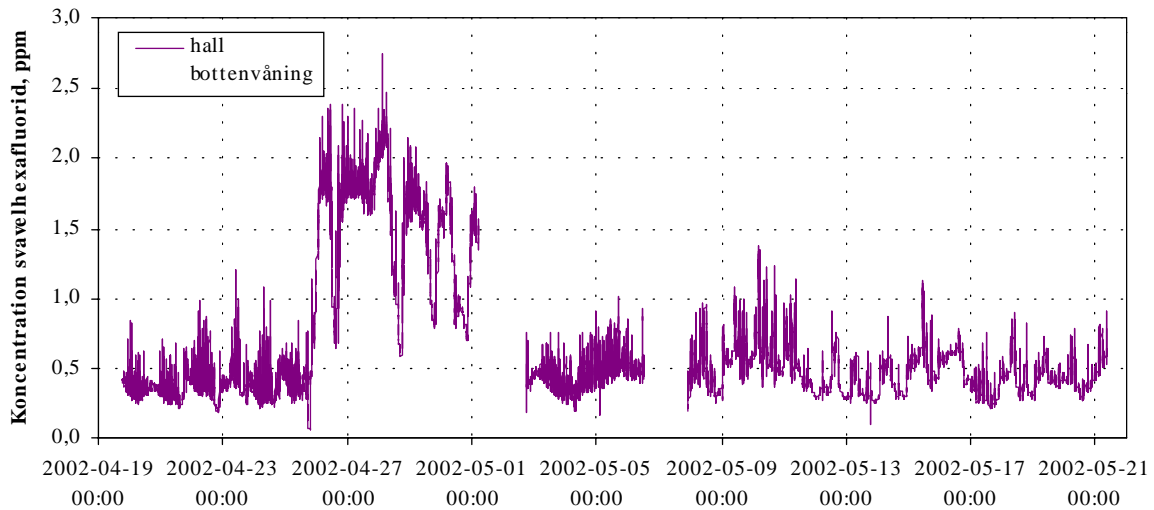


Figur 95 Koncentration av svavelhexafluorid har mätts i WC/dusch på ovanvåning



Figur 96 Koncentration av svavelhexafluorid har mätts i sovrum i väster på ovanvåning.

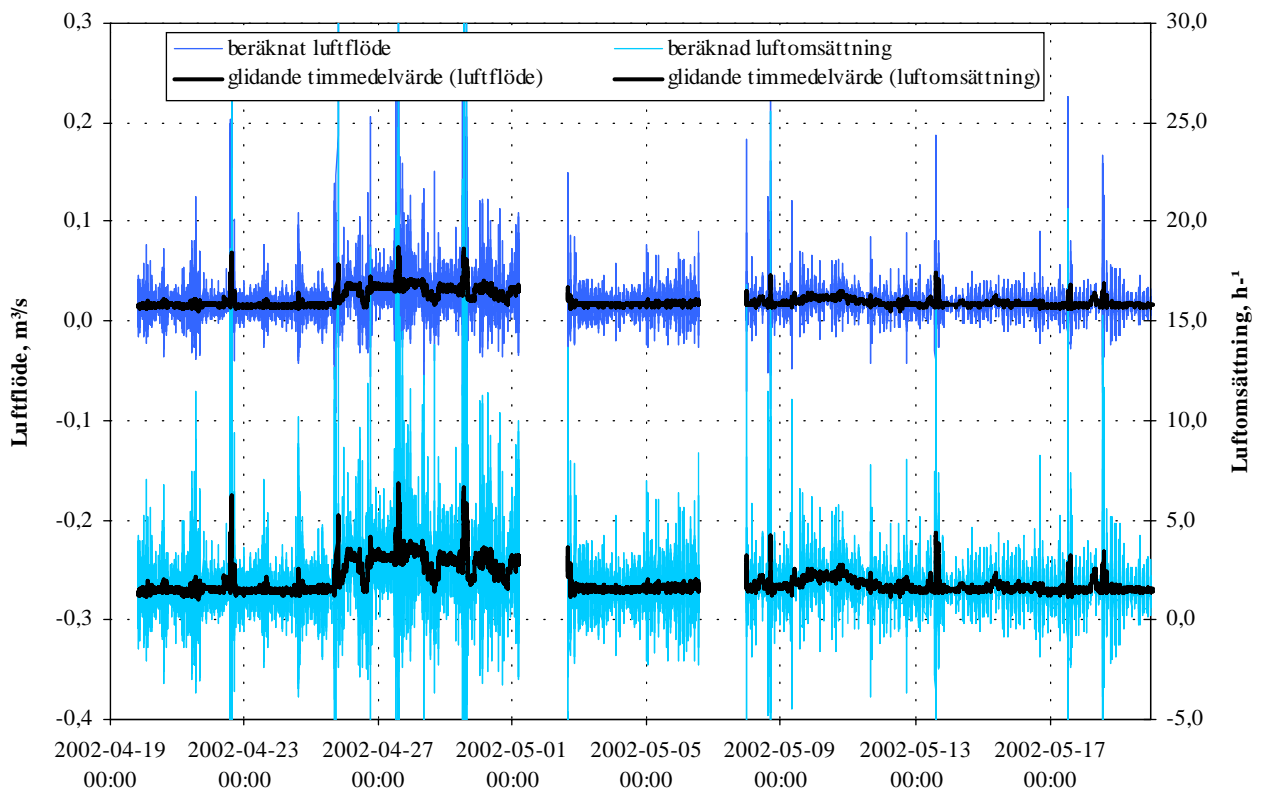




Figur 97 Koncentration av svavelhexafluorid har mätts i hall på bottenvåning.

### 7.9.2 Beräknat luftflöde och luftomsättning

Luftflödet i ett rum eller en byggnad kan bestämmas utifrån uppmätta koncentrationer och tillförd mängd spårgas med hjälp av kontinuitetsekvationen (Grieve, 1991). Nedan redovisas beräknat luftflöde och luftomsättning i sovrum i öster.



Figur 98 Luftflöde i sovrum i öster har beräknats utifrån uppmätta gaskoncentrationer. Luftomsättning i sovrum i öster har beräknats utifrån luftflödet och rummets volym. Glidande timmedelvärde (enligt Microsoft Excel™) har beräknats för både luftflöde och luftomsättning.

### **7.9.3 Analys av beräknat luftflöde och luftomsättning**

Enligt BBR ska tilluftflödet i rum eller del av rum för sömn och vila vara 4 l/s per sovplats. Sovrum i öster är avsett att kunna rymma två sovplatser och följaktligen ska ett minsta tilluftflöde på 8 l/s finnas vilket innebär en minsta luftomsättning på  $0,73 \text{ h}^{-1}$ . Då dörrar är stängda är, utifrån tillförd gasmängd, beräknat flöde genom rummet ungefär dubbelt så stort som BBR:s krav. Beräknat flöde är inte nödvändigtvis tilluftflöde. Luftflöde och luftomsättning i sovrums i öster fördubblas när husets innerdörrar är öppna jämfört med när de är stängda. När innerdörrar är öppna transporteras större mängd luft från sovrums i öster ut genom övriga rums frånluftdon.

## 8 DISKUSSION

Husen är välisolerade och välbyggda vilket medför att risken för höga lufthastigheter, låga yttemperaturer och stora strålningsasymmetrier är liten. Båda husen har stora fönsterytor vilket i välisolerade hus kan medföra risk för övertemperaturer, framför allt vår och höst då solen står lågt. För att minimera övertemperaturer krävs att solskydd används.

Mätningar i Yxhulthuset visar att framförallt ovanvåningen är mycket känslig för solinstrålning vilket medför att övertemperaturer lätt uppkommer. På grund av detta rekommenderas automatisk reglering av de yttre solskydden som i dagsläget sköts manuellt. Värmesystemet är konstruerat för att snabbt reagera på temperaturförändringar och därigenom kunna utnyttja värmestrålning från solen. Vid besök på plats konstaterades att trots stor solinstrålning och hög inomhustemperatur fanns värmetillförsel från radiatorerna. Troligtvis behöver värmesystemet injusteras. Yttemperaturer i Yxhulthuset är bra. Tjocka lättbetongväggar och glas med låga U-värden ger att invändiga ytor håller en hög temperatur. Då huset är välbyggt existerar endast få köldbryggor. Mindre köldbryggor har detekterats i tak under terrass och i hörn där fasadelement sammanfogats. Köldbryggorna bedöms ej påverka inomhusklimatet. Golvtemperaturer är höga på grund av den frånluftsventilerade varmgrundens.

I LB-huset förekommer överlag höga yttemperaturer vilket visar på en god isolering. Lokal sänkning av yttemperatur på vägg uppkommer kring tilluftdon. Mycket isolering under betongplatta på mark medför höga golvtemperaturer även utan golvvärme. De höga yttemperaturerna ger att även operativa temperaturer blir goda.

Yxhulthuset har till- och frånluftventilation med luftvärmewäxling medan LB hus har mekanisk frånluft med en värmepump.

Mätning av till och frånluftflöden vid don i Yxhulthuset visar på stor obalans i ventilationsystemet med dubbelt så stort frånluftflöde som tilluftflöde. Detta medför stora värmeförluster. Obalansen är ett injusteringsproblem som troligtvis lätt kan rättas till. Värre är att tilluften är förorenad av frånluft på grund av donens placering på utsidan av fasaden. Stor del av den luft som lämnar huset som avluft sugas direkt in i tilluften. Genom att ändra donens placering eller att byta ut den befintliga konstruktionen till en för platsen bättre konstruktion kan detta problem avhjälpas. Mätningar med spårgas visar att lufttransporten genom trapphuset är av betydande storlek. Beroende på temperaturens drivkraft transporteras luft från den ena våningen till andra.

I LB-huset är uppmätt totalt frånluftflöde något större än det projekterade flödet. För att säkerställa god ventilation finns frånluftdon i alla sovrum. Frånluftflödena i sovrummen är relativt stora medan frånluftflödena i hygienutrymmen är lägre än de av BBR rekommenderade värdena. Huruvida de låga flödena i hygienutrymme orsakar problem är inte utrett i detta arbete men bör kontrolleras. Frånluftsystemet bör justeras till projekterade värden för att minska värmeförlusterna. Tilluften i LB-huset tas in bakom träfasaden och värms där upp av solstrålningen mot fasaden. Under vintern minskar energianvändningen på grund av förvärmad luft men övrig tid kan övertemperaturer uppkomma. Risk för emissioner, exempelvis terpener, från träpanelen kan finnas. Luftkvalitetprov rekommenderas att ta för att utröna om konstruktionslösningen kan medföra hälsoproblem.

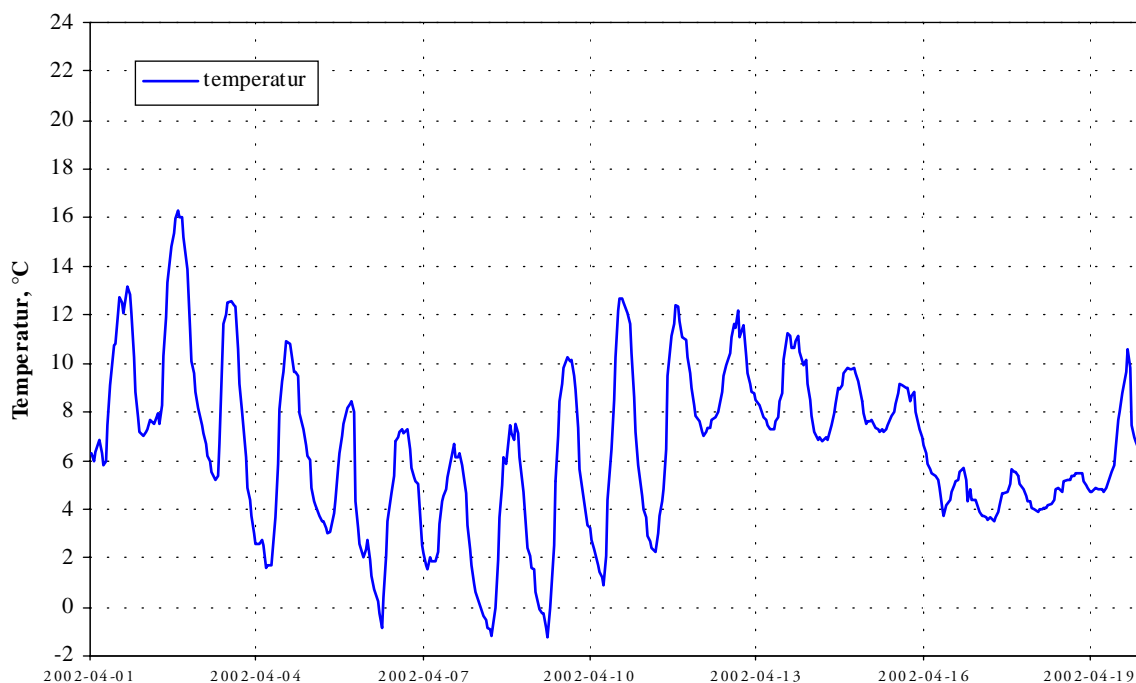
**REFERENSER**

- Björck, M. (2001) *Inomhusmiljö och hälsa i bostäder*. (Rapport TVBH-3039). Lund: Lunds Tekniska Högskola, Avdelningen för Byggnadsfysik.
- Boverket. (2002) *Boverkets byggregler -94 (föreskrifter och allmänna råd), BBR 94*. (BFS 1993:57 med ändringar till och med 2002:19). Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (1998) *Kriterier för sunda byggnader och material*. Karlskrona: Boverket.
- Byggeforskningsrådet. (2000) *Hus & Hälsa: Människors hälsa och inomhusmiljön*. (T6:2000). Stockholm: Byggeforskningsrådet.
- Byggeforskningsrådet. (2000) *Hus & Hälsa: Ventilation*. (T9:2000). Stockholm: Byggeforskningsrådet.
- Grieve, P. W. (1991) *Measuring Ventilation using Tracer-gases*. Glostrup, Danmark: Brüel & Kjær.
- Hedberg, E., Svennberg, K. (1991) *Bli vit panel fuktigare än röd? En studie av temperaturförhållande och fukttillstånd i lockpanel*. (Examensarbete E-91:1). Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola, Avdelningen för Byggnadsmaterial.
- Nevander, L-E., Elmarsson, B. (2001) *Fukthandbok*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- Victorin, K., Ahlbom, A., Andersson, Y., Bellander, T., Berglind, N., Berglund, M., Carlstedt-Duke, B., Dock, L., deFaire, U., Falk Filipsson, A., Hanberg, A., Hillert, L., Lidén, C., Lindvall, T., Nyberg, F., Pershagen, G., Staxler, L., Svensson, H., Vahter, M. (2001) *Miljöhälso-rapport 2001*. Stockholm: Socialstyrelsen, Institutet för Miljömedicin, Miljömedicinska enheten vid Stockholms läns landsting.
- Warfvinge, C. (2000) *Installationsteknik för V*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Avdelningen för Installationsteknik.

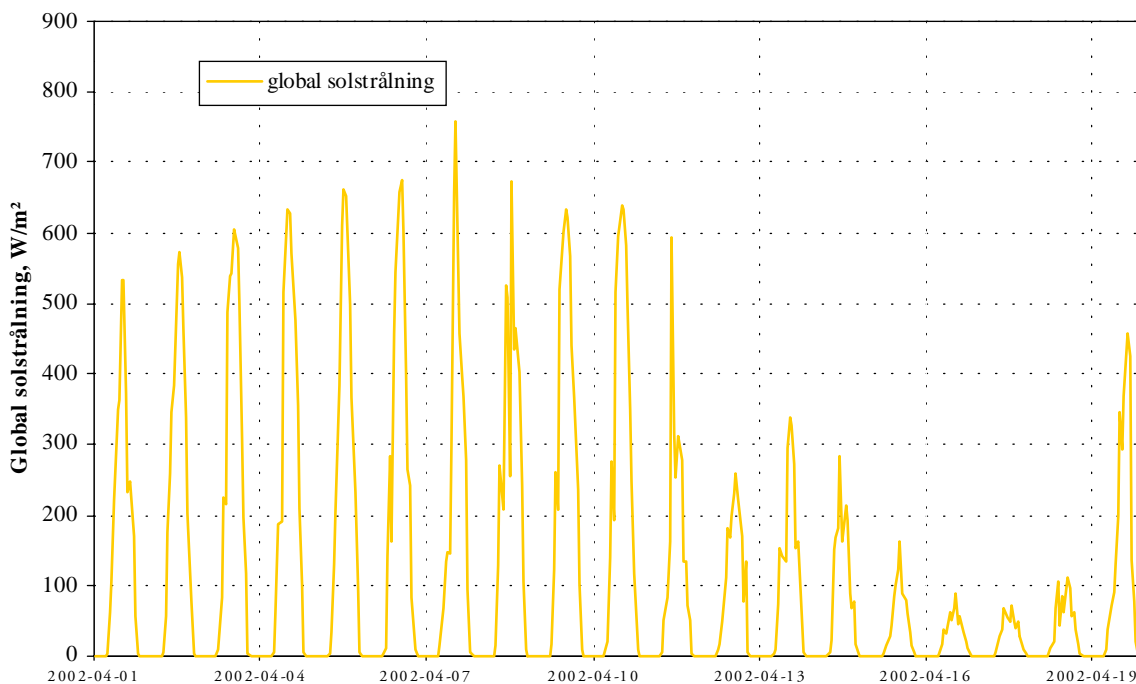
## BILAGA 1: KLIMATDATA FÖR YXHULTHUSET

Redovisade klimatdata är uppmätta vid Heleneholmsverket i centrala Malmö.

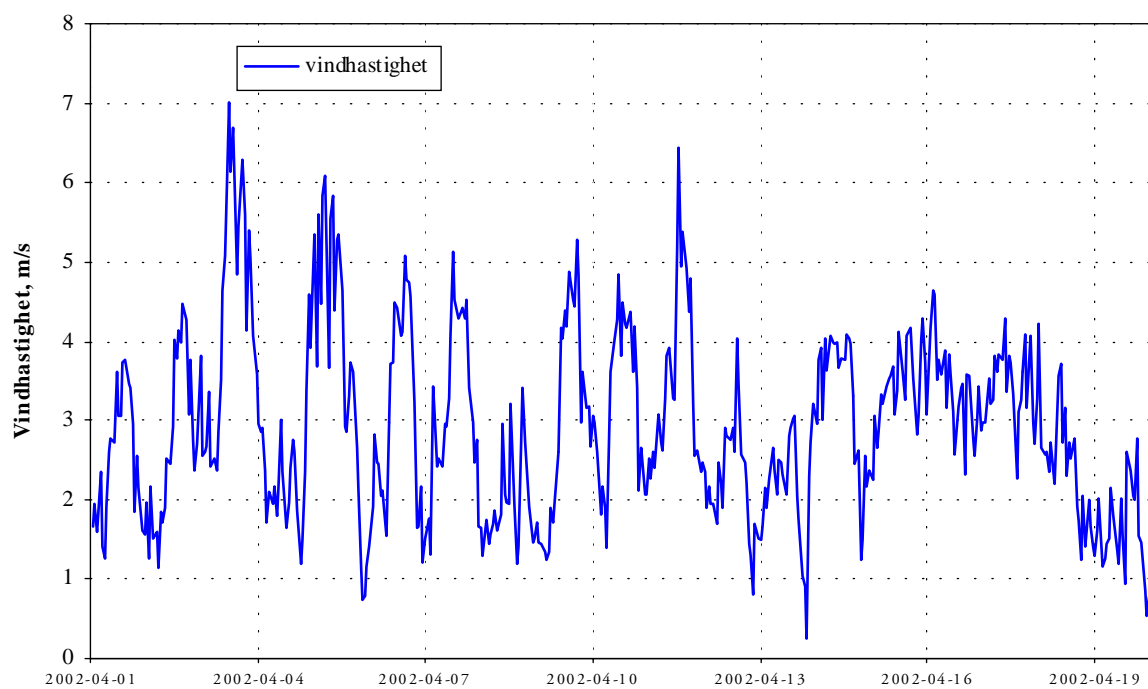
### 2002-04-01 TILL 2002-04-20



Figur 1 Utomhustemperatur i Malmö för perioden 2002-04-01 till 2002-04-20.

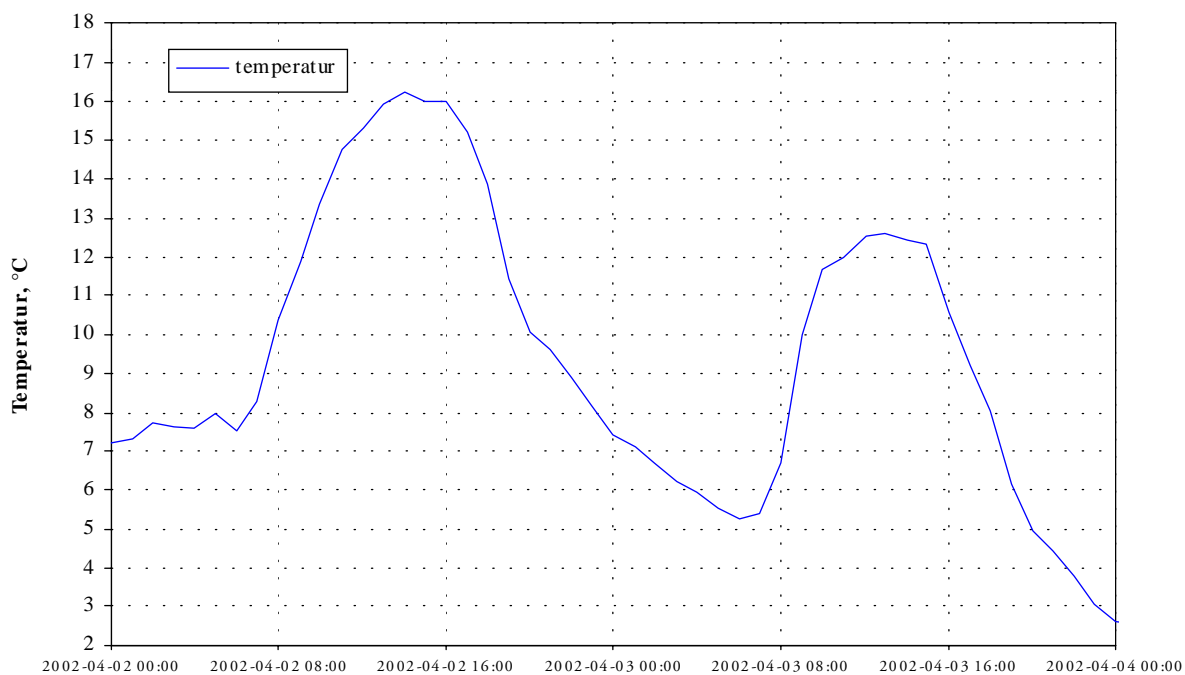


Figur 2 Global solstrålning i Malmö för perioden 2002-04-01 till 2002-04-20.

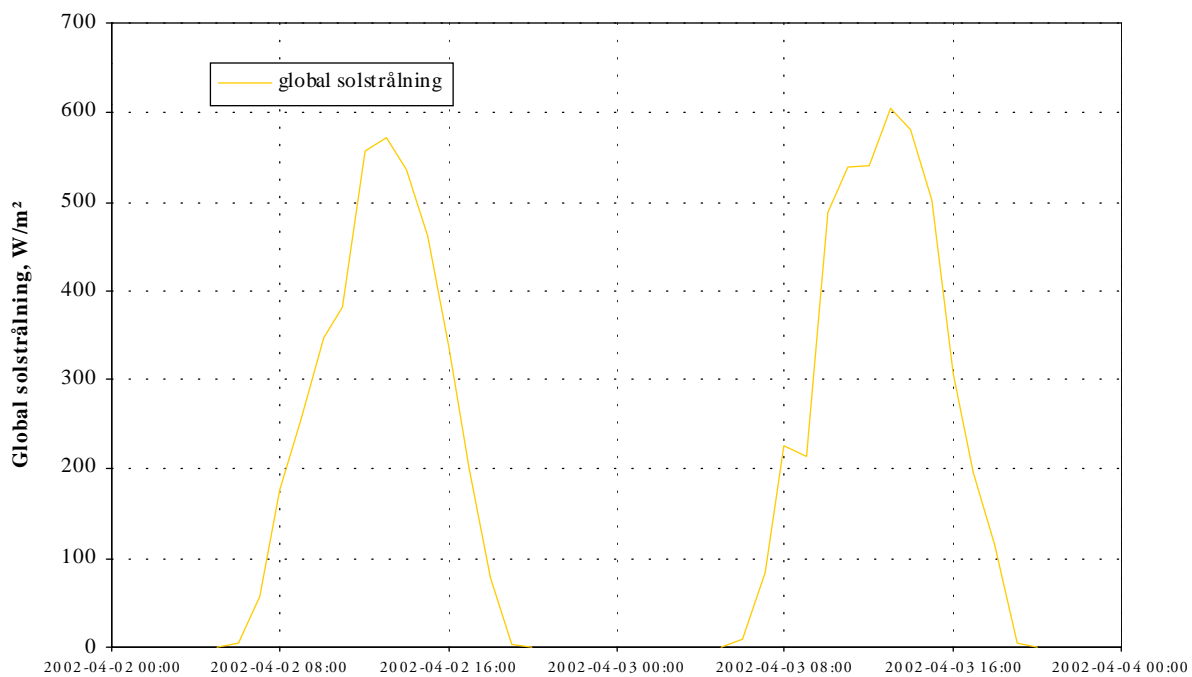


Figur 3 Vindhastighet i Malmö för perioden 2002-04-01 till 2002-04-20.

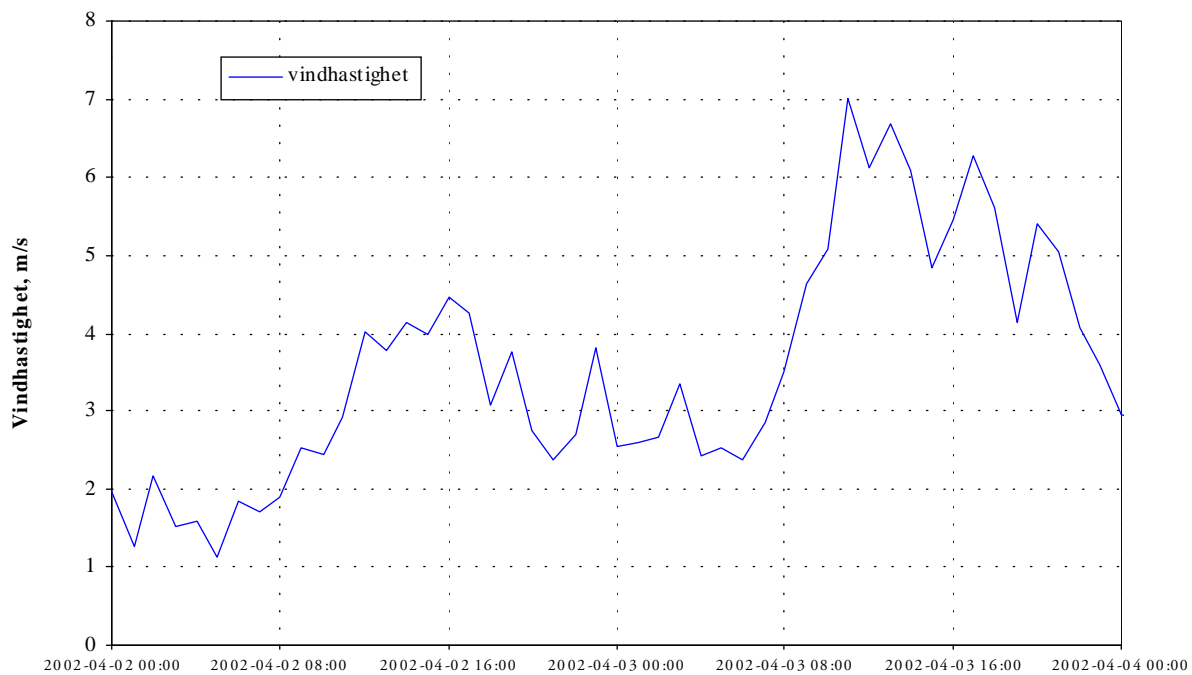
2002-04-02 OCH 2002-04-03



Figur 4 Utetemperatur i Malmö för dygnen 2002-04-02 och 2002-04-03.



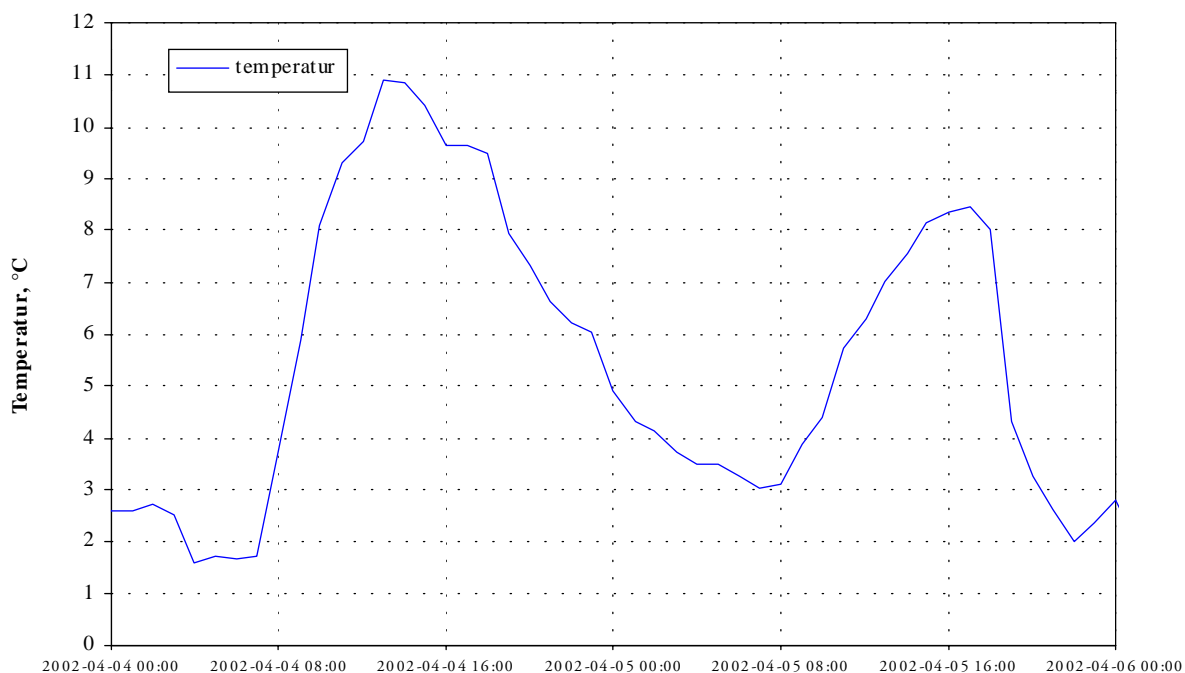
Figur 5 Global solstrålning i Malmö för dygnen 2002-04-02 och 2002-04-03.



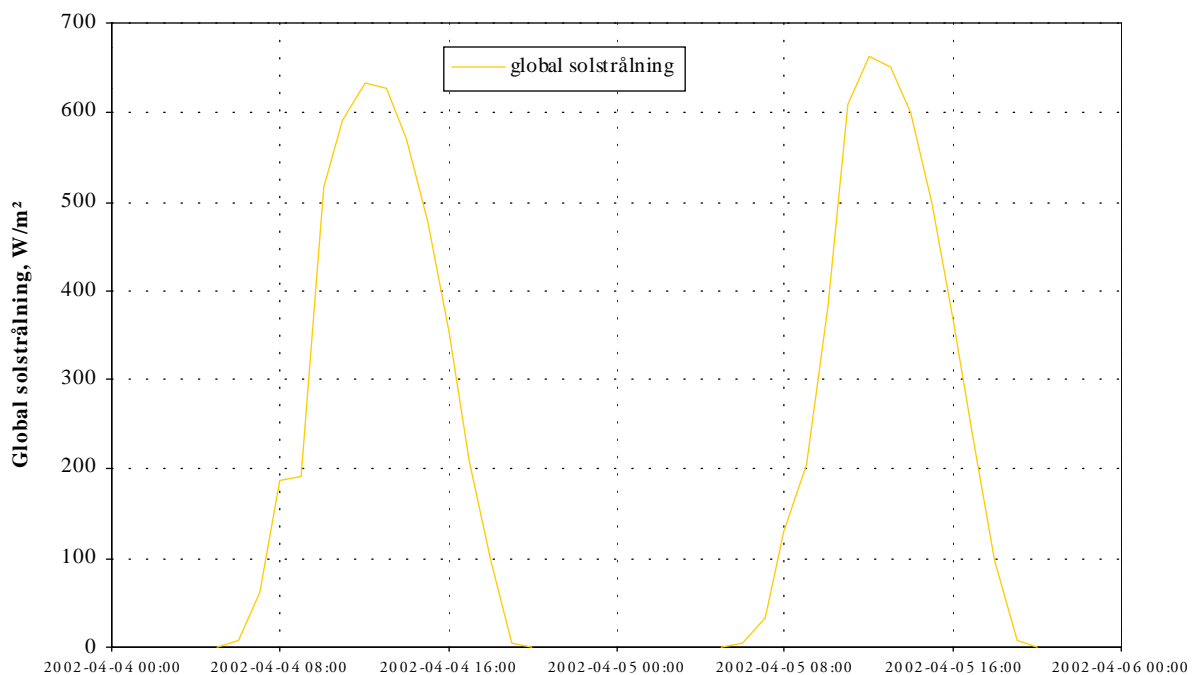
Figur 6 Vindhastighet i Malmö för dygnet 2002-04-02 och 2002-04-03.



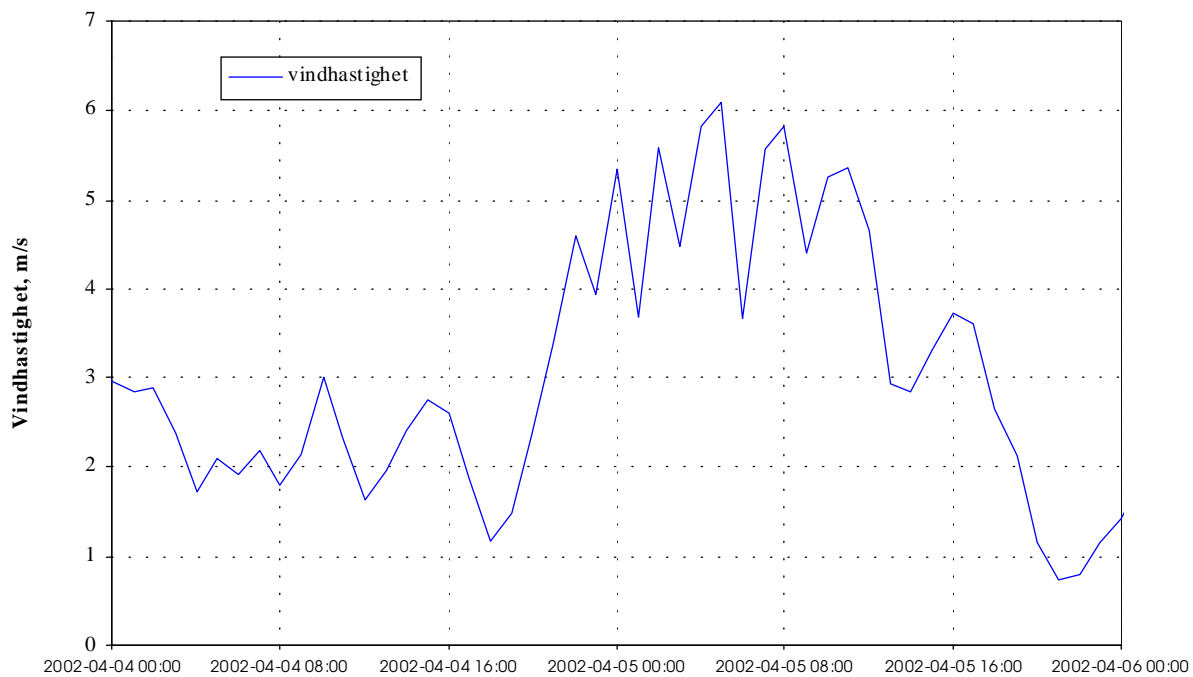
2002-04-04 OCH 2002-04-05



Figur 7 Utetemperatur i Malmö för dygnen 2002-04-04 och 2002-04-05.

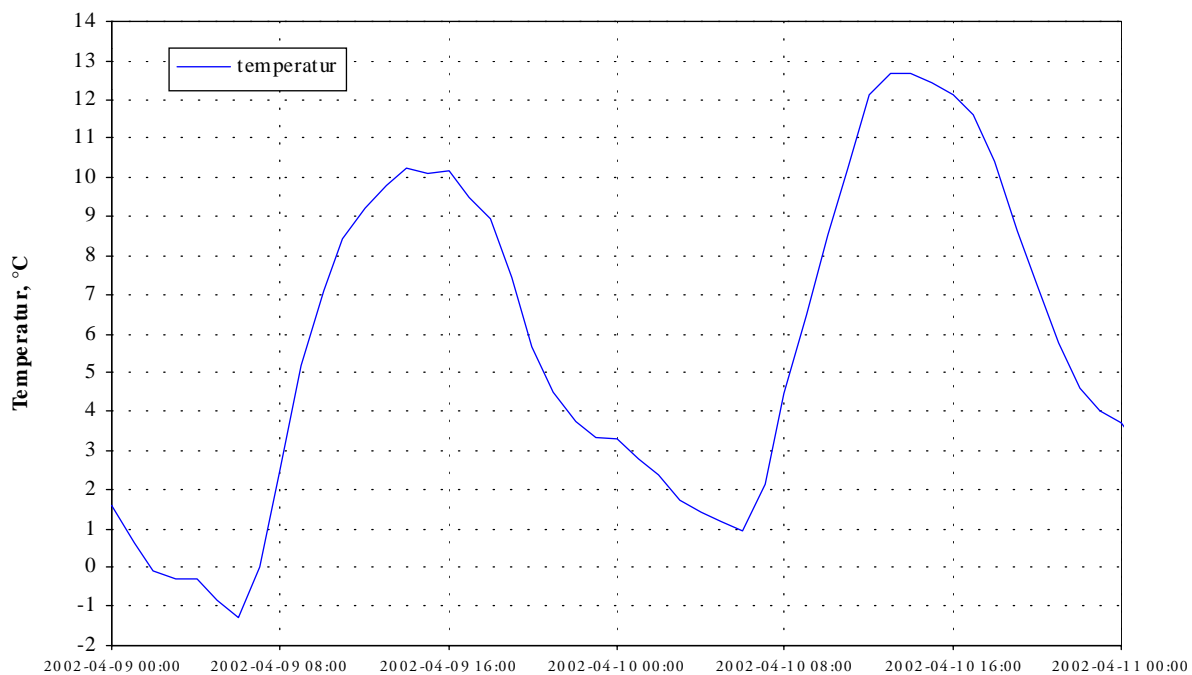


Figur 8 Global solstrålning i Malmö för dygnen 2002-04-04 och 2002-04-05.

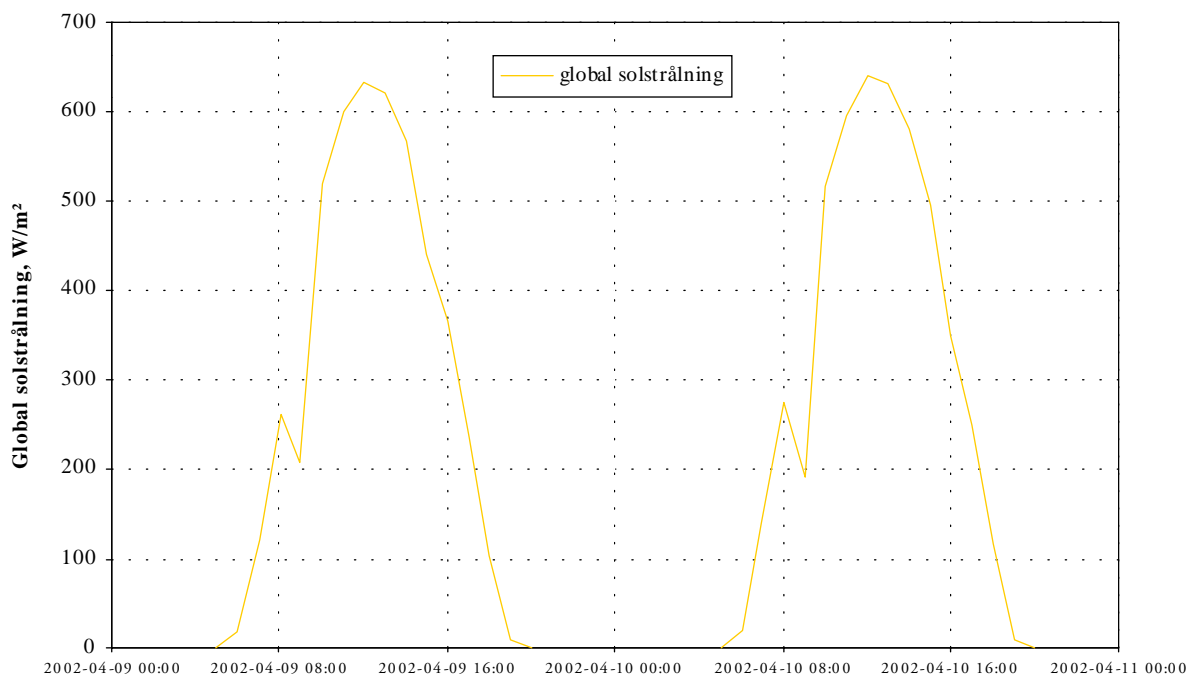


Figur 9 Vindhastighet i Malmö för dygnet 2002-04-04 och 2002-04-05.

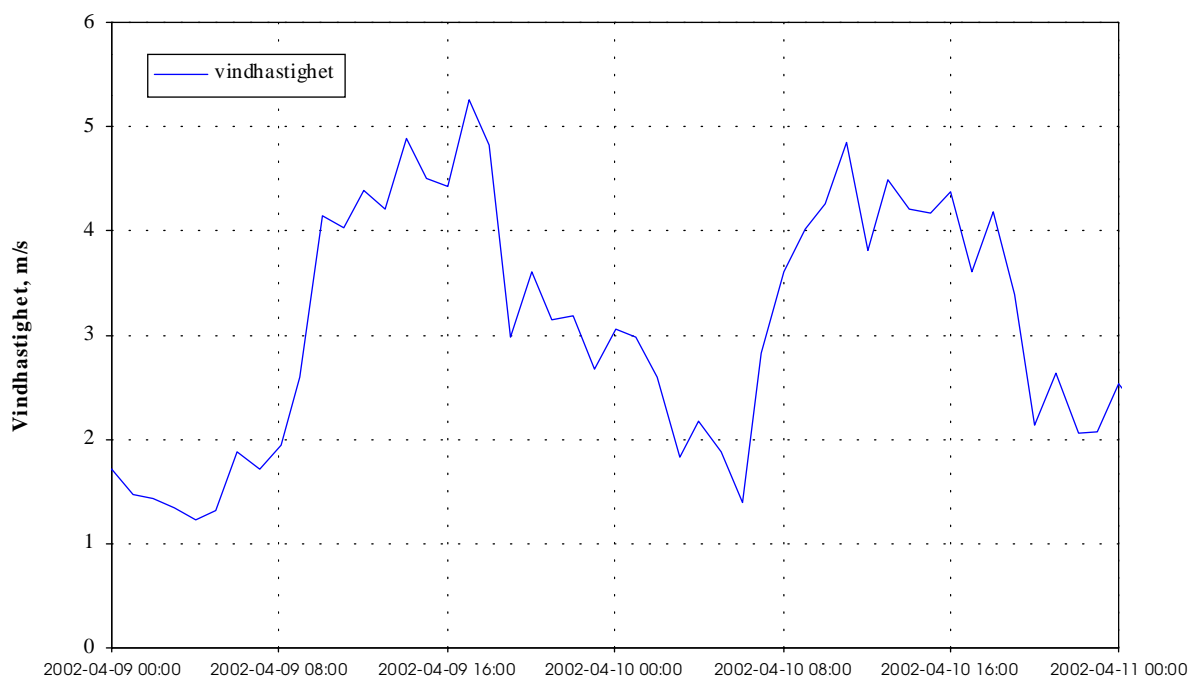
2002-04-09 OCH 2002-04-10



Figur 10 Utetemperatur i Malmö för dygnen 2002-04-09 och 2002-04-10.

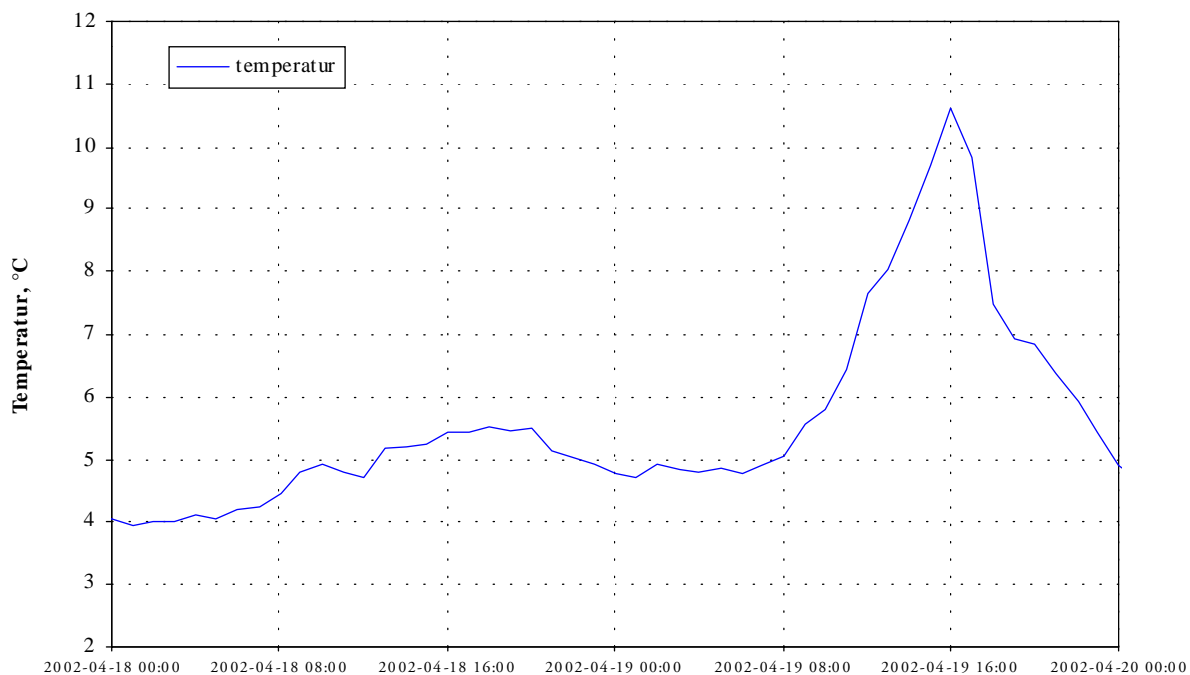


Figur 11 Global solstrålning i Malmö för dygnen 2002-04-09 och 2002-04-10.

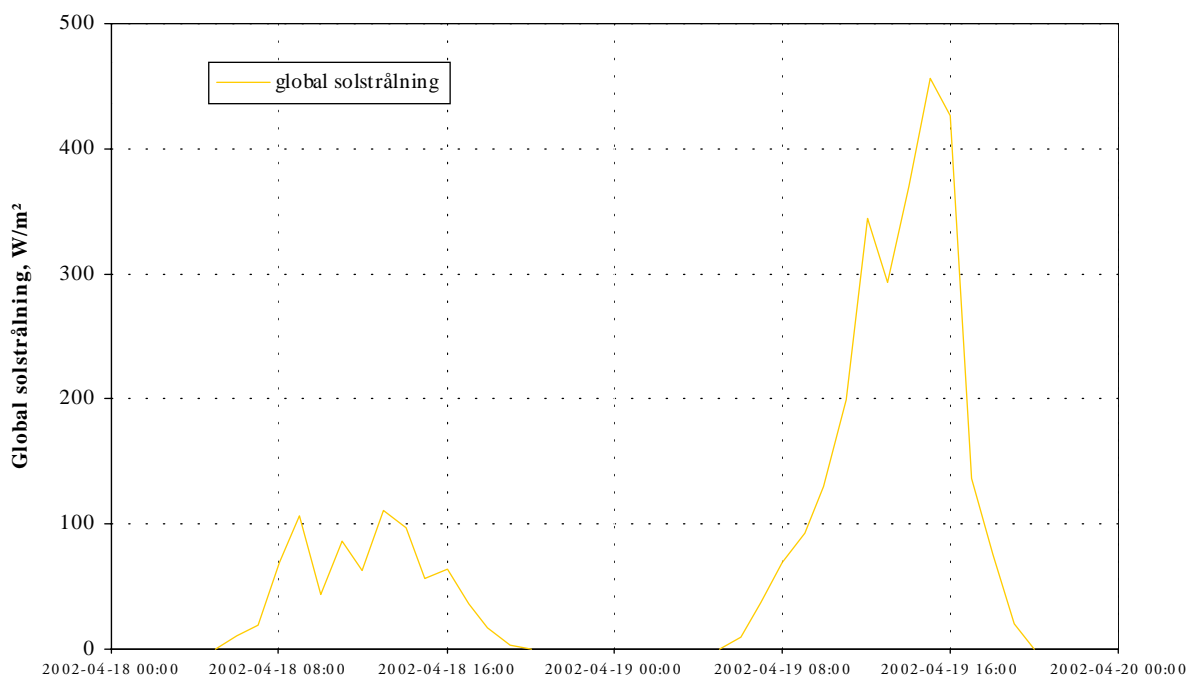


Figur 12 Vindhastighet i Malmö för dygnet 2002-04-09 och 2002-04-10.

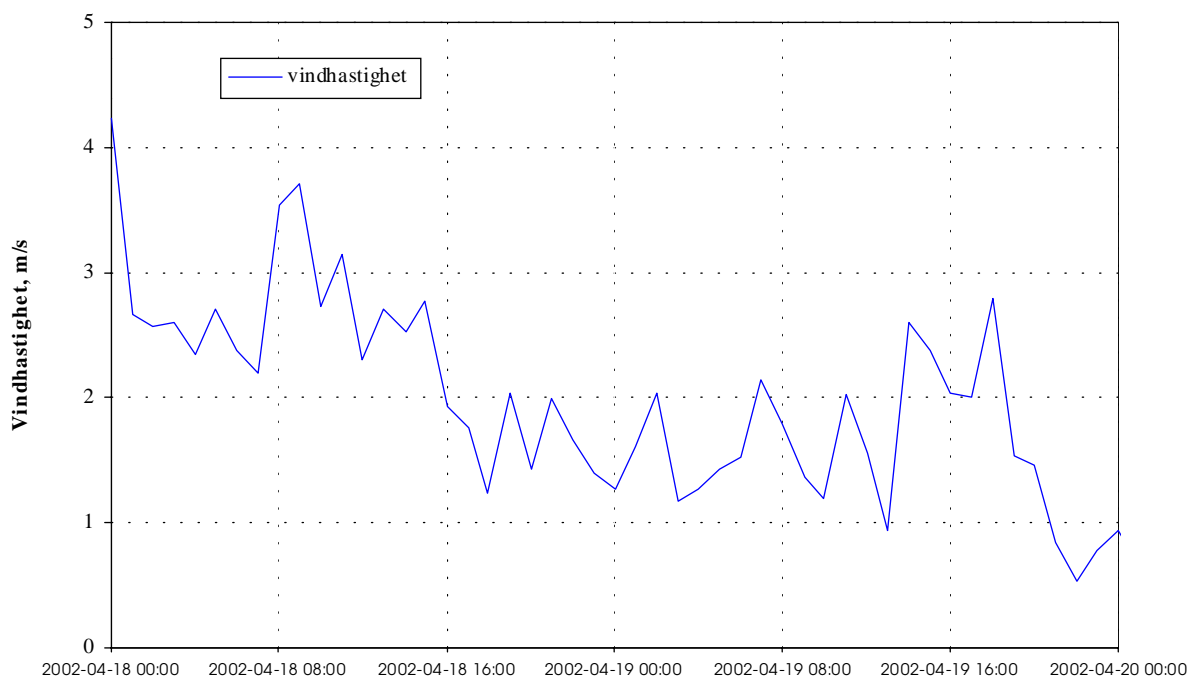
2002-04-18 OCH 2002-04-19



Figur 13 Utetemperatur i Malmö för dygnen 2002-04-18 och 2002-04-19.

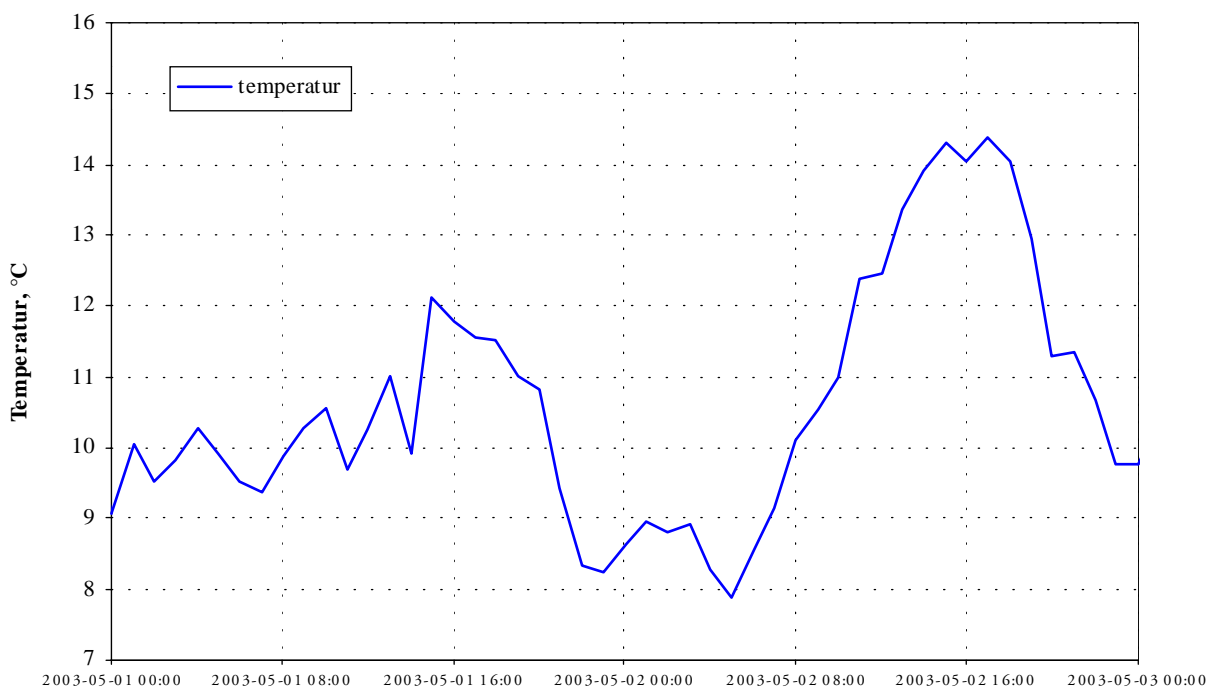


Figur 14 Global solstrålning i Malmö för dygnen 2002-04-18 och 2002-04-19.

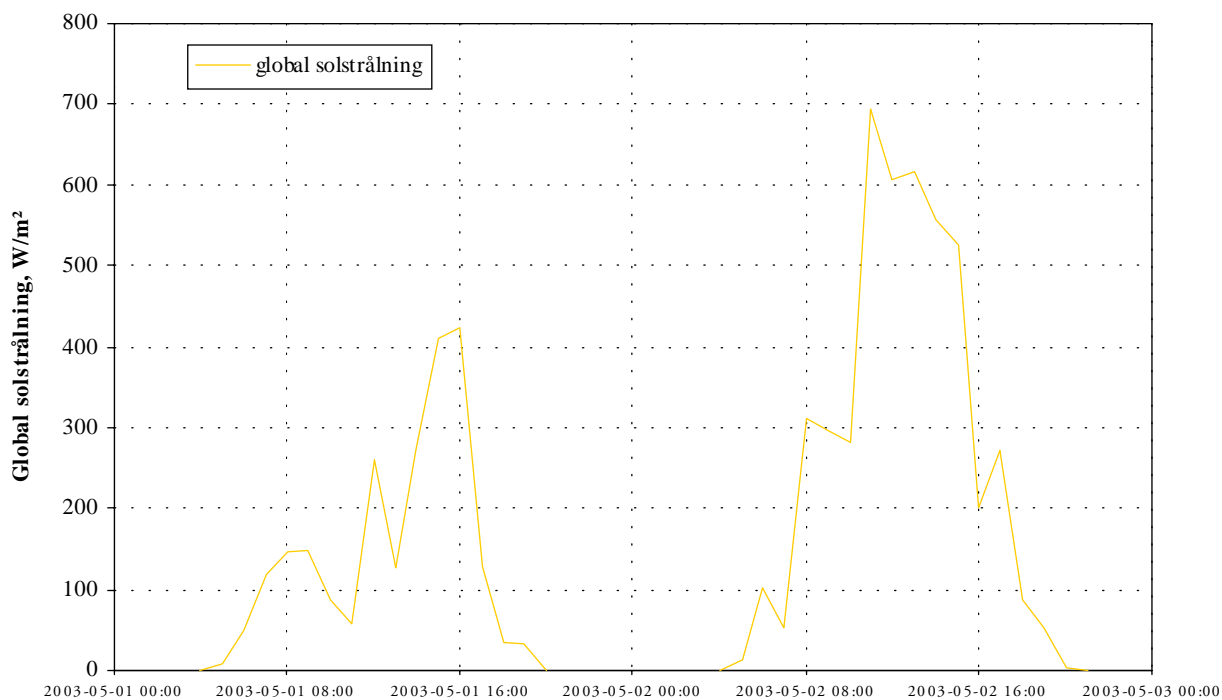


Figur 15 Vindhastighet i Malmö för dygnen 2002-04-18 och 2002-04-19.

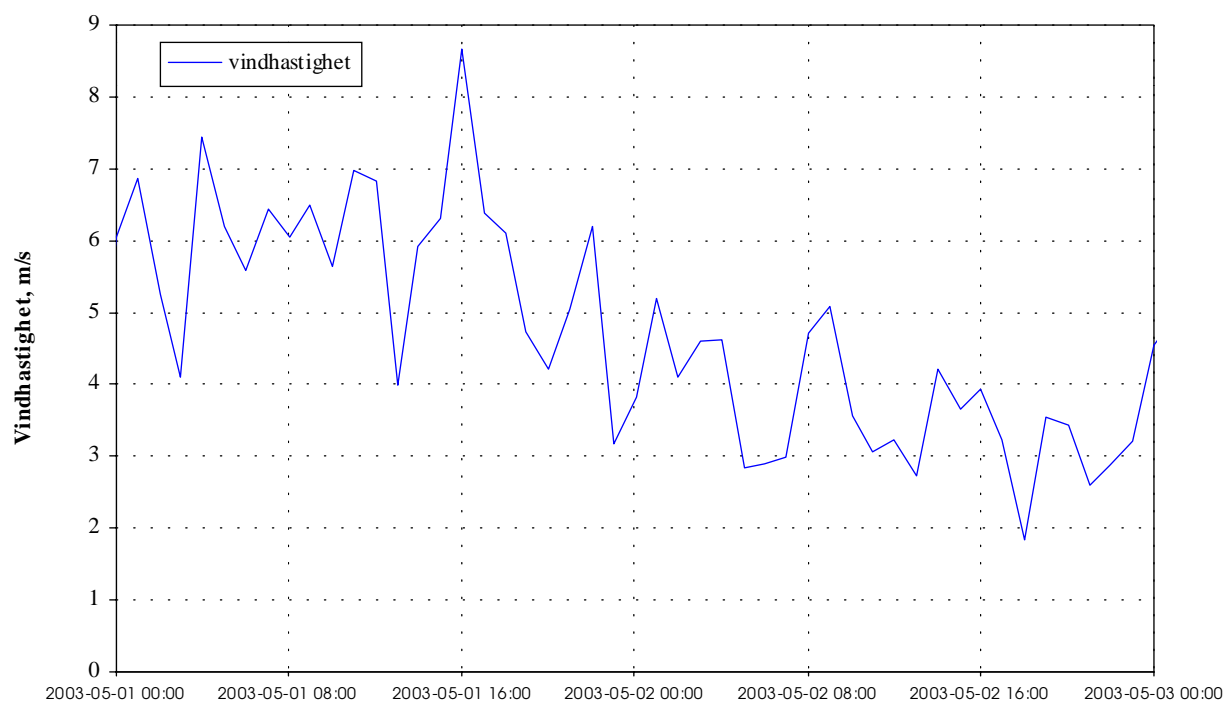
2003-05-01 OCH 2003-05-02



Figur 16 Utetemperatur i Malmö för dygnen 2003-05-01 och 2003-05-02.



Figur 17 Global solstrålning i Malmö för dygnen 2003-05-01 och 2003-05-02.



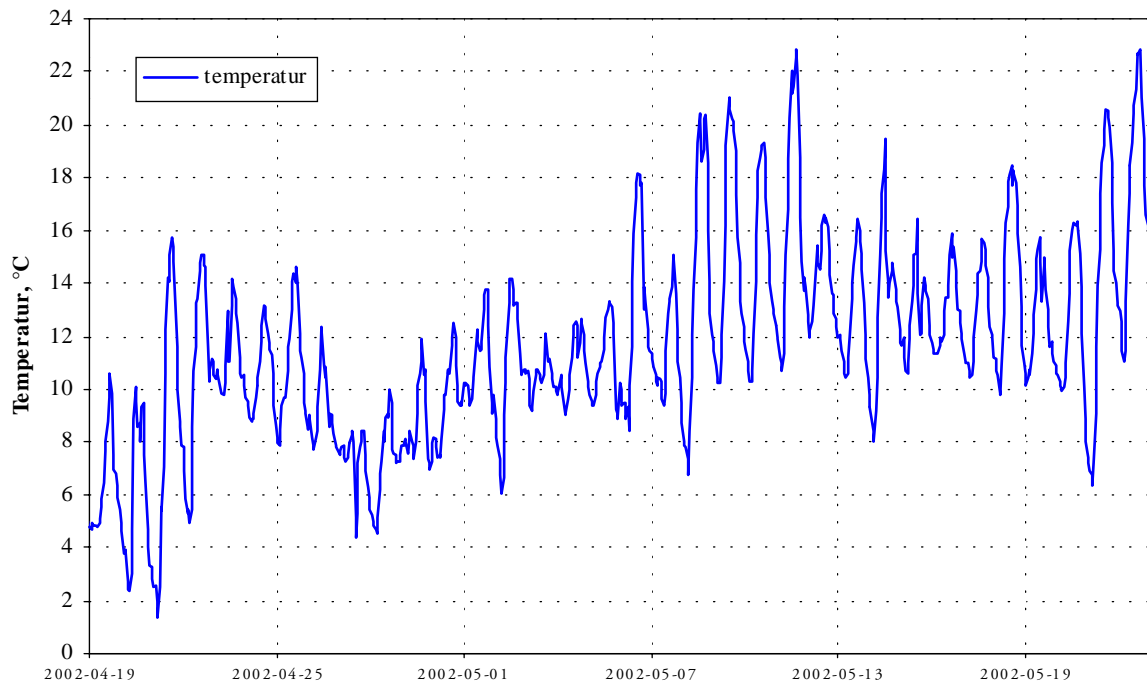
Figur 18 Vindhastighet i Malmö för dygnet 2002-04-18 och 2002-04-19.



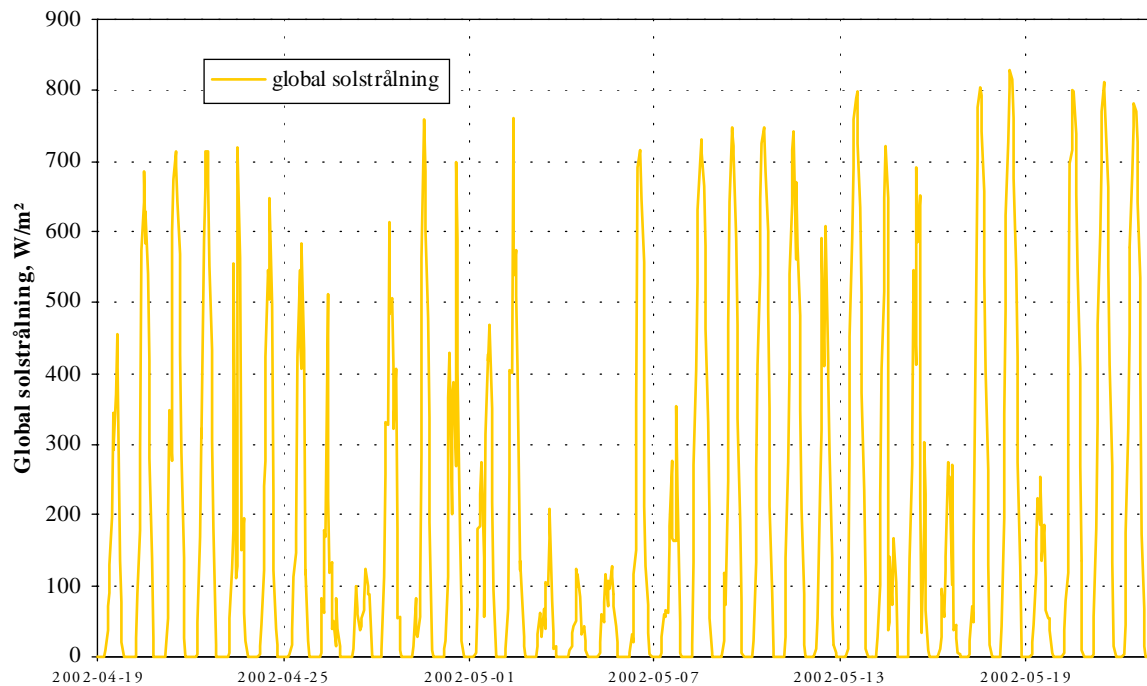
## BILAGA 2: KLIMATDATA FÖR LB-HUSET

Redovisade klimatdata är uppmätta vid Heleneholmsverket i centrala Malmö.

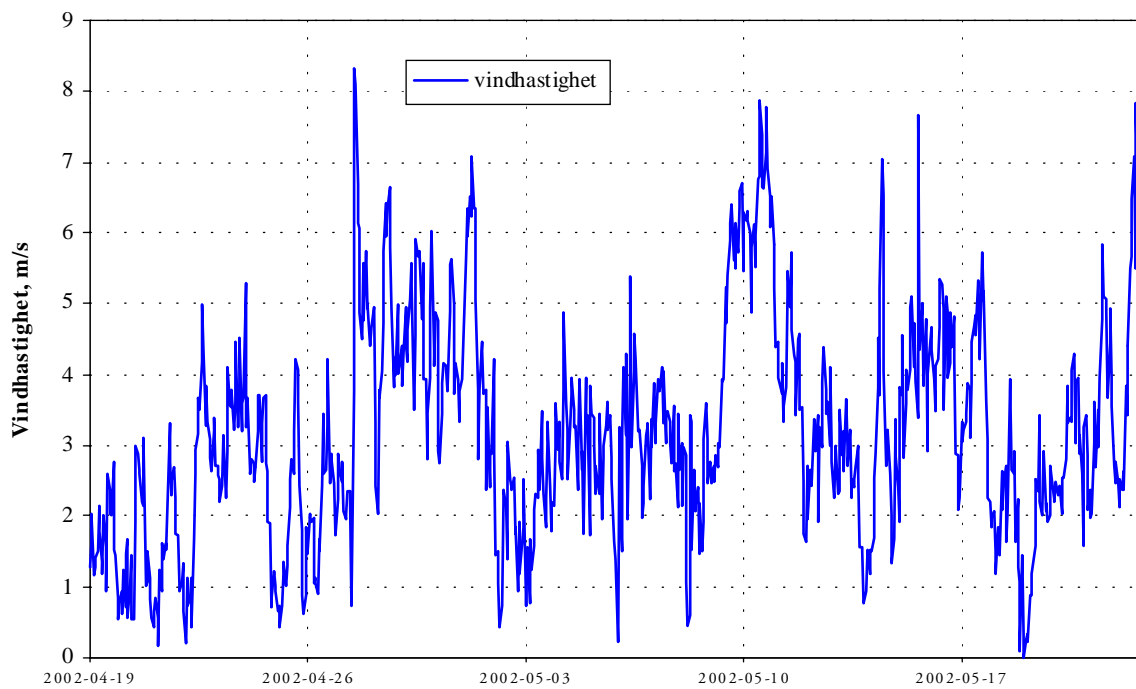
2002-04-19 TILL 2002-05-23



Figur 1 Utomhustemperatur i Malmö för perioden 2002-04-19 till 2002-05-23.

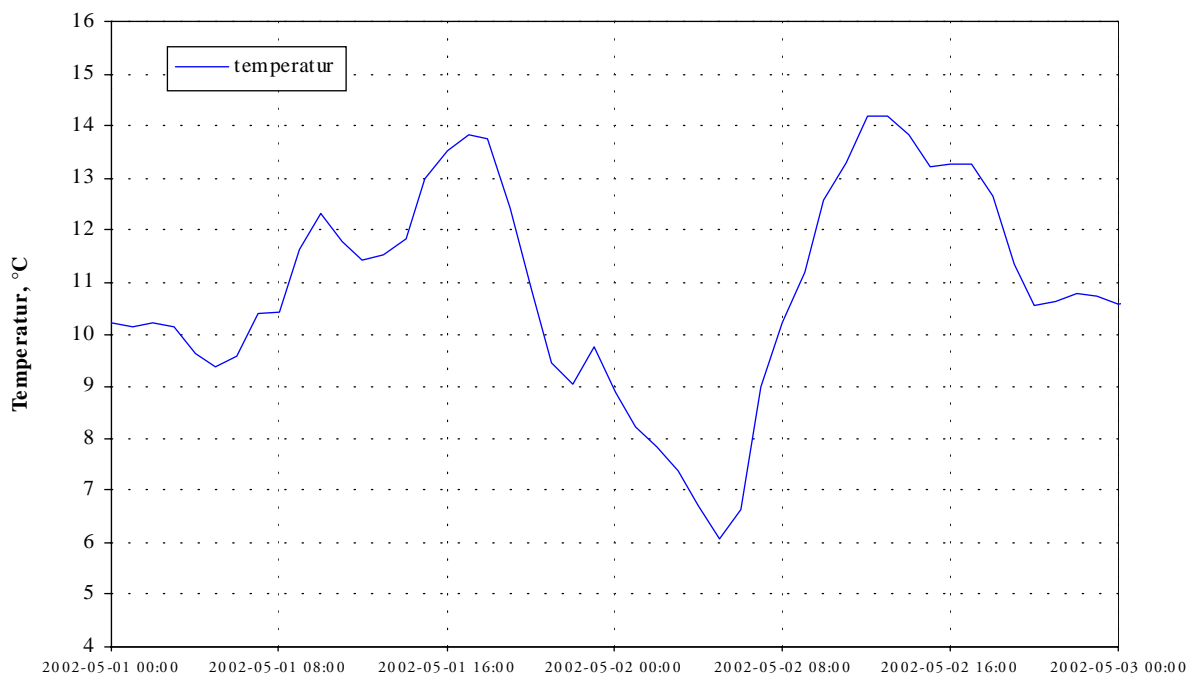


Figur 2 Global solstrålning i Malmö för perioden 2002-04-19 till 2002-05-23.

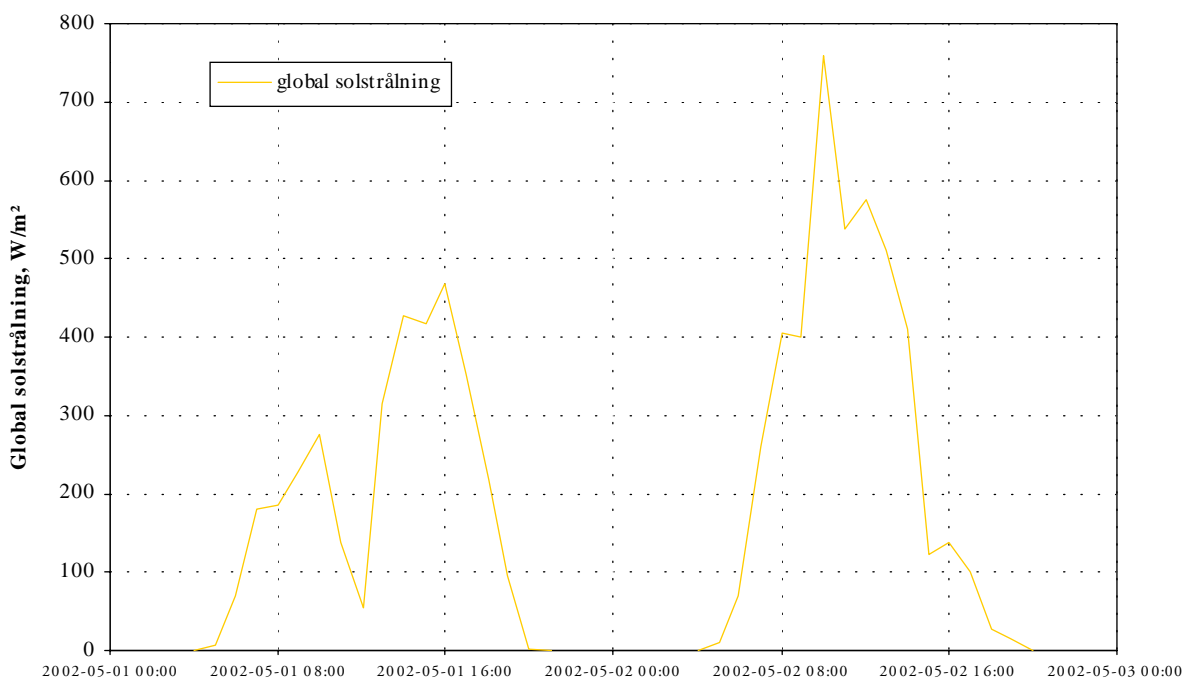


Figur 3 Vindhastighet i Malmö för perioden 2002-04-01 till 2002-04-20.

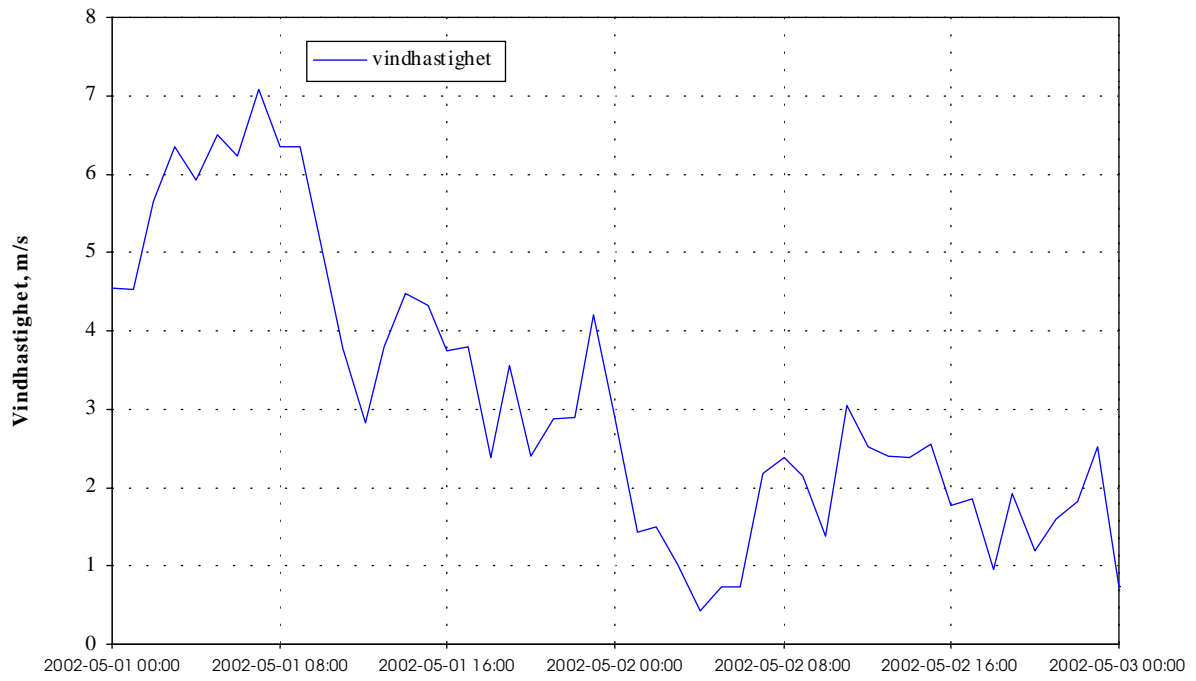
2002-05-01 OCH 2002-05-02



Figur 4 Utetemperatur i Malmö för dygnen 2002-05-01 och 2002-05-02.

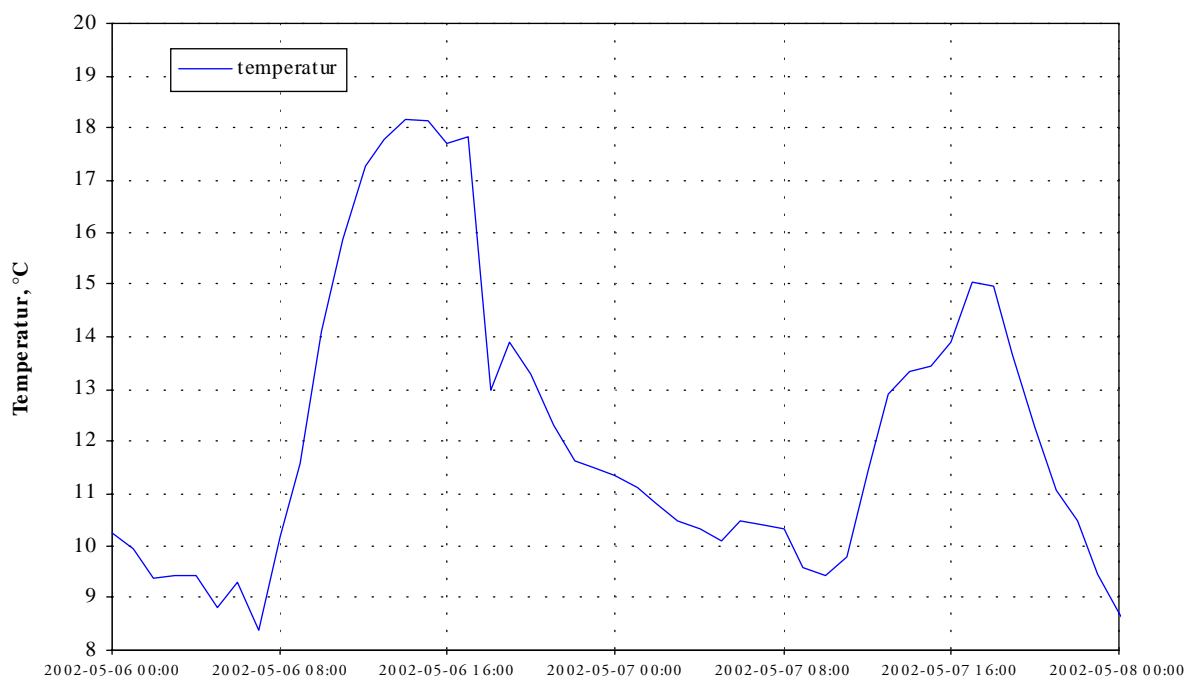


Figur 5 Global solstrålning i Malmö för dygnen 2002-05-01 och 2002-05-02.

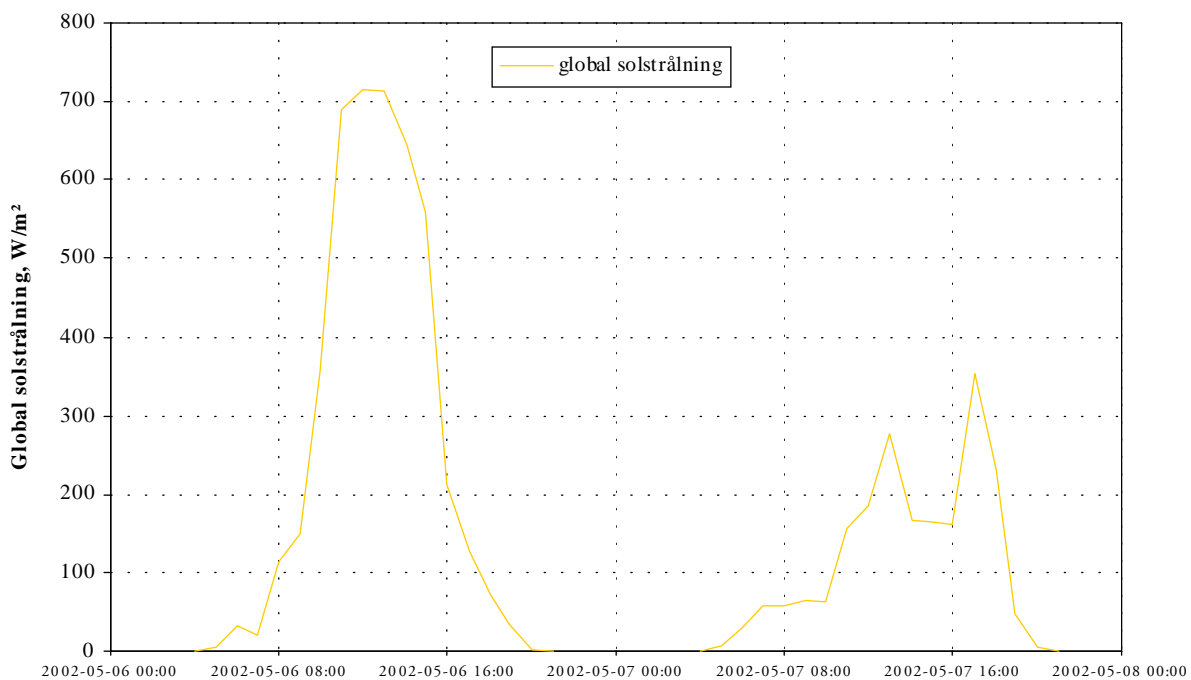


Figur 6 Vindhastighet i Malmö för dygnet 2002-05-01 och 2002-05-02.

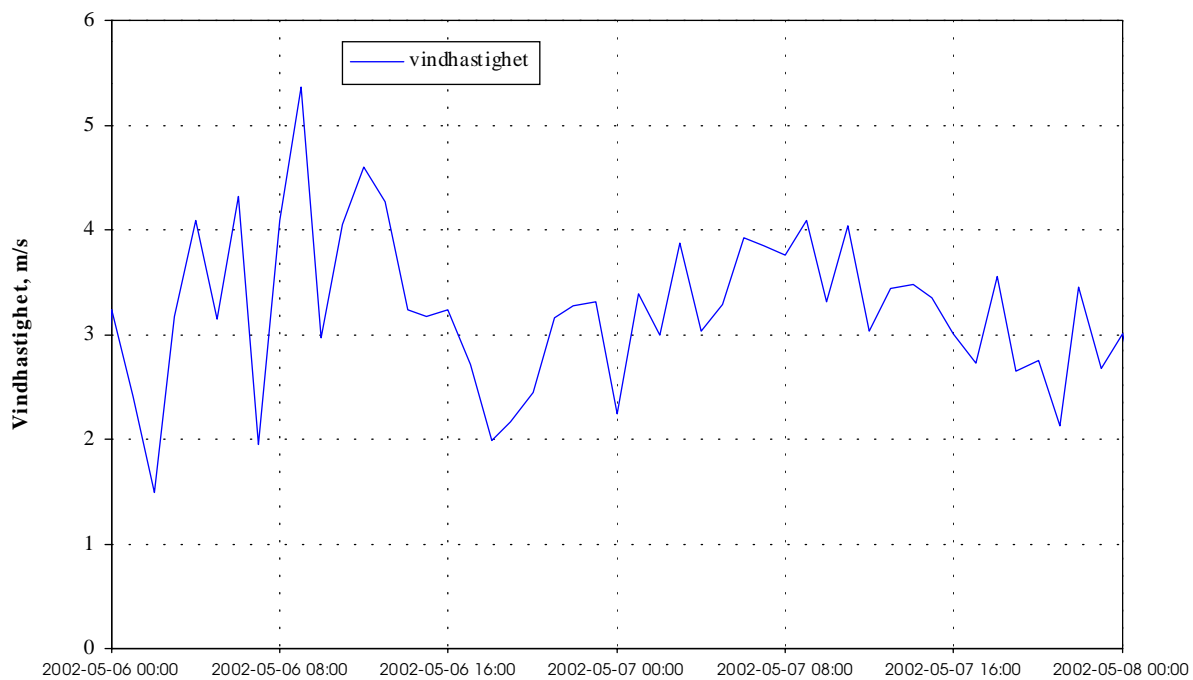
2002-05-06 OCH 2002-05-07



Figur 7 Utetemperatur i Malmö för dygnet 2002-05-06 och 2002-05-07.

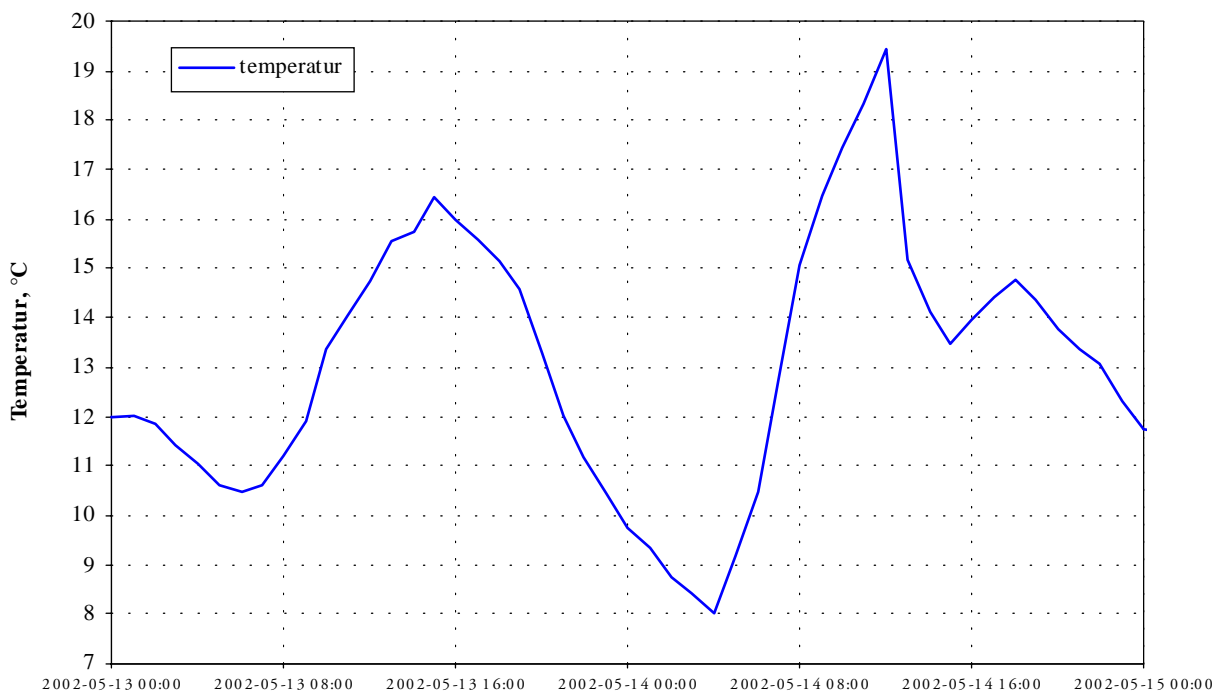


Figur 8 Global solstrålning i Malmö för dygnet 2002-05-06 och 2002-05-07.

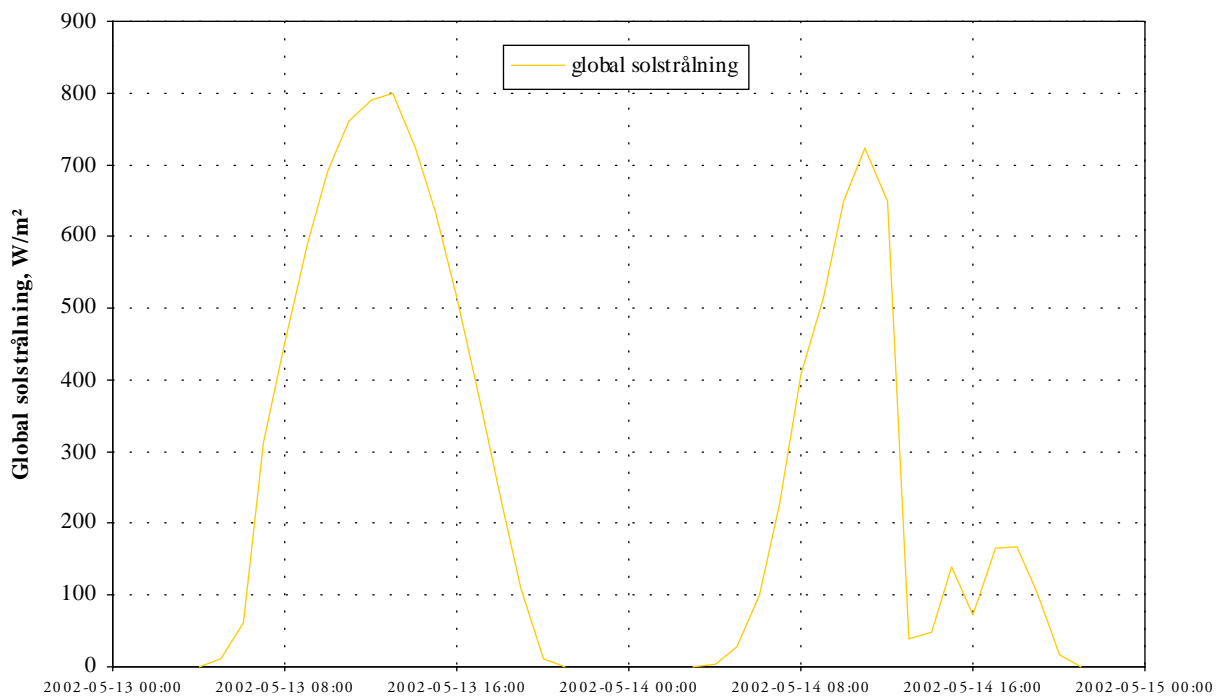


Figur 9 Vindhastighet i Malmö för dygnet 2002-05-06 och 2002-05-07.

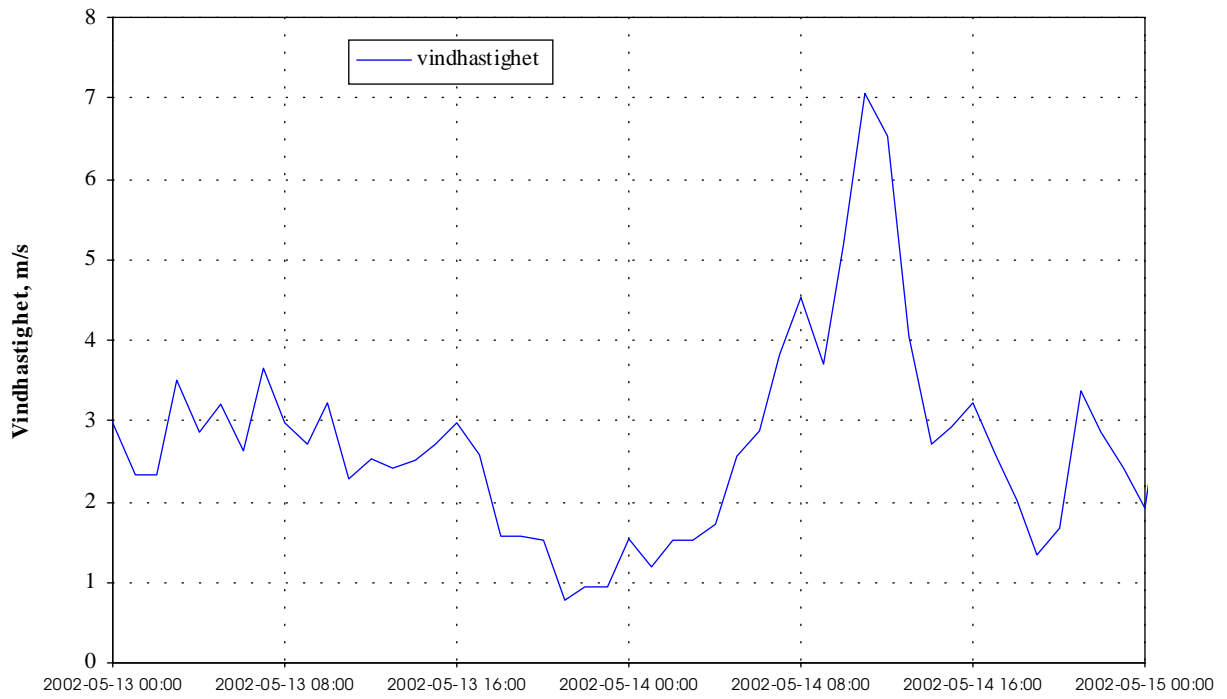
2002-05-13 OCH 2002-05-14



Figur 10 Utetemperatur i Malmö för dygnen 2002-05-13 och 2002-05-14.



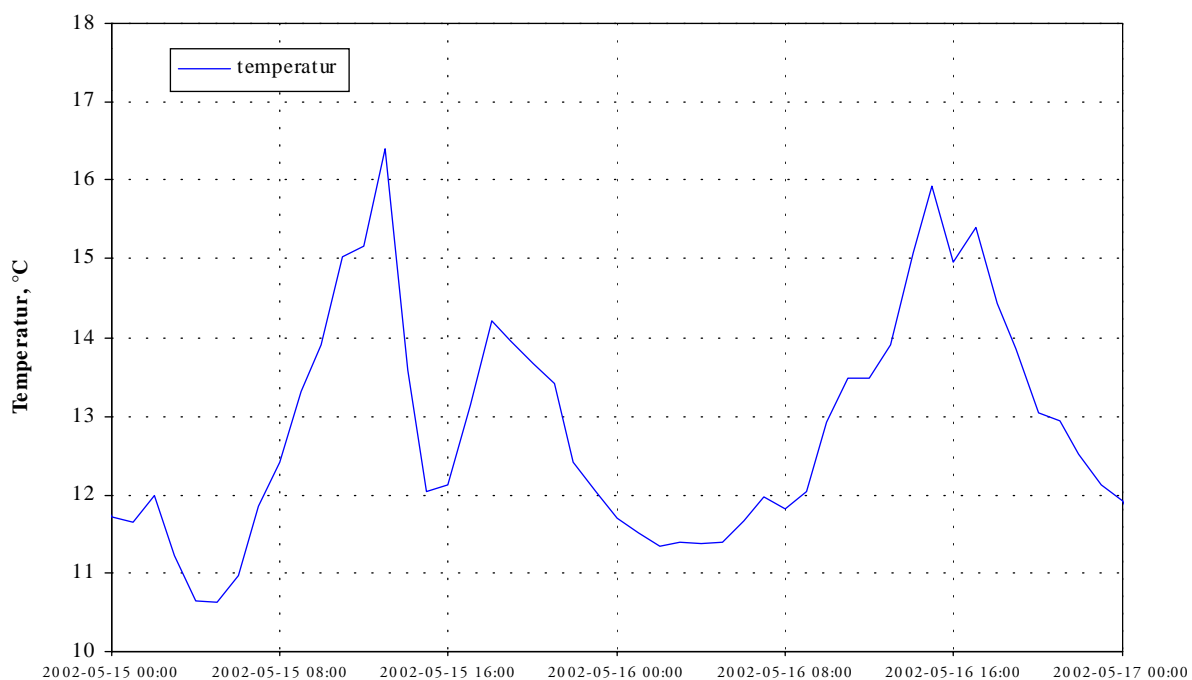
Figur 11 Global solstrålning i Malmö för dygnen 2002-05-13 och 2002-05-14.



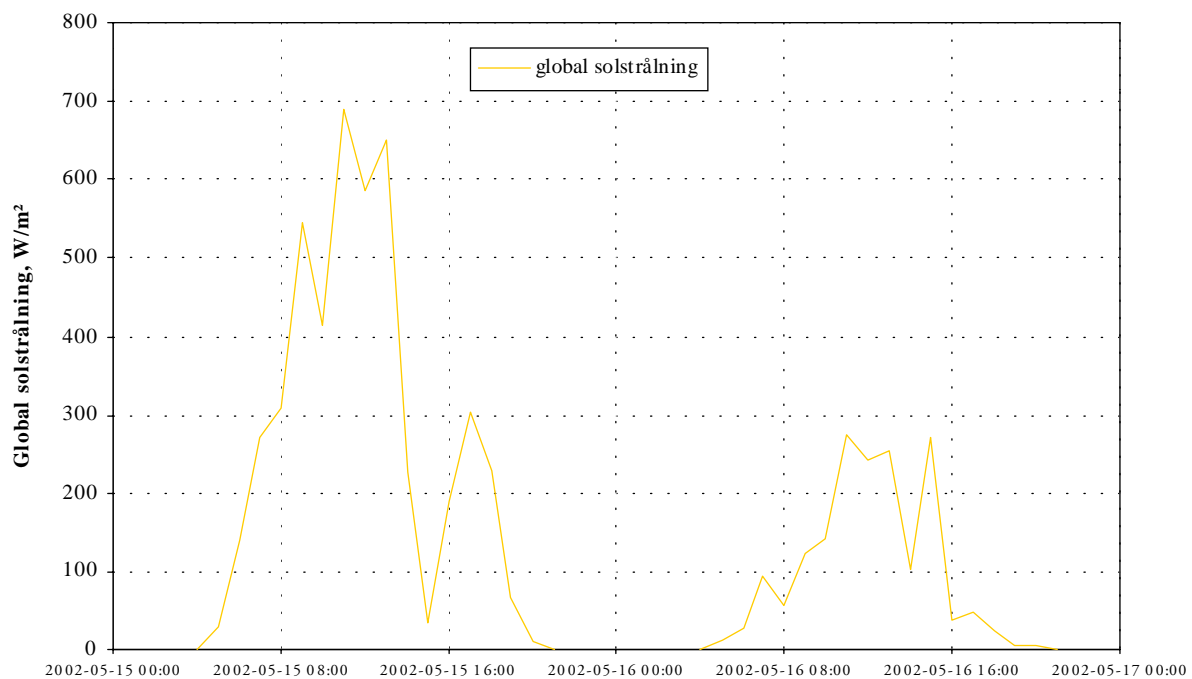
Figur 12 Vindhastighet i Malmö för dygnet 2002-05-13 och 2002-05-14.



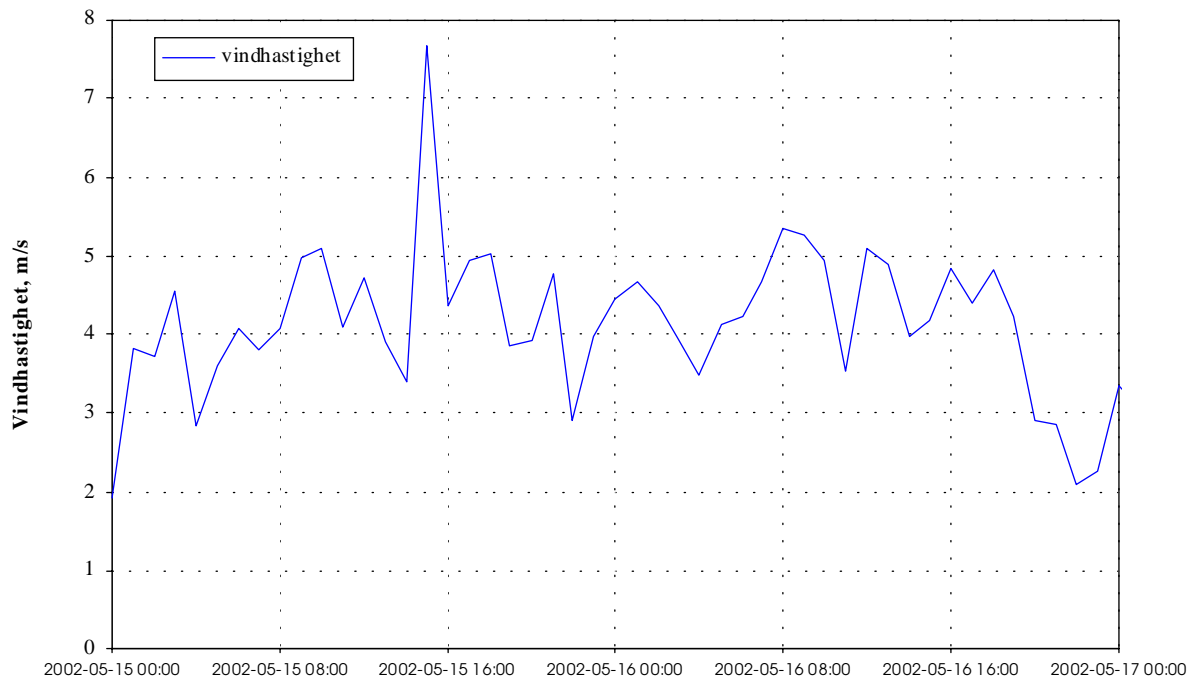
2002-05-15 OCH 2002-05-16



Figur 13 Utetemperatur i Malmö för dygnet 2002-05-15 och 2002-05-16.

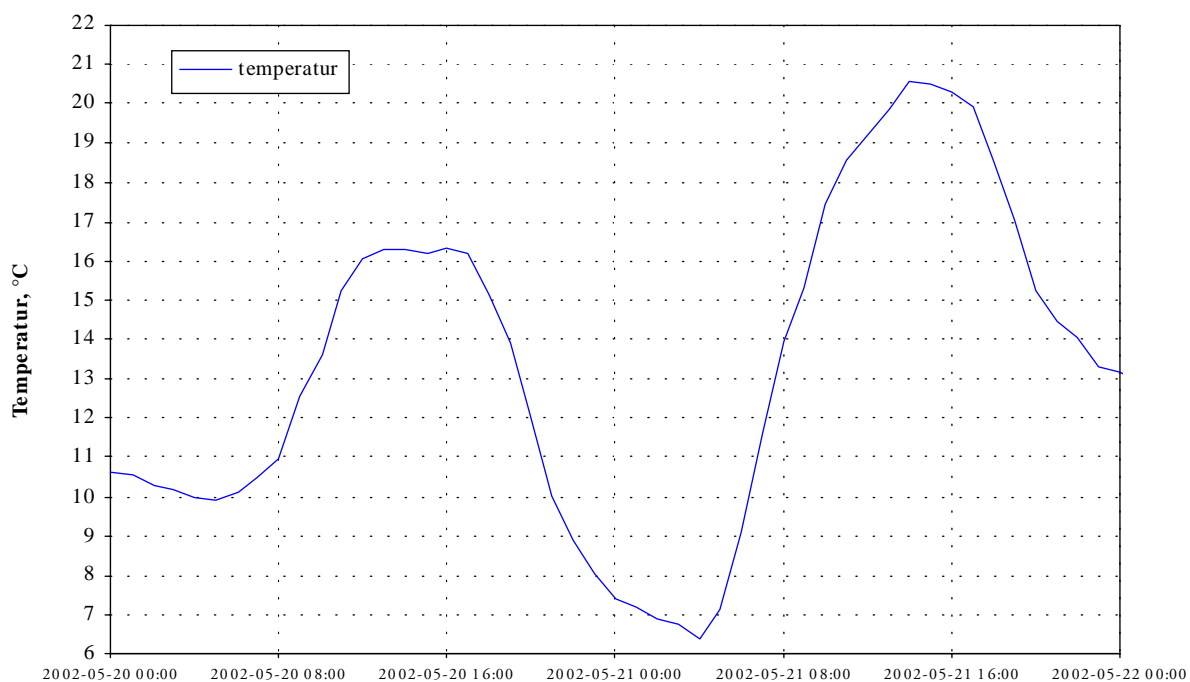


Figur 14 Global solstrålning i Malmö för dygnet 2002-05-15 och 2002-05-16.

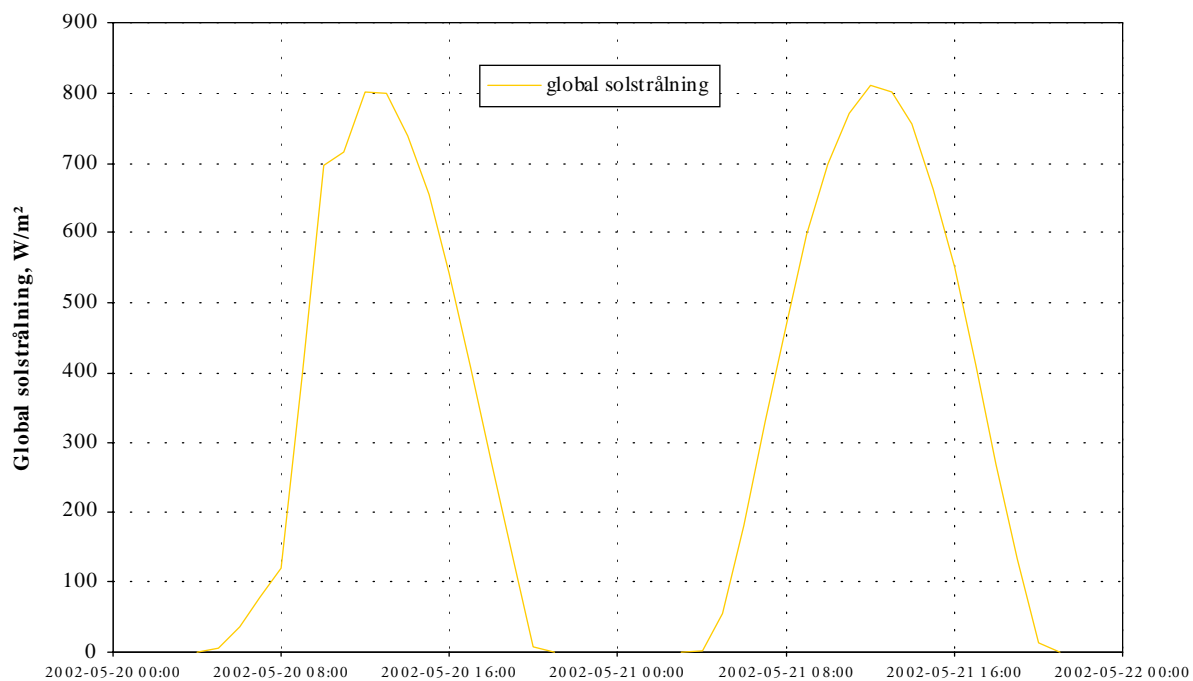


Figur 15 Vindhastighet i Malmö för dygnet 2002-05-15 och 2002-05-16.

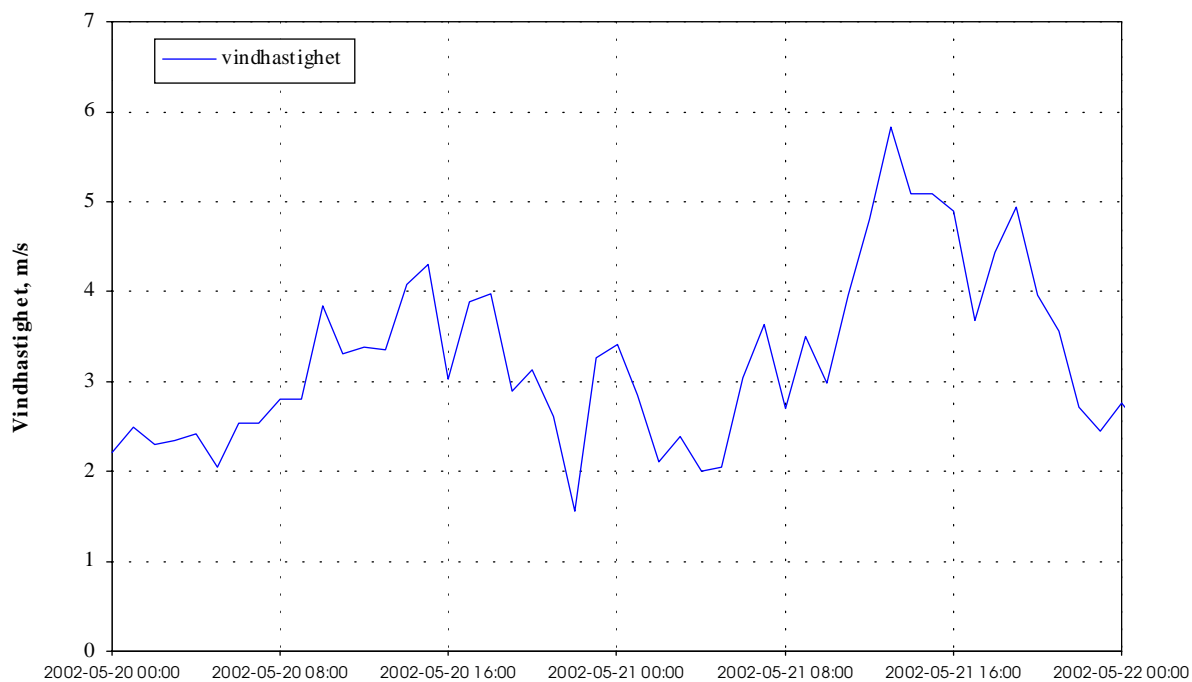
2002-05-20 OCH 2002-05-21



Figur 16 Utetemperatur i Malmö för dygnet 2002-05-20 och 2002-05-21.

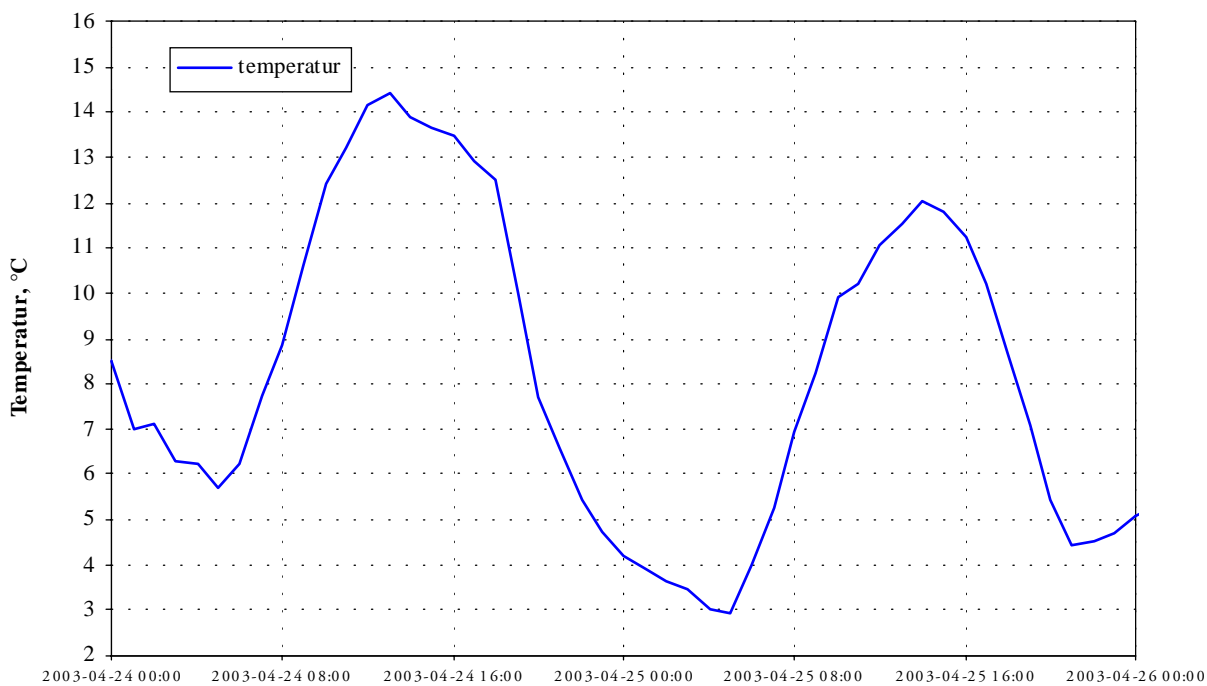


Figur 17 Global solstrålning i Malmö för dygnet 2002-05-20 och 2002-05-21.

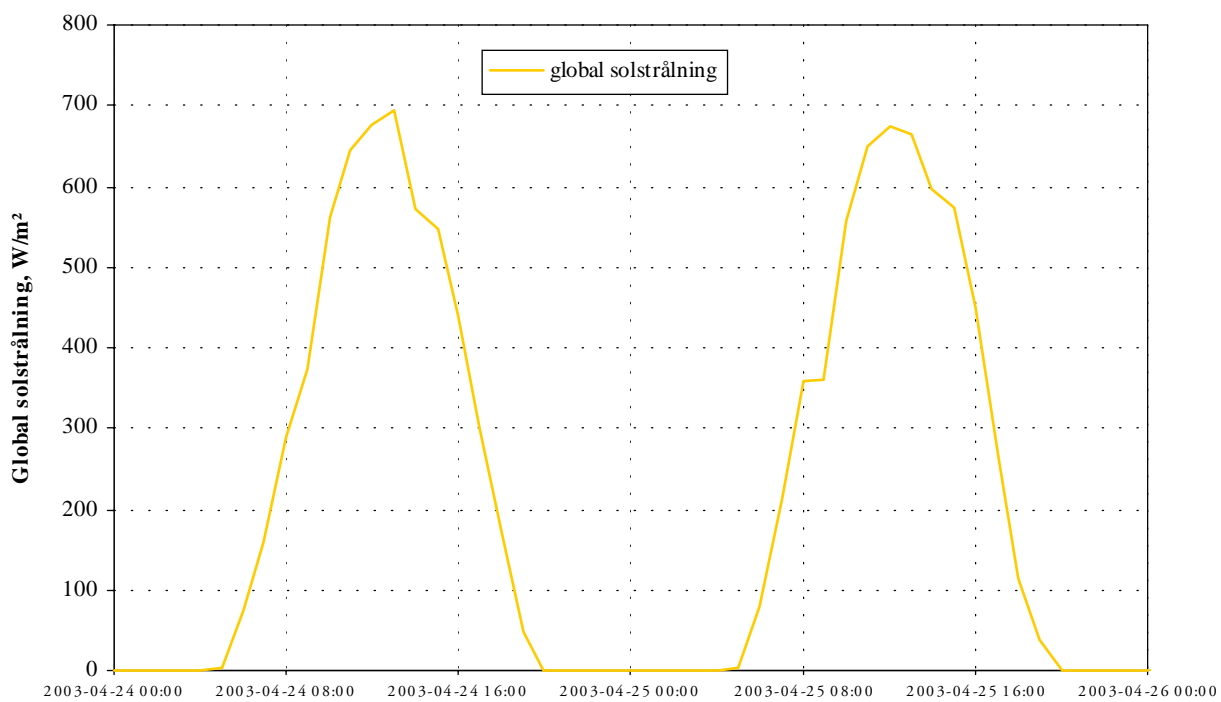


Figur 18 Vindhastighet i Malmö för dygnet 2002-05-20 och 2002-05-21.

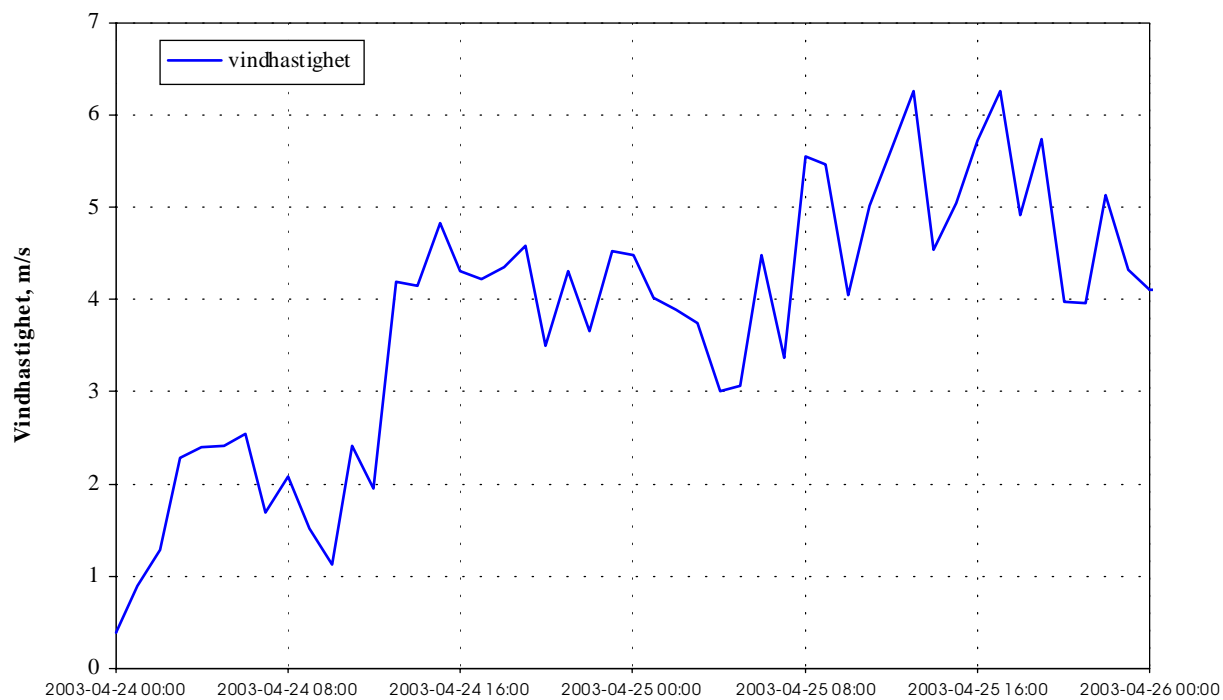
2003-04-24 OCH 2003-04-25



Figur 19 Utetemperatur i Malmö för dygnet 2003-04-24 och 2003-04-25.



Figur 20 Global solstrålning i Malmö för dygnet 2003-04-24 och 2003-04-25.



Figur 21 Vindhastighet i Malmö för dygnet 2003-04-24 och 2003-04-26.