

# Energianvändning och inneklimat i två energi- effektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö

**Hans Bagge, Arne Elmroth, Lotti Lindström**

---

Rapport TVBH-3048 Lund 2004  
Avdelningen för Byggnadsfysik



**LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA**  
Lunds universitet

# **Energianvändning och inneklimat i två energi- effektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö**

**Hans Bagge, Arne Elmroth, Lotti Lindström**



Avdelningen för Byggnadsfysik  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund  
Sverige

ISRN LUTVDG/TVBH--04/3048--SE(109)

ISSN 0349-4950

ISBN 91-88722-33-3

©2004 Hans Bagge, Arne Elmroth, Lotti Lindström

## Förord

Riksdagen har i sitt beslut om de svenska miljömålen angivit en god byggd miljö som ett av målen för hållbar utveckling. Energianvändningen i hus under brukstiden har en stor påverkan på den yttre miljön. Det är nödvändigt att minska användningen av icke förnybar energi i hus för att nå miljömålen. Redan i slutet av 1970-talet uppfördes experiment- och demonstrationshus som behövde mycket lite uppvärmningsenergi. Även senare har demonstrationshus byggts som tydligt visat att det finns god teknik tillgänglig för att bygga hus med mycket låg energianvändning och gott inomhusklimat. Kunskapen att bygga energieffektiva hus har dock i alltför ringa utsträckning tillämpats i nyproduktionen, varför de flesta nya hus har onödigt hög energianvändning. För att stimulera småhustillverkare att använda bästa tillgängliga teknik i sin standardproduktion har Energimyndigheten, på initiativ av Svante Wijk, stött två företag – LB-hus AB och Yxhult AB – att bygga var sitt hus, som visades på bomässan Bo01 i Malmö 2001. I denna rapport redovisas resultaten av en noggrann utvärdering av husens energiprestanda och inomhusklimat under de första åren som de två husen varit bebodda. Utvärderingen har genomförts med ekonomiskt stöd från Energimyndigheten.

Många personer har aktivt tagit del och påverkat projektets genomförande och uppföljning. Från LB-hus AB har vd Hans Kvist, arkitekt Jan-Christer Ahlbäck och projektledare Lars B Bergman med stort engagemang och intresse genomfört byggandet och följt utvärderingen. Från Yxhult AB har Kjell Nygren och Boris Erlandsson tillsammans med arkitekt Bengt Hidemark entusiastiskt drivit projektet. Malmö stad och Bo01-organisationen genom Per-Arne Nilsson och Jon Andersson från Miljöförvaltningen har aktivt bidragit till att husen kunde byggas. Per Qvistbäck från Energikontoret i Skåne har varit starkt pådrivande för att sprida kunskap om energieffektiv byggnadsteknik. Stig Jahnsson har med sitt kunnande och sin gedigna erfarenhet av småhusbyggande varit värdefull rådgivare under projektets hela genomförande. Thord Lundgren vid LTH har tagit ansvar för att alla mätdata från de fast installerade mätsystemen registrerats och lagrats.

Vi vill tacka alla här nämnda och alla andra som på olika sätt medverkat i projektet för ett stimulerande samarbete. Stort tack även till berörda husägare för ett gott samarbete under utvärderingsperioden.

*Lund i oktober 2004*

*Arne Elmroth  
Projektledare*

*Hans Bagge*

*Lotti Lindström*

## Summary

In connection with the international housing exhibition “Bo01” located in Malmö, Sweden, in 2001, two energy-efficient houses were built by Yxhult AB and LB-hus AB in co-operation with the Swedish Energy Agency. For these two houses, limitations were made by the Energy Agency regarding the annual energy use, indoor environment, choice of white goods and the type of heat recovery aggregate. Measurements of the use of energy and water, and temperatures have been made during nearly one and a half years in the Yxhult-house and almost a year in the LB-house.

The aim was to enable the houses to be premanufactured, and to use best proven technology, for a reasonable cost. Furthermore, if electricity was the only energy source, the total energy use should be lower than if district heating was used. Therefore, the goal for the energy use was set to 80 kWh/(m<sup>2</sup>·year) for a house heated by electricity, and 100 kWh/(m<sup>2</sup>·year) for a house with district heating. New houses built 1996-2001, are mainly heated by electricity, and use on average 129 kWh/(m<sup>2</sup>·year). These values include all bought energy; energy for heating and ventilation, hot water, household electricity etc.

The house built by Yxhult AB is a lightweight cellular concrete construction with an exhaust air ventilated warm crawlspace foundation. The house is ventilated by supply and exhaust air with heat recovery. The heating source is district heating using radiators. The external walls are solid lightweight cellular concrete, 450 mm thick and of density 400 kg/m<sup>3</sup>. The roof consists of 200 mm thick elements of lightweight cellular concrete, insulated by 400-450 mm insulation of cellulose fibre. The low energy windows have a *U*-value of 1.0 W/(m<sup>2</sup>·K). The house is very air tight.

During the evaluation, no one has lived in the house on a permanent base, which has affected the measured values. The water use has been considerably lower than an average household. Also, the use of household electricity has been lower than estimated because only the refrigerator, the freezer and the lighting, which is regulated by timers, have been in use. Waste heat from cooking, household electricity and people has been very low.

The measured and outdoor temperature modified total energy use was around 130 kWh/(m<sup>2</sup>·year). The use of electricity has been around 24 kWh/(m<sup>2</sup>·year) which is considerably lower than the estimated 32 kWh/(m<sup>2</sup>·year). However, the use of heat has been a great deal higher than estimated, 106 kWh/(m<sup>2</sup>·year) compared to the estimated 68 kWh/(m<sup>2</sup>·year).

There are several reasons to why the use of heat has been higher during the evaluation than estimated. The lightweight cellular concrete contains a considerable amount of initial moisture, and the walls are thick. This means that it will take several years from completion until the materials will dry out. Furthermore, damp lightweight cellular concrete has a higher coefficient of thermal conductivity. Merely the higher thermal conductivity, caused by the amount of moisture, leads to a calculated higher heat use of about 19 kWh per m<sup>2</sup> and year for the year of 2003.

The installed heating system has been using a “heating curve” designed for a normal house, not an energy efficient house. As a result, the radiator’s supply water temperature has been too high. An energy efficient house has a small need of heat delivery from the heating system. Therefore, another considerably lower “heating curve” should have been used. The installed thermostats for the radiators have not turned off the heating system when the room temperature has risen. This has resulted in too much heat being delivered from the heating system. The heating system has not been properly adjusted and the thermostat valves do not fulfil the demands from the Swedish Energy Agency.

The indoor temperature has been higher than the estimated 20°C used in the energy calculation. The set temperature has been 22°C.

The house has a large area of the windows facing south, in particular on the second level. This leads to a major heat contribution through solar radiation as soon as the sun is shining. To use the solar radiation, the heating system must be turned off when the solar heat gain is equal to the heat demand. This has not been the case. Instead the solar radiation has caused the indoor temperatures to be too high. The house is equipped with exterior solar shading devices, but as a consequence of no one living permanently in the house, these have not been used. Moreover, no airing through open windows has been done. This has led to very high indoor temperatures during the summer. To what extent this has bothered the inhabitants of the house, and if airing through windows would have decreased the temperature, has not been made clear because of the little use of the house.

The design of the ventilation system is unusual in that way that the house has an exhaust air ventilated warm crawlspace. In addition to the two supply and exhaust air fans, there is another fan which brings warm exhaust air to the crawlspace. It has turned out to be difficult to get correct airflows in the house. The supply air has been lower and the exhaust air from the living area to the crawlspace has been higher. One reason for the low supply air flow has been a dirty supply air filter. There has been no maintenance of the supply air filter since the house was built, three years ago. Another reason for the erroneous

rates has been the lack of a regulator for the number of revolutions of the crawl space fan. A regulator was installed in the end of April 2004.

In the demands from the Swedish Energy Agency, the heat exchanger used must be an award winning system. The system chosen was awarded the prize of “Best heat exchanger for small houses” for 2000 by the Swedish Energy Agency. The average temperature efficiency has been calculated based on measured temperatures and is slightly more than 80 %. It has been discovered that it is not possible to defrost the aggregate. This leads to a significant drop in the efficiency of the unit when the extract air temperature drops below zero. During the summer, the efficiency has been very high because the bypass has not been in use. Therefore the supply air has been uncomfortably high during the summer. It is quite complicated for a person without technical knowledge to put the aggregate in “summer-mode”.

To sum up, the goal of low electricity use has been fulfilled which most likely also would be the case if the house would have been used in a more standardized way. On the other hand, the use of heat has been higher than the goal. This can partly be explained by the increased heat need due to the damp lightweight cellular concrete, but mainly that the quality of adjustment of the heating- and ventilation systems has not been guaranteed. Furthermore, the share of solar radiation, that can be used to decrease the energy need, has been overestimated. Despite these discrepancies, the measured total energy use is not higher than in newly built houses which are electrically heated.

The house built by LB-hus AB is a timber framed house on a concrete slab foundation. The house is ventilated mechanically by exhaust air. To decrease the effect of wind pressure on the rate of supply air, the outdoor air is brought indoors behind the façade’s wood panel. Heat in the exhaust air is recovered through a heat pump that heats up the water to the radiators and the tap water. When the heat pump does not cover the need for heating the house and the tap water, additional electricity is supplied by an electrical heater in the system.

The external walls are insulated with 300 mm mineral wool, and the roof with 500 mm mineral wool. Under the concrete slab foundation, the ground is insulated with 350 mm expanded polystyrene. The low energy windows have a  $U$ -value of  $1.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . The house is very airtight.

During the evaluation three people have been living in the house.

The measured and outdoor temperature modified total energy use was around  $87 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$ . The electricity for heating the house and the tap water is about the same as estimated,  $57 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$  compared to 58

kWh/(m<sup>2</sup>·year). The use of household electricity has been 30 kWh/(m<sup>2</sup>·year) compared to the estimated 22 kWh/(m<sup>2</sup>·year).

The measurements have shown that the use of household electricity has been higher than predicted, 1150 kWh higher per year or 8 kWh higher per m<sup>2</sup> and year. A majority of this depends on the number of appliances in the house. One measurement computer and another computer have been in use most of the time. The measured use of electricity of the white goods corresponds fairly well with the estimated value. The use of the best white goods, according to the regulations in the European Union, has led to low electricity use for these.

To evaluate the heating system the coefficient of performance for the whole system, not only the heat pump, has been calculated. The temperature of the extraction air is higher than predicted which means that it should have been possible to recover more heat with the heat pump.

The majority of the windows in the LB-house are facing the north so the solar heat gain is moderate. In a well insulated house like this, it is enough with a very small solar heat gain to cover the heat demand. The temperature control has been well functioning. The indoor temperature has been very stable except during summer on the second level where the temperature periodically has been uncomfortably high. To attain a comfortable temperature on the second level during the summer, airing through windows is needed.

The supply air, brought indoors behind the wooden panel, is on average preheated a couple of degrees. This leads to a lower heat demand and improves the thermal comfort during winter.

During the heating season the indoor temperature has been about 21°C. The indoor climate is appreciated by the inhabitants. Through the large amount of supply air devices and good air tightness, good ventilation is achieved. In addition there is exhaust air devices in each bedroom which implies that even if a window is open in one room, all rooms in the house will have a secured air flow.

To sum up, the goal of low electricity use has almost been reached, which means that this house uses about 30 % less energy than newly built houses use on average. By further improving the automatic control of the heat pump there is a potential to slightly lower the use of electricity. It is not probable that more solar radiation could have been utilized if a larger part of the windows had been facing south. The indoor climate has been good according to the occupants.



## Sammanfattning

Inför bomässan Bo01 i Malmö sommaren 2001 uppfördes två energieffektiva småhus av Yxhult AB och LB-hus AB i samarbete med Energimyndigheten (STEM). STEM ställde krav på energianvändningen, inomhusklimatet och på val av vitvaror och värmeåtervinningsaggregat. Mätningar av energi- och vattenanvändning samt temperaturer har utförts kontinuerligt under nästan ett och ett halvt år i Yxhult-huset och under ett knappt år i LB-huset.

Målsättningen för husen var att de skulle kunna serieproduceras och att bästa kända teknik som bedömdes ekonomiskt rimlig skulle användas. Målsättningen var också att om el var enda energikälla skulle energianvändningen vara lägre än om fjärrvärme användes. Sålunda sattes målet till 80 kWh per m<sup>2</sup> och år för ett eluppvärmt hus och 100 kWh per m<sup>2</sup> och år om annan energikälla än el används. Nya småhus som byggts 1996-2001 är huvudsakligen eluppvärmda och använder i genomsnitt 129 kWh per m<sup>2</sup> och år. I dessa värden ingår all köpt energi till husen, det vill säga energi för uppvärmning och ventilation, för varmvatten, för fastighetsel samt hushållsel.

Yxhult-huset är ett lättbetonghus med en varmgrund som ventileras genom att frånluften förs ned i krypprummet med en fläkt. Huset är ventilerat med ett fläktstyrt till- och frånluftssystem. Värme återvinns ur frånluften i en värmeväxlare. Huset värms upp med fjärrvärme via ett vattenburet radiatorsystem. Ytterväggarna är av 450 mm homogen lättbetong med en densitet av 400 kg/m<sup>3</sup>. Taket utgörs av 200 mm tjocka lättbetongelement som isolerats utvändigt med 400-450 mm lösull av cellulosatyp. Lågenergifönstren har ett  $U$ -värde på 1,0 W/(m<sup>2</sup>·K). Huset är mycket lufttätt.

Under utvärderingsperioden har huset endast bebotts sporadiskt vilket har påverkat energianvändningen. Vattenanvändningen har varit väsentligt lägre än för ett genomsnittligt hushåll. Användning av hushållsel har också varit lägre än antaget då endast kyl- och frysskåp samt timerstyrd belysning har använts. Spillvärme från matlagning och hushållsel samt personvärme har varit ringa.

Den uppmätta, utetemperaturkorrigerade, totala energianvändningen är cirka 130 kWh per m<sup>2</sup> och år vilket är högre än det uppställda målet som var högst 100 kWh per m<sup>2</sup> och år. Elanvändningen har uppmätts till cirka 24 kWh per m<sup>2</sup> och år vilket är lägre än antagna 32 kWh per m<sup>2</sup> och år. Värmeanvändningen har däremot varit betydligt större än målet – uppmätt cirka 106 kWh per m<sup>2</sup> och år mot beräknade 68 kWh per m<sup>2</sup> och år.

Det finns flera orsaker till varför värmeanvändningen varit högre än förväntat under utvärderingsperioden. Lättbetongen innehåller vid uppförandet en avsevärd mängd byggfukt som med de tjocka konstruktioner som använts tar flera år att torka ut. Fuktig lättbetong har högre värmekonduktivitet än torr lättbetong. Enbart den högre värmekonduktiviteten till följd av det uppmätta fukttinnehållet i väggarna under utvärderingsperioden har beräknats medföra att energianvändningen under 2003 varit cirka 19 kWh högre per m<sup>2</sup> och år än om lättbetongen varit torr.

Värmeförsörjningssystemet har styrts enligt en fabriksinställd värmekurva vilken givit en för hög framledningstemperatur på radiatorvattnet för ett lågenergihus. För ett lågenergihus som detta borde en betydligt lägre värmekurva ha använts. Installerade radiatortermostater har inte stängt av värmeförsörjningen när rumstemperaturen stigit över inställt värde varför onödigt mycket värme levererats från värmeanläggningen. Värmeanläggningen har inte injusterats så som avsetts och termostatventilerna uppfyller inte kravspecifikationerna.

Inomhustemperaturen har i genomsnitt varit högre än vad som antagits vid beräkningen av värmeanvändning. Inställt värde har varit 22°C medan beräkningen är utförd med en inomhustemperatur på 20°C.

Huset har stora fönsterareor som vetter mot söder - i synnerhet på ovanvåningen. Detta medför att huset får ett betydande värmetillskott genom solinstrålning så snart solen skiner. För att utnyttja detta värmetillskott förutsätts att värmeförsörjningen stängs av så snart solvärmetillskottet täcker värmebehovet. Så har inte varit fallet varför solvärmetillskottet inte utnyttjats. Solvärmetillskottet har snarare bidragit till oönskade övertemperaturer. För att undvika övertemperaturer har huset utvändiga markiser som solskydd vilka manövreras manuellt. I och med att huset har varit obebott har inte solavskärmningen använts. Normal fönstervädring har inte heller skett. Detta har lett till mycket höga inomhustemperaturer under sommaren. I vilken grad solavskärmning och fönstervädring skulle kunna sänka inomhustemperaturen har inte kunnat avgöras då huset varit obebott.

Ventilationssystemet i Yxhult-huset har en något ovanlig utformning genom att huset har en så kallad varmgrund. Förutom en frånluftsfläkt och en tilluftsfläkt finns också en extra fläkt som för ned varm frånluft till kryprummet. Det har visat sig vara svårt att få korrekta luftflöden i huset. Tilluftsflödena har varit lägre medan frånluftsflödet från bostadsdelen till kryprummet varit större än projekterat. Tilluftsflödet har varit lågt bland annat på grund av att tilluftsfilter inte bytts eller rengjorts. Frånluftsflödet har varit större än projekterat på grund av att en varvtalsregulator till krypgrundsfälkten

inte har varit installerad. Varvatsregulatorn installerades inte förrän kring månadsskiftet april/maj 2004.

Huset har ett luftvärmeväxlingsaggregat som år 2000 vann STEMs tävling ”Bästa ventilationsvärmeväxlare för småhus”. Utifrån uppmätta temperaturer har temperaturverkningsgraden bestämts till drygt 80 % i medeltal. Det har dock visat sig att det inte finns möjligheter till avfrostning i aggregatet varför verkningsgraden sjunker betydligt när påfrysning sker. Sommartid har mycket hög temperaturverkningsgrad uppmätts vilket beror på att den bypass-funktion som ska hanteras manuellt inte använts. Under sommaren har därför tillufts-temperaturen blivit besvärande hög. Det kan noteras att det är förhållandevis tekniskt komplicerat att ställa om till ”sommarläge” eftersom instruktionerna är svårförståeliga för en lekman.

Sammanfattningsvis har målet om låg elanvändning uppfyllts vilket sannolikt också skulle ha varit fallet om huset använts på ett mer standardiserat sätt. Värmeanvändningen har däremot varit högre än målet. Orsakerna är bland annat att det tar tid för lättbetongen att torka till jämvikt, men i ännu högre grad att injustering och drift av värme- och ventilationssystemen inte kvalitetssäkrats tillräckligt i byggprocessen. Vidare har den utnyttjningsbara solinstrålningen överskattats. Trots dessa avvikelser är den uppmätta totala energianvändningen inte högre än i nybyggda eluppvärmda hus.

LB-huset är ett träregelhus med platta på mark. Huset har fläktstyrd frånluftsventilation. Uteluften tas in genom don som mynnar i luftspalten bakom fasadpanelen för att vindpåverkan på luftflödet ska reduceras. Värme återvinns ur frånluften med en frånluftsvärmepump som ger värme till radiator- och tappvarmvatten. När värmepumpen inte räcker till för uppvärmning och tappvarmvatten tillförs spetsenergi i form av el via elpatron och värmesköldar i värmepumpenheten.

Ytterväggarna har 300 mm mineralullsisolering och yttertak 500 mm. Under betongplattan på mark finns 350 mm cellplast. Lågenergifönstren har ett  $U$ -värde på  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Huset är mycket lufttätt.

Under mätperioden har tre personer bott i huset.

Den uppmätta, utetemperaturkorrigerade, totala energianvändningen är cirka  $87 \text{ kWh per m}^2$  och år. Det uppställda målet har varit att den totala elanvändningen skulle understiga  $80 \text{ kWh per m}^2$  och år. Uppmätt elanvändning för uppvärmning och tappvarmvatten överensstämmer väl med beräknad elanvändning - uppmätt  $57$  mot beräknat  $58 \text{ kWh per m}^2$  och år.

Användningen av hushållsel har uppmätts till 30 kWh per m<sup>2</sup> och år mot antagna 22 kWh per m<sup>2</sup> och år.

Mätningarna har visat att användningen av hushållsel varit cirka 1150 kWh högre per år eller 8 kWh högre per m<sup>2</sup> och år än vad som antagits. Till största delen beror detta på att många apparater används i huset. En mät dator har exempelvis gått kontinuerligt under hela mätperioden. Ytterligare en dator har använts relativt konstant. Uppmätt elanvändning till vitvaror överensstämmer relativt väl med antagna värden. Användning av A-klassade vitvaror har lett till låg elanvändning.

För att utvärdera värmesystemet har en värmefaktor för hela värmeförsörjningssystemet beräknats. Avluftens temperatur efter värmeåtervinning är högre än vad som förväntats vilket innebär att mer värme skulle kunna ha återvunnits med värmepumpen.

Huset har en måttlig fönsterarea och huvuddelen av fönstren vetter mot norr varför solinstrålningens bidrag till uppvärmning är måttlig. I ett så välisolerat hus som detta behövs mycket litet solvärmestillskott för att täcka värmebehovet. Temperaturstyrningen i huset synes ha fungerat väl. Inställda rumtemperaturer har legat mycket stabilt. Sommartid har dock temperaturen tidvis varit hög, framför allt på ovanvåningen. För att under sommaren få komfortabel temperatur på ovanvåningen krävs fönstervädring.

Tilluften som tas in via don som mynnar i luftspalten bakom fasadpanelen förvärms i genomsnitt någon grad när den passerar bakom panelen. Detta bidrar till att något minska uppvärmningsbehovet under uppvärmningssäsongen, men framför allt till något högre termisk komfort.

Innetemperaturen har under uppvärmningssäsongen varit cirka 21°C. Inneklimatet har av de boende upplevts som mycket bra. Genom att tilluft kommer in genom ett förhållandevis stort antal tilluftsdon och att huset är lufttätt fås en mycket god ventilation av huset. I varje sovrum finns dessutom frånluftsdon vilket innebär att även om fönster öppnas i något rum kommer alla rum att ha ett säkerställt luftflöde.

Sammanfattningsvis har det uppställda målet om låg elanvändning i närmaste uppnåtts, vilket innebär att LB-huset använder drygt 30 % mindre energi än vad andra nybyggda hus i genomsnitt använder. Genom att ytterligare förbättra styrningen av värmepumpen finns en potential till att något sänka elanvändningen. Det är inte sannolikt att mer solinstrålning skulle kunna utnyttjas med större andel södervända fönster. Klimatet i huset har av de boende upplevts som bra.

# Begrepp och beteckningar

BRA	Bruksarea: area begränsad av omslutande byggnadsdelars insida eller annan angiven begränsning. Inbegriper bostad, förråd, trapphus, driftsutrymmen och garage.	[m <sup>2</sup> ]
$c$	specifik värmekapacitet	[J/(kg·K)]
$E$	energi	[Wh]
$K$	materialberoende faktor för korrektion av fuktinnehåll	[(W·m <sup>2</sup> )/(kg·K)]
$m$	massa	[kg]
$P$	effekt	[W]
$P_1$	värmeeffekt per m <sup>2</sup> BRA vid utetemperatur lägre än $T_{balans}$	[W/m <sup>2</sup> ]
$P_2$	värmeeffekt per m <sup>2</sup> BRA vid utetemperatur högre än $T_{balans}$	[W/m <sup>2</sup> ]
$P_{el}$	eleffekt till värmepanna per m <sup>2</sup> BRA	[W/m <sup>2</sup> ]
$P_{värme}$	värmeeffekt till radiatorer och tappvarmvatten per m <sup>2</sup> BRA	[W/m <sup>2</sup> ]
$q$	ventilationsflöde	[m <sup>3</sup> /s]
$R^2$	korrelation	[-]
$t$	tid	[h]
$T_{avluft}$	avluftstemperatur	[°C]
$T_{balans}$	balanstemperatur under vilken uppvärmningsbehov föreligger	[°C]
$T_{framledning}$	framledningstemperatur	[°C]

$T_{frånluft}$	frånluftstemperatur	[°C]
$T_{kallvatten}$	kallvattentemperatur	[°C]
$T_{tilluft}$	tilluftstemperatur	[°C]
$T_{ute}$	utetemperatur	[°C]
$T_{varmvatten}$	varmvattentemperatur	[°C]
$u$	fuktkvot	[kg/kg]
$U$	värmeigenomgångskoefficient	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]
$v_{frånluft}$	temperaturverkningsgrad för frånluftsflöde	[-]
$v_{tilluft}$	temperaturverkningsgrad för tilluftsflöde	[-]
$V$	volym	[m <sup>3</sup> ]
$w$	fukthalt	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\Delta$	differens	[-]
$\lambda$	värmeledning	[W/(m·K)]
$\lambda_m$	värmeledning för fuktigt material	[W/(m·K)]
$\rho$	densitet	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\eta$	värmefaktor för värmeförsörjnings-system	[-]

# Innehållsförteckning

Förord .....	1
Summary.....	2
Sammanfattning.....	6
Begrepp och beteckningar .....	10
1 Bakgrund .....	15
1.1 Syfte .....	16
1.2 Metodik .....	16
1.3 Avgränsningar .....	16
1.4 Energimyndighetens krav .....	17
1.5 Faktorer som bestämmer energianvändningen i lågenergihus .....	18
1.6 Hus- och systembeskrivning .....	21
1.6.1 Yxhult-huset .....	22
1.6.2 LB-huset .....	26
1.7 Prognos för energianvändningen .....	30
1.8 Mätprogram .....	33
2 Metod .....	35
2.1 Val av metod för normalårskorrigerig .....	35
2.2 Effektsignatur .....	35
2.3 Val av uteklimatdata för normalårskorrigerig .....	36
2.4 Uteklimat .....	37
2.5 Krav på lufttemperatur inomhus .....	38
3 Resultat och analys.....	40
3.1 Energianvändning - resultat och mål .....	40
3.2 Yxhult-husets prestanda .....	42
3.2.1 Presentation av mätdata .....	42
3.2.2 Beräknad energi för uppvärmning av tappvarmvatten .....	46
3.2.3 Effektsignatur för uppvärmning och tappvarmvatten .....	47
3.2.4 Uppmätt värmeeffekt jämfört med beräkningar i Enorm .....	49
3.2.5 Fuktens inverkan på energianvändningen .....	50
3.2.6 Ventilationssystem .....	51
3.2.7 Värmesystem .....	58
3.2.8 Lufttemperatur inomhus .....	61
3.2.9 Operativ temperatur .....	64
3.2.10 Vertikal temperaturgradient .....	65
3.2.11 Inneklimat och brukarpåverkan .....	66
3.2.12 Energibalans – avvikelse från prognos .....	67
3.3 LB-husets prestanda .....	71
3.3.1 Presentation av mätdata .....	71
3.3.2 Elanvändning till vitvaror .....	75
3.3.3 Effektsignatur för uppvärmning och tappvarmvatten .....	76

3.3.4	Uppmätt eleffekt jämfört med beräkningar i Enorm	78
3.3.5	Värmesystem	78
3.3.6	Tilluftstemperatur	85
3.3.7	Lufttemperatur inomhus	88
3.3.8	Operativ temperatur	91
3.3.9	Vertikal temperaturgradient	91
3.3.10	De boendes syn på upplevt inneklimat	93
3.3.11	Energibalans – avvikelse från prognos	94
4	Ekonomi .....	97
5	Slutsatser och rekommendationer .....	98
	Referenser .....	100
	Bilaga 1: Utdrag ur Enorm-resultat, Yxhult-huset .....	102
	Bilaga 2: Utdrag ur Enorm-resultat, LB-huset .....	106





# 1 Bakgrund

Sommaren 2001 arrangerades bomässan Bo01 i Västra Hamnen i Malmö. Målsättningen var att skapa en utställning och ett bostadsområde som baseras på mänskliga och ekologiska värden och som visar hur ett modernt uthålligt informations- och välfärdssamhälle kan se ut.

Energiförsörjningen till Bo01-området är tänkt att ske med 100 procent lokalt producerad förnybar energi. En värmepump hämtar och höjer temperaturen på vatten från hav och akvifer och distribuerar i ett fjärrvärmenät den värmeenergi som erfordras för uppvärmning och varmvattenberedning inom området. Fjärrvärmenätet får även tillskott av energi från solfångare som finns på ett antal hus inom Bo01-området. Hushållsel och drivel till värmepumpen genereras i huvudsak med ett vindkraftverk samt till en mindre del med el från solceller. För att uppnå målsättningen med 100 procent förnybar energi krävs balans över årscykeln mellan produktion och användning, vilket är tänkt att uppnås genom att koppla samman området med Malmö Stads el- och fjärrvärmenät. Genom denna lösning utjämnas underskott respektive överskott över året.

Den årliga energianvändningen får enligt Bo01s *Kvalitetsprogram* i genomsnitt för området inte överstiga 105 kWh/m<sup>2</sup> BRA för att balans ska kunna uppnås. All fastighetsanknuten energi, samt energi som produceras eller återvinns inom fastigheterna skall ingå i detta nyckeltal. Enligt skrivningen skall energianvändning och komfort i fastigheterna utvärderas under två hela årscykler när området är färdigställt.

I samband med utvärderingen av teknikupphandlingstävlingen *2000-talets småhus* väcktes tanken på att ta till vara erfarenheterna från utvärderingen och erbjuda kreativa småhustillverkare möjlighet att uppföra ett eller två småhus på Bo01. Husen skulle uppfylla Energimyndighetens (STEM) kravspecifikation på energieffektivitet och sunt inomhusklimat. Husens storlek skulle anpassas till en normalstor familjs behov. Genom att husen skulle ingå i en bomässa med förväntad stor publiktillströmning skulle goda möjligheter ges att till allmänheten sprida STEMs rekommendationer om energieffektivt, miljövänligt och ekonomiskt småhusbyggande.

Energimyndigheten erbjöd ett bidrag för att täcka erforderliga utvecklingskostnader. Efter vissa förhandlingar kunde avtal slutas mellan STEM och LB-Hus AB respektive Yxhult AB om att bygga var sitt hus som kunde visas på bomässan Bo01 i Västra Hamnen i Malmö.

## 1.1 Syfte

Forskningsprojektets huvudsyfte är att utvärdera energianvändningen och de tekniska systemen i de två nämnda energieffektiva småhusen samt att undersöka inneklimatet. Det övergripande målet är att utvärdera om uppställda energimål för huset uppfylls under driftsfasen och därvid kunna jämföra mätvärden med beräkningar och med de antaganden som erfodrats för att kunna göra dessa.

Delmål är att utreda huruvida husen uppfyller kraven enligt STEM och om inte, analysera varför. Utvärderingen syftar till att försöka bestämma hur energianvändningen är fördelad på olika poster och få kunskap om hur ”gratisvärme” kan utnyttjas för uppvärmning i lågenergihus.

Vidare syftar utvärderingen till att få kunskap om hur de boende upplever komfort och bekvämlighet i ett energieffektivt hus samt att få kunskap om hur energieffektiv teknik fungerar i samverkan med brukare. Utvärderingen har tagit sikte på att försöka särskilja betydelsen av rent tekniska egenskaper och av beteendepåverkan. Samspelet mellan människa och teknik har också belysts.

## 1.2 Metodik

Innan utvärderingens start har en prognos över energianvändning uppdelad på olika poster samt ett mätprogram upprättats. Mätningar har därefter utförts under cirka ett år. För att det ska vara möjligt att jämföra prognostiserade värden respektive krav, med uppmätta värden har de uppmätta värdena utetemperaturkorrigerats.

Inneklimatmätningar har utförts vid flera tillfällen genom undersökningar på plats, för att bedöma om råd och riktlinjer enligt BBR och ISO 7730 rörande termisk komfort och luftflöde uppfylls.

Samtal med de boende i ett av de två småhusen har utförts för att få synpunkter på hur det är att bo i ett energieffektivt hus samt hur inomhusmiljön uppfattas.

## 1.3 Avgränsningar

Utvärderingen begränsas av att ett av de två småhusen inte har använts som permanent bostad under utvärderingsperioden. Därmed fallerar, i detta hus, utvärderingens syfte att få kunskap om hur energieffektiv teknik fungerar i samverkan med brukare.

Enligt krav från STEM ska husen ha ett sunt inneklimat. Inneklimatet kan delas in i termisk komfort, luftkvalitet, ljus och ljud. I denna studie avgränsas analysen till att omfatta den termiska komforten eftersom den i hög grad är relaterad till värmebehovet samt storleken på luftflöde som är en förutsättning för god luftkvalitet.

## 1.4 Energimyndighetens krav

Kraven på energieffektivitet har formulerats av en styrgrupp på uppdrag av STEM. Mot bakgrund av Miljömålskommitténs förslag till begränsning av energianvändningen i nyproducerade bostäder, SOU 2000:52, samt det jämfört med mellansvenskt klimat betydligt mildare Malmöklimatet, enades styrgruppen om att skärpa kravnivån från Bo01s 105 kWh per m<sup>2</sup> BRA och år till 100 kWh per m<sup>2</sup> BRA och år köpt energi för fjärrvärmeuppvärmt hus och till 80 kWh per m<sup>2</sup> BRA och år köpt energi för eluppvärmt hus. I dessa värden ingår all köpt energi som används i husen, det vill säga förutom energi till uppvärmning och ventilation även energi för tappvarmvatten, hushållsel och el för husens drift. Normal användning av varmvatten och apparater och annan elanvändning i bostaden förutsätts. Likaså ska god termisk komfort och bra luftkvalitet uppfyllas. De boende ska kunna använda sina hus på ett normalt sätt men utan att använda onödigt mycket energi. Dessa krav samt krav på flexibilitet för installation av olika uppvärmningssystem, krav om storlek på cirka 130 m<sup>2</sup> BRA och krav på att husen skulle kunna byggas med en måttlig fördyring är Energimyndighetens övergripande motiv för medverkan i Bo01.

I följande sammanställning redovisas STEMs krav utöver de övergripande kraven:

- Husen ska konstrueras så att de kan uppföras i alla delar av landet. Det medför att konstruktionen bland annat ska ge möjlighet för en rad olika uppvärmningssystem. Arkitekturen kan vara olika om funktionskraven uppnås.
- Under byggperioden ska husen kvalitetssäkras så att inga fel och brister byggs in, som till exempel fukt och onödiga köldbryggor.
- Husen ska hålla ett gott inomhusklimat.
- Alla vitvaror ska vara A-klassade.

- Fönstren ska ha ett  $U$ -värde på högst  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Dagsljustransmittansen ska vara minst 63 % och solenergitransmittansen minst 52 %.
- På de ställen där belysningen är fast installerad ska armaturer för kompaktlysrör med stift väljas.
- Uppvärmning ska ske med vattenburet system med radiatorer. Vattnets framledningstemperatur skall styras av utomhusgivare och radiatorernas värmeavgivning skall styras så att tillskott från sol, personer och processer tas till vara. Reglersystemet skall medge att inomhustemperaturen kan väljas inom ett spann som uppgår till minst  $\pm 3^\circ\text{C}$  räknat från  $20^\circ\text{C}$ . Radiatorventilerna skall stänga helt när aktuell temperatur överskrider inställt värde med  $0,5^\circ\text{C}$ . Reglersystemet skall normalt kunna hålla inställd temperaturnivå inom gränserna  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  när uppvärmningsbehov föreligger.
- P-märkta produkter bör användas i så stor utsträckning som möjligt. Märkningen görs av SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.
- Om FTX-aggregat används ska det vara något av vinnarna i Energimyndighetens tävling.

## 1.5 Faktorer som bestämmer energianvändningen i lågenergihus

Isoleringsnivå och utförande av klimatskärmen kommer under en byggnads hela brukstid att få en avgörande inverkan på energianvändningen. Merkostnaden för ökad isolertjocklek och god lufttäthet vid nyproduktion är måttlig – i synnerhet om det framledes kan bli standard för all produktion. En kraftigt isolerad och lufttät klimatskärm kan betraktas som i det närmaste helt underhållsfri och är en grundläggande förutsättning för en energieffektiv bostad som förhoppningsvis ska fungera väl under mycket lång tid. Installationer och apparater måste också väljas med hänsyn till det låga uppvärmningsbehov som en bra klimatskärm innebär så att den relativt sett allt större andelen tillskott från processer, personer och solinstrålning kan tillgodosgöras. Underhåll och utbyte av tekniska komponenter ska kunna göras utan alltför stora ingrepp i byggnaden.

Behovet av köpt energi påverkas främst av tre faktorer: teknik, uteklimat och brukarbeteende.

Teknik: Arkitektur, konstruktion och arbetsutförande ger förutsättningarna för energieffektiva hus. Arkitektur omfattar utarbetande av energieffektiva planlösningar, husorientering (stadsplanförutsättningar), fönsterstorlekar, fönstertyp och fönsterorientering för utnyttjande av solvärme. Konstruktiv utformning avser val av isolertjocklekar, och byggnadsteknisk detaljutformning så att inverkan av köldbryggor blir så liten som möjligt och att god lufttäthet kan erhållas. Arbetsutförandet avseende isolerarbete och klimatskärmens täthet är avgörande för om de beräknade transmissionsförlusterna kommer att infrias och om oönskad luftläckning vid vindpåverkan ska förhindras. Ventilationssystem och system för värmeåtervinning av frånluftens värmeinnehåll, värme- och reglersystem måste väljas med hänsyn till de förutsättningar en välisolerad och tät klimatskärm ger. Likaså måste god prestanda kunna uppnås både för att tillgodose god termisk komfort och god luftkvalitet i alla utrymmen. Sammantaget ger detta de grundläggande tekniska förutsättningarna för behovet av köpt energi.

Uteklimat: I Sverige är skillnaderna i utetemperatur och vinterns längd stor mellan landets sydliga och norra delar. Vindpåverkan varierar, blåsigt längs kusterna och på de större slätterna, men måttlig vindpåverkan i övriga inlandet. Med ett mycket lufttätt hus kan vindpåverkan dock bedömas vara marginell på husets energianvändning. Även antalet soltimmar är ojämnt fördelade både över landet och mellan olika år. I beräkningar används klimatdata för ett normalår. I verkligheten varierar vädret en hel del, och uttryckt i gradtimmar under uppvärmningsperioden är avvikelser från normalåret med  $\pm 15\%$  inte alls ovanliga.

Brukarbeteende: Primärt kan brukaren direkt påverka användningen av tappvarmvatten och en väsentlig del av hushållselanvändningen. Genom att vitvaror oftast levereras med huset innebär det att leverantören i viss mån ger förutsättningarna för hur stor användningen av hushållsel blir. Ofta finns också ett antal fasta belysningsarmaturer som kan vara förberedda för kompaktlysrör som använder mindre el än vanliga glödljuslampor. Brukaren väljer också önskad inomhustemperatur. Med mycket goda tekniska lösningar och med mycket bra värmeisolering inte minst hos fönster borde en lägre inomhustemperatur kunna väljas för att uppnå önskad termisk komfort. I ett hus med betydande köldbryggor, dåliga fönster och otätheter behöver brukaren kompensera för dessa genom att välja en högre inomhustemperatur. Behovet av fönstervädring kan variera. I ett hus med en väl fungerande ventilationsanläggning minskar, åtminstone det teoretiska, behovet av fönstervädring för att tillgodose kraven på luftkvalitet. Likaså reduceras behovet av fönstervädring om värmetillförseln från värmesystemet omedelbart stängs av så snart

solvärme eller andra värmestillskott är tillräckliga för att upprätthålla önskad innetemperatur.

Spridningen mellan olika brukares energianvändning i till synes tekniskt likvärdiga hus är mycket stor. (Hiller, 2003) Familjesammansättning och storlek, krav på inomhustemperatur och användning av tappvarmvatten samt skötsel och tillsyn av installationer påverkar behovet av köpt energi. Flera undersökningar har påvisat förändringar i energianvändning med  $\pm 50\%$  när ett hus byter ägare. Ett energieffektivt hus skapar emellertid förutsättningarna för brukaren att få önskad termisk komfort och luftkvalitet med liten värmeförsel.

Den totala energianvändningen i ett hus är ett samspel mellan teknik, klimat och brukarbeteende. Det är därför omöjligt för en husproducent att garantera en specifik familjs årliga behov av köpt energi. Det är inte heller möjligt för en brukare att enbart av storleken på det totala behovet av köpt energi avgöra och styrka om huset har allvarliga tekniska brister. Gränssnittet producent/brukare måste väljas så att producenten kan garantera husets tekniska egenskaper det vill säga totalt effektbehov för värmetransmission inklusive inverkan av köldbryggor, styrd luftväxling inklusive luftläckning, distributionsförluster i värme- och ventilationssystemen, samt injustering av värme- och ventilations-system så att termisk komfort och god luftkvalitet erhålls.

## 1.6 Hus- och systembeskrivning

LB-hus AB och Yxhult AB har tagit fram lösningar som är sinsemellan olika men som bedömts uppfylla STEMs krav. LB-hus har valt att helt och hållet använda el i huset medan Yxhult valt att använda fjärrvärme för uppvärmning och tappvarmvatten. LB-huset ska sålunda klara en total köpt energi-användning som är lägre än 80 kWh per m<sup>2</sup> BRA och år, och Yxhult-huset lägre än 100 kWh per m<sup>2</sup> BRA och år.

Båda husen är byggda i två plan, med den enligt stadsplanen något ovanliga restriktionen att det övre planets area får uppgå till högst 60 procent av markplanet. Båda företagen har valt att ha något högre invändig takhöjd än vad som är brukligt. Detta har tillsammans med kraven i stadsplanen inneburit att omslutningsarean är av storleksordningen 10 % större per m<sup>2</sup> golvarea än vad som skulle ha erfordrats med lägre takhöjd och utan stadsplanens restriktioner. Värmeförlusterna genom byggnadsskalet blir större i motsvarande grad.

Båda företagen har valt att i första hand uppnå energieffektivitet genom att utnyttja och delvis förbättra bastekniken. Man har valt att utgå från trä-respektive lättbetongbyggnadsteknikens förutsättningar för att bygga välisolerade hus med goda byggnadstekniska detaljlösningar så att värmeförluster genom köldbryggor blir begränsade och att mycket god lufttätethet uppnås. Det har också lagts stor vikt vid att välja ett uppvärmningssystem som har liten värmetröghet och sådan temperaturstyrning att det snabbt reagerar på förändringar i värmebehov. I synnerhet ska värmeförlusterna avbrytas mycket snabbt när innetemperaturen stiger till följd av till exempel solvärmeförlust eller stora interna värmeförluster.

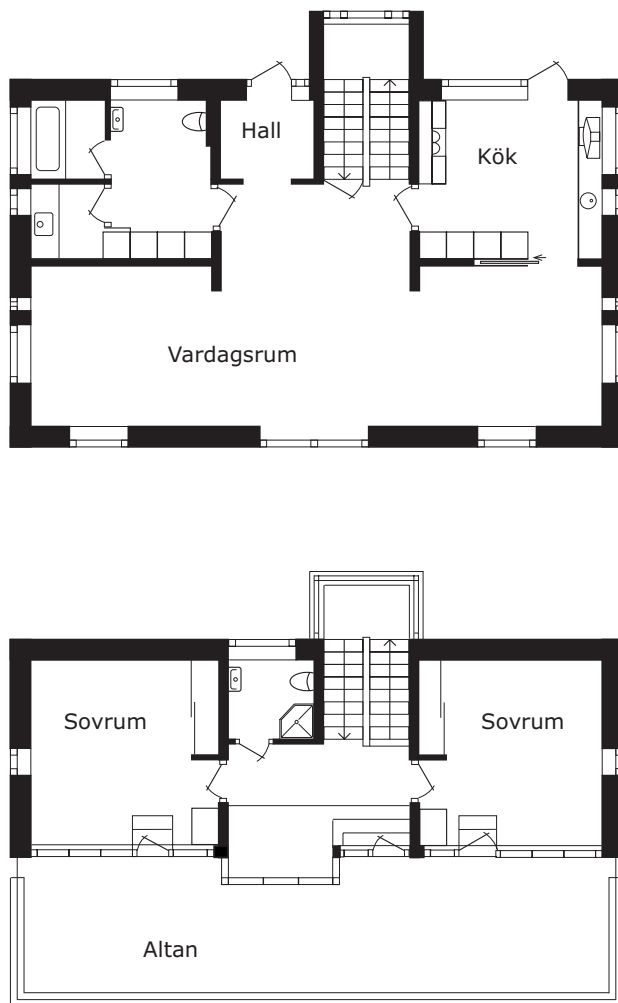
Till båda husen hör också en mindre gårdsbyggnad som dock inte omfattas av de speciella kraven på energieffektivitet. Gårdshuset har därför inte ingått i denna utvärdering.



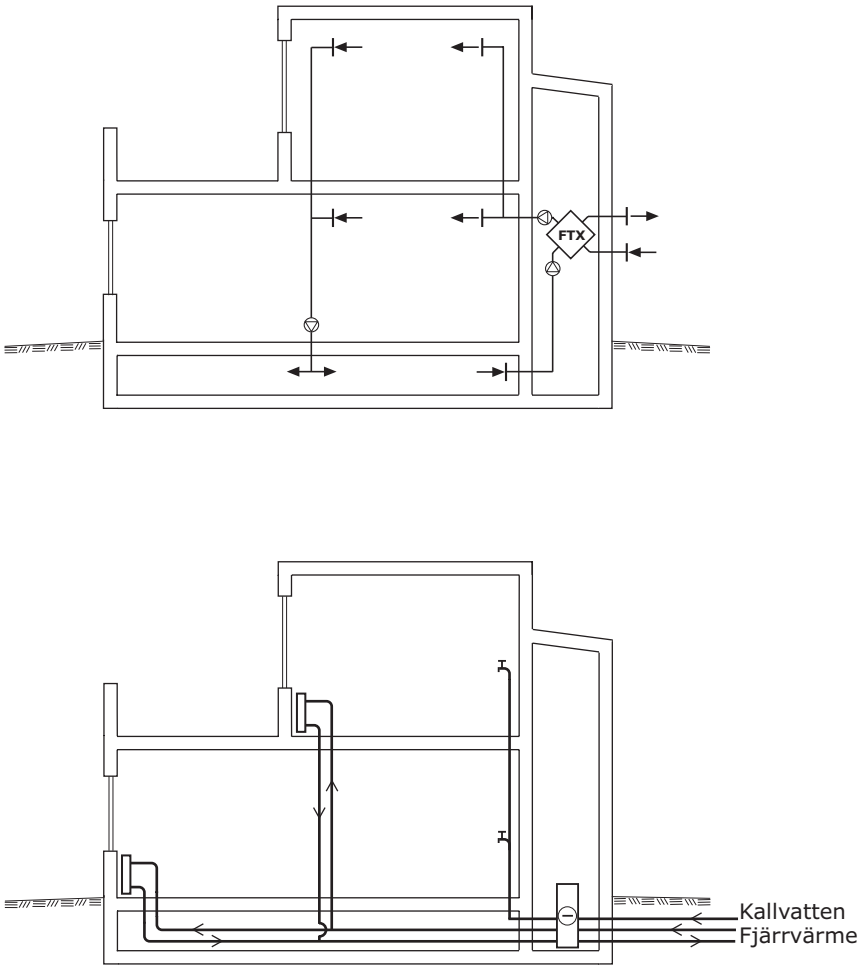
## 1.6.1 Yxhult-huset

Yxhult-huset har en bruksarea (BRA) på 149 m<sup>2</sup>. Stommen, inklusive innerväggar och våningstrappa, är av lättbetong (Ytong). Ytterväggarna är 450 mm tjocka lättbetongelement av låg densitet (400 kg/m<sup>3</sup>). Terrassbjälklaget är isolerat med 370-430 mm cellplast och takbjälklaget med 400-450 mm lösull av cellulosafiber. Kryprummet är frånluftsventilerat, isolerat med 200 mm cellplast på mark och grundmurar. Värmesystemet är vattenburet med radiatorer. Ventilationssystemet är ett från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (FTX). Energi till uppvärmning och tappvarmvattenberedning erhålls med värmepump från områdets fjärrvärmenät. Huset har visat sig vara mycket tätt, uppmätt till mellan 0,1 och 0,2 l/(s·m<sup>2</sup>) vid tryckskillnad ±50 Pa, vilket motsvarar cirka 0,5 omsättningar per timme. Lågenergifönstren har ett  $U$ -värde på 1,0 W/(m<sup>2</sup>·K).

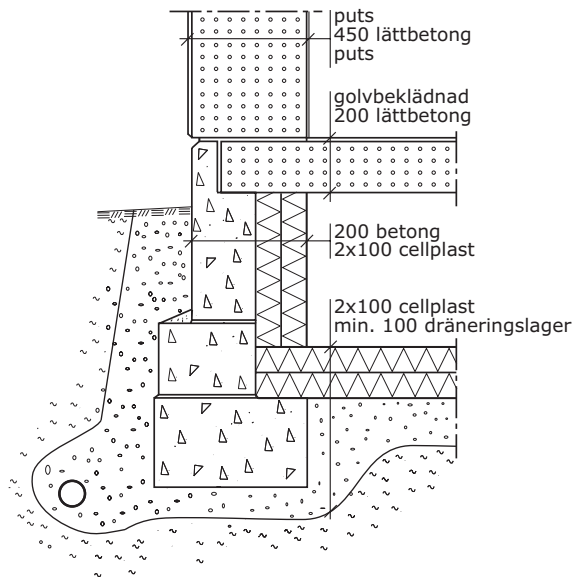




*Figur 1 Planlösning i Yxhult-huset. Bostaden består av två våningar på sammanlagt 149 m<sup>2</sup> där övre plan har en altans på cirka 40 m<sup>2</sup>. Rumshöjden är 2,6 m på båda våningarna och rummen är rikligt glasade. Cirka 50 m<sup>2</sup> fönsterarea finns i bostadshuset varav merparten vetter mot söder. Installationer och aggregat till värme- och ventilationssystem är placerade i ett väl avskilt apparatrum i trapphuset vilket medför låg ljudnivå i övriga huset.*



Figur 2 Ventilationssystemet i Yxhult-huset. I övre principfiguren visas ventilationssystemet. Huset är från- och tilluftsventilerat med värmeåtervinning (FTX). Kryprummet ventileras med frånluften innan luften värmeväxlas. I nedre principfiguren visas värmesystemet i huset. Fjärrvärme används för ett vattenburet värmesystem med radiatorer och för tappvarmvatten.

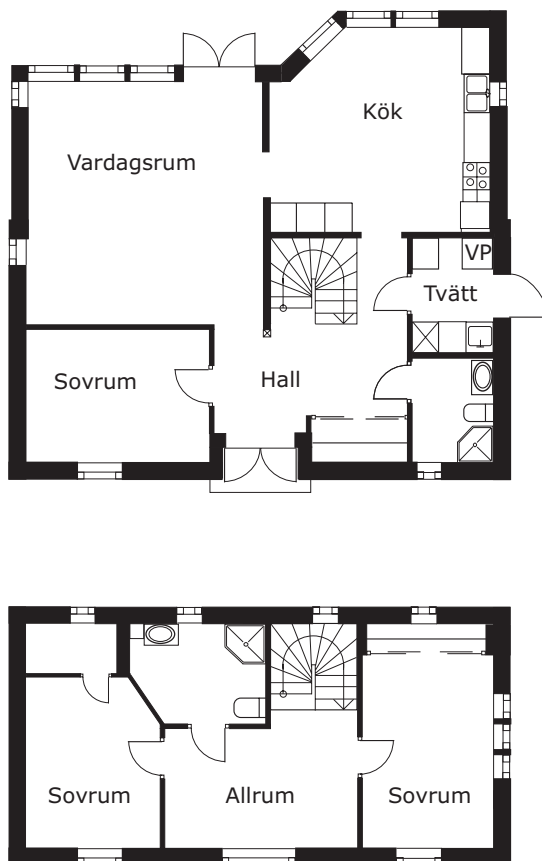


Figur 3 Varmgrund i Yxhult-huset. Grundläggningen är en så kallad varmgrund där rumsluften med hjälp av en fläkt förs ned till kryprummet innan den bortförs med hjälp av ytterligare en fläkt för att värmeväxlas. Grundmurar av betong samt mark är isolerade med 200 mm cellplast.

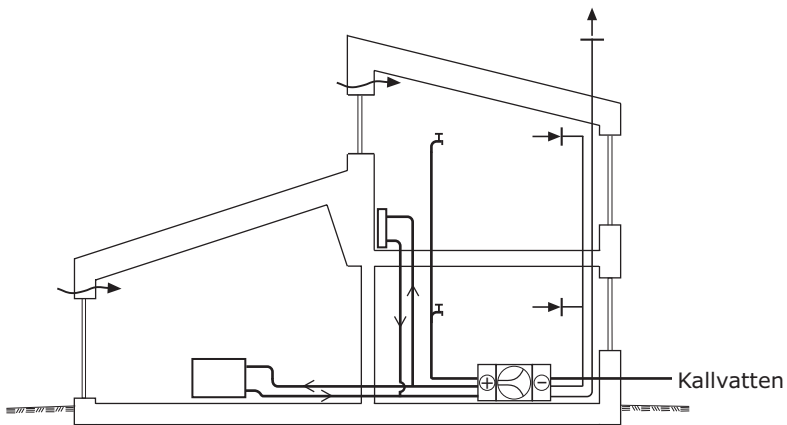
## 1.6.2 LB-huset

LB-huset är ett fabriksstillverkat trähus med en bruksarea (BRA) på 138 m<sup>2</sup>. Träregelstommen är isolerad med 300 mm mineralull och plattan på mark har 300-350 mm underliggande cellplastisolering. Yttertaget har 500 mm mineralullsisolering. Lågenergifönstren har  $U$ -värdet 1,0 W/(m<sup>2</sup>·K) och extra köldbryggeisolering i fönstersmygarna. Värmesystemet är vattenburet med radiatorer. Ventilationssystemet är mekanisk frånluft med utsug även i sovrum. Återvinning av värme sker från frånluften med en frånluftsvärmepump (FVP) som ger värme till både värmesystemet och tappvarmvattenberedningen. Vid stort värmebehov erhålls spetsenergi från elpatron och värmesköldar.

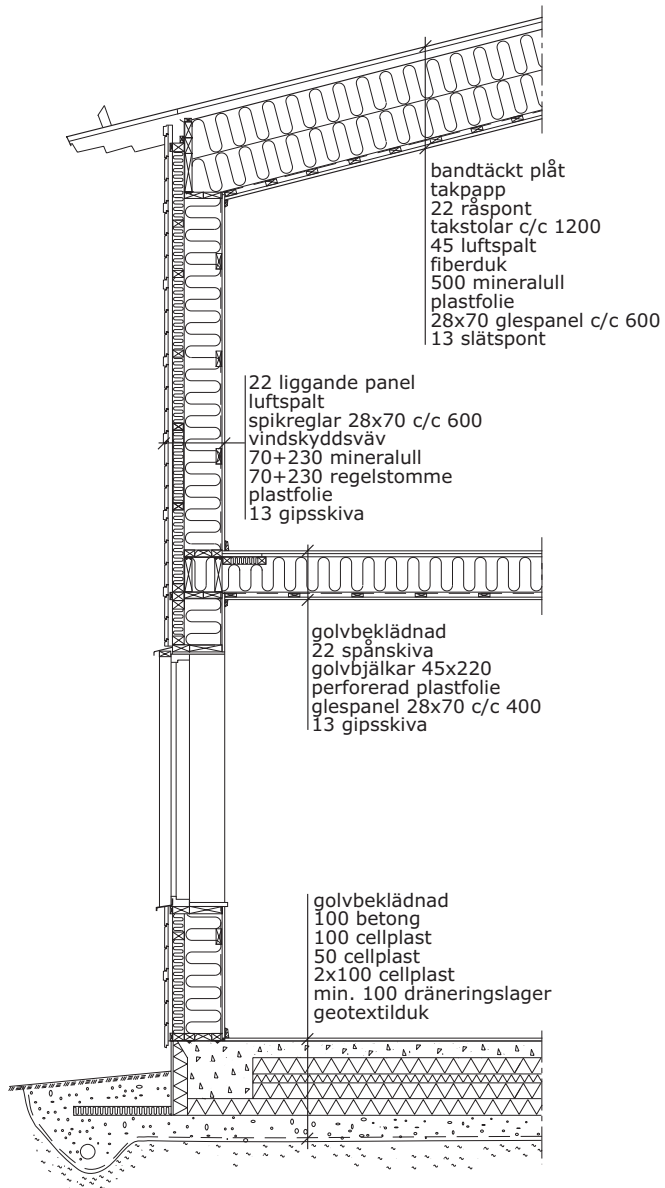




*Figur 4 Planlösning i LB-huset. Bostaden består av två våningar på sammanlagt 138 m<sup>2</sup>. Huset har måttlig fönsterarea. Större delen av fönsterarean vetter mot norr. I kök och vardagsrum är rumshöjden stor på grund av ryggåstaket. Från vardagsrummet finns utgång till uteplats. Installationer och aggregat är placerade i utrymmet benämnt tvätt. Huset och trädgården är planerad för att skapa en bra yttre och inre miljö ur bland annat allergisynpunkt.*



*Figur 5* Värme- och ventilationssystem i LB-huset. Uteluft tas in bakom träpanelen och förvärms innan den kommer in i bostaden. Huset är frånluftsventilerat med återvinning genom en värmepump som tar hand om värmen i frånluften. Värmen används för uppvärmning av bostaden genom vattenburna radiatorer samt till tappvarmvatten. Då värme från värmepumpen inte räcker till finns tillsatsel.



Figur 6 Sektion av huskonstruktion i LB-huset. Huset har en trästomme med prefabricerade tak-, vägg- och bjälklagselement. Grunden utgörs av en betongplatta isolerad med 350 mm cellplast mot mark. Ytterväggarna har 300 mm mineralullsisolering. Taket har 500 mm mineralullsisolering. Tilluften tas in via luftspalten bakom den liggande träpanelen.



## 1.7 Prognos för energianvändningen

Den förväntade energianvändningen i de båda husen har beräknats med programmet Enorm. Prognoser för de båda husens uppskattade behov av köpt energi har gjorts och redovisas i Tabell 1 (Elmroth & Jahnsson, 2001). Prognoserna innehåller flera medelvärden som dels är baserade på statistik, dels på antaganden som är något osäkra. Beräkningar enligt Enorm har utgjort vägledning för prognoserna. För det specifika huset, året och familjen kommer den verkliga energianvändningen att avvika från prognoserna. Nedan följer kommentarer till val av ingångsdata och hur dessa val kan påverka utfallet.

Tabell 1 Beräknad energianvändning och uppskattad återvunnen och nyttiggjord "gratisvärme" under ett normalår och vid normal användning av husen.

<b>Beräknad energianvändning [kWh/år]</b>	<b>LB-huset</b>	<b>Yxhult-huset</b>
Värmetransport genom golv, väggar, tak och fönster	9 850	12 600
Ventilation	6 850	6 700
Luftläckning	0	400
Varmvatten	4 300	4 300
El till fläktar och pumpar	800	1 750
Hushållsel	3 000	3 000
<b>Återvunnen och nyttiggjord "gratisvärme" [kWh/år]</b>	<b>LB-huset</b>	<b>Yxhult-huset</b>
Värme återvunnen med värmepump (FVP)	7 750	
Värme återvunnen med ventilationsvärmepump (FTX)		4 350
Värme från solinstrålning	2 700	5 200
Värme från personer	900	800
Värme från vitvaror och fläktar	2 400	3 500
Totalt köpt el	11 100	4 800
Totalt köpt fjärrvärme		10 100
<b>Totalt köpt energi</b>	<b>11 100</b>	<b>14 900</b>

Värmetransport (golv, väggar, tak, fönster): Bruttoförlusten är beräknad med de  $U$ -värden som uppgetts av respektive tillverkare, med inomhustemperaturen  $20^{\circ}\text{C}$  samt normalårets utomhustemperatur för Malmöklimate. Utfallet påverkas av eventuella avvikelser i  $U$ -värde, inomhustemperatur och det enskilda årets utomhustemperatur. I beräkningarna har tillägg gjorts för kända köldbryggor.

Ventilation: Beräkningarna gäller för projekterad luftväxling enligt BBRs minimikrav vid  $20^{\circ}\text{C}$  inomhustemperatur och normalårets utomhustemperatur

för Malmöklimat. Utfallet påverkas av avvikelser i injusterad luftväxling, inomhustemperatur och det enskilda årets utomhustemperatur.

Luftläckning: Med det ställda kravet på klimatskärmarnas täthet bör värmeanvändningen orsakad av luftläckningen bli noll i det frånluftsventilerade LB-huset eftersom även luftläckning genom konstruktionsdelar ingår i det projekterade frånluftsflödet. Genom att huset är mycket lufttätt kommer det sannolikt att nästan alltid råda ett undertryck inomhus i förhållande till utomhus. Luftläckningen förväntas vara näst intill försumbar även i det från- och tilluftsventilerade Yxhult-huset som också är mycket lufttätt. En osäkerhet är hur frekvent fönstervädningen kommer att bli under tider när värmebehov föreligger. Det har bedömts att fönstervädningen kommer att ha försumbar inverkan på värmeanvändningen.

Varmvatten: Uppskattad användning antas lika för båda husen, men beror naturligtvis på hur stor användning respektive brukare kommer att ha. För Yxhult-huset ger varje kWh sparad varmvattenenergi fullt utslag, medan för LB-huset reduceras energibehovet endast med en mindre del så länge som frånluftsvärmepumpens effekt räcker till för både värme- och varmvattenbehov. Med snålspolande armaturer bör användningen av varmvatten bli lägre än i genomsnittshuset.

El till fläktar och pumpar: Den stora skillnaden mellan de båda husen beror på att från- och tilluftssystemet i Yxhult-huset i kombination med varmgrunden kräver tre fläktar, medan frånluftssystemet i LB-huset klarar sig med en fläkt.

Hushållsel: Uppskattad elanvändning är lika för båda husen. Hänsyn har tagits till användning av energisnåla vitvaror och lågenergilampor. En osäkerhetsfaktor är dock om ökat utnyttjande av hemdatorer och annan elektrisk utrustning till en del kommer att reducera besparingen med de energieffektiva vitvarorna.

Återvunnen värme från värmepump (FVP): Beräkningen är baserad på underlag från provning vid Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP). För att erhålla beräknad återvinning av värme ur frånluften med FVP krävs cirka 2 800 kWh drivel till kompressorn. Skötsel och underhåll av värmepumpen kommer att ha betydelse för hur funktionen långsiktigt kan upprätthållas.

Återvunnen värme från ventilationsvärmväxlare (FTX): Beräkningen är baserad på underlag från provning vid SP. Hänsyn är tagen till att frånluftens temperatur sänks några grader i varmgrunden innan den når FTX-aggregatet

och till den obalans som krävs för att få ett stabilt undertryck i huset. För att värmeväxlarens verkningsgrad ska bibehållas måste filter rengöras eller bytas regelbundet.

Nyttiggjord "gratisvärme" från solinstrålning: Förklaringen till den stora skillnaden mellan de båda husen är dels att LB-huset på grund av stadsplanens utformning är vänt med vardagsrumssidan, med den största andelen fönster, mot norr medan Yxhult-huset är vänt med vardagsrumssidans och övervåningens stora fönsterytor mot söder, dels att Yxhult-huset har cirka 70 % större glasytor än LB-huset. Hur stor andel solvärme som verkligen kommer att kunna utnyttjas bedöms som mycket osäker. En del solstrålning avskärmas av omgivande hus och träd, en del avsiktligt med markiser och persienner, och slutligen krävs att värme- och reglersystemen är så följsamma att tillskotten kan nyttiggöras utan att besvärande övertemperatur uppkommer. Det beräknade solvärmertilskottet utgör en betydande post i energibalansen.

Nyttiggjord "gratisvärme" från personer: Dessa värden är baserade på statistik och beror på familjestorlek och i vilken utsträckning familjemedlemmarna vistas i bostaden. Det verkliga utfallet kan relativt sett avvika kraftigt från antagna schablonvärden men eftersom det absoluta värdet är litet så ger avvikelserna endast ett litet utslag i det totala behovet av köpt energi.

Nyttiggjord "gratisvärme" från vitvaror och fläktar: Skillnaden mellan de båda husen beror till största delen på att Yxhult-husets tilluftsfläkt och de båda frånluftsfläktarna också ger värmertilskott under uppvärmningsperioden. Jämfört med tillskotten från solinstrålning är dessa tillskott mera jämnt fördelade och förutsatt att värme- och reglersystem är rätt injusterade beror avvikelser till största delen på skillnader i boendevanor. Säkerheten i denna uppskattning bedöms dock vara relativt god. I prognos över beräknad värmeanvändning har hänsyn tagits till att eleffektiva vitvaror används vilket innebär att mindre värme från dessa kan utnyttjas för uppvärmning än i normalfallet. Det kan vara värt att notera att en sådan korrektion normalt inte görs i energi-beräkning med Enorm.

Totalt köpt energi: LB-husets elberoende är betydligt större än Yxhult-husets. Av totalt 11 100 kWh köpt elenergi kan endast den spetsenergi på cirka 4 500 kWh som tillförs genom elpatronen i värmeanläggningen ersättas med någon annan energiform. I Yxhult-huset blir det totala energibehovet större, men elberoendet uppgår endast till 4 800 kWh. Förnybar energi till värme- och varmvattenbehovet kan användas, antingen från ett fjärrvärmenät eller med en egen anläggning för förbränning av bioenergi.

## 1.8 Mätprogram

Mätningar görs för att så långt möjligt identifiera de olika posterna i husets energibalans. Avsikten är också att i viss utsträckning kunna bedöma hur brukarnas användning av huset påverkar energianvändningen. Mätdata har registrerats varje timme. Beroende på husens olika förutsättningar har mätprogrammen för de olika husen delvis sett olika ut. Gemensamt för båda husen är att energi till olika ändamål har separerats, till exempel el till vitvaror, el till utomhusbelysning, el till värmepump, värme till radiatorer, värme till varmvatten. Temperaturer har registrerats såväl utomhus som i rumsluften på både ovan- och bottenvåning. Även temperaturer i ventilationskanalerna har mätts. Total kallvattenanvändning samt varmvattenanvändning har registrerats. I det följande specificeras vilka mätningar som gjorts i vilket hus.

*Tabell 2 Mätningar som har utförts i Yxhult-huset. Mätning av fram- och returledningstemperatur påbörjades i januari 2004 och ersatte mätning av temperatur på varmvatten efter värmeväxlaren samt en av temperaturgivarna i kryprummet.*

### **Elanvändning**

---

Total elanvändning  
 El till vitvaror  
 El till diskmaskin/tvättutrustning  
 El till utebelysning  
 El till gårdshus

### **Fjärrvärme**

---

Total mängd köpt fjärrvärme, värmemängd  
 Total mängd köpt fjärrvärme, vattenmängd  
 Temperatur på varmvatten efter värmeväxlare, momentanmätning

### **Vattenanvändning**

---

Total kallvattenanvändning  
 Varmvattenanvändning

### **Lufttemperatur inomhus**

---

Temperatur på bottenvåning  
 Temperatur på ovanvåning

### **Uteklimat**

---

Temperatur utomhus

### **Ventilationssystem**

---

Temperatur i tilluft  
 Temperatur i avluft  
 Temperatur i kryprum (två givare)

Under undersökningens gång gjordes en förändring i mätprogrammet i Yxhult-  
huset. Mätning av fram- och returledningstemperatur påbörjades i januari 2004  
och ersatte mätning av temperatur på varmvatten efter värmeväxlaren samt en  
av temperaturgivarna i kryprummet.

*Tabell 3 Mätningar som har utförts i LB-huset.*

---

**Elanvändning**

Total elanvändning  
El till diskmaskin  
El till ugn och spis  
El till kyl- och frysskåp  
El till tvättmaskin  
El till torktumlare  
El till utebelysning och gårdshus

---

**Värmesystem**

Värme till radiatorer  
El till golvvärme  
El till värmeförsörjningssystem

---

**Vattenanvändning**

Total kallvattenanvändning  
Varmvattenanvändning

---

**Lufttemperatur inomhus**

Temperatur på bottenvåning  
Temperatur på ovanvåning

---

**Ventilationssystem**

Temperatur i frånluft  
Temperatur i avluft

Utöver kontinuerligt uppmätt data har inomhusklimatmätningar utförts  
momentant samt under sammanhängande perioder av olika längd vid ett antal  
tillfällen med start våren 2002. Exempelvis har luftflöden bestämts momentant  
genom stosmätning och med spårgasmetod. Även fuktkvoter i lättbetongen har  
bestämts vid några tillfällen.

## 2 Metod

I detta kapitel redovisas de metoder som rör båda husen. I de fall då en metod endast använts i ett av husen redovisas den tillsammans med resultat och analys för det aktuella huset.

### 2.1 Val av metod för normalårskorrigerig

För att kunna jämföra uppmätta och beräknade värden med varandra måste korrigeras för olikheter i uteklimatet. Det kan man göra genom att korrigeras uppmätta värden så att till exempel samma utetemperatur används som vid beräkning. I Sverige används två olika metoder för att normalårskorrigeras data: graddagsmetoden och effektsignaturmetoden. I likhet med Nilsson (2003) har effektsignaturmetoden valts för att normalårskorrigeras mätdata.

### 2.2 Effektsignatur

Effektsignaturmetoden används för att ta fram en modell som beskriver en byggnads värmeeffektbehov beroende på utetemperatur. Ofta används begreppet energisignatur men då jämförelse i realiteten sker med effekt och inte energi är benämningen energisignatur olämplig. (Nilsson, 2003)

Förutom för att normalårskorrigeras mätdata, med avseende på utetemperatur, används effektsignaturen även för att få fram en balanstemperatur som beskriver under vilken utetemperatur ett teoretiskt uppvärmningsbehov föreligger. Värmeeffektbehovet för uppvärmning av huset antas till största del bero på temperaturen utomhus då inomhustemperaturen brukar vara relativt konstant. Transmissions- och ventilationsförluster antas utgöra de största delarna av värmeförlusterna. Därav följer att det bör bli ett linjärt samband mellan uppmätt värmeeffekt och utetemperaturen.

Uppmätt veckomedeleffekt för uppvärmning av bostad och tappvarmvatten plottas mot periodens veckomedeltemperatur. Utifrån effektsignaturen idealiseras byggnadens effektuttag för uppvärmning av bostad och tappvarmvatten med två linjära funktioner. Den ena funktionen beskriver effekten då uppvärmningsbehov föreligger och den andra beskriver effekten då inget uppvärmningsbehov föreligger. Temperaturen som anger skärningspunkten mellan de två funktionerna benämns  $T_{balans}$ .

Effekten vid utetemperaturer lägre än balanstemperaturen kan genom linjär regression beskrivas som en rät linje.

$$P_1 = k \cdot T_{ute} + m \quad [W/m^2] \quad \text{för } T_{ute} < T_{balans} \quad (1)$$

Då inget uppvärmningsbehov föreligger, det vill säga då utetemperaturen är högre än balanstemperaturen, antas byggnadens effektuttag vara konstant. Effekten beräknas som ett medelvärde av uppmätt effekt under sommaren och kan beskrivas genom en konstant.

$$P_2 = \text{konstant} \quad [W/m^2] \quad \text{för } T_{ute} > T_{balans} \quad (2)$$

$T_{balans}$  beskrivs av skärningspunkten mellan linjerna  $P_1$  och  $P_2$ .

För att få ett mått på hur bra regressionslinjen är i förhållande till mätdata beräknas korrelationen  $R^2$ . Korrelation kan variera mellan 0 och 1. Ju närmare 1 desto bättre beskriver linjen punkterna. Effektsignaturen bör göras med tillräckligt långa tidssteg med hänsyn till dynamiska förlopp för att exempelvis varianser på grund av värmelagring ska kunna försummas. På grund av detta används veckomedelvärden.

### 2.3 Val av uteklimatdata för normalårskorrigerig

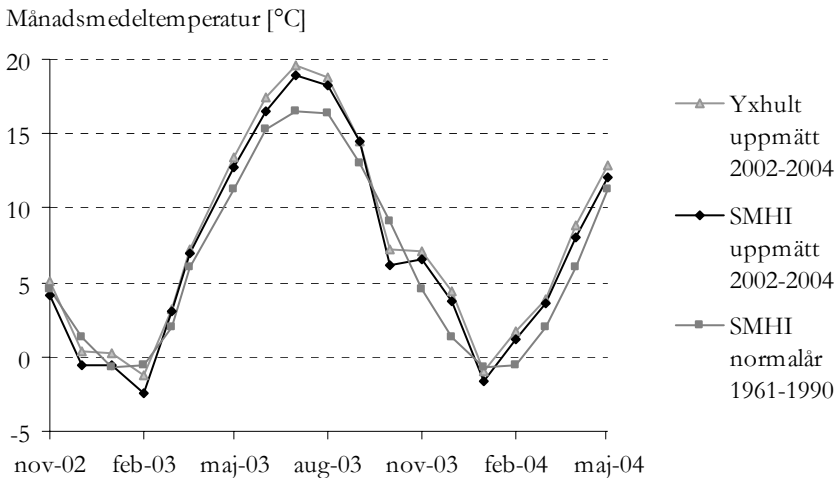
För att kunna jämföra uppmätta värden med beräknade måste man korrigera de uppmätta värdena så att samma utetemperaturer används som vid beräkning. Korrigerig med hänsyn till utetemperatur utförs genom att värmeeffekten för varje dygn beräknas utifrån funktionerna  $P_1$  och  $P_2$  med den dygnsmedeltemperatur som man önskar korrigera med. Utifrån dygnseffekterna beräknas energin och summeras över vald tidsperiod.

Vid beräkning av husens energibehov har energiberäkningsprogrammet Enorm använts. På grund av detta används Enorms klimatdata för Malmö för att normalårskorrigerig uppmätta värden då man vill jämföra uppmätta värden med beräknade. Vid jämförelse med krav enligt styrgruppen används dock SMHIs klimatdata för ett normalår i Malmö.

Skillnaden mellan SMHIs normalårstemperatur och den temperatur som använts i Enorm-beräkningarna är liten. Olika klimatdata används av principiella skäl.

## 2.4 Uteklimat

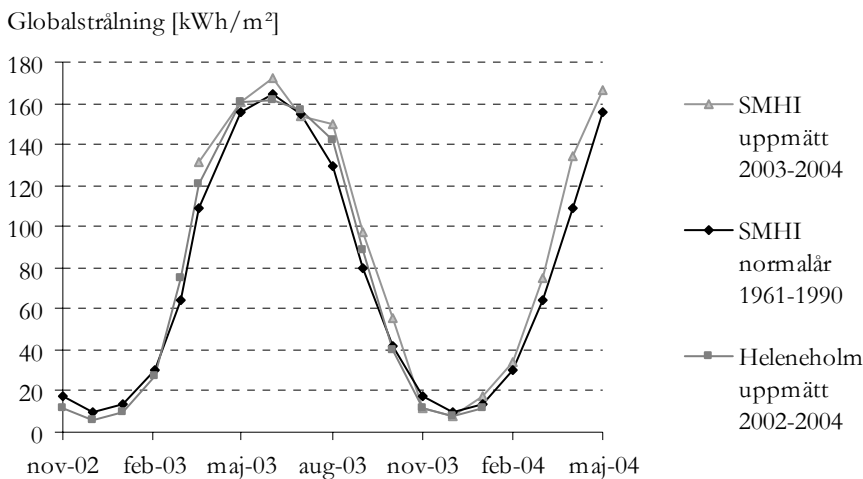
Under utvärderingsperioden har utetemperaturen varit högre än normalt. Temperaturen i Malmö (Jägersro) enligt SMHI har under utvärderingsperioden varit något högre än normalårets utetemperatur enligt SMHI, baserat på data mellan 1961 och 1990. Temperaturen som uppmätts i Västra Hamnen på Yxhult-husets norrfasad har under samma period varit något högre än den som SMHI mätt upp. Årsmedeltemperatur för år 2003 är cirka 1,5°C högre än normalårets medelutetemperatur enligt SMHI.



Figur 7 Månadsmedeltemperaturer uppmätta på Yxhult-husets norra fasad i Västra Hamnen, Malmö respektive på SMHI:s mätstation i Malmö (Jägersro) samt månadsmedeltemperaturer under ett normalår enligt SMHI.

Uppmätt globalstrålning i Malmö respektive i Lund har under utvärderingsperioden i stort stämt överens med globalstrålning under ett normalår i Malmö enligt SMHI. Viss mätdata saknas men inga större avvikelser finns i tillgängligt material.





Figur 8 Månadsmedelvärden på globalstrålning uppmätta på Gamla brandstationen i Heleneholm, Malmö respektive på SMHI:s mätstation i Lund (Gastelyckan) samt månadsvärde för normalåret 1961-1990 i Lund enligt SMHI. Viss mätdata saknas.

## 2.5 Krav på lufttemperatur inomhus

Boverkets byggregler (BFS 2002:19) anger att byggnader med bostäder eller arbetslokaler skall utformas så att ett tillfredsställande termiskt inomhusklimat kan erhållas. Något råd om högsta temperatur finns dock inte.

Socialstyrelsens allmänna råd (SOSFS 1988:2) om termiskt inomhusklimat i bostäder säger att inomhustemperaturer under 18°C samt över 28°C kan betraktas som sanitär olägenhet. Enligt samma råd är kraftig solinstrålning att betrakta som sanitär olägenhet utom vid värmebölja vilket definieras som då dygnsmedeltemperaturen utomhus är över 18°C. (Socialstyrelsen, 1988) Sedan 1 januari 1999 finns Miljöbalken som ersätter femton äldre lagar. Begreppet sanitär olägenhet har försvunnit och ersatts med begreppet olägenhet för människors hälsa. Innebörden har dock inte ändrats i sak. Termen olägenhet för människors hälsa hör numera hemma i Miljöbalken (SFS 1998:808). (Arbetsmiljöverket, 2004)

I Arbetsmiljöverkets författningssamling (AFS 2000:42) regleras hur rumsklimatet på arbetsplatser får vara. Det finns ingen övre temperaturgräns angiven i Arbetsmiljöverkets föreskrifter. Vid lufttemperaturer upp till 30°C under en kortvarig värmebölja (cirka en vecka) behövs normalt inga

permanent åtgärder. Tillfälliga åtgärder kan dock behövas. Enligt Arbetsmiljöverket finns det anledning att se till att det termiska klimatet undersöks närmare om lufttemperaturen varaktigt överstiger 26°C. Normalt behöver åtgärder vidtas om temperaturen varaktigt når över 30°C. Enligt SMHI är det värmebölja då utomhustemperaturen är 25°C eller mer under minst 5 dagar i sträck. Av ekonomiska skäl dimensioneras normalt inte ventilationssystem och komfortkyla för att klara extrem utomhustemperatur. Det gäller dels enstaka extremt varma dagar, dels kortare perioder med förhöjda utomhustemperaturer (värmebölja). Sådan dimensionering innebär att det kan bli okomfortabelt varmt under några dagar per år. Det är vanligt att välja att lufttemperaturen inomhus får överstiga till exempel 25°C eller 27°C på arbetsplatser under sammanlagt högst 10 dagar i juli under ett normalår. (Arbetsmiljöverket, 2004)

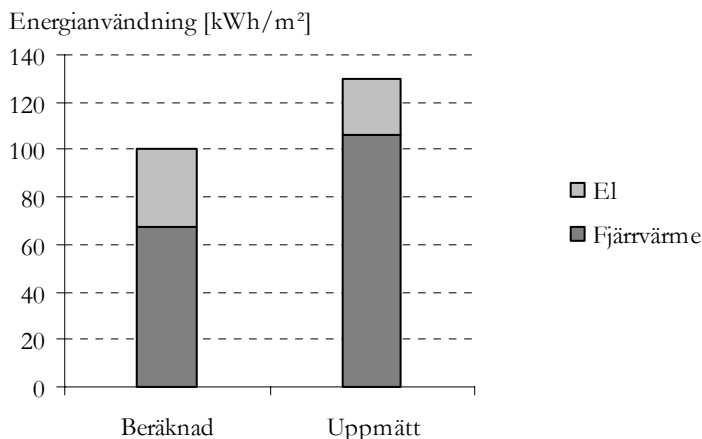
### 3 Resultat och analys

Husens energianvändning har utvärderats under mer än en årscykel i Yxhult och en knapp årscykel i LB-huset. LB-huset har under denna tid varit bebott med tre personer. Yxhult-huset har under utvärderingsperioden endast utnyttjats sporadiskt och i princip varit obebott. Dessa förhållanden har påverkat den totala energianvändningen och i Yxhult-husets fall dessutom inneklimatet genom att normal skötsel av termostater och fönstervädring vid höga temperaturer inomhus inte skett.

#### 3.1 Energianvändning - resultat och mål

Krav på energianvändningen är ställt i kWh per m<sup>2</sup> BRA och år. Yxhult-huset använder fjärrvärme för uppvärmning och tappvarmvatten medan LB-huset använder el som källa för uppvärmning och tappvarmvatten.

Uppmätt användning av fjärrvärme i Yxhult-huset har korrigerats med avseende på utetemperaturen med hjälp av effektsignatur och temperatur enligt SMHIs normalår för att kunna jämföras med ställda krav. Uppmätt användning av fjärrvärme och el redovisas i Figur 9 per kvadratmeter och år tillsammans med beräknad användning. För Yxhult-huset var målsättningen att energianvändningen högst skulle uppgå till 100 kWh per m<sup>2</sup> BRA och år.

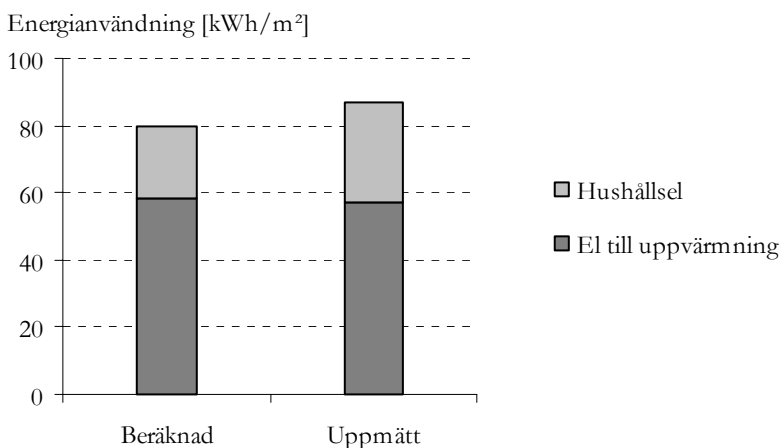


Figur 9 *Yxhult-huset. Beräknad användning av el och fjärrvärme samt uppmätt elanvändning och utetemperaturkorrigerad uppmätt användning av fjärrvärme.*

Den uppmätta totala energianvändningen som korrigerats med avseende på utetemperatur har bestämts till cirka 130 kWh per m<sup>2</sup> och år och överskrider därmed kravet. I första hand är det värmeanvändningen som varit högre än beräknat medan hushållselen varit mindre än vad som antagits.

Elanvändningen är i det närmaste konstant över året till följd av att huset bebotts enbart sporadiskt. El har huvudsakligen använts till fläktar och pumpar, kyl- och frysskåp samt till tidsstyrd inbelysning. Orsakerna till att energianvändningen är högre än vad som prognostiserats redovisas i kapitel 3.2 *Yxhult-husets prestanda*.

Uppmätt användning av el till uppvärmning i LB-huset har korrigerats med avseende på utetemperaturen med hjälp av effektsignatur och temperatur enligt SMHIs normalår för att kunna jämföras med ställda krav. Uppmätt användningen av el redovisas i Figur 10 per kvadratmeter och år tillsammans med beräknad användning. För LB-huset är målsättningen att energianvändningen högst får uppgå till 80 kWh per m<sup>2</sup> BRA och år. Användningen av hushållsel har varit något högre än vad som antagits varför den totala elanvändningen har bestämts till cirka 87 kWh per m<sup>2</sup> och år. Utförligare redovisning av elanvändningen finns i kapitel 3.3 *LB-husets prestanda*.



Figur 10 *LB-huset. Beräknad användning av el till uppvärmning och hushållsel samt uppmätt hushållselanvändning och utetemperaturkorrigerad uppmätt användning av el till uppvärmning.*

## 3.2 Yxhult-husets prestanda

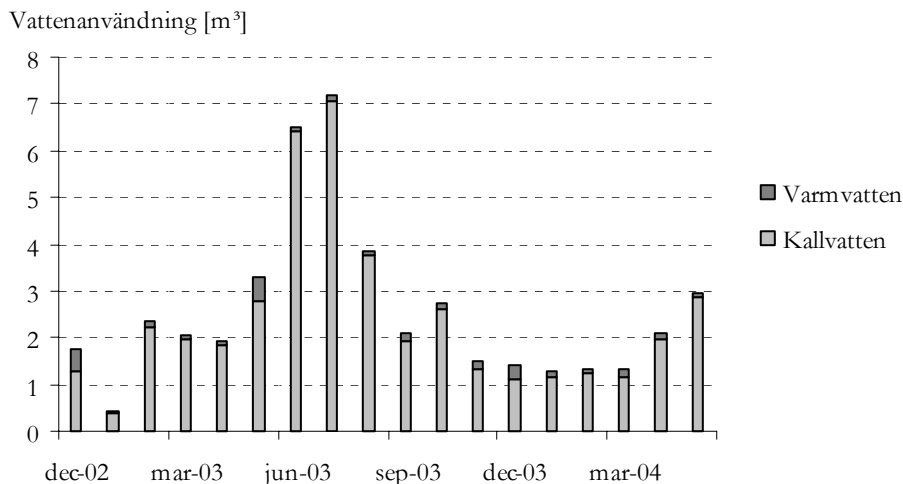
I detta kapitel presenteras uppmätt energianvändning och hur den korrelerar med beräknat energibehov. Vidare redovisas de analyser som gjorts utifrån mätdata avseende de tekniska systemen samt resultat och analys av de inneklimatmätningar som utförts.

Under hela utvärderingsperioden har Yxhult-huset endast bebotts sporadiskt vilket till stor del har påverkat uppmätta värden. Det är framför allt de beteenderelaterade faktorerna som påverkas; användning av hushållsel och varmvatten har varit väsentligt mindre än normalt. Personvärme eller fönstervädning har inte heller påverkat husets funktion på ett normalt sätt. Erhållna mätvärden ger dock god information om hur själva huset och dess installationer fungerat.

### 3.2.1 Presentation av mätdata

Vatten-, el- och fjärrvärmeanvändning samt medeltemperaturer redovisas månadsvis för perioden 2002-12-01 till 2004-05-31, i figurerna 11 till 14.

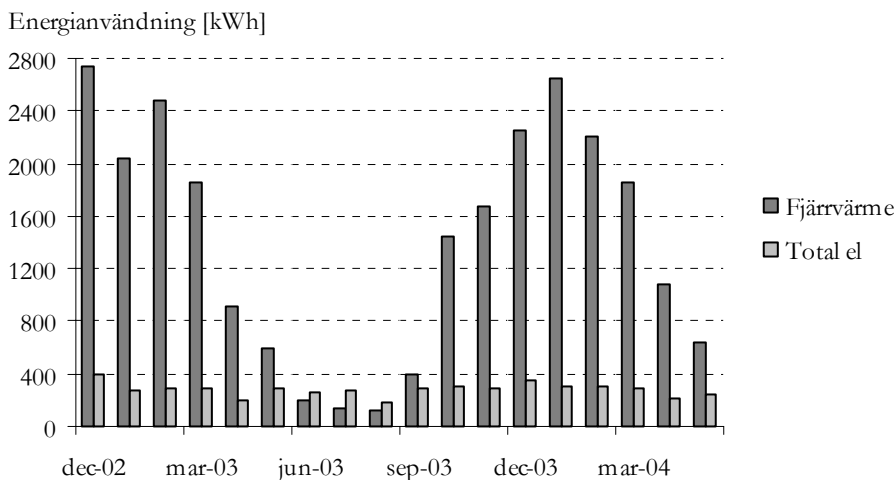
Av Figur 11 framgår att varmvattenanvändningen är försumbar.



Figur 11 Yxhult-huset. Total vattenanvändning fördelat på kallt och varmt tappvatten redovisas från december 2002 till maj 2004. Varmvattenanvändningen är mycket liten. Total vattenanvändning är cirka 30 % av en genomsnittlig användning i jämförbara småhus.

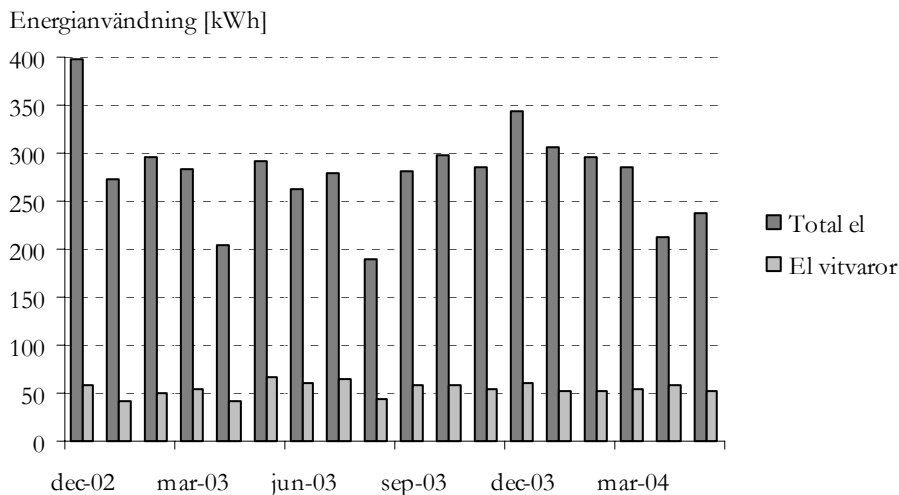
Orsaken till den försumbara varmvattenanvändningen är att huset har varit obebott. Kallvattenanvändningen har också varit låg utom under sommaren då trädgården bevattnats. Vattenanvändningen har varit cirka 30 % av genomsnittlig användning i jämförbara småhus.

I Figur 12 visas månadsvärden av användning av fjärrvärme och total el. Elanvändningen har varit låg. Fjärrvärme har tillförts huset även under sommarmånaderna trots att det egentligen inte funnits något värmebehov.



Figur 12 Yxhult-huset. Användning av fjärrvärme och total el till bostadshuset redovisas månadsvis från december 2002 till maj 2004. Total el inkluderar hushållsel och fastighetsel. El till utebelysning och till gårdshus ingår inte i posten total el.

Total elanvändning och el till vitvaror visas i Figur 13. El till vitvaror ingår i total el. Elanvändningen till vitvaror har varit mycket låg till följd av att huset inte använts på vanligt sätt. Huvuddelen av elanvändningen avser el till fläktar och pumpar. I husets ventilationssystem finns tre fläktar som går kontinuerligt.



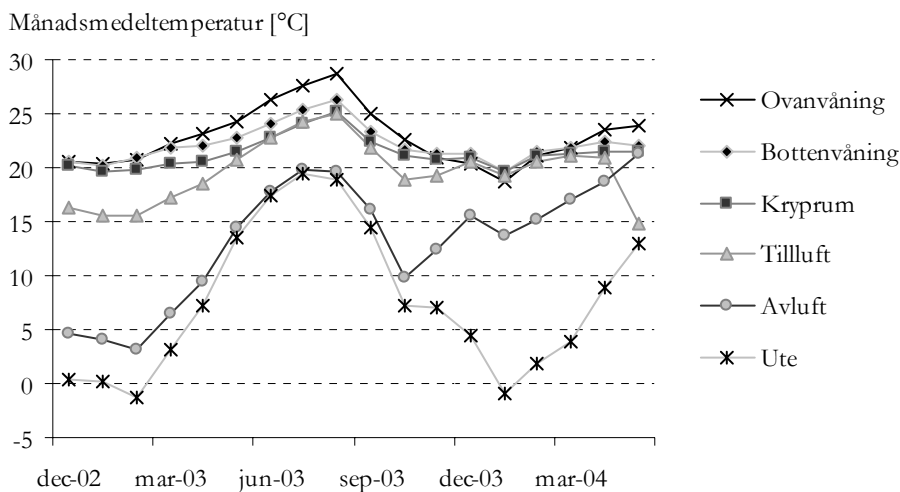
Figur 13 Yxhult-huset. Total elanvändning jämförs med den del som går till vitvaror. El har i första hand använts till fläktar, pumpar, kyl- och frysskåp samt timerstyrd belysning. Hushållsel i övrigt har praktiskt taget inte använts.

I Figur 14 visas uppmätta månadsmedeltemperaturer på ovanvåning, bottenvåning och i kryprum samt månadsmedelvärde på tilluftstemperatur, avluftstemperatur och utetemperatur.

Under uppvärmningssäsongen har lufttemperaturen inne varit något över 20°C. När det finns ett värmetillskott från solen stiger temperaturen – främst på ovanvåningen. Sommartid är det okomfortabelt varmt i huset under långa tidsperioder. Bidragande orsak till detta är bland annat att huset varit obebott varför någon fönstervädring inte skett samt att ingen omställning till sommarläge på värmeväxlaren gjorts, se kapitel 3.2.6 *Ventilationssystem*.

Tilluftstemperaturen har varierat under mätperioden. Under sommaren är månadsmedeltemperaturen på tilluften mycket hög och är nästan densamma som frånluftstemperaturen från kryprummet. I och med att bypass-funktionen inte använts i värmeväxlaren har inte möjligheten att sänka rumstemperaturen genom att tillföra uteluftstempererad tilluft under sommaren utnyttjats.

Under första vintern har månadsmedeltemperaturen på tilluften sjunkit som mest till cirka +16°C. Avluftstemperaturen har första året varit obetydligt högre än utetemperaturen. Efter att översyn av ventilationssystemet utförts av entreprenör i november 2003 är avluftstemperaturen väsentligt högre än utetemperaturen. Detta tyder på att luftflödena är förändrade vilket sannolikt innebär att värmeväxlarfunktionen inte utnyttjas fullt ut.



Figur 14 Yxhult-huset. Uppmätta lufttemperaturer, månadsmedelvärden, på ovanvåning, bottenvåning, i kryprum samt avlufts-, tillufts- och utetemperatur.

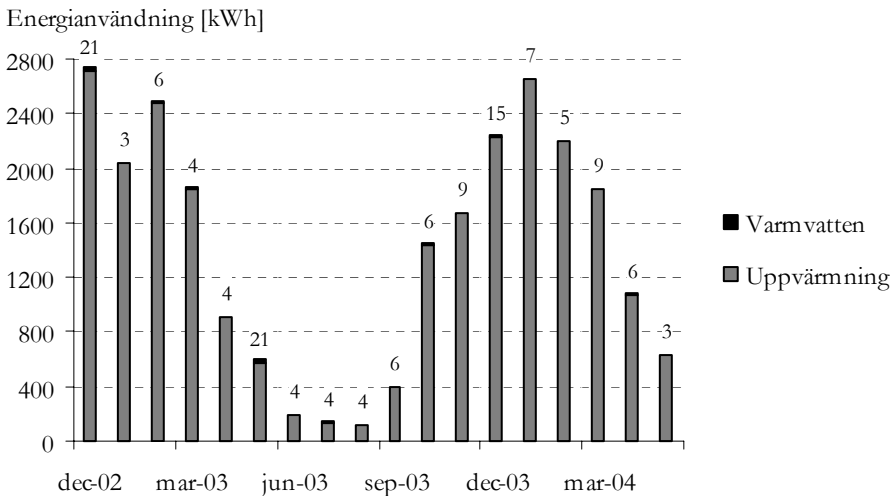
Temperaturen i kryprummet är nästan lika hög som temperaturen på bottenvåningen under hela året. En bidragande orsak till den relativt höga temperaturen i kryprummet är den stora mängd rumsluft som med en fläkt trycks ner i kryprummet, 80 l/s jämfört med projekterade 55 l/s. På grund av den höga temperaturen i kryprummet blir värmeförlusterna genom bottenbjälklaget i det närmaste försumbara. Det är dessutom små transmissionsförluster i och med att kryprummet är välisolerat. Konstruktionen med varmt, inluftventilerat kryprum bedöms vara en fuktsäker lösning.



### 3.2.2 Beräknad energi för uppvärmning av tappvarmvatten

Som tidigare nämnts har varmvattenanvändningen i huset varit mycket liten. Trots det har fjärrvärmeanvändningen varit hög även när inget egentligt uppvärmningsbehov finns. Därför har en beräkning utförts enligt ekvation (3) av vilken mängd fjärrvärme som krävs för att värma upp den volym tappvarmvatten som använts. Fjärrvärmemängden har beräknats utifrån approximerad kallvattentemperatur i ledningsnätet baserat på uppgifter från Malmö Stad, momentanmätning av varmvattentemperaturen efter fjärrvärmeväxlaren samt uppmätt mängd varmvatten som använts. Resultat redovisas i Figur 15 för perioden 2002-12-01 till 2004-05-31. Den på detta sätt bestämda fjärrvärmeanvändningen till tappvarmvatten uppgår till cirka 100 kWh/år. Det innebär i praktiken att nästan all tillförd fjärrvärme används för uppvärmning - även sommartid.

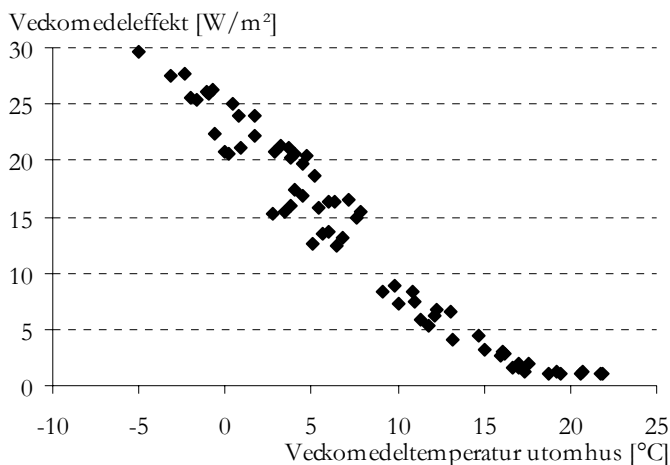
$$E = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{3600} = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot (T_{\text{varmvatten}} - T_{\text{kallvatten}})}{3600} \quad [\text{Wh}] \quad (3)$$



Figur 15 Yxhult-huset. Energi som krävs för uppvärmning av tappvarmvatten har beräknats utifrån använd mängd tappvarmvatten, varmvattnets temperatur och temperaturen i vattenledningsnätet. Praktiskt taget all fjärrvärme används till att värma huset eftersom varmvattenanvändningen är försumbar.

### 3.2.3 Effektsignatur för uppvärmning och tappvarmvatten

För att få fram ett samband mellan uppmätt köpt effekt och utetemperaturen har en effektsignatur för Yxhult-huset tagits fram. Effektsignaturen baseras på uppmätta värden på veckomedeleffekt av tillförd fjärrvärme och veckomedeltemperatur utomhus mellan 2003-01-01 och 2004-04-30 och redovisas i Figur 16.



Figur 16 Yxhult-huset. Effektsignatur på veckomedelvärden över uppmätt fjärrvärmeeffekt, plottad mot motsvarande veckomedeltemperatur utomhus, uppmätt på Yxhult-husets norrsida.

Två linjära funktioner beskriver dels hur köpt effekt beror på utetemperatur då uppvärmningsbehov finns, dels då inget egentligt uppvärmningsbehov föreligger. Balanstemperaturen som beskriver brytpunkten mellan de linjära funktionerna har bestämts. Ekvationerna för de linjära funktionerna  $P_1$  och  $P_2$  samt korrelationen  $R^2$  för  $P_1$  och brytpunkten  $T_{balans}$  redovisas nedan:

$$P_1 = -1,37 \cdot T_{ute} + 23,5 \quad [\text{W/m}^2] \quad R^2 = 0,93$$

$$P_2 = 1,35 \quad [\text{W/m}^2]$$

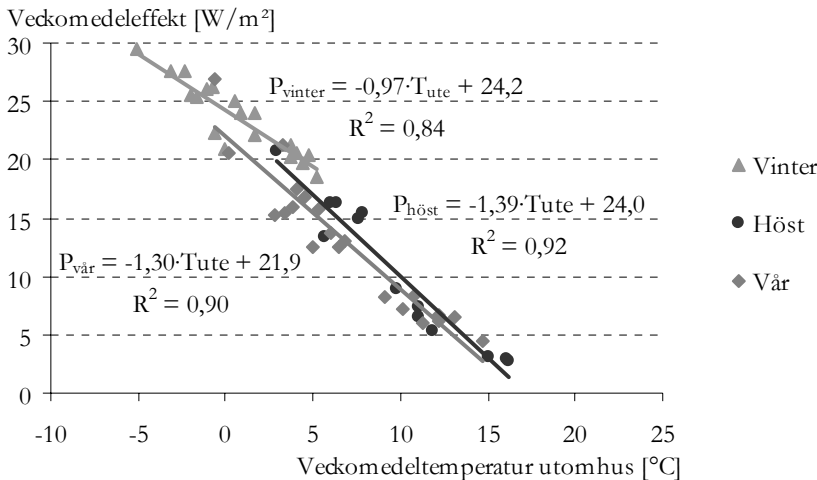
$$T_{balans} = 16,2 \quad [^\circ\text{C}]$$

Den bestämda balanstemperaturen är mycket hög för ett lågenergihus. Balanstemperaturen borde vara minst  $4^\circ\text{C}$  lägre. Det har visat sig att värmesystemet inte stryper värmetillförseln som tänkt, se kapitel 3.2.7 *Värmesystem*. Om

värmesystemet skulle ha varit injusterat skulle balanstemperaturen vara betydligt lägre.

Stor spridning av veckomedeleffekt i signaturen tyder på att solen inverkar på energianvändningen. Detta märks särskilt för utetemperaturer under +10°C. Utetemperaturer för vilka det är stor spridning i effekt uppstår typiskt under vår och höstmånader då solen står förhållandevis lågt och kan ge hög direkt solinstrålning. Trots att effektsignaturen indikerar att solen inverkar på energianvändningen blir solvärmestillskottet i energibalansen försumbart då värmesystemet inte stryker värmestillskottet.

Utseendet på effektsignaturen i Figur 16 tyder på att det inte är ett helt linjärt samband mellan utetemperatur och effekt. En effektsignatur med uppdelning på årstiderna vår (mars, april och maj), sommar (juni, juli och augusti) samt höst (september, oktober och november) har bestämts och linjära funktioner har anpassats för att beskriva effektbehovet under de olika årstiderna, se Figur 17.



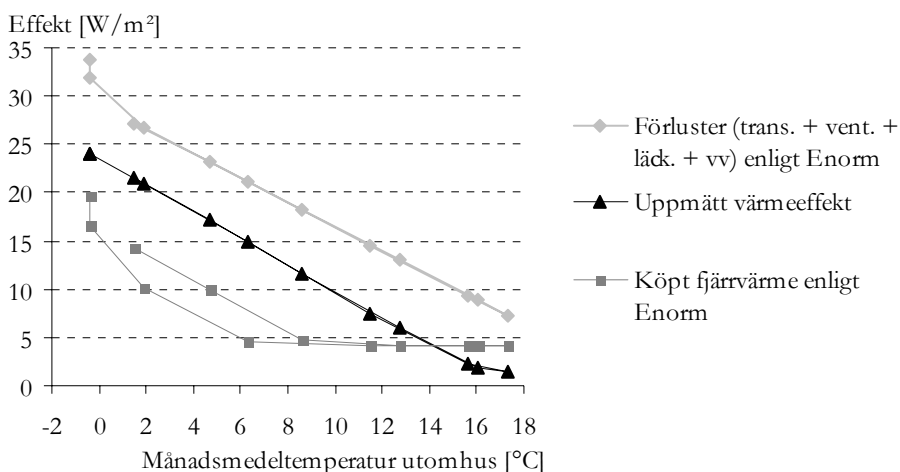
Figur 17 Yxhult-huset. Effektsignatur på veckovärden, plottade värden markeras olika beroende på årstid. I effektsignaturen har regressionslinjer tagits fram för vår, höst och vinter.

Enligt Figur 17 är effektbehovet lägre under våren än under hösten vilket sannolikt beror på mer solinstrålning under mars, april och maj än under september, oktober och november, se Figur 8 kapitel 2.4 Uteklimat. Vid utetemperaturen +5°C finns värden på uppmätt effekt för både höst, vinter och

vår. Effekterna uppmätta under vintern ligger markant högre än effekter uppmätta under höst och vår vilket kan bero på att det är mindre solinstrålning under vintern.

### 3.2.4 Uppmätt värmeeffekt jämfört med beräkningar i Enorm

I Figur 18 redovisas uppmätt värmeeffekt, beräknat behov av köpt fjärrvärme och beräknade förluster. I de senare ingår värmeförluster på grund av transmission, ventilation och luftläckning, samt värme till tappvarmvatten. Beräkning har gjorts med hjälp av Enorm. Utdrag ur resultatutskrift från Enorm-beräkningen finns i Bilaga 1.



Figur 18 Yxhult-huset. Beräknade månadsmedeleffekter för köpt fjärrvärme till uppvärmning och varmvatten samt beräknade förluster (transmission, ventilation, läckning och tappvarmvatten), och uppmätt värmeeffekt har plottats mot månadsmedeltemperaturer utomhus.

Skillnaden mellan kurvorna för förluster och köpt fjärrvärme beskriver mängden ”gratisvärme” och återvunnen värme som beräknas komma huset till godo. Kurvan för uppmätt värmeeffekt ligger betydligt högre än den beräknade kurvan för behovet av köpt fjärrvärme. Skillnaden mellan kurvan för köpt fjärrvärme och kurvan för uppmätt effekt tyder på att solinstrålning och annan ”gratisvärme” inte utnyttjas alternativt att det inte finns tillräckligt med gratisvärme och återvunnen värme att utnyttja. Huset används inte som permanent bostad vilket gör att ingen personvärme och endast ringa spillvärme från hushållsel avges. Differensen mellan kurvan för uppmätt värmeeffekt och

kurvan för beräknade förluster enligt Enorm beror till största del på återvunnen värme i FTX-aggregatet samt eventuellt solvärmestillskott.

### 3.2.5 Fuktens inverkan på energianvändningen

Ökad fukthalt i väggar, golv och tak leder till ökat energibehov. Det är främst förändrad värmekonduktivitet i lättbetongväggarna som påverkar energibehovet. (Elmroth och Höglund, 1965) Ett fuktigt material får en större värmeledningsförmåga än ett torrt, vilket uttrycks genom ett högre  $\lambda$ -värde.

Fuktprov har tagits vid två tillfällen. Med ledning av värden på fukthalterna vid provtagningarna görs en uppskattning av fuktens betydelse för uppmätt värmeanvändning under utvärderingsperioden. De energiberäkningar som föregått utvärderingen har utgått ifrån fortvarighetsstillstånd, det vill säga lättbetongen har antagits ha jämviktsfukthalt.

För fukthalter inom det hygroskopiska området kan man enligt Boverkets allmänna råd 1989:1 korrigera värmekonduktiviteten för fukttinnehåll med en korrigeringsterm enligt ekvation (4).

$$\Delta\lambda_m = K \cdot w = K \cdot \rho \cdot u \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (4)$$

För lättbetong är  $K = 0,0009 \text{ (W} \cdot \text{m}^2)/(\text{kg} \cdot \text{K})$ . Lättbetongväggarna är av kvalitetsklass 400 vilket betyder att densiteten är  $400 \text{ kg/m}^3$ .

Utifrån värden från fuktprovtagning utförd 20 december 2001 antas fuktkvoten  $u$  vara cirka 35 % i ytterväggarnas hela tvärsnittet. Utifrån värden från fuktprovtagning utförd 17 november 2003 antas fuktkvoten  $u$  vara cirka 15 % i hela tvärsnittet. Efter uttorkning antas fuktkvoterna understiga 6 %. Om uttorkningsprocessen antas vara linjär kan korrigeringstermen för december 2002 beräknas. Med antagna fuktkvoter kan korrigeringstermen för lättbetongens värmekonduktivitet beräknas och därefter kan beräknade transmissionsförluster enligt Enorm korrigeras så att de är anpassade efter fukttinnehållet i lättbetongväggarna.

Transmissionsförlusterna för uttorkade ytterväggar är enligt Enorm 13 250 kWh vid inomhustemperaturen  $21^\circ\text{C}$ . Utifrån angivna antaganden ökar transmissionsförlusterna genom ytterväggarna med 2800 kWh. Totala transmissionsförlusterna under året 2003, på grund av högt fukttinnehåll i ytterväggarna, blir alltså drygt 20 % högre än vid uttorkad lättbetong. Detta motsvarar en ökad transmissionsförlust på cirka 19 kWh per  $\text{m}^2$  och år för året 2003.

### 3.2.6 Ventilationssystem

Ventilationssystemet i Yxhult-huset är ett från- och tilluftssystem med värmeåtervinning genom en värmeväxlare (FTX). Ventilationen är projekterad för att vara balanserad med både från- och tilluftsflöde på 55 l/s. Systemet drivs av tre fläktar. Tilluften trycks in i bostaden av tilluftsfläkten i värmeväxlingsaggregatet, via tilluftsdon som är placerade i vardagsrum på bottenvåningen och i de båda sovrummen på ovanvåningen. Frånluften sugs ut ur bostaden av en fläkt i kryprummet, via frånluftsdon i kök och badrum på bottenvåningen samt i badrum på ovanvåningen, och trycks ner i kryprummet. Frånluftsfläkten i värmeväxlingsaggregatet suger därefter luft från kryprummet och trycker den genom värmeväxlaren.

I FTX-aggregatet är, med flödesriktningen som referens, tilluftsfläkten placerad efter växlaren medan frånluftsfläkten är placerad innan växlaren. Denna konstruktion medför att den värme som fläktarna tillför luften kan utnyttjas. Om frånluftsfläkten varit placerad efter växlaren hade värmen från fläkten följt med avluften ut medan man nu kan värmeväxla även denna värme. Nackdelen med konstruktionen, då man suger tilluft och trycker frånluft, är att det kan finnas risk för läckage av frånluft till tilluft om aggregatet inte är tätt.

Värmeväxlaren har modellbeteckningen Temovex 250 och kommer från Temovex Svenska AB. Växlaren är av motströmstyp och har helt skilda luftkanaler för att förhindra överläckning mellan från- och tilluft. Enligt tillverkaren har värmeväxlingsaggregatet en temperaturverkningsgrad på 83 %. (Temovex, 2004). Värmeväxlingsaggregatet har prisbelönats av Energimyndigheten som bästa ventilationsvärmeväxlare för småhus. I det standardutförande som finns i Yxhult-huset har värmeväxlaren endast manuell omställning för sommar drift. Sommar drift innebär att tilluften inte värmeväxlas med frånluften. Automatisk omställning finns som tillval. Frånluft och uteluft filtreras genom filter som måste bytas regelbundet. Indikationslampa för filterbyte finns.

Ett ventilationssystem med mekanisk till- och frånluft med värmeväxling innebär att den termiska komforten förbättras genom att risken för drag minskar när förvärmad luft tillförs bostaden under uppvärmningssäsongen. Huset har visat sig vara mycket lufttätt, vilket innebär att det finns goda förutsättningar för att kunna injustera ventilationssystemet korrekt. Luftflödena bedöms vara i det närmaste väderberoende varför god ventilation kan fås året runt.

### 3.2.6.1 Mätning av luftflöden

I rapporten *Utvärdering av inomhusmiljö. En studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus*. (Bagge och Lindström, 2003) redovisas till- och frånluftsflöden som uppmätts den 2 maj 2002 med en luftflödesstos. Totalt tilluftsflöde vid mätning genom don var 39 l/s. Totalt frånluftsflöde genom don i bostaden var 77 l/s. De uppmätta till- och frånluftsflödena överrensstämmer inte med de projekterade flödena som är 55 l/s för både till- och frånluft. Tilluftsmängden är avsevärt lägre än projekterat flöde vilket vid normalt boende kan påverka luftkvaliteten negativt. Huset är enligt täthetsprovningen, utförd hösten 2001, mycket lufttätt varför det bedöms osannolikt att en betydande mängd uteluft läcker in i huset. Eftersom uppmätt frånluftsflöde är avsevärt högre än tilluftsflödet bedöms det mest sannolikt att luft cirkulerar mellan bostaden och kryprummet.

Vid besök i huset den 17 november 2003 utfördes dels mätningar av flöden vid alla till- och frånluftsdon i bostaden, dels mätningar direkt i till- och frånluftskanalerna. Flödena skiljde sig något åt beroende på mätmetod. Vid mätning direkt i kanalerna var det totala tilluftsflödet 30 l/s i tilluftskanalen och frånluftsflödet ner till kryprummet 80 l/s. Vid mätning med stos genom don i bostaden var det totala frånluftsflödet något lägre.

Under de dryga 18 månader som förflutit mellan mättillfällena har det byggts mycket i husets omgivning. Tilluftsfiltret har inte bytts under denna period. Vid besöket i huset i november 2003 var tilluftsfiltret rejält nedsmutsat. Vid besöket noterades även att varvtsregulatorn på frånluftsfläkten inte installerats. Detta trots att husets ventilationssystem ”injusterats” våren 2002. Det höga frånluftsflödet, som trycks ner i kryprummet från bostaden, bedöms bero på att varvtsregulatorn till kryprumsfläkten inte installerats.

Vid besök i huset 24 juni 2004 har ånyo mätning av luftflöden gjorts genom alla till- och frånluftsdon i bostaden. Totalt tilluftsflöde har därvid bestämts till 39 l/s och det totala frånluftsflödet till 48 l/s. Flödena är sålunda lägre än vad som ursprungligen projekterats. Det noterades att varvtsregulatorn för frånluftsfläkten nu var installerad. Vidare noterades att i aggregatet indikerade en varningslampa att det var dags för filterbyte. Tilluftsfiltret var mycket nedsmutsat vilket bedöms vara en bidragande orsak till det låga tilluftsflödet.

Under våren 2002 bestämdes luftomsättningen i huset med spårgas. Spårgas (svavelhexafluorid) doserades i sovrummet mot öster på ovanvåningen. En gasanalysator mätte koncentrationen i olika utrymmen i huset. I sovrummet mot väster uppmättes en gaskoncentration i luften som inte borde vara möjlig. Vid inspektion av ventilationssystemet uppmärksammades att på husets utsida

sögs avluften in i tilluften. Den uppmätta gasen i västra sovrummet förklaras av att gas tillfördes rummet via tilluften på grund av kortslutning i anslutning till av- och tilluftsdonen på fasaden. Den felaktiga placeringen av till- och avluftsdonen på fasaden måste därför åtgärdas för att säkra en god luftkvalitet. Om huset hade varit bebott hade man sannolikt upplevt problem när förorenad luft från kök och hygienutrymmen tillförts sovrummen som tilluft.

### 3.2.6.2 Temperaturverkningsgrad

Temperaturverkningsgraden beskriver en given värmeväxlares prestanda för givna flöden och godtyckliga temperaturer. Temperaturverkningsgraden kan definieras som kvoten mellan den erhållna temperaturändringen för ett flöde och den teoretiskt eller största möjliga temperaturändringen, vilket är skillnaden mellan de två flödenas inloppstemperaturer. Temperaturverkningsgraden beror på värmeöverföringsförmågan hos värmeväxlaren samt hos de två flödena. Verkningsgraden kan endast ligga i intervallet 0 till 1, där 1 betyder ett fullständigt värmeutbyte. (Jensen, 1999)

Temperaturverkningsgraden för tilluftsflödet betecknas  $v_{tilluft}$  och temperaturverkningsgraden för frånluftsflödet betecknas  $v_{frånluft}$ . Temperaturverkningsgraden för till- och frånluftsflödena kan beräknas med följande formler.

$$v_{tilluft} = \frac{(T_{tilluft} - T_{ute})}{(T_{frånluft} - T_{ute})} \quad [-] \quad (5)$$

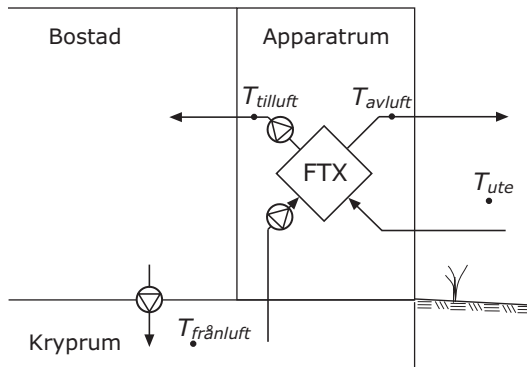
$$v_{frånluft} = \frac{(T_{frånluft} - T_{avluft})}{(T_{frånluft} - T_{ute})} \quad [-] \quad (6)$$

Registrering av temperaturer har gjorts momentant en gång i timmen under perioden 2002-11-11 till 2004-06-04. I anslutning till värmeväxlaren mäts tilluftstemperatur och avluftstemperatur. Därutöver mäts temperaturen i kryprummet samt utomhus. Vid beräkning av temperaturverkningsgrad antas frånluftstemperaturen vara samma som lufttemperaturen i kryprummet.

Verkningsgraden kommer att överskattas något då temperaturerna inte mäts i direkt anslutning till växlaren. Temperaturgivarnas placering ses i Figur 19. Temperaturgivaren som mäter tilluft är placerad efter tilluftsfläkten och temperaturgivaren som mäter frånluft är placerad före frånluftsfläkten. Detta medför att temperaturen på frånluften då den värmeväxlas underskattas och att temperaturen på tilluften då den värmeväxlas överskattas, vilket medför en något högre verkningsgrad än om temperaturerna skulle ha mätts i direkt



anslutning till växlaren. Felet som orsakas av temperaturgivarnas placering ökar när temperaturdifferensen mellan frånluftstemperatur och utomhustemperatur minskar.

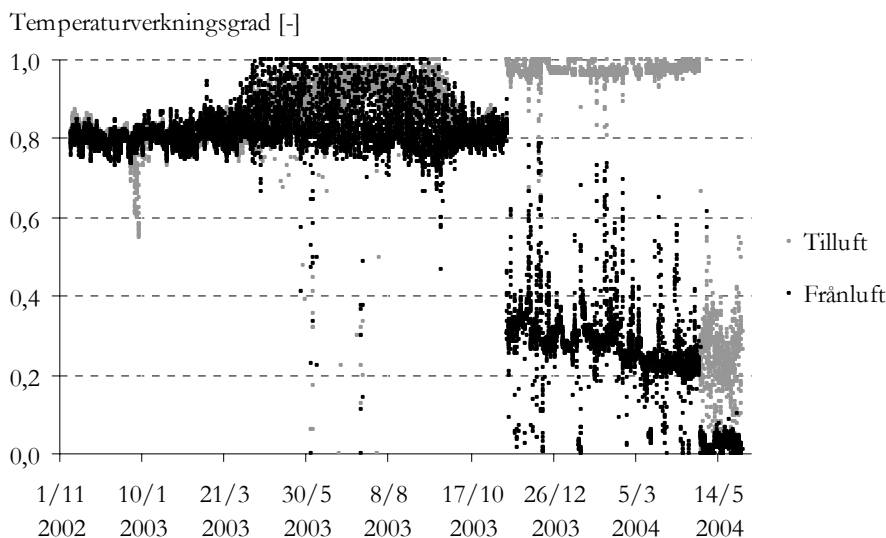


Figur 19 Yxhult-huset. Benämning på luftflöden genom värmeväxlare och temperaturgivarnas placering i förhållande till fläktar i aggregatet.

Den beräknade temperaturverkningsgraden för till- respektive frånluftsflödet visas i Figur 20. Felet på grund av temperaturgivarnas placering blir litet under den tid då det är stor skillnad mellan temperaturen utomhus och temperaturen i frånluften. Detta syns i figuren genom att verkningsgraden är relativt stabil under hösten och vintern 2003 medan spridningen i verkningsgrad för de två flödena är relativt stor under sommaren 2003 då temperaturskillnaden mellan utomhus och frånluft är mycket liten. Sommaren 2003 har ingen omkoppling till sommarläge skett. Däremot har omkoppling till sommarläge skett 30/4 2004, vilket tydligt framgår av värden på verkningsgraderna. I november 2003 gjordes ett ingrepp i aggregatet som har inneburit att verkningsgraderna helt förändrats.

Temperaturverkningsgraden är ungefär densamma för de två flödena under perioden från november 2002 till april 2003 samt från oktober till november 2003. Det tyder på att flödena är lika stora då felet orsakat av temperaturgivarnas placering är litet under uppvärmningssäsongen. Från och med 17/11 2003 är verkningsgraden för de två flödena kraftigt förändrad. Verkningsgraden för tillluftsflödet har stigit och för avluftsflödet sjunkit. De kraftiga förändringarna i verkningsgrader inträffade i samband med att bland andra personal från en ventilationsfirma gjort besök i huset för att kontrollera flödena. Exakt vad som förändrats är oklart. En hög verkningsgrad för tillluftsflödet och en markant lägre för frånluftsflödet ger med nödvändighet att ett lågt tilluftsflöde växlas med ett högt frånluftsflöde.

Definitionsmässigt kan verkningsgraden endast ligga i intervallet 0 till 1. Beräknad verkningsgrad som ligger utanför detta intervall kan förklaras av temperaturgivarnas placering, att temperaturerna eventuellt mäts med en liten tidsförskjutning samt att utvädring av varm rumsluft kan medföra att frånluftstemperaturen kan bli lägre än tilluftstemperaturen.

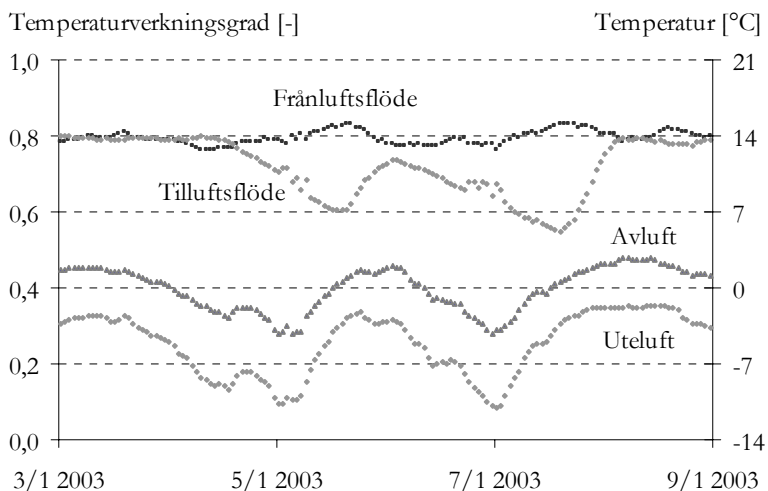


Figur 20 Yxhult-huset. Verkningsgrad för tilluftsflöde och frånluftsflöde under hela mätperioden från 2002-11-11 till 2004-06-04.

Medelvärdet på temperaturverkningsgraden för de två flödena har beräknats under en sexmånadersperiod (hösten 2002 till våren 2003) och var för båda flödena i medeltal 82 %.

Vid två tillfällen i januari 2003 har påfrysning skett i värmväxlaren vilket kan ses i Figur 21. Avluftstemperaturen har varit under  $0^{\circ}\text{C}$  under 35 respektive 28 timmar vid dessa två tillfällen. Lägsta uppmätta avluftstemperatur var  $-4,3^{\circ}\text{C}$ , samtidigt var utetemperaturen  $-10,6^{\circ}\text{C}$ . I samband med att avluftstemperaturen går under noll ändras verkningsgraderna för flödena till att inte längre vara i stort sett lika. Verkningsgraden för frånluftsflödet är högre än verkningsgraden för tilluftsflödet, vilket tyder på att frånluftsflödet är lägre än tilluftsflödet. Om påfrysning sker kommer frånluftsflödet att minska då tryckfallet ökar när isbildningen sätter igen frånluftskanalerna i växlaren. Samtidigt som påfrysning sker och tilluftsflödets verkningsgrad minskar kommer även tilluftstemperaturen att minska. I samband med påfrysning är lägsta tilluftstemperatur uppmätt till  $+8,5^{\circ}\text{C}$ . Automatisk avfrostning finns inte i det

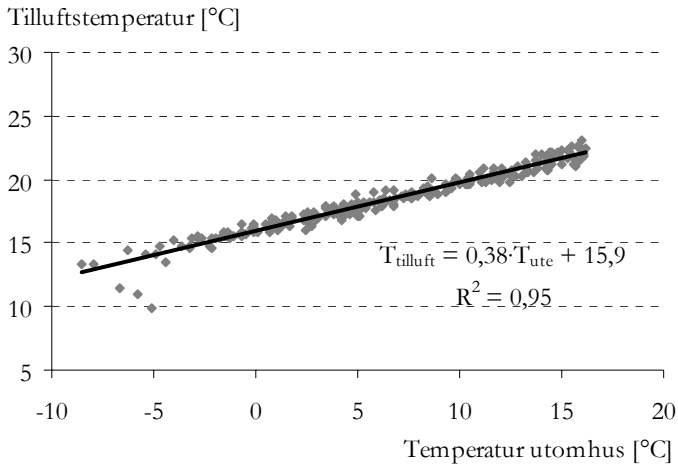
installerade aggregatet. Det finns inte heller någon anvisning om hur avfrostning kan utföras. Under de relativt milda vintrar som mätningarna utförts har påfrysning endast skett vid några enstaka tillfällen och då under kort tid. Om aggregatet används i kallare klimat än Skånes kan påfrysning bli ett stort problem och minska verkningsgraden betydligt.



Figur 21 Yxhult-huset. Temperaturverkningsgrad för tilluftsflöde och frånluftsflöde samt temperatur på avluft och uteluft under perioden 2003-01-03 till 2003-01-09.

### 3.2.6.3 Energibesparing med FTX

För dygnsmedeltemperaturer utomhus som är lägre än balanstemperaturen, under perioden 2002-12-30 till 2003-11-17, har ett linjärt samband tagits fram för att beskriva tilluftstemperaturen som funktion av utetemperaturen, se Figur 22.



Figur 22 *Yxhult-huset. För perioden 2002-12-30 till 2003-11-17 har dygnsmedeltemperaturer på tilluften plottats mot dygnsmedeltemperaturer utomhus som är lägre än balanstemperaturen 16,2°C. I figuren är en linje inlagd som beskriver hur tilluftstemperaturen beror på utetemperaturen.*

Utifrån funktionen som beskriver tilluftstemperaturen beräknas den energimängd, som vid en viss ventilationsmängd och utetemperatur enligt SMHIs normalår, kan sparas i förhållande till om ingen värmeväxling skett. Värmeväxling som minskar uppvärmningsbehovet bedöms ske från början av oktober till mitten av maj. Vid det uppmätta ventilationsflödet på 30 l/s sparas under ett normalår 2600 kWh eller 17 kWh/m<sup>2</sup>. Om ventilationsflödet hade varit det projekterade, 55 l/s, hade besparingen varit 4800 kWh eller 32 kWh/m<sup>2</sup>.

### 3.2.6.4 Brukarvänlighet hos ventilationssystemet

Under perioder då värmeväxling inte är önskvärd, såsom under sommarmånaderna när inget uppvärmningsbehov föreligger och värmeväxling kan bidra till övertemperatur, kan man manuellt ställa om till sommar drift genom en bypass-funktion. Detta har inte gjorts under sommaren 2003 eftersom husägaren inte haft kännedom om detta. Eftersom det vid soligt väder blir övertemperaturer tidigt på våren skulle det vara fördelaktigt med en temperaturstyrd omkoppling till bypass-läge för att inte förstärka problemet med övertemperaturer. Då man satsar på ett bra och relativt dyrt aggregat som det valda skulle det vara en fördel om omkoppling sker automatiskt. De boende bör inte få merarbete på grund av energibesparande åtgärder. För att ventilationssystemet ska fungera effektivt måste filter bytas regelbundet, vilket ska kunna ske enkelt. Brukaren måste dessutom få en tydlig information om

när det ska ske. Omkoppling till sommar drift samt byte av filter borde kunna vara enklare än vad som är möjligt i det aktuella systemet.

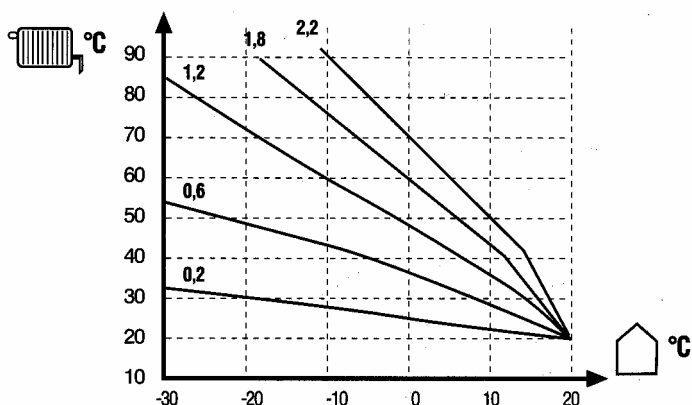
För att få önskad funktion måste luftflödena vara korrekta. I det här huset har injustering inte utförts på ett tillfredsställande sätt. Systemet är byggt utan mätanordningar varför brukaren inte kan avgöra om systemet fungerar korrekt. I begreppet brukarvänlighet måste ingå att få information om hur systemet fungerar och vid eventuella avvikelser från önskade värden få anvisningar om hur justering ska göras. Tekniken måste i större utsträckning anpassas till människans möjligheter att förstå och sköta den.

### **3.2.7 Värmesystem**

Uppvärmning av Yxhult-huset sker med ett vattenburet system med radiatorer. Fjärrvärme används som uppvärmningskälla. Enligt Cetetherm (2002) regleras temperaturen på värmekretsen automatiskt i förhållande till utetemperatur och önskad rumstemperatur via reglercentral, framledningsgivare och utegivare. Värme- och varmvattensystemets energianvändning registreras genom fjärrvärmeleverantörens försorg. Mätning sker genom att registrera mängden fjärrvärmevatten som passerar anläggningen i kombination med temperaturskillnaden mellan fjärrvärmens tillopp och retur. I anslutning till värmesystemet finns en manöverpanel där bland annat inställning av komforttemperatur och värmekurva kan göras.

Inställning av komforttemperatur sker genom att förskjuta värmekurvan eller att ställa in önskad rumstemperatur (om rumstemperaturgivare är ansluten). I Yxhult-huset är rumstemperaturgivare inte anslutna utan i stället styr man värmekurvans förskjutning. Vredet kan ställas i läge 0 som motsvarar rumstemperatur 20°C och kan justeras upp eller ner 8°C, det vill säga i intervallet 12 till 28°C. Under utvärderingsperioden har inställningen av komforttemperatur varit +2°C, det vill säga 22°C.

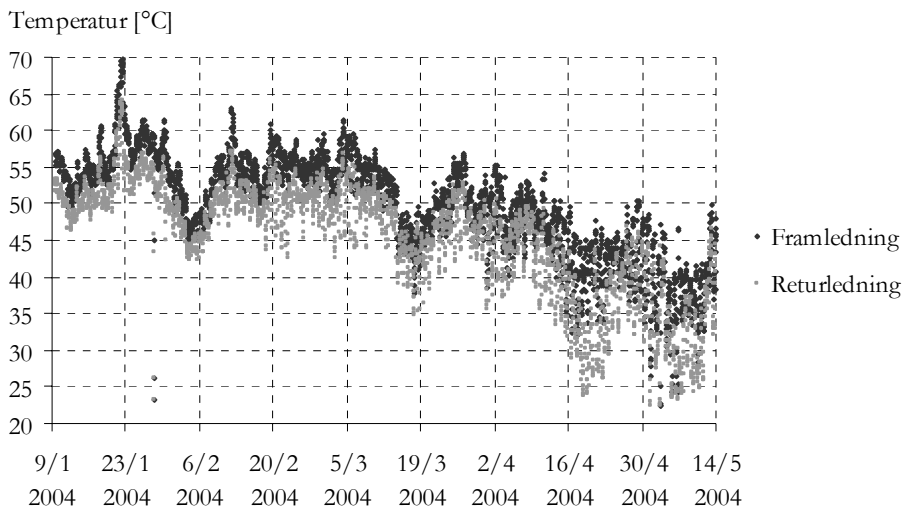
Värmekurvan visar sambandet mellan utetemperatur och värmekretsens tilloppstemperatur. Fabriksinställning är 1,2 men kurvan kan ändras inom inställningsområdet 0,2-2,2 om önskad rumstemperatur sett över året inte ges. Om rumstemperaturen blir för låg när det är kallt ute bör värmekurvan ökas respektive minskas om det blir för varmt.



Figur 23 Yxhult-huset. Bild på värmekurva hämtad från produktblad. (Cetetherm, 2002)

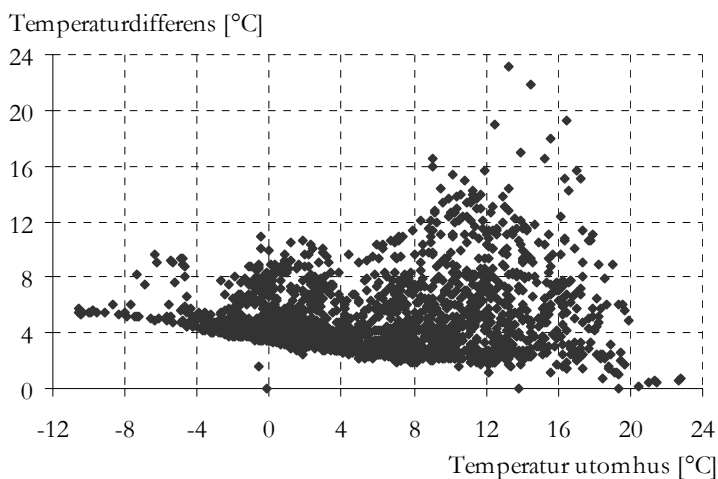
### 3.2.7.1 Fram- och returledningstemperatur

För att undersöka hur värmesystemet fungerar har mätning av fram- och returledningstemperaturer utförts. Registrering av fram- och returledningstemperatur i radiatorkretsen har skett under perioden 2004-01-09 till 2004-05-14. Temperaturer har mätts momentant en gång per timme och redovisas i Figur 24.



Figur 24 Yxhult-huset. Fram- och returledningstemperaturer uppmätta från 2004-01-09 till och med 2004-05-14.

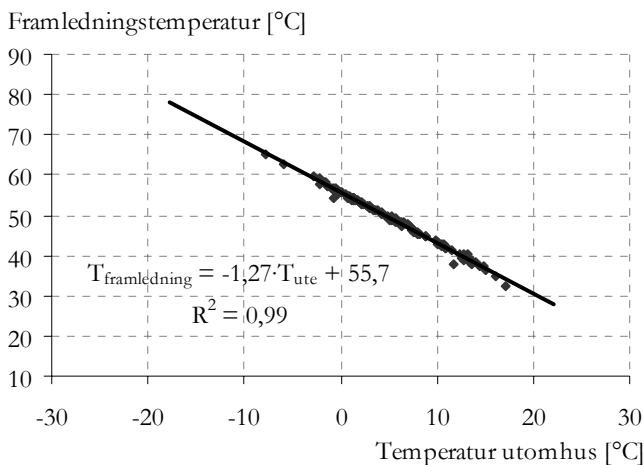
I Figur 25 visas temperaturdifferensen mellan fram- och returledning vid olika utetemperaturer. Spridningen på temperaturdifferensen blir större med ökad utetemperatur.



Figur 25 Yxhult-huset. Temperaturdifferens mellan fram- och returledning vid olika utetemperaturer.

När ett stort värmebehov finns är termostatventilerna öppna och tryckfallet i systemet blir då lågt. Radiatorvattnet får ett stort flöde vilket gör att vattnet inte kyls ned mer än cirka 5,5°C. När värmebehovet däremot är litet är termostatventilerna endast litet öppna vilket skapar ett större tryckfall i systemet. Radiatorvattnet får ett lågt flöde vilket gör att vattnet kan kylas ned till rumstemperatur. Vid utetemperaturen +12°C är framledningstemperaturen enligt Figur 26 cirka 40°C. Vid samma utetemperatur kan temperaturdifferensen enligt Figur 25 variera mellan 2 och 16°C, vilket ger en returledningstemperatur som varierar mellan 24 och 38°C. Enligt Figur 27 varierar inomhustemperaturen mellan cirka 22 och 26°C vid utetemperaturen +12°C. Ovanstående resonemang visar på att en returledningstemperatur ner till 24°C är rimlig.

Framledningstemperaturen har plottats mot utetemperaturen och en regressionslinje har bestämts genom minsta kvadrat-metoden. Därefter har jämförelse med värmekurvor enligt produktblad gjorts.



Figur 26 Yxhult-huset. Samband mellan dygnsmedelvärde på framledningstemperatur och utetemperatur.

Utifrån sambandet mellan framledningstemperatur och utetemperatur enligt Figur 26 bedöms den så kallade värmekurvans inställning vara 1,2, vilket är inställningen från fabrik. Man kan ställa sig frågande till om fabriksinställningen 1,2 är den rätta för ett lågenergihus. Ett välisolerat hus behöver inte mycket värmestöd utan bör klara sig med ett lägre inställningsvärde. Om man jämför med produktbladets värmekurva (Figur 23) verkar värmekurvan vara något förskjuten vilket indikerar att rumstemperaturen är inställd på en högre inomhustemperatur än 20°C. Med framtagen värmekurva blir framledningstemperaturen så hög som 71°C vid dimensionerande utetemperatur -13°C. Systemet är avsett att ha dimensionerande framledningstemperatur 55°C. Aktuell framledningstemperatur är alltså 16°C högre vid dimensionerande utetemperatur än vad den ska vara för att systemet ska fungera korrekt.

### 3.2.8 Lufttemperatur inomhus

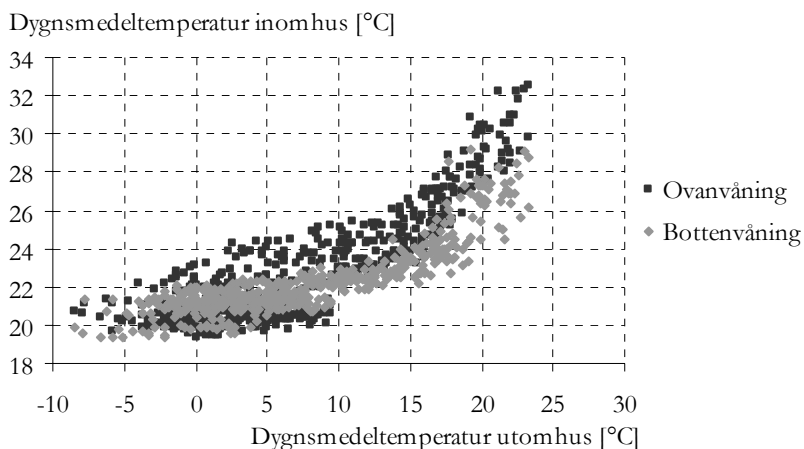
Mätning av temperaturer inomhus har gjorts på bottenvåning och ovanvåning. Temperaturerna har registrerats momentant en gång i timmen. Mätningarna har visat att temperaturen inomhus varit mycket hög under sommarmånaderna. Temperaturen kan även stiga relativt kraftigt under våren och hösten på grund av solinstrålning, framför allt på ovanvåningen. Under den tid mätningarna pågått har den lägsta uppmätta temperaturen varit 19,1°C och den högsta 35,5°C, båda är uppmätta på ovanvåningen. I medeltal har temperaturen varit 22,2°C (bottenvåning) och 22,8°C (ovanvåning).



Tabell 4 Yxhult-huset. Max-, min-, medel- och mediantemperaturer har beräknats för ovan- och bottenvåning under hela mätperioden 2002-11-11 till 2004-05-14 samt för perioderna 2003-10-15 till 2004-05-14 och 2003-06-01 till 2003-08-31.

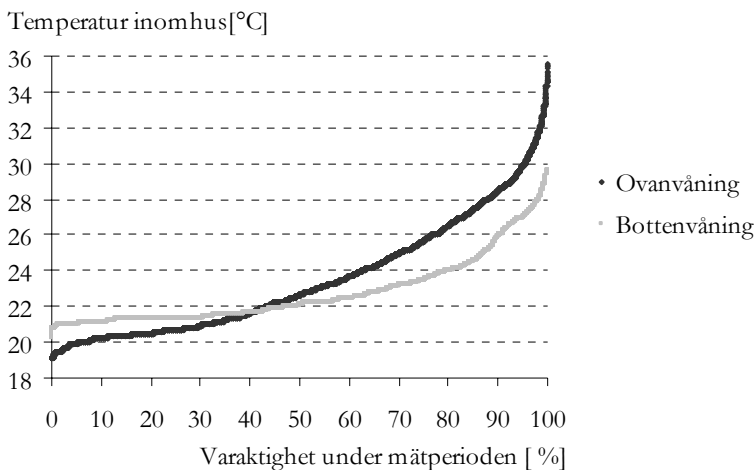
<b>Ovanvåning</b>	<b>Hela mätperioden</b>	<b>15/10 2003 – 14/5 2004</b>	<b>1/6 – 31/8 2003</b>
Maxtemperatur	35,5	28,1	35,5
Mintemperatur	19,1	19,1	22,3
Medeltemperatur	22,8	21,1	27,5
Mediantemperatur	21,6	20,7	27,4
<b>Bottenvåning</b>	<b>Hela mätperioden</b>	<b>15/10 2003 – 14/5 2004</b>	<b>1/6 – 31/8 2003</b>
Maxtemperatur	29,6	23,4	29,6
Mintemperatur	19,2	20,2	21,9
Medeltemperatur	22,2	21,5	25,3
Mediantemperatur	21,7	21,4	25,0

När dygnsmedeltemperaturen utomhus är lägre än +9°C håller sig temperaturen inomhus relativt konstant mellan 19 och 22°C med enstaka temperaturhöjningar upp till cirka 24°C på ovanvåningen. När det är varmare utomhus stiger temperaturen inomhus kraftigt och då dygnsmedeltemperaturen utomhus är över 18°C är innetemperaturen konstant över 26°C. Detta kan ses i Figur 27.



Figur 27 Yxhult-huset. Dygnsmedeltemperaturer inomhus på bottenvåning respektive ovanvåning vid olika dygnsmedeltemperaturer utomhus. Temperaturer redovisas för hela mätperioden 2002-11-11 till 2004-05-14.

Under en utvald tolv månaders period, 2003-04-01 till 2004-03-31, har varaktighet för innetemperaturer på bottenvåning och ovanvåning plottats. Resultatet visas i Figur 28. Ur diagrammet kan avläsas lägsta och högsta uppmätta temperatur inomhus på ovanvåning respektive bottenvåning. Mediantemperaturen kan avläsas som temperaturen vid varaktigheten 50 %. Temperaturen på ovanvåningen är lägre än på bottenvåningen under 40 % av året och högre under resterande tid. Mycket höga temperaturer, upp till 35,5°C, har uppmätts på ovanvåningen.



Figur 28 Yxhult-huset. Varaktighet för innetemperaturer på ovanvåning och bottenvåning har plottats för perioden 2003-04-01 till 2004-03-31.

På bottenvåningen håller sig temperaturen inom intervallet 20-26°C under 91 % av den valda tolv månadersperioden. 9 % av tiden är temperaturen över 26°C och 2 % av tiden över 28°C. På ovanvåningen är temperaturen inom intervallet 20-26°C under 72 % av tiden. 23 % av tiden är temperaturen över 26°C och 12 % av tiden över 28°C. 5 % av tiden är temperaturen under 20°C. Mer än halva tiden har innetemperaturen överskridit inställt värde 22°C.

Temperaturer över 28°C inomhus kan betraktas som olägenhet för människors hälsa. (Socialstyrelsen, 1988) Temperaturen på ovanvåningen kan alltså betecknas som olägenhet för människors hälsa under drygt sex veckor. Dessa dagar inföll då dygnsmedeltemperaturen utomhus var över 18°C, vilket definieras som värmebölja enligt Socialstyrelsen (1988). Under 2003 uppmättes dygnsmedeltemperaturer över 18°C huvudsakligen mellan mitten av juli och mitten av augusti. När övertemperaturer uppstått har utomhus-temperaturen varit betydligt högre än under SMHIs normalår. Med det klimat

som rått under mätperioden får det anses helt normalt att övertemperaturer uppstår under åtminstone tio dagar i juli månad.

Det finns ett antal tänkbara orsaker till de höga temperaturerna. Exempelvis värmeväxlas utomhusluften med frånluften även under sommarmånaderna då bypass-funktionen i värmeväxlaren inte har varit inkopplad. Detta är en starkt bidragande orsak till de konstant höga temperaturerna under sommaren. En annan anledning är att det finns stora glaspartier som vetter mot söder. Solavskärmning finns i form av utvändiga markiser men då dessa inte är automatiska och byggnaden inte används för permanent boende används inte markiserna. Då huset inte bebotts sommartid har inte heller någon fönstervädning bidragit till att sänka innetemperaturen.

Resultatet av mätningarna av värmesystemets framledningstemperatur tyder på att huset tillförs värme från radiatorkretsen även sommartid, se kapitel 3.2.7 *Värmesystem*, vilket bidrar till att ytterligare höja en redan hög temperatur inomhus.

### **3.2.9 Operativ temperatur**

Resultaten från bestämningar av operativ temperatur redovisas utförligt i rapporten *Utvärdering av inomhusmiljö. En studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus*. (Bagge och Lindstrij, 2003) I detta kapitel redovisas en sammanfattning av resultaten.

Operativ temperatur definieras som medelvärdet av lufttemperatur och omgivande ytors temperatur. (Warfvinge, 2000) Det blir därmed ett sammanfattande mått på den upplevda termiska komforten. Operativ temperatur kan mätas med en glob- eller kubtermometer. Kubtermometern mäter riktad operativ temperatur i sex olika riktningar och därefter görs en sammanvägning och operativ temperatur beräknas. I BBR rekommenderas att riktad operativ temperatur ska vara större än 18°C i bostads- eller arbetsrum samt större än 20°C i hygienutrymme. I standarden ISO 7730 anges att operativ temperatur ska vara mellan 20-24°C vintertid och mellan 20-26°C sommartid.

Mätning av riktad operativ temperatur utfördes i bostadens alla rum, utom badrum på ovanvåningen, i början av maj 2003. Mätning skedde på 60, 90 eller 110 centimeters höjd över golv, där den lägsta höjden kan sägas representera en sittande människa och den högsta en stående människa. En kubtermometer användes och det tillhörande mätinstrumentet hade en mätnoggrannheten på  $\pm 0,35^\circ\text{C}$ . Lägst operativ temperatur, 21,6°C, uppmättes i badrummet på bottenvåningen, som vetter mot norr. Högst operativ

temperatur, 25,9°C, uppmättes i hallen på ovanvåningen, med stora glaspartier i söder.

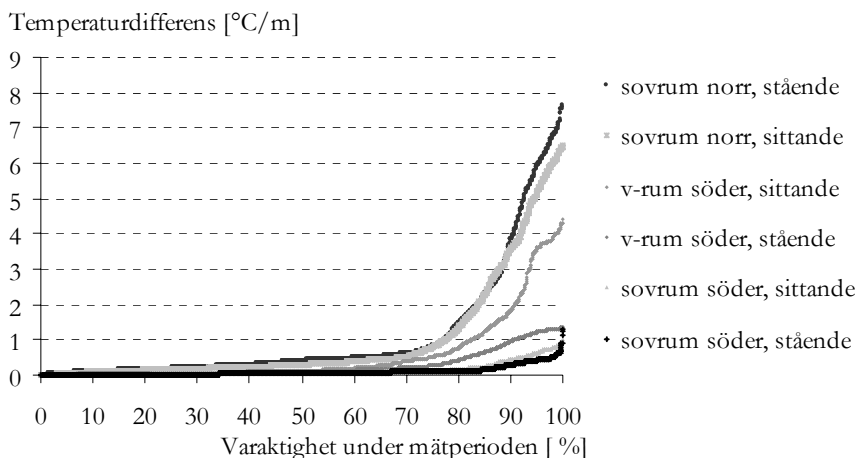
De rekommendationer som anges i BBR avseende riktad operativ temperatur uppfylls i alla rum som undersökts. Även riktlinjer enligt ISO 7730 avseende operativ temperatur uppfylls om början av maj månad räknas som sommartid. Om det däremot räknas som vintertid uppfylls ej kraven i det västra sovrummet samt hallen på ovanvåningen, som båda har stora glasareor i söder. I och med att huset är välisolerat och har höga invändiga yttemperaturer vintertid bedöms huset med marginal uppfylla kraven vintertid.

### 3.2.10 Vertikal temperaturgradient

Resultaten från bestämningar av vertikal temperaturgradient redovisas utförligt i rapporten *Utvärdering av inomhusmiljö. En studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus*. (Bagge och Lindstrie, 2003) I detta kapitel redovisas en sammanfattning av resultaten.

Vertikal temperaturgradient definieras som temperaturförändringen i höjddled och mäts i °C/m. Temperaturskillnad i höjddled kan upplevas som mycket obehaglig, framför allt temperaturskillnad mellan huvud och fot, i synnerhet för sittande person. Lufttemperatur mäts i vistelsezon på höjderna 0,1, 1,1 och 1,8 meter. Temperaturdifferensen mellan 0,1 och 1,1 meters höjd beskriver upplevelsen för sittande person medan differensen mellan 0,1 och 1,8 meter beskriver upplevelsen för stående person. BBR ställer inga krav på vertikal temperaturgradient. Det gör däremot ISO 7730 som rekommenderar att den vertikala temperaturgradienten bör vara mindre än 3°C/m.

Mätning av temperatur har utförts under två veckor i april 2002. Loggning av temperatur har gjorts var tionde minut. Temperaturloggarna som använts har mätnoggrannheten ±0,5°C. Mätning har skett på tre olika platser i bostaden; på bottenvåning i vardagsrum framför fönster i söder och på ovanvåning i det östra sovrummet på två olika ställen. I sovrummet placerades en mätuppställning vid norrväggen utan fönster och en mätuppställning vid söderväggen framför de stora fönstren i söder. Invändiga solskydd användes för att inte utsätta temperaturloggarna för direkt solstrålning. Mätperioden bestod av många soliga dagar. De yttre manuella solskydden användes inte. Uppmätta temperaturer vid södervägg i det östra sovrummet bedöms vara alltför höga för att ge en god termisk komfort. Om yttre solskydd skulle ha använts skulle man troligtvis kunnat undvika höga temperaturgradienter.



Figur 29 Yxhult-huset. Under mätperioden om två veckor i april 2003 har temperaturdifferensen för olika fall och rum beräknats. Värdena redovisas som varaktighetskurvor under mätperioden. Under 88 % av tiden har temperaturdifferensen i sovrum vid norrvägg varit lägre än kravvärdet för både stående och sittande person. Resterande tid, 12 %, har värdet överskridits. För sittande person i vardagsrum har kravet på maximal differens 3°C/m överskridits under 6 % av mätperioden.

### 3.2.11 Inneklimat och brukarpåverkan

Den termiska komforten i Yxhult bedöms kunna förbättras avsevärt om befintlig solavskärmning används och om värmeväxling ej sker under sommaren. Automatiska solstyrda markiser skulle dessutom vara önskvärda.

Redan vid mycket låga utetemperaturer blir det tidvis förhöjda temperaturer på ovanvåningen på grund av solinstrålning. Det behövs sannolikt mycket lite sol för att påverka inomhustemperaturen. Det är också tydligt att när dygnsmedeltemperaturen ute är högre än cirka +9°C stiger temperaturen på både ovan- och bottenvåningen.

För att omblandning av luften skall ske måste tilluften vara några grader lägre än rumsluften. Under en stor del av sommarperioden tillförs rummet tilluft med nästan samma temperatur som rumsluften eftersom bypass-funktionen inte varit inkopplad. Det finns därför viss risk för att luften inte omblandas tillräckligt i rummen för att säkerställa god luftkvalitet. Om tilluften inte värmeväxlas bedöms luftkvaliteten kunna bli bättre sommartid.

De boende kan påverka sin inomhustemperatur genom att använda den solavskärmning i form av markiser som finns samt ändra till sommarläge på FTX-aggregatet. Man skulle kunna önska att utformningen av FTX-aggregatet skulle underlätta denna process genom enkel omkoppling till sommarläge. I dag krävs en hel del handgrepp för att ställa om till sommarläge. För att en bra termisk komfort skall uppnås i detta hus krävs aktiv boendepåverkan i form av nedfällning av markis och omställning av FTX-aggregat till sommarläge samt eventuellt komplettering med fönstervädring.

### **3.2.12 Energibalans – avvikelser från prognos**

Energianvändningen i Yxhult-huset är drygt 30 % högre än prognostiserat. I detta kapitel diskuteras de olika posterna i energibalansen och troliga orsaker till att uppmätt energianvändning är annorlunda än vad som prognostiserats. Under utvärderingsperioden har huset inte använts som bostad vilket framför allt påverkat den del av energianvändningen som direkt påverkas av hur huset används och brukarnas beteenden. Det är dock de teknikberoende posterna som i störst utsträckning påverkat att den uppmätta totala energianvändningen avviker från den prognostiserade totala energianvändningen. Genom att mätningarna har varit mycket detaljerade och att mätvärden registrerats varje timme finns det goda möjligheter att beskriva hur huset fungerat energitekniskt och också dra vissa slutsatser om vad en mera normal användning skulle ha inneburit.

Uppmätt energianvändning har korrigerats för att kunna jämföras med prognostiserade värden. Korrigeringen har i huvudsak gjorts med hänsyn till utetemperatur och med hänsyn till hur huset använts. Prognostiserade och uppmätta\* värden för de i energibalansen ingående posterna redovisas i Tabell 5. Uppmätta\* värden är normalt inte direkt uppmätta utan utgörs oftast av indirekt bestämda värden där mätdata utnyttjats vid bestämningen. Vissa delar av energibalansen är inte heller möjliga att mäta i fält.

Tabell 5 Yxhult-huset. Prognostiserad energianvändning under ett normalår och vid normal användning samt uppmätt\* utetemperaturkorrigerad energianvändning som har bestämts genom mätning och/eller beräkning.

<b>Energianvändning i Yxhult-huset [kWh/år]</b>	<b>Prognos</b>	<b>Uppmätt*</b>
Värmetransport genom golv, väggar, tak och fönster	12 600	16 050
Ventilation	6 700	3 900
Luftläckning	400	300
Varmvatten	4 300	100
El till fläktar och pumpar	1 750	1 900
Hushållsel	3 000	1 700
<b>Återvunnen och nyttiggjord "gratisvärme" i Yxhult-huset [kWh/år]</b>	<b>Prognos</b>	<b>Uppmätt*</b>
Värme återvunnen med ventilationsvärmexlare (FTX)	4 350	2 600
Värme från solinstrålning	5 200	0
Värme från personer	800	0
Värme från hushållsel samt fläktar och pumpar	3 500	1 750
Totalt köpt el	4 800	3 600
Totalt köpt fjärrvärme	10 100	16 000
<b>Totalt köpt energi</b>	<b>14 900</b>	<b>19 600</b>

I det följande kommenteras hur den uppmätta\* energianvändningen har bestämts. Tänkbara troliga orsaker till avvikelser från de prognostiserade värdena diskuteras.

Värmetransport (golv, väggar, tak och fönster): Uppmätta\* transmissionsförluster har bestämts genom att ta hänsyn till att inomhustemperaturen varit 21°C i genomsnitt i stället för antagna 20°C och att fuktinnehållet i ytterväggarna varit väsentligt högre än för uttorkade väggar. I prognosen har förutsatts att uttorkning skett. Värmetransporten är betydligt högre genom fuktiga yttreväggar. Korrigeringen medför betydligt högre transmissionsförluster genom byggnadsskalet.

Ventilation: Uppmätta\* ventilationsförluster har bestämts genom beräkning med aktuellt uppmätt ventilationsflöde och uppmätt temperatur inomhus. Under utvärderingsperioden har inomhustemperaturen varit 21°C i snitt i stället för antagna 20°C. Ventilationsflödet har även varit väsentligt lägre än projekterat, 30 l/s jämfört med projekterat 55 l/s. Det nästan halverade flödet medför väsentligt lägre ventilationsförluster. Vid korrekt injusterad ventilation skulle ventilationsförlusterna överensstämma relativt väl med prognosen.

Luftläckning: Uppmätt\* luftläckning har bestämts genom att utgå från uppmätt lufttäthet hos huset. Täthetsprovningen har visat att huset är väsentligt tätare än förutspått vilket medför en lägre ofrivillig luftläckning och till följd därav lägre värmebehov.

Varmvatten: Uppmätt\* energianvändning till tappvarmvatten har beräknats utifrån direkta mätningar av tappvarmvattenanvändningen. Användningen av tappvarmvatten är mycket låg till följd av att huset varit i det närmsta obebott vilket ger en försumbar energianvändning. Vid normal användning av huset skulle tappvarmvattenanvändningen ha varit större än uppmätt\*. Dock skulle energianvändningen sannolikt vara lägre än antagen till följd av att snålspolande armaturer är installerade.

El till fläktar och pumpar: Eleffekten har mätts upp momentant vid ett tillfälle. Utifrån uppmätt effekt har uppmätt\* elanvändning beräknats. Den något högre användningen av el till fläktar och pumpar i förhållande till prognosen beror sannolikt på att varvtalsregulatorn till kryprumsfläkten inte varit installerad och att fläkten därmed har arbetat med högre effekt än prognostiserat.

Hushållsel: Posten uppmätt\* hushållsel har bestämts som differensen mellan direkt uppmätt total elanvändning och el till fläktar och pumpar. Användningen av hushållsel har varit betydligt lägre än prognostiserat till följd av att huset inte bebotts permanent.

Återvunnen värme från ventilationsvärmexlare (FTX): Uppmätt\* återvunnen värme har bestämts utifrån den temperaturhöjning FTX-aggregatet ger tilluften. Endast värme som återvunnits när värmebehov finns har medräknats. Detta antas ske under 220 dagar, från början av oktober till mitten av maj, då dygnsmedeltemperaturen utomhus är lägre än +11°C. Till följd av det lägre ventilationsflödet, 30 l/s, återvinns mindre värme än prognostiserat. Med korrekt luftflöde är det troligt att prognostiserad mängd återvunnen värme skulle ha erhållits eftersom mätningarna visat att temperaturverkningsgraden för värmexlaren ligger nära den som uppgivits av tillverkaren.

Nyttiggjord "gratisvärme" från solinstrålning: Denna post kan inte enkelt mätas. För att balans i energiflöde ska råda blir den nyttiggjorda tillskottsvärmen från solinstrålningen noll. Den egentliga tillskottsvärmen som skulle ha kunnat komma huset till godo är sannolikt kring 2500 kWh per år. Detta har dock inte kunnat utnyttjas till följd av att värmeförseln inte stängts när temperaturen inne stigit utan solinstrålningen har huvudsakligen orsakat övertemperaturer. En viss andel solvärme borde kunna ha utnyttjats i huset om



det haft en bättre temperaturstyrning. Det är dock inte troligt att nyttiggjort solvärmestillskott skulle kunna bli så stort som i prognosen.

Nyttiggjord "gratisvärme" från personer: Då huset är praktiskt taget obebott antas personvärmen vara försumbar.

Nyttiggjord "gratisvärme" från hushållsel samt fläktar och pumpar: Uppmätt\* värme från hushållsel, fläktar och pumpar antas kunna utnyttjas under 220 dagar per år, från början av oktober till mitten av maj, då dygnsmedeltemperaturen utomhus är lägre än +11°C. Av den tillförda elen antas 80 % kunna utnyttjas i form av värme. Den nyttiggjorda värmen från hushållsel samt fläktar och pumpar är betydligt lägre än prognosen eftersom andelen hushållsel varit så liten.

Totalt köpt energi: Uppmätt\* total mängd köpt energi är cirka 30 % större än prognostiserat. Elanvändningen är emellertid lägre medan värmeanvändningen är betydligt större. Den lägre elanvändningen beror i första hand på att huset inte använts som bostad. Det är troligt att elanvändningen vid normalt boende skulle uppgå till nära det värde som antagits. Den större värmeanvändningen beror till stor del på tekniska faktorer som högre värmekonduktivitet på grund av fukt i lättbetongväggarna och till viss del på högre inomhustemperatur. Utöver detta har framledningstemperaturen varit alldeles för hög och för mycket värme har tillförts radiatorkretsen. Termostaterna har inte heller fungerat som avsett. Solvärmestillskott har inte kunnat tillgodogöras. Om värmesystemet skulle ha fungerat som tänkt skulle behovet av köpt värme ha varit lägre. Det är dock osäkert om prognostiserad energianvändning för uppvärmning kan nås. Det är sannolikt att det utnyttjningsbara solvärmestillskottet överskattats betydligt i prognosen.

### 3.3 LB-husets prestanda

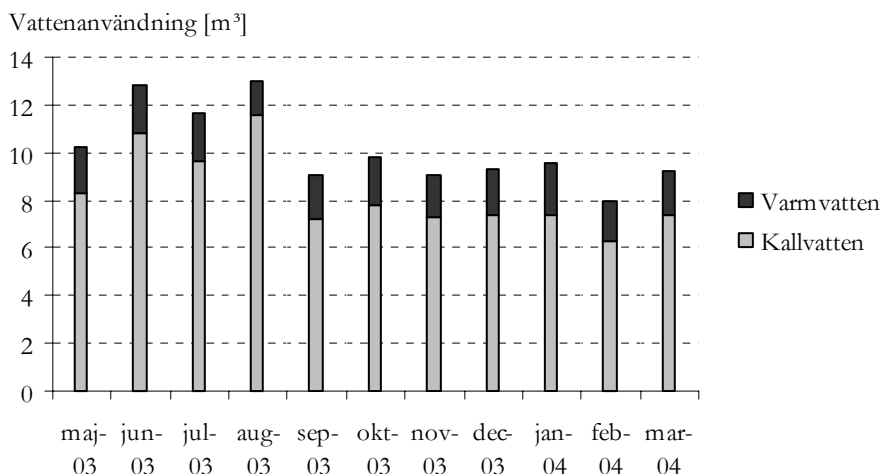
I detta kapitel presenteras resultat över uppmätt energianvändning och hur den korrelerar med beräknat energibehov. Vidare redovisas de analyser som gjorts utifrån mätdata avseende de tekniska systemen, resultat och analys av de inneklimatmätningar som utförts samt sammanfattning av samtal med de boende i LB-huset.

Huset har varit bebott under hela utvärderingsperioden. Detta innebär att resultaten påverkas såväl av husets tekniska prestanda som av hur brukarna använder huset och vilka vanor de har. Detaljerade mätningar har dock bidragit till att brukarpåverkan till stor del kan hanteras i analysen.

#### 3.3.1 Presentation av mätdata

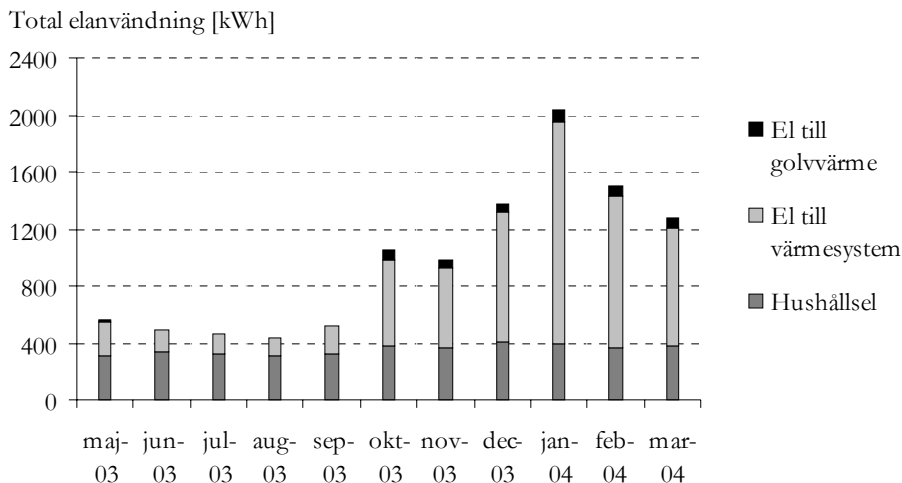
Vatten- och elanvändning samt medeltemperatur redovisas månadsvis för perioden 2003-05-01 till 2004-03-31, i figurena 31-34.

Av Figur 31 framgår att användningen av tappvatten har varit låg, cirka 50 % av normal användning. Av total tappvattenanvändning utgör varmvatten cirka 20 %. Den låga tappvattenanvändningen kan delvis hänföras till brukarvanor men även till snålspolande vattenarmaturer och toaletter.



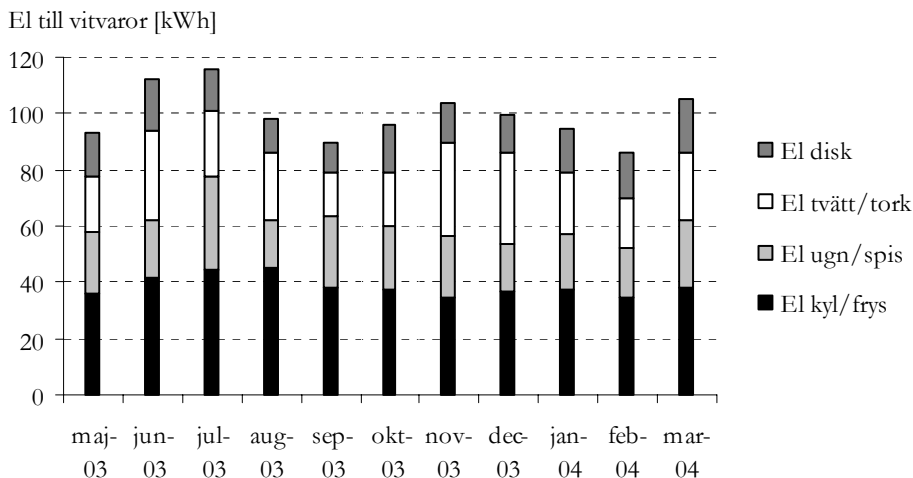
Figur 31 LB-huset. Total vattenanvändning i form av kallt och varmt tappvatten redovisas från maj 2003 till och med mars 2004.

I Figur 32 redovisas total elanvändning uppdelad på el till golvvärme, el till värmesystem och hushållsel. Av figuren framgår att månadsvärden på hushållsel är relativt konstanta under året och varierar mellan 300 och 400 kWh per månad. Golvvärme i badrum på bottenvåningen används från oktober till maj, cirka 450 kWh per år.



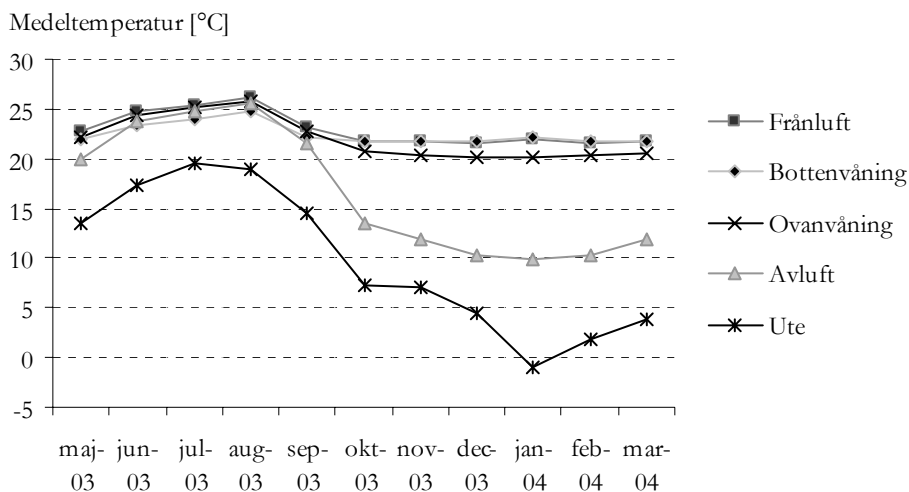
Figur 32 *LB-huset. Total elanvändning redovisas som månadsvärden från maj 2003 till mars 2004. Total el är uppdelad på el till golvvärme i badrum på bottenvåningen, el till värmesystem samt hushållsel. I el till värmesystem ingår all el till uppvärmning och tappvarmvatten inklusive tillsatsel och el till fläktar och pumpar.*

Elanvändning till olika vitvaror visas i Figur 33. Elanvändning till kyl- och frysskåp är näst intill konstant, med något förhöjda värden under juni, juli och augusti. Vitvaror är av energiklass A vilket resulterar i låg elanvändning. I Figur 35, kapitel 3.3.2 *El till vitvaror*, görs jämförelse mellan antagen elanvändning och uppmätt elanvändning till vitvaror.



Figur 33 *LB-huset. El till vitvaror är uppdelad på kyl- och frysskåp, ugn och spis, tvättmaskin och torktumlare samt diskmaskin. I huset har installerats vitvaror av energiklass A, vilket resulterat i låg elanvändning för vitvaror.*

I Figur 34 visas månadsmedelvärden på uppmätta lufttemperaturer på bottenvåningen respektive ovanvåningen, i från- och avluften samt utomhus under perioden maj 2003 till mars 2004. Lufttemperaturen på bottenvåningen är från och med oktober 2003 cirka 21,8°C, vilket är knappt 2°C högre än vad som antagits vid energiberäkningarna. På ovanvåningen är temperaturen under samma tidsperiod cirka 20,4°C. Sommartid, maj till september, är temperaturen på ovanvåningen högre än på bottenvåningen.

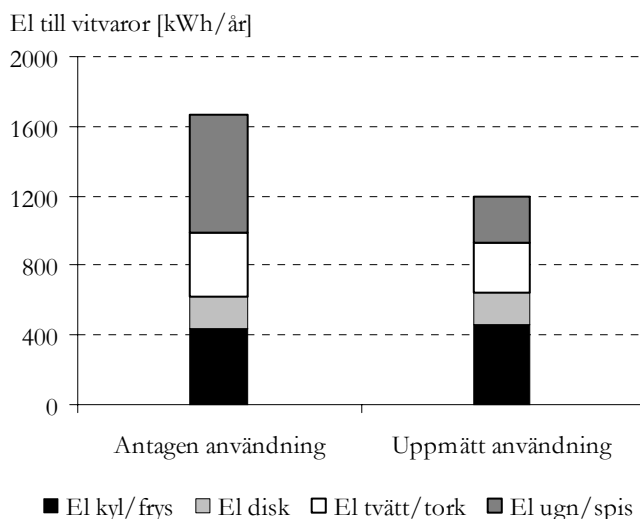


Figur 34 LB-huset. Månadsmedelvärde av uppmätta lufttemperaturer på ovanvåning och bottenvåning samt i frånluft, avluft och utomhus. Månadsmedelvärden under mätperioden från maj 2003 till och med mars 2004.

### 3.3.2 Elanvändning till vitvaror

I Figur 35 redovisas uppmätt användning av el till vitvaror tillsammans med de värden som antagits i Enorm-beräkningen. Värde för el till ugn/spis specificeras dock inte i Enorm-beräkningen. Antaget värde för el till ugn/spis i Figur 35 är hämtat från Markaryd Kommun (2004).

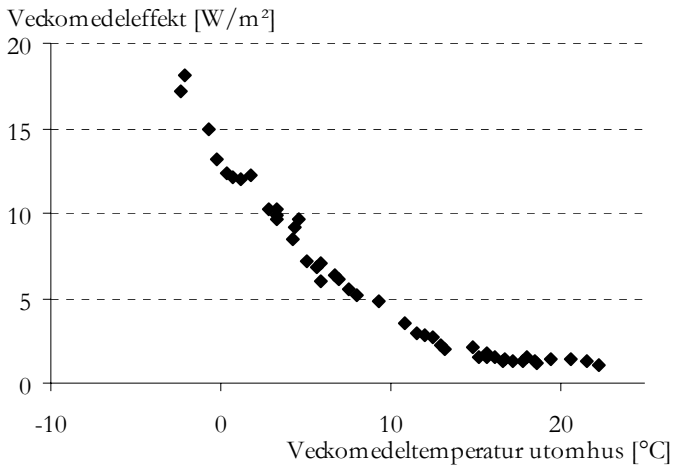
I huset är vitvaror av energiklass A installerade vilket medför låg elanvändning för vitvaror. Antagna och uppmätta värden överensstämmer relativt väl, utom för el till ugn/spis. Detta kan förklaras med att matlagning sker i relativt liten omfattning i hemmet då måltider ofta intas på annat håll. Uppmätt total el till vitvaror är knappt 500 kWh lägre per år än antaget.



*Figur 35 LB-huset. El till vitvaror uppdelad på kyl- och frysskåp, ugn och spis, tvättmaskin och torktumlare samt diskmaskin. I huset är vitvaror av energiklass A installerade vilket medför låg elanvändning för vitvaror. Antagna och uppmätta värden överensstämmer relativt väl, utom för el till ugn/spis. Detta kan förklaras med att matlagning sker i relativt liten omfattning i hemmet då måltider ofta intas på annat håll. Uppmätt total el till vitvaror är knappt 500 kWh lägre per år än antaget.*

### 3.3.3 Effektsignatur för uppvärmning och tappvarmvatten

För att få fram ett samband mellan uppmätt köpt effekt och utetemperaturen har en effektsignatur för LB-huset tagits fram. Bostadshuset använder el för uppvärmning och tappvarmvatten. I posten el till uppvärmning ingår el till golvvärme i badrum på bottenvåningen trots att golvvärmen till viss del kan betraktas som komfortvärme. Effektsignaturen baseras på uppmätta veckomedeleffekter på el och veckomedeltemperatur utomhus mellan 2003-05-01 och 2004-03-24 och redovisas i Figur 36.



Figur 36 LB-huset. Effektsignatur på veckovärden över uppmätt eleffekt till värmeförsörjningssystemet i LB-huset, plottad mot motsvarande veckomedeltemperatur uppmätt på Yxhult-husets norrsida.

Två linjära funktioner beskriver dels hur köpt effekt beror på utetemperatur då uppvärmningsbehov finns, dels då inget egentligt uppvärmningsbehov föreligger. Balanstemperaturen som beskriver brytpunkten mellan de linjära funktionerna har bestämts. Ekvationerna för de linjära funktionerna  $P_1$  och  $P_2$  samt korrelationen  $R^2$  för  $P_1$  och brytpunkten  $T_{balans}$  redovisas nedan:

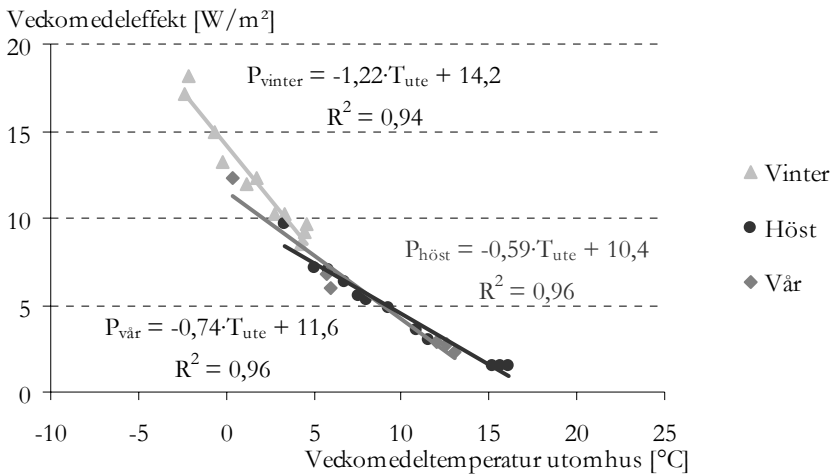
$$P_1 = -0,90 \cdot T_{ute} + 13,2 \quad [\text{W/m}^2] \quad R^2 = 0,94$$

$$P_2 = 1,31 \quad [\text{W/m}^2]$$

$$T_{balans} = 12,6 \quad [^\circ\text{C}]$$

Värmepumpens värmefaktor, se kapitel 3.3.5 *Värmsystem*, kommer att påverka effektsignaturens utseende och i detta fall kan resonemanget i metodbeskrivningen inte sägas gälla. Trots detta används modellen med linjär regression eftersom korrelationen blir hög vilket pekar på att ett eventuellt fel i modellen blir litet.

Liten spridning av veckomedeleffekt i signaturen tyder på att solen spelar liten roll för energianvändningen. Uppdelning av effektsignaturen beroende på årstider har gjorts och resultatet kan ses i Figur 37.



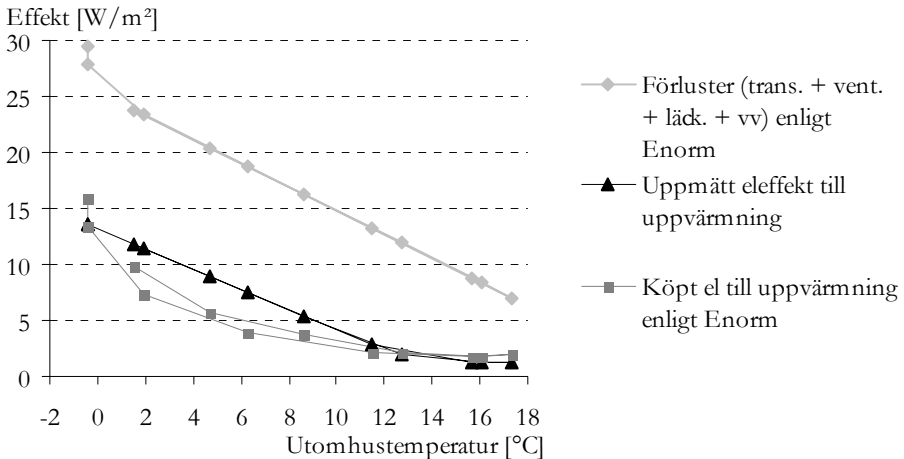
Figur 37 LB-huset. Effektsignatur, baserad på veckovärden, uppdelad på olika årstider. För effektsignaturen har regressionslinjer bestämts för vår, höst och vinter.

Den brantare lutningen under vintern tyder på att tillsatsel måste tillföras vid låga temperaturer. Effektsignaturen uppdelad på årstider indikerar att huset inte påverkas i någon större utsträckning av solvärmertilskott. Om huset skulle ha tillgodogjort sig mycket solvärme borde veckomedeleffekten under hösten och våren ha påverkats och haft en större spridning.



### 3.3.4 Uppmätt eleffekt jämfört med beräkningar i Enorm

I Figur 38 redovisas uppmätt eleffekt till uppvärmning och tappvarmvatten, beräknat behov av köpt el till uppvärmning och tappvarmvatten och beräknade förluster. I de senare ingår värmeförluster på grund av transmission, ventilation och luftläckning, samt värme till tappvarmvatten. Beräkning har gjorts med hjälp av Enorm. Utdrag ur resultatutskrift från Enorm-beräkningen finns i Bilaga 2.



Figur 38 LB-huset. Beräknade månadsmedeleffekter för köpt el till uppvärmning och tappvarmvatten samt beräknade förluster (transmission, ventilation, läckning och tappvarmvatten), och uppmätt eleffekt har plottats mot månadsmedeltemperatur utomhus.

Kurvan för uppmätt eleffekt till uppvärmning och tappvarmvatten överensstämmer relativt väl med kurvan för beräknad köpt el till uppvärmning och tappvarmvatten enligt Enorm-beräkning.

### 3.3.5 Värmesystem

I LB-huset sker uppvärmning av huset och tappvarmvattnet med en frånluftsvärmepump från Thermia AB med modellbeteckning Solvik. Enligt produktblad från Thermia prioriterar anläggningen värmefaktorn genom att alltid arbeta med den temperatur som ger högst verkningsgrad. Detta betyder att uppvärmning av huset prioriteras då uppvärmningsbehov föreligger. Tappvarmvattnet värms då endast av värmesköldarna. När inget uppvärmningsbehov av huset finns värmer värmepumpen tappvarmvattnet. (Thermia, 2004)

Värmeförsörjningssystemet består av:

- Frånluftsvärmepump för uppvärmning av radiator- och tappvarmvatten
- Tillsatsvärme (elpatron och värmesköldar)
- Frånluftsfläkt
- Cirkulationspump till radiatorkretsen

I anslutning till värmeförsörjningssystemet mäts:

- El till värmeförsörjningssystem [kWh]
- Värme till radiatorer [kWh]
- Tappvarmvattenanvändning [m<sup>3</sup>]
- Frånluftstemperatur [°C]
- Avluftstemperatur [°C]

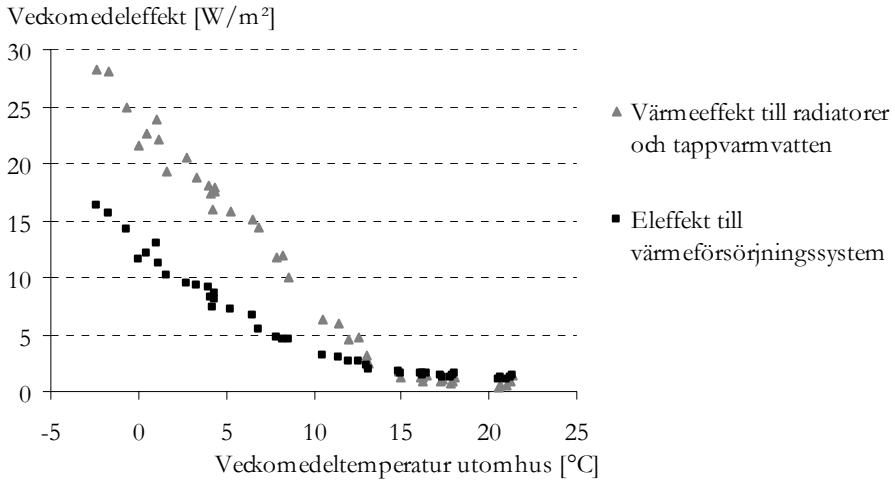
El till värmeförsörjningssystem innefattar el till värmepump, elpatron, värmesköldar, frånluftsfläkt och cirkulationspump. Från- och avluftstemperaturer mäts momentant en gång per timme medan övriga värden mäts kontinuerligt och registreras en gång i timmen.

### 3.3.5.1 Värmefaktor

Värmefaktor är ett godhetstal som används i samband med värmepumpar. Värmefaktorn anger förhållandet mellan den (nyttiga) värmeeffekt som avges från värmepumpen och den driveffekt som fordras för att hålla processen igång. (Nationalencyklopedin, 2004) Enligt Swep (2004) kan värmefaktorn anges med eller utan hjälpaggregat (exempelvis pumpar) och vid olika temperaturer. I detta kapitel beräknas värmefaktorn för hela värmeförsörjningssystemet, som innehåller värmepump, elpatron och värmesköldar, frånluftsfläkt samt cirkulationspump. Den nyttiga värmeeffekten är den värme som tillförs radiatorkretsen och som värmer aktuell tappvattenmängd. Driveffekten är all eleffekt som krävs för att driva värmeförsörjningssystemet, det vill säga el till fläktar, pumpar, elpatron och värmesköldar. Värmefaktorn beskrivs här som kvoten mellan två linjära funktioner som beskriver värmeeffekten respektive driveffekten.

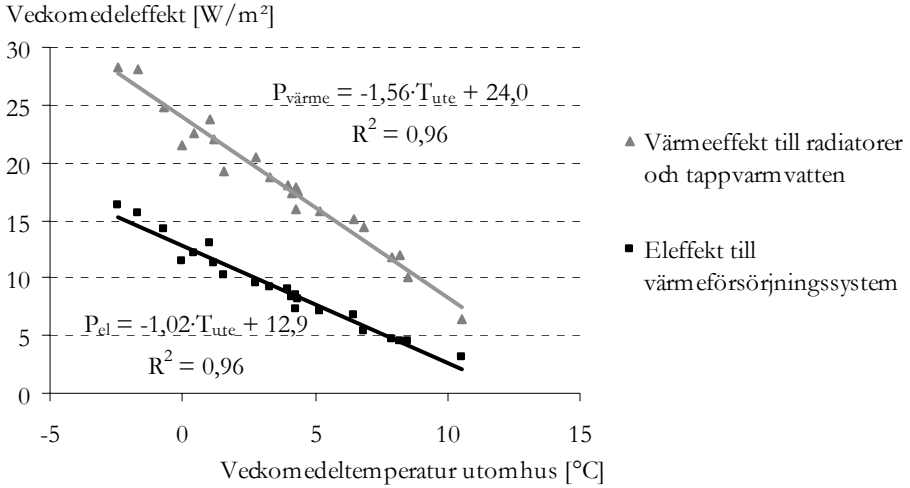
Veckomedeleffekt för levererad värme till radiatorer och tappvarmvatten samt veckomedeleffekt för el till värmeförsörjningssystemet plottas mot veckomedeltemperaturen utomhus, se Figur 39. Energi för uppvärmning av tapp-

varmvatten beräknas utifrån uppmätt användning av tappvarmvatten och approximerad temperaturdifferens mellan tappvarmvatten och vatten i ledningsnätet. Ingen hänsyn tas till förluster från varmvattentanken.



Figur 39 LB-huset. Veckomedeleffekt till värmeförsörjningssystem och veckomedeleffekt till radiatorer och tappvarmvatten plottas mot veckomedeltemperaturen utomhus. Energi för uppvärmning av tappvarmvatten har beräknats utifrån uppmätt användning av tappvarmvatten.

Utifrån Figur 39 antas effekt till radiatorer och tappvarmvatten samt eleffekt till värmepanna bero på utetemperatur genom ett linjärt samband för temperaturer lägre än +11°C. I Figur 40 redovisas veckomedeleffekt till radiatorer och tappvarmvatten samt veckomedeleffekt till värmepanna för veckomedeltemperaturer utomhus lägre än +11°C. Genom linjär regression med minsta kvadrat-metoden fås två linjära funktioner som beskriver värmeeffekten respektive driveffekten beroende på utetemperatur.



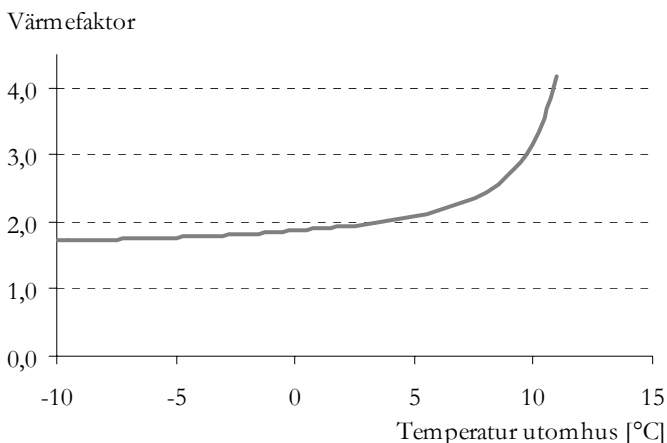
Figur 40 LB-huset. Veckomedeleffekt till värmeförsörjningssystemet samt veckomedeleffekt till radiator- och tappvarmvatten plottas mot veckomedeltemperatur utomhus för utomhustemperaturer upp till +11°C. Linjär regression har utförts genom minsta kvadrat-metoden.

Genom att dividera den linjära funktionen för värmeeffekt till radiator- och tappvarmvatten med den linjära funktionen för driveffekt till värmepanna fås en ny olinjär funktion som beskriver hur värmefaktorn  $\eta$  beror på veckomedeltemperaturen utomhus.

$$\eta = \frac{P_{\text{värme}}}{P_{\text{el}}} \quad [-] \quad (7)$$

$$\eta = \frac{(-1,56 \cdot T_{\text{ute}} + 24,0)}{(-1,02 \cdot T_{\text{ute}} + 12,9)} \quad \text{för } T_{\text{ute}} < 11^\circ\text{C}$$

Hur värmefaktorn varierar med utomhustemperaturen enligt ett olinjärt samband visas i Figur 41. Bestämd kurva för värmefaktorn gäller endast för utetemperaturer lägre än +11°C.



*Figur 41 LB-huset. Värmefaktorn har beräknats som kvoten mellan den linjära funktionen för värmeeffekt till radiator- och tappvarmvatten och den linjära funktionen för eleffekt till värmeförsörjningssystemet. Funktionen för värmefaktorn är olinjär och beror på temperaturen utomhus. Funktionen är giltig för utomhustemperaturer upp till +11°C.*

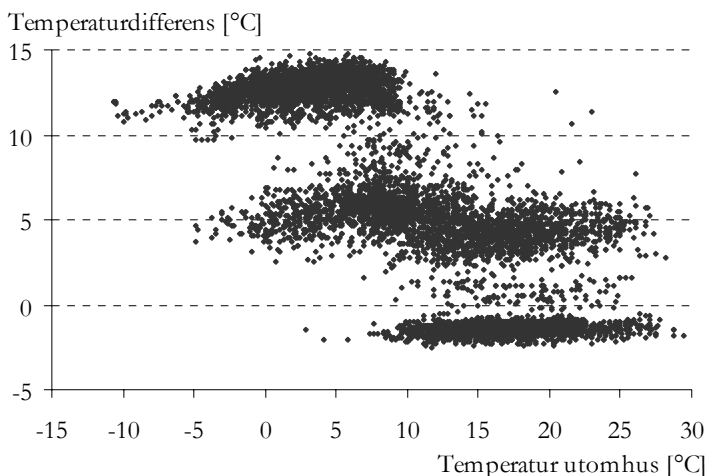
Den på angivet sätt beräknade värmefaktorn varierar mellan 1,7 och 4,2 då utetemperaturen varierar mellan  $-10$  och  $+11^{\circ}\text{C}$ . Värmefaktorn kan anses vara rimlig och metoden för att beräkna värmefaktorn kan anses vara tillförlitlig för utetemperaturer lägre än  $+11^{\circ}\text{C}$ . Vid årsmedeltemperaturen för Malmöklimat  $+8,0^{\circ}\text{C}$  är värmefaktorn cirka 2,4 enligt ekvation (7).

### 3.3.5.2 Värmepumpens arbetslägen

Plottning av temperaturdifferensen mellan frånluft och avluft mot utetemperaturen ger att värmepumpen arbetar i två lägen, vilket Figur 42 visar. Då temperaturdifferensen mellan från- och avluft är lika med noll eller negativ bedöms värmepumpen vara i viloläge. När värmepumpen är i viloläge höjs temperaturen på avluften då den passerar frånluftsfläkten. Temperaturen kan även höjas något på grund av värme som avges från processer i skåpet, exempelvis från varmvattenberedare.

Vid utetemperaturer över cirka  $+10^{\circ}\text{C}$  synes värmepumpen antingen stå stilla eller arbeta med en temperatursänkning av frånluften på cirka  $5^{\circ}\text{C}$ . Detta innebär att värmepumpen huvudsakligen utnyttjas för att värma varmvatten. Vid utetemperaturer under cirka  $+10^{\circ}\text{C}$  sänks frånluftens temperatur med antingen cirka  $5^{\circ}\text{C}$  eller  $12-13^{\circ}\text{C}$ . Avluftstemperaturen är anmärkningsvärt hög när pumpen går 100 % av tiden. Det förefaller som om temperatursänkningen

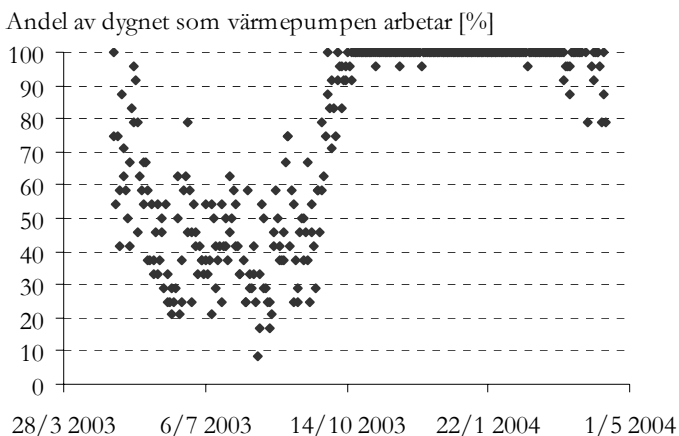
är för liten vid de två driftsfallen för att värmepumpen ska utnyttjas optimalt. Resultatet blir att onödigt mycket tillsatsvärme erfordras.



Figur 42 LB-huset. Temperaturdifferensen mellan från- och avluft plottas mot utomhustemperaturen. Mätdatas utseende visar att värmepumpen arbetar i tre lägen; ett viloläge och två arbetslägen. Då temperaturdifferensen är negativ antas avluften bli uppvärmd av frånluftsfläkt och processer i värmeanläggningen.

### 3.3.5.3 Värmepumpens drifttid

Utifrån mätningar av från- och avluftstemperaturer kan värmepumpens drifttid per dygn beräknas. De timmar som avluftstemperaturen har samma eller högre temperatur än frånluften antas värmepumpen vara i viloläge och de timmar som avluftstemperaturen har lägre temperatur än frånluften antas värmepumpen arbeta. Osäkerheter i metoden orsakas av att temperaturer på från- och avluft mäts momentant en gång per timme. I Figur 43 syns tydligt att under sommarmånaderna då inget uppvärmningsbehov finns arbetar värmepumpen endast under del av dygnet, för att hålla temperaturen på tappvarmvattnet, medan den arbetar under hela dygnet under höst-, vinter- och vårmånaderna då ett uppvärmningsbehov finns.



Figur 43 *LB-huset. Andel av dygnet som värmepumpen arbetar under hela mätperioden. Värmepumpen antas arbeta då avluften har lägre temperatur än frånluften. Osäkerhet i metoden är att temperaturen i från- och avluften mäts momentant.*

### 3.3.5.4 Energibesparing till följd av värmepumpanvändning

Energibesparing till följd av att en värmepump används har bestämts utifrån uppmätt elenergi till värmeförsörjningssystem, värme till radiatorer och tappvarmvattenanvändning. Energibesparingen utgörs av differensen mellan levererad värme från värmeförsörjningssystemet och tillförd elenergi till värmeförsörjningssystemet. Om värmepump inte använts skulle hela den levererade värmemängden behöva köpas.

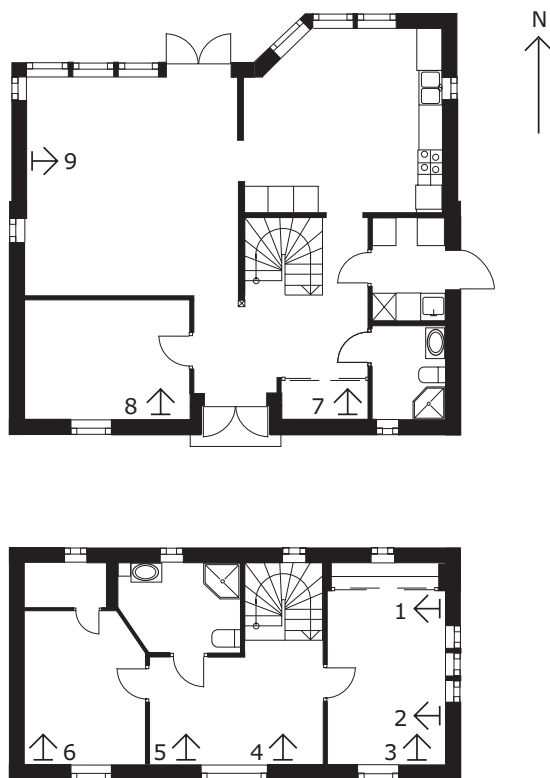
Bestämda värden gäller för utetemperaturer enligt SMHIs normalår för Malmö. Värme levererad från värmeförsörjningssystemet har bestämts till 14 900 kWh/år. El till värmepumpen har bestämts till 7 400 kWh/år. Energibesparingen till följd av att en värmepump används har utifrån dessa värden bestämts till 7 500 kWh/år eller 54 kWh/(m<sup>2</sup>·år).

Hänsyn har tagits till förluster från tappvarmvattentank och ledningssystem har tagits. Uppskattningsvis är energiförlusterna från tappvarmvattentanken och ledningssystemet i storleksordningen 1000 kWh/år vid aktuell mängd tappvarmvatten.

### 3.3.6 Tilluftstemperatur

I LB-huset har temperaturer på tilluften registrerats momentant var trettionde minut i nio olika tilluftsdon under perioden 2004-01-19 till 2004-04-19. De tilluftsdon vid vilka temperaturer har registrerats, har numererats från 1 till 9, se Figur 44. Don 1-6 finns på ovanvåningen och don 7-9 på bottenvåningen.

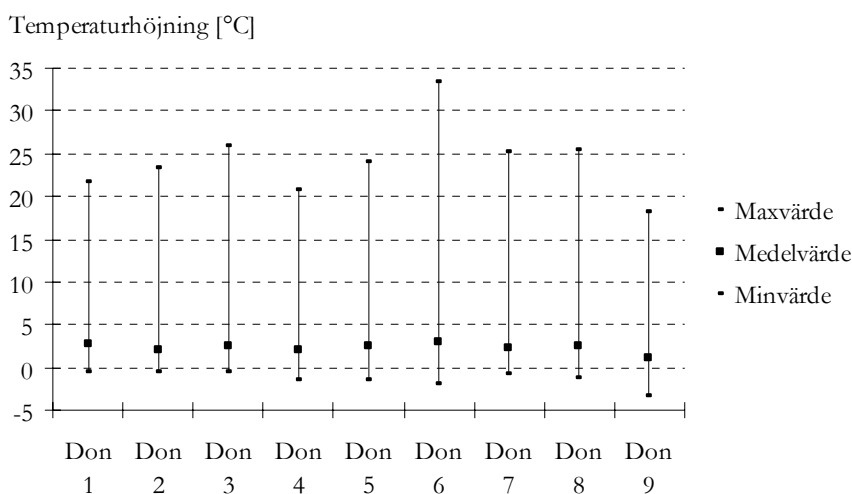
Syftet med temperaturregistreringen har varit att bestämma hur mycket uteluften värms upp i luftspalten bakom fasadens träpanel. Utifrån uppmätt temperaturhöjning på tilluften kan energibesparingen på grund av den förvärmade uteluften approximeras. Analysen gäller för konstruktionslösningen i detta hus under de betingelser som gällt under mätperioderna. Syftet har också varit att ta reda på om uppvärmningen av uteluften kan orsaka övertemperaturer.



Figur 44 *LB-huset. Tilluftstemperaturer har mätts vid nio olika don på ovan- och bottenvåning numrerade från 1 till 6 på ovanvåningen samt från 7 till 9 på bottenvåningen.*

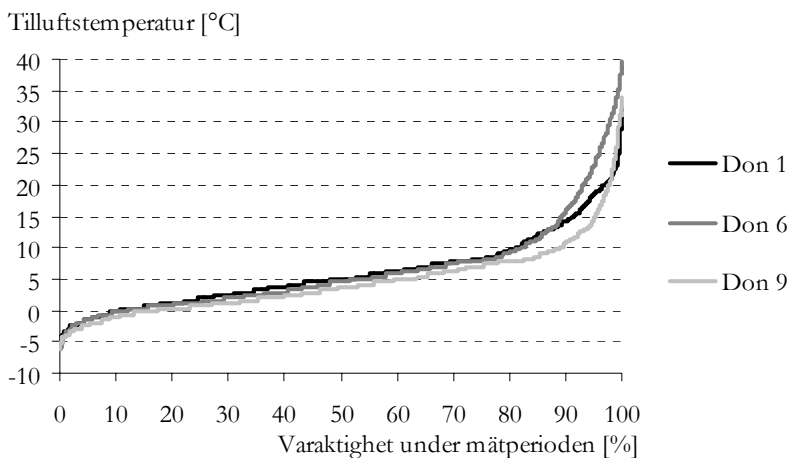


Hur mycket uteluften värmts upp i luftspalten bakom fasadens träpanel har bestämts som differensen mellan tilluftstemperatur och utetemperatur. Högsta och lägsta temperaturhöjning samt medeltemperaturhöjning har bestämts för respektive don, och redovisas i Figur 45. Medelvärdet av temperaturhöjningen för de olika donen varierar mellan 1,2°C (don 9) och 2,9°C (don 6). Spridningen mellan högsta och lägsta temperaturhöjningen är stor. Den högsta temperaturhöjningen är 33,3°C (don 6). Den lägsta temperaturhöjningen är negativ, det vill säga en temperatursänkning på 3,5°C (don 9). Temperatur-sänkningen kan bero på att utomhustemperaturen har uppmätts på husets norrsida. Det är inte säkert att uteluften som tas in under panelen har exakt samma temperatur som uteluften kring temperaturgivaren.



Figur 45 LB-huset. Beräknad temperaturhöjning i olika don under mätperioden 2004-01-26 till 2004-04-18. Temperaturhöjningen redovisas som maxvärde, minvärde och medelvärde.

Exempel på varaktighet för olika tilluftstemperaturer under mätperioden visas i Figur 46 för don 1, 6 och 9. I samma figur ses att tilluftstemperaturer kan vara upp mot 40°C.



Figur 46 LB-huset. Exempel på varaktighet för olika tilluftstemperaturer under mätperioden 2004-01-26 till 2004-04-18 för don 1, 6 och 9.

Sommartid kan förvärmningen av tilluften vara till nackdel och förstärka eventuella problem med förhöjda innetemperaturer. Det finns risk att de höga tilluftstemperaturerna kan leda till försämrade ventilation genom att ingen omblandning av luften sker. För att omblandning ska kunna ske måste tilluften vara några grader lägre än rumsluften.

Uteluftens temperaturhöjning bidrar vintertid till att minska risken för kalldrag från tilluftsdonen och den termiska komforten blir bättre. Förvärmad tilluft bidrar också till att minska energianvändningen.

Grovt räknat kan energibesparingen på grund av att tilluften förvärms beräknas som den energi som ej behöver tillföras huset på grund av att uteluften inte behöver värmas upp ett visst antal grader under uppvärmningssäsongen. Genom att använda den balanstemperatur som bestämts genom effekt-signaturen kan uppvärmningstiden under ett år bestämmas, det vill säga antalet timmar som har lägre utetemperatur än balanstemperaturen (cirka 220 dagar eller 5300 timmar). Genom att använda den balanstemperatur som baseras på att uteluften är förvärmad begås ett litet fel. Detta fel bedöms dock vara litet i förhållande till osäkerheten i de andra antagandena.

$$E = P \cdot t = c \cdot \rho \cdot q \cdot \Delta T \cdot t \quad [\text{Wh}] \quad (8)$$

$$E = 1,2 \cdot 1000 \cdot 0,048 \cdot 2 \cdot 5300 = 610 \text{ kWh}$$

Energibesparingen per m<sup>2</sup> BRA blir under uppvärmningssäsongen cirka 4,6 kWh/m<sup>2</sup>. Utomhustemperaturen har under utvärderingsperioden varit något högre än under ett normalår. För ett normalår blir den minskade energianvändningen 4,8 kWh/m<sup>2</sup>.

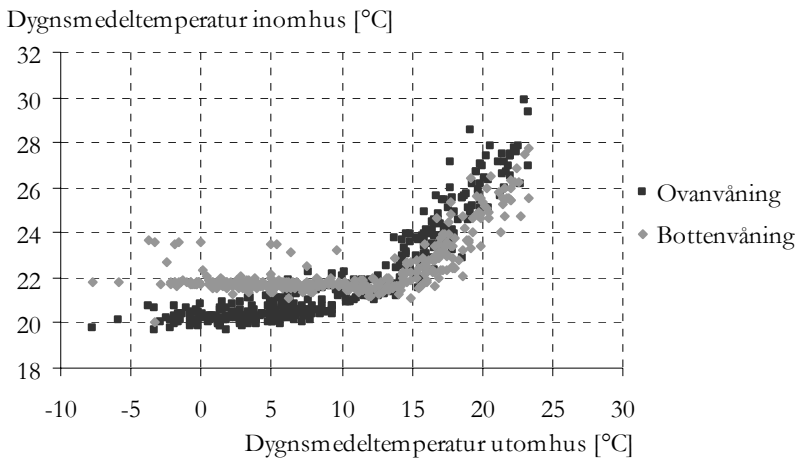
### 3.3.7 Lufttemperatur inomhus

Mätning av temperaturer inomhus har gjorts på bottenvåning och ovanvåning. Temperaturerna har registrerats momentant en gång i timmen. Under den tid mätningarna pågått har den lägsta uppmätta temperaturen varit 17,7°C (bottenvåning) och den högsta 31,2°C (ovanvåning). I medeltal har temperaturen varit 22,4°C (bottenvåning) och 21,9°C (ovanvåning).

Tabell 6 *LB-huset. Max-, min-, medel- och mediantemperatur har beräknats för ovan- och bottenvåning under hela mätperioden 2003-05-01 till 2004-04-13 samt för perioderna 2003-10-15 till 2004-04-13 och 2003-06-01 till 2003-08-31.*

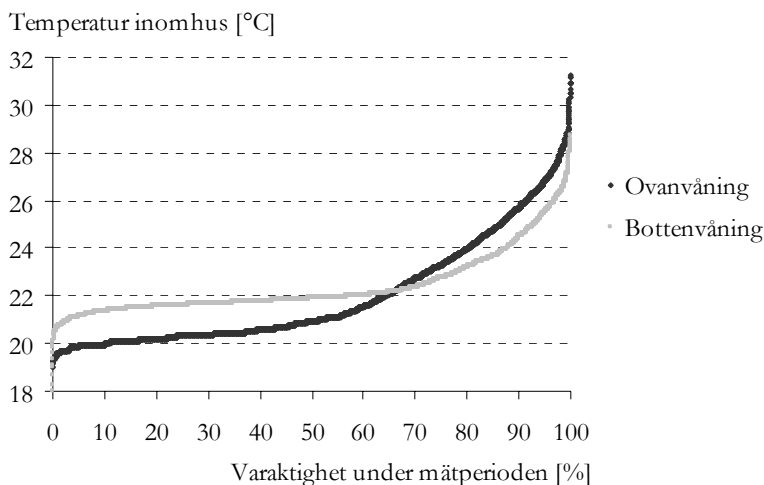
<b>Ovanvåning</b>	<b>Hela mätperioden</b>	<b>15/10 2003 – 13/4 2004</b>	<b>1/6 – 31/8 2003</b>
Maxtemperatur	31,2	24,5	31,2
Mintemperatur	19,0	19,0	20,6
Medeltemperatur	21,9	20,1	25,1
Mediantemperatur	20,9	20,3	25,0
<b>Bottenvåning</b>	<b>Hela mätperioden</b>	<b>15/10 2003 – 13/4 2004</b>	<b>1/6 – 31/8 2003</b>
Maxtemperatur	28,7	24,2	28,7
Mintemperatur	17,7	17,7	19,6
Medeltemperatur	22,4	21,6	24,0
Mediantemperatur	21,9	21,8	23,9

När dygnsmedeltemperaturen utomhus är lägre än +14°C håller sig temperaturen på bottenvåningen relativt konstant kring 21,7°C. Inomhus-temperaturen stiger över inställda värden i hela huset när utetemperaturen är över cirka +14°C. När det är varmare utomhus stiger temperaturen och då dygnsmedeltemperaturen utomhus är över 20°C varierar temperaturen på bottenvåningen mellan 24 och 28°C. Temperaturen på ovanvåningen varierar mer än på bottenvåningen. Temperaturen på ovanvåningen är konstant högre än på bottenvåningen då dygnsmedeltemperaturen utomhus är högre än +14°C. Då dygnsmedeltemperaturen utomhus är över 20°C varierar temperaturen på ovanvåningen mellan 25 och 30°C. Detta kan ses i Figur 47.



Figur 47 *LB-huset. Dygnsmiddeltemperatur inomhus på bottenvåning respektive ovanvåning vid olika dygnsmiddeltemperaturer utomhus. Temperaturer redovisas för mätperioden 2003-05-01 till 2004-04-13.*

Under en utvald tolv månaders period, 2003-04-01 till 2004-03-31, har varaktighet för innetemperaturer på bottenvåning och ovanvåning plottats. Resultatet visas i Figur 48. Ur diagrammet kan avläsas lägsta och högsta uppmätta temperatur inomhus på ovanvåning respektive på bottenvåning. Mediantemperaturen är temperaturen vid varaktigheten 50 %. Mycket höga temperaturer har uppmätts på ovanvåningen.



Figur 48 LB-huset. Varaktighet för innetemperaturer har plottats för perioden 2003-04-01 till 2004-03-31.

Temperaturen på bottenvåningen håller sig inom intervallet 20-26° under 96 % av den utvalda tolv månadersperioden. Resterande tid är temperaturen över 26°C. På ovanvåningen är temperaturen mellan 20-26°C 84 % av tiden. 16 % av tiden är temperaturen över 26°C och 6 % av tiden över 28°C.

Temperaturer över 28°C inomhus kan betraktas som olägenhet för människors hälsa. (Socialstyrelsen, 1988) Temperaturen på ovanvåningen kan alltså betecknas som sanitär olägenhet under drygt tre veckor. Dessa dagar inföll då dygnsmedeltemperaturen utomhus var över 20°C, vilket kan betecknas som värmebölja enligt Socialstyrelsen (1988), och inträffade mellan mitten av juli och mitten av augusti 2003. Under mätperioden har utomhustemperaturen varit betydligt högre än normalt under den period då övertemperaturer uppstått. Det får anses helt normalt att övertemperaturer uppstår under åtminstone tio dagar i juli månad.

Det är något förvånande att LB-huset har så hög temperatur på ovanvåningen då man skulle förmoda att inomhustemperaturen på sommaren skulle öka främst på bottenvåningen där de stora fönstren i norr släpper in sol under dessa månader. Att så inte är fallet kan tänkas bero på att solskydd saknas på ovanvåningen och att bottenvåningens uppvärmda luft stiger till ovanvåningen genom termiska drivkrafter.

### 3.3.8 Operativ temperatur

Resultaten från bestämningar av operativ temperatur redovisas utförligt i rapporten *Utvärdering av inomhusmiljö. En studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus*. (Bagge och Lindstrie, 2003) I detta kapitel redovisas en sammanfattning av resultaten.

Operativ temperatur definieras som medelvärdet av lufttemperatur och omgivande ytors temperatur. (Warfvinge, 2000) Det blir därmed ett sammanfattande mått på den upplevda termiska komforten. Operativ temperatur kan mätas med en glob- eller kubtermometer. Kubtermometern mäter riktad operativ temperatur i sex olika riktningar och därefter görs en sammanvägning och operativ temperatur beräknas. I BBR rekommenderas att riktad operativ temperatur ska vara större än 18°C i bostads- eller arbetsrum samt större än 20°C i hygienutrymme. I standarden ISO 7730 anges att operativ temperatur ska vara mellan 20-24°C vintertid och mellan 20-26°C sommartid.

Mätning av operativ temperatur utfördes i bostadens alla rum, utom badrum på ovanvåning, i slutet av april 2003. Mätning skedde på 60, 90 eller 110 centimeters höjd över golv, där den lägsta höjden kan sägas representera en sittande människa och den högsta en stående människa. En kubtermometer användes och det tillhörande mätinstrumentet hade en mätnoggrannheten på  $\pm 0,35^\circ\text{C}$ . Lägst operativ temperatur har uppmätts till 21,2°C och uppmättes vid de stora fönstren på bottenvåningen, som vetter mot norr. Högst operativ temperatur 22,4°C uppmättes i hall på ovanvåningen i närheten av ett stort fönster i söder.

De rekommendationer som anges i BBR avseende riktad operativ temperatur uppfylls i alla rum som undersökts. Även riktlinjer enligt ISO 7730 avseende operativ temperatur uppfylls med marginal. Kraven för operativ temperatur torde även med marginal uppfyllas vid annan väderlek än den som rådde vid mätningen.

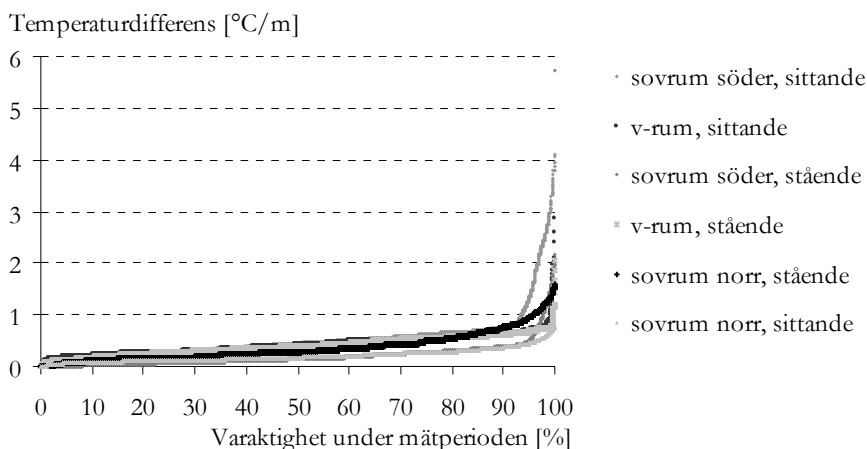
### 3.3.9 Vertikal temperaturgradient

Resultaten från bestämningar av vertikal temperaturgradient redovisas utförligt i rapporten *Utvärdering av inomhusmiljö. En studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus*. (Bagge och Lindstrie, 2003) I detta kapitel redovisas en sammanfattning av resultaten.

Vertikal temperaturgradient definieras som temperaturförändringen i höjddled och mäts i °C/m. Temperaturskillnad i höjddled kan upplevas som mycket obehaglig, framför allt temperaturskillnad mellan huvud och fot, i synnerhet

för sittande person. Lufttemperatur mäts i vistelsezon på höjderna 0,1, 1,1 och 1,8 meter över golv. Temperaturdifferensen mellan 0,1 och 1,1 meters höjd beskriver upplevelsen för sittande person medan differensen mellan 0,1 och 1,8 meter beskriver upplevelsen för stående person. BBR ställer inga krav på vertikal temperaturgradient. Det gör däremot ISO 7730 som rekommenderar att den vertikala temperaturgradienten bör vara mindre än  $3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ .

Mätning av temperatur har utförts under fyra veckor i april/maj 2002. Loggning av temperatur har gjorts var tionde minut. Temperaturloggarna som använts har mätnoggrannheten  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Mätning har skett på tre olika platser i bostaden, dels på bottenvåning i vardagsrum framför fönster i söder, dels på ovanvåning i det östra sovrummet på två olika ställen. I sovrummet placerades en mätuppställning vid norrvägg med litet fönster och en mätuppställning vid södervägg framför fönster i söder. Invändiga solskydd användes för att inte utsätta temperaturloggarna för direkt solstrålning.



*Figur 49 LB-huset. Under mätperioden har temperaturdifferensen för olika fall och utrymmen beräknats och redovisas som varaktigheten under mätperioden. För sittande person i sovrums vid södervägg har kravet på maximal differens  $3^{\circ}\text{C}/\text{m}$  överskridits under cirka 0,8 % av mätperioden. Vid ett registrerat tillfälle har temperaturdifferensen varit  $10^{\circ}\text{C}/\text{m}$ , vilket ej redovisas i diagrammet.*

Den beräknade vertikala temperaturgradienten ger att den termiska komforten är mycket bra med en mycket jämn vertikal temperaturfördelning. Under försumbara 0,8 % av mätperioden har temperaturdifferensen överskridit  $3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ .

### 3.3.10 De boendes syn på upplevt inneklimat

Synpunkter på inneklimatet har inhämtats vid samtal med de boende. I huset bor tre personer. Huset används på vad som kan bedömas vara ett normalt sätt. Matlagning sker dock i relativt liten omfattning i bostaden eftersom flertalet måltider intas på annat håll. Användning av tappvarmvatten och tvättutrustning uppges ske i normal omfattning. I huset används relativt mycket hemelektronik inklusive datorer. En mätdator har gått kontinuerligt under hela mätperioden och ytterligare en dator har gått relativt konstant.

Inneklimatet upplevs mestadels som mycket bra. Med några få undantag har termostater och värmesystem fungerat på önskat sätt. Termostatinställningar ändras i princip aldrig. Normalt har man önskat något lägre temperatur på ovanvåningen än på bottenvåningen. Vid kall väderlek utan sol har det fungerat utmärkt, men så snart det blir mycket sol stiger temperaturen framför allt på ovanvåningen. Sommartid blir det ofta alltför varmt i huset och vissa dagar är det nödvändigt att genom kraftig fönstervädning försöka kyla ned huset när de boende kommer hem på kvällen.

Golvvärmern i badrum på bottenvåning uppges vara svår att reglera. Det är ett av/på-system som gör att det är svårt att få önskad golvtemperatur. Golvet blir antingen för varmt eller för kallt. I huset i övrigt upplevs golvet som något kallt vid sträng kyla, men det anses inte vara något större problem.

Luftkvaliteten i huset upplevs som mycket god även om matos lätt sprider sig i huset och i synnerhet till ovanvåningen. Det kan vara svårt att klara ett bra utsug med spisfläkten i hus med öppen planlösning. Ventilationen uppges fungera väl och det känns alltid friskt inomhus. Det finns många tilluftsdon i huset vilket sannolikt bidrar till att tilluften kommer in i huset utan att förorsaka besvär med höga lufthastigheter. Man har vid något enstaka tillfälle kunnat uppleva kalldrag från något don om man råkat sitta länge nära detsamma vid kall väderlek. Under sommartid kan den förvärmning av tilluften som sker genom att den tas in från luftspalten bakom träfasaden, medföra att önskad avkylning av huset inte sker. Å andra sidan är det vintertid klart positivt med viss förvärmning av tilluften.

Värmepumpen upplevs fungera väl. Regelbundet byte eller rengöring av filter görs. Anläggningen upplevs som mycket tyst.

De boende upplever inga problem med fukt i huset. Kondens på insida av fönster förekommer inte, förutom under kort tid efter dusch. Man upplever att det torkar snabbt i duschrum efter användning. Man har heller inte noterat att det skulle uppkomma besvärande kondens på fönstrens utsida, vilket ibland



kan uppstå när lågenergifönster används. Vid ett tillfälle har vatten trängt in i huset efter regn vid kraftig vindpåverkan. Det visade sig bero på en mindre felaktighet i konstruktionen som husleverantören snabbt åtgärdade.

Helhetsintrycket är att de boende upplever att huset har ett bra inneklimat och fungerar så som tänkt.

### 3.3.11 Energibalans – avvikelse från prognos

Energianvändningen i LB-huset är cirka 8 % högre än prognostiserat. I detta kapitel diskuteras de olika posterna i energibalansen och troliga orsaker till att uppmätt energianvändning avviker från prognosen. Genom att mätningarna har varit mycket detaljerade och att mätvärden registrerats varje timme finns det goda möjligheter att beskriva hur huset fungerat energitekniskt.

Uppmätt energianvändning har korrigerats för att kunna jämföras med prognostiserade värden. Korrigeringen har i huvudsak gjorts med hänsyn till utetemperatur och med hänsyn till hur huset använts. Prognostiserade och uppmätta\* värden för de i energibalansen ingående posterna redovisas i Tabell 7. Uppmätta\* värden är normalt inte direkt uppmätta utan utgörs oftast av indirekt bestämda värden där mätdata utnyttjats vid bestämningen. Vissa delar av energibalansen är inte heller möjliga att mäta i fält.

Tabell 7 *LB-huset. Prognostiserad energianvändning under ett normalår och vid normal användning samt uppmätt\* utetemperaturkorrigerad energianvändning som bestämts genom mätning och/eller beräkning.*

<b>Energianvändning i LB-huset [kWh/år]</b>	<b>Prognos</b>	<b>Uppmätt*</b>
Värmetransport genom golv, väggar, tak och fönster	9 850	10 100
Ventilation	6 850	7 300
Varmvatten	4 300	2 000
El till fläktar och pumpar	800	800
Hushållsel	3 000	4 150
<b>Återvunnen och nyttiggjord "gratisvärme" i LB-huset [kWh/år]</b>	<b>Prognos</b>	<b>Uppmätt*</b>
Värme återvunnen med värmepump (FVP)	7 750	7 500
Värme från solinstrålning	2 700	1 550
Värme från personer	900	900
Värme från hushållsel samt fläktar och pumpar	2 400	2 400
<b>Totalt köpt el</b>	<b>11 100</b>	<b>12 000</b>

I det följande kommenteras hur den uppmätta\* energianvändningen har bestämts. Tänkbara troliga orsaker till avvikelser från de prognostiserade värdena diskuteras.

Värmetransport (golv, väggar, tak, fönster): Uppmätta\* transmissionsförluster har bestämts genom att ta hänsyn till att inomhustemperaturen varit 21°C i genomsnitt i stället för antagna 20°C. Korrigeringen medför något högre transmissionsförluster genom byggnadsskalet.

Ventilation: Uppmätta\* ventilationsförluster har bestämts genom beräkning med uppmätt temperatur inomhus samt genom att ta hänsyn till att tilluften förvärms bakom träpanelen. Följderna av dessa korrigeringar tar delvis ut varandra men leder sammantaget till något högre ventilationsförluster.

Varmvatten: Uppmätt\* energianvändning till tappvarmvatten inklusive förluster från tappvarmvattentank och ledningssystem har bestämts utifrån direkta mätningar av tappvarmvattenanvändningen och antagna förluster. Uppskattningsvis är energiförlusterna från tappvarmvattentanken och ledningssystemet i storleksordningen 1000 kWh/år vid aktuell mängd tappvarmvatten.

Användningen av tappvarmvatten har varit låg. Detta kan troligtvis både hänföras till brukarvanor och till snålspolande armaturer. Även vid en något högre, mer ”normal”, tappvarmvattenanvändning skulle energianvändningen för uppvärmning av tappvarmvatten sannolikt vara lägre än prognostiserad till följd av att snålspolande armaturer är installerade.

El till fläktar och pumpar: Uppmätt\* elanvändningen till fläktar och pumpar har bestämts genom att ansätta den lägsta uppmätta eleffekten till värmeförsörjningssystemet som den eleffekt som används till fläktar och pumpar. Utifrån eleffekten till fläktar och pumpar beräknas den årliga energi-användningen. Den uppmätta\* elanvändningen till fläktar och pumpar överensstämmer med prognosen.

Hushållsel: Användningen av hushållsel är direkt uppmätt och cirka 40 % större än prognostiserat. Större delen av ökningen kan hänföras till brukarvanor men även till den mät dator som gått kontinuerligt under hela utvärderingsperioden.

Återvunnen värme från värmepump (FVP): Uppmätt\* återvunnen värme har bestämts utifrån skillnaden mellan den värme som tillförts radiatorerna och tappvarmvattnet och den el som tillförts värmeförsörjningssystemet. Uppmätt\*

värmeåtervinning är något lägre än prognostiserat vilket sannolikt delvis beror på att temperatursänkningen av frånluftstemperaturen inte är så stor som den borde kunna vara.

Nyttiggjord "gratisvärme" från solinstrålning: Denna post kan inte enkelt mätas. För att balans i energiflöde ska råda blir den nyttiggjorda tillskottsvärmen från solen 1550 kWh per år eller 11 kWh/m<sup>2</sup> och år, vilket är rimligt. Det är osäkert om nyttiggjord solvärmestillskott skulle kunna bli så stor som i prognosen.

Nyttiggjord "gratisvärme" från personer: Det prognostiserade värdet bibehålls utan förändring då utnyttjandegrad och aktivitet i bostaden bedöms vara osäkert.

Nyttiggjord "gratisvärme" från hushållsel samt fläktar och pumpar: Uppmätt\* värme från hushållsel, fläktar och pumpar antas kunna utnyttjas under 220 dagar per år. Av den tillförda elen antas 80 % kunna utnyttjas i form av värme. Den nyttiggjorda värmen från hushållsel, fläktar och pumpar är något högre än prognostiserat beroende på en högre hushållselanvändning.

Total köpt energi: Uppmätt\* total mängd köpt el är cirka 8 % högre än prognostiserat. Till stor del kan skillnad mellan prognostiserade och uppmätta\* värden hänföras till brukarnas val av inomhustemperatur, användning av hushållsel och varmvatten.

Användningen av hushållsel har varit högre än prognostiserat vilket beror på att mycket hemelektronik, i form av TV-apparater och datorer, har varit i bruk. De boende har valt att ha en något högre inomhustemperatur än antaget vilket medför högre transmissions- och ventilationsförluster. Trots det blir ventilationsförlusterna endast något högre än prognostiserat på grund av att uteluften förvärms bakom träpanelen.

## 4 Ekonomi

En ekonomisk analys är svår att utföra på ett rättvist sätt. För att kunna bygga de två husen har ett utvecklingsarbete skett på respektive företag. Det kostar naturligtvis extra. För trähustillverkaren LB-hus AB har inte standardkomponenter fullt ut kunnat utnyttjas. Det har inneburit dels att flera olika byggnadsdetaljer har fått nya lösningar, dels att produktionen av element i fabriken har behövt ställas om. Under förutsättning att efterfrågan på de nya lösningarna blir stor kommer de att bli standardkomponenter. Det medför att kostnaden kommer att sjunka avsevärt vilket innebär en marginell fördyring av hela huset.

De åtgärder som gjorts i LB-huset är bland annat tjockare värmeisolering i ytterväggar, tak och grund, bättre lufttäthet, bättre fönster, avancerat styrsystem för temperaturstyrning i olika zoner, nyutvecklad värmepump samt effektivare vitvaror. Vissa konstruktionsdetaljer har förbättrats såsom åtgärder för att minska effekten av köldbryggor kring fönster och utökad kantisolering av betongplattan.

LB-hus AB har beräknat att merkostnaden uppgår till cirka 150 kkr under förutsättning att företaget får leverera ett visst antal hus med dessa kvaliteter. Bli efterfrågan så stor att hela eller större delen av produktionen utförs med denna prestanda förväntas merkostnaden sjunka. För att få en jämförelse kan nämnas att den uppgivna merkostnaden motsvarar ungefär skillnaden i kostnad mellan ett enkelt och ett mer lyxutrustat kök. Merkostnaden kan förväntas innebära en energibesparing på 3000 till 5000 kWh per hus och år. Denna minskning av energianvändningen kan förväntas varje år så länge som huset brukas och blir därigenom en mycket säker investering.

Motsvarande bedömning om ekonomin har inte kunnat göras för Yxhult-huset eftersom Yxhult AB inte haft någon jämförbar småhusproduktion. Man har huvudsakligen varit en materialleverantör. Några jämförelsevärden har därför inte kunnat erhållas.

## 5 Slutsatser och rekommendationer

Utvärderingen har visat att det med rimliga investeringskostnader går att bygga småhus som använder väsentligt mindre energi än vad andra jämförbara nya hus använder. Den genomsnittliga energianvändningen i småhus byggda 1996 – 2001 i Sverige uppgick år 2002 till 129 kWh/m<sup>2</sup> och år enligt statistiska centralbyrån. Den dominerande andelen av dessa hus är eluppvärmda. LB-huset har använt totalt cirka 87 kWh/m<sup>2</sup> och år, vilket sålunda är drygt 30 % lägre än i jämförbara hus. Yxhult-huset har ungefär samma energianvändning som genomsnittet, men med den skillnaden att huvuddelen av energi-användningen utgörs av fjärrvärme. Huset har dessutom en potential till lägre energianvändning efter fullständig uttorkning och med en korrekt styrning av värmeförseln.

Låg energianvändning har uppnåtts i husen samtidigt som den termiska komforten och luftkvaliteten är bra. Det går sålunda att bygga energieffektiva hus med bra inneklimat.

För att framgångsrikt bygga energieffektiva hus måste husets arkitektur, byggnadsteknik och installationer vara väl avvägda mot varandra.

Båda husen har mycket bra byggnadstekniska prestanda genom att de är välisolerade, mycket lufttäta och har goda detaljlösningar. Köldbryggors inverkan på energianvändningen är liten. Dessa egenskaper kan husen förväntas bibehålla under hela brukstiden utan behov av underhåll. Detta är en grundförutsättning för att få energieffektiva hus med bibehållen god funktion under mycket lång tid och med mycket litet behov av underhåll.

Utvärderingen har påvisat vissa svagheter hos installationerna och deras styr- och reglerutrustning. Det förefaller vara svårt att finna utrustning anpassad till lågenergihus, som på ett kontrollerat sätt kan tillföra små värmemängder. De tekniska apparaterna synes inte i tillräcklig grad vara anpassade för att vanliga brukare ska kunna förstå och sköta utrustningen på ett bra sätt. Det saknas möjligheter för brukaren att kunna avgöra om anläggningen som helhet fungerar som den ska. Detta är extra viktigt för att undvika att onödiga mängder energi används.

Stora södervända fönsterareor innebär risk för övertemperaturer och det erfordras solavskärmning för att inte få besvärande höga innetemperaturer under vår, sommar och höst. I ett lågenergihus räcker en relativt liten mängd solinstrålning för att täcka hela värmebehovet så snart solen skiner. För att kunna tillgodogöra sig solinstrålningen måste värmesystemet omedelbart

stänga av all värmeförlust så snart temperaturen stiger inomhus. I annat fall riskerar man att inte alls kunna tillvarata solens fördelar och i värsta fall ger solen enbart upphov till oönskade övertemperaturer. Redan vid måttliga fönsterareor kommer solinstrålningen att täcka värmebehovet. Det är därför knappast någon fördel att ha stora glasareor. Detta skiljer lågenergihus från hus som har stort uppvärmningsbehov. Från energisynpunkt behöver inte fönstren vara orienterade mot söder vilket ger arkitekten frihet att placera fönstren i valfritt väderstreck.

Utvärderingen talar till viss del mot att lägre rumstemperatur accepteras i välisolerade hus. Den höjning av den så kallade operativa temperaturen som energieffektiva hus innebär tycks tas ut som förbättring av den termiska komforten. Detta kan emellertid ske med rimlig ökning av uppvärmningsbehovet. För att beräkna värmeanvändningen korrekt bör man därför anta en innetemperatur på cirka 21°C även i mycket energieffektiva hus.

Utvärderingen understryker behovet av en noggrann idrifttagning av husen så att de tekniska systemen inregleras och justeras för att möta ställda krav och behov. Små avvikelser i verklig funktion kan leda till relativt stora avvikelser från förväntad prestanda. Det finns anledning att ytterligare anpassa tekniken så att en vanlig brukare både kan sköta sin anläggning på ett enkelt sätt och också få information om huruvida huset fungerar som avsett. I det fallet är det egentligen inga specifika krav som gäller för energieffektiva hus utan de har generell giltighet.

Låg energianvändning i kombination med ett bra inomhusklimat har genom studien visat sig vara genomförbart i småhus. Väl beprövad teknik har använts på ett klokt sätt. Utvärderingen visar att alla nyproducerade småhus enkelt och till rimliga kostnader kan byggas energisnåla och med ett bra inomhusklimat. Nya småhus bör därför byggas väsentligt mer energieffektiva än vad som betraktas som normalt i dag. Det är inte längre fråga om speciell teknik för experimenthus utan teknik som enkelt kan tillämpas i all nyproduktion.

## Referenser

Arbetsmiljöverket (2004) *Inomhusklimat. Hur varmt får det vara?* Tillgänglig från <http://www.av.se/amnessidor/klimat/hurvarmt.shtm> [2004-06-30]

Bagge H. & Lindström L. (2003) *Utvärdering av inomhusmiljö. En studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus*, Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Boverket (1989) *Boverkets allmänna råd 1989:1*, Boverket, Karlskrona.

Boverket (2002) *Boverkets byggregler BFS 2002:19*, Boverket, Karlskrona.

Cetetherm (2002) *Cetetherm Basic U21/U31 Driftsinstruktion*, Cetetherm AB, Ronneby.

Elmroth A. & Höglund I. (1965) *Influence of moisture on the thermal resistance of external walls of cellular concrete – related to two newer types of constructions*. Rapport till RILEM/CIB-symposium i Helsingfors. (Även utgivet som meddelande 45 från institutionen för Byggnadsteknik, KTH)

Elmroth A. & Jahnsson S. (2001) *Energieffektiva småhus på Bo01. Bo01 – Framtidsstaden*. VVS-Forum Nr 9 September 2001, Stockholm.

Energirådgivningen i Stockholmsregionen (2004) *Vanliga frågor & svar om energi*. Tillgänglig från [http://www.energiradgivningen.se/vanligafragor\\_ovrigt.html#](http://www.energiradgivningen.se/vanligafragor_ovrigt.html#)

FERA (2004) *Energieffektiv elvärme*. Tillgänglig från <http://www.elkontakt.nu/fera8.pdf>

Hiller C. (2003) *Sustainable energy use in 40 houses. A study of changes over a ten-year period*. Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

International Standard ISO 7730 (1999) *Moderate Thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*.

Jensen L. (1999) *Kursmaterial till Installationsteknik FK ABK 150. Värmeväxling*, Avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Markaryd kommun (2004) *Markaryds energirådgivningssida. Elförbrukning*. Tillgänglig från <http://www.markaryd.se/tekniska/energi/e4.htm>, [2004-06-23]

Miljödepartementet (2000) *Framtidens miljö – allas vårt ansvar. Betänkande från Miljömålskommittén. SOU 2000:52*. Miljödepartementet, Stockholm.

Nationalencyklopedin (2004) *Nationalencyklopedins internetjänst*. Tillgänglig från <http://www.ne.se> [2004-04-01]

Nilsson A. (2003) *Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö*, Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

SMHI (2002, 2003, 2004) *Väder och Vatten*. Nr 11/2002 – 5/2004. SMHI, Norrköping.

Socialstyrelsen (1988) *Allmänna råd från Socialstyrelsen 1988:2. Termiskt inomhusklimat*. Internetversion. Artikelnummer 1988-70-2. Tillgänglig från <http://www.sos.se/sosfs/search/arserien.htm> [2004-06-30]

Statens Energimyndighet (1999) *Halvera elnotan i småhuset*. ET 63:1999, Statens Energimyndighet, Eskilstuna.

Swep (2004) *Fakta om värmepumpar och anläggningar*. Tillgänglig från <http://www.svepinfo.se/tekniskinformation.php> [2004-06-17]

Temovex (2004) *Produktblad över värmeväxlare*. Tillgänglig från <http://www.temovex.se> [2004-03-11]

Thermia (2004) *Produktblad över värmepump*. Tillgänglig från <http://www.thermia.se> [2004-02-23]

Warfvinge C. (2000) *Installationsteknik AK för V*, Avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.



# Bilaga 1: Utdrag ur Enorm-resultat, Yxhult-huset

\*\*\*\*\* Enorm 1000. Version 1.10. © 1999 Svensk Byggtjänst \*\*\*\*\*  
 Program 1082. LTH Byggnadsfysik

Objekt: HAMNEN 33:1 Malmö. Kv SALONGEN NR 80.  
 Villa Bo01. YXHULT AB. 1. Varmgrund. Fjärrvärme.  
 Byggnadsort: Malmö

BYGGNADSDATA	Zon 1	Zon 2	Zon 3	Totalt
Typ mht BBRs värmeisolerkrav Sm-Lgh		----	----	----
Antal bostadslägenheter	1	0	0	1
Uppvärmd golvarea, Aupp, m <sup>2</sup>	151.6	0.0	0.0	151.6
Fönsterarea i % av upp. area	32.12	0.00	0.00	32.12
Spec.läckn. vid 50 Pa, l/m <sup>2</sup> ,s	0.200	0.000	0.000	0.200
Värme kapacitet, Wh/m <sup>2</sup> ,K	71	0	0	71
Omslutande area, Aom, m <sup>2</sup>	384.7	0.0	0.0	385

Inget krav på effektiv värmeanvändning för byggnaden enl BBR 9:3.

## GLASAREOR OCH INSTRÅLNINGSDATA. SOLDATA FÖR MALMÖ

Riktning	Zon 1	Zon 2	Zon 3
Nord	6.0 (0.62; 0)	0.0 (0.00; 0)	0.0 (0.00; 0)
Ost	3.5 (0.49; 0)	0.0 (0.00; 0)	0.0 (0.00; 0)
Syd	21.6 (0.66; 0)	0.0 (0.00; 0)	0.0 (0.00; 0)
Väst	3.5 (0.33; 0)	0.0 (0.00; 0)	0.0 (0.00; 0)
Ovan redovisas: Glasarea i m <sup>2</sup> (Solfaktor * Avskärmning ; Lutning)			

TRANSMISSIONSDATA	Zon 1		Zon 2		Zon 3	
	Area	Up	Area	Up	Area	Up
Vindsbjälklag	55.2	0.124	0.0	0.000	0.0	0.000
Vägg, jord (*)	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Vägg, luft	152.4	0.258	0.0	0.000	0.0	0.000
Golvbjlg 1 (*)	87.0	0.070	0.0	0.000	0.0	0.000
Golvbjlg 2 (*)	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Fönster m karm	48.7	1.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Dörrar m karm	2.1	1.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Yta 1, luft	34.4	0.094	0.0	0.000	0.0	0.000
Yta 2, luft	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Yta 3, jord (*)	4.9	0.168	0.0	0.000	0.0	0.000
(*) Red.faktor a1 =	1.00		0.00		0.00	
U*A för köldbryggor, W/K	12.5		0.0		0.0	
Totalt U*A, W/K	119.6		0.0		0.0	

PROCESSENERGI	kWh/dygn: Vardagar	Lördag	Söndag	kWh/år
Behov av tappvarmvatten	12.28	12.28	12.28	4482
Gratisvärme (personvärme mm)	3.64	3.64	3.64	1329
Elprocesser som inte ger värme	2.00	2.00	2.00	730
Elprocesser som ger värme	7.00	7.00	7.00	2555
Pumpar/fläktar för värmedistr.	----	----	----	310
El till ventilation (Årmedelbehov = 2.19 kW/m <sup>3</sup> /s)				1018
Tillförd elenergi (drivenergi) till värmepumpsystemet				0

Basenergi: Fjärrvärmväxlare

Dist: Vattenradiatorer.Termostater i rum. Ingen effektstyrning

	Basenergi	Tillsats
Förbränningsverkningsgrad, %	100	0
Värmeförluster från panna e dyl, kW	0.120	0.000
Varav utnyttjat värmetillskott, kWh/år	559	0
Värmedistributionsförluster, W/K (*)	4.548	0.000
Värmeregleringsförluster, W/K (*)	4.548	0.000
(*) /K avser temperaturdifferensen mellan värmebärare och rumsluft		
Produktionstimmar/Uppvärmningstimmar	8760/4080	0/0
Årsverkningsgrad/Täckningsgrad, %	89/100	0/0
Dim. framledningstemperatur 55°C. Distrib.pumpar/fläktar		0.076 kW

## VENTILATIONSDATA

	Zon 1	Zon 2	Zon 3
Typ av ventilation	FTX	-----	-----
Vent.volym,m <sup>3</sup> (Fukt,g/kg)	394(1)	0(0)	0(0)
Effekt,kW/m <sup>3</sup> /s (% värme)	0.750(%100)	0.000( 0)	0.000(0)
Luftläckning,m <sup>3</sup> /h(oms/h)	11.1(0.03)	0.0(0.00)	0.0(0.00)
Mån/fredag: Rumstemp,°C	20.0	0.0	0.0
Basflöde,m <sup>3</sup> /h * h/dygn	191.0*23.5	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Forcerat,m <sup>3</sup> /h * h/dygn	191.0* 0.5	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Dygnsmedel m <sup>3</sup> /h(oms/h)	191.0(0.48)	0.0(0.00)	0.0(0.00)
Lördagar: Rumstemp,°C	20.0	0.0	0.0
Basflöde,m <sup>3</sup> /h * h/dygn	191.0*23.5	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Forcerat,m <sup>3</sup> /h * h/dygn	191.0* 0.5	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Dygnsmedel m <sup>3</sup> /h(oms/h)	191.0(0.48)	0.0(0.00)	0.0(0.00)
Söndagar: Rumstemp,°C	20.0	0.0	0.0
Basflöde,m <sup>3</sup> /h * h/dygn	191.0*23.5	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Forcerat,m <sup>3</sup> /h * h/dygn	191.0* 0.5	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Dygnsmedel m <sup>3</sup> /h(oms/h)	191.0(0.48)	0.0(0.00)	0.0(0.00)

Kanalförlust,frånluft (K=tempdiff över kanalvägg) 11 m,0.00 W/m,K  
 Kanalförlust,tilluft med högst rumstemperatur 11 m,0.00 W/m,K  
 Kanalförlust,värmd tilluft i luftvärmesystem 0 m,0.00 W/m,K  
 Kanalförlusten i FTX-systemet har beräknats till 0 kWh/år.

FTX-AGGR.:TEMOVEX 250. SP-provat vid 150 m<sup>3</sup>/h 150 m<sup>3</sup>/h

Utetemperatur,°C	-15.00	-7.00	2.00	7.00	15.00
Värmeeffekt, kW	1.31	1.16	0.78	0.62	0.26
Driveffekt, kW	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Spareff.,kW/m <sup>3</sup> /s	30.000	26.400	17.280	13.440	4.800
Eleffekt,kW/m <sup>3</sup> /s	1.440	1.440	1.440	1.440	1.440
Temp.verkn.grad	75.6	86.8	87.5	96.3	105.1
Återvunnet/Elbehov kWh/år =	6429/	669	= 9.61.	Red.fakt.	0.86

## VÄRMEBEHOV UNDER KALENDERÅRET (kWh)

Sid 3

Månad	Uppv dgr	Transmission	Vent.+ Läckn.	Vent.- v.växl	Utnyttj.värme Sol	Process	Uppv.- behov	Uppv.+ tappv
Jan	31	2078	+1278	-898	-336	-562=	1560	1941
Feb	28	1757	+1088	-775	-452	-506=	1112	1456
Mar	31	1575	+998	-723	-753	-553=	544	924
Apr	7	1145	+754	-589	-1000	-289=	20	389
Maj	0	716	+519	-434	-801	0=	0	381
Jun	0	332	+301	-265	-368	0=	0	368
Jul	0	199	+230	-208	-221	0=	0	381
Aug	0	314	+294	-261	-347	0=	0	381
Sep	0	591	+445	-378	-652	-6=	0	368
Okt	12	976	+664	-537	-648	-405=	50	431
Nov	30	1282	+830	-632	-403	-537=	539	908
Dec	31	1604	+1014	-731	-302	-561=	1025	1405
År	170	12569	8413	-6429	-6283	-3420	4850	9333

Summor= 9567 6012 -4344 -2675 -3162 för uppv.period.  
 Uppvärmningsperiod: Utetemp= 1.102 °C, 75445°h (Året 105086°h).

## TILLFÖRD ENERGI UNDER KALENDERÅRET (kWh)

Månad	Basenergi Nyttig	Tillsatsenergi Förlust	Tillsatsenergi Nyttig	Förlust	Drivel till VP	Fläkt /Pump	Köpt värme	Proc.+ hush.el
Jan	1941	+234	+0	+0	+0	+143=	2318	279
Feb	1456	+199	+0	+0	+0	+129=	1784	252
Mar	924	+181	+0	+0	+0	+143=	1248	279
Apr	389	+102	+0	+0	+0	+96=	587	270
Maj	381	+89	+0	+0	+0	+86=	556	279
Jun	368	+86	+0	+0	+0	+84=	538	270
Jul	381	+89	+0	+0	+0	+86=	556	279
Aug	381	+89	+0	+0	+0	+86=	556	279
Sep	368	+86	+0	+0	+0	+84=	538	270
Okt	431	+105	+0	+0	+0	+108=	644	279
Nov	908	+149	+0	+0	+0	+138=	1195	270
Dec	1405	+184	+0	+0	+0	+143=	1732	279
År	9333	1593	0	0	0	1328	12253	3285

Dim. värmeeffekter (DUT = -13.1 °C. Tidskonstant = 79 h)

Tappvarmvatten, om dygnets hela behov ackumuleras	0.51 kW
Transmission, ventilation och luftläckning	4.81 kW
Utnyttjad gratis-effekt	-0.75 kW
Förluster i värmesystemet	0.44 kW

Totalt effektbehov (dygnsmedeleffekt) 5.00 kW

Vid forc. ventilation ökar effektbehovet momentant med 0.00 kW, utöver den ovan redovisade dygnsmedeleffekten. Medeleffekten avgör avsvälning under en lång period med dimensionerande utetemperatur.

Den tappvarmvatteneffekt som redovisas är den effekt som krävs för att producera dygnets behov under 24 timmar. Verkligt installerad effekt måste väljas högre mht tappningscykel och beredarens volym.

Bilaga I

\*\*\*\*\* Enorm 1000. Version 1.10. © 1996 Svensk Byggtjänst \*\*\*\*\*  
 Program 1082. LTH Byggnadsfysik

Byggnadens nettobehov av värmeenergi		kWh/år
-----		
Transmissionsförluster och luftläckning (1)		12954
Ventilationsförluster, styrd luftväxl. (2)		+8029
Återvunnen värmeenergi i FTX-aggregat (3)		-6429
Förluster i från- och tillluftskanaler (4)		+0
Utnyttjad värme från processer (5)		-3420
Utnyttjad värme från solinstrålning (6)		-6283
Behov av varmvatten vid tappställen (7)		+4482
-----		
Byggnadens nettobehov av värmeenergi (11)		9333
-----		
Tillförd energi till värme- och ventilationssystemet		kWh/år
-----		
Nettobehov av bas- och tillsatsenergi (12)		9333
Värmedistributions- och regl.förluster (13)		+1593
Basenergi producerad med värmepump (14)		0
Tillförd drivel till värmepump (15)		+0
Tillförd el till ventilationssystemet (16)		+1018
El till värmedistrib.fläktar/-pumpar (17)		+310
-----		
Köpt energi till värme/ventilation (18)		12253
-----		
Processer. Hushålls- och fastighetsel (19)		+3285
Nettobesparing av effektivare vitvaror (20)		-1423
-----		
Byggnadens totala behov av köpt energi (21)		14116

(1)-(21) = Hänvisningar till beskrivning i Enorms beräkningsbilaga

Totalt behov av köpt energi för verklig byggnad	kWh/år	kWh/m <sup>2</sup>
-----		
Fjärrvärmeväxlare	10925	72
Tillsatsenergi	0	0
Drivel till värmepump	0	0
El till fläktar och pumpar	1328	9
Processer. Hushålls- och fastighetsel	3285	22
Nettobesparing av effektivare vitvaror	-1423	-9
-----		
Summa för kalenderåret	14116	93

BYGGNADSDATA	Zon 1	Zon 2	Zon 3	Totalt
-----				
Typ mht BBRs värmeisolerkrav	Sm-Lgh	----	----	----
Antal bostadslägenheter	1	0	0	1
Uppvärmd golvarea, A <sub>upp</sub> , m <sup>2</sup>	151.6	0.0	0.0	151.6
Fönsterarea i % av uppv. area	32.12	0.00	0.00	32.12
Spec.läckn. vid 50 Pa, l/m <sup>2</sup> ,s	0.200	0.000	0.000	0.200
Värmekapacitet, Wh/m <sup>2</sup> ,K	71	0	0	71
Omslutande area, A <sub>om</sub> , m <sup>2</sup>	384.7	0.0	0.0	385

Byggnadens U-medelvärde, beräknat enl. BBR är  $U_{m,akt} = 0.222 \text{ W/m}^2, \text{K}$   
 $U_{m,krav} = 0.247 \text{ W/m}^2, \text{K}$ . Högsta tillåtna  $U_{m,gräns} = 0.322 \text{ W/m}^2, \text{K}$

## Bilaga 2: Utdrag ur Enorm-resultat, LB-huset

\*\*\*\*\* Enorm 1000. Version 1.10. © 1999 Svensk Byggtjänst \*\*\*\*\*  
 Program 1082. LTH Byggnadsfysik

Objekt: HAMNEN 33:1 Malmö. TOMT NR 71.  
 Villa Bo01. LB-HUS AB. Elvärme och FVP.  
 Byggnadsort: Malmö

BYGGNADSDATA	Zon 1	Zon 2	Zon 3	Totalt
Typ mht BBRs värmeisolerkrav Sm-Lgh		----	----	----
Antal bostadslägenheter	1	0	0	1
Uppvärmd golvarea, Aupp, m <sup>2</sup>	138.7	0.0	0.0	138.7
Fönsterarea i % av upp. area	20.40	0.00	0.00	20.40
Spec.läckn. vid 50 Pa, l/m <sup>2</sup> ,s	0.050	0.000	0.000	0.050
Värme kapacitet, Wh/m <sup>2</sup> ,K	81	0	0	81
Omslutande area, Aom, m <sup>2</sup>	365.0	0.0	0.0	365

Inget krav på effektiv värmeanvändning för byggnaden enl BBR 9:3.

### GLASAREOR OCH INSTRÅLNINGSDATA. SOLDATA FÖR MALMÖ

Riktning	Zon 1	Zon 2	Zon 3
Nord	11.7 (0.62; 0)	0.0 (0.00; 0)	0.0 (0.00; 0)
Ost	0.6 (0.49; 0)	0.0 (0.00; 0)	0.0 (0.00; 0)
Syd	5.6 (0.66; 0)	0.0 (0.00; 0)	0.0 (0.00; 0)
Väst	2.2 (0.33; 0)	0.0 (0.00; 0)	0.0 (0.00; 0)
Ovan redovisas:	Glasarea i m <sup>2</sup> (Solfaktor * Avskärmning ; Lutning)		

TRANSMISSIONSDATA	Zon 1		Zon 2		Zon 3	
	Area	Up	Area	Up	Area	Up
Vindsbjälklag	92.8	0.116	0.0	0.000	0.0	0.000
Vägg, jord (*)	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Vägg, luft	147.6	0.178	0.0	0.000	0.0	0.000
Golvbjlg 1 (*)	89.2	0.111	0.0	0.000	0.0	0.000
Golvbjlg 2 (*)	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Fönster m karm	28.3	1.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Dörrar m karm	5.3	1.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Yta 1, luft	1.2	0.174	0.0	0.000	0.0	0.000
Yta 2, luft	0.6	1.700	0.0	0.000	0.0	0.000
Yta 3, jord (*)	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
(*) Red.faktor a1 =		0.75		0.00		0.00
U*A för köldbryggor, W/K	9.4		0.0		0.0	
Totalt U*A, W/K	88.7		0.0		0.0	

PROCESSENERGI	kWh/dygn: Vardagar	Lördag	Söndag	kWh/år
Behov av tappvarmvatten	11.77	11.77	11.77	4296
Gratisvärme (personvärme mm)	3.33	3.33	3.33	1215
Elprocesser som inte ger värme	2.00	2.00	2.00	730
Elprocesser som ger värme	7.00	7.00	7.00	2555
Pumpar/fläktar för värmedistr.	----	----	----	392
El till ventilation (Årmedelbehov = 0.90 kW/m <sup>3</sup> /s)				383
Tillförd elenergi (drivenergi) till värmepumpsystemet				3775

Basenergi: Värmepump, uppv. och varmvatten  
 Dist: Vattenradiatorer. Termostater i rum. Autom. effektstyrning  
 Värmepumpen producerar både tappvarmvatten och uppvärmningsenergi.  
 Tillsatsenergi: Eltillsats i värmepump  
 Dist: Vattenradiatorer. Termostater i rum. Autom. effektstyrning  
 Gemensam värmeproduktion. Gemensamt värmedistributionsystem.

	Basenergi	Tillsats
Förbränningsverkningsgrad, %	100	100
Värmeförluster från panna e dyl, kW	0.120	0.120
Varav utnyttjat värmetillskott, kWh/år	691	94
Värmedistributionsförluster, W/K (*)	3.329	3.329
Värmeregleringsförluster, W/K (*)	3.329	3.329
(*) /K avser temperaturdifferensen mellan värmebärare och rumsluft		
Produktionstimmar/Uppvärmningstimmar	7769/4697	991/991
Årsverkningsgrad/Täckningsgrad, %	93/78	96/22
Dim. framledningstemperatur 55°C. Distrib.pumpar/fläktar		0.069 kW

VENTILATIONSDATA	Zon 1	Zon 2	Zon 3
------------------	-------	-------	-------

Typ av ventilation	FVP	-----	-----
Vent.volym, m <sup>3</sup> (Fukt, g/kg)	404(1)	0(0)	0(0)
Effekt, kW/m <sup>3</sup> /s (% värme)	0.900( 0)	0.000( 0)	0.000( 0)
Luftläckning, m <sup>3</sup> /h(oms/h)	2.6(0.01)	0.0(0.00)	0.0(0.00)
Mån/fredag: Rumstemp, °C	20.0	0.0	0.0
Basflöde, m <sup>3</sup> /h * h/dygn	174.8*24.0	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Forcerat, m <sup>3</sup> /h * h/dygn	0.0* 0.0	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Dygnsmedel m <sup>3</sup> /h(oms/h)	174.8(0.43)	0.0(0.00)	0.0(0.00)
Lördagar: Rumstemp, °C	20.0	0.0	0.0
Basflöde, m <sup>3</sup> /h * h/dygn	174.8*24.0	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Forcerat, m <sup>3</sup> /h * h/dygn	0.0* 0.0	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Dygnsmedel m <sup>3</sup> /h(oms/h)	174.8(0.43)	0.0(0.00)	0.0(0.00)
Söndagar: Rumstemp, °C	20.0	0.0	0.0
Basflöde, m <sup>3</sup> /h * h/dygn	174.8*24.0	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Forcerat, m <sup>3</sup> /h * h/dygn	0.0* 0.0	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Dygnsmedel m <sup>3</sup> /h(oms/h)	174.8(0.43)	0.0(0.00)	0.0(0.00)

Kanalförlust, frånluft (K=tempdiff över kanalvägg) 11 m, 0.00 W/m, K  
 Kanalförlust, tilluft med högst rumstemperatur 11 m, 0.00 W/m, K  
 Kanalförlust, värmd tilluft i luftvärmesystem 0 m, 0.00 W/m, K  
 Kanalförlusten i FTX-systemet har beräknats till 0 kWh/år.

## VÄRMEPUMP: Thermia FVP Solvik

Utetemperatur:	-15.00	-7.00	2.00	7.00	15.00
Värmeeffekt, kW:	1.75	1.85	1.90	2.10	1.95
Driveffekt, kW:	0.65	0.60	0.62	0.65	0.72
Lägsta avlufttemp 0°C. Lägsta utetemp			0.0°C.	Högsta d:o	0.0°C
Årsvärmefaktor= Avgivet/Drive1	11363/		3775 =	3.01.	Red.fakt 1.00

## VÄRMEBEHOV UNDER KALENDERÅRET (kWh)

Sid 3

Månad	Uppv dgr	Transmission	Vent.+ Läckn.	Vent.- v.växl	Utnyttj.värme		Uppv.- behov	Uppv.+ tappv
					Sol	Process		
Jan	31	1542	+1127	0	-115	-523=	2032	2397
Feb	28	1304	+959	0	-174	-472=	1618	1947
Mar	31	1168	+880	0	-312	-521=	1215	1580
Apr	30	849	+666	0	-433	-500=	583	936
Maj	12	531	+460	0	-557	-384=	49	414
Jun	0	246	+268	0	-499	-15=	0	353
Jul	0	147	+206	0	-354	0=	0	365
Aug	0	233	+263	0	-457	-38=	0	365
Sep	13	438	+395	0	-384	-400=	48	401
Okt	31	724	+587	0	-262	-516=	533	897
Nov	30	950	+733	0	-148	-504=	1031	1385
Dec	31	1189	+894	0	-99	-522=	1463	1828
År	237	9320	7439	0	-3795	-4394	8571	12867

Summor= 8596 6531 0 -1898 -4068 för uppv.period.  
 Uppvärmningsperiod: Utetemp= 3.468 °C, 92368°h (Året 105086°h).

## TILLFÖRD ENERGI UNDER KALENDERÅRET (kWh)

Månad	Energi från Nyttig	VP Förlust	Tillsatsenergi Nyttig	Förlust	Drivel till VP	Fläkt /Pump	Köpt värme	Proc.+ hush.el
Jan	1280	+108	+1117	+93	+456	+84=	1750	279
Feb	1158	+104	+789	+70	+411	+76=	1345	252
Mar	1293	+137	+287	+29	+463	+84=	863	279
Apr	936	+134	+0	+0	+337	+81=	418	270
Maj	414	+99	+0	+0	+177	+52=	229	279
Jun	353	+86	+0	+0	+166	+31=	198	270
Jul	365	+89	+0	+0	+178	+33=	211	279
Aug	365	+89	+0	+0	+173	+33=	206	279
Sep	401	+93	+0	+0	+175	+53=	228	270
Okt	897	+124	+0	+0	+329	+84=	413	279
Nov	1282	+133	+102	+10	+447	+81=	640	270
Dec	1302	+120	+526	+48	+462	+84=	1120	279
År	10046	1317	2821	250	3775	775	7621	3285

Dim. värmeeffekter (DUT = -13.2 °C. Tidskonstant = 76 h)

Tappvarmvatten, om dygnets hela behov ackumuleras	0.49 kW
Transmission, ventilation och luftläckning	5.03 kW
Utnyttjad gratis effekt	-0.70 kW
Förluster i värmesystemet	0.35 kW

Totalt effektbehov (dygnsmedeleffekt) 5.17 kW

Vid forc. ventilation ökar effektbehovet momentant med 0.00 kW, utöver den ovan redovisade dygnsmedeleffekten. Medeleffekten avgör avsvälning under en lång period med dimensionerande utetemperatur.

Den tappvarmvatteneffekt som redovisas är den effekt som krävs för att producera dygnets behov under 24 timmar. Verkligt installerad effekt måste väljas högre mht tappningscykel och beredarens volym.

\*\*\*\*\* Enorm 1000. Version 1.10. © 1996 Svensk Byggtjänst \*\*\*\*\*  
 Program 1082. LTH Byggnadsfysik

Byggnadens nettobehov av värmeenergi		kWh/år
Transmissionsförluster och luftläckning (1)		9411
Ventilationsförluster, styrd luftväxl. (2)		+7348
Återvunnen värmeenergi i FTX-aggregat (3)		+0
Förluster i från- och tillluftskanaler (4)		+0
Utnyttjad värme från processer (5)		-4394
Utnyttjad värme från solinstrålning (6)		-3795
Behov av varmvatten vid tappställen (7)		+4296
Byggnadens nettobehov av värmeenergi (11)		12867
Tillförd energi till värme- och ventilationssystemet		kWh/år
Nettobehov av bas- och tillsatsenergi (12)		12867
Värmedistributions- och regl.förluster (13)		+1567
Basenergi producerad med värmepump (14)		-11363
Tillförd drivel till värmepump (15)		+3775
Tillförd el till ventilationssystemet (16)		+383
El till värmedistrib.fläktar/-pumpar (17)		+392
Köpt energi till värme/ventilation (18)		7621
Processer. Hushålls- och fastighetsel (19)		+3285
Nettobesparing av effektivare vitvaror (20)		-1322
Byggnadens totala behov av köpt energi (21)		9584

(1)-(21) = Hänvisningar till beskrivning i Enorms beräkningsbilaga

Totalt behov av köpt energi för verklig byggnad	kWh/år	kWh/m <sup>2</sup>
Värmepump, uppv. och varmvatten	0	0
El-tillsats i värmepump	3070	22
Drivel till värmepump	3775	27
El till fläktar och pumpar	775	6
Processer. Hushålls- och fastighetsel	3285	24
Nettobesparing av effektivare vitvaror	-1322	-10
Summa för kalenderåret	9584	69

BYGGNADSDATA	Zon 1	Zon 2	Zon 3	Totalt
Typ mht BBRs värmeisolerkrav	Sm-Lgh	----	----	----
Antal bostadslägenheter	1	0	0	1
Uppvärmd golvarea, A <sub>upp</sub> , m <sup>2</sup>	138.7	0.0	0.0	138.7
Fönsterarea i % av uppv. area	20.40	0.00	0.00	20.40
Spec.läckn. vid 50 Pa, l/m <sup>2</sup> ,s	0.050	0.000	0.000	0.050
Värmekapacitet, Wh/m <sup>2</sup> ,K	81	0	0	81
Omslutande area, A <sub>om</sub> , m <sup>2</sup>	365.0	0.0	0.0	365

Byggnadens U-medelvärde, beräknat enl. BBR är  $U_{m,akt} = 0.179 \text{ W/m}^2, \text{K}$   
 $U_{m,krav} = 0.245 \text{ W/m}^2, \text{K}$ . Högsta tillåtna  $U_{m,gräns} = 0.318 \text{ W/m}^2, \text{K}$