



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R66:1979**

1979

# **Alternativprosjekterat energisnålt kontorshus**

**Lars Åke Almstedt  
Sander Faxvall**

**Byggforskningen**

Rapport R66:1979

ALTERNATIVPROJEKTERAT ENERGISNÅLT KONTORSHUS

Lars-Åke Almstedt  
Sander Faxvall

**V-Biblioteket Bygg**  
**Lunds Tekniska Högskola**  
**Box 118, 221 00 LUND**

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780813-5 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Testologen AB, Solna.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R66:1979

ISBN 91-540-3023-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 954362

## INNEHÅLL

|     |                                                       |    |
|-----|-------------------------------------------------------|----|
| 1   | INLEDNING .....                                       | 5  |
| 1.1 | Problemet .....                                       | 5  |
| 1.2 | Rapporter .....                                       | 5  |
| 2   | SAMMANSTÄLLNING AV KOSTNADER                          |    |
| 2.1 | Merkostnad alt 2 husbyggnad .....                     | 5  |
| 2.2 | Merkostnad alt 2 EI och VVS .....                     | 5  |
| 2.3 | Merkostnad projektering och administration .....      | 5  |
| 2.4 | Moms .....                                            | 5  |
| 3   | ENERGIFÖRBRUKNING .....                               | 5  |
| 3.1 | Alternativ 1 .....                                    | 5  |
| 3.2 | Alternativ 2 .....                                    | 5  |
| 4   | BESPARINGSKOSTNAD .....                               | 6  |
| 5   | ALTERNATIV 1 .....                                    | 6  |
| 5.1 | Beskrivning .....                                     | 6  |
| 5.2 | Energiberäkningar .....                               | 6  |
| 6   | ALTERNATIV 2 .....                                    | 6  |
| 6.1 | Värmesystemet .....                                   | 6  |
| 6.2 | Bestämning av luftflödet .....                        | 6  |
| 6.3 | Energiberäkningar .....                               | 8  |
| 6.4 | Provtagningsprogram .....                             | 9  |
| 6.5 | Mätprogram .....                                      | 9  |
| 7   | REFERENSER .....                                      | 12 |
| 7.1 | Lagring av värme .....                                | 12 |
| 7.2 | Lagring av solenergi .....                            | 12 |
| 7.3 | Solar energy systems .....                            | 12 |
| 8   | BILAGOR                                               |    |
| 8.1 | Bilaga 1: Kostnadsutredning husbyggnad                | 13 |
|     | Bilaga 2: Installationskostnader EI och VVS           | 15 |
|     | Bilaga 3: Projekterings- och administrationskostnader | 17 |
|     | Bilaga 4: Energibehov alt 1                           | 19 |
|     | Bilaga 5: Energibehov alt 2                           | 21 |
|     | Bilaga 6: Värmelager alt 2                            | 25 |

Följande handlingar finns tillgängliga hos  
Byggdok 08-34 01 70:

- Bilaga 7: VVS-handlingar alt 1
- Bilaga 8: Konstruktionshandlingar alt 1
- Bilaga 9: Konstruktionshandlingar alt 2



## 1 INLEDNING

Byggherren, Testologen AB, har för sitt planerade kontorshus begärt att konsulterna skall undersöka förutsättningarna för ett alternativt energisystem.

### 1.1 Problemet

Energilagrets utförande, stenstorlekar, solfångarnas utformning och absorptionsmaterial samt luftfördelning.

### 1.2 Rapporter

Rapporten är utförd för ett kontorshus med alternativt VVS-system.

Alt. 1: Konventionell uppvärmning med oljeeldad panna, radiatorer samt fläktstyrd till- och frånluft enligt minimikrav i SBN 1975.

Alt. 2: Alternativt VVS-system med frånluftsfönster, solfångare, värmepump samt energilager med järnmalm. Byggnaden är speciellt lufttätad.

Båda alternativen är kostnadsberäknade.

## 2 SAMMANSTÄLLNING AV KOSTNADER

|     |                                                                         |                     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 2.1 | Merkostnad för alt. 2, husbyggnad enligt bilaga 1                       | kr 200.000:-        |
| 2.2 | Merkostnad för alt. 2 för installation av el och VVS enligt bilaga 2    | kr 128.000:-        |
| 2.3 | Merkostnad för projektering och byggherreadministration enligt bilaga 2 | kr 125.000:-        |
| 2.4 | Moms                                                                    | <u>kr 35.000:-</u>  |
|     |                                                                         | kr 488.000:-        |
|     | Diverse oförutsett                                                      | <u>kr 32.000:-</u>  |
|     | <u>Total kostnad</u>                                                    | <u>kr 520.000:-</u> |

Effektavgifter för elektrisk tillsatsvärme vid tilluftsaggregatet (vilken enligt beräkningarna ej behövs) ingår ej.  
Hänsyn till skilda effektkostnader för de båda alternativen har ej tagits.

## 3 ENERGIFÖRBRUKNING

|     |                        |      |                |
|-----|------------------------|------|----------------|
| 3.1 | Alt. 1 enligt bilaga 4 | Olja | 156.700 kWh/år |
| 3.2 | Alt. 2 enligt bilaga 6 | El   | 13.700 kWh/år  |

Hänsyn till möjlig värmelagring veckovis har härvid ej tagits.

## 4 BESPARINGSKOSTNAD

Erforderlig investering för det energisnåla alternativet kan uppdelas i två poster, var och en hänförlig till en åtgärd förknippad med viss brukstid. Vid nedanstående beräkning av "besparingskostnaden" har dels installationernas brukstid, 15 år och dels en vägd brukstid, 45 år, använts. Underhållskostnaden för byggnaden ändras inte i det energisnåla alternativet. Underhållskostnaden för installationerna beräknas till 3% av investeringskostnaderna. Energiförbrukningen för el bedöms till 18 öre/kWh.

$$\frac{520.000 + 12,3 \cdot 0,03 \cdot 128.000 + 13,1 \cdot 2.466}{143.000 \cdot 29,4} = 0,14 \text{ kronor/kWh}$$

ALTERNATIVEN

## 5 ALTERNATIV 1: Konventionellt VVS-system

5.1 Beskrivning

Oljeeldad värmepanna med vattenburen värme.  
Radiatorer placerade under fönster.  
Fläktstyrd till- och frånluft med återluftsinsblandning.  
Rummen tillföres luft med bakkantsinsblåsning.  
Installationerna beräknade på ritningar och beskrivning enligt bilaga 1.  
Husbyggnaden beräknad på ritningar och beskrivning enligt bilaga 2.

5.2 Energiberäkningar

Energiberäkningar utförda med k-värden enligt SBN 1975. Ofri-villig ventilation har räknats med 0,5 oms/h.  
Energibehov för tappvarmvatten lika alternativ 2.

## 6 ALTERNATIV 2: Speciellt tät byggnad med frånluftsfönster, solfångare, stenlager och värmepump.

6.1 Värmesystem

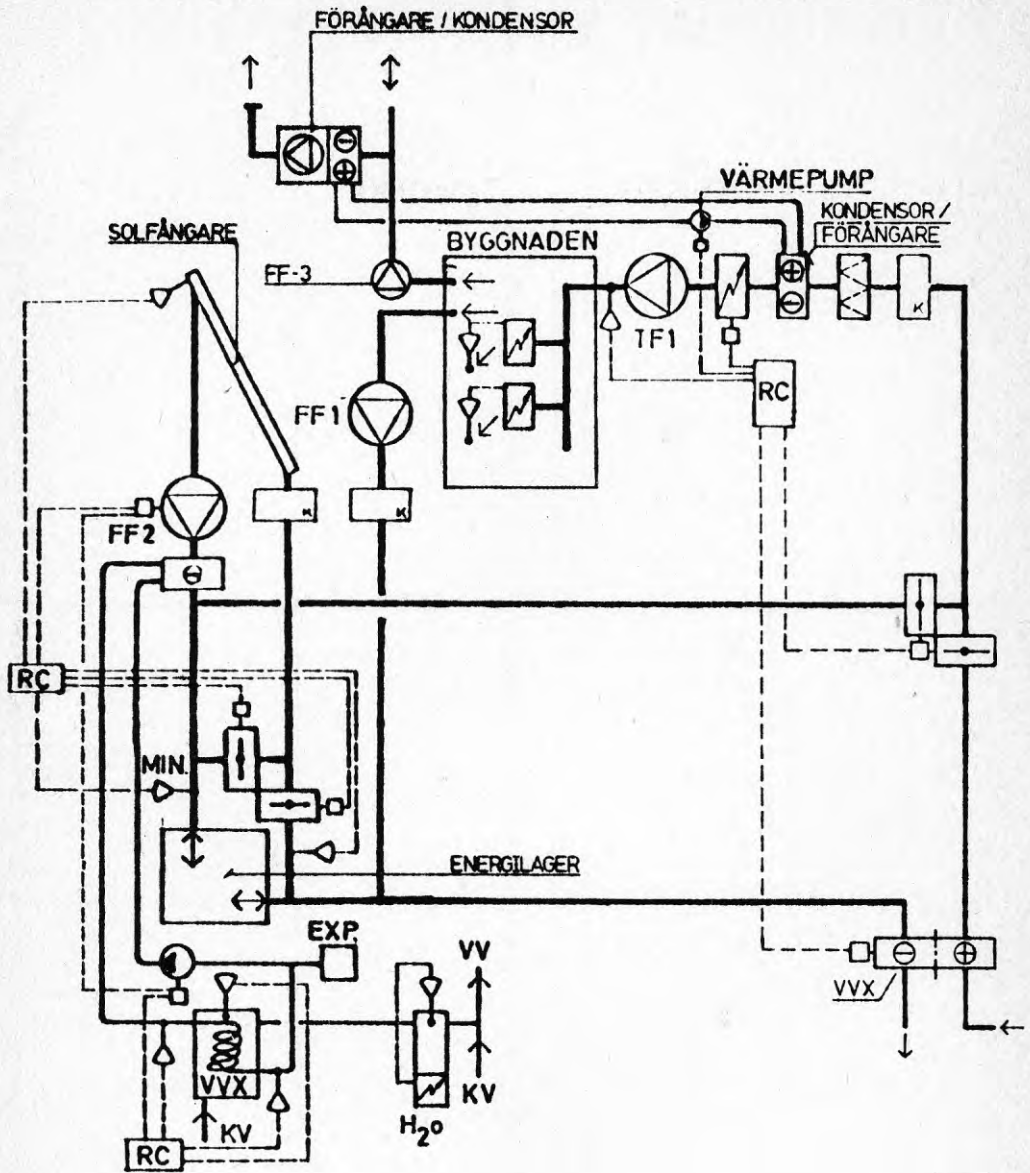
Luftbehandlingssystemet byggs huvudsakligen upp lika det konventionella med filterrad och värmd ute- och återluft. Huvuddelen av återluften tas dock genom frånluftsfönster.

6.2 Bestämning av luftflöden

Vid dimensionering av uteluftsflödet till kontor förutsätts att tre personer kan placeras i ett 4,8 m brett kontor. Hörnrum dimensioneras för två personer och konferensrum med ett relativt litet grundluftflöde samt forcering. Även kafé förses med forcering. Vid forcering tas luft från andra lokaler, dvs fläktarnas kapacitet påverkas inte. Anläggningen projekteras för återluft så att det totala luftflödet blir 30 m<sup>3</sup>/h och frånluftsfönster.

Oegentligheter i luftflöden från hörnrum beaktas ej här.





FIGUR 1

Vidare förutsätts att gillestuga ventileras med frånluft via pentry, motionslokal med frånluft via omklädnadsrum, tvagning etc samt att tryckeri ventileras helt separat med hänsyn till verksamheten. Vilrum och skyddsrum ansluts till system med frånluftsfönster. Tilluft till tryckeri erhålls från ett separat aggregat med möjlighet till forcering. Övrig tilluft behandlas i ett gemensamt luftbehandlingsaggregat med återluftsinblandning.

Frånluftflöde från fasader SV och SO 760 m<sup>3</sup>/h varav 660 tas via frånluftfönster. Uteluftflöde 350 m<sup>3</sup>/h. Frånluftflöde från fasader NV och NO 1200 m<sup>3</sup>/h. Hela luftflödet tas via frånluftfönster. Uteluftflöde 450 m<sup>3</sup>/h. Tilluftflödet beräknas till 2500 m<sup>3</sup>/h men återluftsgraden begränsas till 54% med hänsyn till ovanstående total- och uteluftflöden.

Vid värmeöverskott uppvärms stenmagasinet via solfångare i det fall värmetillskott kan erhållas därifrån. Se figur 1. Denna uppladdning av stenmagasinet fortgår så länge mindre än hela återluftinblandningen täcker värmebehovet. När värmetillskottet kan erhållas från solfångaren och värmelagret är helt laddat öppnas ett förbigångsspjäll för uppvärmning endast av tappvarmvatten.

När värmebehov föreligger leds uteluften successivt över till återluft via värmelagret eller solfångaren. Erfordras ytterligare värme inkopplas en värmepump med förångare i den separata frånluften och kondensor i tilluften. Elbatteri i tilluften kopplas in som sista steg.

Vid uppladdat järnmalmslager kan behov av värme för uppvärmning av ventilationsluftflödet vara mindre än den värmemängd som kan tas av magasinet. Detta innebär att uteluft blandas med luft från magasinet. För att inte i onödan använda den magasinerade värmen installeras en regenerativ värmeväxlare för överföring av värme från frånluften till tilluftens uteluftdel. Därigenom tas mindre luft från magasinet, vilket ökar dess utnyttjande.

### 6.3 Energiberäkningar

I bilaga 5 redovisas värmebehov månad för månad. Beräkningarna har utförts med hjälp av Svenska Fläktfabrikens datorprogram Ventac där hänsyn tas till intern värmeutveckling och värmelagring i tunga byggnadsdelar. Förutsättning för dessa beräkningar är given rumstemperatur. Beräkningarna av energibehov för uppvärmning av uteluften finns även redovisade i bilaga 5.

I bilaga 6 redovisas synpunkter på värmelager samt hur stor del av värmebehovet månadsvis som täcks med hjälp av solfångare och järnmalmslager som värmemagasin. Uppgifterna har framtagits i samarbete med Soloron och med hjälp av deras datorprogram över luftkylda solfångare kopplade till stenlager. Beräkningarna gäller dygnslagring eftersom lagring under längre tidsperioder bedöms som ganska orealistiskt. Det syns dock ej helt osannolikt att veckolagring kan vara möjlig, varför värmemagasinet volym har överdimensionerats kraftigt jämfört med erforderlig volym för dygnslagring.

Viss reducering har dock gjorts beträffande möjligt uttagbart värme med hänsyn till förluster och osäkerhetsfaktorer vid denna lagringstid. Energibesparing och uppoffrad energi redovisas även för drift av värmepumpen under den tid då solfångare och värmemagasin ej förmår täcka hela uppvärmningsbehovet.

#### 6.4 Provningsprogram

Den mest osäkra faktorn i detta energibesparingsprojekt är värmelagret, dess uppladdning och lagringsförmåga samt uttagbar värme därifrån. Olika uppladdnings- och kylningsalternativ bör därför ges hög prioritet i provningsprogrammet. Således skall i anläggningen byggas in möjligheter att ladda ett enda fack eller varje fack för sig eller flera parallellt. Det förutsätts härvid att en mätperiod ej behöver sträcka sig över längre tid än en månad såvida mätresultaten ej indikerar annorlunda.

#### 6.5 Mätprogram

Resultatet av ett experimentbyggande i energibesparande syfte är naturligtvis att kunna mäta hur mycket energi som sparas eller hur väl teoretiska beräkningar stämmer med verkliga. I det aktuella fallet finns inget direkt jämförelseobjekt, varför resultaten huvudsakligen måste relateras till utförda beräkningar och kontroll av för beräkningarnas genomförande erforderliga antaganden.

Mätperioden pågår i 2 år, med start vid inflyttning 1980-10-01 och slutdatum 1982-10-01, för att statistiskt säkra mätvärden skall erhållas och olika driftfall provas. Programmet omfattar energi-, temperatur- och drifttidmätningar med dataöverföring till mätcentral på KTH kompletterade med lokala manuella avläsningar.

#### Kontinuerliga mätningar

##### Energilager:

Luftflöde och luftriktning i kanal till/från lager.  
 Temperatur i övre och undre del av lager.  
 Temperatur i frånluftskanal från lager.  
 Temperaturdifferens i till/frånluftskanal vid lager.  
 Spjäll-By-pass i solfångarkrets, tid i öppet läge.

Energiflöde till/från samt värmeläckage från lagret kan beräknas med erhållna mätvärden.

Mätningarna redovisar även temperaturskiktning, tid då energilager är fulladdat och solenergi endast nyttjas för tappvarmvattenberedning.

##### Solfångare:

Drifttid solfångarfläkt FF2.  
 Temperatur i frånluftskanal vid FF2.  
 Temperaturdifferens till/frånluftskanal före/efter solfångare.

Energiflöde från solfångare kan beräknas med erhållna mätvärden, fläkt FF2 har kalibrerat luftflöde.

## Ventilationsvärmexlare:

Temperatur i uteluftskanal efter värmexlare.  
 Temperatur i frånluftskanal efter värmexlare.

## Varmvattenberedare:

Drifftid cirkulationspump.  
 Temperatur i rör till beredaren.  
 Temperaturdifferens i rör till/från.

Energiflöde från solfångare till varmvattenberedare kan beräknas med erhållna mätvärden.

## Värmepump:

Drifftid för värmepump.  
 Drifftid för kyl drift av värmepump (avfrostning).  
 Drifftid frånluftsfläkt FF3.  
 Tilluftstemperatur efter blandningsspjäll vid TF1.  
 Tilluftstemperatur efter TF1.

Mätningarna redovisar då energiflöde från lager ej är tillräcklig för aktuellt energibehov.  
 Energiflöde från värmepump kan beräknas med erhållna mätvärden.  
 Fläkt TF1 har kalibrerat luftflöde.

## Elenergimätare:

Tillsatsvärme i tilluftsaggregat TF1.  
 Elektriska luftvärmare i rum.

Mätningarna redovisar då energi från lager och värmepump ej är tillräcklig för att täcka värmebehovet samt hur många elektriska luftvärmare i rummen som varit inkopplade.  
 Detta ger också en viss kontroll på den internt utvecklade värmen från belysning och personer.

## Återluftskanal före TA1:

Spjälläge blandning uteluft-återluft 0-100 %.  
 Temperatur i återluftskanal.  
 Temperatur i kanal efter frånluftsfläkt FF1.

Mätningarna redovisar tillförd energimängd via återluftskanal.  
 Luftflöde bestäms genom spjällställning.

Övriga temperaturmätningar

Uteluftstemperatur vid uteluftsintag för TF1.

Övriga drifftidsmätningar

Tilluftsfläkt TF1.  
 Frånluftsfläkt FF1.

Mätningarna är nödvändiga för bestämmande av energiförbrukning och energiflöde.

### Dimensionering antal mätpunkter

Analoga : 30 kanaler  
Pulsräknade: 20 kanaler (drifftider, elenergi)

### Manuella avläsningar

Varje månad:

Flöde tappvarmvatten.  
Elenergi för tappvarmvattenberedning.

4 gånger per år:

Luftflöde över TF1  
" " FF1.  
" " FF2.  
" " FF3.

Återluftsflöde över blandningsspjäll vid TF1 vid olika spjäll-  
lägen.

Luftmotstånd i energilagrar.

Manuella luftflödesmätningar utföres för säkerställande av  
utförda mätningars användbarhet till utvärdering.

### Kontroll, uppföljning under mätperiod

Kontinuerligt under mätperioden göres analyser av mätresultat,  
kontroll och vid behov funktionsprovningar av installationen.  
Provning utföres med alternativa storlekar på energilagrar under  
mätperiod.

Lagervolymer varierar i 4 lika stora steg mellan 13,5 och  
50 m<sup>3</sup> för att erhålla effekten av veckolagring och optimala  
praktiska lagervolym. Mätperioden för varje steg beräknas till  
ca 1 månad om ej mätresultatet indikerar annorlunda.

### Utvärdering

Utvärdering utföres av projektledare och medhjälpare.  
Referensgrupp tillsättes av byggforskningsrådet och byggherren  
gemensamt för konsultationer och kontroll av mätningar och ut-  
värdering.

Resultatet kommer huvudsakligen att relateras till utförda  
beräkningar och av för beräkningarnas genomförande erforder-  
liga antaganden.

Husbyggnaden beräknad enligt ritning och beskrivning.  
Bilaga 8-9.

7 REFERENSER

7.1 Lagring av värme

Rapport R70:1978  
Bo Carlsson  
Hans Stymne  
Gunnar Wettermark

Statens råd för byggnadsforskning

7.2 Lagring av solenergi

Folke Peterson  
Inst för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH

7.3 Solar Energy Systems

Soloron Corporation Denver, Colorado, USA



KV ESTLÄNDAREN NR 13 o 10, SOLLENTUNA

Kostnadsutredning för rubricerade projekt.

Vid kostnadernas beräkning har förutsatts följande skillnader i byggnads-  
tekniskt utförande:

Traditionellt utförande:

|              |      |                   |
|--------------|------|-------------------|
| Ytterväggar: | 120  | fasadtegel (h=28) |
|              | 15   | luftspalt         |
|              | 12   | asfaboard         |
|              | 95   | mineralull        |
|              | 0,15 | plastfolie        |
|              | 45   | mineralull        |
|              | 2-13 | gips              |

|                         |     |                    |
|-------------------------|-----|--------------------|
| Ytterväggar under mark: | 120 | betong (motgjuten) |
|                         | 100 | mineralull         |
|                         | 150 | betong (h=0,29)    |

Energisnålt utförande:

|              |      |                     |
|--------------|------|---------------------|
| Ytterväggar: | 120  | fasadtegel (h=0,30) |
|              | 10   | luftspalt           |
|              | 2-60 | mineralull          |
|              | 200  | betong              |

|                         |     |                        |
|-------------------------|-----|------------------------|
| Ytterväggar under mark: | 140 | betong                 |
|                         | 100 | mineralull (motgjuten) |
|                         | 200 | betong (h=0,30)        |

Stenmagasin enligt ritning  
Frånluftsfönster  
Brygga vid solfångare

Avgående i förhållande till traditionellt utförande:

Skorsten av corten.

Förstärkning på tak för kylmaskin.

Allmänt

Takisolering och bottenbjälklag förutsätts lika i båda fallen.

|                                               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| Kostnadstillägg för utförande av betongväggar | 40.000:--  |
| "- " "- av övriga arbeten                     | 160.000:-- |
|                                               | <hr/>      |
| Summa                                         | 200.000:-- |





## INSTALLATIONSKOSTNADER VVS OCH EL

Alternativ 1; Konventionellt VVS-system

|             |    |           |
|-------------|----|-----------|
| Värme       | kr | 125.000:- |
| Ventilation | kr | 170.000:- |
| Styr        | kr | 16.000:-  |

Summa kr 311.000:-

Alternativ 2; Alternativt VVS-system

|        |    |           |
|--------|----|-----------|
| Vatten | kr | 22.000:-  |
| Luft   | kr | 351.000:- |
| Styr   | kr | 46.000:-  |
| El     | kr | 20.000:-  |

Summa kr 439.000:-



MERKOSTNADER FÖR ALTERNATIV 2

## PROJEKTERING OCH BYGGHERREADMINISTRATION

Konsulter

|               |                    |             |
|---------------|--------------------|-------------|
| Arkitekt      | kr 10.000:-        |             |
| Konstruktör   | kr 10.000:-        |             |
| VVS           | kr 20.000:-        |             |
| E1            | kr 5.000:-         |             |
| Kontrollant   | kr 10.000:-        |             |
| Projektledare | <u>kr 10.000:-</u> | kr 65.000:- |

Ökning av räntor och kreditiv

Kostnader p g a förlängd byggtid

c:a 2 månader

Byggherreadministration kr 60.000:-Totalt summa kr 125.000:-



## ALTERNATIV 1; KONVENTIONELLT VVS-SYSTEM. ENERGIBEHOV

|                                                         | <u>Energimängd/år</u> |
|---------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                                         | <u>Förlust</u>        |
| Transmission                                            | 75.700 kWh            |
| Ventilation                                             | 32.000 "              |
| Ofrivillig ventilation<br>(0,5 oms/h)                   | 64.300 "              |
| Tappvarmvatten                                          | <u>5.500 "</u>        |
|                                                         | = 177.500 kWh         |
|                                                         | <u>Tillskott</u>      |
| Personer                                                | - 4.800 kWh           |
| Belysning                                               | <u>-16.000 "</u>      |
|                                                         | = -20.800 kWh         |
| Energiförbrukning för värme-<br>-varmvatten-oljeeldning | <u>156.700 kWh/år</u> |



## ENERGIBEHOVSBERÄKNINGAR

Energibehovet för byggnaden har beräknats i fyra delar.

1. Databeräkning med Ventac på 2-modulsrum; där hänsyn tagits till effekttillskott i byggnaden i form av belysning, personvärme, värmelagring i huskroppen, nattsänkning.
2. Manuell beräkning av bottenvåning (utan fönster) samt kafé och fläktrum, inkluderande tillskott från belysning och personvärme för kafé.
3. Uppvärmning av uteluft med hänsyn tagen till graden av återluftsinblandning och tillskott från fläkt (ca en grads temperaturhöjning).

Vid beräkning av transmissionsförluster enligt ovanstående 1 och 2 har förutsatts tillsatsvärme från personer och belysning ( $15 \text{ W/m}^2$ ). Sannolikt saknas denna interna värmeutveckling i ett antal lokaler varje dag, vilket kompenseras av tillsatsvärme från elektriska luftvärmare i varje rum. Överslagsvis antas detta värmetillskott till motsvarande 400 drifttimmar per år med total ansluten värmeeffekt för luftvärmarna eller ca 2.400 kWh. Fördelning under året är svårbedömbart och har ej genomförts i sammanställning.

4. Energibehov för tappvarmvatten.

Ingångsdata för Ventac - respektive manuell beräkning

Databeräkningar med Ventac-programmet har baserats på ett 2-modulsrum (två frånluftsfönster) under normalvinterår. Hänsyn har härvid tagits till en ofrivillig ventilation av 0,2 luftomsättningar per timme, energitillskott i form av belysnings- och personvärme samt passiv solfångning. Dessutom har beräkningarna beaktat den i byggnadsmaterialet lagrade värmen (från dag till natt) samt sänkning av inomhustemperaturen nattetid till ca  $16^\circ\text{C}$ . Beräkningarna visar att denna temperatur i princip bara uppnås under extremt kalla dagar och inte under normala vinterdagar.

K-värden på vägg- och takisolering har direkt tagits in i data-programmet i form av kända väggmaterial (betong, gipsskiva, tegel, mineralull, trä). Det visar sig att dessa delar av byggnaden endast har värmebehov under fem vintermånader, november-mars, om hänsyn inte tas till den balanserade ventilationen.

Energibehovet för byggnadens övriga moduler har beräknats för motsvarande 33 moduler på takvåning och 15 moduler på bottenvåning. Den övriga delen av bottenvåning (delvis under mark) samt kafé (taklanternin) och fläktrum har beräknats manuellt. För källardelen har antagits en lägre ofrivillig ventilation än för byggnaden i övrigt. 0,1 oms/h, p g a mindre fönsteryta och delvis placering under mark. För vägg över mark har k-värdet satts till  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  och för vägg under mark har det beräknats till  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Golvets k-värde har relaterats till grundvattnet och där antagna värmeövergångstal samt värmeledningstal i mark.

Detta har givit ett k-värde av 0,42 W/m<sup>2</sup>K.

För beräkning av effektbehovet har således följande samband kunnat ställas upp;  $P_k = 59,3 \Delta t + 216 (Q_{inv} - 7)$ , där grundvattentemperaturen är satt till 7°C. Speciell hänsyn till värme-läckage från stenmagasin har ej tagits.

För taklanternin och fläktrum har motsvarande beräkning gjorts, men inkluderande belysningsvärme och en ofrivillig ventilation på 0,2 oms/h. Effektsambandet har då blivit:  $P_k = 59,4 \Delta t - 367 \{W\}$ .

Det totala effektbehovet för dessa delar av byggnaden blir då  $P_{tot} = 118,7 \Delta t + 216 (Q_{inv} - 7) - 367$ , vilket kan förenklas till  $P_{tot} = 118,7 (18 - Q_{ute}) + 2009 \{W\}$  om vi antar en dygnsmedeltemperatur inomhus av ca 18°C.

Pkt 1 och 2 ger totalt energibehov under året enligt tabellen.

|     |          |
|-----|----------|
| Jan | 4252 kWh |
| Feb | 3648 "   |
| Mar | 3454 "   |
| Apr | 2447 "   |
| Maj | 2280 "   |
| Okt | 2387 "   |
| Nov | 3200 "   |
| Dec | 3881 "   |

#### Uppvärmning av uteluft

Under en stor del av året föreligger värmeöverskott i rummen varför frånluftstemperaturen kommer att ligga över tilluftstemperaturen. Vid beräkning av transmissionsförlusterna har tilluftstemperaturen förutsatts vara +20°C. Vid återluftsföring blandas 54% frånluft med 46% uteluft. Temperaturerna framgår av tabell sid 3.

$$P_v = \dot{V} \cdot \zeta \cdot \Delta t - 840 \{W\}$$

där  $\Delta t$  är tilluftstemperaturen +20°C minus blandningstemperaturen framräknad med hjälp av rumstemperatur och medelutetemperatur månadsvis enligt Ventac-program samt återluftgrad 54%.

#### Temperaturer vid återluftföring

|     | Medelutetem-<br>enl Ventac (°C) | Medelrumstemp<br>enl Ventac (°C) | Blandnings-<br>temp |
|-----|---------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Jan | -3,0                            | 20,5                             | + 9,7               |
| Feb | -2,5                            | 21                               | +10,2               |
| Mar | -1                              | 21,5                             | +11,2               |
| Apr | +3                              | 22,5                             | +13,5               |
| Maj | +10                             | 23,5                             | +17,3               |
| Okt | +7                              | 22,7                             | +15,4               |
| Nov | +2                              | 21,5                             | +12,5               |
| Dec | -1,5                            | 21                               | +10,6               |



### Energibehov för uppvärmning av uteluft

Det totala energibehovet månad för månad visas i tabellen nedan.

$$\text{Jan: } P_V = \frac{2500}{3600} \cdot 1,21 \cdot 10,3 - 0,84 = 7,81 \text{ kW}$$

Drift under arbetstid  $W = 11 \cdot 22 \cdot 7,81 = 1890 \text{ kWh}$ .  
 Drift övrig tid (värmebehov föreligger under januari hela dygnet). Uppvärmning till  $+16^\circ\text{C}$ .

$$P_V = \frac{2500}{3600} \cdot 1,21 - 8,7 - 0,84 = 6,47 \text{ kW}$$

$$W = (13 \cdot 22 + 24 \cdot 9) \cdot 6,47 = 3248 \text{ kWh}$$

$$\text{Feb: } W = (0,840 \cdot 9,8 - 0,84) \cdot 11 \cdot 22 = 1796 \text{ kWh}$$

$$\text{Mar: } W = 1586 \text{ kWh}$$

$$\text{Apr: } W = 1118 \text{ kWh}$$

$$\text{Maj: } W = 345 \text{ kWh}$$

$$\text{Okt: } W = 732 \text{ kWh}$$

$$\text{Nov: } W = 1321 \text{ kWh}$$

$$\text{Dec: } W = 1708 \text{ kWh}$$

### Energibehov för tappvarmvatten

Vid beräkning av energibehov för uppvärmning av tappvarmvatten har använts ett erfarenhetsvärde på 5 kWh/år. Detta ger ett totalt varmvattenbehov på  $W = 2 \cdot 23,4^2 \cdot 5 = 5.467 \approx 5.500 \text{ kWh/år}$ , vilket i sin tur medför ett dagligt behov på 22 kWh, räknat på 250 arbetsdagar (eller 15 kWh per dag under 365 dagar per år).

Under sommarhalvåret (maj-aug) antas solfångare ge tillräcklig temperaturnivå för att täcka hela energibehovet för uppvärmning av tappvarmvatten. Under 1/2 april och 1/2 september antas hälften av värmebehovet täckas och övriga månader cirka en sjättedel. Erforderlig tillsatsvärme fås från ett elektriskt batteri i varmvattenberedaren.

TOTALT VÄRMEBEHOV

|      | Transm.belysn.<br>personvärme |   | Värmning<br>uteluft |   | Tappvarm-<br>vatten |           | (Varav elektrisk<br>tillsatsvärme för<br>tappv.vatten) |
|------|-------------------------------|---|---------------------|---|---------------------|-----------|--------------------------------------------------------|
| Jan: | 4.252                         | + | 5.140               | + | 462 =               | 9.854 kWh | 385 kWh                                                |
| Feb: | 3.648                         | + | 1.796               | + | 422 =               | 5.866 "   | 350 "                                                  |
| Mar: | 3.454                         | + | 1.586               | + | 462 =               | 5.502 "   | 385 "                                                  |
| Apr: | 2.447                         | + | 1.118               | + | 452 =               | 4.017 "   | 190 "                                                  |
| Maj: | 2.280                         | + | 345                 | + | 462 =               | 3.087 "   | -                                                      |
| Jun: |                               |   |                     | + | 452 =               | 452 "     | -                                                      |
| Jul: |                               |   |                     | + | 462 =               | 462 "     | -                                                      |
| Aug: |                               |   |                     | + | 462 =               | 462 "     | -                                                      |
| Sep: |                               |   |                     | + | 452 =               | 452 "     | 190 "                                                  |
| Okt: | 2.387                         | + | 732                 | + | 462 =               | 3.581 "   | 385 "                                                  |
| Nov: | 3.200                         | + | 1.321               | + | 452 =               | 4.973 "   | 380 "                                                  |
| Dec: | 3.881                         | + | 1.708               | + | 462 =               | 6.051 "   | 385 "                                                  |

44.800 kWh2.650 kWh

Tillkommer för elektrisk luftvärmare i rum

2.400 kWhSumma ca 47.200 kWh

VÄRMELAGER

Under byggnadsdelen utförs ett järnmalmsmagasin för lagring av överskotts- och solenergi. Energin tillförs via frånluften och solfångarna till magasinet som enligt Wettermark (1) utformas så att luften strömmar vertikalt genom bädden. Vid laddning sker detta uppåt och vid värmeuttag med omkastad flödesriktning. Vertikalt flöde är viktigt av flera orsaker. För det första blir flödet genom magasinet mer homogent eftersom man i en bädd riskerar att få det övre materialet lösare packat än det i botten. Vid horisontellt flöde uppstår därför att kanalisering i övre delen av magasinet och luftflödet då blir ojämnt fördelat.

För det andra blir temperaturgradienten rätt med hänsyn till termiken i det vertikala magasinet, d v s man når en stabilare temperaturskiktning i bädden. Konvektiv omblandning kan ofta helt elimineras om lämplig stenstorlek väljs. Stenstorleken skall optimeras och väsentliga förhållanden som då måste beaktas är att stenarna väljs så stora att hålrummen inte får alltför små dimensioner emedan tryckfallet annars leder till onödigt stora effektbehov för fläktarna. Stenarna måste å andra sidan vara så små att de temperaturgradienter som uppträder i stenarna inte i alltför hög grad försvårar temperaturskiktningen. Materialet bör ha en snäv storleksfördelning. Porositeten i bädden kan visserligen minskas om stenar av olika storlek packas, men därvid uppstår risk för onödiga tryckfall och kanalbildning i delar av bädden.

För tryckfallet över stensbädden erhålls enligt Folke Petersson (2):

$$\Delta p_1 = L \cdot 150 \frac{(1-p)^2}{p^3} \frac{\nu \cdot u}{\phi^2 d_p^2}$$

$$\text{för } Re = \frac{d_p \cdot u}{\nu} < 20$$

$$\text{och } \Delta p_t = L \cdot 1,75 \frac{1-p}{p^3} \frac{p u^2}{\phi d_p}$$

$$\text{för } Re \geq 1000$$

$$\text{för } 20 < Re < 1000$$

$$\text{är } \Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_t$$

exempel: tryckfallet över en 2 m lång stenbädd (stendamm)

$$d_p = 0,05 \text{ m}, \phi = \frac{\text{ytan av en sfär med stenens volym}}{\text{ytan av stenen}}$$

$$= 0,6 \text{ vid ett luftflöde av } 1000 \text{ m}^3 \text{ och en tvärsnitts-} \\ \text{area av } 4,0 \text{ m}^2, \text{ lufttemperaturen är } 60^\circ\text{C.}$$

Man får:  $\nu = 18,9 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$

$$\mu = 20 \cdot 10^6 \text{ Pa s}$$

$$\rho = 1,06 \text{ kg/m}^3$$

$$p = \text{porositeten} = 0,55$$

För u gäller

$$u = \frac{1000}{3600 \cdot 4} = 0,07 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{0,05 \cdot 0,07}{18,9 \cdot 10^6} = 185$$

$$\Delta p_1 = 2 \cdot 150 \frac{(1-0,55)^2}{0,55^3} \cdot \frac{20 \cdot 10^6 \cdot 0,07}{0,6^2 \cdot 0,05^2} = 0,6 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_t = 2 \cdot 1,75 \frac{1-0,55}{0,55^3} \cdot \frac{1,06 \cdot 0,07^2}{0,6 \cdot 0,05} = 1,6 \text{ Pa}$$

$$\Delta p = 1,6 + 0,6 = 2,2 \text{ Pa}$$

Enligt amerikansk tillverkare (3) är dygnslagring det enda genomförbara vid stenslagring. Vid konsultationer med prof. Wettermark (KTH) verifierades dessa teorier. Vid lagring från sommar till vinter kommer en transmissionsförlust på 1 % per dag att tömma lagret på 100 dagar.

Vid en jämförelse med energilagring i vatten kan nämnas att vid samma lagringsvolym utgör stenmassan bara ca hälften medan det vid lagring i vatten utgör hela volymen. Värmekapacitiviteten hos vatten är dessutom mer än fem gånger så stor som hos järnmalm vilket innebär att vatten med hänsyn tagen till densiteterna ( $\rho_s = 5100 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_v = 1000 \text{ kg/m}^3$ ) teoretiskt kan lagra mer än dubbelt så mycket energi per lagervolymerhet. Värmeöverföringen mellan luft och järn är en betydande osäkerhetsfaktor som också talar mot järnmalmslagret. Det kan här nämnas att säsongslagring i vatten inte heller är en idealisk lagringsform p g a alltför stora transmissionsförluster.

För korttidslagring är enligt Wettermark (1) en stenstorlek på 5 cm vanlig, något som enligt ovan bör gälla alla stenarna i magasinet. För att få en tillräckligt hög värmeöverförings-hastighet krävs ett ganska stort luftflöde. Man kan även förvänta sig att energin som tillförs från fläktarna kan utgöra en betydande del i energibalansen. Fläktmotorerna bör därför placeras i luftströmmen.

De samband som gäller vid beräkning av stenlager har bl a beskrivits av Folke Petersson (2). För värmeavgivningen hos gaser gäller för en skiva

$$p q c_{p_1} (\theta_{1_1} - \theta_{1_2}) = \alpha A (\theta_{1_1} - \theta_{s_1}) + \text{transmissionsförluster} \quad (1)$$

där  $p$  = andel luft i bädden

$q$  = luftflödet i Kg/s

$c_{p_1}$  = värmekapacitiveteten för luft

$\theta_1$  = lufttemperaturen

$\alpha$  = värmeövergångstalet i  $W/m^2K$

$A$  = stenarnas totala area i skivan

$\theta_s$  = stentemperaturen

Den av stenarna upptagna värmen kan skrivas

$$M c_{p_s} (\theta_{s_1} - \theta_{s_2}) = A (\theta_{1_1} - \theta_{s_1}) \cdot \tau \quad (2)$$

$M$  = stenmassan

$c_{p_s}$  = värmekapacitiveteten för sten

$\tau$  = tiden

De båda ekvationerna (1) och (2) kan användas på varje skiva, vilket möjliggör beräkning av ingångsdata för nästa skiva samt temperaturfördelning inom varje sådan skiva. Dessa gäller endast korttidslagring av värme.

Genom databeräkningar kan optimala värden på solfångare i kombination med värmelager tas fram vilka endast gäller för dygns-lagring. På sommaren kan därför systemet användas för kylning av rummen, eftersom det periodvis kommer att bli oacceptabla inom-hustemperaturer under kontorstid. Eftersom värmelagret i det aktuella projektet dimensioneras för veckolagring kan nedkylnings-effekten sommartid endast komma till användning i det fall vecko-lagring i praktiken visar sig omöjlig att genomföra. För att undvika luktspridning från värmelagret till lokalerna, kan ett kolfilter placeras i tilluftskanalen efter lagret. Plats skall finnas reserverad härför.

### Solfångare och värmelager

Man kan tänka sig tre typer av ihopkoppling av frånluftsfönster och solfångare/lager.

- 1) Det ursprungliga föreslagna, d v s SO-SV-fasadernas frånluft går till solfångarna.  $V = 760 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- 2) NO-NV-fasadernas frånluft går till solfångarna.  $\dot{V} = 1200 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- 3) Samtliga frånluftsfönster kopplas till solfångarna.  
 $\dot{V} = 1960 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Rent principiellt bör den kallaste frånluften kopplas till solfångarna, d v s NO-NV, för att därigenom få upp dess temperatur och höja verkningsgraden på solfångarna. Blandningstemperaturen före lagret blir på detta sätt högre.

Eftersom vi nu uteslutit långtidslagring, finner vi det lämpligast att köra den totala frånluften genom solfångare. Detta innebär att vi får en större lagringskapacitet, ett större värmelager.

Enligt Solarons dimensioneringsprinciper för sina anläggningar, gäller först att det optimala luftflödet genom solfångaren är  $0,01 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ . Vidare gäller att den optimala lagringsstorleken ligger mellan  $0,15$  och  $0,23 \text{ m}^3/\text{m}^2$  solfångaryta. Detta ger följande beräkning gällande största lagerstorlek:

$$\dot{V} = 1960 \text{ m}^3/\text{h} = 0,54 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Solfångaryta} = A_s = \frac{0,54}{0,01} = 54 \text{ m}^2$$

$$\text{Lagervolym} = V_1 = 0,23 \cdot 54 = \underline{12 \text{ m}^3}$$

För att minimera tryckfallet över lagret skall detta inte vara djupare än 2,1 m. Minsta lagerdjup är 1,5 m.

Tumregler för beräkning av lagervolym gäller sten. Används järnmalm torde en mindre volym vara acceptabel med hänsyn till järnmalmens höga specifika värme.

Eftersom detta projekt söker erfarenheter vid försök med åtminstone veckolagring d v s laddning under lördag och söndag samt eventuellt ytterligare någon dag med värmeöverskott bör dock lagervolymen öka. Eftersom erfarenheter av långtidslagring till stor del saknas väljer vi en lagervolym av  $50 \text{ m}^3$  uppdelad i fyra olika fack för att möjliggöra en uppdelning av lagret om så skulle erfordras och för att få jämnare fördelning av luftflödet över hela lagret. Laddning kan dessutom eventuellt ske "fackvis".

På grund av att längre tids lagring än dygnslagring skall provas, är det lämpligare att använda en större solfångaryta än den för endygnslagring optimala.



Databeräkningar avseende våra indata ger följande intäckningar av värmebehovet gällande 48 solfångare (87 m<sup>2</sup>) vid 55 graders lutning.

|     |         |           |
|-----|---------|-----------|
| Jan | 19,2 %  | 1.894 kWh |
| Feb | 48,2 "  | 2.827 "   |
| Mar | 70,0 "  | 5.117 "   |
| Apr | 95,3 "  | 3.827 "   |
| Maj | 100,0 " | 3.087 "   |
| Jun | 100,0 " | 452 "     |
| Jul | 100,0 " | 462 "     |
| Aug | 100,0 " | 462 "     |
| Sep | 58,0 "  | 262 "     |
| Okt | 56,1 "  | 2.008 "   |
| Nov | 15,2 "  | 755 "     |
| Dec | 4,2 "   | 254 "     |

Summa 21.400 kWh

För att erhålla största möjliga effekt vintertid har lutningen på solfångarna optimerats till 55 grader.

Solfångarna placeras på sydöst- och sydvästväggarna på taköverbyggnader och läggs liggande i tre rader om åtta stycken i varje rad. Detta ger totalt 48 st solfångare på ca 87 m<sup>2</sup>.

Den optimala lagerstorleken relaterad till solfångarytan blir  $0,23 \cdot 87 = 20 \text{ m}^3$ .

#### Värmepump

Den delen av värmebehovet som inte täcks av solfångare och värmelager kommer att tillgodoses av en värmepump (exkl elektrisk tillsatsvärme för luftvärmare i rum och tappvarmvattenberedning).

|     |           |
|-----|-----------|
| Jan | 7.575 kWh |
| Feb | 2.689 "   |
| Mar | 0 "       |
| Apr | 0 "       |
| Maj | 0 "       |
| Jun | 0 "       |
| Jul | 0 "       |
| Aug | 0 "       |
| Sep | 0 "       |
| Okt | 1.188 "   |
| Nov | 3.838 "   |
| Dec | 5.412 "   |

Summa 20.702 kWh

Med en månadsvis varierande värmefaktor fås elenergiebehovet för värmepumpen.

|     |      |                |
|-----|------|----------------|
| Jan | 2,58 | 2.936 kWh      |
| Feb | 2,52 | 1.067 "        |
| Okt | 3,10 | 383 "          |
| Nov | 2,84 | 1.351 "        |
| Dec | 2,70 | <u>2.004 "</u> |

Summa 7.750 kWh

Observera dock att en eventuell energilagring från veckoslut ej har beaktats här.

#### Elenergiebehov för solfångarfläkt

Solfångarfläktar med 1.960 m<sup>3</sup>/h, 500 Pa tryckuppsättning och 60% fläktverkningsgrad ger ett effektbehov av 450 W. Med en drifttid av överslagsvis 2.000 timmar per år blir elenergiförbrukningen 900 kWh. Härvid har förutsatts att fläkten startas så snart solen är uppe med undantag av sommarhalvåret då minsta värmebehov föreligger.

#### Sammanställning energibehov alt. 1

|                                               |                |
|-----------------------------------------------|----------------|
| Värmepump                                     | 7.750 kWh      |
| Solfångarfläkt                                | 900 "          |
| Elektrisk tillsatsvärme för tappvarmvatten    | 2.650 "        |
| Elektrisk tillsatsvärme för luftvärmare i rum | <u>2.400 "</u> |

Summa ca 13.700 kWh

Det totala elenergiebehovet för det energisnåla alternativet blir ca 13.700 kWh/år. Hänsyn har härvid inte tagits till ett eventuellt krav på konstantflödesdon i de olika till-, från- och cirkulationssystemen.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780813-5 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Testologen AB, Solna**

**R66:1979**

**ISBN 91-540-3023-4**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600966**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirkapris: 15 kr exkl moms**