



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.



ÅKE HALLSTEDT

Stockholmsprojektet – överglasad gård och säsongslagring av värme

R30: 1993

Kv Höstvetet

R30:1993

STOCKHOLMSPROJEKTET - ÖVERGLASAD GÅRD OCH
SÄSONGLAGRING AV VÄRME
Kv Höstvetet

Åke Hallstedt

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
900928-4 samt 910343-0 från Byggforskningsrådet
till AIB Installationskonsult AB, Solna.

REFERAT

Kv Höstvetet, ett av sex experimenthus i det sk "Stockholmsprojektet" består av ett loftgångshus runt en överglasad gård och med en yttre gård mot det fria. Överskottsvärme i glasgården från solinstrålning och transmission under den varma årstiden tas till vara för uppvärmning och lagring i ett säsongslager i berg under huset. Under perioder då värme inte utvinns ur luften hämtas värme tillbaks via värmepumpar för att täcka husets uppvärmningsbehov.

I rapporten redovisas hur köpt energi används, men framför allt hur tekniken för värmelagring i berg med värmepump fungerar ihop med husets övriga installationer.

Resultaten visar att kv Höstvetet trots de många driftproblem som uppstått efter idrifttagningen 1986, är ett hus med låg energianvändning. Det årliga behovet av köpt energi till fastigheten och hushållen är ca 130 kWh/m² BRA. Vid jämförelse mellan i förväg beräknade värden och mätta resultat fås framför allt en betydligt större mått användning av fastighetsel. Den främsta orsaken till detta beror på stor elanvändning för att transportera värme inom byggnaden för att minska det totala behovet av värme. Dessutom blir den totala elanvändningen för urladdad energi ur lagret stor eftersom värmepumpar används både vid laddning och urladdning.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R30:1993

**ISBN 91-540-5562-8
Byggeforskningsrådet, Stockholm**

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING

1	INLEDNING	3
1.1	Bakgrund	3
1.2	Syftet med utvärderingen	4
1.3	Byggnads- och anläggnings- beskrivning	4
1.3.1	Husets byggnadsteknik	6
1.3.2	Glasgårdens byggnadsteknik	7
1.3.3	Klimatreglering av gården	7
1.3.4	Borrhålslagret	8
1.3.5	Installationsteknik	9
1.3.6	Areor	10
2	HYPOTES	11
2.1	Simulering	11
2.2	Glasgårdens bidrag till energi- användningen	13
2.3	Experimentåtgärdernas totala energibidrag	14
3	METODIK	14
3.1	Mätningar	14
3.1.1	Mätteknik	14
3.1.2	Kontroll och efterbehandling av mätdata	16
3.1.3	Felanalys	17
3.2	Driftstörningar och fel efter och i samband med idrifttagningen 1986	17
3.3	Utvärderingsmetoder	19
3.3.1	Exempel på utvärderingsmodell för funktion och felkontroll av köldbärarsystemet	20
4	ENERGIANVÄNDNING	24
4.1	Allmänt	24
4.2	Tillförd energi	24
4.2.1	Hushållsel	27
4.2.2	El till elpanna	28
4.2.3	El till värmepumpar	30
4.2.4	Fastighetsel till fläktar	30
4.2.5	Fastighetsel till tvättstugor	31
4.2.6	Fastighetsel till värmecentral	31
4.2.7	Övrig fastighetsel och el till motorvärmare	32
5	TOTAL KÖPT ENERGI FÖR FASTIGHETEN OCH HUSHÄLLEN	33
5.1	Jämförelse med andra hus	34

6	ENERGITRANSPORT INOM BYGGNADEN MED SÄSONGSLAGER.	37
6.1	Energitransport via värmepump vid i- och urladdning av säsongslagret	38
6.1.1	Systemets värmefaktorer vid olika driftfall	39
6.2	Energi ur gårds- och uteluft	42
6.2.1	Driftfall och funktionsbeskrivning	43
6.2.2	Elanvändning vid utvinning av värme ur gårds- och uteluft	44
6.3	Återvunnen energi ur bostädernas frånluft	46
6.4	Värmeutvinning ur avluft från bostäderna med värmepump	48
6.5	Till uppvärmning, tappvarmvatten och varmvattencirkulation	49
7	BORRHÅLSLAGRET SOM SÄSONGSLAGER	51
7.1	Driftproblem vid laddning och urladdning av lagret	51
7.2	Energi och temperaturnivåer i borrhålslagret	51
7.3	Alternativ strategi för laddning av lagret utan värmepumpar	53
7.3.1	Simuleringsberäkningar av energiförloppet i lagret	53
7.3.2	Ny driftstrategi för laddning av säsongslagret	55
7.3.3	Simulering av alternativ lagring	55
7.3.4	Total energianvändning för uppvärmning och tappvarmvatten 8905-9003. Jämförelse mellan mätta och simulerade värden för nytt laddningsalternativ.	59
8	FÖRSÖK ATT MINSKA ENERGIANVÄNDNINGEN FÖR VARMVATTENCIRKULATION, DELSTUDIE HÖSTEN 1992	64
8.1	Mätningens genomförande	65
8.1.1	Resultat	65
8.1.2	Åtgärdsförslag och besparing	69
9	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	72
	REFERENSER	74

FÖRORD

Kv Höstvetet är utan tvekan ett av de mer komplicerade experimenthusen i det sk Stockholmsprojektet.

Kv Höstvetet var inflyttningsklart våren 1986, men för min del började arbetet med utvärderingen först tre år senare, 1989 då jag anställdes på KTH i "Projektgruppen för energihushållning i byggnader", EHUB. I denna rapport redovisas bla hur köpt energi använts, men framför allt hur tekniken för säsongs-lagring av värme i berg fungerar ihop med husets övriga installationer. Förhoppningsvis tillför rapporten den intresserade läsaren något mer än "sådant som alla redan påstår sig veta".

En viktig lärdom är att, driftpersonalens måste ges tillräckliga möjligheter att förstå den installerade tekniken. Detta kan vara minst lika viktig som det förväntade värdet av de energitekniska finesser de är anställda att sköta.

Stockholm den 14:e December 1992

Åke Hallstedt

1 SAMMANFATTNING

Kvarteret Höstvetet ingår som ett av sex experimenthus i det sk Stockholmsprojektet.

Syftet med projektet har varit att genom mätningar studera olika experimentåtgärder i full skala för att få kunskap som kan leda till minskad energianvändning i flerbostadshus.

Eftersom även samspelet mellan människa och teknik är av intresse har inte syftet enbart varit att kontrollera hur de bygg- och installationstekniska åtgärderna samverkar. Fastighetens speciella utformning med lägenheter runt en överglasad gård, i samspel med ett mycket komplicerat energisystem, är också ett sociologiskt experiment.

Kv Höstvetet är ett "suncourthus", där överskottsvärme i en glasgård från solinstrålning och värmetransmission under den varma årstiden, tas till vara för uppvärmning eller lagring i ett säsongslager i berg. Den överglasade innergården fungerar som solfångare och ger de boende tillgång till en skyddad gård med bra klimat.

Under uppvärmningssäsongen laddas värme från det underliggande bergvärmelagret ur, värme överförs från lagret via värmepumpar för att täcka uppvärmningsbehovet i huset. Lägenheterna värms med förvärmad luft som vid behov eftervärms i lägenheterna. Tappvarmvatten och varmvatten till lägenheternas varmluftsaggregat går i samma ledningar. För att minska värmeförlusterna genom transmission har huset gjorts mycket välisolerat.

Rapporten grundar sig till största delen på mätdata insamlad under perioden april 1989 tom december 1990, då husets energisystem har fungerat tillfredsställande och tillförlitlig mätdata finns för utvärdering.

Trots att drifttagningsproblemen efter idrifttagningen 1986 med läckande värmepumpar, trasiga ventiler mm har varit många, är kv Höstvetet ett hus med låg energianvändning. Det är dock värt att notera att många av de driftproblem som uppstod kunde ha åtgärdats snabbare om driftpersonalen getts mer utbildning om energisystemet.

Det årliga behovet av köpt energi till fastigheten och hushållen i kv Höstvetet, ca 130 kWh/m² BRA och år är mindre än för ett statistiskt jämförelsehus i Stockholm som använder ungefär 190 kWh/m² BRA och år köpt energi. Simuleringsberäkningar med BRIS-programmet gav ca 90 kWh/m² BRA och år i köpt energi.

Vid jämförelse mellan i förväg beräknade värden och mätta resultat fås framförallt en betydligt större mätt användning av fastighetsel och el till en elpanna. Fastighetsel är den del av köpt energi som debiteras förvaltaren och inte är el till elpanna eller värmepump. Orsaken till den stora användningen av fastighetsel beror främst på en stor elanvändning för att transportera värme inom byggnaden för att minska det totala behovet av värme.

Det kombinerade systemet för tappvarmvatten och uppvärmningsvatten medför stora varmvattenflöden och därmed stora cirkulationsförluster under perioder med litet uppvärmningsbehov. Under ett sommardygn blir tappvarmvattnets andel endast ca 15-20 % av totalt varmvattenflöde ut till huset. Förluster vid varmvattencirkulation kommer under den varma årstiden inte bidra till husets uppvärmning utan måste ventileras bort. Endast en mindre del läcker ut till gården och kan återvinnas ur gårdsluften.

Vid de simuleringsberäkningar som utförts med BRIS-programmet har antagits att värmepumparna ensamma klarar av hela behovet för värmning av tappvarmvatten och uppvärmning. Elpannan är tänkt att användas endast under kortvariga toppbelastningar, vid låga utetemperaturer. Det kombinerade systemet med stora varmvattenflöden har dock medfört att elpannans drifttid blivit lång för att klara av att värma varmvatten till ca +52°C.

I jämförelse med kv Bodbetjänten med liknande systemlösning, förutom säsongslager är den totala nivån på köpt energi ungefär lika. Däremot är användningen av fastighetsel större än för kv Bodbetjänten. Köpt energi till hushållen är ca 28 kWh/m² BRA och år jämfört med 27 och 25 kWh/m² BRA och år för kv Konsolen och kv Bodbetjänten.

Den totala elanvändningen för att producera värme vid urladdning av borrhålslagret blir hög eftersom lagret till viss del är varmt med värmepumpsel. Värmepumparna används två gånger, både vid laddning och urladdning. Den höga elanvändningen beror också på stor eltillförsel till ett gårdsluftsaggregat och ett stort antal cirkulationspumpar som deltar i värmetransporten mellan byggnaden och lagret. Speciellt gäller detta vid driftfallet då värme utvinns ur uteluften med stor elanvändning till cirkulationsfläkten.

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Ett särskilt energiprogram för forskning och utveckling inom Stockholms stad upprättades 1981. Energiprogrammet utvecklades så småningom till ett ramavtal mellan Stockholms stad och Byggforskningsrådet (BFR), vilket bland annat medförde samfinansiering av vissa utvärderingsinsatser. Energiprogrammet syftade till att finna lösningar inom installations-teknik och byggnadsteknik som leder till effektivare energianvändning för bostäder inom Stockholms stad. På så sätt skulle de energipolitiska målen uppfyllas.

De riktlinjer som antogs för Stockholms energi-planering avsåg bland annat energihushållning och övergång till annan energiproduktion för att minska oljebehovet. Målet var att reducera oljebehovet för uppvärmning med 30 %.

Forskningsprogrammet omfattade sju ramprojekt, varav ett var "energismåla nya flerbostadshus" där experimentbyggnadsprojektet Stockholmsprojektet i huvudsak ingår.

De ideer och den teknik som utvecklades och provades i Stockholmsprojektet baserar sig på förslag som lämnades av ledande bygg- och konsultföretag i samband med de idetävlingar Stockholms stad utlyste 1981-1982 inför planeringen av bebyggelse på Södra stationsområdet och i Hansta. De förslag som då lämnades gällde såväl enkla, välkända komponenter, som komplexa system. Förslagen ställdes samman och presenterades som ett antal ideförslag. Ett av tävlingsförslagen var Suncourthuset från VBB AB.

Stockholms stad anvisade mark för byggande av sex experimenthus med låg energianvändning 1982.

Stockholmsprojektet har till stora delar finansierats av Byggforskningsrådet (BFR). Projektet genomfördes i samarbete mellan Stockholms stad, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) genom "Projektgruppen för energihushållning i byggnader" (EHUB) som svarat för utvärderingen och sex byggföretag som ansvarat för genomförandet av de olika tekniska experimenten.

Ett av experimenthusen, ett suncourthus i kvarteret Höstvetet i Hagsåtra byggdes på totalentreprenad av JM Byggnads- och Fastighets AB med VBB som huvudkonsult och utvecklingsansvarig.

Inflyttning i byggnaden påbörjades under våren 1986. Mätningar har pågått från maj 1986 tom december 1990.

1.2 Syftet med utvärderingen

Utvärderingen syftar till att med mätningar värdera experimentåtgärdernas bidrag till byggnadens totala energibalans, och hur köpt energi används.

Kännedom om hur tillförd och bortförd energi utnyttjas inom olika delar av huset under olika driftfall är av stor betydelse i ett komplicerat system som det i kv Höstvetet där samspelet mellan de många olika energibesparande åtgärderna är svårt att beräkna.

I kv Höstvetet är speciellt energibidraget från glasgården och energiutbytet mellan de olika energisystemen vid olika driftfall av intresse.

1.3 Byggnads- och anläggningsbeskrivning

Kv Höstvetet består av ett loftgångshus runt en överglasad gård och en yttre gård mot det fria. Byggnaden rymmer totalt 71 lägenheter varav 42 st tvåor, 17 st treor och 12 st fyror. 45 lägenheter finns kring glasgården och 26 lägenheter mot den yttre gården. Huset saknar källare men förråd finns på vinden.

Under huset finns ett borrhålslager för lagring av värme ur gårds- eller uteluft.

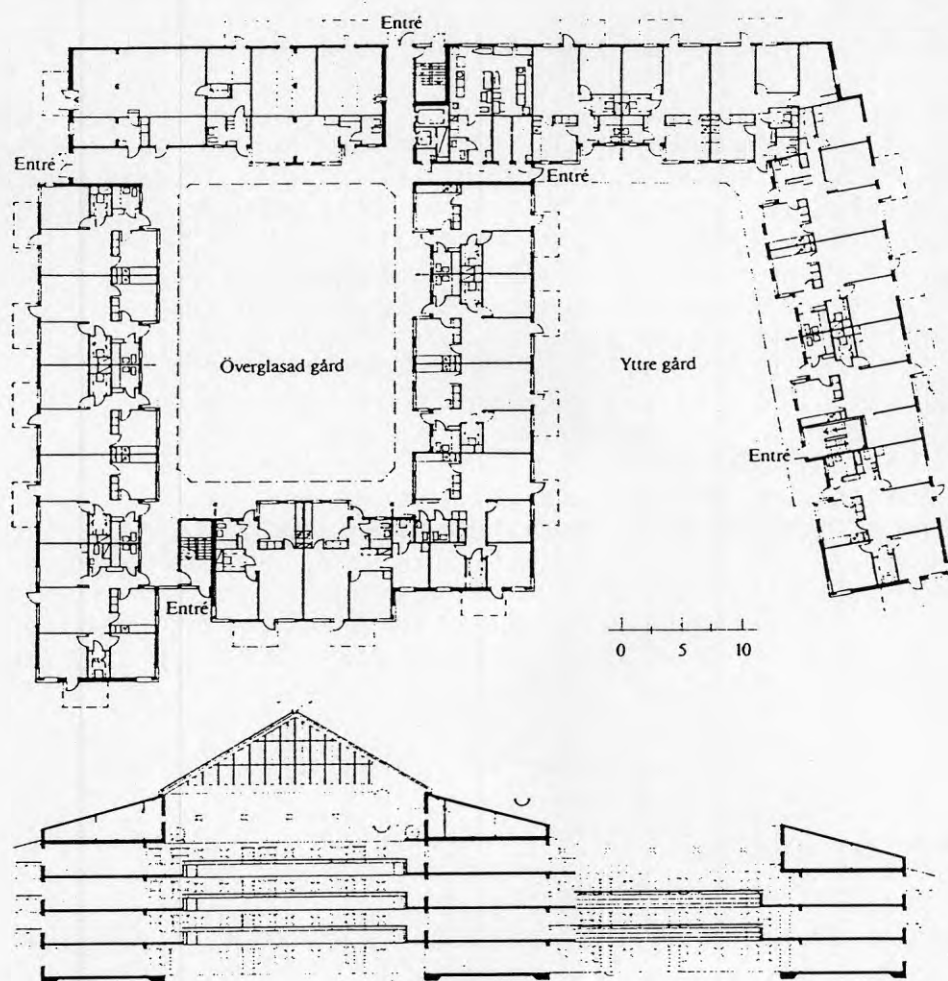


Fig 1.1 Kv. Höstvetet: sektioner och fasader
(Ref BFR, S:1986 (1))

Glasgården är tänkt att fungera som en solfångare. Gårdsvärmen tillvaratas vid gårdstemperaturer högre än $+18^{\circ}\text{C}$ för att bidra till husets uppvärmning och tappvarmvattenberedning. Överskottsvärme säsongs-lagras i ett borrhålslager.

Under den kalla årstiden beräknas gårdstemperaturen ligga ca 10°C över utetemperaturen. Cirkulations-aggregatet utnyttjas för att värma gården när temperaturen i vistelsezonen understiger ca $+4^{\circ}\text{C}$. Gården skall fungera som en vinterträdgård, vinter-gröna växter skall trivas.

1.3.1 Husets byggnadsteknik

Husets stomme är tillverkad av platsgjuten betong med lätta utfackningsväggar som ytterväggar. Bjälklagen är utförda som hålbjälklag för luft och värme-kanalisation.

Två typer av ytterväggar förekommer. Utfackningsväggarna mot glasgården är byggda på traditionellt sätt med träregelstomme och 145 mm mineralulls-isolering, med gipsskivor som ytskikt. Utfackningselementets U-värde är beräknad till $U=0.3 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Fasadskiktet består av 120 mm rött fasadtegel eller 10 mm Interit.

Mot det fria är utfackningsväggarna isolerade med 145 mm polyuretanisolering mellan gipsskivor. Fasadmaterialet är av rött tegel. Användandet av polyuretanisolering ger fasadelementet ett lågt U-värde ca $0.17 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Fasadelementen hängs upp utanför bjälklagskanten för att minimera köldbryggor, se figur 1.2.

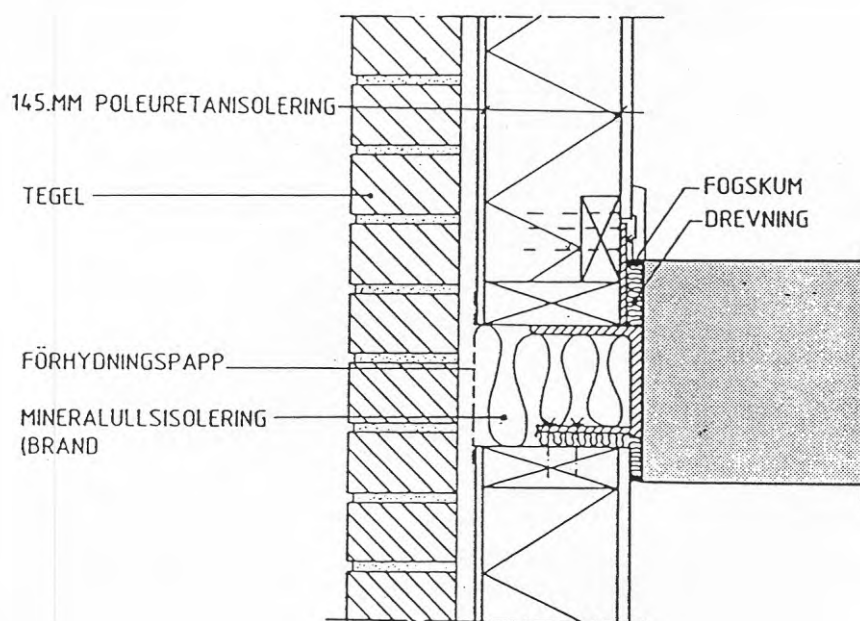


Fig 1.2 Vertikal sektion mot det fria av utfackningsväggens upphängning i bjälklagskant (Ref J. Kellner m fl (2))

Balkonger mot det fria är upphängda i endast två punkter för att undvika för stora köldbryggor. Utvändiga loftgångar är självbärande och skilda från fasaden medans loftgångarna mot den inglasade gården är av platsbyggd betong med intermittent isolering.

Fönster mot det fria är av 3-glastyp och mot den överglasade gården används 2-glasfönster med yttre rutan av specialglas mot brand.

Husets grund är utförd som platta på mark.

1.3.2 Glasgårdens byggnadsteknik

Glastaket är luftat, uppbyggt av tvåskikt 5 mm härdat glas på bärande stålprofiler. Takets U-värde är ca $3 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Dess lutning är 30 grader.

För rökventilation vid brand och för klimatreglering finns takluckor som styrs av en temperatur, regn och vindavkännande reglercentral. Dessutom används automatiskt styrda solskyddsgardiner för att minska solinstrålningen sommartid eller utstrålningsförluster vintertid.

1.3.3 Klimatreglering av gården

Temperaturen i gårdens vistelsezon beräknas vintertid bli minst $+10\text{°C}$ högre än utetemperaturen. Vid extremt låga utetemperaturer blir temperaturskillnaden högre men gårdstemperaturen beräknas aldrig understiga -6°C .

Lokala värmeförluster, solinstrålning, avskärmning och cirkulationsluftens temperatur bidrar till lokala temperaturvariationer.

Sommartid skall gården kylas med kall luft från ett cirkulationsaggregat tills gårdstemperaturen blir ca $+18\text{°C}$. Vid högre temperaturer då gårdstemperaturen i vistelsezonen överstiger $+22\text{°C}$ skall värmeventileras bort genom automatisk öppning av luckor i taket och tilluftsluckor i gårdsfasaden. Vid lägre gårdstemperatur än ca $+4\text{°C}$ i vistelsezonen skall gårdsluften värmas genom cirkulationsaggregatet för att utjämna temperaturskillnader inom gårdsvolymen.

För att minska solinstrålningen sommartid och värmeförluster vintertid eller vid låga utetemperaturer har solskyddsgardiner installerats i glastaket och i fasaden mot söder.

1.3.4 Borrhålslagret

Borrhålslagret används som ett säsongvärmelager där berget är det värmelagrande mediet. Lagrets volym är ca 26 000 m³ och består tillsammans med bergmassan av 25 st 80 m djupa hål, borrade i en kvastform med ett inbördes avstånd av 4 m vid ytan.

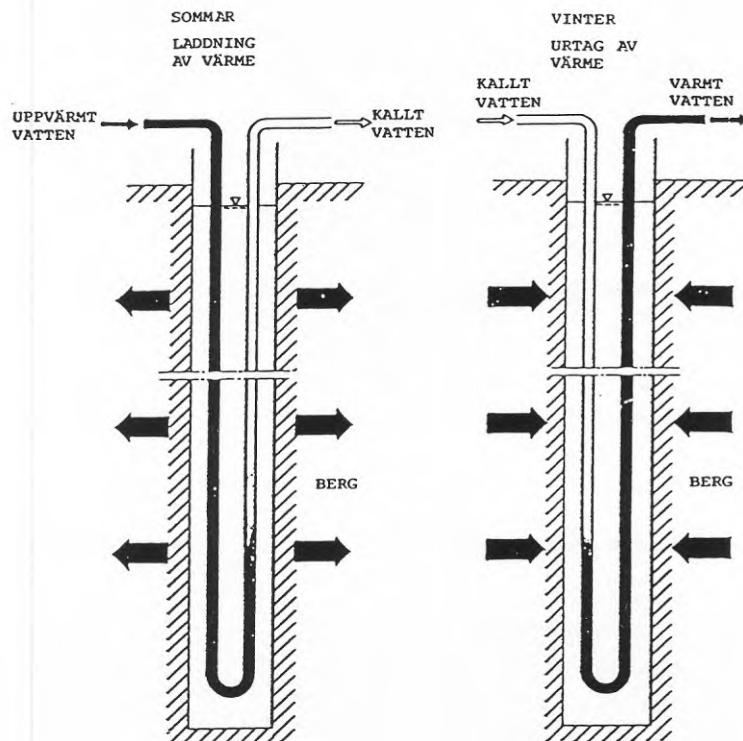


Fig 1.3 Principen för ett borrhålslagers funktion
(Ref J Kellner mfl(2))

I hålen cirkulerar vatten som beroende på sin temperatur i förhållande till bergets temperatur antingen upptar värme från eller avger värme till berget

1.3.5 Installationsteknik

Den uppvärmda glasgården fungerar som en passiv solfångare. Den av solinstrålning och genom värmetransmission från byggnaden ackumulerade värmeenergin höjer lufttemperaturen i glasgården i förhållande till uteluften.

Ett cirkulationsaggregat med utvinningsbatteri finns placerat på vinden. Värmeutvinningsbatteriet är kopplat till förångarsidan på husets värmepumpar. Sommartid vid höga gårdstemperaturer, högre än $+18^{\circ}\text{C}$ kyls den cirkulerande gårdsluften genom aggregatet och värme kan utvinnas. Vid lägre gårdstemperaturer än $+18^{\circ}\text{C}$ i gårdens vistelsezon hämtas värme ur uteluften så länge utetemperaturen överstiger $+6^{\circ}\text{C}$.

Värme från värmepumparna överförs genom värmeväxling i första hand till varmvattenackumulatorer för tappvarmvatten och värmedistribution. Vid driftfall då mer värme produceras än vad som används styrs värmeöverskottet till ett borrhålslager i berget. Vintertid eller vid driftfall då ingen värme kan hämtas ur luften laddas borrhålslagret ur, dvs värme ur det varma berget överförs genom det kallare cirkulerande köldbärarmediet till värmepumparna.

En elpanna är installerad efter varmvattenackumulatorerna för att klara eventuella toppbelastningar vid höga värmebehov. Elpannan är överdimensionerad för att ensam klara hela uppvärmningsbehovet.

Lägenheterna värms med luftburen värme. Tilluften distribueras med ett FTX-aggregat och eftervärms vid behov i lägenheternas varmluftsaggregat. Förvärmad tilluft leds via ingjutna kanaler till don infällda i golvet under fönstren. Vid uppvärmningsbehov återförs en del av lägenhetsluften till lägenheternas varmluftsaggregat. Luft från kök och våtutrymmen tas inte som återluft. Varmvatten till varmluftsaggregaten och tappvarmvatten till lägenheterna går i gemensamma ledningar av koppar för att klara syresatt vatten.

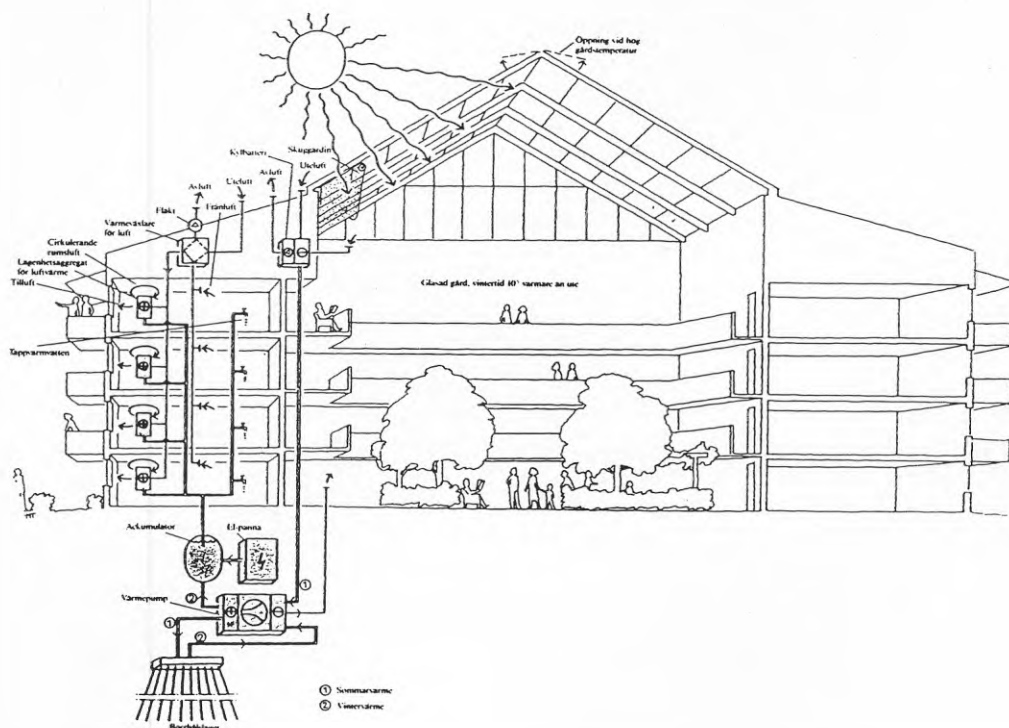


Fig 1.4 Energisystemet i kv. Höstvetet
(Ref BFR, S:1986 (1))

1.3.6 Areor

För att kunna göra en jämförelse av energiförbrukningen mellan olika byggnader inom Stockholmsprojektet relateras redovisningen till vissa normerade byggnadsareor inom husen. Dessutom måste hänsyn tas till att byggnaden är uppdelad i en del mot glasgården och en del mot det fria.

De ytnormerade energierna i redovisningen grundar sig på hela byggnadens bruksarea (BRA) 7265 m² där inte glasgårdens yta som är 700 m² ingår.

Den primära bruksarea (BRAp) som avser utrymmen för boende är för bostäderna kring glasgården 3472 m² och för delen mot den yttre gården 1789 m².

2 HYPOTES

2.1 Simulering

För simuleringberäkningar för energi och effektbehov har dataprogrammen DEROB, BRIS och VEP använts. Beräkningsresultaten från de olika simuleringarna visar värden med god överensstämmelse. Flera olika parameterstudier med hänsyn till husets geometriska form (med eller utan glastak) och olika driftfall vid dimensionering av värmepumparna har gjorts.

Vid beräkningarna har väderdata för uppvärmnings-säsongen 1971 från SMHI använts. Beräknade värden har redovisats månadsvis. Beräkningarna redovisar endast husets värmebehov. Tillskott av värme från hushållsel och tappvarmvatten beräknas utifrån antagna värden.

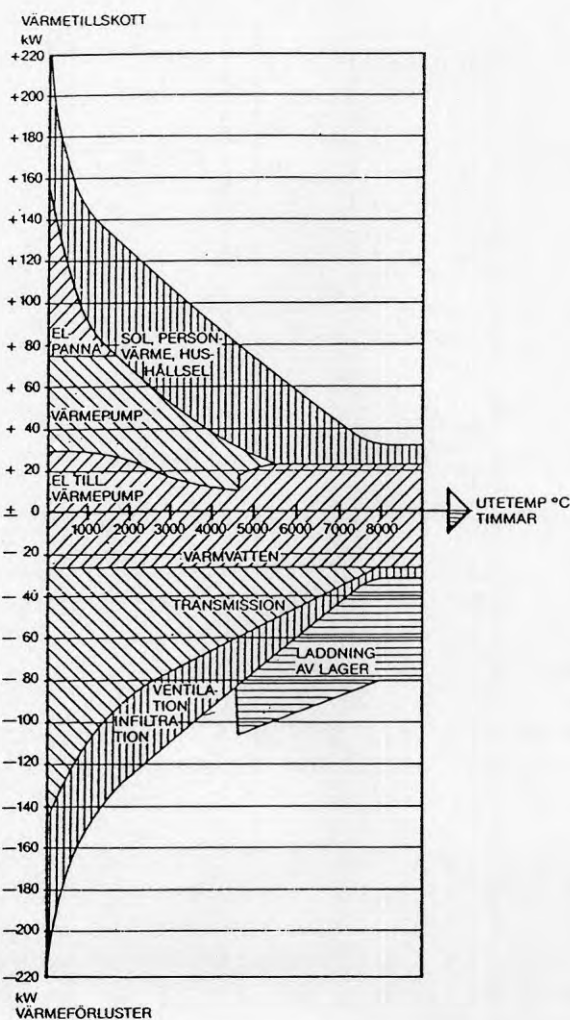


Fig 2.1 Simulerat effektvaraktighetsdiagram för Suncourthuset (Ref J Kellner (2))

Effektvaraktighetsdiagrammet visar att simuleringsberäkningarna tar hänsyn till att huset är extremt välisolerat och kan tillgodogöra sig gratisenergi i form av värmetillskott från sol- och personvärme samt värme från hushållsel. Vid simuleringsberäkningar gjorda med BRIS har antagits att värmepumparna med värmefaktor 3,0 ensam klarar att täcka behovet av uppvärmning och tappvarmvattenberedning.

Vid laddning av lagret antas värmefaktorn vara 4,0 pga mer fördelaktiga temperaturförhållanden.

Det totala behovet av köpt energi inklusive hushålls och fastighetsel har beräknats till ca 92 kWh/m² BRA och år.

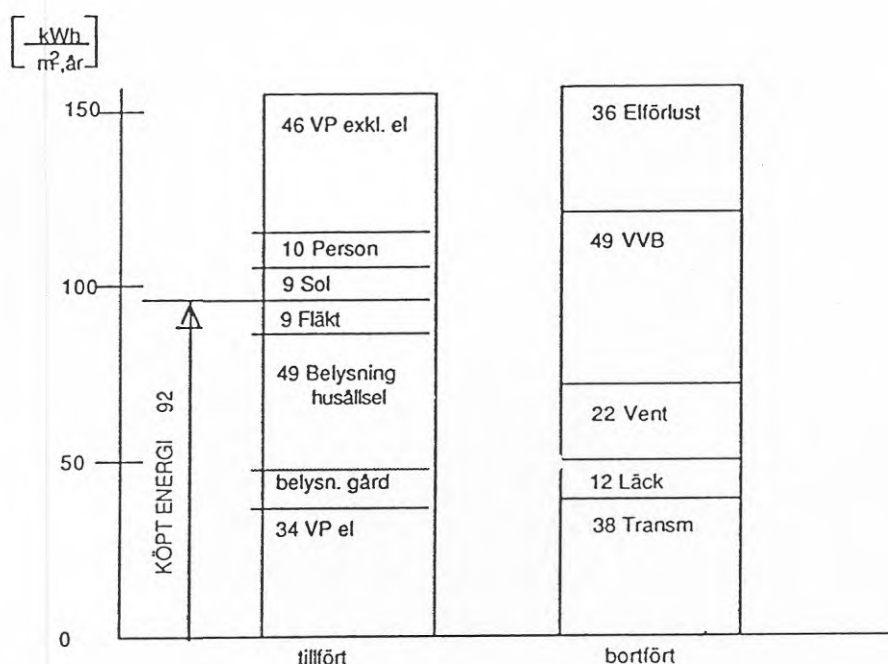


Fig 2.2 Simulerad balans av total energiförbrukning 1/1 - 31/12 1971, kv. Höstvetet (2)

Av fig 2.2 framgår att hushåll och belysning använder ca 35 kWh/m² BRA och år.

Som fastighetsel till värmepumparna används 34 kWh/m² BRA, år och som övrig fastighetsel till fläktar och gårdsbelysning 9 respektive 14 kWh/m² BRA, år.

En anledning till det låga uppvärmningsbehovet är att den största delen av energianvändningen för hushållsel samt värmetillskott från sol och personvärme, ca 54 kWh/m² BRA och år beräknas komma huset till godo.

Utöver köpt energi, ca 670 MWh tillförs huset återvunnen energi från värmepumpar ur borrhålslager och glasgård (tillvaratagen solvärme, transmissionsförluster till glasgården, belysningsvärme mm), tillförd personvärme, värme från installationer samt återvunnen energi ur frånluft.

Total tillförd energi beräknas uppgå till ca 1140 MWh, (157 kWh/m² BRA och år).

Redovisning av beräknade energiflöden simuleringsåret 1971 (MWh):

ur lager till VP:ar	150	} 543
ur gårds/uteluft till VP:ar	200	
el till VP:ar samtliga driftsfall	193	
el till Elpanna	0	
övrig drivel	58	
till lager fr. VP:ar	160	

Totalt producerar värmepumparna 543 MWh värme, varav 383 MWh används till uppvärmning och tappvarmvatten.

Värmepumparnas medelvärmefaktor för perioden blir, räknat på andelen energi till uppvärmning och tappvarmvatten $(543-160)/193=2,0$

2.2 Glasgårdens bidrag till energianvändningen

Energitillskott från solinstålningen, värmeförluster från omgivande bostäder och belysning skall kunna ackumuleras i gården och på så sätt skall gården ha en positiv inverkan på husets uppvärmningsbehov.

Vid höga temperaturer i gården skall husets värmepumpar kunna tillvarata värmen ur luften och kyla gården. Denna värme skall främst användas för tappvarmvattenberedning och uppvärmning av bostäderna. Vid värmeöverskott lagras energin i säsongslagret.

Enbart glastaket beräknas bidra med en minskning motsvarande ca 3% av köpt energi under ett år. Dock måste inverkan av hela systemet med värmepumpar, säsongslager och glasgård beaktas.

2.3 Experimentåtgärdernas totala energibidrag

Experimentåtgärdernas bidrag (värmelager, värmepumpar och glastak över gård) beräknas motsvara ca 20% av den totala energianvändningen. Räknat på köpt energi utgör experimentåtgärdernas andel ca 35%.

Då säsongslagret tillförs energi under årets varma period, kommer behovet av köpt energi över året att utjämnas eftersom mindre energi behöver köpas under höglasstid.

3 METODIK

3.1 Mätningar

Installation av mätgivare, insamling av mätdata som timmedelvärden och timsummor, kontroller av mätgivare har gjorts av Mätcentralen för Energiforskning vid Tekniska högskolan i Stockholm (MCE).

Kontroller av mätgivare har gjorts vid flera tillfällen under mätperioden 1986-1990, den sista så sent som i april 90.

Under mätperioden maj 1986 tom december 1990 har över 7 miljoner mätvärden insamlats från ca 180 fast installerade mätgivare i byggnaden. En stor del av insamlade mätdata från tiden före mars 1989 är dock ej meningsfull att utvärdera pga de många driftproblem som upptäcktes vid idrifttagningen 1986 och 1987.

Vid utarbetandet av mätprogram, speciellt när det gäller placering av givare i systemen, har målsättningen varit att mätdata och beräknade energier skall kunna kontrolleras mot en referens. En referens kan exempelvis fås genom att jämföra mätta värden med beräknade i en energibalansanalys över tex en värmväxlare. Ett annat sätt är att utrusta mätpunkten med två stycken mätgivare för en jämförande kontroll av mätdata.

3.1.1 Mätteknik

Mätgivare var anslutna till en datoriserad mätstation, typ HEWLETT PACKARD 86.

Mätdata registrerades antingen som antal pulser via en pulsräknare avlästa var 12:e minut och lagrade som timsummor eller som analoga signaler via en systemvoltmeter lagrade som timmedelvärden. Antalet registrerade pulser i mät datorn motsvarar en viss energimängd.

Pulser avges från elmätare och flödesmätare för vätska. Elenergi mäts med elmätare med total onoggrannhet ej överstigande $\pm 3\%$. Total onoggrannhet vid beräkning av vätskeburen energi beräknas vara mindre än $\pm 5\%$.

Analog signaler avges vid temperaturmätning och luftflödesmätning. Temperaturgivare har en onoggrannhet mindre än $\pm 0.06^\circ\text{C}$.

Mätning av luftflöden har utförts genom tryckdifferensmätning med fasta mätdon i ventilationskanalerna. Onoggrannheten vid luftflödesmätning kan bli hög, ca $\pm 10\%$ i mätpunkter där tillräckliga raksträckor före och efter mätdonen saknas.

Den datoriserade mätstationen är utrustad med ett kontrollmotstånd med en onoggrannhet som understiger $\pm 0.2\%$ (± 0.2 ohm). Kontrollmotståndets mätvärde är ett mått på mätstationens onoggrannhet.

Kompletterande mätningar har också utförts på plats. Vid dessa mätningar, som utförts som momentanmätningar, har statiska- och dynamiska tryck över fläktaggragat, komponenter och kanalsystem mätts. Mätningar av aktiv och skenbar effekt har gjorts på fläktmotorer och cirkulationspumpar.

Vid mätning av statiska- och dynamiska tryck har prandtlrör och mickromanometer av typ SWEMAMAN använts. Tryckmätningens totala onoggrannhet beräknas vara lägre än $\pm 5\%$. Hänsyn har inte tagits till skillnader i kanalarea före och efter fläkt vid mätning av den statiska tryckökningen över fläkten. Effektmätning har gjorts med tånginstrument ITT MX200 med en onoggrannhet understigande $\pm 5\%$ och en upplösning på 1 W. Instrumentet registrerar även spänning, ström och effektfaktor.

3.1.2 Kontroll och efterbehandling av mätdata

För kv Höstvetet finns mätdata lagrade som timmedelvärden från maj 1986 tom december 1990.

Funktions- och givarkontroller har gjorts för de olika energisystemen för att kontrollera insamlad mätdatas tillförlitlighet. Först efter en sådan kontroll kan kända fel korrigeras för, tex uteblivna mätdata, avvikelser i onoggrannhet mm för att ge ett riktigt underlag för beräkningar.

På grund av att de många tekniska problem, som upptäcktes i samband med idrifttagningen 1986-1987 blev åtgärdade så sent som hösten-88 och våren-89 har tillgången på tillförlitliga mätdata blivit begränsad till perioden april 1989 tom december 1990.

En omfattande kontroll av mätgivare gjordes i juni 1989. Vid denna kontroll demonterades ett stort antal givare för kalibrering. Montering efter kalibrering dröjde till september samma år, mätdata för en del av mätperioden 1989 saknas därför.

Vid kontroll av mätt elförbrukning i kv Höstvetet våren 1990 upptäcktes fel på strömtransformatorerna till elmätarna för värmecentral, tvättstuga 1 och en del av hushållen. Dessa fel åtgärdades i maj 1990. Tvättstugornas elanvändning från tiden innan felet åtgärdades korrigerades med en faktor som tar hänsyn till förhållandet mellan elförbrukningen i tvättstuga 1 och 2 efter maj 1990. Antagandet att förhållandet mellan tvättstugornas elanvändning är konstant antas gälla. Felaktig mätdata för el till värmecentralen korrigeras på liknande sätt med en faktor som tar hänsyn till förhållandet mellan elförbrukningen före och efter att felet åtgärdades. (användningen av el för perioden 89.06.01-89.10.31 jämförs med perioden 90.06.01-90.10.31)

Rekonstruering av mätdata för perioder då timvärden saknas har varit omfattande.

Vid beräkning av dygnssummor eller månadssummor för perioder då mätvärden under enstaka timmar saknas, ersätts uteblivna mätvärden med medelvärdet för den aktuella perioden. Då enstaka mätgivare ger felaktiga mätdata eller inga alls kan ibland "luckor" i mät-datan korrigeras med värden från energianalyser över delsystemen. Vid avbrott på mätdatainsamlingen, då inga mätdata registrerats (har inträffat vid ett flertal tillfällen 1990) kan inte uteblivna mätdata återskapas genom jämförande energibalansberäkningar. Vid summering av timvärden till månadsvärden beräknas uteblivna mätdata som medelvärdet under en längre period.

3.1.3 Felanalys

För att beräkna felets storlek för en längre period är det viktigt att tillgängligheten på mätdata är god.

Under perioden 8905 tom 9012 har regelbundna avbrott i mätdatainsamlingen uppstått. Under denna period är mätdatabortfallet ca 21 % , dvs under drygt en femtedel av tiden har inga mätdata samlats in . Det längsta avbrottet, har varit ca 30 dygn (april månad 1990). För ett tjugotal mätpunkter saknas dessutom mätdata för ytterligare ca 80 dygn. För dessa blir bortfallet större än 50 %

Som krav på mätpunkternas noggrannhet skall följande felgränser gälla:

Temperaturer	+/- 0.1 K
Vätskeflöden	+/- 2 %
Elenergi	+/- 2 %
Vätskeburen energi	+/- 5 %
Luftburen energi	+/- 10 %

Det stora mätdatabortfallet i anläggningen i olika delar av systemet under längre perioder medför svårigheter att genom felanalys beräkna felets storlek.

3.2 Driftstörningar och fel efter och i samband med idrifttagningen 1986

Vid inflyttningen våren 1986 uppstod problem med för låga varmvattentemperaturer ut till huset.

Vid ombyggnaden sommaren 1988 upptäcktes att värmeväxlaren mot borrhålslagret förväxlats med värmeväxlaren mot ackumulatorerna.

Elpannan har fungerat dåligt. Ofta var den i drift under perioder då inget värmebehov fanns, eller också löste den ut när den behövdes.

Värmepumparna har haft freonläckage och driftsvårigheter under vår och höst vid minskande värmebehov.

Från inflyttningen februari 1986 fram till 1987 har man haft problem med uppvärmningen pga felaktiga reglerventiler till varmluftsaggregaten. Reglerventilerna har inte tålt färskvatten, vilket förekommer i kv Höstvetet eftersom varmvatten till uppvärmning och tappning transporteras i gemensamma ledningar.

Under sommaren och hösten 1988 skedde en ombyggnad av uppvärmningssystemet i värmecentralen.

Driftstörningar och fel i VVS-anläggning 1988-1989

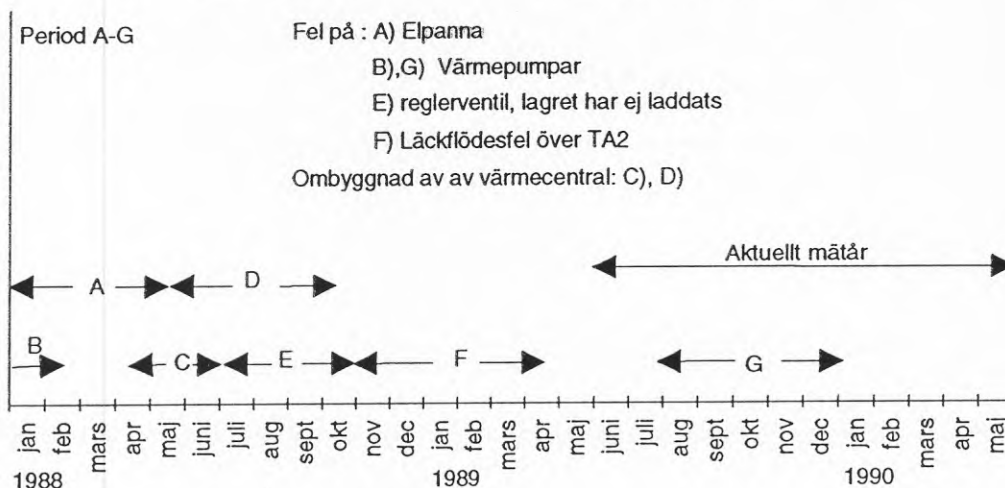


Fig 3.1 Driftstörningar och fel i VVS-anläggning 1988-1989. Se även fig 6.5

Period A: Elpannan fungerar dåligt

Period B: Värmepumparna är avstängda för att komma till rätta med problemen med freonläckage och driftsvårigheter vid varm väderlek.

Period C: Ombyggnad i värmecentral. Värmeväxlare VVX1 mellan elpanna och varmvattensystem byts ut (har ej tålt fårskvatten) och skiftar plats med värmeväxlare VVX11 mot värmeväxlare VVX2 som skall överföra värme från värmepumparna till varmvattensystemet installeras. Nya VVX1 (gamla VVX11) samt elpanna med ny ackumulator kopplas så att spetsning av utgående varmvatten kan ske vid behov. Se fig 3.2 och 6.5

Period D: Inkoppling av elpanna med ackumulator slutförs. Elpannan repareras och förses med en för pannan avsedd patron.

Period E: Fel på reglerventil SV21 som styr brineflödet antingen från värmelagret eller utvinningsbatteriet TA2 mot värmepumparna, har inte hållit för tryckdifferens i stängt läge.

Under laddningssäsongen ca 5 månader har endast en bråkdel av tillgänglig laddenergi kunnat laddas ned i borrhålslagret. Detta har medfört att man under urladdningssäsongen på mycket kort tid "plockat tillbaks energin" och kylt ned lagret.

Period F: Läckflödet över kylaggregat TA2 gick i fel riktning. Detta medförde att reglerventil SV21 inte öppnade fullt mot värmeutvinningsbatteriet trots höga utemperaturer våren 1989.

Period G: Värmepump 1 avställd.

3.3 Utvärderingsmetoder

För att kunna beskriva hur energin används inom och mellan olika samverkande installationer i kv Höstvetet måste energisystemet delas upp i delsystem och studeras för de olika driftfall som inträffar.

Det komplicerade systemet beskrivs enklast genom energiflödesdiagram typ Sankeydiagram.

Den omfattande mätdatainsamlingen är inte bara en hjälp för analysarbetet. För att analysera funktionen och samtidigt få en kontroll på mätgivares tillförlitlighet, dvs i vilken utsträckning mätdatan är användbar, har olika driftfallsstudier utförts.

Följande system, funktioner, energiflöden etc har studerats genom analyser av mätdata:

- * Beräkning av systemets medelvärmefaktor vid i- och urladdning av borrhålslagret.
- * Värmepumparnas värmefaktorer vid olika driftfall
- * Driftfallsstudier för glasgårdens cirkulationsaggregat (TA2).
- * Driftstrategier och studier av energiflöden i köldbärarsystemet vid i- och urladdning av borrhålslagret
- * Energiförbrukning för uppvärmning och tappvarmvatten uppdelat på bostäder kring glasgård och bostäder mot yttre gård.
- * Återvinning av värme ur frånluft från lägenheterna. Verkningsgrad över värmeväxlare i FTX-aggregat för bostadsventilation.

I detta kapitel beskrivs kortfattat ett exempel på en utvärderingsmodell för funktions- och felkontroll av köldbärarsystemet map driftstrategier och energiflöden. Detta är på inget vis en fullständig utarbetad metod men till god hjälp vid analyser av komplicerade driftförhållanden.

3.3.1 Exempel på utvärderingsmodell för funktions- och felkontroll av köldbärarsystemet

Bestämning av driftfallstyp

(Systemschema se fig 3.2)

Reglerventilen SV21 står i fullt öppet läge mot värmeutvinningsbatteriet i gårdsluftsaggregatet TA2 eller borrhålslagret beroende på var mest värme finns att hämta till värmepumparna.

Ett mindre läckflöde passerar genom återvinningsbatteriet när utetemperaturen är högre än + 2°C och läckflödets temperaturhöjning inte överstiger 2°C över batteriet.

Om brineflödet från värmepump 1 eller 2 är större än läckflödet genom återvinningsbatteriet skall datorn ge utskriften " vinterfallet= värmetransport fr. lager " i annat fall ges utskriften " sommarfallet = värmetransport fr. värmeåtervinningsbatteri "

Mätdata-, funktionskontroll och energianalys - "vinterfallet"

- *Under en lång period har flödesmätaren för köldbärarflödet från värmepumpar till borrhålslager gett felaktiga värden. Om detta flöde vid "vinterfallet" är mycket litet eller noll och värmepumparna är i drift kontrolleras framlednings- och returtemperaturer till borrhålslagret.
- *När framledningstemperaturen avviker från returtemperaturen kontrolleras och beräknas flödet genom jämförelse med den mätta summan av delflödena genom värmepumpar och återvinningsbatteri.
- *Avviker mätt flöde till borrhålslagret mer än $\pm 10\%$ från summan av delflödena ges utskriften " fel flödesbalans " vinterfallet ". I vissa fall kan en ny bestämning av driftfallstyp behöva göras med flödesanalys i systemet.
- *Vid beräkning av urladdad energi från borrhålslagret har mätdata från den felaktiga flödesmätaren kunna ersättas av mätdata från den flödesmätare som mäter brineflödet ut från lagret.
- *Då brinens framledningstemperatur vid urladdning är lägre än returtemperaturen från lagret och flödesmätaren ger orimligt små värden ges utskriften " fel på flödesmätare, köldbärare till borrhålslager "
- *I de fall framledningstemperaturen är högre än returtemperaturen ges utskriften " visar temperaturgivare på fram- och returledn. rätt ?"
- *Om framledningstemperaturen till värmeutvinningsbatteriet (TA2) är högre än returtemperaturen ges utskriften " läckflöde genom kylbatteri i fel riktning ". Läckflöde i fel riktning medför att skillnaden mellan framlednings- och returtemperatur blir negativ vid kylning av luft.

Reglerventil SV21 skall öppna fullt mot värmeutvinningsbatteriet då läckflödets temperaturhöjning blir $+2^{\circ}\text{C}$ genom batteriet.
En stor del av laddningssäsongen kan gå förlorad.

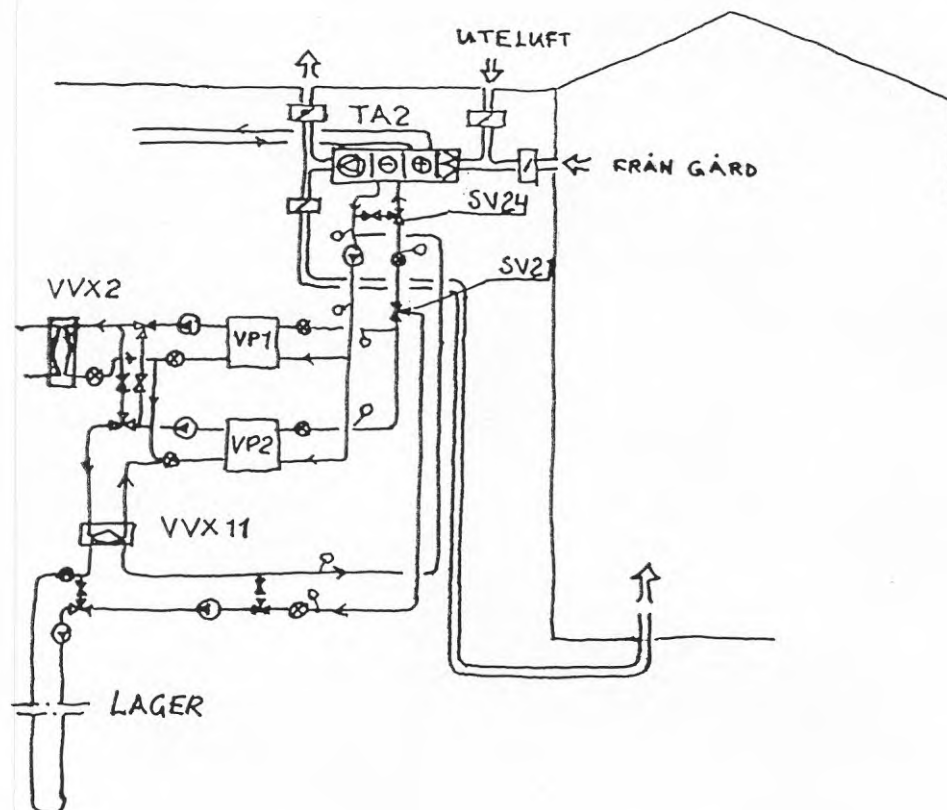


Fig 3.2 Systemschema som använts vid utvärderingen, visar principen för återvinning av värme ur gårdsluft samt laddning och urladdning av borrhålslager via värmepumpar. Se även fig 6.5

Mätdata-, funktionskontroll och energianalys " sommarfallet "

- *Avviker köldbärarflödet genom återvinningsbateriet (TA2) mer än $\pm 10\%$ ges utskriften " fel flödesbalans sommarfallet "
- *Vid tillfällena då gårdsluftsaggregatets värmebatteri värms med varmvatten ges utskriften " samtidig värmning och kylning av luft "
- *Om köldbärarens temperatur före värmepumparna är lägre än temperaturen efter ges utskriften " fel temperaturgränser sommarfallet "

*Är dessutom samtidigt köldbärarens temperatur efter återvinningsbatteriet lägre än före batteriet blir utskriften " nedkylning brine, reglerventil SV24 står i bypassläge "

Resultat

Resultat presenteras i form av datautskrifter tex som ovan som felutskrifter. Energier beräknas antingen som tim-, dygns- eller månadssummor. Dessutom anges driftfallstyp, tidpunkt för avbrott i mätdata-insamling och sk "odefinierade mätdata". På sidan 45, figur 6.6 redovisas ett exempel på en resultatutskrift vid analys av systemets värmefaktor vid olika driftfall.

4 ENERGIANVÄNDNING

4.1 Allmänt

Energisystemet i kv Höstvetet består av flera, under olika driftfall samverkande delsystem.

För att kunna beräkna och beskriva byggnadens energibehov måste användningen av tillförd energi i huset studeras. I kv Höstvetet, med sitt komplicerade energisystem måste energiflödestransporten följas genom energibalansstudier. I detta kapitel kommer att visas hur tillförd energi används och hur all energi som tillförs byggnaden kommer att bortföras som förluster. Tillförd energi är i detta fall köpt elenergi och återvunnen energi till fastigheten och hushållen.

Tillförd energi och hur denna energi används redovisas som månadssummor mellan 1989.06.01 och 1990.03.31 i fig 4.1 och som summa för hela perioden i fig 4.2.

För april månad 1990 saknas mätdata men fastighetens elförbrukning har beräknats ur fakturaunderlag från energiverket. Hushållens elförbrukning för samma period blir svårare att rekonstruera eftersom varje lägenhet har sin egen debiteringsmätare.

Köpt energi redovisas som en summa för perioden 1989.06.01-1990.05.31 eller som månadssummor mellan 1989.06.01 tom 1990.10.31. (fig 5.1 och 5.2))

Perioden **1989.06.01-1990.05.31** benämns fortsättningsvis i rapporten som **det aktuella mätåret**.

4.2 Tillförd energi

Tillförd energi till kv Höstvetet består av köpt elenergi och återvunnen energi som används av hushållen och fastigheten eller lagras i säsongslagret.

Köpt elenergi används som el till värmepumpar och elpanna, el till hushållen, fastighetsel till fläktar, tvättstuga och övrig el till hissar, trappor och gårdsbelysning, sopkvarn mm. Köpt elenergi till hushållen används framförallt till köksutrustning och belysning.

I återvunnen energi ingår värme ur frånluft, återvunnen värme från installationer som kommer huset till godo under uppvärmningssäsongen, värme ur gårds- och uteluft och värme från borrhålsdraget. Den återvunna energin tillförs huset för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten.

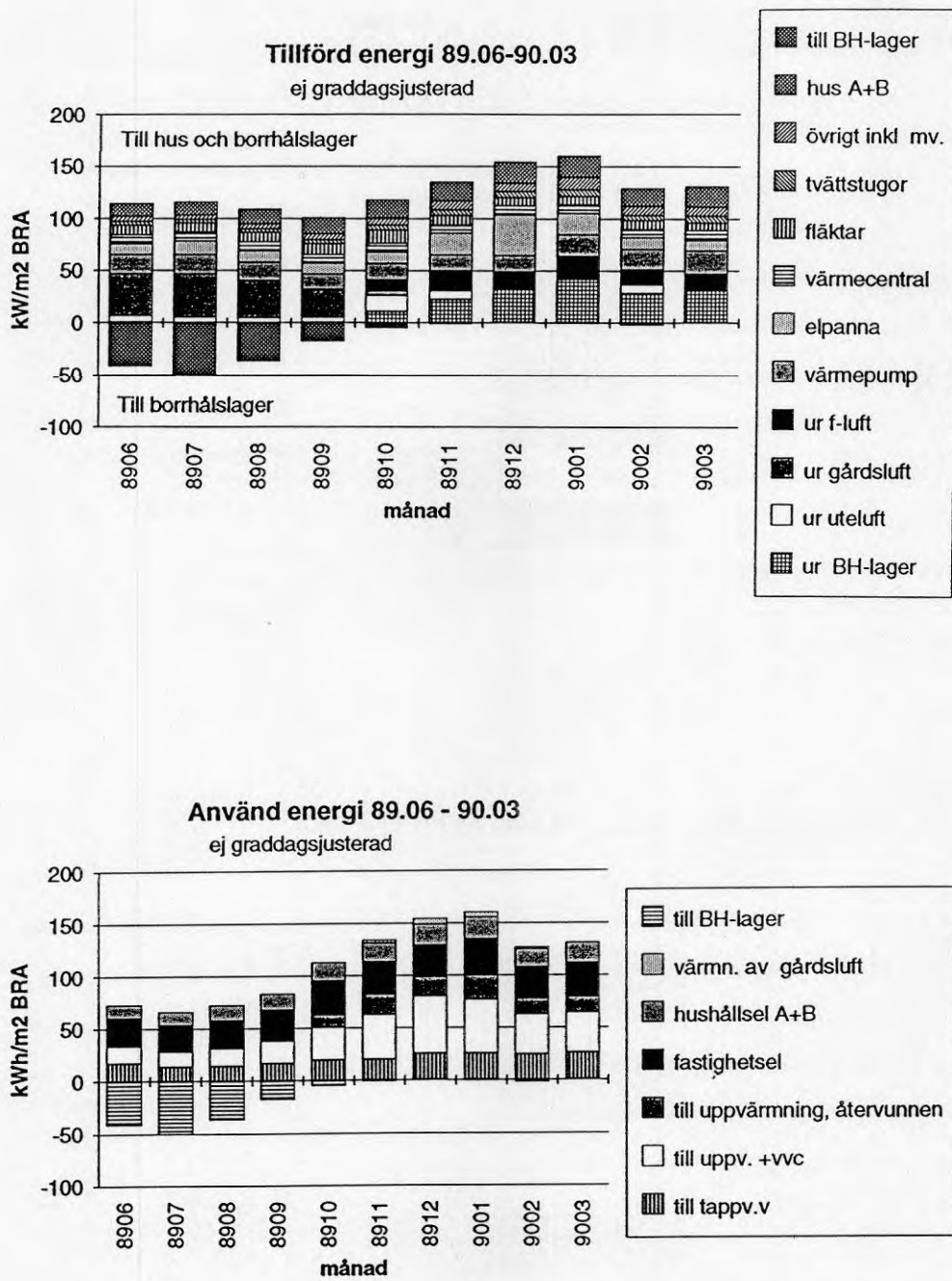


Fig 4.1 Tillförd energi och hur denna energi används under perioden 89.06.01-90.03.31 (Mätdata saknas för april-90)

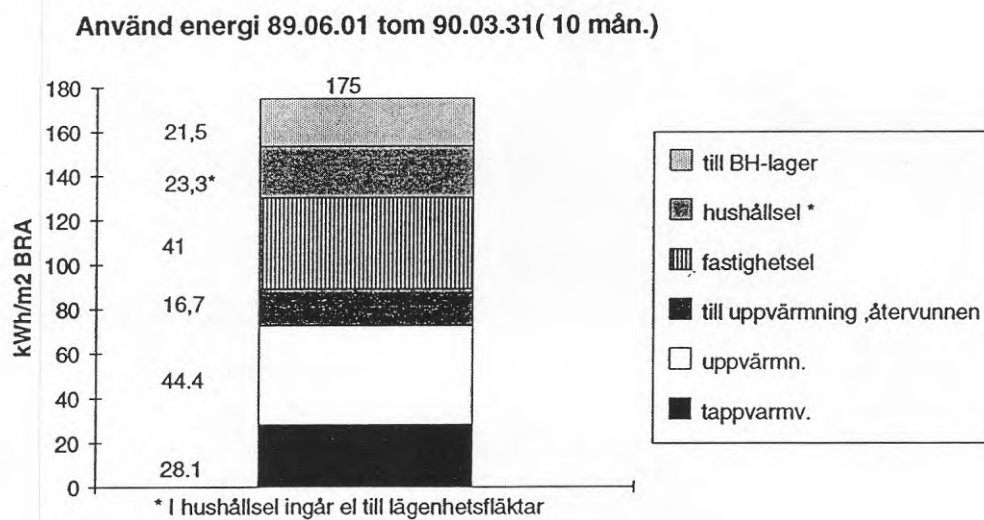
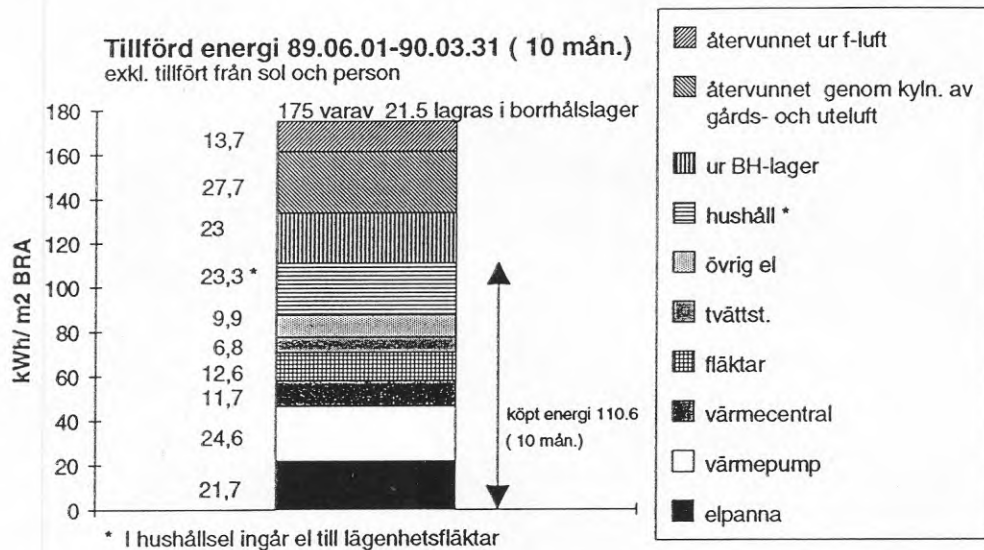


Fig 4.2 Summerad tillförd och använd energi för perioden 89.06.01-90.03.31 (10 månader)

4.2.1 Hushållsel

Hushållsel förbrukas i lägenheterna och betalas av hyresgästerna. Hushållselen används till spisar, kyl och frys, vägguttag mm. Dessutom används el till lägenheternas loftgångsbelysning, en 60W lampa per lägenhet som tänds vid behov. I några lägenheter där man haft uppvärmningsproblem, låga inomhustemperaturer, ingår även el till elradiatorer i hushållselen.

Förbrukningen mäts med elmätare i varje lägenhet och totalt över en huvudmätare i elcentralen för samtliga lägenheter. I den mätta hushållselen ingår även lägenhetsaggregatens elanvändning vid distribution och eftervärmning av tilluft inom lägenheterna. Värmetillförseln styrs av lägenhetsinnehavaren som genom att reglera fläktens varvtal i två steg reglerar återluftsandelen. Denna post skall inte debiteras hyresgästen, eftersom denna förbrukning används till uppvärmning och ventilation.

För att reducera hushållselen för varmluftsaggregatens elanvändning har uppmätningar av fläktarnas elförbrukning gjorts.

Den **schablonmässiga** reduktionen är :

för 2 rok 2,4 kWh/dygn
3 rok 3,0 kWh/dygn
4 rok 3,6 kWh/dygn

Med schablonmässig reduktion och 365 dygn år 1990 använder fläktarna totalt ca 68,1 MWh per år i elenergi.

Energianvändningen under det aktuella mätåret har mätts och beräknats. Dock saknas mätdata för april 1990. Med antagandet att elanvändningen för april månad motsvarar medelvärdet av förbrukningen för mars och maj 1990, blir hushållens elanvändning under mätperioden efter schablonreduktion ca 18 kWh/m² och år räknat på bruksarean BRA. Utan reduktion blir användningen av hushållsel ca 28 kWh/m² BRA och år.

4.2.2 El till elpanna

Elpannans elförbrukning mäts med separat elmätare. Elpannan är tänkt att användas under kortvariga toppbelastningar, vid låga utetemperaturer för värmning av tappvarmvatten och för uppvärmning.

Elpannan har en märkeffekt på 350 kW för att ensam kunna klara varmvattenbehovet.

Under det aktuella mätåret använde elpannan ca 172 MWh i elenergi (23,6 kWh/ m² BRA)

Elpannan har lång drifttid, även under sommaren. Elpannan strävar att konstanthålla utgående varmvattentemperatur till ca +52°C. Detta har medfört att elpannan är i drift vid tillfällena då värmepumparna arbetar mot borrhålslagret. Varmvattnet i ackumulatörerna som värms genom en värmeväxlare mot värmepumpens värmebärarsida, höll en temperatur mellan +40 och +49°C.

Av okänd anledning var elpannan avställd från slutet av maj till början av september 1990. Under denna period då utgående varmvattentemperatur till huset varierade mellan +44 och +46°C saknas uppgifter om huruvida de boende klagat eller ej.

Under perioden 89.06 tom 90.03 använde elpannan i genomsnitt ca 17 MWh/månad. Lägsta månadsförbrukning under perioden var ca 10 MWh. Under de tre kallaste månader 89.11-90.01 uppmättes en månadsförbrukning mellan ca 20 och 40 MWh, det högre värdet för december 89. Året innan, under sommarperioden juni tom augusti 89 är elanvändningen för elpannan ca 34 MWh. Under denna period producerade värmepumparna och elpannan ca 92 MWh för uppvärmning och tappvarmvatten. Av dessa 92 MWh användes ca 45 MWh till tappvarmvatten. Resten dvs ca 47 MWh, 16 MWh/månad värmdes lägenheterna i onödan i form av ledningsförluster, och några fall pga dålig reglering av styrventiler till lägenhetsaggregatens eftervärmningsbatterier.

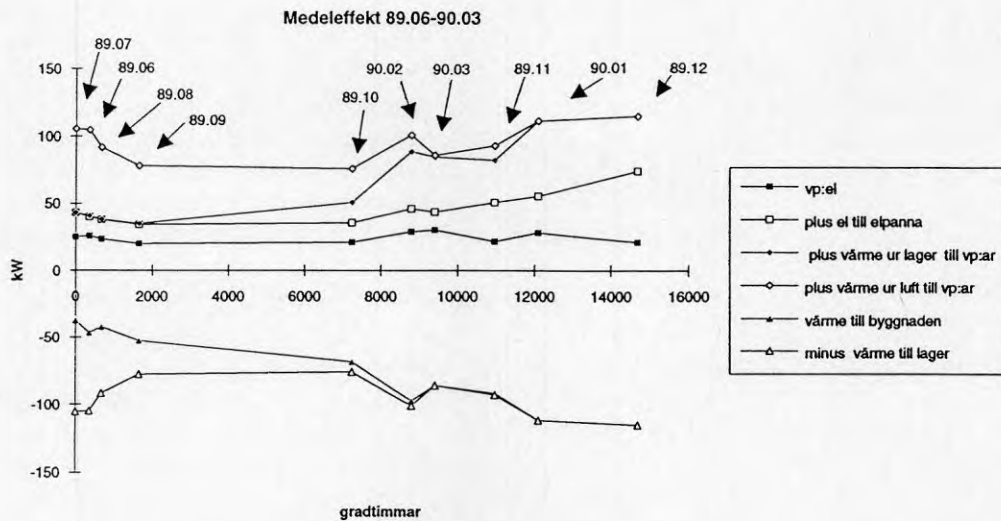


Fig 4.3 Medeleffektbehov för uppvärmning av byggnad med borrhålslager, som funktion av månadens gradtimmetal 89.06 tom 90.03.

Energitransporten till och från säsongslagret sker via värmepumparna. Säsongslagret utjämnar det totala effektbehovet för värmeproduktion över året. Gemensamma ledningar för varmvatten till uppvärmning och tappvarmvatten medför stora VVC-flöden även under perioder med inget uppvärmningsbehov. Elpannan drifttid blir lång eftersom värmepumparna inte klarar av att värma utgående varmvatten till börvärdet $+52^{\circ}\text{C}$.

4.2.3 El till värmepumpar

El till värmepump 1 och 2 mäts antingen med en mätare för bägge pumparna eller med en separat mätare för värmepump 2. El till värmepump 1 beräknas som skillnaden mellan mätta värden från de båda mätarna.

Värmepump 1 och 2 har märkeffekterna 25 resp. 50 kW.

Värmepumparna tar värme från gårds-, uteluft eller borrhålslager och producerar energi till uppvärmning och tappvarmvatten. Om den producerade energin överstiger hela behovet för uppvärmning och tappvarmvatten kommer värmepumparna att ladda borrhålslagret.

Värmepump 1 strävar efter att konstanthålla temperaturen i framledningen till uppvärmningssystemet så att temperaturen i varmvattenackumulatorerna ej understiger $+49^{\circ}\text{C}$. Värmepump 2 går in och ger värme till uppvärmningssystemet då värmepump 1 inte klarar att (under fem minuter) ensam höja varmvattentemperaturen i ackumulatorerna till $+40^{\circ}\text{C}$ på låg nivå. När varmvattentemperaturen $+49^{\circ}\text{C}$ på hög nivå i ackumulatorn uppnåtts, styr värmepump 2 hela sin energi till borrhålslagret. Värmepump 1 börjar inte ladda lagret förrän värmepump 2 under fem minuter har skickat hela sin energi till lagret.

Värmepump 1 har varit avställd från början av september tom december 1989 (ca fyra månader)

Under det aktuella mätåret använde värmepumparna ca 215 MWh (ca $29,5 \text{ kWh/m}^2$) i elenergi. Värmepumparnas medelvärmefaktor för hela perioden är ca 3,0. Normalårskorrigerad elanvändning är för samma period ca 226 MWh.

4.2.4 Fastighetsel till fläktar

El till ett FTX- aggregat (TA1/FA1) för bostadsventilation på plan 5 och cirkulationsaggregatet till glasgården (TA2) mäts över en gemensam mätare. I uppmätt elförbrukning till fläktar ingår även en mindre del el till belysning och cirkulationspumpar.

För det aktuella mätåret beräknas fläktarnas elenergianvändning bli ca 110 MWh, vilket motsvarar ca $15,3 \text{ kWh/m}^2$ BRA samma period.

Effektbehov, flöden och tryckfall för TA1/FA1 har uppmätts momentant våren 1989. För tilluftsfläkten TA1 uppmättes flödet till $Q = 1,86 \text{ m}^3/\text{s}$ (proj $Q = 2,36 \text{ m}^3/\text{s}$) och eleffektbehovet var vid mättillfället ca 6 kW.

Elmotorns märkeffekt var 11 kW. Av tilluftsfläktens totala tryckuppsättning ca 1270 Pa ströps ca 700 Pa bort direkt efter värmeväxlaren ut till lägenheterna för att balansera frånluftsflödet.

Tilluftstemperaturen konstanthålles genom spjällreglering av frånluftsflödet genom värmeväxlaren.

Tilluftsfläktens totalverkningsgrad beräknades till ca 39%.

Frånluftsfläkten var nedvarvad från 2,78 m³/s till 1,98 m³/s på grund av bullerproblem (den ligger alldeles för högt i flätkurvan, fläkten är för liten). Installerad märkeffekt för fläktmotorn var 11 kW medan verkligt effektbehov uppmättes till ca 3 kW. Dess tryckuppsättning uppmättes till ca 530 Pa och dess totalverkningsgrad beräknades till ca 35%.

Vid möte med JM och projektören Arlanda VVS bestämdes att ventilationsflödena skulle justeras till projekterad nivå och att de stora elmotorerna skulle bytas mot mindre elmotorer. I dagsläget är motorerna bytta men de låga flödena kvarstår. Någon noggrannare kontroll av tryckfall och eleffekter har inte gjorts efter motorbyte. Elförbrukningen har dock mätts och insamlats som timmedelvärden av MCE. Dessa värden visar inte någon förändring av elanvändningen till fläktarna efter motorbyte.

4.2.5 Fastighetsel till tvättstugor

Användningen av el i husets tre tvättstugor mäts med två elmätare. Installerad märkeffekt i bägge tvättstugorna är ca 100 kW.

Under det aktuella mätåret användes ca 59 MWh (8,1 kWh/m² BRA) i elenergi. Detta motsvarar ca 4,9 MWh/månad under denna period.

4.2.6 Fastighetsel till värmecentral

El till värmecentralen innefattar el till cirkulationspumpar, belysning i värmecentral och en axialfläkt för att evakuera luft från värmecentralen.

Det sammanlagda eleffektbehovet för cirkulationspumpar i drift uppmättes momentant 900216 till ca 11,6 kW. I denna summa ingår inte cirkulationspumparna P2A och P2B:s elanvändning. Dessa pumpar var inte i drift vid mättillfället. Värmecentralens elanvändning är relativt konstant över året.

Under perioden det aktuella mätåret användes ca 9,2 MWh per månad i elenergi. Detta motsvarar en årsanvändning av el på ca 111 MWh (15,3 kWh/m² BRA).

4.2.7 Övrig fastighetsel och el till motorvärmare.

Övrig fastighetsel inkluderar el till hissar och sopkvarn samt el till fastighetens belysning.

I fastighetens belysning ingår trapp- och gårdsbelysning, entrebelysning, loftgångsbelysning och ytterbelysning. Drifttiderna styrs via tidkanaler i det datoriserade övervakningssystemet med samma tider för alla dygn. Trapp- och loftgångsbelysningen med en total märkeffekt ca 0,7 resp. 1,2 kW är påslagen från eftermiddag till tidig morgon, 18 timmar per dygn.

Till fastigheten hör också ett mindre antal armaturer för entre, ytterbelysning och gårdsbelysning. Dessa är enligt uppgift påslagna dygnet runt.

Under det aktuella mätåret användes ca 73 MWh (10 kWh/m² BRA) övrig fastighetsel vilket motsvarar ca 6,1 MWh/mån. Under den mörka årstiden, perioden 8910 tom 9001 används ca 50% mer elenergi jämfört med perioden innan dvs juni tom september-1989.

Till kv Höstvetet finns motorvärmare. Dessa har använts perioden oktober-89 tom april-90. Under denna tid har ca 8,1 MWh elenergi använts till motorvärmarna.

5 Total köpt elenergi för fastigheten och hushållen

För det aktuella mätåret 89.06.01 tom 90.05.31 blir totalt köpt energi för fastigheten och hushållen ca 950 MWh. Detta motsvarar ca 131 kWh/m² BRA för samma period.

Efter graddagsjustering av mätåret 89.06 tom 90.05 för jämförelse med normalår blir total köpt energi ca 133 kWh/m² BRA och år.

Totalt köpt elenergi för fastigheten förutom hushållsel men inkl. el till värmepumpar och elpanna uppgår till 748 MWh, vilket motsvarar ca 103 kWh/m² BRA och år.

Andelen köpt elenergi till värmepumpar och elpanna är för perioden 386 MWh. (53 kWh/m² BRA och år)

Med ett schablonpåslag med 68 MWh för elenergi till varmluftsfläktar i lägenheterna blir köpt fastighetel inklusive el till värmepumpar och elpanna för det aktuella mätåret ca 816 MWh (ca 112 kWh/m² BRA).

Mätt hushållsel under perioden juni 89 tom maj 90 utan schablonreducering av el till varmluftsfläktar blir ca 202 MWh vilket motsvarar ca 28 kWh/m² BRA samma period.

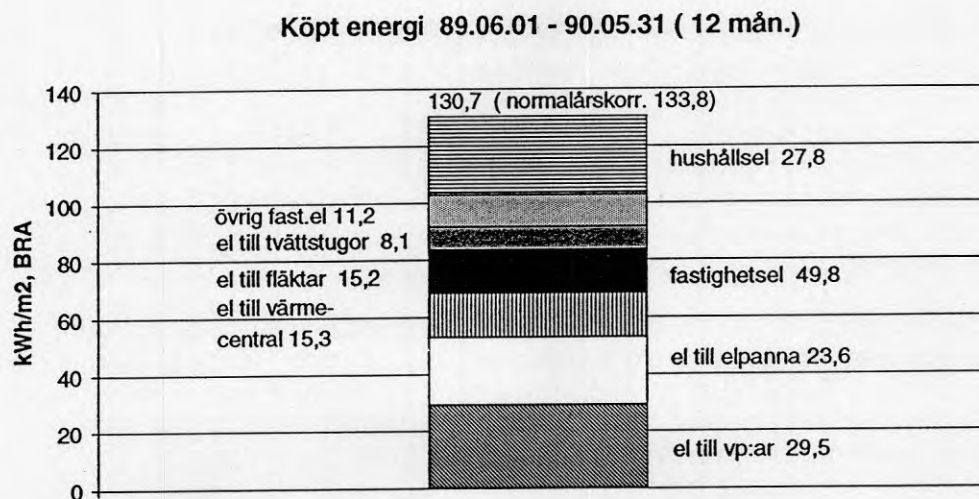


Fig 5.1 Summerad total köpt energi för aktuellt mätår 89.06 tom 90.05

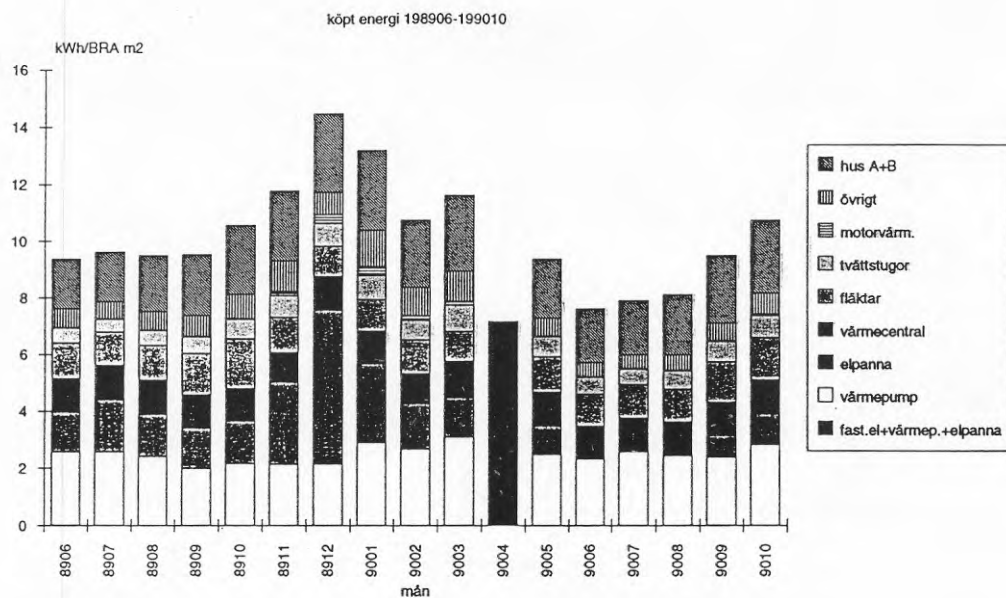


Fig 5.2 Köpt energi under perioden 89.06 tom 90.10, månadsvärde (För april-90 saknas mätvärden, köpt energi till fastigheten har beräknats ur fakturaunderlag från energiverket)

5.1 Jämförelse med andra hus.

Uppvärmningsbehovet täcks med elpannan och med värmepumpar som dessutom laddar borrhålslagret.

För att kunna jämföra olika hus map total köpt energi måste uppvärmningsbehovet graddagsjusteras för normalåret eller simuleringsåret. Köpt energi korrigeras endast för den energi som används för uppvärmning.

Vid korrigering av köpt el till värmepumpar antas att värmeutbytet mellan värmepumpar och lager under mätperioden ej förändras vid graddagskorrigering samt att även förhållandet mellan producerad energi från elpanna och värmepumpar är oförändrat.

Uppmätt och beräknad producerad energi från elpanna och värmepumpar till uppvärmning är för det aktuella mätåret ca 390 MWh.

Under det aktuella mätåret används ca 71 % av den producerade värmeenergin från värmepumparna för tappvarmvatten och uppvärmning, totalt ca 635 MWh.

Värmepumparnas medelvärmefaktor för det aktuella mätåret blir ca 2,1 räknat på energiandelen till huset för uppvärmning och tappvarmvatten.

Efter normalårskorrigerering för normalåret motsvaras värmedelen av ca 430 MWh. Jämfört med simuleringsåret 1971 blir motsvarande värde ca 415 MWh. Mätperioden har alltså varit varmare än simuleringsåret.

Korrigerering av elpannans och värmepumparnas elanvändning ger total köpt energi för normalåret ca 408 MWh (56 m² BRA) och för simuleringsåret ca 400 MWh (55 kWh/m² BRA).

Kv Höstvetet kan också jämföras med andra hus med värmepump i Stockholmsprojektet tex kv Bodbetjänten och kv Konsolen.

Tabell 5.1 Total köpt energi (kWh/m² BRA och år), normalårskorrigerad i kv Bodbetjänten, kv Höstvetet och kv Konsolen

	Kv. Konsolen	Kv. Bodbetjänten (bostadsdelen)	Kv. Höstvetet
period	jan-dec 1988	jan-dec 1988	juni 1989-maj 1990
totalt	123	135	134
värmepumpar	24	44	31
elpanna	-	27	25
fjärrvärme	45	-	-
hushåll	27	25	28 (18)
total fastighetsel	28	39	50 (60)
varav:			
tvättstugor	-	6	8
fläktar	-	15	15
övrigt	-	19	26

I jämförelse med kv. Bodbetjänten med liknande systemlösning förutom säsongslager är den totala nivån på köpt energi ungefär lika. Däremot är den årliga användningen av fastighetsel inklusive elenergi till motorvärmare hög, ca 50 kWh/m² BRA jämfört med 27,5 och 39 kWh/m² BRA för Kv Konsolen och kv Bodbetjänten. I systemet för laddning och urladdning av borrhålslagret med värmepumpar deltar en mängd cirkulationspumpar. Av fastighetselen används ca 15 kWh/m², BRA och år som drivel till cirkulationspumpar.

I köpt energi till hushållen, ca 28 kWh/m² BRA och år ingår en stor del el till varmluftsaggregaten i lägenheterna. Denna el skall ingå i fastighetselen. Efter schablonreduktion blir hushållens elanvändningen mycket låg ca 18 kWh/m² BRA och år jämfört med 27 och 25 kWh/m² BRA och år för kv Konsolen och kv Bodbetjänten. Om denna mycket grova metod att beräkna lägenhetsfläktarnas elanvändning är riktig blir fastighetselen totala förbrukning ca 60 kWh/m² BRA och år, dvs mer än dubbelt så hög som för kv Konsolen.

Det höga värdet beror främst på elanvändning för att genom transport av värme inom byggnaden minska det totala behovet av värme.

Användningen av el till elpanna och värmepumpar för värmeproduktion, totalt ca 56 kWh/m² BRA och år i kv Höstvetet, är lägre än i kv Konsolen och i kv Bodbetjänten där elanvändningen är ca 69 respektive 71 kWh/m² BRA och år.

Av den totala elanvändningen i kv Höstvetet är värmepumparnas andel ca 31 kWh/m² BRA och år. Värmepumparna använder ca 30 % av sin elförbrukning under ett år enbart för laddning/värmning av borrhålslagret.

6. ENERGITRANSPORT INOM BYGGNADEN MED SÄSONGLAGER.

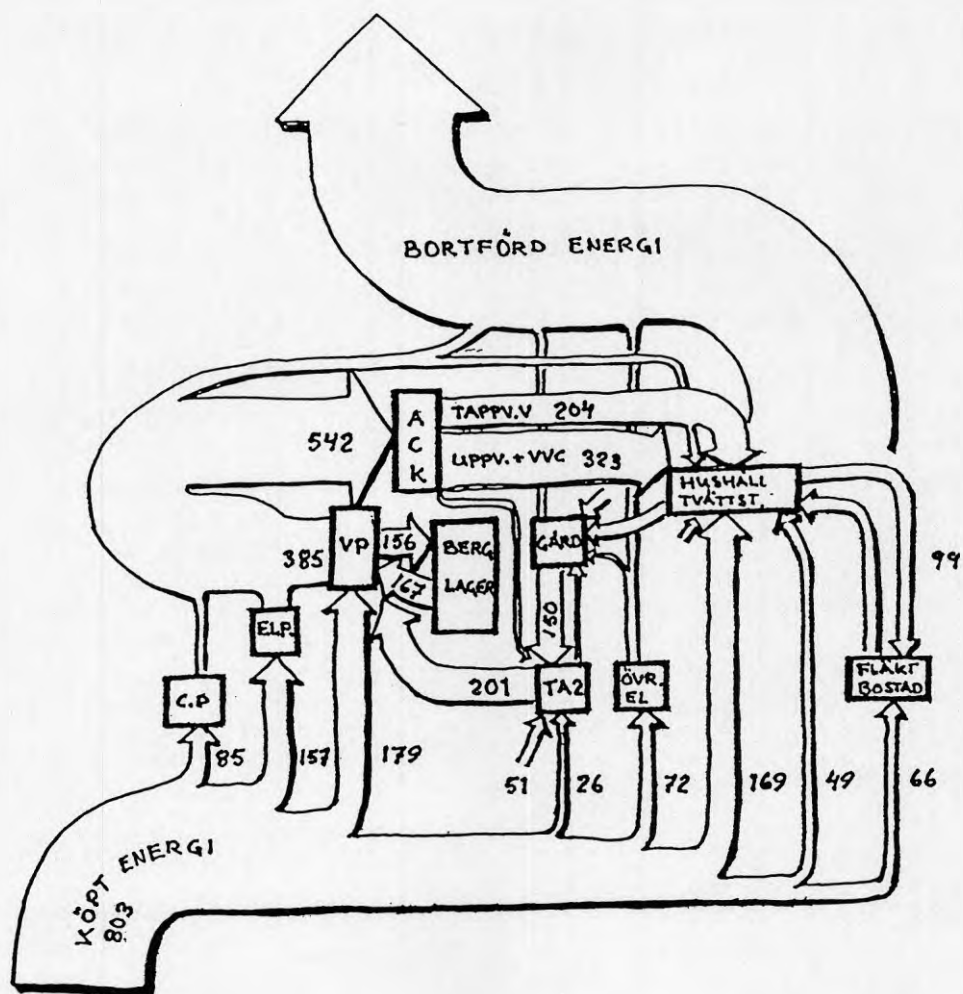


Fig 6.1 Energiflödesschema för kv Höstvetet perioden 89.06 tom 90.03

6.1 Energitransport via värmepumpar vid i- och urladdning av säsongslagret

All värmeenergi vid i- och urladdning av borrhåls- lagret är värme från två värmepumpar som utnyttjar luft för sin energiproduktion.

Systemets funktion förklaras enklast genom uppdelning i två driftfall, sommar och vinterfallet.

I sommarfallet hämtas värme ur gårdsluften eller uteluften genom att värmepumparnas brinelösning cirkulerar genom gårdsluftsaggregatets kylbatteri. Värme från värmepumparna går i första hand till tapp- varmvattenberedning och uppvärmning. När överskotts- värme finns, lagras detta i säsongslagret genom att varmvatten överför sin värme till det kallare berget.

I vinterfallet styrs brinelösningen ner till borrhåls- lagret och kyler bergmassan. Den återvunna värmen värmepumpas upp till högre energinivå för att täcka behovet av tappvarmvatten och uppvärmning.

De bägge driftfallen kan förekomma under alla års- tider. Val av driftfallsstrategi bestäms främst av gårds- och utetemperaturer. I princip gäller vinter- fallet då utetemperaturer är lägre än $+6^{\circ}\text{C}$. Övergång till sommarfallet sker då utetemperaturer stiger över $+6^{\circ}\text{C}$ och att samtidigt temperaturen på ett litet cir- kulerande brineflöde, läckflöde genom kylbatteriet stiger mer än 2°C .

6.1.1 Systemets värmefaktorer vid olika driftfall

Eftersom värmetransporten både till och från säsongslagret går via värmepumparna blir den totala elanvändningen för producerad värme vid urladdning hög.

För det aktuella mätåret har elanvändningen och energiflödet via värmepumparna studerats map olika driftfall.

Värmepumpar, tillförd och avgiven energi 89.05 - 90.02

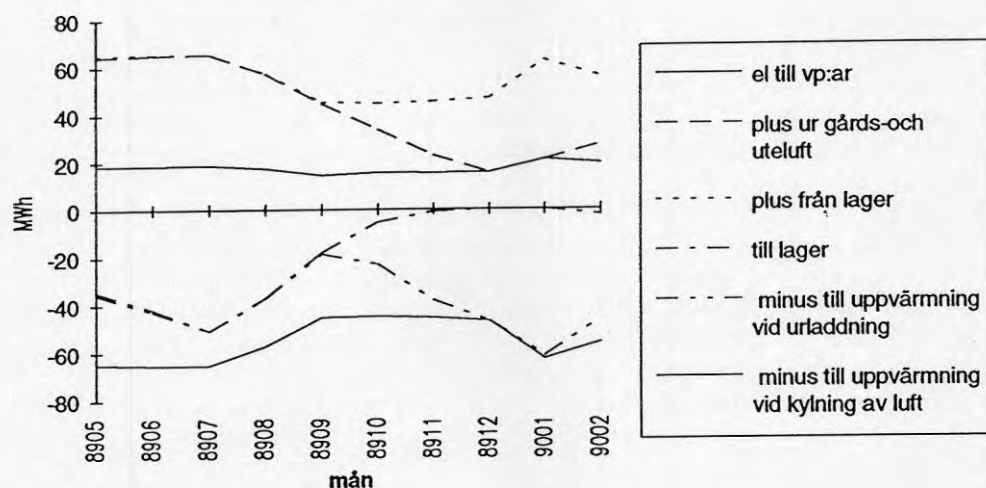


Fig 6.2 Värmepumpar, tillförd och avgiven energi 89.05-90.02

Under perioden 89.05 tom 90.02 har värmepumparna använt ca 175 MWh i elenergi för att producera varmvatten motsvarande ca 550 mWh. Av dessa 550 MWh används ca 360 MWh till uppvärmning och tappvarmvattenberedning.

Värmepumparnas medelvärmefaktor beräknat som förhållandet mellan totalt avgiven energi från värmepumpar och värmepumparnas elanvändning blir för hela perioden ca 3,1. Räknat på enbart andelen energi till uppvärmning och tappvarmvatten (värmeenergi till huset från värmepumpar) blir periodens medelvärmefaktor ca 2,1.

Vid återvinning av värme ur gårds- och uteluft används drygt hälften, ca 55 % av energin från värmepumparna till att värma lagret. Resten går direkt till huset för uppvärmning av varmvatten. Av nedlagrad energi, ca 190 MWh hade ca 135 MWh hämtats tillbaka, februari månad 1990.

Om systemets medelvärmefaktor beräknas som förhållandet mellan avgiven energi från värmepumpar vid urladdning och total köpt drivenergi vid både laddning och urladdning blir denna ca 1,4 för perioden 89.05 tom 90.02. Total köpt drivenergi består av energi till värmepumpar, cirkulationspumpar och gårdsluftsaggregat vid både laddning och urladdning.

Systemets låga medelvärmefaktor beror på en hög elanvändning då värmepumparna används både vid laddning och urladdning men också på hög elanvändning av drivel till cirkulationspumpar mm. Speciellt gäller detta vid driftfallet då värme utvinns ur uteluften med stor elanvändning för cirkulationsfläkten.

Laddning av varmvattenackumulatorerna prioriteras alltid före laddning av borrhålslagret. Detta medför att laddning av lagret under perioder utan uppvärmningsbehov ofta sker nattetid, då tappvarmvattenbehovet är som minst.

Av den totala elanvändningen vid laddning och urladdning av borrhålslagret med värmepumpar, är ca 20% drivel till cirkulationspumpar och fläktar, se figur 6.4.

Värmefaktorer för värmepumpsystem, månadsmedelvärden

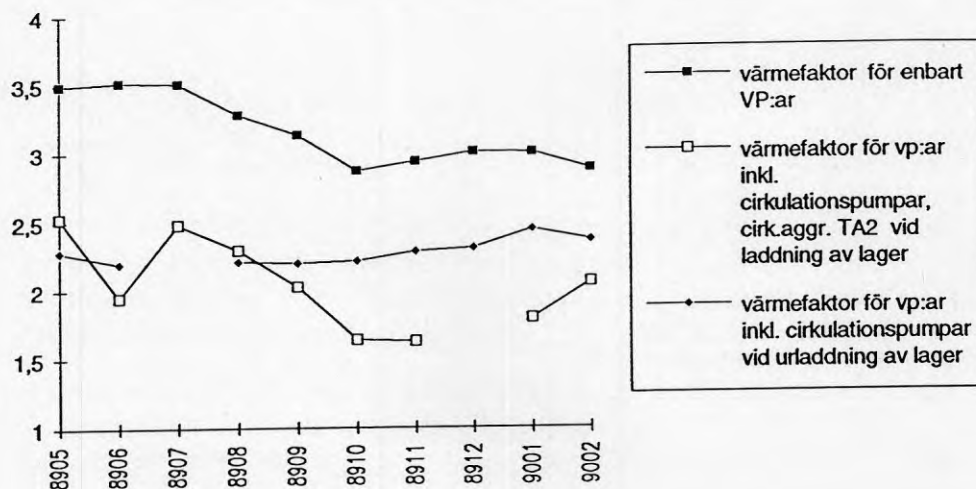


Fig 6.3 Värmefaktorer för värmepumpsystem, månadsmedelvärden. Ingen energitransport till lagret 89.12 eller från lagret 89.07

Värmefaktorerna i figur 6.3 är månadsmedelvärden och har beräknats som förhållandet mellan avgiven energi från värmepumpar och köpt drivel till värmepumpar, cirkulationspumpar och fläktaggregat TA2 vid olika driftfall. Värmefaktorn för enbart värmepumpar (i tillförd elenergi ingår endast el till värmepumpar) grundar sig på samtliga driftfall.

Drivel till cirkulationspumpar och gårdsluftsaggregat TA2 har uppmätts momentant under olika driftfall. Summeras eleffektbehovet för flödestransport blir cirkulationspumparnas effektbehov ca 7,3 kW under sommarfallet och ca 7,5 kW under vinterfallet.

Gårdsluftsaggregatet, TA2:s eleffektbehov är mellan 13-15 kW vid kylning av luft vid högsta luftflödet och mellan 2-2,5 kW vid halva flödet.

Genom datakörningar där brinetemperaturer och flödet storlek i systemet studeras, kan uppdelning i olika driftfall göras. Använd elenergi och producerad värme beräknas för de olika driftfallen. I beräkningarna är dock andelen drivel till cirkulationspumpar av lägre noggrannhet eftersom denna grundar sig på momentant mätt effekt vid enstaka tillfällen.

Avgiven energi och drivel vid laddning och urladdning av
borrhålslager med värmepumpar 89.05 - 90.02

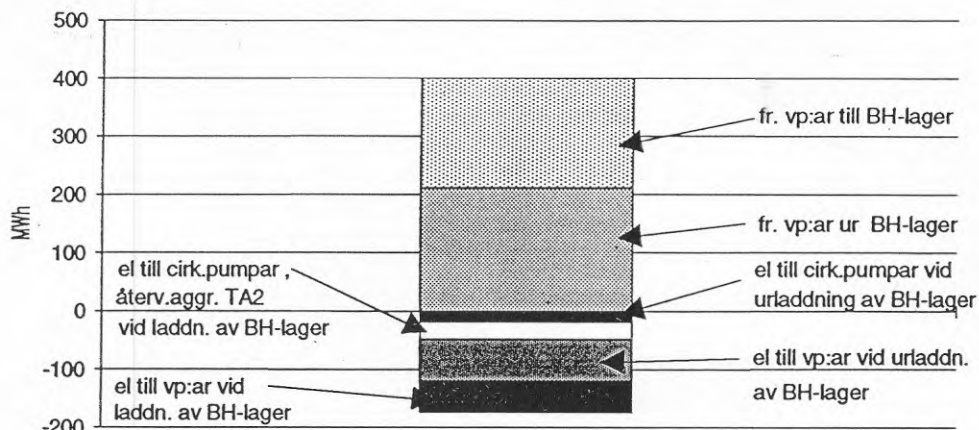


Fig 6.4 Avgiven energi och drivel vid laddning och urladdning av borrhålslager med värmepumpar 89.05 tom 90.02

6.2 Energi ur gårds- eller uteluft

En reglerventil (SV21) är installerad efter värmepumparna på köldbärarsidan. Denna ventil skall stå i fullt öppet läge mot gårdsluftsaggregatets (TA2) värmeutvinningsbatteri eller mot borrhållslagret beroende på var mest värme finns att hämta.

Om utetemperaturen är högre än $+2^{\circ}\text{C}$ eller tillufts-temperaturen före TA2 är högre än $+10^{\circ}\text{C}$ skall ett mindre brineflöde, "läckflöde" cirkulera över utvinningsbatteriet för att möjliggöra styrning av driftfall. När temperaturhöjningen för läckflödet blir större än 2°C skall SV21 öppna fullt mot utvinningsbatteriet och växelventilen SV22 stänga mot lagret.

Kylbatteriet skall kyla luften till $+1^{\circ}\text{C}$. Värme ur luften skall utvinnas då fläkten körs i driftfall 1 eller 2.

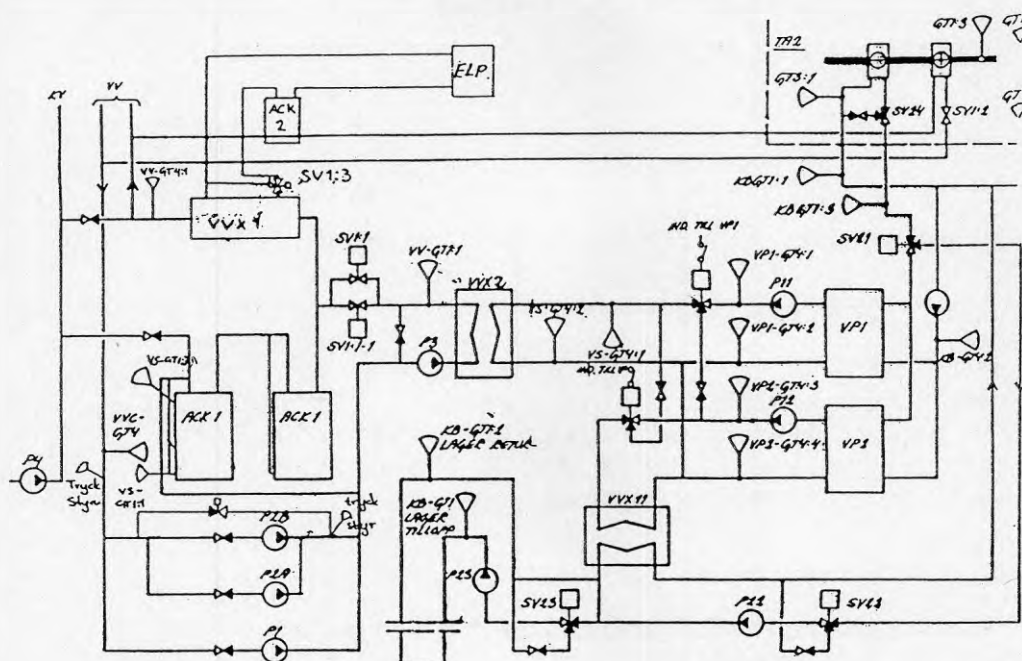


Fig 6.5 Flödesschema, energisystemet i kv Höstvetet

6.2.1 Driftfall och funktionsbeskrivning

Gårdsluftaggregatet TA2 skall köras med tre olika varvtal för fyra driftfall beroende på ute- och gårdstemperatur.

Driftfall 1:

Värmeutvinning ur gårdsluft skall ske när temperaturen i gårdens vistelsezon överstiger $+18^{\circ}\text{C}$. Vid detta driftfall skall aggregatet gå på 1/2-fart. När gårdstemperaturen överstiger $+22^{\circ}\text{C}$ skall vädringsluckor öppnas på taket.

Driftfall 2:

När den cirkulerande gårdsluften har kylt ned gården till $+18^{\circ}\text{C}$ skall spjällen mot gården stänga och utluftsspjällen öppna. Så länge utetemperaturen överstiger $+6^{\circ}\text{C}$ och gårdstemperaturen ej understiger $+4^{\circ}\text{C}$ skall värme hämtas ur uteluften genom TA2 som då skall köras på 1/1-fart.

Driftfall 3:

Vid detta driftfall skall fläkten köras på 1/2-fart med gårdsluft. Vid låga temperaturer i gårdens vistelsezon skall värmebatteriet efter TA2 värma den cirkulerande gårdsluften ända tills temperaturen i vistelsezonen når +4°C. Vid detta driftfall måste utgående varmvattentemperatur från värmecentralen vara minst +52°C.

Driftfall 4:

Om utetemperaturen understiger +6°C eller tillufts-temperaturen före TA 2 understiger +6°C skall aggregatet köras på 1/3-fart med cirkulerande gårdsluft.

Driftfall 1 förekommer mest sommartid. Vår och höst samt ofta under natten sommartid är driftfall 2 det vanligast driftfallet. Under den kalla årstiden går TA2 oftast på 1/3- eller 1/1-fart

6.2.2 Elanvändning vid utvinning av värme ur gårds-och uteluft

För att bedöma hur effektivt värme utvinns ur gårds- och uteluft måste värmeenergin jämföras med den el som uppoffras för att utvinna värmen.

Gårdsluftaggregatets elenergiebehov för det aktuella mätåret har beräknats genom mätdataanalys. Ur mätdata fås också timmedelvärden på eleffektbehovet vid olika driftfall.

Resultat av driftfallstudier visar att så länge temperaturen i gårdens vistelsezon är mellan ca +17°C och +22°C, kyls gårdsluften genom kylbatteriet. Detta driftfall pågår tills utetemperaturen fallit till ca +6°C, då värme börjar att hämtas ur uteluften. Speciellt under vår och höst inträffar detta vid en gårdstemperatur på ca +14°C.

Värme ur uteluften utvinns vid utetemperaturer mellan ca +6 till + 12°C Den kylda luften efter aggregatet har en temperatur mellan ca +4,5 och +7,5°C.

Vid driftfall 2, (helfart) då värme utvinns ur uteluften blir flödet över fläkten TA2 ca 30.000 m³/h och dess eleffektbehov ca 13,5 kW. Detta beror delvis på stort tryckfall över batteriet vid det höga flödet.

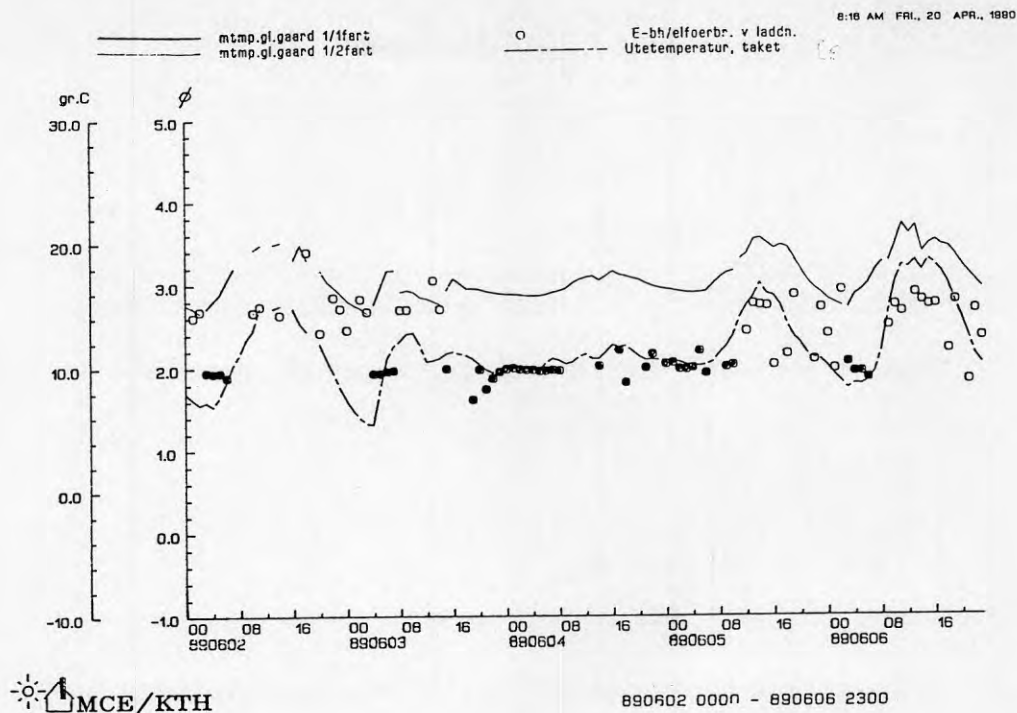


Fig 6.6 Systemets värmefaktor vid driftfall 1 och 2. Mätta och beräknade timmedelvärden.

Figur 6.6 beskriver förhållandet mellan värmepumparnas energiproduktion och total elanvändning för denna energiproduktion (el till VP:ar, cirk.pumpar och cirkulationsfläkt), här kallad systemets värmefaktor. Systemets värmefaktorn vid driftfall 2, då värme utvinns ur uteluft, betecknas med fyllda ringar i figuren. Ofyllda ringar står för systemets värmefaktor vid driftfall 1, dvs då värme utvinns ur gårdsluften. Vid driftfall 1 blir systemets värmefaktor i genomsnitt ca 2,7 och i driftfall 2 ca 2,0. Figur 6.5 visar också att driftfall 1 pågår då gårds-temperaturen understiger +18°C, i enstaka fall ända ned till +15°C.

När TA2 körs på halvfart, driftfall 1 och värme återvinns ur gårdsluften med ett flöde på ca 14.000 m³/h blir eleffektbehovet ca 2 kW.

Vid en tredjedels fart, driftfall 4 körs fläkten endast med ett mindre cirkulerande flöde och lågt eleffektbehov ca 1 kW.

Under mätperioden uppskattas gårdsluftsaggregatet TA2 gå på helfart ca 1800 timmar, på halvfart ca 2800 timmar och resten av tiden ca 4000 timmar antingen köras med en tredjedelsfart eller vara avstängd.

Under mätperioden beräknas att ca 240 MWh utvinns genom kylbatteriet. Av dessa 240 MWh är ca 23 % (ca 54 MWh) vunnet ur uteluften. Fläktmotorernas elanvändning är ca 30 MWh. Kylbatteriet kyler luften ca 2 till 5°C.

Pågrund av fläktens höga eleffektbehov och relativt långa drifttid blir dock elanvändningen mycket stor vid driftfallet med uteluft och helfart. Användningen av drivel för detta driftfall blir ca 10 ggr större per utvunnen kWh jämfört med driftfallet då värme återvinns ur gårdsluft. Detta är helt oacceptabelt vid jämförelse med vad som kan utvinnas.

Det finns mer ekonomiska sätt att utvinna 54 MWh, tex ur bostädernas avluft.

6.3 Återvunnen energi ur bostädernas frånluft

Bostäderna värms med luftvärme från ett FTX-system. Energi ur frånluft återvinns genom dubbla plattvärmeväxlare. Den förvärmade tilluften distribueras genom långa kanaler på den uppvärmda vinden och eftervärms vid behov i lägenheternas varmluftsaggregat.

Under perioder då inget uppvärmningsbehov föreligger, styrs frånluftsflödet med ett reglerande bypassspjäll förbi värmeväxlaren. Bypass spjället som strävar att konstanthålla tilluftstemperaturen till +18°C börjar att stänga mot växlaren vid utetemperaturen ca +9°C.

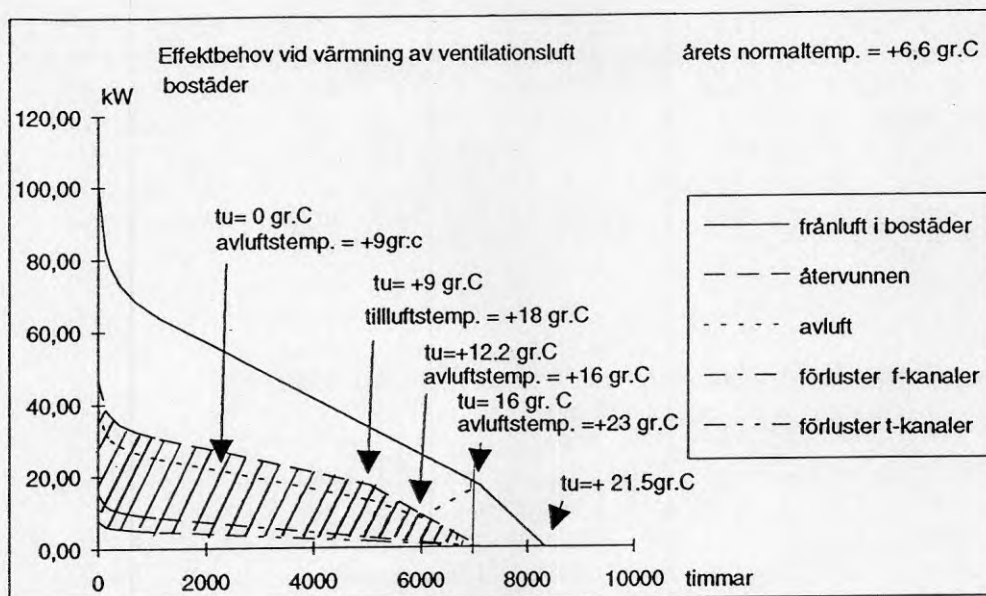


Fig 6.7 Beräknat effektbehov baserat på mätdata vid värmning av ventilationsluft till bostäder.

Vid beräkning av effektbehovet för ventilationen vid olika utetemperaturer har mätta värden på flöden och temperaturer på till- och frånluft före och efter luftbehandlingsaggregatet använts. Tidsfaktorn har uppskattats med hjälp av varaktighetskurva för uteluftens temperatur vid normaltemperaturen +6,6°C.

Under ett år kan teoretiskt ca 140 MWh återvinnas genom växlaren. Detta ger en energiverkningsgrad under uppvärmningssäsongen på ca 55 %.

Kanaler för tilluft och frånluft är förlagda tillsammans i samma utrymmen på vind. Ca 10 % av energiinnehållet i bostädernas frånluft förloras som värmeförluster under lufttransporten från lägenheterna till aggregatet. Troligen är förhållandet mellan värmeförluster och energiinnehållet i tilluften av samma storleksordning som för frånluftskanalerna. Värmeförluster genom till- och frånluftskanaler motsvarar hela 30 % av återvunnen energi över växlaren.

Om verkningsgraden för värmeväxling beräknas som förhållandet mellan den energiandel som återvinns till lägenheterna (återvunnet vid värmeväxling minus värmeförluster genom tilluftskanaler på vind) och energiinnehållet i lägenheternas frånluft under uppvärmningssäsongen blir denna verkningsgraden ca 44 %. Detta visas i figur 6.6 som förhållandet mellan det streckade fältet och hela ytan under den heldragna linjen. I beräkningen av verkningsgraden ingår inte bidraget från tilluftsfläktens motor eller arbetet för att övervinna tryckfallen genom värmeväxlarens båda sidor.

6.4 Värmeutvinning ur avluft från bostäderna med värmepump

Gårdsluftsaggregatet utvinns ca 54 MWh vid kylning av uteluften i temperaturintervallet +6 till +12°C med orimligt stort effektbehov ca 13-15 kW, vilket innebär ca 20 MWh i elanvändning under ett år (se kap 6.2.2). Vid uteluftstemperaturer mellan +6 och +12°C klarar kylbatteriet att kyla luften 2 till 5 grader. Totalt utvinns ca 240 MWh per år vid kylning av luft genom gårdsluftsaggregatet.

Om ett värmeåtervinningsbatteri av samma typs om gårdsluftsaggregatets installeras efter bostädernas frånluftsfläkt, kan ca 80 MWh värme utvinnas ur avluften under året vid utetemperaturer högre än +6°C. Eftersom tilluftstemperaturen konstanthålles genom reglering av frånluftsflödet genom värmeväxlaren kommer andelen okyld frånluft öka med stigande utetemperatur från +9°C (då utetemperaturen når +9°C börjar bypass spjället att stänga mot värmeväxlaren). Vid utetemperaturen +16°C leds hela frånluftsflödet förbi värmeväxlaren. Återvunnen energimängd 80 MWh har beräknats utifrån antagandet att kyleffekten är proportionell mot luftflödets storlek och oförändrad verkningsgrad.

Ventilationsflödet efter plattvärmväxlaren är ca en fjärdedel av uteluftsflödet genom gårdsluftsaggregatet.

Kyleffekt vid värmeåtervinning ur bostädernas avluft med värmepump

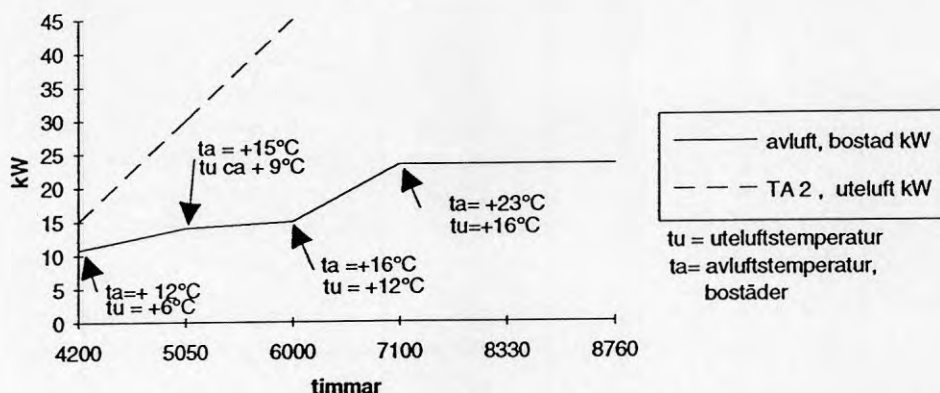


Fig 6.8 Kyleffekt vid kylning av bostädernas avluft med värmepump

6.5 Till uppvärmning, tappvarmvatten och varmvattencirkulation

Det kombinerade systemet för tappvarmvatten och uppvärmningsvatten medför stora varmvattenflöden även vid tillfällena med låg tappvarmvattenförbrukning och inget uppvärmningsbehov.

Under början av maj månad 89 cirkulerade i genomsnitt ca $3 \text{ m}^3/\text{h}$ varmvatten genom värmesystemet. Varmvattentemperaturen ut från undercentralen är ca $+50^\circ\text{C}$. Varmvattencirkulationens returtemperatur till undercentralen ligger ca $6-7^\circ\text{C}$ lägre än framledningstemperaturen. Cirkulerande mängd varmvatten under ett dygn blir ca 80 m^3 . Denna mängd skall jämföras med dygnsförbrukningen av tappvarmvatten ca 15 m^3 i början av maj 89. Under ett sommarygn blir tappvarmvattnets andel ca 15-20 % av totalt varmvattenflöde ut till huset.

Under perioden 89.06 tom 90.03 användes ca 38 % av producerad värme från värmepumpar och elpanna till värmning av tappvatten.

Värmeförlusten under ett dygn för enbart varmvattencirkulationen beräknas bli ca 400-500 kWh. Vissa timmar kan effektförlusterna uppgå till ca 30 kW. Sommartid då inget uppvärmningsbehov föreligger kommer inte förluster vid varmvattencirkulation att bidra till husets uppvärmning utan måste ventileras bort. En mindre del läcker eventuellt ut till gården och kan återvinnas ur gårdsluften. Under uppvärmningssäsongen kommer en del av cirkulationsförlusterna byggnaden till godo.

Under den varma perioden juni tom september-89 användes ca 68 MWh, 17 MWh/månad för uppvärmning och varmvattencirkulation varav det mesta är värmeförluster vid cirkulation. Den genomsnittliga förbrukningen för hela perioden 89.06 tom 90.03 blir ca 32 MWh/månad.

7 BORRHÅLSLAGRET SOM SÄSONGLAGER

7.1 Driftproblem vid laddning och urladdning av lagret

De många driftproblemen sedan idrifttagningen maj-86 vid i och urladdning av värmelagret, har inneburit att bergets temperatur ofta blivit för låg eller hög för att vid nuvarande driftstrategi möjliggöra ett optimalt utnyttjande av lagret.

Värmepumparna var periodvis avstängda urladdningsperioden mellan oktober-87 och februari-88, pga freonläckage.

Under laddningssäsongen 1988 laddades endast en bråkdel av tillgänglig laddenergi ned i lagret. På grund av en trasig reglerventil kunde värmepumparna inte hämta värme ur gårds- eller uteluften via utvinningsbatteriet. Detta medförde att man under följande urladdningssäsong snabbt kylde ned lagret (Felet borde naturligtvis ha upptäckts vid ett tidigt skede, med förvaltarens datoriserade övervakningssystem, eller under utvärderingsarbetet på KTH, min personliga kommentar). Det komplicerade energisystemet i kv Höstvetet kräver välutbildad driftpersonal. Många driftproblem kunde ha åtgärdats snabbare om driftpersonalen fått tid att lära sig systemet.

När felet på reglerventilen åtgärdades i mars 1989 upptäcktes att läckflödet till utvinningsbatteriet gick i fel riktning. Detta förde med sig att reglerventilen inte öppnade fullt mot värmeutvinningsbatteriet trots höga temperaturer. Först från och med april 1989 fungerade styrstrategin för laddning och av lagret. (Se kap 3.2 Driftstörningar och fel efter och i samband med idrifttagningen 1986)

7.2 Energi och temperaturnivåer i borrhålslagret

Lagret laddas först efter att husets behov av värme och tappvarmvatten täckts, under förutsättning att värme finns att hämta ur gårds eller uteluft. Med denna driftstrategi, där allt energiutbyte mellan lager och hus går via värmepumpar blir den totala elanvändningen för urladdad energi hög.

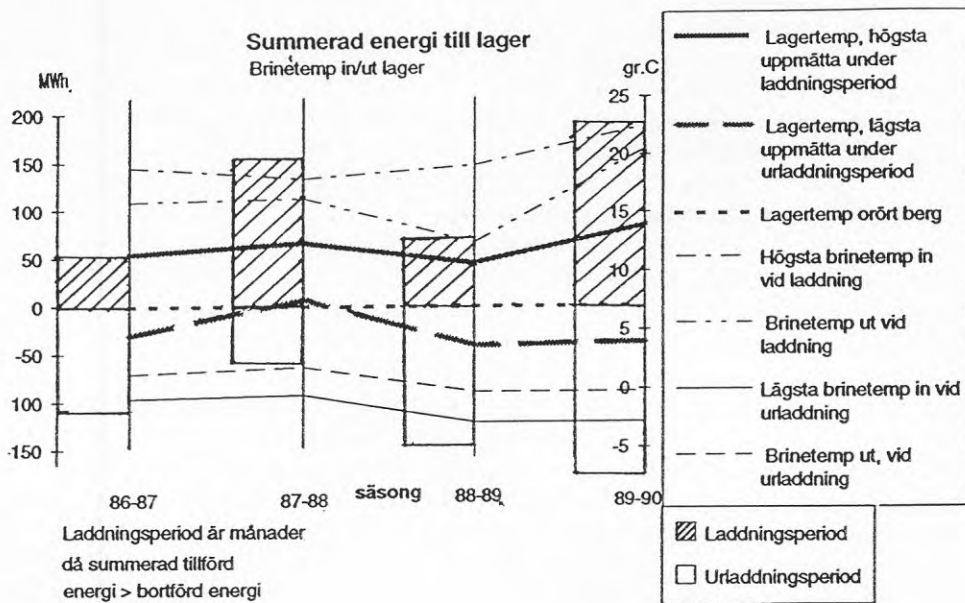


Fig 7.1 Summerad energi och temperaturnivåer i Borrhålslagret 1986-1990. Lagertemperaturen är uppmätt på 64 meters djup.

Energitransporten till och från berglagret påverkas av hur väl installationerna i huset fungerar ihop.

Under säsongerna 1987-1988 och 1989-1990 steg bergstemperaturen på 64 meters djup, energitillförseln under laddningsperioden översteg urladdad energimängd under vinterhalvåret.

Överförd effekt till bergsmassan vid konstant brineflöde ökar med temperaturdifferensen mellan brineflödets temperatur in och omgivande bergtemperatur. Detta innebär att värmeupptagningsförmågan hos ett berg med stigande temperatur minskar om inte brinens framledningstemperatur höjs. Med temperaturhöjningen ökar också förlusterna till omgivningen.

Våren och sommaren 88 cirkulerade endast ett mindre brineflöde genom lagret. Trasiga reglerventiler medförde att energitillförseln denna säsong blev låg.

7.3 Alternativ strategi för laddning av lagret utan värmepump

En teoretisk studie har gjorts enligt nedan som komplement till utvärderingsarbetet (via separat BFR-anslag).

Eftersom både värmning och kylning av borrhålslagret sker med värmepumpar, kommer elanvändningen för den producerade värmeenergin vid urladdning att bli stor. Dessutom deltar ett antal cirkulationspumpar för värmetransporten till och från lagret och ett fläkt-aggregat för kylning av gårds eller uteluft. Med bibehållet system kan ökning av systemets årsvärmefaktor vid urladdning endast ske genom ändrad driftstrategi.

Med nuvarande system har lagertemperaturen på 64 meters djup till synes "okontrollerat" varierat olika år mellan ca +4 och +14°C.

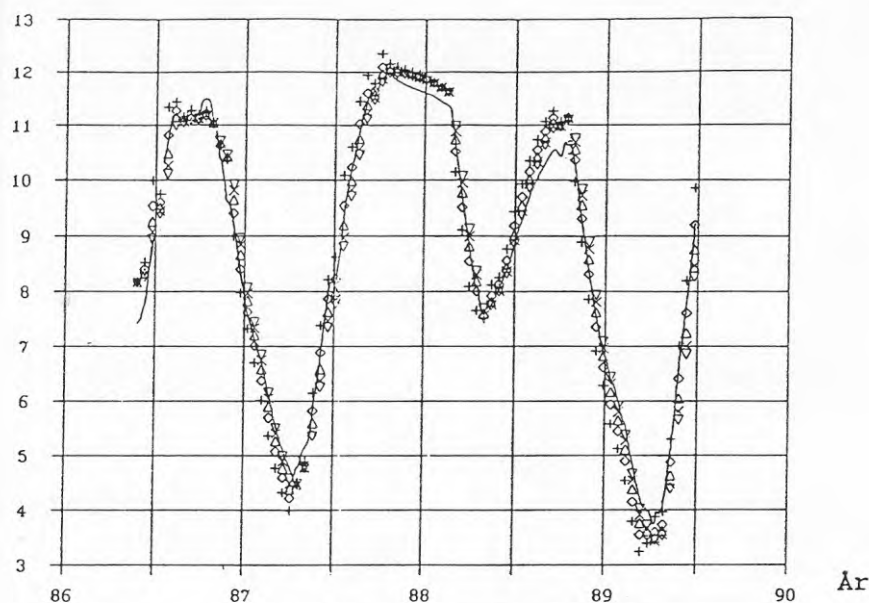
Tidigare beskrivna driftsstörningar, temperaturnivåer ute och i lagret mm påverkar energitillförseln vid olika tidpunkter under året. Energiflödet i lagret har ett direkt samband med lagertemperaturens förlopp. Värme till lagret kan utvinnas ur luft genom att den kylda brinen från lagret fås att cirkulera över ett återvinningsbatteri mot gårds eller uteluft. Även värme ur avluften från bostadsventilationen kan återvinnas.

Energitillförsel genom kylning av luft utan värmepumpar medför att brine med lägre temperatur kommer att cirkulera genom lagret. Risk för nedkylning av berget finns om bergtemperaturen är för hög. Brinens framledningstemperatur måste anpassas till bergets temperatur. Detta kan åstadkommas med flödesreglering eller schuntning.

7.3.1 Simuleringsberäkningar av energiförloppet i lagret

Databearbetning av energiförloppet i lagret har utförts av Urban Olsson AIB Installationskonsult genom simulering med programmet Superposition Borhole Model, SBM, från Lunds Tekniska Högskola, LTH. Samme Urban Olsson har tidigare i sitt examensarbete "Simulering av bergvärmelager i kvarteret Høstvetet" 1989-11-16 gjort en verifiering av beräkningsmodellen, genom jämförelse av simulerad data med uppmätt data. Dessa simuleringsberäkningar visar bl.a att skillnaden mellan uppmätt och beräknad bergtemperatur på 64 meters djup är liten. Skillnaden i bergtemperatur mellan två tidpunkter vid konstant brineflöde är ett direkt mått på hur mycket energi som laddats i eller laddats ur lagret under samma period.

°C



Beräknade mätpunkter från lagercentrum och utåt.

+ 0.5 ◊ 0.75 Δ 1.0 × 1.25 ▽ 1.5

Uppmätta värden —

Fig 7.2 Bergtemperaturen för lagret på 64 meters djup, 1986-1989

Som indata vid beräkningarna har använts uppmätta värden på flöden och temperaturer insamlade av MCE, KTH. För perioden efter maj 89 används tidigare beräknade energimängder eftersom tillgängliga mätdata på brine och lagertemperaturer är svåra att kontrollera.

Vid simuleringstudier av en alternativ lagringstrategi har överförda effekter mellan brineflöde och bergmassa bestämts och prövats som indata för att beräkna brine och lagertemperaturer.

På grund av osäkerhet gällande brinens sammansättning, har specifika värmekapacitet $C_p = 4.19 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ för vatten använts vid beräkning av energiflöden vid laddning och urladdning.

År 1989 bestod brinen av blandning av av etylenglykol och propylenglykol. Genom densitetsmätningar bestämdes viktsprocenten av de olika glykolerna. Med denna grova metod att beräkna ämnesdata uppskattades C_p till $3.88 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$.

Vid simuleringsberäkningarna har specifika värmets $C_p=3.88 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ använts. Detta innebär att felets storlek kan vara upp till 8 % för perioden efter maj-89.

7.3.2 Ny driftstrategi för laddning av säsongslagret

Husets behov av värme för tappvarmvatten och uppvärmning skall täckas av värmepumpar och elpanna. Värme till tappvarmvattenberedning skall sommartid helt produceras med värmepumpar. Elpannan går endast in vid stora uppvärmningsbehov under urladdnings-säsongen.

Sommartid tillförs värmepumparna återvunnen värme ur gårdsluften och vintertid värme från borrhålslagret. När värmepumparna inte klarar av att kyla gården till $+18^\circ\text{C}$ skall värme ur gårdsluften utvinnas för laddning av lagret.

En fläkt med värmeutvinningsbatteri för kylning av gårds eller uteluft installeras och ansluts till lagrets brinekrets. Vid laddning av lagret kommer värme överföras från luften till brinen. Utvunnen energi styrs ned till lagret. Principskiss se fig 7.9.

7.3.3 Simulering av alternativ lagring

I det simulerade alternativet uppdelas året i en ren laddningsperiod och en ren urladdningsperiod. Den förenklade driftstrategin innebär att perioder med omväxlande laddning resp urladdning ej uppstår.

Det alternativa laddningsförloppet beräknas från idrifttagningen 1986 och jämförs med den mätta säsongen maj-89 tom mars-90. (För april-90 saknas mätvärden).

Villkor för vald driftstrategi:

- * För att möjliggöra laddning utan värmepump skall det orörda lagret tillföras värme med lägre temperatur än vid nuvarande drift.
- * För att säkerställa att lagrets temperatur inte blir för hög under laddningsperioden skall det årliga energiuttaget överstiga den tillförda energimängden. Energiflödet i lagret skall vara oberoende av husets värmebehov. Varje år skall en konstant energimängd tillföras till och bortföras ur lagret.
- * Lagrets medeltemperatur skall vara lika orört berg ca +6 till +7°C.
- * Under urladdningsfasen skall brineflödets temperatur inte understiga ca 0°C.
(Brinetemperaturen får inte vara lägre i det simulerade alternativet än lägsta uppmätta brinetemperatur.)

Under perioden maj tom augusti månad kommer lagret att laddas med ca 94 av 102 MWh, vilket är den energimängd som måste tillföras för att inte nedkylningen av lagret under urladdningsperioden blir för stor.

Den urladdade energimängden under resten av året har bestämts till 120 MWh, 18 MWh mer bortförs än tillförs under ett år.

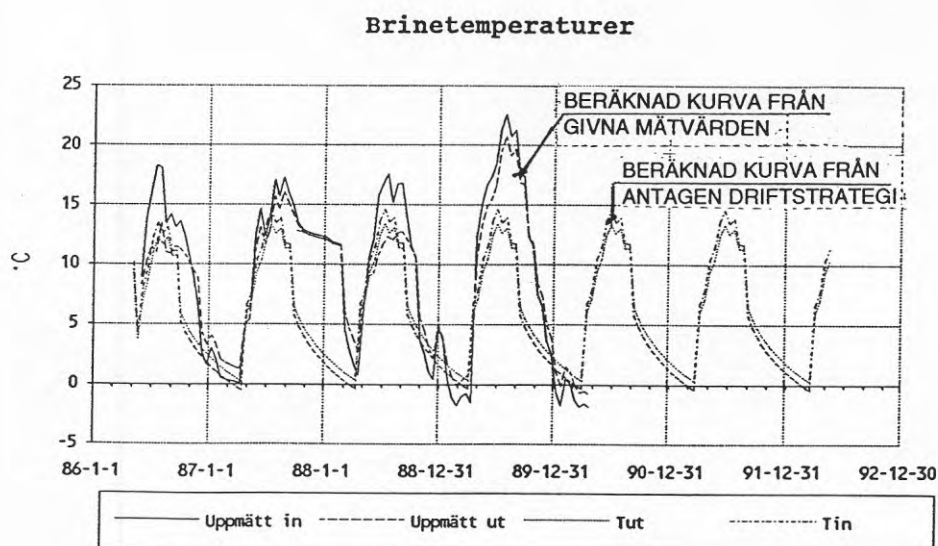


Fig 7.3 Brinetemperaturer, för uppmätta värden och med ny lagringstrategi

(Dygnsmedelvärmefaktorn för det uppmätta fallet understeg inte ca 2,7 vid lägsta brinetemperatur ut från lagret ca 0°C.)

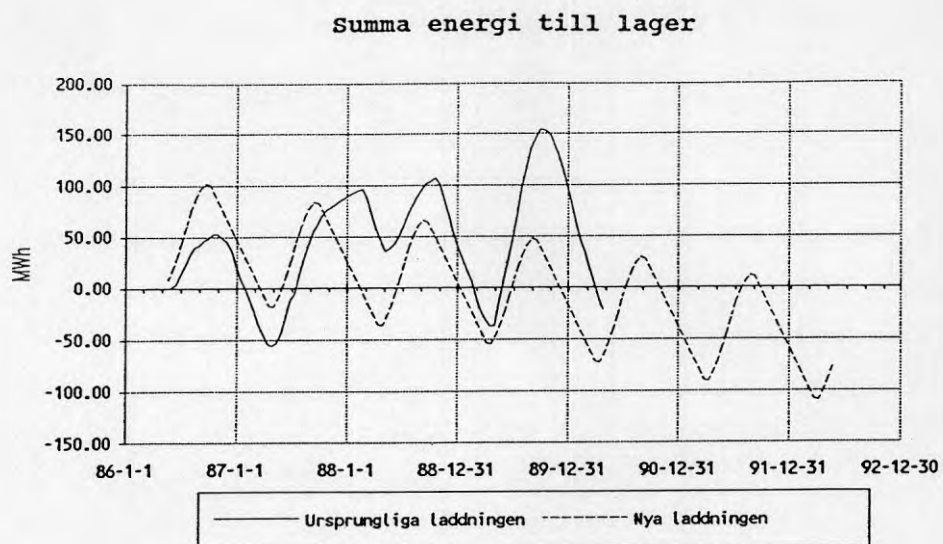


Fig 7.4 Summa energi till lager, från uppmätta värden och med ny lagringstrategi. Båda kurvorna är beräknade med SBM-programmet.

Trots att summerad energi under 6 års tid blir starkt negativ kommer lagrets temperatur endast sjunka marginellt under samma tidsperiod. Lagertemperaturen kommer att pendla mellan mellan ca +3 och +9°C. Ursprunglig bergstemperatur för orört lager är ca +7°C.

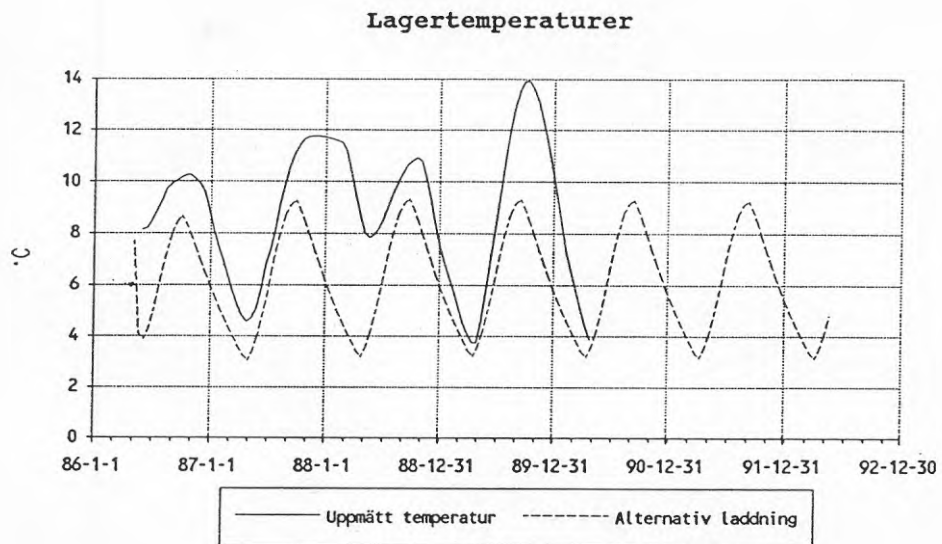


Fig 7.5 Lagertemperaturer på 64 meters djup, för uppmätta värden och med ny lagringsstrategi.

7.3.4 Total energianvändning för uppvärmning och tappvarmvatten 89.05-90.03. Jämförelse mellan uppmätta värden och simulerade värden för nytt laddningsalternativ.

Uppmätta värden:

Under referensperioden 11 månader from 89.05 tom 90.03 blir den uppmätta energianvändningen för att täcka uppvärmnings och tappvarmvattenbehovet ca 590 MWh.

Elpannan står för ca 29%, ca 170 MWh av uppvärmningsbehovet, resten ca 420 MWh produceras med värmepumpar.

Av lagrad energi ca 190 MWh hämtas ca 170 MWh tillbaka som urladdad energi.

**Mätt energianvändning för uppvärmning och tappvarmvatten.
Laddning av lager med VP:ar**

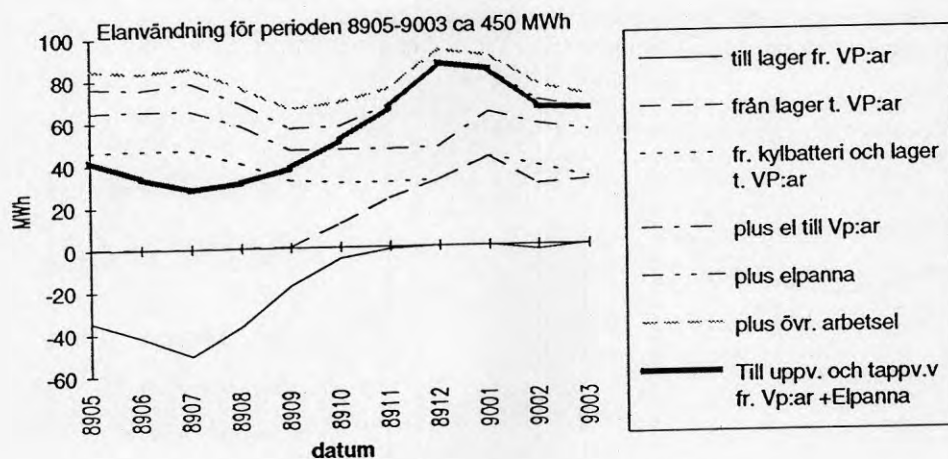


Fig 7.6 Mätt energianvändning för uppvärmning och tappvarmvatten 89.05 tom 90.03

Till uppvärmnings- och tappvarmvattenbehovet 590 MWh används elenergi för ca 450 MWh varav 80-90 MWh är elenergi till cirkulationspumpar och fläktar.

Värmepumparnas månadsvärmefaktor beräknad utan hänsyn till att både laddnings- och urladdningsfas kan förekomma samma månad blir lägst 2,4 för mars-90 och högst 3,5 för juni-89. Värmepumparnas elanvändning beräknas för hela perioden bli ca 200 MWh.

Nytt laddningsalternativ:

I fallet med den alternativa laddningsstrategin tillförs lagret en betydligt mindre energimängd än uppmätt, 94 MWh ur gård- och uteluft under referensperiodens fyra första månader. (Under ett helt år skall 102 MWh laddas ned i lagret.)

Urladdad mängd under periodens resterande månader sept tom mars är 120 MWh. Under samma period då värmepumparna inte ensamma klarar av att täcka värmebehovet är elpannan i drift.

Värme till husets tappvarmvattenberedning under sommarhalvåret täcks helt av värmepumparna.

Elpannan beräknas stå för ca 43% , ca 260 MWh av periodens uppvärmningsbehov ca 590 MWh.

Vid beräkning av värmepumparnas energiproduktion vid kylning av gårdsluft och vid urladdning av lagret har värmefaktorerna 3,0 resp. 2,5 använts.

Simulerad energianvändning för uppvärmning och tappvarmvatten. Laddning av lager utan VP:ar genom kylning av uteluft

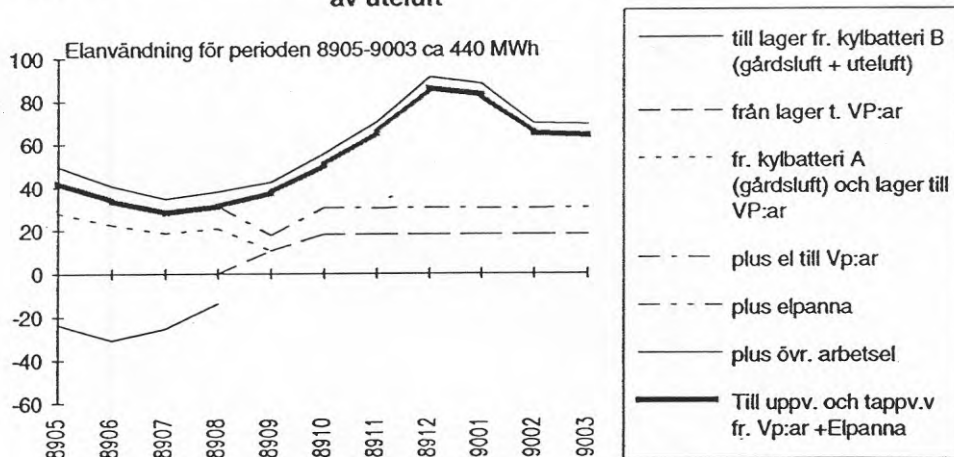


Fig 7.7 Simulerad energianvändning för uppvärmning och tappvarmvattenberedning 89.05 tom 90.04

Totalt tillförs ca 440 MWh elenergi för att täcka uppvärmningsbehovets 590 MWh.

Av den totala elanvändningen uppskattas ca 14%, 60 MWh bestå av drivel till cirkulationspumpar och fläktaggregat.

Denna elenergi har endast grovt uppskattats, med stor osäkerhet, utifrån uppskattade drifttider på cirkulationspumpar och fläktaggregat.

Den nya uteluftsfläkten har dimensionerats för ett flöde av ca 32 000 m³/h, totalverkningsgrad 30% och kontinuerlig drift from maj tom augusti. Kylbatteriet med ett tryckfall på 100 pa är dimensionerat för en kyleffekt på ca 45 KW vid brineflödet 9,2 l/s. Brinetemperaturens framledningstemperatur beräknas bli +11°C

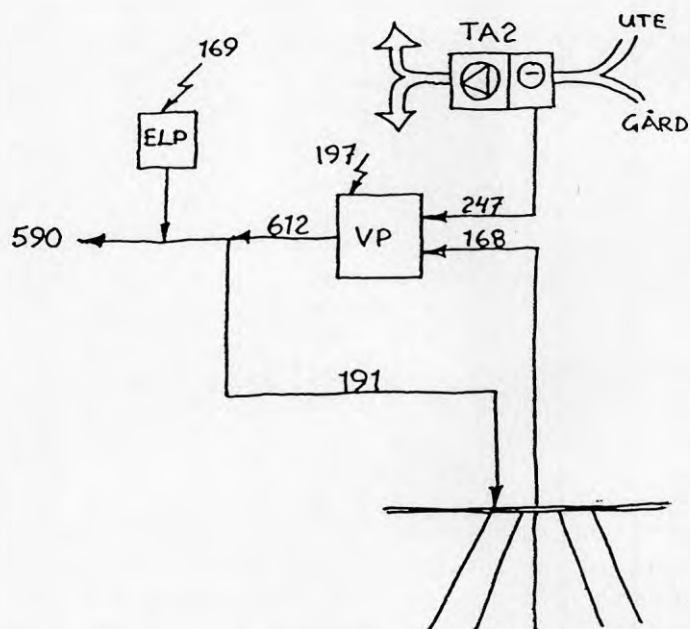


Fig 7.8 Uppmätta energiflöden 89.05 tom 90.03

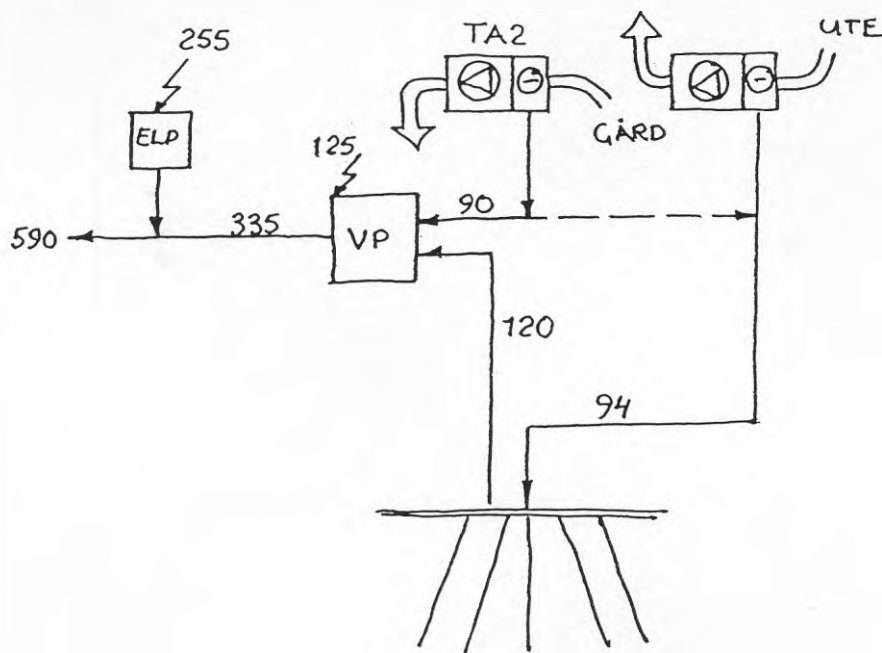


Fig 7.9 Simulerade energiflöden, alternativt lagringsalternativ 89.05 tom 90.03

Värmepumparnas medelvärmefaktor för perioden i det uppmätta fallet räknat på andelen energi till uppvärmning och tappvarmvatten (enbart avgiven värmeenergi från värmepumpar till husets värmesystem och drivel till värmepumpar) blir:

Uppmätt fall ca $(612-191)/197=2,1$
 Simulerat alternativ ca $335/125=2,7$.

Om systemets medelvärmefaktor beräknas som förhållandet mellan avgiven energi från värmepumpar till husets värmesystem och total tillförd elenergi blir denna:

Uppmätt fall ca $(612-191)/(197+85)=1,5$
 Simulerat fall ca $335/(125+60)=1,8$

Eftersom tillförd drivel till cirkulationspumpar och fläktaggregat för det simulerade alternativet endast kan uppkattas är detta värde av lägre noggrannhet.

Köpt energi till värmepumpar, elpanna, cirkulationspumpar och fläkt blir något högre för det uppmätta fallet ca 455 MWh jämfört med det simulerade som blir ca 435 MWh. Eftersom det simulerade alternativet innebär att en mindre energimängd hämtas ur lagret under uppvärmningssäsongen blir elpannans elanvändning stor.

För att lagringssystemet med vald driftstrategi skall bli ekonomiskt lönsamt för det simulerade alternativet, krävs ett större lager än nuvarande lager.

Ett mer realistiskt alternativ till ett större lager är att öka energiuttaget ur lagret, dvs sänka lägsta lagertemperaturen. Detta kan ske genom byta till brine med lägre fryspunkt. En större energitillförsel genom värmeutvinning ur tex uteluften kommer att behövas för att balansera uttaget. Åtgärden medför dock en försämring av värmefaktorn vid låga brinetemperaturer. Ett ökat uttag ur lagret innebär att elpannan minskar sin elanvändning samtidigt som drivel till värmepumpar, cirkulationspumpar och fläktar ökar. Ökat uttag är intressant så länge elanvändningen till elpannan minskar mer än den ökar till värmepumpar och övrig drivel. Den föreslagna alternativa laddningsstrategin bör dock kunna medföra ett enklare system med totalt sett lägre underhåll och lägre investeringskostnad.

FÖRSÖK ATT MINSKA ENERGIANVÄNDNINGEN FÖR VARMVATTENCIRKULATION, DELSTUDIE HÖSTEN 1992.

Denna delstudie har syftat till att med hjälp av mätningar undersöka möjligheter att reducera energianvändningen för varmvattencirkulation sommartid. Speciellt skall möjligheter att minska elpannans och VVC-pumparnas drifttider undersökas. Värme från två värmepumpar överförs genom värmeväxling till varmvattenackumulatorer för tappvarmvatten och värmedistribution. Temperaturen i ackumulatorerna skall ej överstiga $+49^{\circ}\text{C}$ på hög nivå och ej understiga $+40^{\circ}\text{C}$ på låg nivå.

Elpannan strävar att hålla utgående varmvattentemperatur till ca $+52^{\circ}\text{C}$.

För varmvattencirkulationen finns två pumpuppställningar, P2A/B och P1 för vinter resp. sommarfallet. Pumpalternativ bestäms med årsur för kontinuerlig cirkulation av vatten.

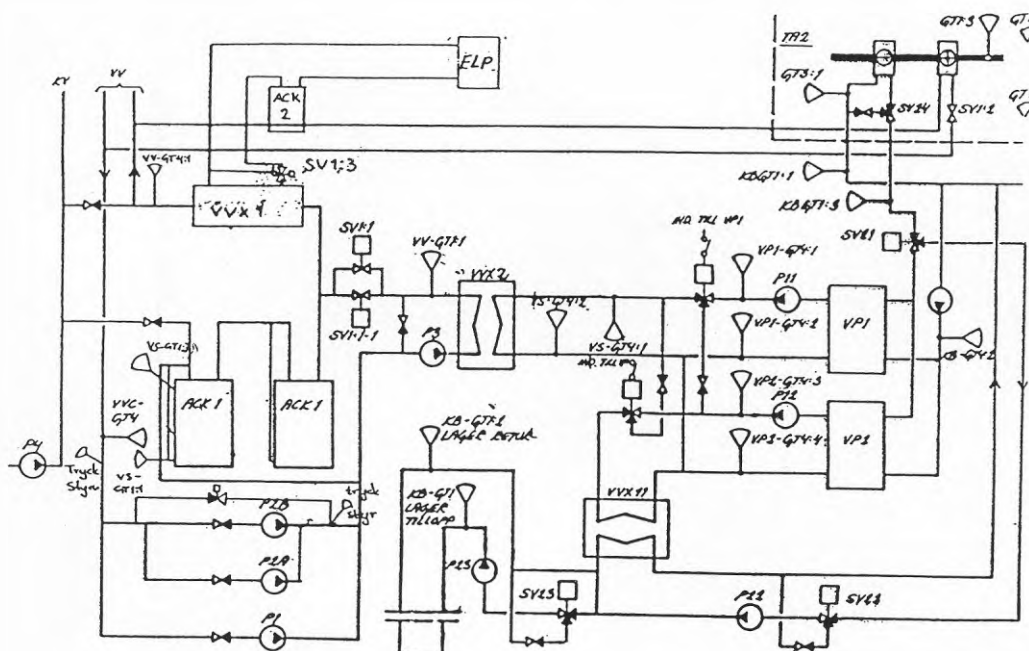


Fig 8.1 Systembeskrivning- varmvattenberedning för uppvärmning och tappvarmvatten.

8.1 Mätningens genomförande

Mätningar har utförts mellan 12-27 maj och 11-12 maj 1992 vid två olika driftfall. Under normaldrift har VVC-cirkulationens flöde, fram- och returtemperaturer, temperatur på inkommande kallvatten och utetemperatur mätts och lagrats med 5 minuters intervall. Samtidigt har totalt tappvarmvattenflöde från värmecentralen till huset och varmvattentemperaturen vid tappning så långt bort från värmecentralen som möjligt registrerats med samma mätintervall.

I fläktrummet på plan 5 har varmvattentemperaturen före radiator registrerats tre ggr per timme. För att kontrollera varmvattnets avsvälning i systemet och undersöka möjligheten till minskning av VVC-pumpens drifttid sommardag genomfördes provdrift vid två tillfällen. Vid provdrift 1, natten den 26/5, utfördes likadana mätningar som vid normaldriftfallet men med cirkulationspump, vp:ar och elpanna avstängda.

För att utröna möjligheten till tappvattendistribution utan varmvattencirkulation genomfördes provdrift 2 under dagtid den 11/6 med avstängd cirkulationspump men med vp:ar och elpanna idrift.

8.1.1 Resultat

Under mätperioden var cirkulationspumpen för "sommarfallet" i drift. Dygnet medeltemperatur utomhus mot nordvästfasad under perioden 21-27 maj varierade mellan ca +17 och +19°C. Lägsta utetemperatur under samma period uppmättes till ca +8°C.

Under provdrift 2 understeg inte utetemperaturen någon gång +13,5°C.

Varmvattnets cirkulationsflöde uppmättes till mellan ca 2 och 3 m³/h under hela dygnet. Tappningen av tappvarmvatten varierar över dygnet. Nattetid ca 5 timmar mellan kl 00.00-05.00 understeg förbrukningen 10% av den maximala timförbrukningen under dygnet ca 2 m³/h. Vid höga tappningar kan det totala varmvattenflödet, inklusive flöde för uppvärmning, från värmecentralen uppgå till 4.7 m³/h.

Elpannan strävar att konstanthålla temperaturen på utgående varmvatten till huset till ca + 52°C. Cirkulationsvattnets returtemperatur i värmecentralen låg konstant mellan ca +42 och +46°C.

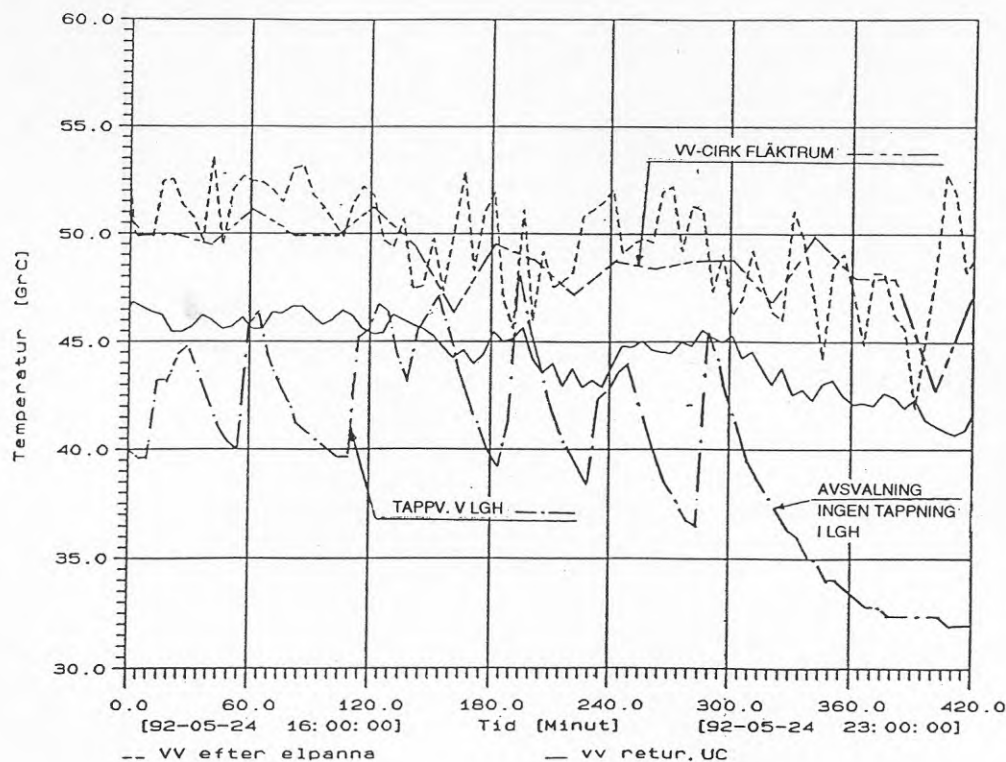


Fig 8.2 Uppmätta varmvattentemperaturer under normala driftförhållanden.

Under mätperioden var värmepumparna tidvis ur funktion, vilket resulterade i att varmvattentemperaturen i ackumulatorerna blev lägre än normalt och kylde returvattnet.

Provdrift 1 genomfördes den 26/5 kl 00.00-08.10 med avstängd elpanna, cirkulationspump och värmepumpar.

Mätningarna visar att under natten då tappningen är som minst, nära noll räcker ackumulerat varmvatten i elpannans primärkrets till att värma varmvattnet från ca +36 till 50°C. Temperaturen på utgående varmvatten pendlade mellan ca +42 och +50°C. Det stillastående vattnets temperatur i returledningen i värmecentralen sjönk från ca + 40°C till + 37°C under de sex timmar då cirkulationspumpen var avstängd. Temperaturfallet motsvarar en avsvälning på ca 0.01°C/min (0.6°C/h).

Ungefär kl 06.00 den 26/5 startade driftpersonalen elpannan och cirkulationspumpen för "vinterfallet". Då cirkulationspumpen vid starttillfället suger avsvältnat varmvatten ur systemet blir lägsta varmvattentemperatur ca $+33^{\circ}\text{C}$. (Lägsta varmvattentemperatur i systemet sjunker ca 7°C , från ca $+40^{\circ}\text{C}$ till ca $+33^{\circ}\text{C}$ med avstängd cirkulation). "Sommarpumpen" tog över driften ungefär kl 08.10, när temperatur stigit till ca $+42^{\circ}\text{C}$. Mätning av "vinterpumpens" flöde har ej utförts.

Tappning av varmvatten har skett utan att cirkulationspumpen och elpannan har varit idrift. Mellan kl 05.00 och 06.00 var tappningen av varmvatten ca 1 m^3 vilket motsvarar ca 40 % av maximala timförbrukningen med cirkulationspumpen igång.

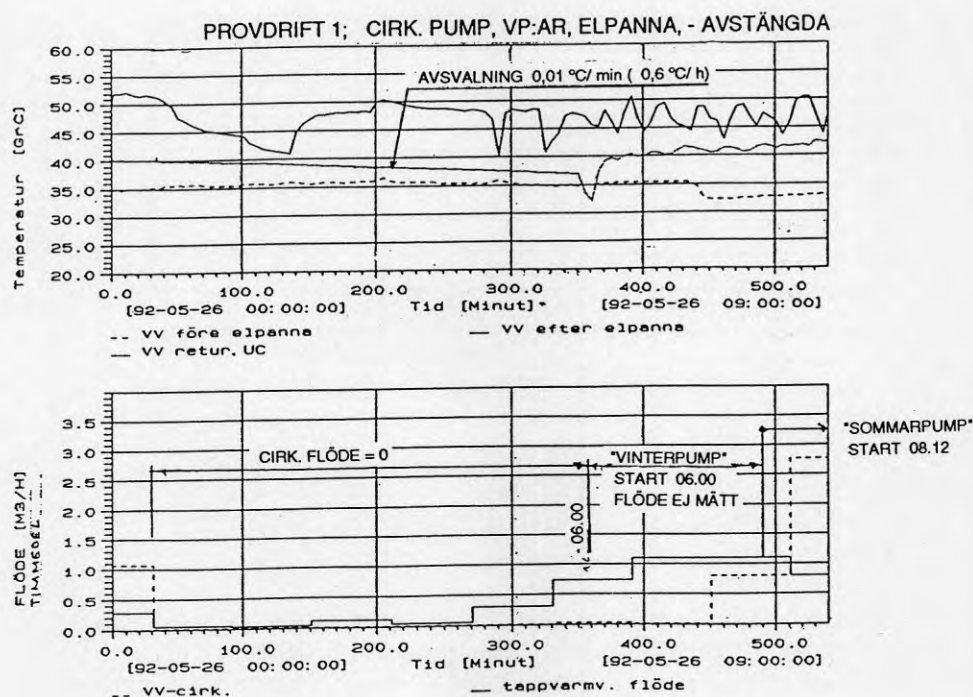


Fig 8.3 Provdrift 1: Varmvattentemperaturer och flöden för cirkulation och tappning

Vid provdrift 2, den 11/6 på morgonen var endast cirkulationspumpen avstängd. Den minskade flödesanvändningen medför att högsta framledningstemperatur efter elpannans värmeväxlare höjs ett par grader till ca $+57^{\circ}\text{C}$. Tappningen av varmvatten varierade under mätperioden mellan ca $0,3$ och $1,0\text{ m}^3/\text{h}$.

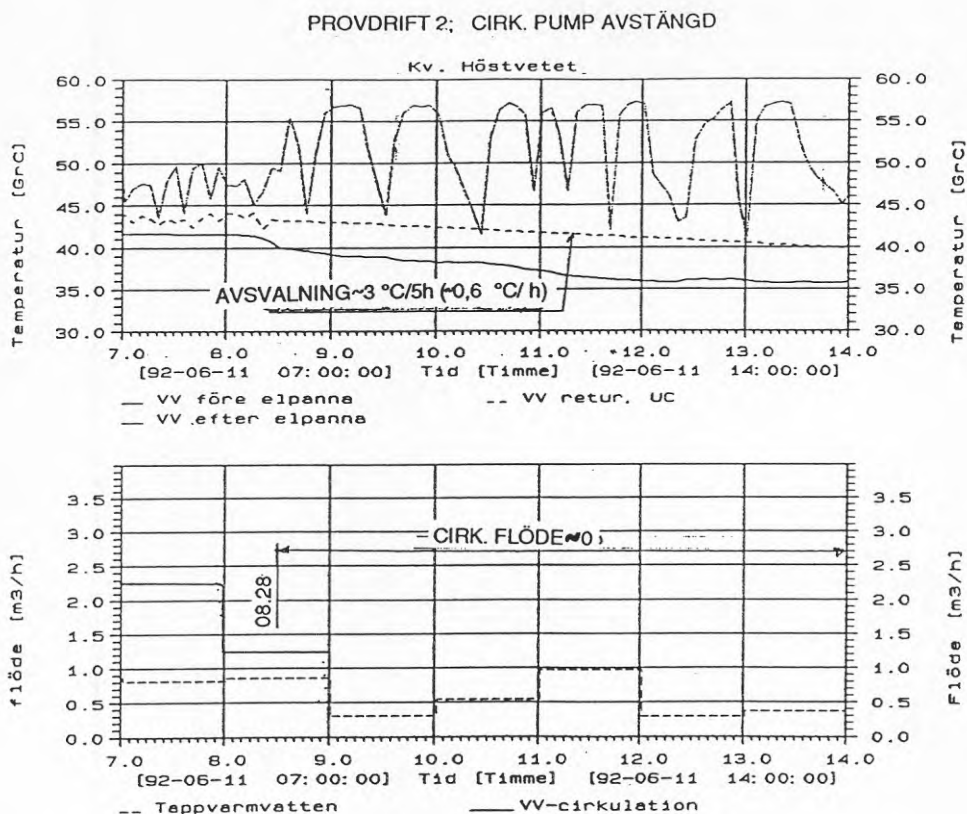


Fig 8.4 Provdraft 2: Varmvattentemperaturer och flöden för cirkulation och tappning

Värmeförlust för enbart varmvattencirkulation beräknas för ett dygn bli ca 0,4-0,5 MWh, max timmedeleffekt ca 30 kW. För årets fem varmaste månader motsvarar detta en energianvändning av ca 60 MWh. Cirkulationspumpen med uppmätt effektbehov 0,47 kW använder motsvarande period ca 1,6 MWh i elenergi. Effektbehovet vid uppvärmning av tappvarmvatten kan vid stora tappningar överstiga 60 kW som framgår av figur 8.5.

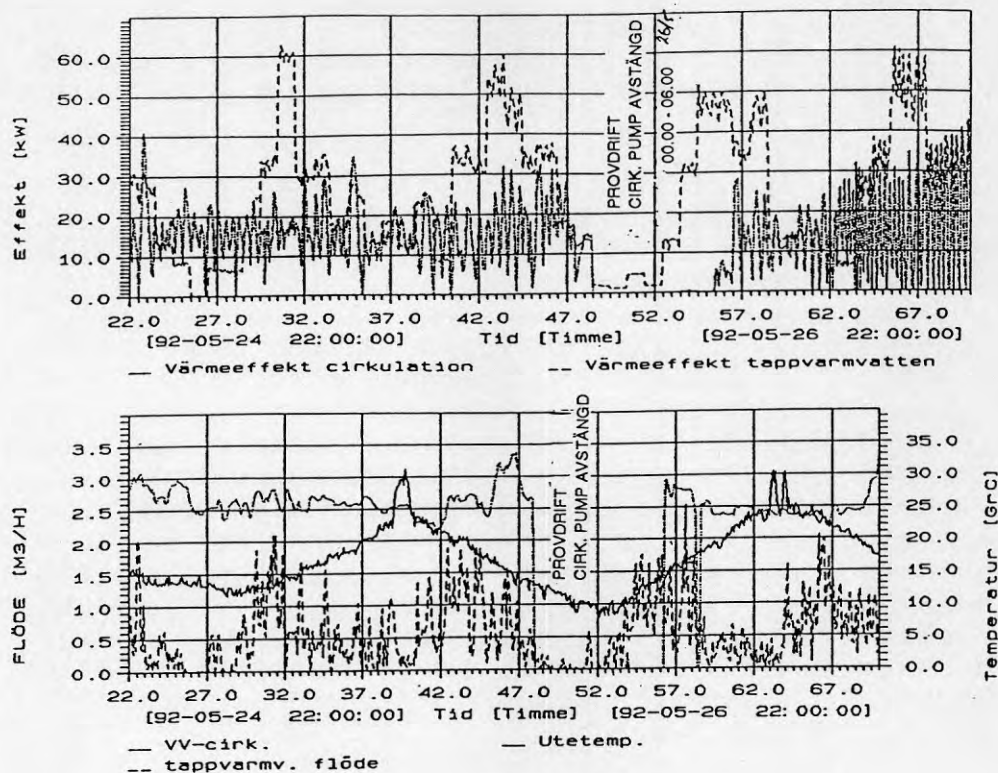


Fig 8.5 Värmeeffekter för varmvattencirkulation och varmvattentappning under normala driftförhållanden

8.1.2 Åtgärdsförslag och besparing

Under den varma årstiden ca fem månader per år behövs bara varmvattencirkulationen under längre perioder då ingen tappning av varmvatten sker. Genom att styra cirkulationspumpens drifttid efter VVC-flödets returtemperatur kan drifttiden minskas väsentligt. Drifttiden bör även kunna minskas under höst och vår. Detta har ännu inte utretts.

Varmvattnets framledningstemperatur i värmecentralen pendlar mellan + 43°C och + 53°C, momentant upp till 10°C högre än VVC-flödets returtemperatur. Vid jämförelse mellan temperaturernas timmedelvärden blir returtemperaturen ca 5-6°C lägre än framledningstemperaturen.

Vid tappning av varmvatten i lägenhet 121, försörjd av stamledningen längst bort från värmecentralen har tappvarmvattentemperaturen vid tappning som lägst uppmätts till motsvarande temperatur som VVC-flödets retur i värmecentralen, drygt 40°C.

Mätningarna visar att det stillastående varmvattnet i returledningen svalnar med ca 0.01°C /min. Detta skulle innebära, med avstängd cirkulationspump, att det dröjer ca 8 timmar innan varmvattnet i ledningen svalnat 5°C.

Varmvatten fram till tappställe behövs sommartid endast vid tappning. Med antagandet att varmvatten i den längst bort belägna stamledningen vid tillfällena då ingen tappning sker, svalnar ungefär lika snabbt som i returledningen i värmecentralen borde cirkulationspumpens drifttid kunna minskas under tider på året då inget uppvärmningsbehov föreligger.

Vid nuvarande drift är VVC-flödets returtemperatur i värmecentralen som lägst + 42°C. Om varmvattensystemet map väntetider vid tappning vid sämst belägna tappställe inte skall försämrats bör cirkulationspumpen kunna vara ur drift så länge temperaturen i returledningen överstiger +42°C. Systemets medeltemperatur tillåts att sjunka till ca +40°C. En sänkning av systemets medeltemperatur till +40°C innebär att tappvarmvattentemperaturen vid borterta tappstället blir +40°C.

Med denna driftstrategi blir cirkulationspumpens drifttid ca 50-60 minuter per dygn (ca 10 minuters drifttid var 4:e timma under dagtid). Intervallet mellan pumpstart borde kunna utökas, kanske till 8 timmar. Eftersom avsvälningstiden, dvs tiden det tar för stillastående varmvatten att kylas ned till + 42°C bla är beroende av utgående varmvattentemperatur efter elpannan när cirkulationspumpen är idrift under kort tid måste pumpens driftintervall fastställas genom prov.

Elpanna och värmepumpar skall under den varma årstiden endast värma tappvarmvatten dagtid. Nattetid vid låg tappning, mellan ca kl 00.00 och 05.00 skall elpanna och värmepump vara avstängda.

Systemets värmeavgivning mot +20 gradig luft, linjärt avsvalningsförlopp, förorsakar en temperatursänkning hos varmvattnet.

Vid en framledningstemperatur på +49°C kommer cirkulationsflödets temperatur att sänkas ca 6 grader till +43°C i returledningen i värmecentralen. Systemets medeltemperaturdifferens mellan varmvatten och luft vid cirkulation dT_1 blir ca:

$$dT_1 = (49+43)/2 - 20 = +26^\circ\text{C}$$

I fallet med pumpstart var 4:e timme kommer lägsta varmvattentemperatur i cirkulationssystemet att sjunka ca 7 grader från +42°C till ca +35°C under perioden med avstängd cirkulation. Under samma tidsperiod varierar systemets högsta varmvattentemperatur mellan +49 och 43°C.

Systemets medeltemperaturdifferens dT_2 blir med avstängd cirkulationspump ca:

$$dT_2 = ((49+43)/2 + (42+35)/2)/2 - 20 = +20,3^\circ\text{C}$$

Med ett cirkulationsflöde på 0,8 kg/s blir värmeförlusten under ett dygn ca:

$$P_1 = 24 \cdot (49-43) \cdot 4,2 \cdot 0,8 = 485 \text{ kWh}$$

Förhållandet mellan systemets medeltemperaturdifferens med avstängd cirkulation och med cirkulation är 20,3/26 (motsvarar 78%), varför man kan ansätta att förlusten vid avstängd cirkulation minskar med 22% av 485 kWh.

Besparingen blir om cirkulationspumpen är idrift 1 timme per dygn ca $23/24 \cdot 0,22 \cdot 485 = 100$ kWh per dygn och för perioden maj-september då inget uppvärmningsbehov föreligger, 150 dygn ca:

$$0,1 \cdot 150 = 15,3 \text{ MWh.}$$

Om besparingen inkluderar minskad drivenergi till cirkulationspumpen blir denna för 150 dygn ca:

$$15,3 + (24-1) \cdot 0,00047 \cdot 150 = 15,3 + 1,6 = 16,9 \text{ MWh}$$

Med ett elpris på 0,5 kr/kWh och en värmefaktor på 3,0 innebär (70% täckning av värmepump och 30% av elpannan) detta en årlig besparing av ca:

$$((0,3 \cdot 15,3) + (0,7 \cdot 15,3/3) + 1,6) \cdot 500 = 4\,900 \text{ kr}$$

Om perioden utan pumpdrift utökas till april-oktober och pumpen är idrift 1 timme per dygn ger detta en årlig besparing enligt:

$$0,1 \cdot 210 = 21,4 \text{ MWh (23 mWh inkl. pumpel) vilket ger:}$$

$$((0,3 \cdot 21,4) + (0,7 \cdot 21,4/3) + 1,6 \cdot 21/15) \cdot 500 = 6\,800 \text{ kr}$$

9 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

I kv Höstvetet är den årliga användningen av el till cirkulationspumpar och fläktar stor, ca 30 kWh/m² BRA av hela fastighetselen på 50 kWh/m² BRA. Dessa 30 kWh/m² BRA motsvarar ungefär värmepumparnas totala elanvändning eller knappt halva elanvändningen för både värmepumpar och elpanna. Det sammanlagda effektbehovet för cirkulationspumpar och fläktar varierar mellan ca 22 och 35 kW. Det höga effektbehovet gäller vid driftfallet då värme utvinns ur uteluften.

Vid driftfallet då värme utvinns ur uteluften med högt flöde genom gårdsluftsaggragatet är effektbehovet till fläkten, stort ca 13,5 KW. Effektanvändningen beror delvis på stort tryckfall över kylbatteriet vid det höga flödet. Eftersom laddning av ackumulatorerna till husets uppvärmning och tappvarmvatten prioriteras före laddning av säsongslagret, blir elåtgången hög under perioder med lågt uppvärmningsbehov. Lagret laddas ofta nattetid under den varma årstiden, med värme utvunnen ur uteluft. Det finns mer ekonomiska sätt att utvinna värme ur luft. Byte till bättre dimensionerat kylbatteri med lägre tryckfall skulle minska elåtgången. Ett annat alternativ är att utvinna värme ur tex bostädernas avluft med mindre flöde men med högre temperatur.

I jämförelse med två andra hus i Stockholmsprojektet med värmepumpssystem, kv Konsolen och kv Bodbetjanten är användningen av fastighetsel stor.

I kv Bodbetjanten och kv Konsolen används ca 39 respektive ca 27 kWh/m² BRA och år till fastighetsel jämfört med kv Höstvetet som använder ca 50 kWh/m² BRA och år. I köpt energi till hushållen, ca 28 kWh/m² BRA ingår elenergi till varmluftsaggregaten i lägenheterna. Denna el skall ingå i fastighetselen som då blir mellan 50 och 60 kWh/m² BRA och år.

Den totala elanvändningen för att producera värme vid urladdning av borrhålsaggregatet blir hög eftersom lagret till viss del är varmt med värmepumpsel. Värmepumparna används två gånger mot lagret, både vid laddning och urladdning. Om värmefaktorn för systemet med värmepumpar tillsammans med lager beräknas som förhållandet mellan total avgiven energi från värmepumpar vid urladdning och total köpt drivenergi till värmepumpar, cirkulationspumpar och gårdsluftsaggregat vid laddning och urladdning blir systemets värmefaktor för perioden 89.05 tom 90.02 endast ca 1,4.

Systemets låga värmefaktor vid urladdning och laddning beror delvis av hög elanvändning av drivel till pumpar och fläktar. Av köpt energi vid laddning och urladdning av lagret är ca 20 % drivel till cirkulationspumpar och gårdsluftsaggregat, resten är värmepumpel. Lagret har dock en utjämnande inverkan på kostnaden för köpt energi över året, eftersom lagret till största delen laddas under låglasttid och värme hämtas tillbaka under höglasttid då elkostnaden är högre.

Värmepumparnas medelvärmefaktor, förhållandet mellan avgiven energi från värmepumpar och tillförd elenergi till värmepumpar under ett år blir ca 3,0. Om periodens medelvärmefaktor räknas på den andel av energin från värmepumparna som nyttiggörs för uppvärmning och tappvarmvattenberedning blir denna ca 2,1.

Energitransporten till och från värmelagret påverkas av hur väl installationerna i huset fungerar ihop. Driftstörningar pga trasiga ventiler, läckande värmepumpar mm och komplicerad teknik som kräver välutbildad driftpersonal har medfört att i- och urladdning av lagret delvis har skett okontrollerat.

Simuleringsberäkningar visar att skillnaden i bergtemperatur på 64 meters djup mellan två tidpunkter är ett mått på hur mycket energi som laddats i eller laddats ur lagret under samma period. Genom att känna till bergtemperaturen på 64 meters djup kan alltså energiförloppet i lagret styras.

Med en ny driftstrategi och en mindre ombyggnad, en ny fläkt med återvinningsbatteri ansluts till lagrets brinekrets kan lagret laddas utan värmepump med brine av lägre temperatur. Genom att byta till brine med lägre fryspunkt kan ett större energiuttag ur lagret göras. Lagrets lägsta temperatur kommer att sänkas. Åtgärden medför att värmefaktorn vid låga brinetemperaturer blir något försämrade men köpt energi till uppvärmning bör minska. Ökat uttag ur lagret är ekonomiskt intressant så länge elanvändningen till elpannan minskar mer än den ökar till värmepumpen, vilket inte alltid är fallet.

Det kombinerade systemet med gemensamma ledningar för uppvärmning och tappvarmvatten medför att transmissionsförlusterna från ledningarna blir betydande. Studier visar på möjligheter att minska energianvändningen för varmvattenuppvärmning under perioder med litet uppvärmningsbehov. Detta kan ske genom att behovsstyra cirkulationspumpen för varmvatten-cirkulation och därmed minskar energianvändningen med ca 15 till 20 MWh per år.

REFERENSER

Litteratur

1. Byggforskningsrådet, Höstvetet-Suncourt, Internationellt forsknings- och demonstrationsprojekt för energisnåla flerbostadshus i Hagsätra. BFR, S:1986 (Broschyr)
2. Kellner J, mfl, Stockholmsprojektet, kv Höstvetet - överglasad gård, värmepumpar och borrhålslager i flerbostadshus - system Suncourt. BFR Rapport R81:1986
3. Engelbert I; Johnsson H, Stockholmsprojektet - Effekt-och energisimuleringar med datorprogrammen BRIS och DEROB. BFR Rapport 59:1986
4. Johannesson C M, Areaberäkningar i flerbostadshus Avdelningen för konstruktionslära, KTH 1988
5. Elmroth, et al, Stockholmsprojektet - Sex unika hus, Energisnåla nya flerbostadshus. Teknik och erfarenheter från Stockholmsprojektet. BFR Rapport G2:1988
5. Elmroth, et al, Stockholmsprojektet - Unika resultat från sex energisnåla hus. BFR Rapport T14:1989
6. Hellström J, Sundstöm B, Funktionsstudier av energisystem för laddning av säsongslager i berg. Examensarbete, Byggnadsteknik, EHUB, KTH 1987
7. Olsson U, Simulering av bergvärmelager i kvarteret Höstvetet Examensarbete, KTH 1989-11-16
8. VVS-Handboken, Tabeller och diagram Förlags AB VVS, 1974
9. Andersson J, Glas L-O, Granryd E, Kylteknik för processtekniker Ingenjör förlaget AB, 1976
10. Norell B, Borrhålsvärmelager i berg vid Högskolan i Luleå, Slutrapport-Projekt Lulevärme 1982-1988 Forskningsrapport TULEA 1989:24, Serie A nr 181

R30:1993
ISBN 91-540-5562-8
Bygghälsan, Stockholm

Art.nr: 6813030
Abonnemangsgrupp:
W. Installationer
T. Fastighetsförvaltning

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirkapris: 101 kr inkl moms