

Peter Kovács  
Martin Sandberg

**Provning av ackumulator-  
system för vedpanna och  
solvärme**

SP AR 1998:13

# Innehållsförteckning

	<b>Förord</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Sammanfattning</b>	<b>4</b>
1.1	Bakgrund	4
1.2	Beskrivning av provade system	4
1.3	Projektbeskrivning	4
1.4	Resultat	5
1.5	Slutsatser och rekommendationer	5
<b>2</b>	<b>Projektbeskrivning</b>	<b>6</b>
2.1	Syfte	6
2.1.1	Urval av system	6
2.1.2	Allmänt	6
2.2	Driftfall 1 - Bestämning av sommarförluster och varmvattenkapacitet	8
2.3	Driftfall 2 - Bestämning av vinterförluster	9
2.4	Driftfall 3.1 - Bestämning av systemprestanda vid sommar drift	10
2.5	Driftfall 3.2 - Bestämning av systemprestanda vid vår/höst drift	12
2.6	Driftfall 3.3 - Bestämning av systemprestanda vid vinter drift	14
2.7	Beräkning av resultat på årsbasis	16
2.8	Utvärdering av systemaspekter	16
<b>3</b>	<b>Resultat</b>	<b>17</b>
3.1	Driftfall 1 - Bestämning av sommarförluster och varmvattenkapacitet	19
3.2	Driftfall 2 - Bestämning av vinterförluster	22
3.3	Driftfall 3.1 - Bestämning av systemprestanda vid sommar drift	23
3.4	Driftfall 3.2 - Bestämning av systemprestanda vid vår/höst drift	25
3.5	Driftfall 3.3 - Bestämning av systemprestanda vid vinter drift	27
3.6	Beräkning av resultat på årsbasis	28
3.7	Utvärdering av systemaspekter	31
3.7.1	Solvärmeutbyte	31
3.7.2	Förluster	32
3.7.3	Beständighet	32
3.7.4	Installation och drift	33
3.7.5	Allmänt	33
<b>4</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>Sex goda råd för installation och drift av ett ackumulatorsystem</b>	<b>36</b>
<b>Bilaga 1</b>	<b>Beräknade resultat i tabellform</b>	<b>37</b>
<b>Bilaga 2</b>	<b>Systembeskrivningar</b>	<b>41</b>
<b>Bilaga 3</b>	<b>Definitioner och beteckningar</b>	<b>49</b>
<b>Bilaga 4</b>	<b>Uppskattning av osäkerhet i mätningar och beräkningar</b>	<b>53</b>
<b>Bilaga 5</b>	<b>Provuppställning och utrustning</b>	<b>55</b>

## Förord

Projektet har finansierats av Konsumentverket. De systemlösningar som utvärderats i projektet har valts ut av SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut och Konsumentverket i samarbete och definierats i detalj av olika aktörer på solvärme- och ackumulatormarknaden, ensamma eller i samarbete. Mätningar, databearbetning, analys och rapportskrivning har utförts av SP.

Projektledare har varit Peter Kovács. Mätning och utvärdering har även utförts av Martin Sandberg, John Rune Nielsen och Robert Kjellstrand.

# 1 Sammanfattning

## 1.1 Bakgrund

En ackumulatortank är en nödvändig förutsättning för ett miljövänligt, säkert och bekvämt uppvärmningssystem baserat på vedeldning, men trots detta saknar många vedpannor i dag ackumuleringsmöjligheter. Myndighetskrav på installation av ackumulatortankar har diskuterats, men hittills endast genomförts i ett par kommuner.

Den avvaktande hållningen från konsumenterna har naturligtvis främst med kostnader att göra, men även bristande kunskaper om produktens egenskaper, dimensionering, systemutformning och installation kan bidra till tveksamheten. Framförallt då det gäller system där vedeldningen skall kombineras med solvärme finns det mycket kvar att lära. Dessa är de främsta orsakerna till att detta projekt initierades.

## 1.2 Beskrivning av provade system

Kombinerade system för uppvärmning och varmvattenproduktion har länge varit den dominerade systemtypen i Sverige då solvärme har installerats i enfamiljshus. Ofta har vedeldade system med ackumulatortank kompletterats med solvärme. På så sätt slipper man elda under sommaren och man får ett ur miljösynpunkt attraktivt system. De fyra system som jämförts i denna studie har med utgångspunkt från detta bestått av en eller flera ackumulatortankar utrustade för laddning från vedpanna och solfångare samt från en intern elpatron. Systemen var dimensionerade för att tillgodose behovet av varmvatten och radiatorvärme för ett normalt enfamiljshus.

Total ackumulatorvolym valdes till 1500 liter och lika för alla fyra systemen. Denna volym motsvarar ett genomsnittligt svenskt ackumulatorsystem för vedeldning i ett enfamiljshus. Två av systemen bestod av en 1500 liters tank, ett av två 750 liters- och ett av tre 500 liters tankar. Ett av systemen med 1500 liters tank var speciellt utformat med tanke på högt solvärmeutnyttjande.

Bilaga 2 innehåller en utförlig beskrivning av de provade systemen.

## 1.3 Projektbeskrivning

Systemen studerades övergripande genom bedömning av arbetet med installation och intrimning samt av systemens användarvänlighet. Studien av systemens detaljfunktion omfattade bedömning av effektivitet vid in- och urladdning av energi från de olika kretsarna anslutna till ackumulatortanken, kapacitet för varmvatten och värme samt värmeförluster vid lagring. För att få en heltäckande bild av funktionen vid de olika driftsituationer som kan förekomma under ett år genomfördes en provserie bestående av fem olika driftfall. Studiens upplägg och de olika driftfallen beskrivs i detalj i kapitel 2.

## 1.4 Resultat

Resultaten uppvisar stora skillnader systemen emellan vad avser värmeförluster, solvärmeutnyttjande och användning av köpt energi (el). Specifika förlusteffekter mellan 3 och 13 W/°C beroende på driftfall och system uppmättes och på årsbasis varierade specifika förlusteffekter för systemen mellan 5 och 12 W/°C. Förluster på årsbasis beräknades till 1700 till 3600 kWh beroende på system. I kapitel 3 redovisas resultaten i detalj dels för varje driftfall, dels på årsbasis. Dessutom diskuteras systemaspekter som solvärmeutnyttjande, värmeförluster och beständighet med utgångspunkt från mätningar och praktiska driftserfarenheter. En tabellsammanställning av samtliga beräknade resultat återfinns i bilaga 1.

## 1.5 Slutsatser och rekommendationer

För ett renodlat vedsystem rekommenderas en ensam tank p g a enklare systemlösning och lägre värmeförluster. Även med solvärme anslutet visar det sig att det går att lösa detta på ett bra sätt i en stor tank, men att det blir en tekniskt komplex och sannolikt dyrare installation. Delar man upp sitt system på flera små tankar har man möjlighet att anpassa totalvolymen på ett annat sätt vilket som regel gynnar solvärmen. Det förutsätter dock en engagerad användare eller en väl intrimmad utrustning som kan sköta detta automatiskt.

Genom undersökningen av de fyra systemen har ett antal bra tekniklösningar identifierats vilka kan byggas vidare på, liksom några dåliga som bör undvikas. För en fortsatt utveckling mot effektivare och hållbarare system och komponenter rekommenderas ett tätare samarbete mellan olika aktörer på tank-, pann- och solvärmemarknaden liksom en enhetlig karakterisering och redovisning av värmelagens prestanda.

## 2 Projektbeskrivning

### 2.1 Syfte

Provningsen av har haft som generellt syfte att kartlägga funktionen, övergripande och i detalj hos fyra olika ackumulatorsystem för enfamiljshus. Enligt provningsspecifikationen skulle systemen vara utformade för en effektiv lagring av värme från en given vedpanna och solfångare samt från en intern elpatron och för att kunna tillgodose ett väldefinierat behov av varmvatten och radiatorvärme.

#### 2.1.1 Urval av system

Urvalet av system har skett utifrån flera olika aspekter som vägts samman. Total ackumulatorvolym sattes till 1500 liter och lika för alla fyra systemen. Denna volym motsvarar ett genomsnittligt svenskt ackumulatorsystem för vedeldning i ett enfamiljshus. Anledningen till att samma volym valdes i alla system var helt enkelt för att göra jämförelsen enklare. Samtliga system har valts ur ett tanksortiment som är vanligt förekommande på den svenska marknaden.

Att samla hela volymen i en tank eller dela upp den på två eller tre tankar är en frågeställning med många infallsvinklar som t ex systemkomplexitet, värmeförluster, solvärmeutnyttjande och utrymmeskrav. För att kunna belysa dessa valdes tre olika uppdelningar, nämligen två system bestående av en 1500 liters tank, ett på två gånger 750 liter och ett på tre gånger 500 liter. Ett av systemen med 1500 liters tank var speciellt utformat med tanke på högt solvärmeutnyttjande, något som erfarenhetsmässigt är svårt att lösa med ett så högt förhållande mellan tankvolym och solfångaryta som 150 liter/m<sup>2</sup>.

#### 2.1.2 Allmänt

Utvärdering av den övergripande systemfunktionen innebar bedömning av arbetet med installation och intrimning av systemet samt av dess användarvänlighet, beständighet hos ingående komponenter, flexibilitet i systemlösningen m m. Genom att installationen av systemen huvudsakligen utfördes av SPs personal och driften uteslutande utfördes av densamma gav provningarna ett omfattande underlag för dessa bedömningar.

Studien av systemens detaljfunktion omfattade bedömning av effektivitet vid in- och urladdning av energi från de olika kretsarna anslutna till ackumulatorm, kapacitet för varmvatten och värme samt värmeförluster vid lagring. För att få en heltäckande bild av funktionen vid de olika driftsituationer som kan förekomma under ett år genomfördes en provserie bestående av fem olika driftfall. Hur dessa driftfall var utformade framgår av tabell 1.

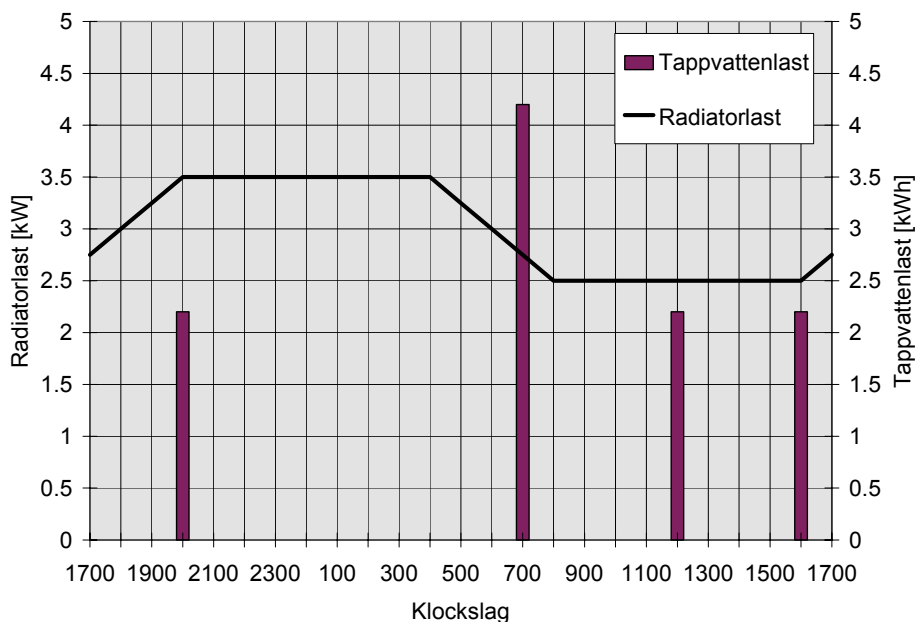
Utformningen bygger på antagandet att den normala systemanvändaren förlitar sig enbart på el och solvärme under sommaren, sent på våren och tidigt på hösten. Kombinationen av el, sol och vedeldning utnyttjas tidig vår och sen höst. Under vintern gäller enbart vedeldning.

Tabell 1. De fem driftfallens utformning. Dygnsprofiler för tillförd och avgiven värme i driftfall 3.1 till 3.3 framgår av diagrammen i figurerna 2, 3 och 4.

Driftfall	1. Sommar	2. Vinter	3.1 Sommar	3.2 Vår/ Höst	3.3 Vinter
<b>Driftfall, typ</b>	12-timmars förlustmätning + kapacitetsprovning	12-timmars förlustmätning	48-timmars driftcykel	48-timmars driftcykel	48-timmars driftcykel
<b>Tillförd värme</b>					
Vedeldning (1× 78 kWh/dygn)		•		•	•
Integrerad elpatron (Enligt termostatinst)	•		•	•	
Solvärme (Efter systemets förmåga)			• Instrålning dygn 1/ 2 7.9/ 2.3 kWh/ m <sup>2</sup>	• Instrålning dygn 1/ 2 6.5/ 1.5 kWh/ m <sup>2</sup>	
<b>Uttagen värme</b>					
Värmelast (3 kW medeleffekt, totalt 72 kWh/ dygn)				•	•
Tappvarmvattenlast (11 kWh/dygn)	Max.kapacitet (Flöde 12 l/min)		• (6 liter/min)	• (6 liter/min)	• (6 liter/min)

I driftfall 1, 3.1 och 3.2 har elpatronen varit aktiv ”vid behov” och i driftfall 2 har ackumulatorn inledningsvis laddats med 78 kWh enligt effektkurva. Beroende på vilket av driftfallen 3.1 till 3.3 som körts har olika dygnsprofiler av tillförd och uttagen värme kombinerats enligt tabellen. Diagrammen i figurerna 1, 2, 3 och 4 visar dessa dygnsprofiler i detalj.

Anledningen till att två stycken förlustmätningar har genomförts (driftfall 1 och 2) är att förlusterna vintertid är högre beroende på andra driftförutsättningar för systemet och på den högre temperaturen som råder i tanken då.



Figur 1. Dygnsprofilen för varmvattentappningarna (driftfall 3.1-3.3) och radiatorlasten (driftfall 3.2 och 3.3). Radiatorkretsens fram- och returledningstemperaturer motsvarar delast i ett 55/45-system och har i medeltal legat på 35/32 °C.

I de följande avsnitten redogörs mer i detalj för uppläggningsen av de fem driftfallen, vilka utgångspunkter som legat till grund för deras utformning och vilka funktioner i systemen de avser att spegla.

## 2.2 Driftfall 1 - Bestämning av sommarförluster och varmvattenkapacitet

I det här driftfallet är det intressant att se vilka förluster som ett system har då den enda energitillförseln sker genom den interna elpatronen. En sådan driftsituation kan uppstå på sommaren vid molniga och regniga dagar då solen inte kan tillföra någon energi. Det är viktigt att elpatronen klarar av att tillföra så mycket energi att systemet klarar av störttappningar.

Det som styr elpatronen och dess energitillförsel är inställningen av termostaten som sitter på elpatronen. En för högt inställd termostat medför onödigt hög temperatur i systemet med förhöjda förluster som följd. Det resulterar även i en överkapacitet på varmvatten, men framförallt försämrar det driftförutsättningarna för solvärmens som utnyttjas mer effektivt ju lägre tanktemperatur den kan arbeta mot. En för lågt ställd termostat innebär att systemet ej klarar av de krav på störttappningar som är ställda.

Inställningen av termostaten är individuell för varje system beroende på dels den volym som värms av elpatronen och effektiviteten på tappkretsen i systemet. Termostats inställning bestäms av tillverkarna.

Förlustmätningen går till så att systemet har ett initialtillstånd på 40 °C. Elpatronen får sedan värma upp sin andel av systemet till inställt värde på termostaten och stabilisera sig under ca 30 h. Därefter bestäms systemets förluster under en 12-timmars-period genom mätning av elförbrukningen för den interna elpatronen. Två störttappningar utförs sedan inom loppet av 1 timma. Den första tappningen startar då elpatronens termostat slår ifrån första gången efter förlustmätningen. Tappningen avbryts efter att motsvarande 140 liter

vatten varmt från 10 till 40 °C tappats av. En timma efter starten av den första tappningen sker en ny tappning på minst 130 liter varmvatten varmt från 10 till 40 °C.

Om temperaturen understiger 40 °C innan de 130 litrarna tappats upprepas provet med en ny högre inställning på termostaten. Den inställning som fastställs i detta driftfall kommer sedan att gälla de övriga driftfall där elpatronen är aktiv (3.1 och 3.2).

För att värdera utfallet av driftfallet definieras två nyckeltal enligt nedan.

Verkningsgrad:

$$\eta_1 = \frac{Q_{Uppl.} - Q_{Förl.}}{Q_{Uppl.}} \quad (1)$$

$Q_{Uppl.}$  = Energi tillförd av elpatronen vid uppladdning av systemet [kWh]

$Q_{Förl.}$  = Förluster uppmätta under 12 h [kWh]

Specifik förlusteffekt:

$$q_{S1} = \frac{\bar{P}_{Förl.1}}{\bar{T}_{Tank.1} - \bar{T}_{Omg.}} \quad [W/°C] \quad (2)$$

$\bar{P}_{Förl.1}$  = Medelvärde förlusteffekt 12 h [W]

$\bar{T}_{Tank.1}$  = Medeltemperatur i tanken under driftfallet [°C]

$\bar{T}_{Omg.}$  = Medelvärde omgivningstemperatur [°C]

## 2.3 Driftfall 2 - Bestämning av vinterförluster

De förluster som ett ackumulatorsystem har vintertid är intressanta då medeltemperaturen i ett system är som högst då. Den temperatur som framledningen håller från en vedpanna brukar ligga på ca 80-85 °C. Detta innebär att det översta skiktet i tanken blir väldigt fort varmt och allt eftersom man eldar i sin panna blir mer av tankens vatten uppvärmt.

Driftfallet börjar med ett initialtillstånd där hela systemet har en temperatur på 40 °C. Den simulerade vedpannan laddar sedan in en energimängd på 78 kWh. Pannan har en medeleffekt på 25 kW. Laddningen sker enligt en effektkurva, se kapitel 2.5 eller 2.6. Efter det att pannan har laddat klart börjar en förlustmätning under 12 h där systemet står helt orört. De värmeförluster som systemet har bestäms genom att mäta värmetilskottet till det kalorimeterrum där systemet är placerat. Systemets temperatur återställs sedan till 40 °C.

För att värdera utfallet av driftfallet definieras två nyckeltal enligt nedan.

Verkningsgrad:

$$\eta_2 = \frac{Q_{Uppl.} - Q_{Förl.}}{Q_{Uppl.}} \quad (3)$$

$Q_{Uppl.}$  = Energi tillförd av vedpannan vid uppladdning av systemet [kWh]

$Q_{Förl.}$  = Förluster uppmätta i kalorimeterrummet [kWh]

Specifik förlusteffekt:

$$q_{S2} = \frac{\bar{P}_{Förl.2}}{\bar{T}_{Tank.2} - \bar{T}_{Omg.}} \quad [\text{W}/^{\circ}\text{C}] \quad (4)$$

$\bar{P}_{Förl.2}$  = Medelvärde förlusteffekt 12 h [W]

$\bar{T}_{Tank.2}$  = Medeltemperatur i tanken under driftfallet [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\bar{T}_{Omg.}$  = Medelvärde omgivningstemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

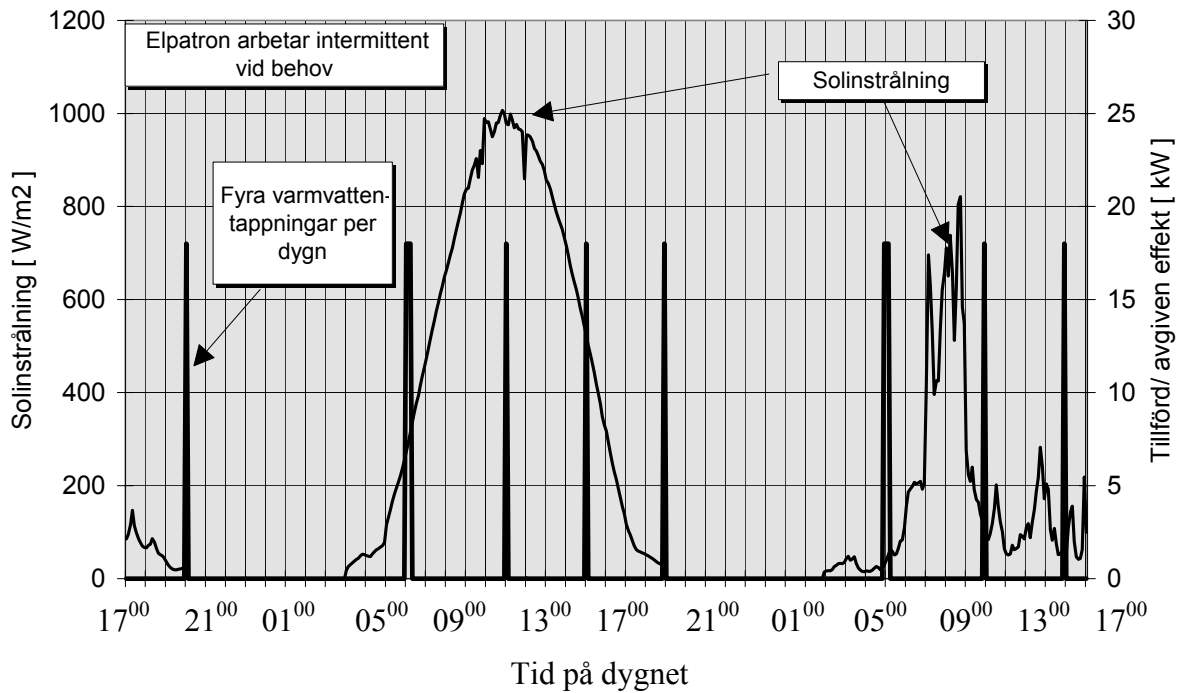
## 2.4 Driftfall 3.1 - Bestämning av systemprestanda vid sommar drift

Det här driftfallet skall efterlikna två typiska somardagar. De kretsar som tillför energi till systemet är solkretsen och den interna elpatronen. Den interna elpatronens inställning är densamma som i driftfall 1.

För första dagen motsvarar solinstrålningen en molnfri dag (se figur 2). Den andra dagen motsvarar en relativt mulen dag med låga instrålningsvärden. Det effektuttag som belastar systemet sker i form av en tappvarmvattenlast (se figur 1) uppdelad på fyra tappningar. Totalt är energiuttaget från systemet ca 11 kWh per dygn. Under sommarmånaderna är det sällsynt att man behöver värma något hus så därför sker ingen simulerad radiatorlast.

Elpatronen arbetar intermittent vid behov. Solfångaren simuleras med hjälp av en väderdatafil och solfångarekvation enligt bilaga 3. Samverkan mellan dessa kretsar beror på hur systemet är utformat, vilket också styr hur stor mängd av de olika energislagen som laddas in. Det man eftersträvar är att minimera användningen av köpt energi (el). Elpatronen skall idealt endast gå in om det är nödvändigt för att upprätthålla en lägsta komfortnivå på tappvarmvattnet.

Det här driftfallet börjar också med ett initialtillstånd på 40  $^{\circ}\text{C}$ . Därefter kommer driftcykeln på 48 timmar som inleds klockan 17<sup>00</sup> (se figur 2). Energiflödena till och från systemet mäts under tiden. Driftfallet avslutas med att systemet återställs till initialtillståndet 40  $^{\circ}\text{C}$ .



Figur 2. I driftfall 3.1 utnyttjas solvärme och elpatron för produktion av tappvarmvatten.

För att värdera utfallet av driftfallet definieras tre nyckeltal enligt nedan.

Verkningsgrad:

$$\eta_{3.1} = \frac{Q_{Nyttigt}}{Q_{Sol} + Q_{El}} \quad (5)$$

$Q_{Nyttigt}$  = Avtappad energimängd plus nyttig energimängd i restinnehåll [kWh]

$Q_{Sol}$  = Tillförd energi från solvärme [kWh]

$Q_{El}$  = Tillförd energi från elpatron [kWh]

Täckningsgrad sol:

$$TG_{Sol.3.1} = \frac{Q_{Sol}}{Q_{Sol} + Q_{El} - Q_{El.Start}} \quad (6)$$

$Q_{Sol}$  = Tillförd energi från solvärme [kWh]

$Q_{El}$  = Tillförd energi från elpatron [kWh]

$Q_{El.Start}$  = Energimängd i början av driftcykeln som hjälper till att lyfta upp tanken till rätt nivå [kWh]

Specifik förlusteffekt:

$$q_{S3.1} = \frac{\bar{P}_{Förl.3.1}}{\bar{T}_{Tank.3.1} - \bar{T}_{Omg.}} \quad [\text{W}/^{\circ}\text{C}] \quad (7)$$

$\bar{P}_{Förl.3.1}$  = Medelvärde förlusteffekt 12 h [W]

$\bar{T}_{Tank.3.1}$  = Medeltemperatur i tanken under driftfallet [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\bar{T}_{Omg.}$  = Medelvärde omgivningstemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

## 2.5 Driftfall 3.2 - Bestämning av systemprestanda vid vår/ höstdrift

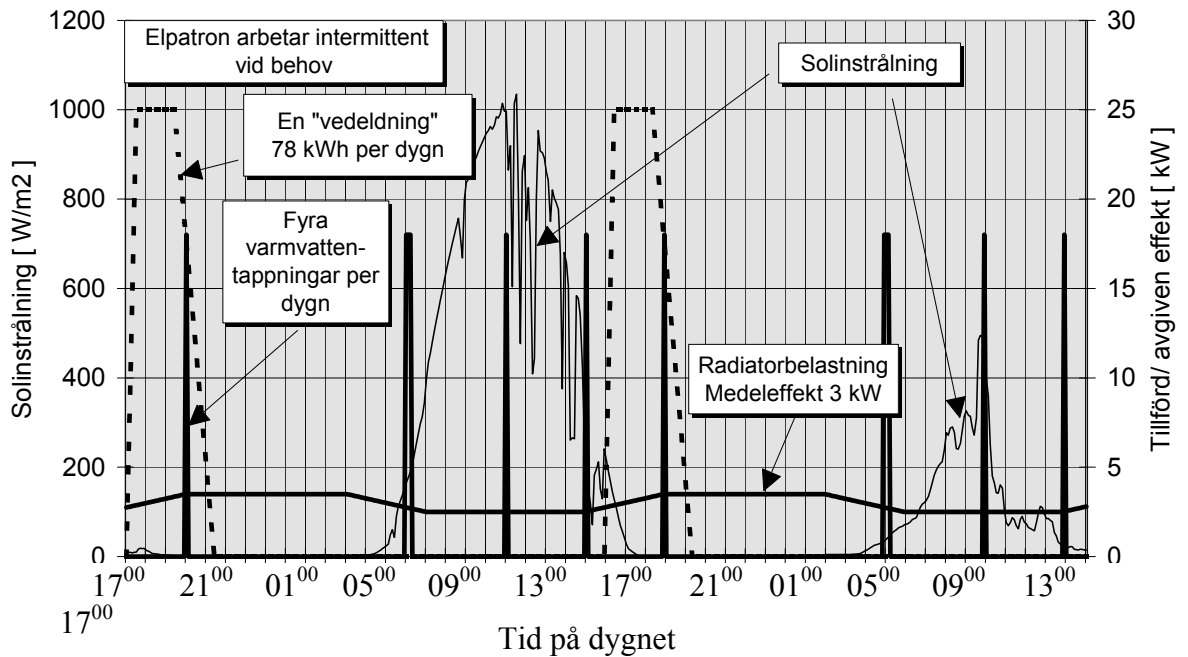
Det här driftfallet skall efterlikna en två dygn lång period under hösten eller våren där samtliga kretsar kopplade till systemet är aktiva. Den interna elpatronens inställning är densamma som i driftfall 1.

Båda dagarna klockan 17<sup>00</sup> sker en laddning med den simulerade vedpannan (se figur 3). Maxeffekten är 25 kW och energimängden ca 78 kWh. Solinstrålningskurvan enligt figur 3 utnyttjas och dag 2 är liksom i driftfall 3.1 betydligt sämre än dag 1. Solfångaren simuleras med hjälp av en väderdatafil och solfångarekvation enligt bilaga 3. Elpatronen arbetar även här intermittent efter behov.

Tappvarmvattenlasten är densamma som i driftfall 3.1, men det har tillkommit en simulerad radiatorlast med en medeffekt på 3 kW (se figur 3). Den totala energimängd som tas ut av den simulerade radiatorlasten är ca 144 kWh.

Systemets utformning styr hur väl kretsarna arbetar ihop. Det man eftersträvar är även här att minimera andelen köpt energi (el) och istället utnyttja solenergin i så stor utsträckning som möjligt. Detta försvåras av att temperaturen i systemet är betydligt högre än i driftfall 3.1 p g a vedeldningen, vilket medför att den simulerade solfångaren får arbeta mot en högre tanktemperatur. Det är därför viktigt att tanken/tankarna är så varma som möjligt i toppen och så svala som möjligt i botten.

Driftfallet börjar med initialtillståndet 40  $^{\circ}\text{C}$ . Därefter kommer driftcykeln på 48 timmar som inleds klockan 17<sup>00</sup> med en vedladdning (se figur 3). Under tiden bestäms systemets värmeförluster genom mätning av värmetillskottet till kalorimeterrummet. Samtliga energiflöden till och från systemet mäts också under tiden. Driftfallet avslutas med att systemet återställs till initialtillståndet 40  $^{\circ}\text{C}$ .



Figur 3. I driftfall 3.2 utnyttjas vedeldning, solvärme och elpatron för produktion av tappvarmvatten och radiatorvärme.

För att värdera utfallet av driftfallet definieras fyra nyckeltal enligt nedan.

Verkningsgrad:

$$\eta_{3.2} = \frac{Q_{\text{Nyttigt}}}{Q_{\text{Sol}} + Q_{\text{El}} + Q_{\text{Ved}}} \quad (8)$$

$Q_{\text{Nyttigt}}$  = Energimängd uttagen via radiatorlast plus avtappad energimängd plus nyttigt energimängd i restinnehåll [kWh]

$Q_{\text{Sol}}$  = Tillförd energi från solvärme [kWh]

$Q_{\text{El}}$  = Tillförd energi från elpatron [kWh]

$Q_{\text{Ved}}$  = Tillförd energi från vedpanna [kWh]

Täckningsgrad sol:

$$TG_{\text{Sol.3.2}} = \frac{Q_{\text{Sol}}}{Q_{\text{Sol}} + Q_{\text{El}} + Q_{\text{Ved}} - Q_{\text{El.Start}}} \quad (9)$$

$Q_{\text{Sol}}$  = Tillförd energi från solvärme [kWh]

$Q_{\text{El}}$  = Tillförd energi från elpatron [kWh]

$Q_{\text{Ved}}$  = Tillförd energi från vedpanna [kWh]

$Q_{\text{El.Start}}$  = Energimängd i början av driftcykeln som hjälper till att lyfta upp tanken till rätt nivå [kWh]

Täckningsgrad ved:

$$TG_{Ved} = \frac{Q_{Ved}}{Q_{Sol} + Q_{El} + Q_{Ved} - Q_{El.Start}} \quad (10)$$

$Q_{Sol}$  = Tillförd energi från solvärme [kWh]

$Q_{El}$  = Tillförd energi från elpatron [kWh]

$Q_{Ved}$  = Tillförd energi från vedpanna [kWh]

$Q_{El.Start}$  = Energimängd i början av driftcykeln som hjälper till att lyfta upp tanken till rätt nivå [kWh]

Specifik förlusteffekt:

$$q_{S3.2} = \frac{\bar{P}_{Förl.3.2}}{\bar{T}_{Tank.3.2} - \bar{T}_{Omg.}} \quad [W/°C] \quad (11)$$

$\bar{P}_{Förl.3.2}$  = Medelvärde förlusteffekt 12 h [W]

$\bar{T}_{Tank.3.2}$  = Medeltemperatur i tanken under driftfallet [°C]

$\bar{T}_{Omg.}$  = Medelvärde omgivningstemperatur [°C]

## 2.6 Driftfall 3.3 - Bestämning av systemprestanda vid vinterdrift

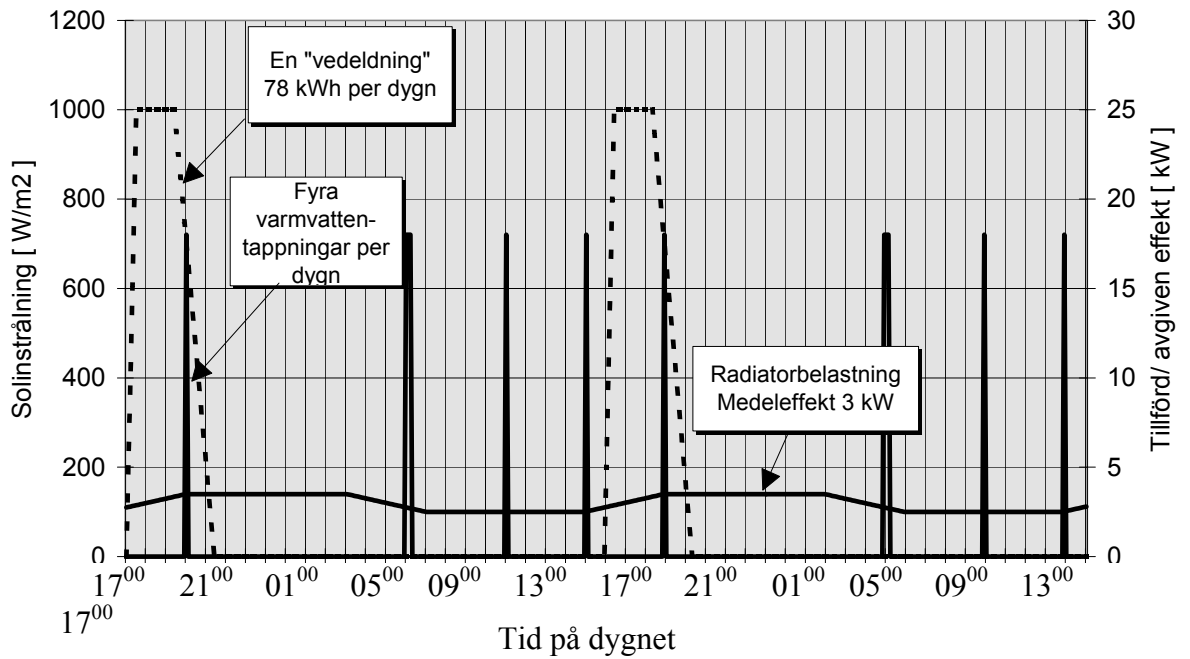
Vid bestämning av systemprestanda vid vinterdrift är det förutsett att systemanvändaren enbart tillför energi till systemet genom vedeldning. Både solkretsen och elpatronen är inaktiva. Driftfallet löper också här över två dagar.

Effektuttaget sker på samma sätt som i driftfall 3.2. De totala energimängderna som bortförs är för tappvarmvattenlasten ca 22 kWh och för den simulerade radiatorlasten ca 144 kWh.

Den simulerade vedpannan tillför samma energimängd som i driftfall 2 och 3.2 ca 78 kWh per laddning och laddningarna sker klockan 17<sup>00</sup> varje dag (se figur 4).

Det man eftersträvar är att när pannan börjar ladda systemet skall det fort bli varmt i toppen av tanken och sedan skall värmelagringen ske uppifrån och ned.

Driftfallet börjar med initialtillståndet 40 °C i hela systemet. Driftcykeln på 48 timmar inleds med en vedladdning klockan 17<sup>00</sup>. Systemets värmeförluster bestäms under tiden genom mätning av värmetillskottet till kalorimeterrummet. Likaså mäts också samtliga energiflöden i systemet under driftfallet. Återställning till initialtillståndet när driftfallet avslutats.



Figur 4. I driftfall 3.3 utnyttjas enbart vedeldning för produktion av tappvarmvatten och radiatorvärme.

För att värdera utfallet av driftfallet definieras två nyckeltal enligt nedan.

Verkningsgrad förlustmätning vinter:

$$\eta_{3.3} = \frac{Q_{\text{Nyttigt}}}{Q_{\text{Ved}}} \quad (12)$$

$Q_{\text{Nyttigt}}$  = Energimängd uttagen via radiatorlast plus avtappad energimängd plus nyttigt energimängd i restinnehåll [kWh]

$Q_{\text{Ved}}$  = Tillförd energi från vedpanna [kWh]

Specifik förlusteffekt:

$$q_{S3.3} = \frac{\bar{P}_{\text{Förl.3.3}}}{\bar{T}_{\text{Tank.3.3}} - \bar{T}_{\text{Omg.}}} \quad [\text{W}/^{\circ}\text{C}] \quad (13)$$

$\bar{P}_{\text{Förl.3.3}}$  = Medelvärde förlusteffekt 12 h [W]

$\bar{T}_{\text{Tank.3.3}}$  = Medeltemperatur i tanken under driftfallet [°C]

$\bar{T}_{\text{Omg.}}$  = Medelvärde omgivningstemperatur [°C]

## 2.7 Beräkning av resultat på årsbasis

Att kunna redovisa olika karakteristiska egenskaper för systemen på årsbasis är naturligtvis önskvärt eftersom systemen antas vara i drift under hela året. Ett årsvärde för systemets förluster och ett som karakteriserar solvärmeutnyttjandet vore därför önskvärt. Provningsen är också upplagd så att de olika driftfallen sammantaget skall spegla systemets ”uppförande” vid normal drift under ett år. De olika driftfallen i sig baseras dock på en rad olika antaganden och förenklingar om t ex hur lasterna varierar över året och dygnet. En uppskattning av andelen drifttid vid de olika driftfallen under ett ”normalår” kommer vidare att bero på en mängd olika antaganden om brukarvanor och om husets värmebehov. En sådan uppskattning kommer antingen att bli väldigt omfattande eller väldigt subjektiv varför den lämnas därhän i denna rapport.

Systemens verkningsgrader sammanfattas därför som ett rent medelvärde för de tre driftfallen d v s systemen antas under ett år vara i drift fyra månader vid varje driftfall. Detta är naturligtvis en förenkling i många avseenden men det leder ändå fram till ett ändamålsenligt och relativt stabilt nyckeltal.

En motsvarande förenkling för täckningsgrad solvärme riskerar däremot att bli kraftigt missvisande varför dessa värden redovisas driftfall för driftfall. Även för dessa driftfalls-specifika nyckeltal bör poängteras att de i första hand skall tjäna som jämförelsetal systemen emellan. Täckningsgraden för solvärme och ved har för driftfall 3.1 och 3.2 beräknats direkt från mätdata.

## 2.8 Utvärdering av systemaspekter

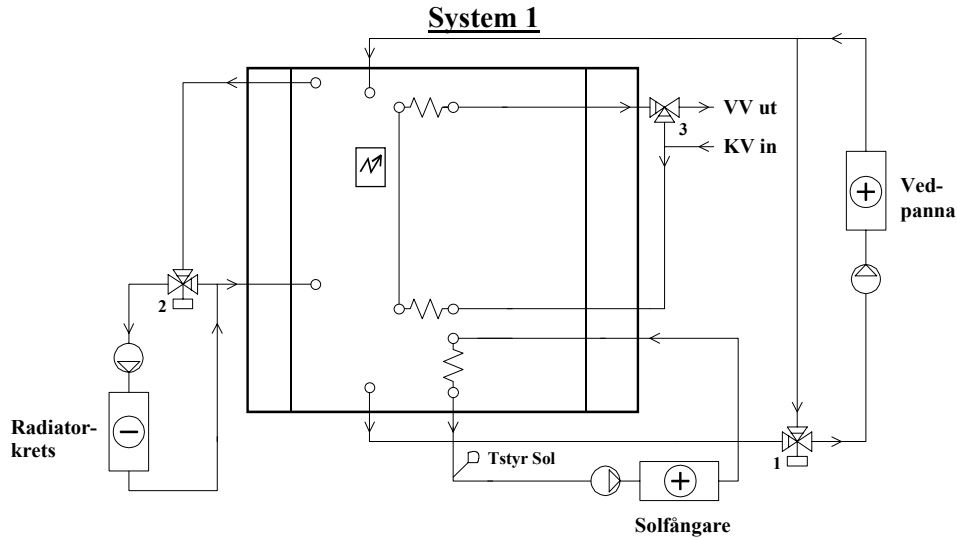
Provningsresultaten sammanfattas främst i ett antal nyckeltal som beskriver systemförluster och solvärmens täckningsgrad. Därutöver söker provningarna svar på ett antal frågeställningar som blir aktuella i samband med en investering i ett ackumulatorsystem för vedeldning och solvärme. Exempel på sådana frågor och önskemål är:

- Utrymmeskrav (vad är möjligt att få in genom dörrar, hur stor plats finns tillgänglig?)
- Enkel installation blir billigare och risken att det ska bli fel minskar
- Enkel drift och underhåll
- ”Tillräcklig” ackumuleringsförmåga
- Högt solvärmeutnyttjande
- Låg investerings- och driftkostnad
- God beständighet på systemet
- Flexibilitet i systemlösningen

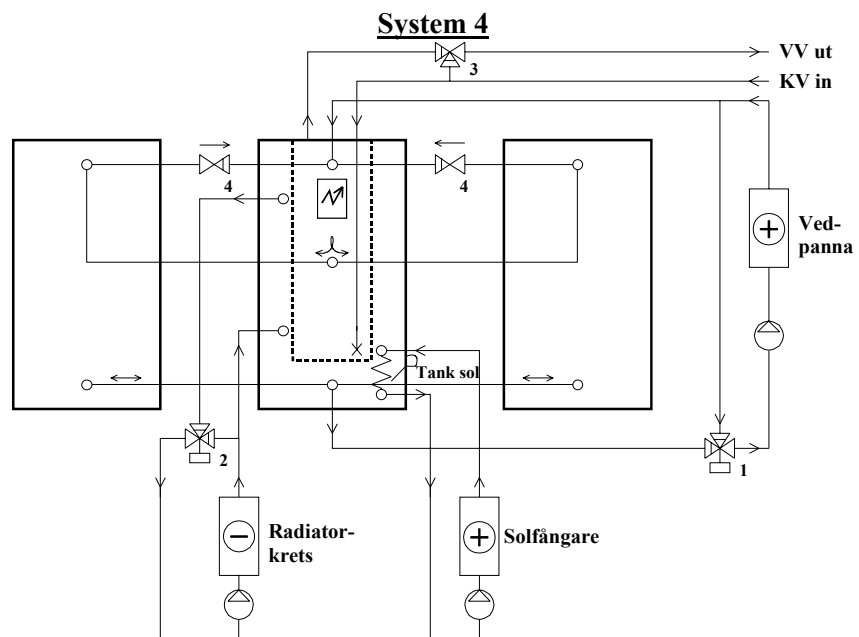
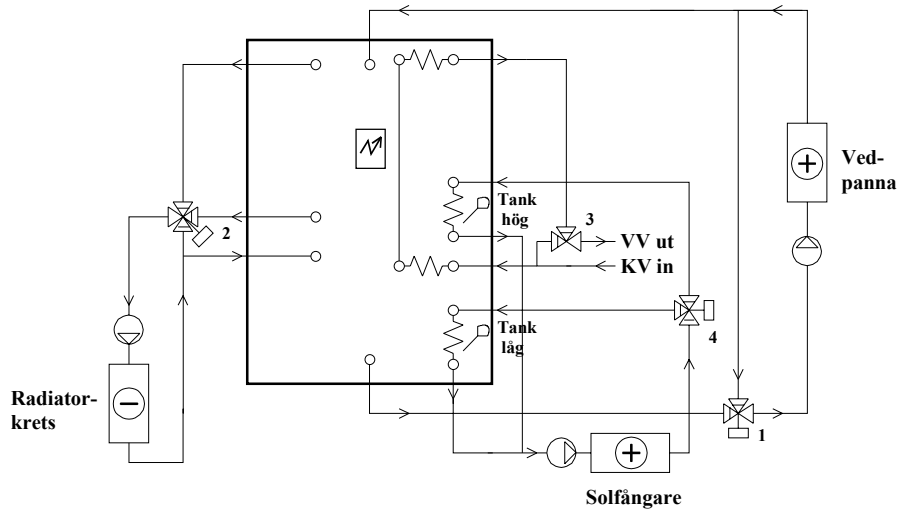
Mätdata tillsammans med erfarenheter från installation och drift av de fyra systemen ger ett brett underlag för denna utvärdering som redovisas i kapitel 3.7.

### 3 Resultat

I de följande avsnitten redovisas provningens resultat. Avsnitt 3.1 - 3.5 redovisar utfallet av de fem olika driftsfallen. I avsnitt 3.6 följer en sammanställning av beräknade resultat på årsbasis. I avsnitt 3.7 följer så en redovisning av de slutsatser som kan dras beträffande sk systemaspekter utifrån mätresultat, installations- och driftserfarenheter. Vid genomgången av resultaten kan figur 5 vara till hjälp för att förstå avgörande systemskillnader.



### System 3



Figur 5. Total ackumulatorvolym 1500 liter inrymd i en, två eller tre tankar.

### 3.1 Driftfall 1 - Bestämning av sommarförluster och varmvattenkapacitet

I detta prov har ackumulatorsystemen alltså laddats med enbart den interna elpatronen till inställt värde. Elpatronens ”tomgångsförbrukning” har sedan fått utgöra måttet på systemets förluster. Deltagarna uppmanades i syfte att nedbringa förlusterna och skapa goda driftförutsättningar för solvärmen att välja en så låg termostatinställning som möjligt. Inställningen fick dock inte vara lägre än att en lägsta angiven varmvattenkapacitet enligt figur 6 kunde erhållas. Någon optimering av denna inställning medgav inte provningarna eftersom det är tidskrävande och därmed kostsamt att genomföra en sådan.

Resultaten i form av varmvattenkapacitet visar att system 1 valt en avsevärt högre inställning än vad som varit nödvändigt för att uppfylla kraven och att system 2 och 3 lyckats hitta en nära nog optimal inställning. Generellt kan sägas att kunskaperna om förhållandet mellan termostatinställning och erhållen varmvattenkapacitet för tre av fyra system var låg.

Det kan naturligtvis diskuteras om den genomsnittlige användaren är intresserad av en sådan information. Eftersom solvärmeutbytet och framförallt elförbrukningen i ett ackumulatorsystem blir kraftigt beroende av vilken termostatinställning man väljer bör hur som helst informationen om att man som användare bör sträva efter ”lägsta möjliga inställning” vara av stort värde. Att i det sammanhanget kunna rekommendera en viss inställning som svarar mot en kapacitet enligt normen kan kanske ha ett värde för vissa användare.

Valda inställningar tillsammans med uppgifter om hur stor andel av de olika ackumulatorsystemen som respektive elpatron värmer framgår av tabell 2. Där presenteras även de nyckeltal som är definierade i projektbeskrivningens avsnitt 2. Av dessa framgår först och främst hur effektiv isoleringen av system 3 är jämfört med övriga system. Jämfört med system 1, som liksom system 3 består av en enda tank, har de specifika förlusterna mer än halverats.

Skillnaden mellan system 1 och 2 kräver en förklaring. Eftersom dessa ”på pappret” värmer lika stor andel av systemet och de har jämförbar isoleringskvalité, förväntas de ha ungefär lika stora specifika förluster. Förhållandet skulle t o m kunnat förväntas vara det omvända eftersom system 2 är uppdelat på två tankar (större omslutningsarea = större förluster), men just häri finns en del av förklaringen. Med styrutrustningens hjälp lyckas man nämligen att avgränsa tekniktanken från slavtanken så att den senare inte till någon del värms av elpatronen. Den volym som elpatronen i praktiken värmer blir p g a värmeledning och omblandning i tanken alltid större än den volym (angiven i tabell 2) som befinner sig ovanför den temperaturgivare som styr elpatronen. Detta framgår av figur 7 som visar temperaturerna i system 3 för inledningen av driftfall 1. I system 2 kan dock denna volym aldrig bli större än 750 liter emedan den i system 1 i princip kan bli 1500 liter. En annan bidragande orsak till utfallet torde vara skillnaderna i elpatronernas utförande. I system 2 styr elpatronen endast ut 1 kW vid små skillnader mellan inställt och uppmätt värde till skillnad från system 1 där elpatronen (liksom i system 3) styr ut 6 kW i alla lägen. Det senare medför dels att patronen ofta ”överreagerar” på avvikelser från inställt värde, dels att omblandningen i tanken genom konvektionsströmmar kring elpatronen ökar.

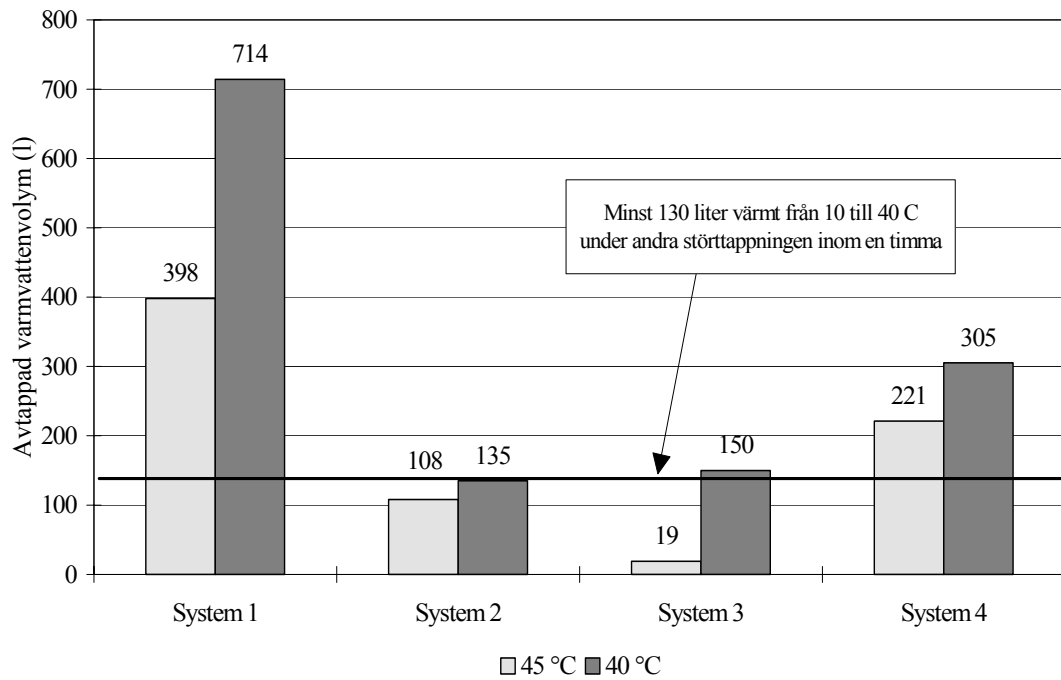
För system 4 visar siffrorna att man inte lyckats i sin målsättning att avgränsa tekniktanken på ett sätt motsvarande system 2. Ett visst läckage bakvägen genom backventilerna (se systemskiss i bilaga 2) har medfört att även en del av slavtankarna har värmts av

elpatronen. Den i praktiken värmda volymen får därmed en stor omslutningsarea (tre tankar) varför förlusterna blir höga.

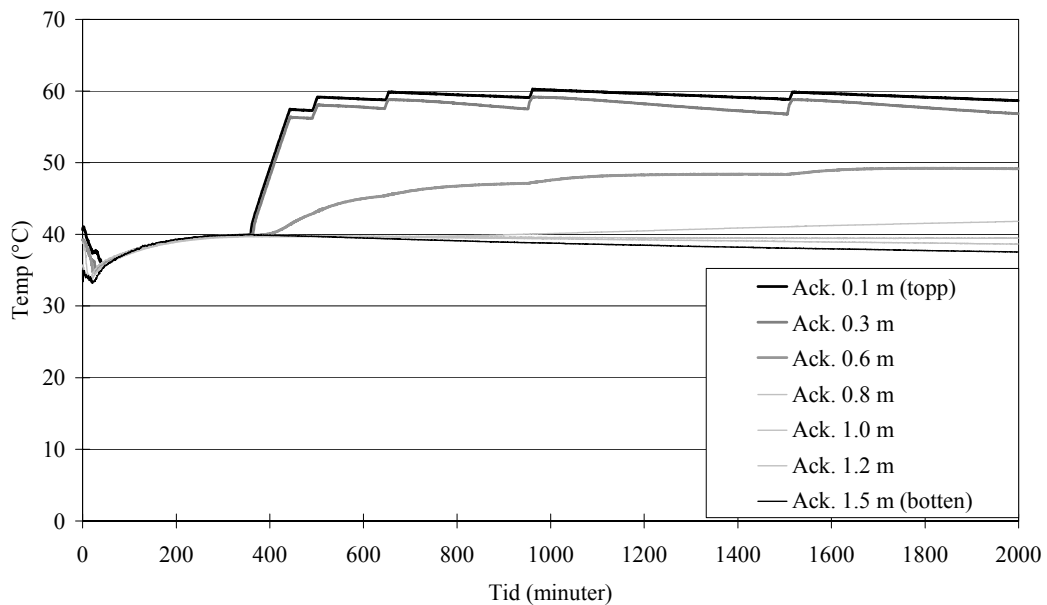
En jämförelse med tomgångsförluster från en ren varmvattenberedare kan vara intressant i sammanhanget. Vid SPs provningar av solvärmda tappvattensystem 1993 låg medelvärdet av fyra beredare (300 liters volym) på 75 W med en variationsvidd på 15 W. 75 W var också max tillåten tomgångsförlust vid normaldrift (= ej energisparläge) i NUTEKs teknikupphandlingstävling på varmvattenberedare (200-250 liters volym) 1997.

Tabell 2. Resultat från förlustmätningen under driftfall 1. Elvärmad volym avser den volym som befinner sig ovanför elpatronens styrgivare i den tank där elpatronen är placerad.

Driftfall 1	Beteckning	System 1	System 2	System 3	System 4
Eluppvärmd volym	[liter]	425	430	570	180
Termostatinställning	[°C]	65	60	55	55
Verkningsgrad	$\eta_l$ [%]	87.7	87.8	92.2	80.8
Förlusteffekt	$\bar{P}_{Förl.1}$ [W]	237	140	89	222
Tankmedeltemp.	$\bar{T}_{Tank.1}$ [°C]	51.2	44.7	46.0	44.7
Specifik förlusteffekt	$q_{Sl}$ [W/°C]	8.0	6.1	3.5	9.9



Figur 6. Figuren visar resultatet av tappning 2. Kapaciteten underskattades för system 1 medan system 2 och 3 valde en optimal inställning.



Figur 7. Figuren visar hur elpatronen även påverkar underliggande nivåer i tanken.

## 3.2 Driftfall 2 - Bestämning av vinterförluster

I detta prov har ackumulatorsystemen laddats med en simulerad vedeldning som gett ett energitillskott på ca 78 kWh. Förlusterna har därefter bestämts som värmegtillskottet till kalorimeterrummet under tolv timmar då systemet varit inaktivt, d v s inget ytterligare värmegtillskott eller -uttag har skett.

I tabell 3 presenteras de nyckeltal som är definierade i projektbeskrivningens avsnitt 3. Genom att alla system har haft i stort sett samma temperatur blir det här möjligt att förutom de specifika förlusterna även jämföra förlusteffekterna direkt. De specifika förlusterna är för system 1 och 4 ca 25 % högre än i driftfall 1.1 och för system 2 och 3 har de ökat med ca 100 %. Generellt beror ökningen på att hela systemens förluster mäts i detta driftfall, i motsats till driftfall 1, där förlusterna endast bestämdes för den del som värmdes av elpatronen. Fler rör, anslutningar etc finns alltså med och alstrar förluster i detta driftfall. Framförallt har expansionskärlet varit delaktigt i förlusterna i större utsträckning genom att hela systemet värmts och dessutom till en betydligt högre temperatur.

För system 2 blir det i praktiken väldigt nära en fördubbling av den ”förlustaktiva” volymen jämfört med driftfall 1. Dessutom har styrutrustningen för detta system bidragit till att dra upp förlusterna genom att pumpen P1 (p g a att stoppdifferensen ej nåddes) gått kontinuerligt under hela förlustmätningen. Det är även rimligt att anta, men svårt att visa, att de specifika förlusterna ökar något med ökande medeltemperatur i tanken p g a ökad egenkonvektion både på in- och utsidan av tankar och rör.

Intressant i detta driftfall är att jämföra utfallet med siffrorna i tabell 4. Där visas hur stor skillnaden i förlusteffekt skulle ha varit systemen emellan om de varit fullt utnyttjade som i detta driftfall, identiskt isolerade och om rörförlusterna varit likvärdiga. I praktiken gäller ju inte de två senare villkoren då framförallt system 3 skilt sig genom sin extrema isolering och omfattningen på rördragningen varierat något mellan de olika systemen. Den kan dock tjäna som en generell illustration till förlustproblematiken och som ett underlag för diskussioner om vad som avsevärt påverkar förlusternas storlek förutom isoleringens U-värde och förhållandet mellan volym och omslutningsarea.

*Tabell 3. Resultat från förlustmätningen under driftfall 2. Verkningsgraderna blir p g a definitionen och den relativt korta mättiden 12 h något missvisande. Förlusteffekterna visar tydligare på skillnaderna mellan systemen.*

Driftfall 2	Beteckning	System 1	System 2	System 3	System 4
Verkningsgrad	$\eta_2$ [%]	90.3	89.3	93.0	88.7
Förlusteffekt	$\bar{P}_{Förl.2}$ [W]	621	709	440	721
Tankmedeltemp.	$\bar{T}_{Tank.2}$ [°C]	85.1	83.2	85.2	82.5
Specifik förlusteffekt	$q_{S2}$ [W/°C]	10.1	12.3	7.0	12.4

Tabell 4. Förhållandet mellan omslutningsareorna för fyra olika sätt att disponera 1500 liter ackumulatorvolym. Förlusterna kan idealiserat antas vara direkt proportionellt mot detta förhållandet för det fall då hela ackumulatorsystemet utnyttjas för värmelagring. Av tabellen framgår då t ex att förlusterna för en 1500 liters rektangulär tank är 115 % av förlusterna för en 1500 liters rund tank och 76 % av förlusterna från ett system bestående av tre 500 liters tankar. Inom parenteser ges utfallet av driftfall 2.

	1 × 1500 rund	1 × 1500 rekt.	2 × 750 rund	3 × 500 rund
1 × 1500 rund	100	115 (140)	126	151
1 × 1500 rekt	87	100	110 (114)	132 (116)
2 × 750 rund	79	91	100	120 (101)
3 × 500 rund	66	76	84	100

En jämförelse med förlusterna bestämda under driftfall 3.3 borde kunnat ge en indikation på rörförlusternas andel av de totala förlusterna. I 3.3 har nämligen anslutna ved-, radiator- och tappvattenkretsar varit aktiva och således uppvärmda i större utsträckning än i driftfall 2. Siffrorna visar dock på större specifika förluster i 2 än i 3.3 för två av systemen! Jämförelsen är troligen inte relevant för system 2 p g a vad som sagts ovan om styrutrustningen. En hypotes för de övriga systemen är att ökade rörförluster (i den mån de verkligen ökat) ätit upp av minskade specifika förluster för systemet i övrigt genom den lägre medeltemperaturen i systemet under driftfall 3.3. Förluster från expansionskärl har med all säkerhet varit större i driftfall 2 än i 3.3.

### 3.3 Driftfall 3.1 - Bestämning av systemprestanda vid sommardrift

I detta det första av tre olika 48-timmarsprov som utformats för att efterlikna realistiska driftsituationer har ackumulatorsystemen laddats med en kombination av simulerade solfångare och en intern elpatron. Systemen har belastats med en tappvattenlast enbart (se kap.2.4). Förlusterna har bestämts från en energibalans på vattensidan  $d v s$  som skillnaden mellan tillförd, nyttiggjord och resterande energi efter provets slut.

Ett ur solvärmesynpunkt väl fungerande ackumulatorsystem skall generellt förmå att upprätthålla en låg temperatur på framledningen till solfångaren. Detta ger stor andel solenergi till tanken och åstadkoms förstas lättast i en stor volym (system 1). Samtidigt skall ackumulatorsystemet om det fungerar väl med solvärmens hjälp kunna åstadkomma en hög temperatur på tappvarmvattnet, idealt helt utan elpatronens hjälp. Detta görs enklast i en liten volym (system 2 och 4).

Definitionen på solvärmens täckningsgrad  $TG_{Sol.3.1} = \frac{Q_{Sol}}{Q_{Sol} + Q_{El} - Q_{El.Start}}$  avspeglar

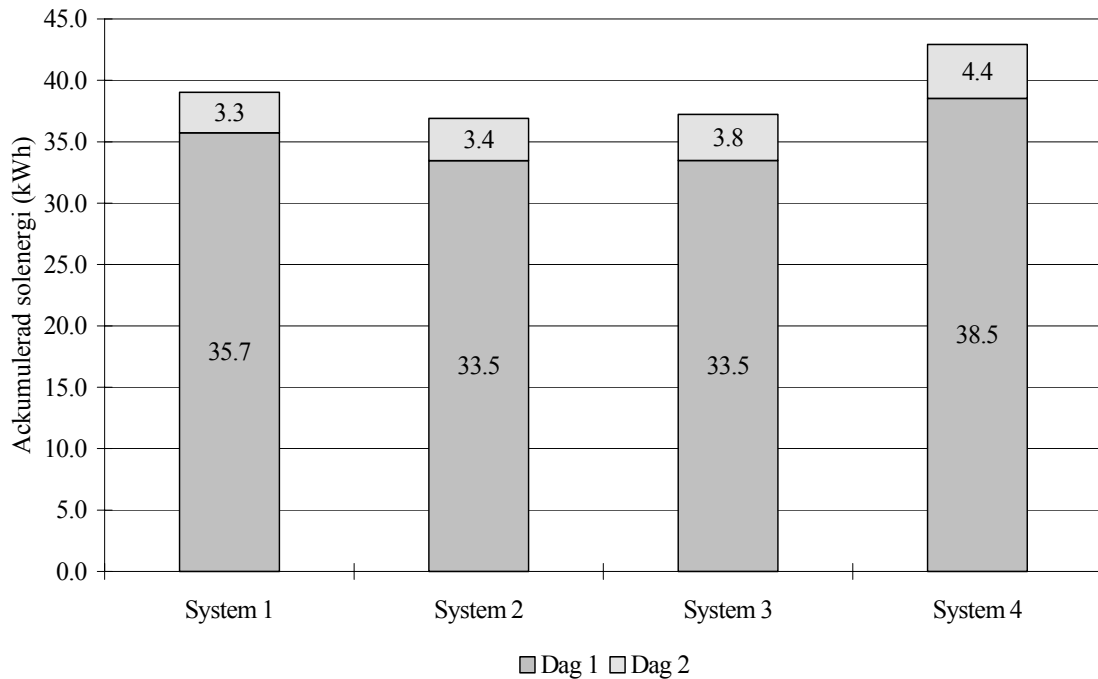
båda dessa effekter och resultatet enligt tabell 8 visar att system 3 (med hjälp av de två solslingorna) lyckats väl med att förena fördelarna ur solvärmesynpunkt med såväl stor som liten tank. Låg elförbrukning har dock delvis fått betalas med minskat solvärmeutbyte vilket en jämförelse med system 1 i figur 8 visar. I system 4 har elförbrukningen hållits låg genom att backventilerna i förbindelserna till slavtankarna avgränsat den inledningsvis solvärmda volymen till tekniktanken. Sammankopplingen av tankarna har samtidigt medgivit att botten av tekniktanken förblivit relativt kall vilket förstärks ytterligare av den stora förrådsberedaren. Detta har gett systemet det klart högsta solvärmeutbytet, se figur 8.

System 2 liksom system 4 har en systemlösning som medger att solvärmens inledningsvis bara laddar tekniktanken. Utrustningen har dock inte fungerat riktigt som avsett vilket inverkat negativt på såväl solvärmeutbyte som elförbrukning.

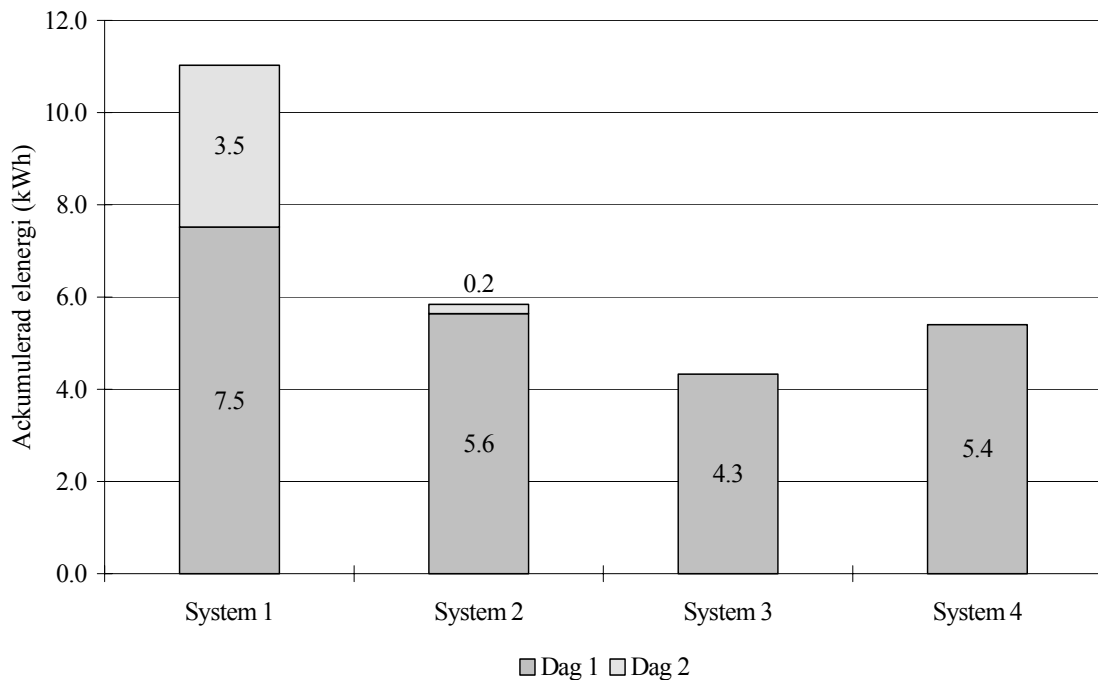
Om system 1 väljs som referens så är specifik förlusteffekt för system 2 och 4 enligt tabell 5 betydligt högre än vad som anges av den ”idealiserade” fördelningen enligt tabell 3, vilket antyder större andel ”rörförluster” för dessa två. Både förlusteffekt och specifik förlusteffekt är mycket låga för system 3.

*Tabell 5. Resultat från driftfall 3.1 där systemen laddats med solvärme och elpatron och betjänat en tappvattenlast enbart. De relativt låga verkningsgraderna hänger samman med att lasten är liten i förhållande till förlusterna.*

Driftfall 3.1	Beteckning	System 1	System 2	System 3	System 4
Verkningsgrad	$\eta_{3.1}$ [%]	62.9	60.2	77.8	58.1
Täckningsgrad sol	$TG_{Sol.3.1}$ [%]	77.5	86.3	89.6	88.8
Förlusteffekt	$\bar{P}_{Förl.3.1}$ [W]	260	302	129	327
Tankmedeltemp.	$\bar{T}_{Tank.3.1}$ [°C]	58.1	52.1	52.5	51.4
Specifik förlusteffekt	$q_{S3.1}$ [W/°C]	7.2	10.2	4.1	11.1



*Figur 8. Ackumulerad/via värmexlaren tillförd solenergi för system 1-4 under dag 1 och dag 2 vid driftfall 3.1. Totalt tillgänglig solinstrålning var 79 kWh för dag 1 och 23 kWh för dag 2. Trots att system 4 har 15 % högre solvärmeutbyte än system 3 får alltså det senare en högre täckningsgrad.*



Figur 9. Ackumulerad/via elpatronen tillförd elenergi för system 1-4 under dag 1 och dag 2 vid driftfall 3.1. Initiellt tillförd el för att nå termostaterns inställda värde har räknats bort. Ca 2 kWh av elförbrukningen för system 1 kan tillskrivas den onödigt höga termostatinställningen.

Det bör observeras att de absoluta nivåerna på solvärmetäckningsgrad som erhöles i detta driftfall ej får betraktas som representativa för ett system med 10 m<sup>2</sup> solfångare. Normalt har ett sådant system under sommarmånaderna närmare 100 % täckning (och ibland mer).

### 3.4 Driftfall 3.2 - Bestämning av systemprestanda vid vår/ höstdrift

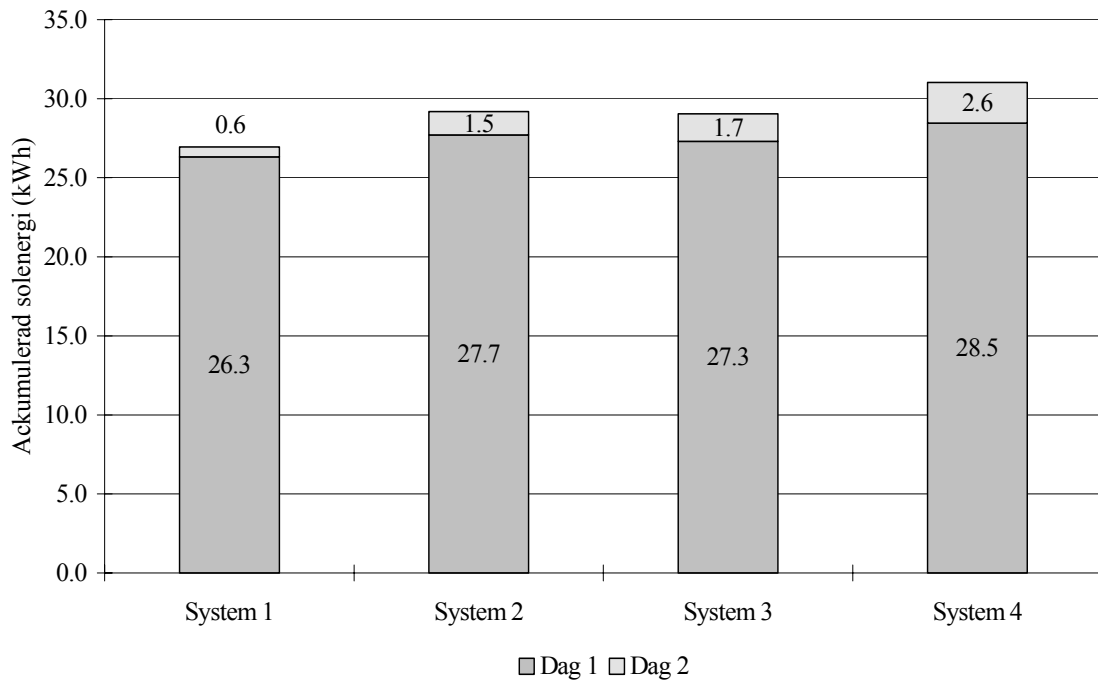
I detta driftfall har ackumulatorsystemen laddats med en kombination av simulerad vedpanna, simulerade solfångare och en intern elpatron. Systemen har belastats med en kombination av radiator- och tappvattenlast (se kap.2.5). Förlusterna har bestämts som värmetilskottet till kalorimeterrummet under 48 timmar.

Här har förstås solvärmen fått betydligt svårare att hävda sig genom att medeltemperaturerna i systemen varit ca 10 °C högre än i driftfall 3.1 samtidigt som tillgänglig solinstrålning varit 20 % lägre. De specifika förlusterna blir här större än i något annat driftfall för system 1, 2 och 4, vilket hänger samman med att systemen här utnyttjas fullt ut. Alla kretsar är i drift och systemen laddas till hög temperatur. Jämfört med 3.1 är de specifika förlusterna 25-50 % högre. Att verkningsgraderna trots detta blir betydligt högre i 3.2 (och i 3.3) beror på att betydligt mer energi omsatts i systemen under dessa driftfall. Förlusterna blir alltså mycket mindre i förhållande till vad som tillförts systemen.

Elpatronens i system 1 höga inställning har gett en onödigt hög elanvändning men förefaller inte ha påverkat solvärmeutbytet i någon större utsträckning.

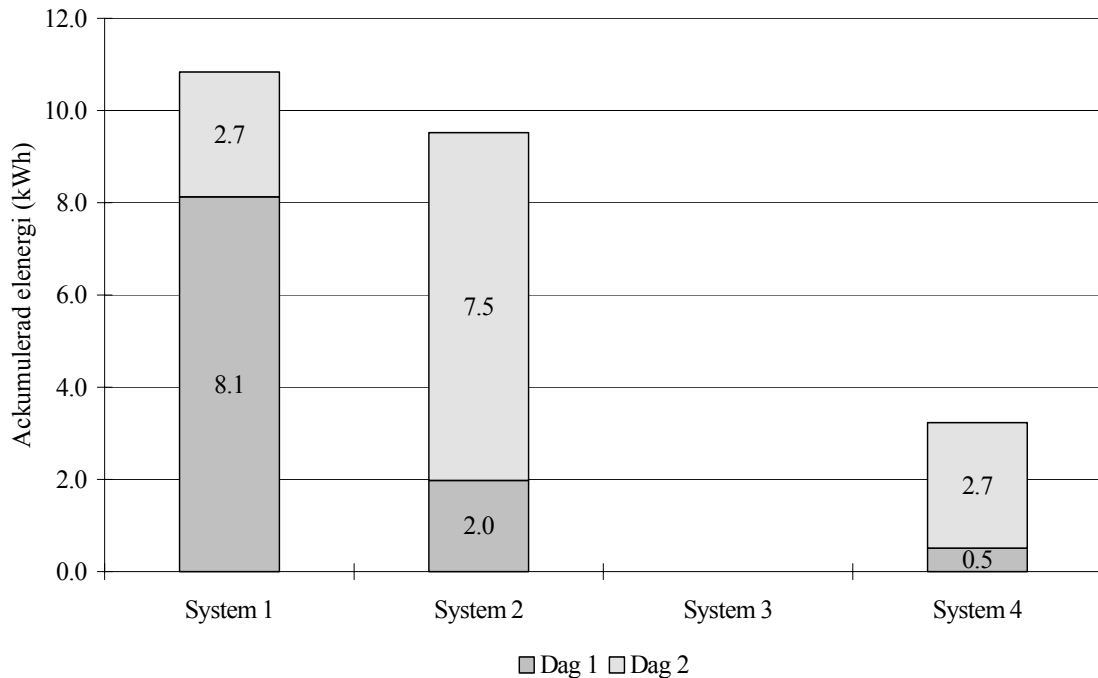
Tabell 6. Resultat från driftfall 3.2 där systemen laddats med vedeldning, solvärme och elpatron och betjänat både radiator- och tappvattenlast.

Driftfall 3.2	Beteckning	System 1	System 2	System 3	System 4
Verkningsgrad	$\eta_{3.2} [\%]$	91.2	88.9	96.5	86.7
Täckningsgrad sol	$TG_{Sol.3.2} [\%]$	14.2	15.3	16.3	16.2
Täckningsgrad ved	$TG_{Ved} [\%]$	80.1	79.7	83.7	82.1
Förlusteffekt	$\bar{P}_{Förl.3.2} [W]$	475	514	257	528
Tankmedeltemp.	$\bar{T}_{Tank.3.2} [^{\circ}C]$	68.2	63.8	66.2	62.6
Specifik förlusteffekt	$q_{S3.2} [W/^{\circ}C]$	10.5	12.7	5.8	13.3



Figur 10. Ackumulerad/via värmexlaren tillförd solenergi för system 1-4 under dag 1 och dag 2 vid driftfall 3.2. Totalt tillgänglig solinstrålning var 65 kWh för dag 1 och 15 kWh för dag 2 (80 % av tillgängligt i driftfall 3.1).

System 2 har inte lyckats med att behålla en kall kärna i botten av tekniktanken vid inladdning med vedpanna, vilket däremot system 4 gjort genom sitt ventilarrangemang. Detta gynnar solvärmern som får möjlighet att arbeta mot lägre temperaturer.



Figur 11. Ackumulerad/via elpatronen tillförd elenergi för system 1-4 under dag 1 och dag 2 vid driftfall 3.2. Initiellt tillförd el för att nå termostaterns inställda värde har räknats bort. System 3 klarade sig helt utan el. 1-2 kWh av elförbrukningen för system 1 kan tillskrivas den onödigt höga termostatinställningen.

Dag 2 har solvärmeinladdningen i system 2 trots att den haft en låg effekt bidragit till kraftig omblandning i tekniktanken, vilket i kombination med att styrutrustningen inte fungerat optimalt lett till att elpatronen varit verksam i stor utsträckning under eftermiddagen.

### 3.5 Driftfall 3.3 - Bestämning av systemprestanda vid vinterdrift

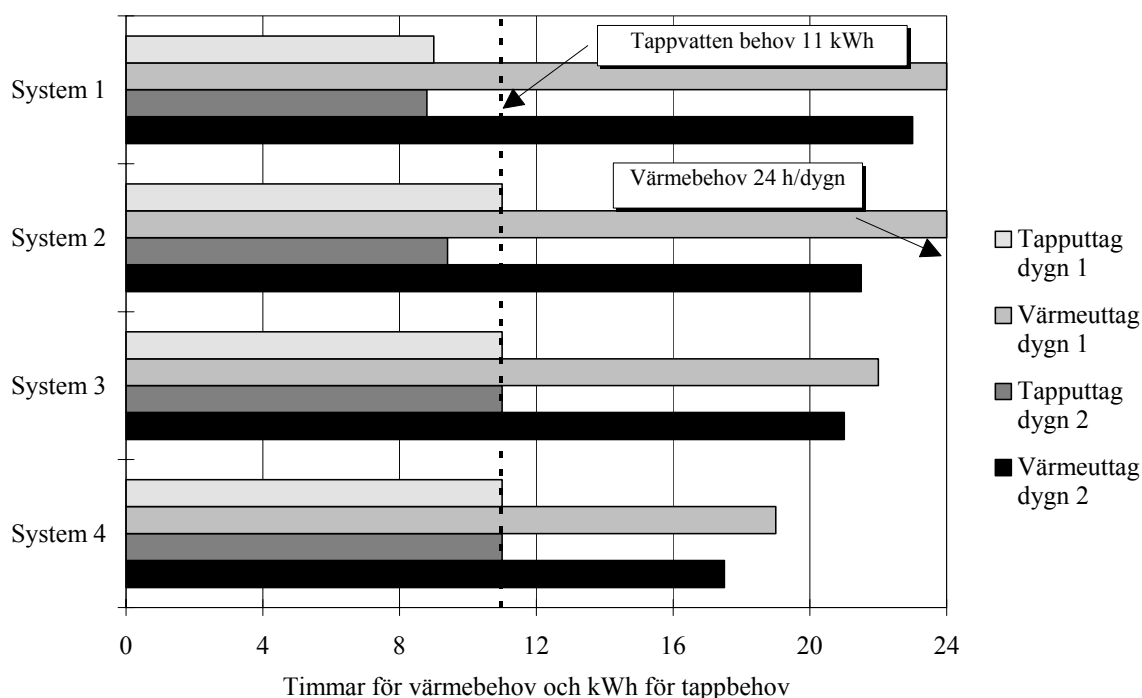
I detta driftfall har ackumulatorsystemen laddats med en simulerad vedpanna enbart. Systemen har belastats med en kombination av radiator- och tappvattenlast (se kap.2.6). Förlusterna har bestämts som värmetillskottet till kalorimeterrummet under 48 timmar.

Här har det främst varit av intresse att se hur systemen kunnat hushålla med den från vedeldning tillförda energin. Inget system har kunnat tillgodose både tappvatten- och radiatorlast för båda dygnet, men bristens storlek och typ har skilt sig en hel del mellan systemen.

Med undantag av system 3 så följer behovstäckningen grovt systemens förluster, d v s system 1 som haft de lägsta förlusterna täcker störst del av behovet. Svårigheten för system 3 och 4 att täcka värmelasten hänger samman med att uttagen för radiatorns framledning är placerade en bit under tankens topp. Systemen kan därmed inte utnyttja all ackumulerad värme till radiatorkretsen utan en mindre del blir ”reserverad” för tappvarmvatten. För system 4 försämras situationen ytterligare genom att återladdningen via backventilerna är alltför långsam. Slavtankarna har därmed fortfarande varit relativt varma i toppen då huvudtanken varit urladdad.

Tabell 7. Resultat från driftfall 3.3 där systemen laddats med enbart vedeldning och betjänat både radiator- och tappvattenlast.

Driftfall 3.3	Beteckning	System 1	System 2	System 3	System 4
Verkningsgrad	$\eta_{3.3} [\%]$	92.0	90.7	96.4	86.8
Förlusteffekt	$\bar{P}_{Förl.3.3} [W]$	319	328	207	378
Tankmedeltemp.	$\bar{T}_{Tank.3.3} [^{\circ}C]$	53.8	53.4	56.0	52.5
Specifik förlusteffekt	$q_{S3.3} [W/^{\circ}C]$	10.0	10.7	6.0	12.6
Brist i behov	$[kWh]$	6.0	8.7	5.5	16.5



Figur 12. Behovstäckningen under driftfall 3.3, där samma energimängd ( $2 \times 78 \text{ kWh}$ ) tillförts samtliga system. De timmar värmebehovet ej täckts saknas full täckning. I praktiken täcks dock en mindre del av värmebehovet även här. Tappvarmvatten ned till  $40^{\circ}C$  räknas som användbart.

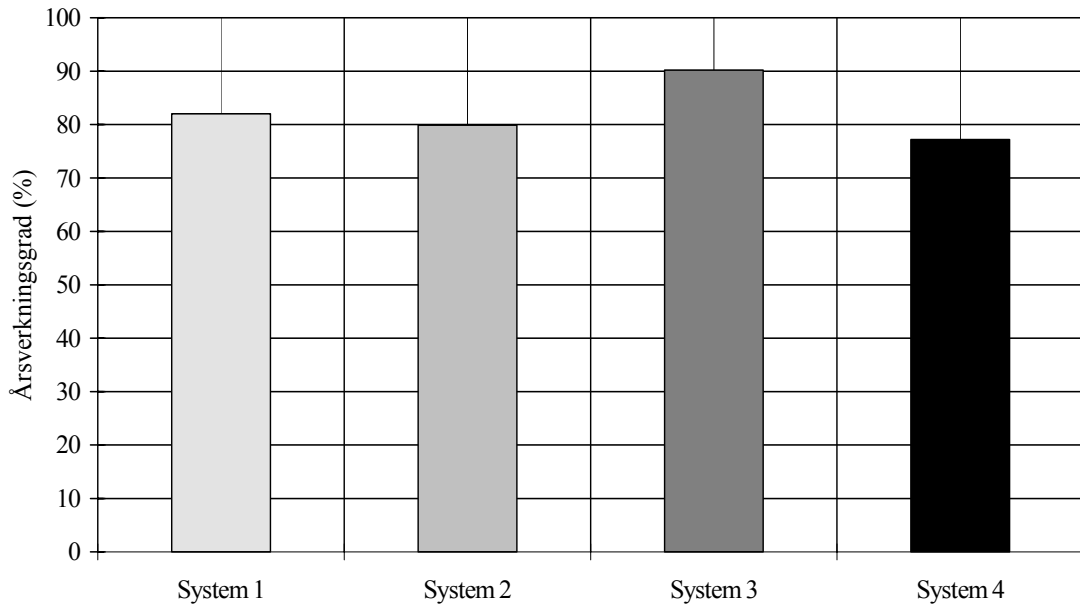
### 3.6 Beräkning av resultat på årsbasis

Resultaten som redovisas i detta avsnitt är medelvärden av verkningsgrad, genomsnittlig förlusteffekt och specifik förlusteffekt för driftfall 3.1, 3.2 och 3.3. De kan, med beaktande av vad som sagts i projektbeskrivningen, betraktas som en god uppskattning av utfallet på årsbasis.

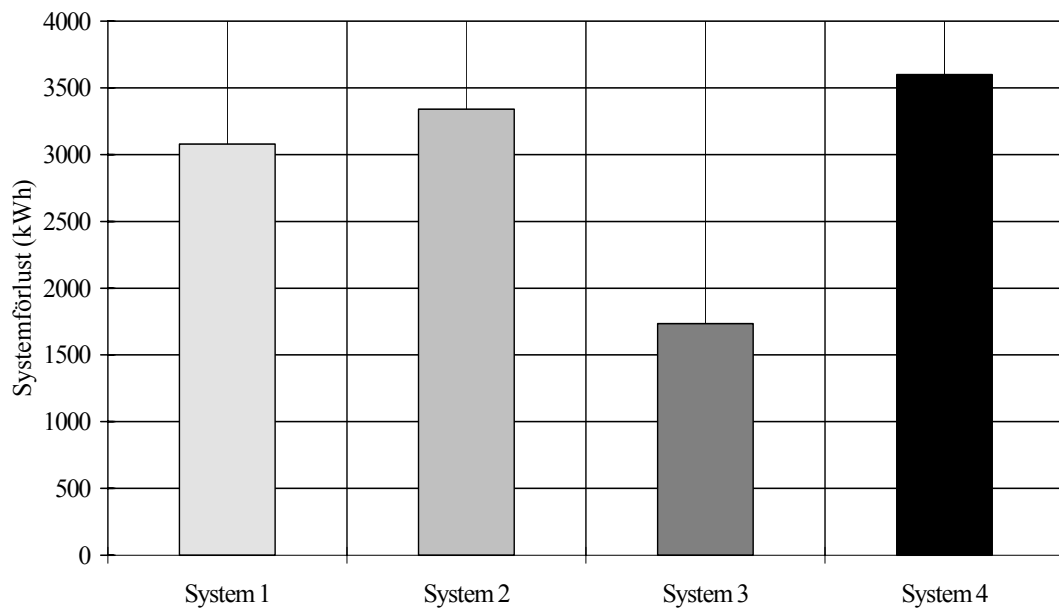
Årsförlusten i kilowattimmar har helt enkelt beräknats som årsförlusteffekt  $\times$  8760 timmar. En uppskattning av hur den onödigt höga termostatinställningen på elpatronen i system 1 påverkar utfallet av årsförlusterna ger en minskning med 200 kWh till 2900 kWh. Detta bygger på antagandet att en  $10^{\circ}C$  lägre termostatinställning varit tillräckligt för att uppfylla varmvattenkraven och att detta gett ca 5 grader lägre tankmedeltemperatur i driftfall 3.1 och 2,5 grader lägre i driftfall 3.2.

Siffrorna visar på relativt höga verkningsgrader för dessa system som får betraktas som av normal standard i isoleringshänseende, se figur 13. Undantaget är system 3 som är

mycket väl isolerat. Värdet av denna extra isolering, uppgår alltså till ca 1150 kWh om man jämför med system 1.



Figur 13. Medelvärden av verkningsgrad för driftfall 3.1, 3.2 och 3.3

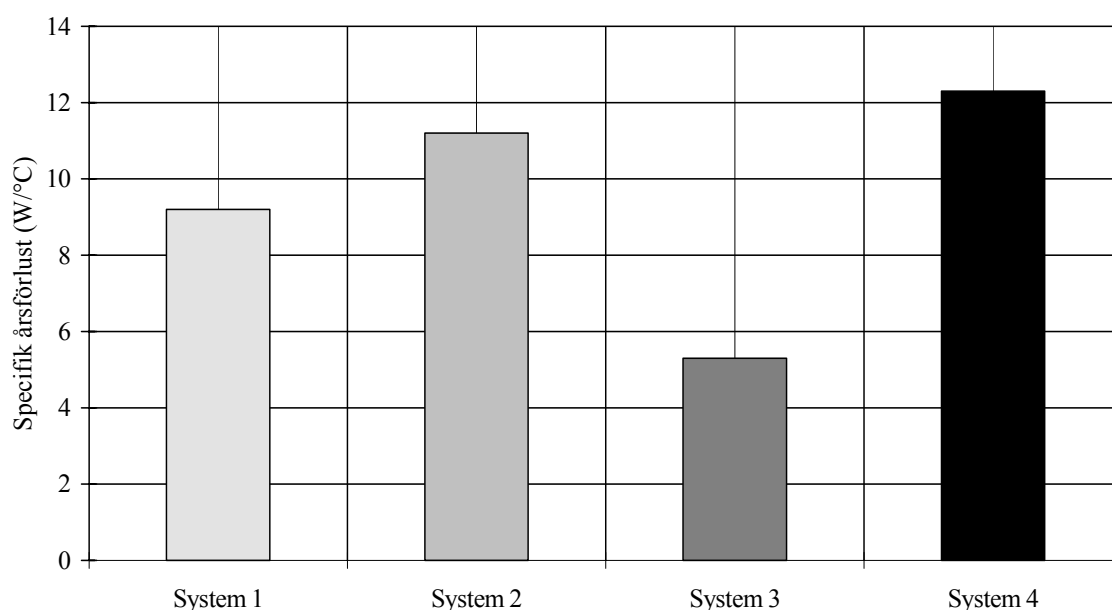


Figur 14. Årsförlusten i kilowattimmar beräknad som årsförlusteffekt  $\times$  8760 timmar. En normaliserad tretanklösning ger alltså mer än dubblade förluster jämfört med en mycket välisolerad entanklösning

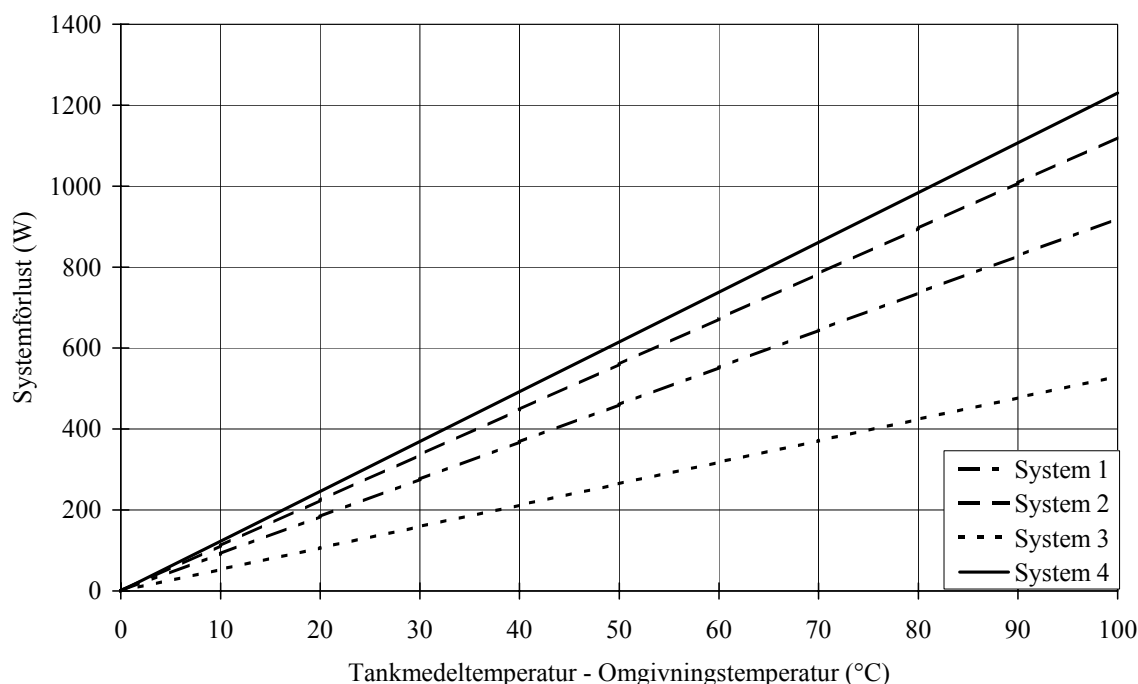
Genom att välja tre tankar enligt den provade konfigurationen i stället för en ökar alltså förlusterna med ca 25 % eller 700 kWh/ år (givet samma termostattinställning). Värdet av dessa förluster beror naturligtvis helt och hållet på om de kommer boningshuset eller annat utrymme man önskar hålla uppvärmt tillgodo eller ej. Är pannrummet inrymt i ett uthus kan det betraktas som ren förlust och extra isolering kan som synes vara en god investering.

Tabell 8. I tabellen redovisas de olika nyckeltalen som medelvärden av driftfall 3.1, 3.2 och 3.3. Inom parentes ges en uppskattad årsförlust vid en 10 °C lägre termostattinställning på elpatronen för system 1.

	Beteckning	System 1	System 2	System 3	System 4
Årsverkningsgrad	$\eta_{\text{År}} [\%]$	82.0	79.9	90.2	77.2
Årsförlusteffekt	$\bar{P}_{\text{Förl.År}} [W]$	351	381	198	411
Specifik årsförlusteffekt	$q_{S,\text{År}} [W/^\circ\text{C}]$	9.2	11.2	5.3	12.3
Årsförlust	$Q_{\text{år}} [kWh]$	3100 (2900)	3350	1750	3600



Figur 15. Medelvärden av specifika förluster för driftfall 3.1, 3.2 och 3.3. System 1, 2 och 4 följer ganska väl det idealiserade förhållandet enligt tabell 4.



Figur 16. Medelvärdet av specifika förluster för driftfall 3.1, 3.2 och 3.3 utgör lutningen på linjerna. Här kan effekten av en ökad medeltemperatur i form av ökade förluster avläsas.

## 3.7 Utvärdering av systemaspekter

### 3.7.1 Solvärmeutbyte

Provnigen har visat att ett flertanksystem ur solvärmesynpunkt kan fungera väl, men att det ställer krav på antingen användaren eller utformaren av systemet. Den aktiva volymen i systemet måste nämligen anpassas till driftförhållandena genom att användaren ställer om några ventiler för sommar, vår/ höst, respektive vinterdrift eller med hjälp av automatik (system 2) eller ”smart systemlösning” (system 4). Bägge de två bekväma lösningarna har dock haft sina problem varför den enklaste metoden - ett par manuella avstängningsventiler - rekommenderas om man tror sig kunna hålla ordning på dessa.

Även en entanklösning kan fungera väl ur solvärmesynpunkt men detta ställer krav på tankens inredning och kringutrustning. En ”standardtank” av denna storlek med enbart solslinga i botten till 10 m<sup>2</sup> solfångare blir lätt elkrävande eftersom solvärmen hela tiden måste arbeta mot hela volymen (system 1). Genom att introducera en extra solslinga högre upp i tanken (system 3) kan man snabbt bereda förbrukningsvarmt vatten med solens hjälp och elpatronen behöver sällan gå in. Detta system kräver en mer avancerad styrutrustning på solfångarkretsen och blir naturligtvis dyrare. Användandet av en fyrvägsshunt (system 3) bidrar ytterligare till god hushållning med den högvärdiga värmen i tankens topp.

Generellt gäller att elpatronens inställning bör vara så låg som möjligt för ett högt solvärmeutbyte. Särskilt påtagligt blir detta i en mindre tank. I system som utnyttjar genomströmningsberedare (kamflänsrör e d) har tidigare undersökningar visat att en förvärmningsslinga långt ner i tanken är ett måste för ett bra solvärmeutbyte. En hög förrådsberedare fungerar i detta avseende också bra, förutsatt att den är utformad med tanke på god intern temperaturskiktning.

Låga systemförluster gynnar solvärmeutbytet.

### 3.7.2 Förluster

Provningsen har, inte helt förvånande, visat att förlusterna ökar betydligt då man går från en till två eller tre tankar för samma volym. Tänker man sig att enbart använda systemet för ackumulering vid vedeldning bör man därför alltid välja minsta möjliga antal tankar för den önskade volymen. Om solvärme skall ingå i systemet beaktas vad som sagts ovan, men om möjligt väljs en eller två tankar i stället för tre.

På i stort sett alla installationsritningar för ackumulatorsystem placeras expansionskärlet på stigarledningen från pannan eller direkt på toppen av en tank. Detta är helt fel, såvida man inte anser sig behöva ett extra element i pannrummet. Kärlet bör anslutas till ett ”kallt” rör långt ner på tanken. Bara det är en ej avstängningsbar förbindelse till tanken och pannan så är det helt i sin ordning ur säkerhetssynpunkt.

Ur konstruktionssynpunkt finns mycket att göra för att nedbringa förlusterna från en tank. Ej utnyttjade röranslutningar på en tank kan ge stora förluster och bör därför isoleras nog. En bra lösning på sådana lösa ”lock” saknas. I princip bör en tank inte ha fler anslutningar än vad som skall användas i den aktuella installationen, men om man vill ha en flexibel systemlösning kan det vara nödvändigt med några extra uttag. Själv-cirkulation i rör kan ge stora förluster. Rördragningar uppåt från tanken bör därför undvikas, såvida systemet inte bygger på själv-cirkulation. Bäst är om rören kan dras ner innanför isoleringen men detta förutsätter förstås att läckagerisken är eliminerad. Om tanken isoleras på plats (enligt flerskiktprincipen) efter avslutad installation har man troligen bäst möjlighet att uppnå ett bra resultat, men en god livslängd förutsätter då att man klär in isoleringen väl.

Rörförluster utgör en stor andel av de totala förlusterna. I de provade systemen uppskattades de till att utgöra ca 25 % och det gäller alltså i ett system med väl utförd rör-isolering och korta rörlängder. Isolera därför hela installationen noggrant!

Även ur förlustsynpunkt gäller att elpatronens inställning bör vara så låg som möjligt.

### 3.7.3 Beständighet

Självverkande blandningsventiler är ofta enkla i utförande och därmed billiga. I provningarna har ingått två olika typer av självverkande ventiler. En för att undvika skällningsrisk på tappvarmvattensidan, och en för att upprätthålla en konstant hög framledningstemperatur till ackumulatorm vid laddning via vedpanna.

Tappvattenventilen har brustit i funktion så tillvida att den blandat in kallvatten trots att det inte funnits behov för detta. Resultatet blir att brukaren justerar upp elpatronens termostat för att få tillräckligt varmt tappvatten med ökade förluster, minskat solvärmeutbyte och ökad elförbrukning som följd. Problemet har påtalats i flera tidigare undersökningar.

Laddningsventilens karakteristik förändrades radikalt efter att systemet gått i kokning vid ett tillfälle. En laddningsventil som inte fungerar som avsett kan ge både högre utsläpp från vedeldningen och försämrade skiktning i ackumulatortankarna. Vid några tillfällen gav ventilen inlagring av en lägre temperatur ”ovanpå” en högre vid nedeldning av pannan vilket inte är önskvärt. Båda problemen kunde undvikas med en motorventil som styr på framledningens temperatur. En sådan lösning blir dock betydligt dyrare.

Vad som sagts beträffande förluster om expansionskärlens placering gäller även ur beständighetssynpunkt i de fall man använder ett slutet kärl med gummimembran. Hög temperatur accelererar åldrandet varför en ”varm” anslutning bör undvikas.

Isolering som inte kläs in skadas lätt. Ett av systemen levererades med oskyddad polyuretansolering och denna visade tecken på att sönderfalla redan efter den korta tid provningen pågick.

Såväl instickstermometrar som termostater på elpatroner och blandningsventiler uppvisade högst varierande kvalitéer. Avvikelser på 5-10 grader från verkliga värden var inte ovanligt.

### 3.7.4 Installation och drift

Generellt är det lättare att få ett entanksystem att fungera bra (allmänt värmetekniskt) än ett flertanksystem. Flera tankar som ska kopplas samman till ett helt eller delvis automatiserat system där även solvärme ingår blir snart ”snårigt”. Detsamma gäller naturligtvis en tank som den i system 3 utrustad med dubbla växlare på både solvärme- och tappvattenkrets samt dessutom en fyrvägshunt på radiatorkretsen. Detta ställer krav på bra ritningsunderlag och ordentlig märkning av framförallt portar på tankar och ventiler för att undvika felaktiga inkopplingar.

Erfarenheterna av mer avancerade styrningar som i system 2 och 3 är att de behöver trimmas in efter installation för att fungera bra. Om detta sedan verkligen blir gjort är en öppen fråga. Bäst är naturligtvis en styrning som inte kräver en sådan efterjustering.

Väl tagna i drift är ackumulatortanksystemen i princip underhållsfria. Undantag är förrådsberedare för varmvatten som i vissa fall behöver ses till. Varmvattenberedares beständighet (ur tillverkarperspektiv) avhandlas i en SP-rapport (1995:22) med samma namn.

### 3.7.5 Allmänt

Många tekniska lösningar för förbättrad värmelagring, solvärmeutnyttjande m m kan ifrågasättas, särskilt när ekonomiska aspekter involveras i diskussionen. En systemförbättring som dock torde vara odiskutabel och som denna provning kunnat visa på är (den bivalenta) fyrvägshunten till radiatorkretsen i system 3.

Styrutrustning för dessa system är en annan komponent som provningarna visat på ett klart behov av och som vi tror kan bidra till en väsentligt förbättrad värmeekonomi. Styrning av solfångare och elpatron behövs båda och borde definitivt samordnas. Vidare behövs styrning av radiatorsystem och av laddkrets för vedpanna och eventuellt också för styrning av ett flertanksystem. Att samordna dessa styrningar i en ”smart burk” i stället för att som ofta är fallet idag var styrning för sig, borde totalt sett kunna ge en relativt billig, men framför allt effektiv lösning.

Ett allmänt intryck av kontakten med ackumulatortillverkare är att samarbetet mellan dessa och solfångartillverkare behöver stärkas. Ett viktigt hjälpmedel i ett sådant sam-

arbete är naturligtvis effektiva provningsmetoder för tankarna. Entydiga provningsresultat ger incitament till att utveckla tekniken och ger dessutom konsumenten vägledning i sitt val av system.

## 4 Slutsatser

På den stora frågan: En eller flera tankar? kan inget entydigt svar ges. För ett renodlat vedsystem rekommenderas en ensam tank p g a enklare systemlösning och lägre värmeförluster. Även med solvärme anslutet visar det sig att det går att lösa detta på ett bra sätt i en stor tank, men att det blir en tekniskt komplex och sannolikt dyrare installation. Delar man upp sitt system på flera små tankar har man möjlighet att anpassa totalvolymen på ett annat sätt vilket som regel gynnar solvärmens. Det förutsätter dock en flitig användare eller en väl intrimmad utrustning som kan sköta detta automatiskt.

Det finns goda förutsättningar för att åstadkomma väl fungerande ackumulatorsystem för vedeldning och solvärme i kombination. Utnyttjandet av solvärme ställer större krav på genomtänkta system varför det är viktigt framförallt för solvärmebranschen att bra lösningar förs fram och mindre bra sållas bort. Flera bra nya eller nygamla tekniska lösningar har kommit fram i jämförelsen och bland involverade tillverkare noterades ett stort intresse för att föra tekniken framåt. T ex har fyrvägsshunten till radiatorkretsen funnits länge på marknaden men först nu presenterats i en form som gör den attraktiv för installatörer och tillverkare.

Det har även visats att vissa ”beprovade” lösningar fungerar mindre bra, även i rena vedsystem. Ett exempel på detta är anslutningen av expansionskärlet som regelmässigt ansluts till toppen av tanken trots att det leder till betydande värmeförluster. Allmänt vedertagna metoder för att testa och redovisa ackumulatortankarnas egenskaper bör med anledning av vad som sagts ovan vara ett välkommet hjälpmedel för både produktutveckling och konsumentvägledning.

Att prova en komplett systemlösning så som gjorts i detta projekt ställer stora krav på provningsutrustning och på mätning och styrning av det hela. Framförallt kombinerade driftfall där många kretsar för in- och urladdning arbetar parallellt har varit svåra att köra och svåra att felsöka. Provningsmetoder för tankar under utarbetande på Europeanivå tar mer fasta på att prova av tankens olika kretsar/portar en efter en vilket förefaller vara ett mer effektivt sätt att noggrant karaktärisera en tank. Det bör dock poängteras att även den kompletta systemlösningen kan vara avgörande för funktionen och att den därför behöver analyseras, om än inte lika djuplodande.

## **5 Sex goda råd för installation och drift av ett ackumulatorsystem**

1. Anslut expansionskärlet i botten av tanken istället för i toppen som det ofta visas i systemritningar.
2. Vid eldning utanför vintersäsongen, då värmebehovet är litet, kan det räcka med ett halvt vedinlägg. På så sätt bibehålls en låg temperatur i tankens botten och solfångarna får goda driftförutsättningar, d v s de kan tillföra mycket energi. Undvik alltså att ladda fullt!
3. Elpatronens inställning påverkar solvärmeutbytet, framförallt i en mindre tank. Även värmeförlusterna från systemet ökar med en högre inställning. Man bör därför alltid sträva efter att ha en så låg termostatinställning som möjligt.
4. En elpatron placerad i tankens botten får absolut inte vara i drift under den soliga delen av året! Detta ödelägger helt solfångarens effektivitet.
5. Det lönar sig att satsa lite extra på isolering av ackumulatorsystemet om dess förluster inte kommer huset tillgodo.
6. Det skall helst finnas tre termometrar i varje ackumulatortank så att man vet hur varm tanken är på olika nivåer. På så sätt kan man enkelt kontrollera att systemet fungerar som det ska.

## Beräknade resultat i tabellform

### System 1

#### Av tillverkaren rekommenderade inställningar:

Blandningsventil varmvatten 65 °C

Termostat intern elpatron 65 °C

Driftfall nr.	1	2	3.1	3.2	3.3	Kommentar
<b>Temperaturer [°C]</b>						
<b>(medelvärden)</b>						
Inkommande kallvatten	11.2/ 10.0	-	10.6	10.6	11.0	
Utgående varmvatten	56.2/ 47.6	-	61.1	67.0	57.2	Blandnings- temperatur
Radiator framledning	-	-	-	34.7	34.7	
Radiator retur	-	-	-	31.5	31.5	
Omgivningstemperatur	21.7	23.5	21.8	22.9	22.0	
Tankmedeltemperatur	51.2	85.1	58.1	68.2	53.8	
<b>Energier [kWh]</b>						
Nyttiggjord energi, varmvatten	29.7	-	22.2	21.8	17.9	Otillräcklig kapacitet i 3.3
Nyttiggjord energi, värme	-	-	-	141.9	140.2	
Tillförd energi, elpatron	-	-	29.6	16.5	-	
Tillförd energi, solvärme	-	-	39.0	27.0	-	
Tillförd energi, vedeldning	-	77.1	-	152.3	156.4	
Förluster	3.6	7.4	12.5	22.8	15.3	
Energiinnehåll relativt 40 °C, start	-	-	-0.4	0.7	-0.7	Positivt tal =Tstart >40 °C
Energiinnehåll relativt 40 °C, slut	-	-	32.5	17.7	-16.4	Positivt tal =Tslut >40 °C
<b>Effekter [W]/[W/°C]</b>						
Förlusteffekt	237	621	260	475	319	
Specifik förlusteffekt	8.0	10.1	7.2	10.5	10.0	Baserad på skillnad mellan Ttank o Tomgivn Gäller tappning nr 2.
<b>Avtappat varmvatten [liter]</b>						
Totalt	575	-	-	-	-	
Varmvatten av 45 °C	398	-	-	-	-	
Varmvatten av 40 °C	714	-	-	-	-	
<b>Beräknade nyckeltal [%]</b>						
Verkningsgrad	87.7	90.3	62.9	91.2	92.0	
Täckningsgrad sol	-	-	77.5	14.2	-	
Täckningsgrad ved	-	-	-	80.1	-	

**System 2****Av tillverkaren rekommenderade inställningar:**

Blandningsventil varmvatten 65 °C

Termostat intern elpatron 60 °C

<b>Driftfall nr.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3.1</b>	<b>3.2</b>	<b>3.3</b>	<b>Kommentar</b>
<b>Temperaturer [°C] (medelvärden)</b>						
Inkommande kallvatten	11.3/11.1	-	11.3	11.3	11.3	
Utgående varmvatten	55.5/50.0	-	67.0	71.9	64.8	Blandnings- temperatur
Radiator framledning	-	-	-	34.8	34.4	
Radiator retur	-	-	-	31.5	31.3	
Omgivningstemperatur	21.6	25.5	22.4	23.4	22.8	
Tankmedeltemperatur	44.7	83.2	52.1	63.8	53.4	
<b>Energier [kWh]</b>						
Nyttiggjord energi, varmvatten	9.7	-	21.9	22.1	20.5	Otillräcklig kapacitet i 3.3
Nyttiggjord energi, värme	-	-	-	142.1	134.8	Otillräcklig kapacitet i 3.3
Tillförd energi, elpatron	-	-	15.2	12.3	-	
Tillförd energi, solvärme	-	-	36.9	29.2	-	
Tillförd energi, vedeldning	-	79.3	-	152.5	156.1	
Förluster	1.7	8.5	14.5	24.7	15.7	
Energiinnehåll relativt 40 °C, start	-	-	1.3	0.2	0.0	Positivt tal = Tstart >40 °C
Energiinnehåll relativt 40 °C, slut	-	-	17.0	9.7	-15.3	Positivt tal =Tslut >40 °C
<b>Effekter [W]/[W/°C]</b>						
Förlusteffekt	140	709	302	514	328	
Specifik förlusteffekt	6.1	12.3	10.2	12.7	10.7	Baserad på skillnad mellan Ttank och Tomgivn. Gäller tappning nr. 2
<b>Avtappat varmvatten [ liter]</b>						
Totalt	107	-	-	-	-	
Varmvatten av 45 °C	108	-	-	-	-	
Varmvatten av 40 °C	135	-	-	-	-	
<b>Beräknade nyckeltal [%]</b>						
Verkningsgrad	87.8	89.3	60.2	88.9	90.7	
Täckningsgrad sol	-	-	86.3	15.3	-	
Täckningsgrad ved	-	-	-	79.7	-	

**System 3****Av tillverkaren rekommenderade inställningar:**

Blandningsventil varmvatten 65 °C

Termostat intern elpatron 55 °C

<b>Driftfall nr.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3.1</b>	<b>3.2</b>	<b>3.3</b>	<b>Kommentar</b>
<b>Temperaturer [°C]</b>						
<b>(medelvärden)</b>						
Inkommande kallvatten	11.0/10.6	-	10.6	10.7	10.7	
Utgående varmvatten	43.3/43.0	-	52.6	59.6	57.2	Blandnings- temperatur
Radiator framledning	-	-	-	34.6	34.6	
Radiator retur	-	-	-	31.5	31.5	
Omgivningstemperatur	20.9	22.8	21.2	22.1	21.7	
Tankmedeltemperatur	46.0	85.2	52.5	66.2	56.0	
<b>Energier [kWh]</b>						
Nyttiggjord energi, varmvatten	10.2	-	21.9	21.8	22.1	
Nyttiggjord energi, värme	-	-	-	141.9	136.4	Otillräcklig kapacitet i 3.3
Tillförd energi, elpatron	-	-	14.4	4.1	-	
Tillförd energi, solvärme	-	-	37.2	29.0	-	
Tillförd energi, vedeldning	-	75.5	-	149.5	155.9	
Förluster	2.2	5.3	6.2	12.3	9.9	
Energiinnehåll relativt 40 °C, start	-	-	-0.2	-0.2	-0.2	Positivt tal =Tstart >40 °C
Energiinnehåll relativt 40 °C, slut	-	-	23.3	13.3	-8.9	Positivt tal =Tslut >40 °C
<b>Effekter [W]/[W/°C]</b>						
Förlusteffekt	89	440	129	257	207	
Specifik förlusteffekt	3.5	7.0	4.1	5.8	6.0	Baserad på skillnad mellan Ttank och Tomgivn. Gäller tappning nr 2.
<b>Avtappat varmvatten [ liter]</b>						
Totalt	140	-	-	-	-	
Varmvatten av 45 °C	19	-	-	-	-	
Varmvatten av 40 °C	150	-	-	-	-	
<b>Beräknade nyckeltal [%]</b>						
Verkningsgrad	92.2	93.0	77.8	96.5	96.4	
Täckningsgrad sol	-	-	89.6	16.3	-	
Täckningsgrad ved	-	-	-	83.7	-	

**System 4****Av tillverkaren rekommenderade inställningar:**

Blandningsventil varmvatten 65 °C

Termostat intern elpatron 55 °C

<b>Driftfall nr.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3.1</b>	<b>3.2</b>	<b>3.3</b>	<b>Kommentar</b>
<b>Temperaturer [°C]</b>						
<b>(medelvärden)</b>						
Inkommande kallvatten	11.1/ 10.9	-	10.8	11.1	11.0	
Utgående varmvatten	49.6	-	56.6	69.8	67.2	Blandnings- temperatur
Radiator framledning	-	-	-	34.8	33.9	
Radiator retur	-	-	-	31.5	30.9	
Omgivningstemperatur	21.8	24.4	22.0	23.0	22.6	
Tankmedeltemperatur	44.1	82.5	51.4	62.6	52.5	
<b>Energier [kWh]</b>						
Nyttiggjord energi, varmvatten	15.5	-	21.8	22.2	22.0	
Nyttiggjord energi, värme	-	-	-	141.7	125.5	Otillräcklig kapacitet i 3.3
Tillförd energi, elpatron	-	-	13.0	5.7	-	
Tillförd energi, solvärme	-	-	42.9	31.0	-	
Tillförd energi, vedeldning	-	76.9	-	157.7	157.4	
Förluster	3.3	8.7	15.7	25.4	18.2	
Energiinnehåll relativt 40 °C, start	-	-	0	0.1	-0.3	Positivt tal =Tstart >40 °C
Energiinnehåll relativt 40 °C, slut	-	-	18.4	5.3	-12.5	Positivt tal =Tslut >40 °C
<b>Effekter [W]/[W/°C]</b>						
Förlusteffekt	222	721	327	528	378	
Specifik förlusteffekt	9.9	12.4	11.1	13.3	12.6	Baserad på skillnad mellan Ttank och Tomgivn. Gäller tappning nr 2.
<b>Avtappat varmvatten [ liter]</b>						
Totalt	240	-	-	-	-	
Varmvatten av 45 °C	221	-	-	-	-	
Varmvatten av 40 °C	305	-	-	-	-	
<b>Beräknade nyckeltal [%]</b>						
Verkningsgrad	80.8	88.7	58.1	86.7	86.8	
Täckningsgrad sol	-	-	88.8	16.2	-	
Täckningsgrad ved	-	-	-	82.1	-	

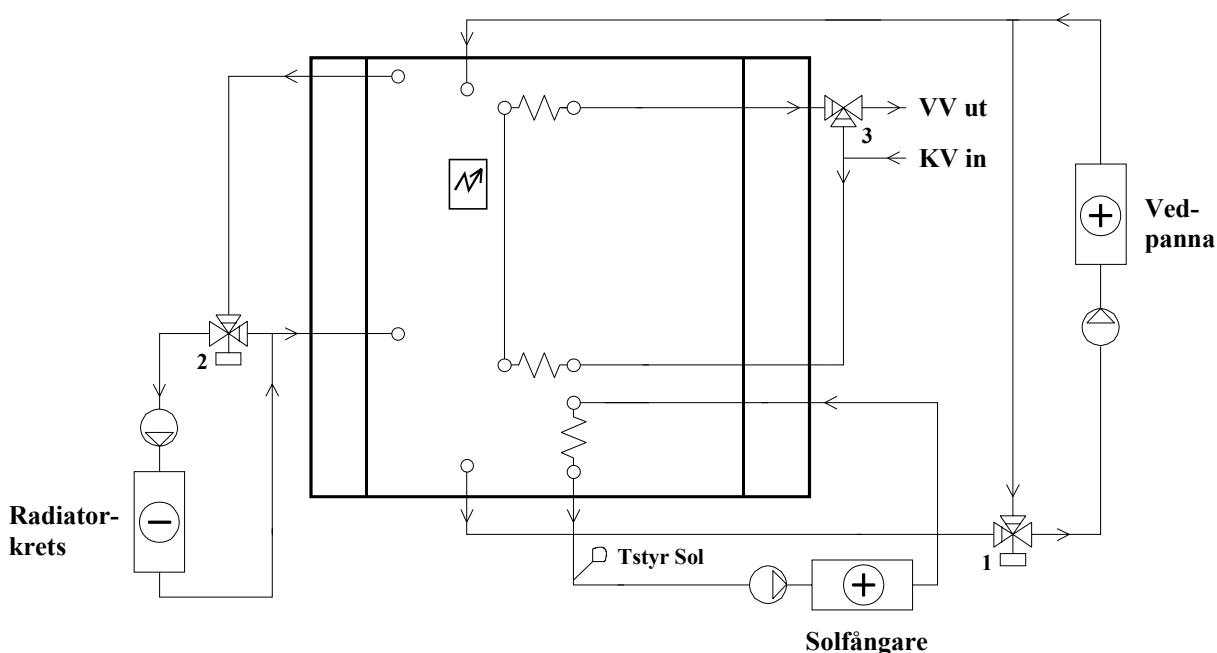
## Systembeskrivningar

De olika systemen skiljer sig från varandra på olika punkter och i tabellen nedan är de största skillnaderna sammanställda.

	System 1	System 2	System 3	System 4
<b>Volym</b>	1500 l	1500 l	1500 l	1500 l
<b>System Konfiguration</b>	1 × 1 tank	2 × 1 tank	1 × 1 tank	3 × 1 tank
<b>Tankutformning</b>	Åttakantig	Runda	Rund	Runda
<b>Dimensioner oisolerad</b>	1615 × 1580 × 625 (b × h × d)	750 × 1700 (d × h)	1130 × 1575 (d × h)	635 × 1654 (d × h)
<b>Upptagen golvarea av systemet</b>	1.0 m <sup>2</sup>	1.1 m <sup>2</sup>	1.3 m <sup>2</sup>	1.2 m <sup>2</sup>
<b>Effekt intern elpatron</b>	6 kW Inga effektlägen	9 kW 1, 2, 3 och 6 kW	6 kW Inga effektlägen	6 kW 3 kW effektläge
<b>Termostatinställn intern elpatron</b>	65°C	60°C	55°C	55°C
<b>Generering av tappvarmvatten</b>	Förvärmning- och eftervärmnings-slinga	Förvärmnings-slinga, förråds-bredare	Förvärmnings- och eftervärmnings-slinga	Förrådsberedare
<b>Utformning av solkrets</b>	Slinga i botten	Extern plattvärmeväxlare	2 st slingor placerade på olika nivåer i tanken	Slinga i botten
<b>Isoleringstyp</b>	Polyuretan (PUR)	Polyuretan (PUR)	Mineralull	Mineralull cellplast i botten
<b>Löstagbar isolering</b>	Nej	Ja	Ja	Nej
<b>Isoleringstjocklek</b>	70 mm runt om	90 mm runt om	50 mm i botten 190/210 mm runt tanken 240 mm i toppen	100 mm i toppen 140 mm runt tanken 20 mm i botten
<b>Beklädnad</b>	Vitmålad plåt	Nej	Av folie	Tjock plast Plåt i toppen

## System 1

System 1 består av en tank på 1500 l som är åttakantigt formad. Samtliga anslutningar sitter på vänster sida i ackumulatortanken sett framifrån.



Figur 1. Systemritning system 1

### Systemspecifikation

- Upptagen golvarea: 1.0 m<sup>2</sup>.
- Tankdimension utan isolering: 1615 × 1580 × 625 mm (bredd × höjd × djup).
- Isoleringstyp: Polyurethan skum (PUR).
- Isoleringstjocklek: 70 mm runt om hela tanken.
- Tanken är klädd med vitmålad plåt.
- En förvärmnings- och en eftervärmningsslinga av typ kamflänsrör för tappvarmvatten. Båda slingorna har en diameter på 22 mm och en längd på 8 m/ st.
- Blandningsventil för varmvatten (nr 3), termiskt verkande, inställd på 65 °C.
- Elpatron med maxeffekt på 6 kW, inga effektlägen mellan 0 - 6 kW. Värmer ca 425 l i toppen av ackumulatortanken. Termostaten inställd på att ge 65 °C i tanken.
- Solslinga i botten av typ kamflänsrör med diameter 22 mm och längd 10 m.
- Nedre outnyttjat elpatronuttag finns.

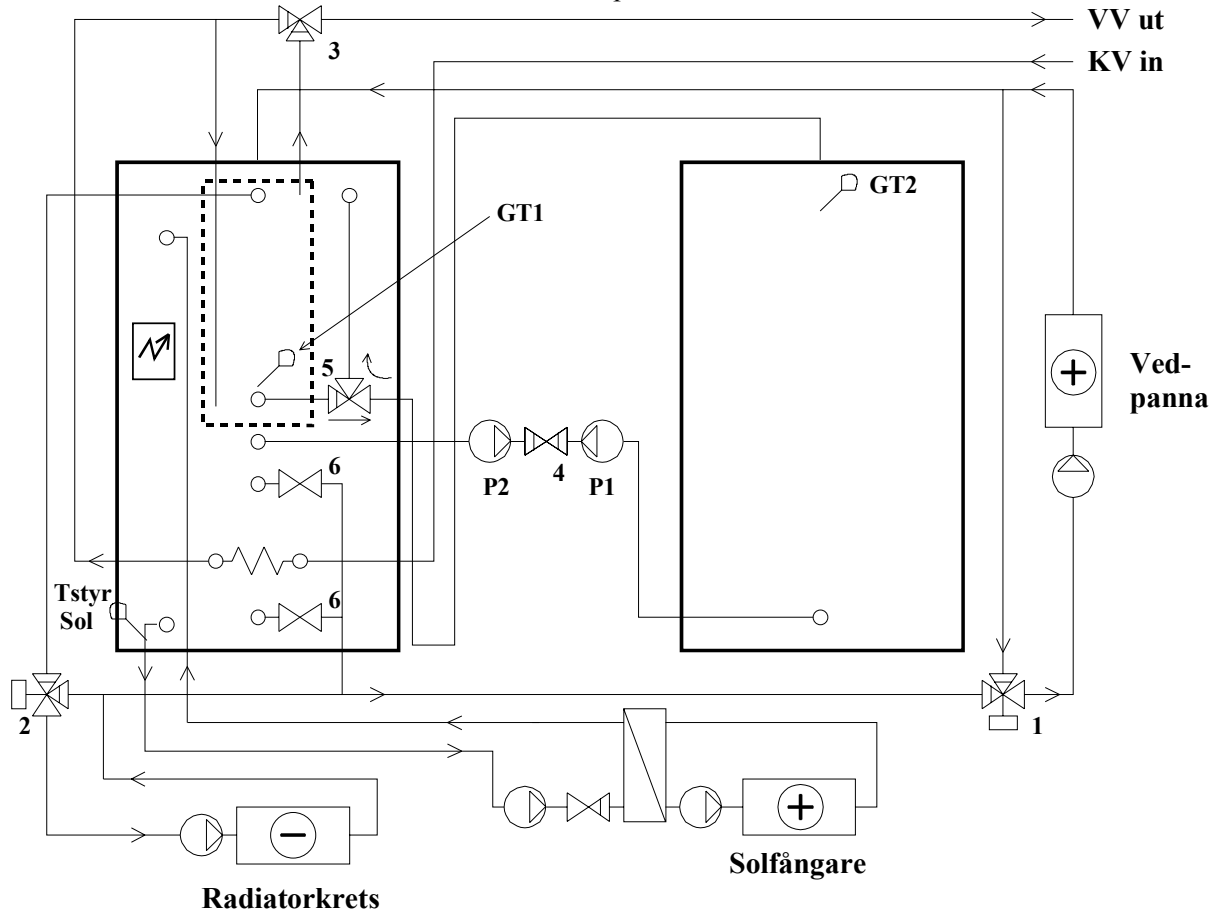
Radiatorkretsens översta uttag sitter över eftervärmningsslingan för tappvarmvattnet vilket innebär att tanken prioriterar värme till radiatorkretsen vid nästan fullt urladdad tank.

Vid laddning av energi ifrån vedpannan skall shunt nr 1 se till att framledningstemperaturen från panna till ackumulatortanken håller 80 °C.

För att cirkulationspumpen i solfångarkretsen skall starta krävs att stagnationstemperaturen skall vara fem grader över temperaturen vid solslingans utlopp (givare, Tstyr Sol). Då skillnaden i temperatur mellan solfångarens utlopp och solslingans utlopp är mindre än två grader stannar cirkulationspumpen.

## System 2

System 2 består av två stycken tankar à 750 l som är formade som cylindrar. Den vänstra tanken är tekniktanken där alla kretsar är förbundna. Den högra tanken är slavtanken och är förbunden med den vänstra genom en i- och urladdnings automatik. I toppen på tekniktanken sitter det en förrådsberedare för varmvatten på 120 l.



Figur 2. Systemritning system 2

### Systemspecifikation

- Upptagen golvarea: 1.1 m<sup>2</sup>.
- Tankdimension utan isolering: 750 × 1700 mm (diameter × höjd).
- Isoleringstyp: Polyurethan skum (PUR).
- Isoleringstjocklek: 90 mm runt om hela tanken.
- Tanken var ej beklädd.
- En förvärmningsslinga på tappvarmvattnet av typ kamflänsrör. Slingan är 15 m lång och har en diameter på 22 mm.
- Förrådsberedare på 120 l tillverkad i koppar placerad i toppen på tekniktanken, 550 × 700 mm (diameter × höjd).
- Blandningsventil för varmvatten (nr 3), termiskt verkande, inställd på 65 °C.
- Elpatron med maxeffekt på 9 kW, effektlägen på 1, 2, 3 och 6 kW mellan 0 - 9 kW. Monterad i pannvattnet och värmer ca 430 l i den vänstra tanken. Termostaten inställd på att ge 60 °C i tanken.
- **Extern plattvärmeväxlare**
- Nedre outnyttjat elpatronuttag finns.

Systemet med ger en delvis automatiserad anpassning av ackumulatorvolymen efter driftförhållandena genom laddning och urladdning av slavtanken med hjälp av två

termostatstyrda pumpar (P1, P2). Pumpen P1 startar laddning av slavtanken när temperaturen vid GT1 överstiger inställt värde (55 - 85 °C). Laddningen stoppar då temperaturen är två grader lägre än inställt värde. Pumpen P2 startar urladdning av slavtanken till tekniktanken när temperaturskillnaden mellan GT2 och GT1 överstiger inställt värde (5 - 15 °C). Urladdningen stoppar då skillnaden är mindre än två grader eller då temperaturen vid GT2 understiger 40 °C.

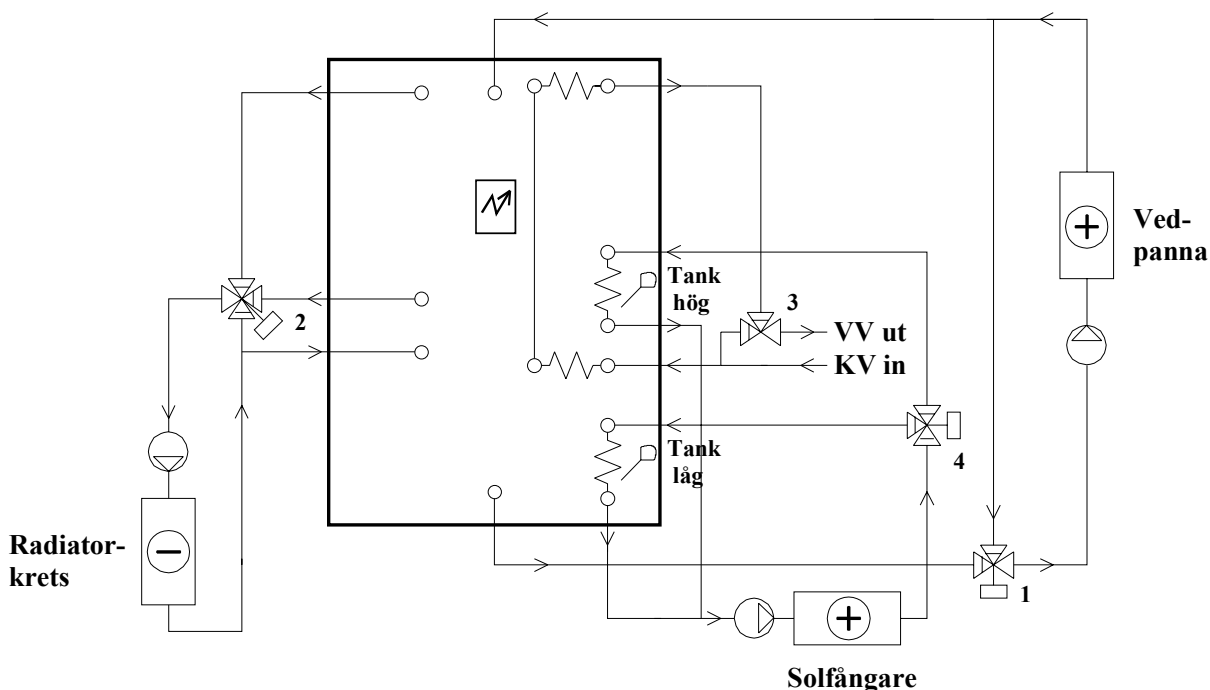
Shunt nr 1 ser till att framledningstemperaturen från vedpannan är 85 °C.

På insidan i tekniktanken är ett fördelningsrör kopplat till solkretsens framledning för att bidra till förbättrad skiktning vid inlagring av solvärme.

För att cirkulationspumpen i solfångarkretsen skall starta krävs att stagnationstemperaturen skall vara fem grader över temperaturen vid solslingans utlopp (givare, Tstyr Sol). Då skillnaden i temperatur mellan solfångarens utlopp och solslingans utlopp är mindre än två grader stannar cirkulationspumpen.

### System 3

System 3 består av en tank på 1500 l som är formad som en cylinder.



Figur 3. Systemritning system 3

#### Systemspecifikation

- Upptagen golvarea: 1.3 m<sup>2</sup>.
- Tankdimension utan isolering: 1130 × 1575 mm (diameter × höjd).
- Isoleringstyp: Mineralull
- Isoleringstjocklek: 50 mm i botten, 210 mm upp till 600 mm mätt ifrån botten och 190 mm resten av tankens höjd, 240 mm i toppen.
- Tanken är isolerad med tre lager runt om och varav de två yttersta är beklädda med aluminiumfolie.
- Tanken är inte beklädd utanpå isoleringens aluminiumfolie.
- En förvärmnings- och en eftervärmningsslinga av typ kamflänsrör för tappvarmvatten. Slingorna är 11 m långa och har en diameter på 18 mm.
- Blandningsventil för varmvatten (nr 3) med tillhörande säkerhetsventil, termiskt verkande, inställd på 65 °C.
- Elpatron med maxeffekt på 6 kW, inga effektlägen mellan 0 - 6 kW. Värmer ca 570 l i tankens topp. Termostaten inställd på att ge 55 °C i tanken.
- 2 stycken solslingor, en högre och en lägre. Är av typ kamflänsrör och har en längd på 11 m och en diameter på 18 mm.
- Nedre outnyttjat elpatronuttag finns.

Eftervärmningsslingan i tappkretsen sitter högst upp i tanken vilket innebär att tanken är utformad att prioritera värmning av tappvarmvattnet före radiatorkretsen vid nästan fullt urladdad tank.

Shunt nr 1 ser till att framledningstemperaturen från vedpannan är 85 °C.

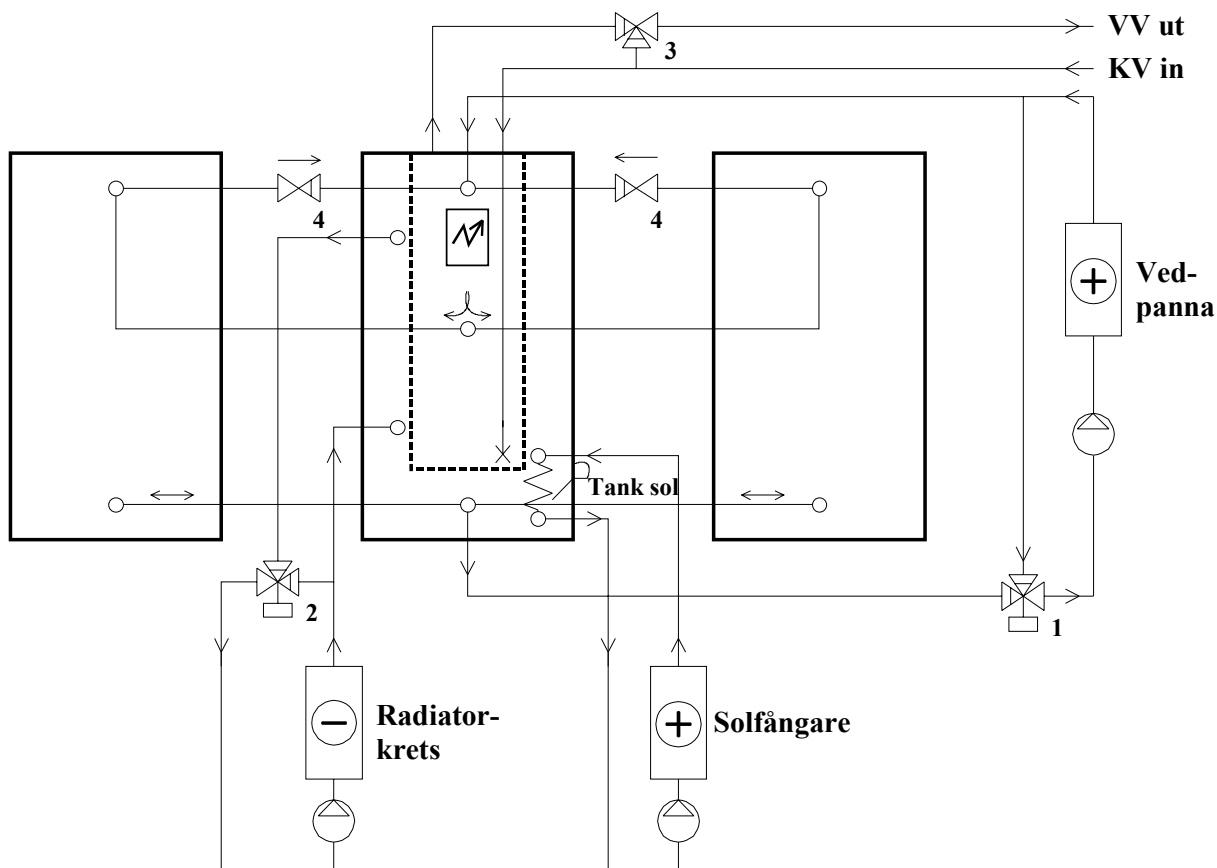
I radiatorkretsen finns det en fyrvägssshunt (nr 2) istället för som normalt en trevägssshunt. Detta medför att radiatorkretsen kan utnyttja varmvatten från två olika nivåer i tanken.

Fyrvägsshunten fungerar så att den först blandar varmt vatten från det låga uttaget med returvatten för att få rätt framledningstemperatur. Skulle det inte finnas tillräckligt varmt vatten vid det låga uttaget öppnar shunten mer. Den börjar då ta vatten från det höga uttaget och blanda det med vatten från det låga för att få rätt framledningstemperatur till radiatorerna.

Solkretsen består av två stycken slingor placerade på olika nivåer i tanken (Tank hög/ Tank låg). Inlagringen av solenergi till de två olika nivåerna sköts av en reglerutrustning som till sin hjälp har en trevägsventil ( nr 4), en varvtalsstyrd pump och ett antal temperaturgivare placerade i kretsen.

## System 4

System 4 består av tre stycken tankar à 500 liter som alla är formade som cylindrar. Tanken i mitten är tekniktanken där alla kretsar är förbundna. Den högra och vänstra tanken är slavtankar och är förbundna med tekniktanken. I toppen på tekniktanken sitter det en förrådsberedare för varmvatten på 300 l.



Figur 4. Systemritning system 4

### Systemspecifikation

- Upptagen golvarea: 1.2 m<sup>2</sup>.
- Tankdimensioner utan isolering: Samtliga tankar har dimensionerna 635 × 1654 mm (diameter × höjd).
- Isoleringstyp: Mineralull (glasull), frigolit i botten.
- Isoleringstjocklek: 100 mm i toppen, 140 mm runt om, 20 mm i botten.
- Tanken är klädd med tjock plast runt om och med plåt på toppen.
- Förrådsberedare på 300 l tillverkad i rostfri plåt placerad i toppen på tekniktanken, 550 × 1196 mm (diameter × höjd).
- Elpatron med maxeffekt på 6 kW, ett effektläge på 3 kW mellan 0 - 6 kW. Värmer ca 180 l i tekniktankens topp. Termostaten inställd på att ge 55 °C i tanken.
- Solslinga i botten av typ kamflänsrör med en längd på 15 m och en diameter på 22 mm.
- Nedre outnyttjat elpatronuttag finns i tekniktanken.

Kommunikationen mellan de tre tankarna i systemet sker enbart med hjälp av termiska drivkrafter. Ett arrangemang med en backventil (nr 4) i anslutningen till varje slavtank

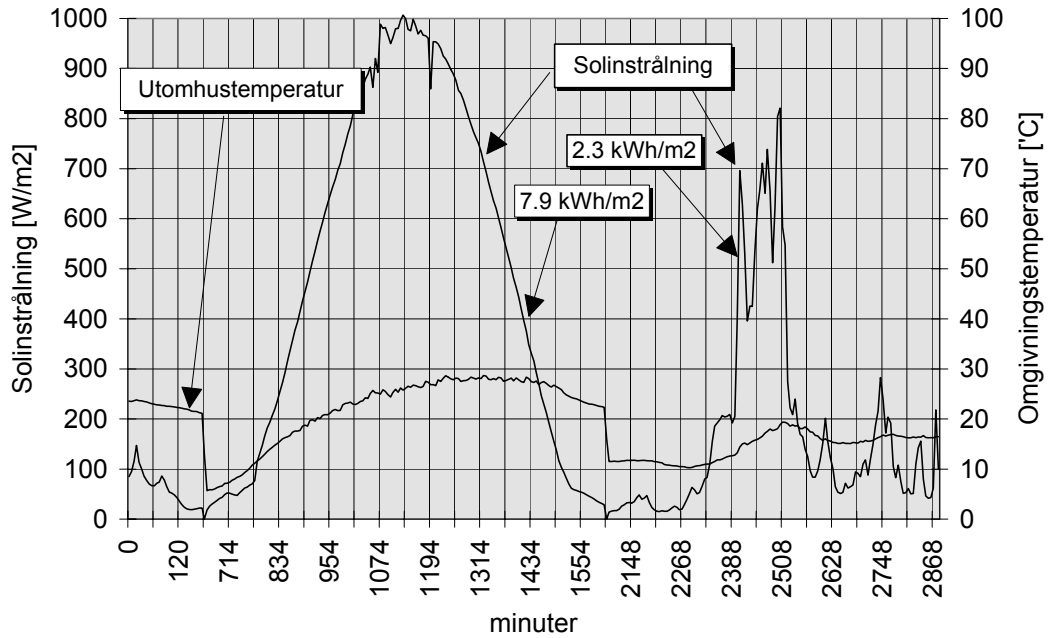
skall se till att laddning och urladdning sker effektivt. Avsikten är att huvudtanken och framförallt varmvattenberedaren skall värmas upp snabbt. Det här betyder att systemet är utformat att prioritera värmning av tappvarmvattnet före radiatorkretsen vid nästan fullt urladdat system.

Shunt nr 1 ser till att framledningstemperaturen från pannan är 85 °C.

För att cirkulationspumpen i solfångarkretsen skall starta krävs att stagnationstemperaturen skall vara fem grader över temperaturen vid solslingan i tanken (givare, Tank sol). Då skillnaden mellan solfångarens utlopp och temperaturen vid solslingan är mindre än 2 grader stannar cirkulationspumpen.

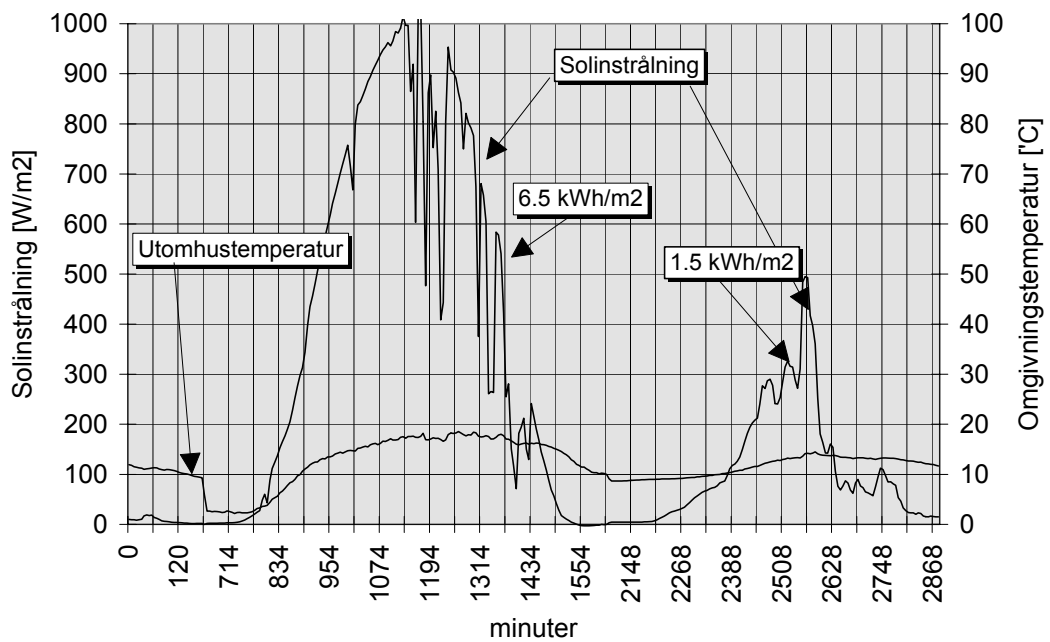
## Definitioner och beteckningar

### Solinstrålningskurva - driftfall 3.1



Figur 1. Solinstrålning och utomhustemperatur driftfall 3.1.

### Solinstrålningskurva - Driftfall 3.2



Figur 2. Solinstrålning och utomhustemperatur driftfall 3.2.

## Solfångarekvation

$$Q_{Sol} = 10(0.77E_T - 5.27(T_F - T_L))$$

$$T_F = \frac{(T_{In} + T_{Ut})}{2}$$

$Q_{Sol}$  = Upptagen solenergi av solfångaren [kWh]

$E_T$  = Solinstrålning [ $W/m^2$ ]

$T_F$  = Medeltemperatur solfångare [ $^{\circ}C$ ]

$T_L$  = Utomhustemperatur [ $^{\circ}C$ ]

$T_{In}$  = Temperatur på vatten in till solfångaren [ $^{\circ}C$ ]

$T_{Ut}$  = Temperatur på vatten ut från solfångaren [ $^{\circ}C$ ]

## Beteckningar

### Driftfall 1

Verkningsgrad:

$\eta_1$  = Verkningsgrad driftfall 1 [%]

$Q_{Uppl.1}$  = Energi tillförd av elpatronen vid uppladdning av systemet [kWh]

$Q_{Förl.1}$  = Förluster uppmätta under 12 h [kWh]

Specifik förlusteffekt:

$q_{S1}$  = Specifik förlusteffekt driftfall 1 [ $W/^{\circ}C$ ]

$\bar{P}_{Förl.1}$  = Medelvärde förlusteffekt 12 h [W]

$\bar{T}_{Tank.1}$  = Medeltemperatur i tanken under driftfallet [ $^{\circ}C$ ]

$\bar{T}_{Omg.}$  = Medelvärde omgivningstemperatur [ $^{\circ}C$ ]

### Driftfall 2

Verkningsgrad:

$\eta_2$  = Verkningsgrad driftfall 2 [%]

$Q_{Uppl.2}$  = Energi tillförd av vedpannan vid uppladdning av systemet [kWh]

$Q_{Förl.2}$  = Förluster uppmätta i kalorimeterrummet [kWh]

Specifik förlusteffekt:

$q_{S2}$  = Specifik förlusteffekt driftfall 2 [ $W/^{\circ}C$ ]

$\bar{P}_{Förl.2}$  = Medelvärde förlusteffekt 12 h [W]

$\bar{T}_{Tank.2}$  = Medeltemperatur i tanken under driftfallet [ $^{\circ}C$ ]

$\bar{T}_{Omg.}$  = Medelvärde omgivningstemperatur [ $^{\circ}C$ ]

### Driftfall 3.1

Verkningsgrad:

$\eta_{3.1}$  = Verkningsgrad driftfall 3.1 [%]

$Q_{nyttigt3.1}$  = Avtappad energimängd plus nyttig energimängd i restinnehåll [kWh]

$Q_{Sol}$  = Tillförd energi från solvärme [kWh]

$Q_{El}$  = Tillförd energi från elpatron [kWh]

Täckningsgrad sol:

$TG_{Sol3.1}$  = Täckningsgrad solvärme driftfall 3.1 [%]

$Q_{Sol}$  = Tillförd energi från solvärme [kWh]

$Q_{El}$  = Tillförd energi från elpatron [kWh]

$Q_{El,Start}$  = Energimängd i början av driftcykeln som hjälper till att lyfta upp tanken till rätt nivå [kWh]

Specifik förlusteffekt:

$q_{S3.1}$  = Specifik förlusteffekt driftfall 3.1 [W/°C]

$\bar{P}_{Förl.3.1}$  = Medelvärde förlusteffekt 12 h [W]

$\bar{T}_{Tank.3.1}$  = Medeltemperatur i tanken under driftfallet [°C]

$\bar{T}_{Omg.}$  = Medelvärde omgivningstemperatur [°C]

### Driftfall 3.2

Verkningsgrad:

$\eta_{3.2}$  = Verkningsgrad driftfall 3.2 [%]

$Q_{nyttigt3.2}$  = Energimängd uttagen via radiatorlast plus avtappad energimängd plus nyttig energimängd i restinnehåll [kWh]

$Q_{Sol}$  = Tillförd energi från solvärme [kWh]

$Q_{El}$  = Tillförd energi från elpatron [kWh]

$Q_{Ved}$  = Tillförd energi från vedpanna [kWh]

Täckningsgrad sol:

$TG_{Sol3.2}$  = Täckningsgrad solvärme driftfall 3.2 [%]

$Q_{Sol}$  = Tillförd energi från solvärme [kWh]

$Q_{El}$  = Tillförd energi från elpatron [kWh]

$Q_{Ved}$  = Tillförd energi från vedpanna [kWh]

$Q_{El,Start}$  = Energimängd i början av driftcykeln som hjälper till att lyfta upp tanken till rätt nivå [kWh]

Täckningsgrad ved:

$TG_{Ved}$  = Täckningsgrad vedeldning driftfall 3.2 [%]

$Q_{Sol}$  = Tillförd energi från solvärme [kWh]

$Q_{El}$  = Tillförd energi från elpatron [kWh]

$Q_{Ved}$  = Tillförd energi från vedpanna [kWh]

$Q_{El.Start}$  = Energimängd i början av driftcykeln som hjälper till att lyfta upp tanken till rätt nivå [kWh]

Specifik förlusteffekt:

$q_{S3.2}$  = Specifik förlusteffekt driftfall 3.2 [W/°C]

$\bar{P}_{Förl.3.2}$  = Medelvärde förlusteffekt 12 h [W]

$\bar{T}_{Tank.3.2}$  = Medeltemperatur i tanken under driftfallet [°C]

$\bar{T}_{Omg.}$  = Medelvärde omgivningstemperatur [°C]

### Driftfall 3.3

Verkningsgrad:

$\eta_{3.3}$  = Verkningsgrad driftfall 3.3 [%]

$Q_{nyttigt3.3}$  = Energimängd uttagen via radiatorlast plus avtappad energimängd plus nyttig energimängd i  
restinnehåll [kWh]

$Q_{Ved}$  = Tillförd energi från vedpanna [kWh]

Specifik förlusteffekt:

$q_{S3.3}$  = Specifik förlusteffekt driftfall 3.3 [W/°C]

$\bar{P}_{Förl.3.3}$  = Medelvärde förlusteffekt 12 h [W]

$\bar{T}_{Tank.3.3}$  = Medeltemperatur i tanken under driftfallet [°C]

$\bar{T}_{Omg.}$  = Medelvärde omgivningstemperatur [°C]

## Uppskattning av osäkerheter i mätningar och beräkningar

De mät- och beräkningsresultat som redovisas i rapporten är behäftade med olika typer av osäkerheter. Nedan följer först en sammanställning av de sammanlagda osäkerheterna som gäller för de olika ingående mätstorheterna. Därefter har delosäkerheterna vägts samman och multiplicerats med en s.k. täckningsfaktor till totala osäkerheter i de olika nyckeltal och beräknade storheter som ingår i redovisningen.

### Mätstorhet    Osäkerhet

#### Temperaturer

Vätsketemperatur Pt-100	$\pm 0.1$ K
Vätsketemperatur Termoelement	$\pm 0.2$ K
Temperaturdifferens vätska Pt-100	$\pm 0.05$ K
Lufttemperatur Pt-100	$\pm 0.3$ K
Temperaturdifferens luft Pt-100	$\pm 0.15$ K

#### Vätskeflöden

Vätskeflöde sol-, ved- och radiatorkrets	$\pm 0.5$ %
Vätskeflöde tappvattenkrets	$\pm 1$ %

#### Luftflöden

Ventilationsluftflöde till kalorimeterrum	$\pm 5$ %
---	-----------

#### Eleffekter

Elektrisk effekt till intern elpatron	$\pm 0.5$ %
---------------------------------------	-------------

#### Tabellvärden

Densitet vatten	$\pm 0.1$ %
Specifik värmekapacitet vatten	$\pm 0.1$ %
Densitet luft	$\pm 0.05$ %
Specifik värmekapacitet luft	$\pm 0.1$ %

**Beräknad storhet      Osäkerhet**Driftfall 1

Verkningsgrad	$\eta_1$	$\pm 0.7 \%$
Förlusteffekt	$\bar{P}_{Förl.1}$	$\pm 0.5 \%$
Specifik förlusteffekt	$q_{S1}$	$\pm 2.8 \%$

Driftfall 2

Verkningsgrad	$\eta_2$	$\pm 2.6 \%$
Förlusteffekt	$\bar{P}_{Förl.2}$	$\pm 20 \%$
Specifik förlusteffekt	$q_{S2}$	$\pm 20\%$

Driftfall 3.1

Verkningsgrad	$\eta_{3,1}$	$\pm 3.3 \%$
Täckningsgrad sol	$TG_{Sol.3.1}$	$\pm 1.5 \%$
Förlusteffekt	$\bar{P}_{Förl.3.1}$	$\pm 7 \%$
Specifik förlusteffekt	$q_{S3.1}$	$\pm 7.5 \%$

Driftfall 3.2

Verkningsgrad	$\eta_{3,2}$	$\pm 2 \%$
Täckningsgrad sol	$TG_{Sol.3.2}$	$\pm 1 \%$
Täckningsgrad ved	$TG_{Ved.3.2}$	$\pm 1 \%$
Förlusteffekt	$\bar{P}_{Förl.3.2}$	$\pm 17.5 \%$
Specifik förlusteffekt	$q_{S3.2}$	$\pm 17.5 \%$

Driftfall 3.3

Verkningsgrad	$\eta_{3,3}$	$\pm 2 \%$
Förlusteffekt	$\bar{P}_{Förl.3.3}$	$\pm 11.5 \%$
Specifik förlusteffekt	$q_{S3.3}$	$\pm 11.5 \%$

## Provuppställning och utrustning

Provobjekten installerades i en välisolerad och luftkonditionerad kammare. Luftflödet till kammaren mättes kontinuerligt med ett Veabrör. Luftens tilloppstemperatur hölls konstant vid 20 °C. Temperaturen i till- och frånluft och i kammarens omgivning mättes med Pt-100 givare. Beräkningarna av ackumulatorsystemens förlusteffekter för driftfall 2 och 3.2 - 3.3 baserades på dessa mätningar vilka korrigerades för värmeläckage från omgivningen till kammaren. För driftfall 3.1 bestäms värmeförluster från en energibalans på vattensidan och förlusteffekten för driftfall 1 bestämdes genom mätningar av de interna elpatronernas elförbrukning.

Akkumulatorsystemen anslöts till fyra rigger på kammarens utsida med vars hjälp laddning och urladdning av systemen åstadkoms. Laddning skedde (förutom genom den i ackumulatortankarna monterade elpatronen) genom simulering av solfångare och vedpanna med hjälp av elpatroner. Urladdning ordnades genom simulering av en radiatorbelastning med hjälp av en plattvärmeväxlare och genom varmvattentappningar via ett system av magnetventiler. Samtliga dessa kretsar styrdes eller reglerades individuellt.

### Integrerad elpatron

Elpatronen satt monterad enligt systemritningar för respektive system. Till- och frånslag styrdes internt av elpatronens termostat. Termostatens inställning var individuell för alla systemen och bestämdes av tillverkarna utifrån provningsspecifikationens krav på varmvattenkapacitet. Elpatronerna levererades tillsammans med ackumulatortankarna och hade vardera en maxeffekt på 6 eller 9 kW. Två av dem hade också olika effektlägen mellan 0 och 6 kW (se systembeskrivningar).

### Simulerad vedpanna

Med hjälp av elpatroner och en effektkurva som varierade mellan 0 - 25 kW (se kapitel 2.5 och 2.6) simulerades vedpannan. Kretsen styrdes av två regulatorer underordnade mät- och styrdatoren.

I normalfallet tillfördes 78 kWh under en laddning. På grund av systemens utformning och anslutningarnas placering kunde inte alltid 78 kWh tillföras. Framledningstemperaturen styrdes till 80 - 85 °C med hjälp av reglershunt nr 1 (se systemritningar bilaga 2). Styrningen av vedkretsen var lika för alla system i alla driftfall.

### Simulerad solfångare

Med hjälp av en elpatron ansluten till solfångarkretsen simulerades en genomsnittlig solfångare på 10 m<sup>2</sup>. Från en väderdatafil innehållande 6 minuters värden av solinstrålning och utetemperatur (se bilaga 3) beräknades en stagnationstemperatur för solfångaren vid stillestånd. Solfångarens uteffekt vid drift beräknades utifrån klimatfilen samt uppmätta temperaturer i solfångarkretsen.

Startvillkoret för solfångarkretsen i systemen utgick ifrån skillnaden mellan den beräknade stagnationstemperaturen och en uppmätt temperatur i anslutning till solfångarkretsen. Temperaturgivarens placering framgår av respektive systembeskrivning.

### **Simulerad radiatorlast**

Den simulerade radiatorlasten (ett 55/45-system) varierade mellan 2,5 och 3,5 kW enligt en datafil där en effektkurva för belastningen var inlagd (se fig. 1 kapitel 2.1.2). Börvärden för fram- och returledningstemperaturen, som beräknades i mät- och styrdatorn med hjälp av effektkurvan, styrdes ut till två regulatorer. Flödet i kretsen var konstant 780 l/h. I system 1, 2 och 4 användes en trevägs-shunt och i system 3 användes en fyrvägs-shunt (se systemritningar, shunt nr 2). Trevägs-shunten tillhörde SP medan fyrvägs-shunten levererades tillsammans med system 3.

### **Simulerad tappvattenlast**

Styrningen av tappningarna skedde från en datafil där tappningarnas tidpunkt och energimängd var definierade (se fig. 1 kapitel 2.1.2). Före varje tappning skedde en förtappning på två minuter för att säkerställa att kallvattnet till varmvattenberedaren höll en temperatur på 10 °C.

## **Mätutrustning**

Följande mätutrustning har använts vid provningarna:

- Walmet flödesmätare typ induktiv, SP nr. 201578 (flöde vedkrets)
- Fischer and Porter flödesmätare typ induktiv, SP nr. 200092 (flöde solkrets)
- AquaMetro flödesmätare typ ringkolv, SP nr. 200148 (flöde tappkrets)
- Krohne flödesmätare typ induktiv, SP nr. 201427 (flöde radiatorkrets)
- CEWE Instrument eleffektskåp, SP nr. 200191
- Micromanometer typ Furness FCO12, SP nr. 200345
- VEAB-rör, SP nr. 201412
- Datainsamlingsystem typ HP VXI System
- Temperaturgivare Pt-100, ET nr. 514 - 543, 551 - 553
- Temperaturgivare Termoelement typ T (interna tanktemperaturer)