

Kombitank för värme och varmvatten

– Resultat från mätningar på en värmepumpsinstallation

Per Fahlén
Installationsteknik
Chalmers tekniska högskola AB
Göteborg
25 februari 2005

Förord

Detta arbete har utförts inom eff-Sys, energimyndighetens utvecklingsprogram *Effektivare kyl- och värmepumpssystem*. Programmet har pågått under en treårsperiod och startades i mars 2001 som en fortsättning på de tidigare kollektivforskningsprogrammen *Klimat 21* och *Alternativa köldmedier*. **eff-Sys** är ett samarbete mellan statens energimyndighet, fyra svenska högskolor, ett fyrtiotal företag inom kyl- och värmepumpsindustrin och ett flertal energiföretag. Målet är att programmet på lång sikt ska bidra till en nationell utveckling på kyl- och värmepumpsområdet som karakteriseras av en hög energieffektivitet och liten miljöpåverkan till en låg kostnad.

Denna rapport redovisar resultat från ett halvårs mätningar på en ackumulatortanksprototyp för värme och varmvatten. Arbetet är en uppföljning av projekt H23 **”Värmepumpar i vattenburna värmesystem - Effektiva lösningar med värme och varmvatten vid konvertering av elvärmdda småhus”**, vilket redovisats i en tidigare rapport. Det arbetet genomfördes i nära samverkan med projekt H22 *”Driftoptimering av värmepumpssystem”* (projektutförare SP Sveriges Provnings- och forskningsinstitut AB) och H24 *”Spetsvärme för villavärmepumpar”* (projektutförare Vattenfall Utveckling AB). Merparten av de deltagande företagen har medverkat i två eller alla tre av projekten H22, H23 och H24.

Detta projekt har finansierats av statens energimyndighet, Boröpannan AB, Grundfos AB, IVT AB, Nibe AB, SP Sveriges Provnings- och forskningsinstitut AB, Thermia Värme AB, Thermopanel/Rettig Heating AB, Wilo AB samt av energiföretagen Göteborg Energi AB, Jämtkraft AB, Karlstads Energi AB, Lunds Energi AB, Sydkraft AB, Umeå Energi AB, Vattenfall AB och Öresundskraft via Elforsk (Svenska Elföretagens Forsknings- och Utvecklings AB). Cetetherm AB och TAC AB har lämnat bidrag i form av komponenter, dimensioneringsberäkningar och programmering.

Författaren vill tacka samtliga industrirepresentanter för den goda uppslutningen och det mycket aktiva och kreativa deltagandet vid alla projektmöten samt för allt materiellt understöd vid projektets genomförande.

Kombitank för värme och varmvatten – Resultat från mätningar på en värmepumpsinstallation

Sammanfattning

Ett hus med direktverkande elvärme kompletterades 1996 med en bergvärmepump, som värmer huset via en vattenvärmd fläktkonvektor. En uppgradering år 2000 av värmekällan, med återladdning av borrhålet från ett frånluftsbatteri, höjde köldbärartemperaturen och därmed värmepumpens värmeeffekt. Systemet hade problem med korta gångtider och hög startfrekvens p.g.a. liten termisk massa i värmesystemet.

Detta projekt har utvärderat effekten av att installera en kombitank för värme och varmvatten. Resultaten visar att den kortaste drifttiden ökat från 5 till 30 min/start och den högsta startfrekvensen sjunkit från 60 till 15 starter per dygn. Båda resultaten stämmer väl med initiala beräkningar. Kombitanken lagrar värme både för tappvatten och värmesystem i samma värmevatten. Sanitetsvattnet värms vid behov i en extern plattvärmeväxlare. Med ”dött” vatten i tanken behövs inget korrosionsskydd, problem med kalkutfällning på varma ytor försvinner, eventuella problem med legionella eller andra mikrober minskar radikalt och tanken får en mycket lägre tryckklass (2 istället för 10 bar).

Tankens skiktning har fungerat mycket bra och tanken har klarat varmvattenbehovet ganska bra. För att få 55 °C vid tappstället bör tankens temperatur inte understiga ca. 60 °C p.g.a. av förluster från varmvattenrören. Maximalt tappvattenflöde har varit ca. 0,35 l/s medan normala flöden sällan överstiger 0,1 l/s. Största dygnsförbrukningen, med 7 personer i huset under julhelgen 2004, har varit 30 kWh (ca. 600 l). Normalförbrukningen har varit 7-10 kWh/dygn med 2 personer i huset. Både energimängd och flöden stämmer bra med värden från den gamla svenska standarden för laboratorieprovning, SS2095 (10,4 kWh/dygn respektive 0,1 l/s). Rätt dimensionering av tappvattenväxlare och pumpar är viktig för att bibehålla tankens skiktning och få rätt varmvattentemperatur.

Laddning av kombitankens varmvattendel sker med konstant, önskad varmvattentemperatur. Laddningen regleras med en PD-regulator som styr laddningspumpens varvtal. Kombitankens värmedel laddas till en temperatur som bestäms i relation till utetemperaturen av värmepumpens kurvstyrning. Tappvattnet värms till önskad temperatur med hjälp av en annan varvtalsreglerad pump med PD-regulator. Slutligen försörjer en tredje varvtalsreglerad pump värmesystemet i relation till husets medeltemperatur via en PID-regulator. Ett antal försök har gjorts med olika reglerparametrar för samtliga regulatorer.

Abstract

A house with direct-acting electric heating was retrofitted in 1996 with a ground-source heat pump, which heats the house via a single hydronic fan-coil. An upgrade in 2000 with an exhaust-air heat recovery coil raised the brine temperature and hence the capacity of the heat pump. The system encountered problems with short operating times and high starting frequencies. The present study has evaluated the effect of installing a combined tank, combi-tank, for space and sanitary water heating. Results show that the shortest operating time increased from 5 to 30 min/start and the highest starting frequency decreased from 60 to 15 starts diurnally. Both results agree well with initial calculations. The combi-tank stores heat for both space heating and sanitary hot water in the same heating water. Sanitary water is heated on demand in an external plate heat exchanger. With a closed water system, i.e. oxygen-free or “dead” water in the tank, there is no need for corrosion protection, no problems with calcination on heater surfaces, possible problems with legionella or other microbes diminish radically and the tank ends up with a much lower pressure rating (2 bars instead of 10 bars).

Stratification of the tank has worked exceedingly well and the demand for hot water has been covered reasonably well. To reach a recommended 55 °C at the tap, the tank temperature should be around 60 °C to compensate for pipe losses. The maximum hot water flow rate was around 0.35 l/s while normal flows rarely exceeded 0.1 l/s. The maximum diurnal use of hot water, with 7 persons in the house at Christmas, was 30 kWh (600 l). Normal diurnal use with 2 persons was 7-10 kWh. Quantities and flows agree well with values from the Swedish standard SS2095 for laboratory testing (10.4 kWh/24 h and 0.1 l/s respectively). Correct sizing of the tap water heat exchanger and pumps is important to maintain the stratification in the tank and to obtain the desired hot water temperature.

The hot water part of the combi-tank is charged with a constant, desired hot water temperature. The charging is controlled by means of a PD-controller, which controls the speed of the charging pump. The space heating part of the tank is charged to a temperature which is decided in relation to the outdoor temperature by the heat pump controller. The sanitary water is heated to the desired temperature by means of a second variable speed pump with a PD-controller. Finally, a third variable speed pump supplies the space heating system in relation to the mean temperature of the house via a PID-controller. A number of tests were made with different control parameters for all controllers.

Keywords: control, efficiency, ground-source, GSHP, heat pump, heating system, hydronic, pump, sanitary hot water, storage tank, TES, thermal energy storage

Publications in English related to this report

Fahlén, P, Karlsson, F, 2003. Improving Efficiency of Hydronic Heat Pump Heating Systems^[10].

Karlsson, F, Fahlén, P, 2003. Energy saving potential of capacity controlled brine-to-water heat pumps^[12].

Innehåll		Sidan
0	Beteckningar	1
1	Bakgrund och motiv för projektet	2
2	Syfte och mål	2
3	Forskare och industrirepresentanter som har deltagit i projektet	3
4	Projektets genomförande	4
4.1	Systemutformning	4
4.2	Styrning och reglering av värmepumpen	8
4.3	Styrning och reglering av pumparna	12
4.4	Mätprogram	19
4.5	Ändringar under pågående utvärdering	26
5	Resultat	30
5.1	Drifttid och startfrekvens	30
5.2	Tankens skiktning	31
5.3	Tankens värmeförluster	31
5.4	Akkumulatortank – Dygnsmätning	33
5.5	Akkumulatortank - Veckomätning	34
6	Diskussion och slutsatser	50
6.1	Måluppfyllelse	50
6.2	Problem	50
6.3	Slutsatser	52
7	Referenser	55

0 Beteckningar

Storhetsbeteckningar ansluter sig till ISO-standard med undantag av flöden och effekter. Dessa betecknas enligt gängse vetenskapligt system med ISO-symbolen för energi, volym, massa etc. men med pricksymbolen för tidsderivata för att ange ”per tidsenhet” (t.ex. V = volym och \dot{V} = volymflöde, Q = värme och \dot{Q} = värmeflöde, värmeeffekt). I den mån index finns standardiserade används de svenska standarderna SS1897^[13] och SS2095^[14].

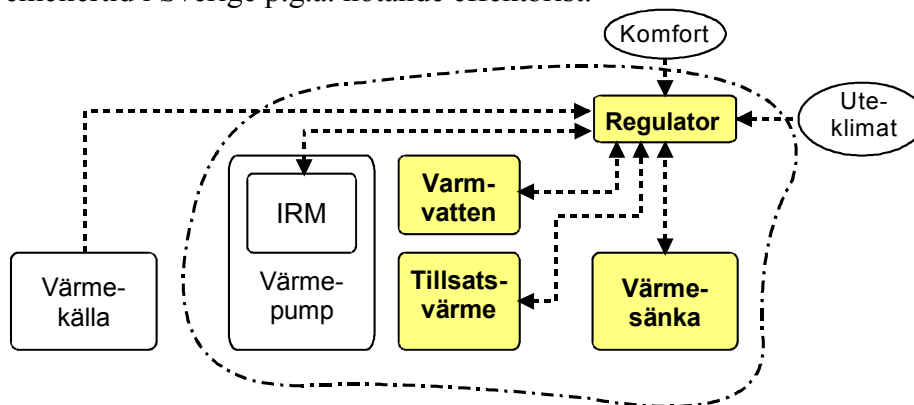
Storheter		Enheter
<i>Latinska symboler</i>		
COP	värmefaktor	[-], [W/W]
f	frekvens	[1/s]
N	antal	[st]
Q	värme	[J]
\dot{Q}	värmeeffekt	[W]
R	relativ gångtid	[-], [s/s]
t	temperatur (Celsius)	[°C]
T	temperatur (absolut)	[K]
V	volym	[m ³]
\dot{V}	volymflöde (i vissa diagram betecknad q)	[m ³ /s]
W	arbete (mekaniskt, elektriskt)	[J]
\dot{W}	effekt (mekaniskt, elektriskt)	[W]
<i>Grekiska symboler</i>		
τ	tid	[s]

Index			
e	elektrisk	ut	utlopp (till värmepump)
F	frånluft	ute	utomhus
fk	fläktkonvektor	va	värmeanläggning
$från$	värmepump frånslagen	vb	värmebärare
hus	hus	vp	värmepump
in	inlopp (till värmepump)	vpa	värmepumpsanläggning
kb	köldbärare	vpa^*	inklusive återladdningspump
kv	kallvatten	vs	värmesystem
m	medel; motor	vv	varmvatten
max	maximal	1	inlopp (till konvektor)
rv	rumsvärmare	1	kondensor
$tank$	ackumulatortank	2	utlopp (från konvektor)
tot	total	2	förångare

Referenser i löpande text anges med referensens ordningsnummer enligt referenslistan i slutet av rapporten satt inom [], t.ex. ... EN255-3^[1] ...

1 Bakgrund och motiv för projektet

När värmepumpar arbetar med till-från reglering av effekten blir värmesystemets temperatur under tillperioden högre än det medelvärde som fordras om effekten tillförs kontinuerligt. Vid dellast med till-från reglering blir drifttiderna korta och startfrekvensen hög, vilket kan medföra en negativ inverkan på driftsäkerheten. Detta innebär också att systemverkningsgraden blir lägre än för ett system där värmepumpens effekt kontinuerligt anpassas till behovet. Problemet accentueras i system med små vattenvolymer, t.ex. så kallade ”minivattensystem” för konvertering av elvärmda småhus, och vid höga täckningsgrader. I övriga Europa har man generellt högre täckningsgrader än i Sverige där ekonomisk dimensionering varit prioriterad. Intresset för hög täckningsgrad, genom val av större värmepump och/eller uppgradering av värmekällan genom återladdning, ökar emellertid i Sverige p.g.a. hotande effektbrist.



Figur 1.1 Systemgräns och inriktning av forskningsuppgiften.

Problemställningen berör således kopplingen mellan värmepump, värmesystem och tappvattenvärmning samt hur olika styrning och dimensionering påverkar systemverkningsgraden, andelen distributionseffekt samt den erforderliga topeffekten (jämför figur 1).

2 Syfte och mål

eff-Sys projekt H23 avsåg att undersöka möjliga vinster genom bättre anpassning mellan tillförd effekt från värmepumpen och husets värmebehov med hjälp av ackumulatortank (projekt H23^[5]) eller kapacitetsreglering (projekt H22^[11]). Med ackumulatortank finns även möjligheter att på ett effektivt sätt värma tappvatten. Ett annat syfte var att värdera följderna av parasiteffekter till pumpar och fläktar och hur dessa påverkar systemverkningsgraden vid behovsanpassad effektstyrning. Syftet med det aktuella projektet var att studera funktionen i praktisk drift för en tank som togs fram inom projekt H23. Målet var att åstadkomma ett system som kan hantera både värme och varmvatten vid konvertering av elvärmda småhus.

3 Forskare och industrirepresentanter som har deltagit i projektet

Forskningsarbetet har genomförts av:

- Chalmers tekniska högskola AB, Installationsteknik, 412 96 GÖTEBORG.
Per Fahlén: tel. 031-772 11 42, e-post per.fahlen@hvac.chalmers.se

Arbetet har skett i samråd med en projektgrupp bestående av följande organisationer och företag:

- Boröpannan AB, Bangårdsvägen 1, 952 31 Kalix.
Ingvar Johansson 0923-166 80, e-post ingvar@boroe.com
Anders Holmberg: tel. 0923-795 37, e-post anders@boroe.com
- Elforsk AB, c/o Carl Bro Energikonsult AB
Bertil Strandh: tel. 040 - 255 977, e-post bertil.strandh@carlbro.se
- Grundfos AB, Box 63, 424 22 Angered
Dickie Kristiansson: tel. 0771-32 23 00, e-post dkristiansson@grundfos.com
- IVT AB, Box 1012, 573 28 Tranås.
Håkan Persson: tel. 0140-38 41 00, e-post hakan.persson@ivt.se
- Nibe AB, Box 14, 285 21 Markaryd.
Holger Svensson: tel. 0433-730 52, e-post holger.svensson@nibe.se
- SP Sveriges Provnings- och forskningsinstitut AB, Box 857, 501 15 Borås.
Fredrik Karlsson: tel. 033-16 55 29, e-post fredrik.karlsson@sp.se
Monica Axell: tel. 033-16 55 19, e-post monica.axell@sp.se
- Thermia Värme AB, Box 950, 671 29 Arvika.
Mattias Press: tel. 0570-813 00, e-post anders.mattias.press@thermia.se
Fredrik Svensson: tel. 0570-813 00, e-post fredrik.svensson@thermia.se
- Thermopanel / Rettig Heating AB, Box 220 29, 250 22 Helsingborg
Jonas Skeppås: tel. 042-153 012, e-post jonas.s@thermopanel.se
- Wilo AB, Box 3024, 350 33 Växjö.
Göte Karlsson: tel. 0470-727 616, e-post gote.karlsson@wilo.se

Controller:

- Mats Fehrm: tel. 0433-730 59, e-post mats.fehrm@nibe.se
Nibe AB, Box 14, 285 21 Markaryd.

Utöver bidragen från de företag som formellt har medverkat i projektet har höljande företag bidragit med komponenter och råd:

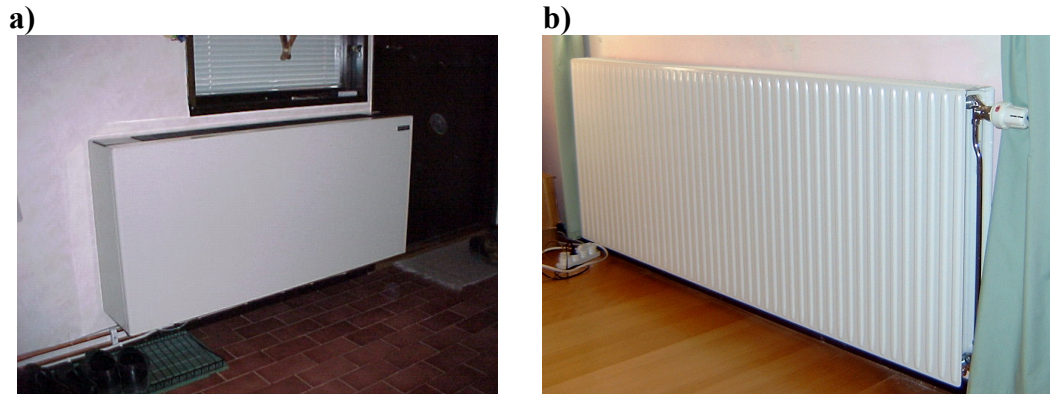
- Cetetherm, Ronneby (plattvärmväxlare för tappvatten),
- Jeff Electronics, Mölndal (diskussion kring tappvattenstyrning),
- TAC, Malmö (reglerenheter för temperaturstyrning).

4 Projektets genomförande

eff-Sys projekt H23 resulterade i ett förslag till integrerat system för värme och varmvatten. Systemet omfattar en kombinerad tank för både värme och varmvatten. Funktionerna behövsstyras med hjälp av tre varvtalsstyrda pumpar (se Figur 4.3). Den 22 september 2004 kopplades ackumulatortanken in på husets värme- och varmvatten system.

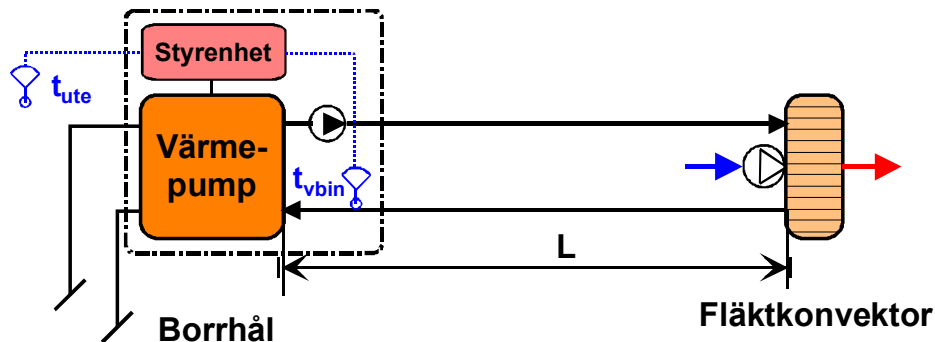
4.1 Systemutformning

Värmepumpssystemet finns beskrivet i slutrapporten för eff-Sys H23^[8]. Ursprungligen var värmepumpen direktkopplad mot en fläktkonvektor i husets hall (Figur 4.1a), och en radiator i ett tonårssovrum på övervåningen (Figur 4.1b).



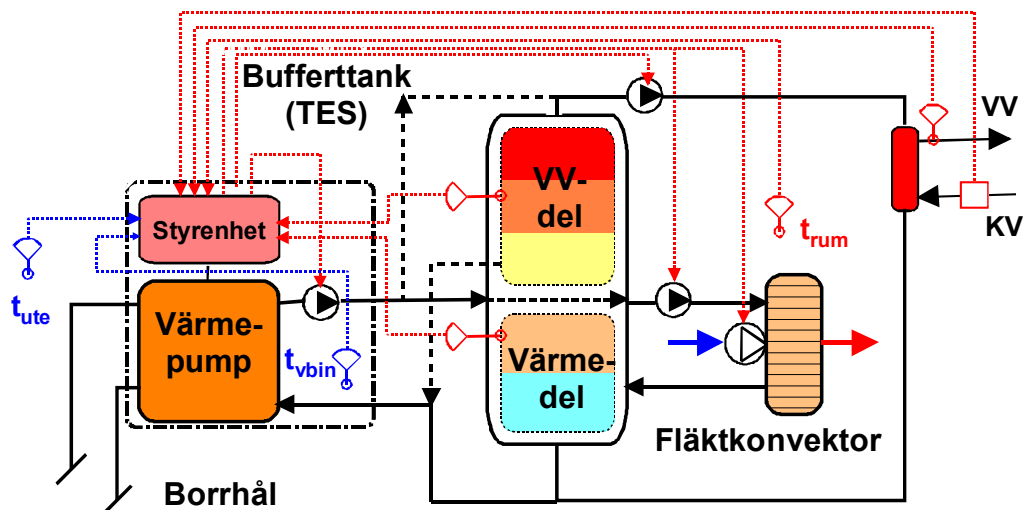
Figur 4.1 Fläktkonvektor (a) i hallen och radiator (b) i ett tonårsrum.

Figur 4.2 visar principen för värmepumpens ursprungliga inkoppling. Värmepumpens cirkulationspump går kontinuerligt, året runt, om man inte stänger värmepumpen manuellt. Detsamma gäller för konvektorfläkten. Rumstemperaturen regleras enbart via värmepumpens kurvstyrning, d.v.s. värmepumpen stoppar på en returtemperatur som bestäms av utetemperaturen.



Figur 4.2 Ursprunglig direktinkoppling av värmepumpen.

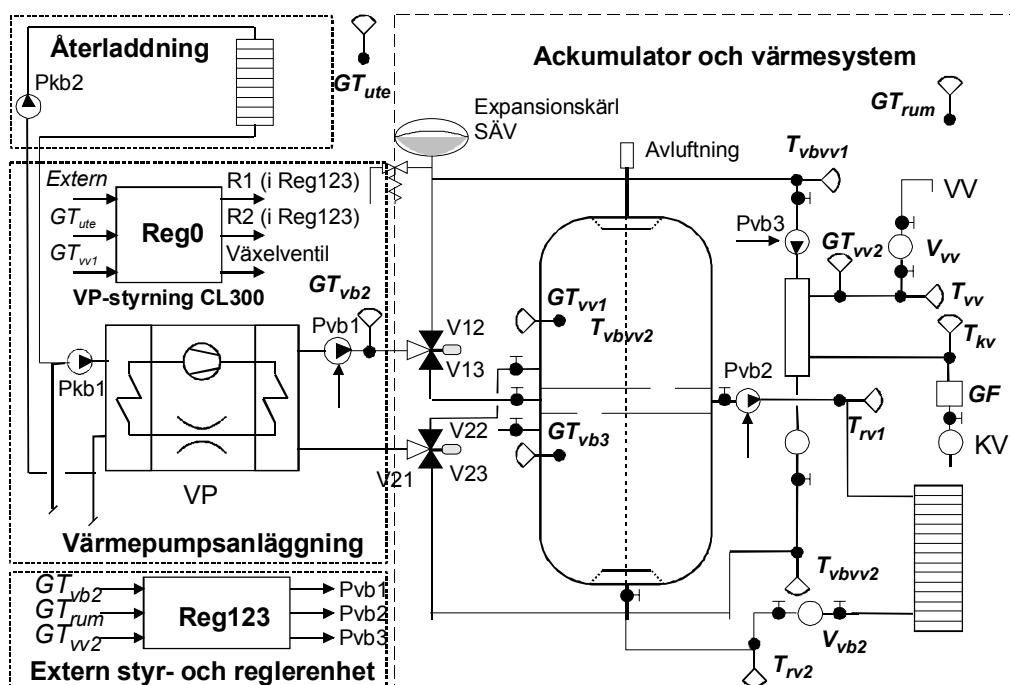
Figur 4.3 beskriver den modifierade inkopplingen med kombitank och varvtalstyrda pumpar för värme och varmvatten. Kombitanken lagrar värme för tappvatten och värmesystem i samma värmevatten. Sanitetsvattnet värms vid behov i en extern plattvärmväxlare. Med ”dött” vatten i tanken behövs inget korrosionsskydd, problem med kalkutfällning på varma ytor försvinner, eventuella problem med legionella eller andra mikrober minskar radikalt och tanken får en mycket lägre tryckklass (2 istället för 10 bar).



Figur 4.3 Inkoppling via kombitanken med varvtalstyrda pumpar för värme och varmvatten.

Laddning av kombitankens varmvattendel sker med konstant, önskad varmvattentemperatur (se Figur 4.4 för detaljerna). Laddningen regleras med en PD-regulator (Reg1) som styr laddningspumpens (Pvb1) varvtal. Kombitankens värmedel laddas till en temperatur som bestäms i relation till utetemperatur av värmepumpens kurvstyrning (Reg0). En annan varvtalsreglerad pump (Pvb2) försörjer värmesystemet i relation till husets medeltemperatur via en PID-regulator (Reg2). Slutligen värms tappvattnet till önskad temperatur med hjälp av en tredje varvtalsreglerad pump (Pvb3) med PD-regulator (Reg3). Ett antal försök har gjorts med olika reglerparametrar för samtliga regulatorer.

Figur 4.4 visar en skiss över systemet med värmepump, ackumulatortank, rumsvärmare och reglerutrustning. Figuren visar även placeringen av reglergivare. Avsnitten 4.2 - 4.3 beskriver principerna för styrning och reglering av systemet. Avsnitt 4.4 redogör för mätningarna och Figur 4.15 visar mätgivarnas placering.



Figur 4.4 Skiss över systemet med värmepump, ackumulatortank, rumsvärmare och reglerutrustning.

Akkumulatortanken har en anslutning på toppen, sex anslutningar på vänstra sidan och en anslutning plus åtta dykrör på högra sidan (se Figur 4.5):

Anslutning på toppen:

-Laddning från värmepumpen till varmvattendelen och uttag från tanken till tappvattenväxlaren.

Anslutningar på vänstra sidan:

- Elpatron till varmvattendelen
- Retur till värmepumpen från varmvattendelen
- Laddning från värmepumpen till värmedelen av tanken
- Alternativ anslutning för laddning
- Elpatron till värmesystemdelen
- Retur till värmepumpen från värmedelen av tanken samt retur till tanken från tappvattenväxlaren.

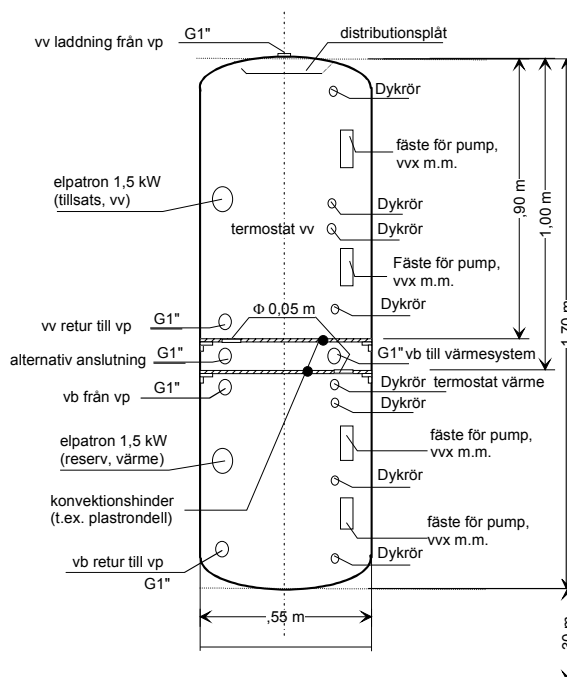
Anslutningar på högra sidan:

- Dykrör för t_{tank1}
- Dykrör för t_{tank2}
- Dykrör för reglergivare GT_{vv1}
- Dykrör för t_{tank3}
- Dykrör för t_{tank4}
- Dykrör för reglergivare GT_{vb3}
- Dykrör för t_{tank5}
- Dykrör för t_{tank6}

a)



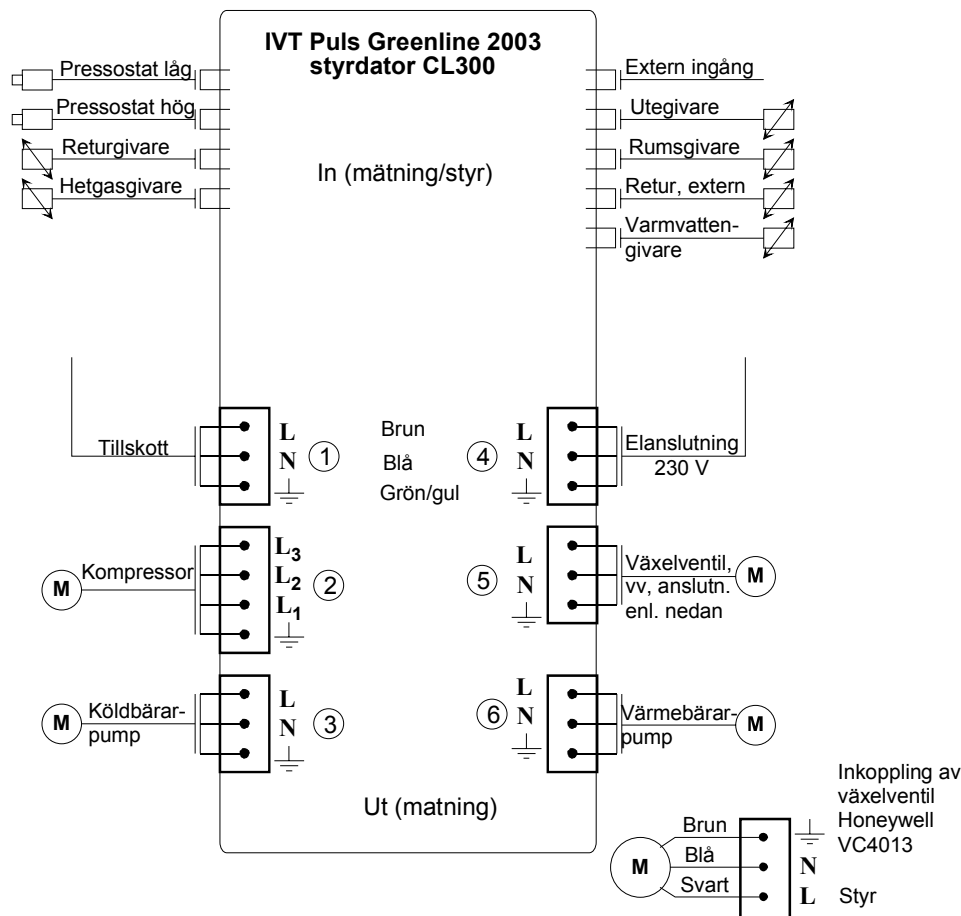
b)



Figur 4.5 Foto (a) och måttskiss (b) av den isolerade ackumulatortanken.

4.2 Styrning och reglering av värmepumpen

Värmepumpen styrs med hjälp av den befintliga, inbyggda styrenheten *Reg0* (IVT CL300) och den befintliga utetemperaturgivaren GT_{ute} kompletterad med en givare i bufferttanken för värmedelen, GT_{vb3} , och en för tappvattendelen GT_{vv1} . I princip utnyttjas den befintliga styrningen CL300 (se Figur 4.6) för att styra temperaturnivån i värmebärartanken. Den inbyggda kurvstyrningen och utegivaren reglerar värmedriften och varmvattengivaren styr varmvattendriften.



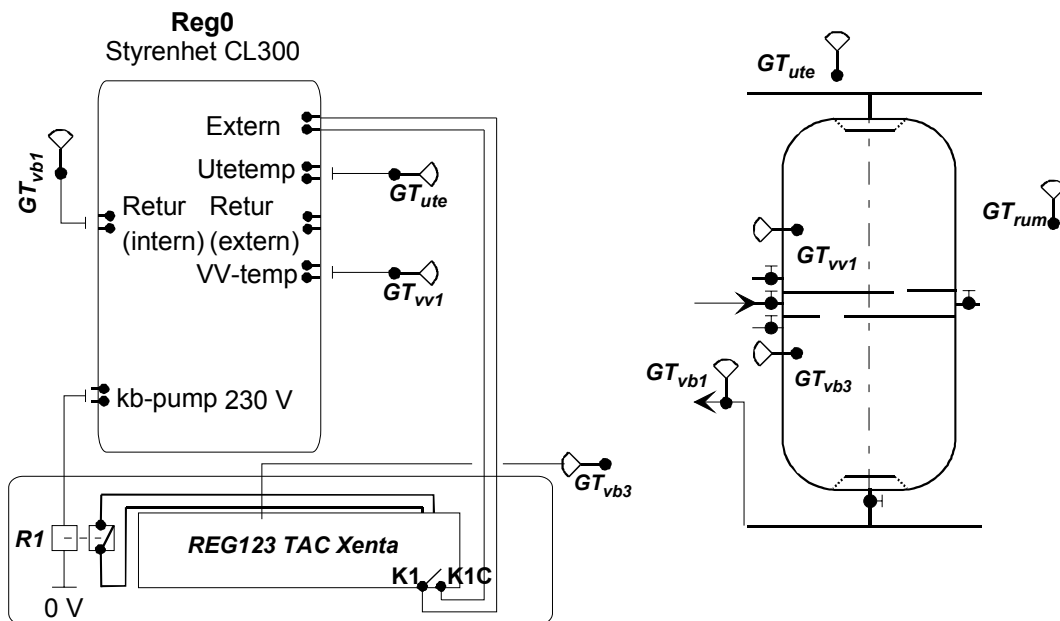
Figur 4.6. IVTs värmepumpsreglering CL300 (Reg0).

Följande givare styr värmepumpens drift:

- GT_{ute} : Utetemperaturgivare (IVT; ingår i värmepumpens utrustning, ger börvärde för returgivaren GT_{vb1})
- GT_{vb1} : Returgivare (IVT; ingår i värmepumpens utrustning, stoppar driften i värmedriftsfallet)
- GT_{vb2} : Framledningsgivare (TAC; extern, reglerar P_{vb1} vid laddning av tappvattendelen av tanken; se avsnittet om pumpstyrning)
- GT_{vb3} : Temperaturgivare i värmevattentankens nedre del

- (TAC; extern, startar driften)
 GT_{vv1} : Temperaturgivare i tankens övre del (IVT; extern, startar och stoppar driften vid inställda värden på T_{VV_LL} respektive T_{VV_UL})

Till skillnad mot den vanliga styrinkopplingen krävs även indikerat behov från någon av de två givarna i tanken för att värmepumpen skall starta. Villkoret för värmedrift infogas i den befintliga styrningen via styrdatorns externingång och en potentialfri kontakt (se Figur 4.7). Villkoret för varmvattendrft finns inbyggt i värmepumpsstyrningen CL300.



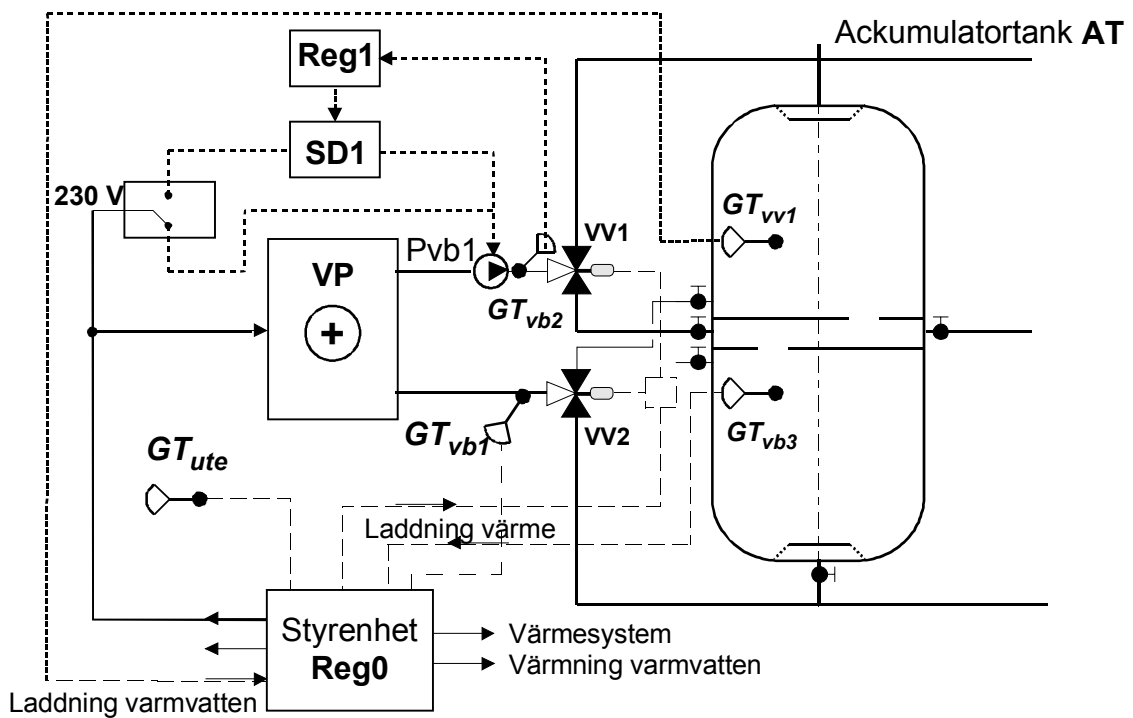
Figur 4.7. GT_{vb3} i tankens nedre del styr en potentialfri kontakt som startvillkor vid värmedrift på CL300 ingång ”extern”. GT_{vv1} i tankens övre del går direkt in på CL300 ingång ”VV-temp” för att starta värmning av tappvattendelen (OBS! bara om första villkoret är uppfyllt).

Avsnitt 4.2.1 - 4.2.2 beskriver funktion och styrning för värmepumpen vid laddning av värmevattentanken respektive varmvattentanken.

4.2.1 Laddning av värmvattentank

Värmepumpen **startar** värmedriften när GT_{vb3} går under ett värde som förinställs i den externa reglercentralen *Reg123* (TAC Xenta). Värdet kan varieras mellan 20-40 °C. Normalvärde = 30 °C. När värmepumpen startar drar relä *R1* i *Reg123* (Figur 4.7). Reläet dras av spänningen från köldbärarpumpens matning. Så länge antingen $GT_{vb3} < T_{vb3,bör}$ eller *R1* är sluten ger *Reg123* en sluten potentialfri kontakt till ingången ”extern” på CL300 och värmepumpen fortsätter att gå. Vid uppfyllt värmebehov växlar CL300 systemet till att värma tappvattendelen av tanken (se även avsnittet om pumpstyrning).

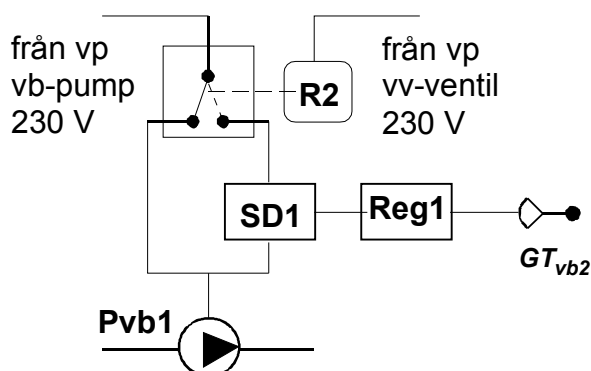
Värmepumpen **stoppas**, om varmvattenbehov saknas, när GT_{vb1} går över $T_{vb1,bör}$. Värdet på $T_{vb1,bör}$ bestäms i CL300 enligt inställd kurvstyrning och utetemperaturgivarens värde. Om det finns varmvattenbehov växlar CL300 till varmvattendrift och stoppar på varmvattengivaren (se 4.2.2).



Figur 4.8. Givare i värmepump och tank för styrning av värmepumpens drift.

4.2.2 Laddning av varmvattentank

Värmepumpen **startar** varmvattendrift, antingen direkt på indikerat behov från givare GT_{vv1} i tankens överdel, eller som följd av ”top up” efter avslutad värmedrift. Börvärdet SP-VV för GT_{vv1} ställs in i CL300. Normalvärdet är SP-VV = 45 °C, vilket ger $T_{VV_LL} = 42,5$ °C och $T_{VV_UL} = 47,5$ °C. Vid start av varmvattendrift växlar ventilerna VV1 och VV2 från anslutning mot den nedre delen av tanken till anslutning mot den övre. Manöverspänningen från CL300 till växelventilerna ansluts även till relä R2 i Reg123 för att växla till varvtalsstyrd pumpdrift (se Figur 4.9) indikera driftbehov. Beträffande pumpdriften hänvisas till avsnittet om pumpstyrning. Värmepumpen **stoppar** varmvattendrift vid uppnådd T_{VV_UL} för GT_{vv1} .



Figur 4.9 Växling mellan direktdrift och varvtalsstyrning vid laddning av tanken.

4.2.3 Sammanfattning av start- och stoppvillkor

Tabell 4.1 sammanfattar start- och stoppvillkoren för värmepumpens drift.

Tabell 4.1. Sammanfattning av start- och stoppvillkor (kb = köldbärare, vb = värmebärare, vv = varmvatten, LL = Lower Level, UL = Upper Level).

Driftfall	Start- och driftsvillkor	Stoppvillkor
Värme	Ingång ”extern” sluten. Kräver att antingen $T_{vb3} < T_{vb3,bör}$ eller att P_{kb} har spänning.	$T_{vb1} > T_{vb1,bör}$
Varmvatten	Ingång extern sluten och $T_{vv1} < T_{VV-LL}$	$T_{vv1} > T_{VV-UL}$

4.3 Styrning och reglering av pumparna

Värmepumpsanläggningen innehåller totalt fem cirkulationspumpar:

- Pvb1*: Värmebärarpump för kondensorflödet (intern i värmepumpen; fast varvtal vid laddning av värmesladd och reglerad vid laddning av tappvattentank)
- Pvb2*: Värmebärarpump för radiatorsystemet (extern, reglerad)
- Pvb3*: Värmebärarpump för tappvattenväxlaren (extern, reglerad)
- Pkb1*: Köldbärarpump för förångarflödet (intern i värmepumpen, fast varvtal)
- Pkb2*: Köldbärarpump för borrhålsåterladdning (extern, fast varvtal)

Avsnitt 4.3.1 - 4.3.3 beskriver funktion och styrning för de reglerbara pumparna medan 4.3.4 beskriver själva regulatorinkopplingen.

4.3.1 Laddning av bufferttank

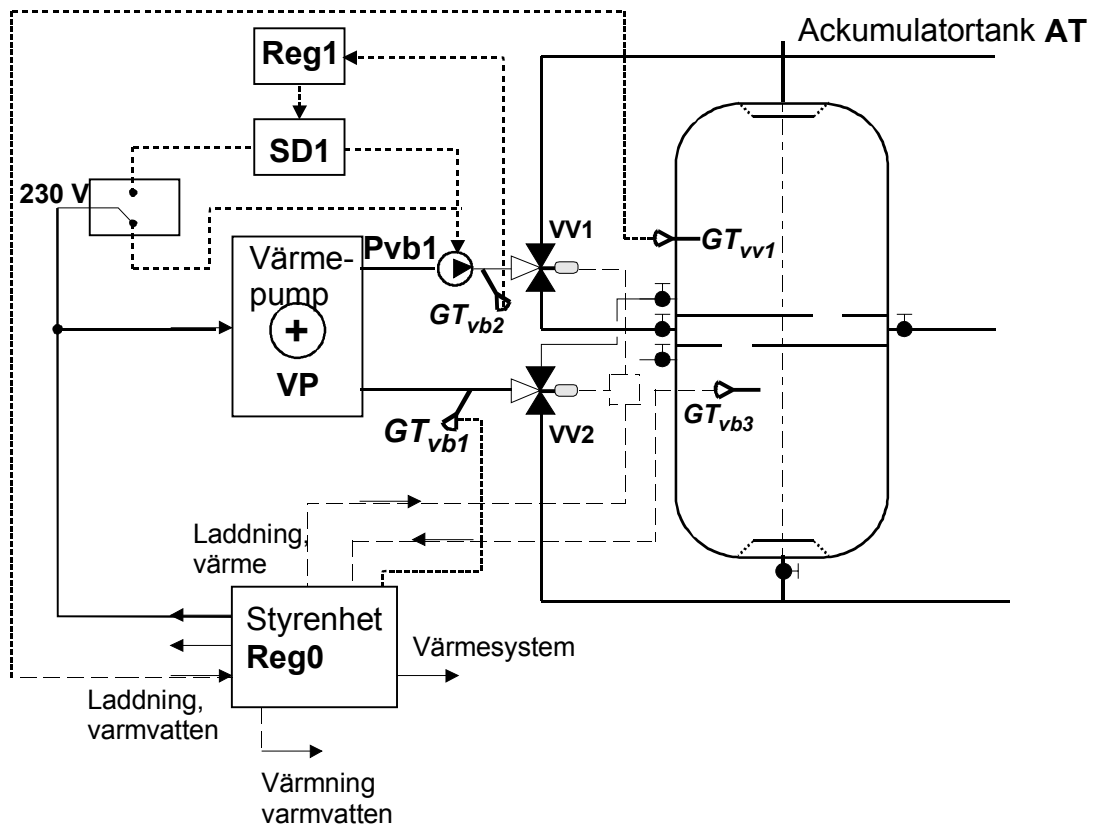
Värmepumpen har en inbyggd värmebärarpump *Pvb1* som med sin ursprungliga inkoppling går kontinuerligt. Inkopplingen modifieras så att värmebärarpumpen startar samtidigt som värmepumpen startar (se

Figur 4.10). Värmepumpen startar när någon av bufferttankens givare för värmevatten och varmvatten indikerar behov (se beskrivning av värmepumpens styrning). Observera att värmepumpsstyrningen *Reg0* prioriterar varmvattenbehovet.

Vid värmedrift går värmebärarpumpen med fast varvtal mot tankens underdel och styrs av värmepumpens inbyggda reglercentral *Reg0*. När returgivaren *GTvb1* indikerar uppfyllt behov i värmedelen ger *Reg0* styrsignal för att växla ventilerna *VV1* och *VV2* så att värmepumpen värmer den övre, tappvattendelen av tanken. Samtidigt växlar matningen till värmebärarpumpen så att den går via ett styrdon, *SD1*, av typen ”dimmer”. Varvtalet startar på min och regleras av en PD-regulator *Reg1* med hjälp av framledningsgivaren *GTvb2* så att utgående värmebärartemperatur håller ett konstant, inställbart värde T_{vbv0} (45-55 °C). Observera den ”omvända” reglerfunktionen; ju större avvikelse desto lägre flöde. Följande komponenter används:

- Pump *Pvb1*: Wilo RS25/4-3p, läge II, 46 W
- Regulator *Reg0*: IVT Greenline CL300
- PD-regulator *Reg1*: TAC Xenta 302
(in: *GTvb2* M-B1, ut: $U_{min} - 5$ V på M – Y1)
- Styrdon *SD1*: United Automation PAC-2 från Elfa
(dimmer/triac, in: 0-5 V)
- Styrgivare *GTvb1*: Inbyggd NTC-givare i värmepumpen
- Reglergivare *GTvb2*: TAC dykgivare till *Reg2*
- Styrgivare *GTvb3*: Till-från termostat som sluter ingången för extern

- styrning på *Reg1*. Inställbar 25-35 °C.
- Styrgivare *GT_{vv1}*: Värmepumpens varmvattengivare.



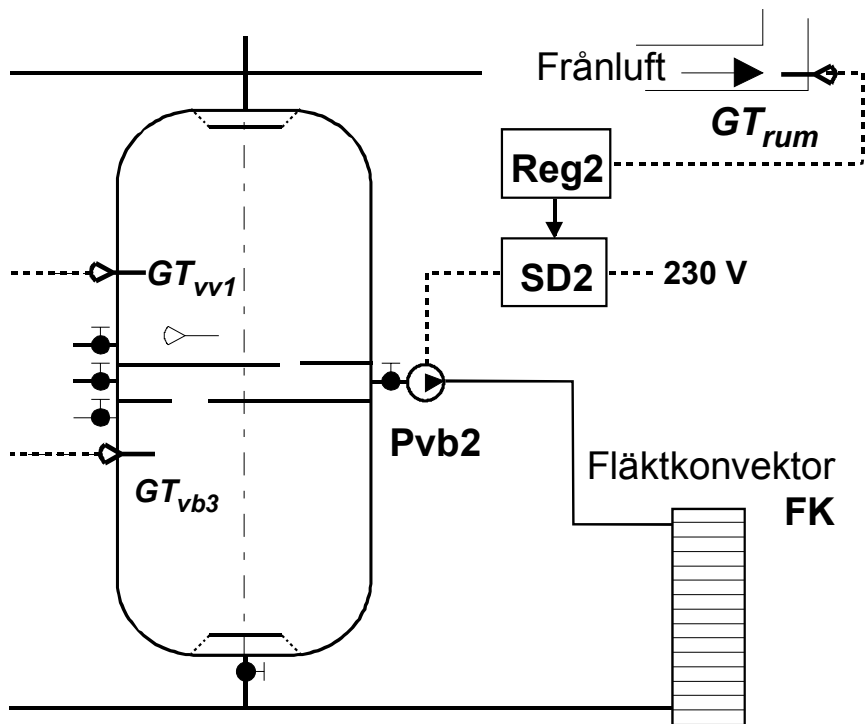
Figur 4.10 Inkoppling av värmepumpens värmebärarpump.

4.3.2 Värmesystem

Värmesystemets cirkulationspump startas av rumstermostaten GT_{rum} när temperaturen understiger inställt börvärde T_{rum0} . Pumpvarvtalet regleras med PI-regulatorn $Reg2$ i relation till avvikelsen mellan T_{rum} och T_{rum0} (15-25 °C). T_{rum} mäts med kanalgivare i frånluften. Regulatorn reglerar styrdonet $SD2$ av typen ”dimmer”, som matar pumpen (se

Figur 4.11).

- Pump $Pvb2$: Grundfos UPS 25-40 180, läge II, 45 W
Alternativ Wilo Star-RS 25/4, läge II,
- PI-regulator $Reg2$: TAC Xenta 302
(in: GT_{rum} M-B2, ut: $U_{min} - 5$ V på M – Y2)
- Styrdon $SD2$: United Automation PAC-2 från Elfa
(dimmer/triac, in: 0-5 V)
- Rumstermostat GT_{rum} : TAC kanalgivare till $Reg2$

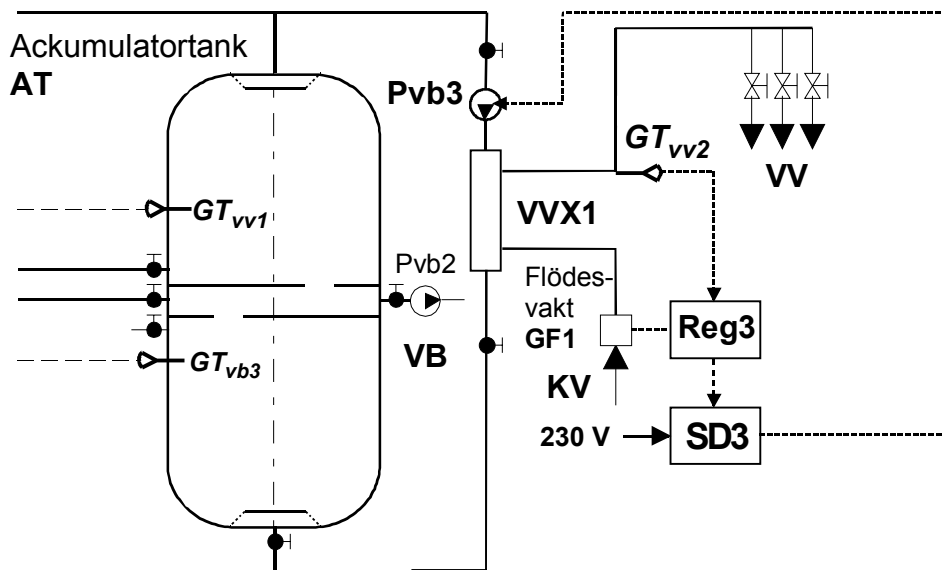


Figur 4.11 Inkoppling av värmesystemets cirkulationspump.

4.3.3 Värmning av tappvatten

Tappvattenvärmeväxlarens pump $Pvb3$ startar på signal av flödesvakten $GF1$, som sitter i den inkommande kallvattenledningen till tappvattenvärmeväxlaren $VVX1$ (se Figur 4.12). Pumpens varvtal regleras med PD-regulatorn $Reg3$ och styrdonet $SD3$ av dimmertyp. Reglergivaren GT_{vv2} används för att hålla den utgående varmvattentemperaturen från $VVX1$ vid ett konstant, inställbart värde T_{vv0} . (45-55°C). Följande komponenter används:

- Pump $Pvb1$: Wilo RS25/4-3p, läge II, 46 W
- Regulator $Reg0$: IVT Greenline CL300
- PD-regulator $Reg3$: TAC Xenta 302
(in: flödesvakt M0-X1, GT_{vv2} M-B3,
ut: $U_{min} - 5$ V på M – Y3)
- Styrdon $SD3$: United Automation PAC-2 från Elfa
(dimmer/triac, in: 0-5 V)
- Termostat GT_{vv2} : Reglergivare till $Reg3$ TAC dykgivare (snabb,
monteras nära växlarens utgående varmvatten).

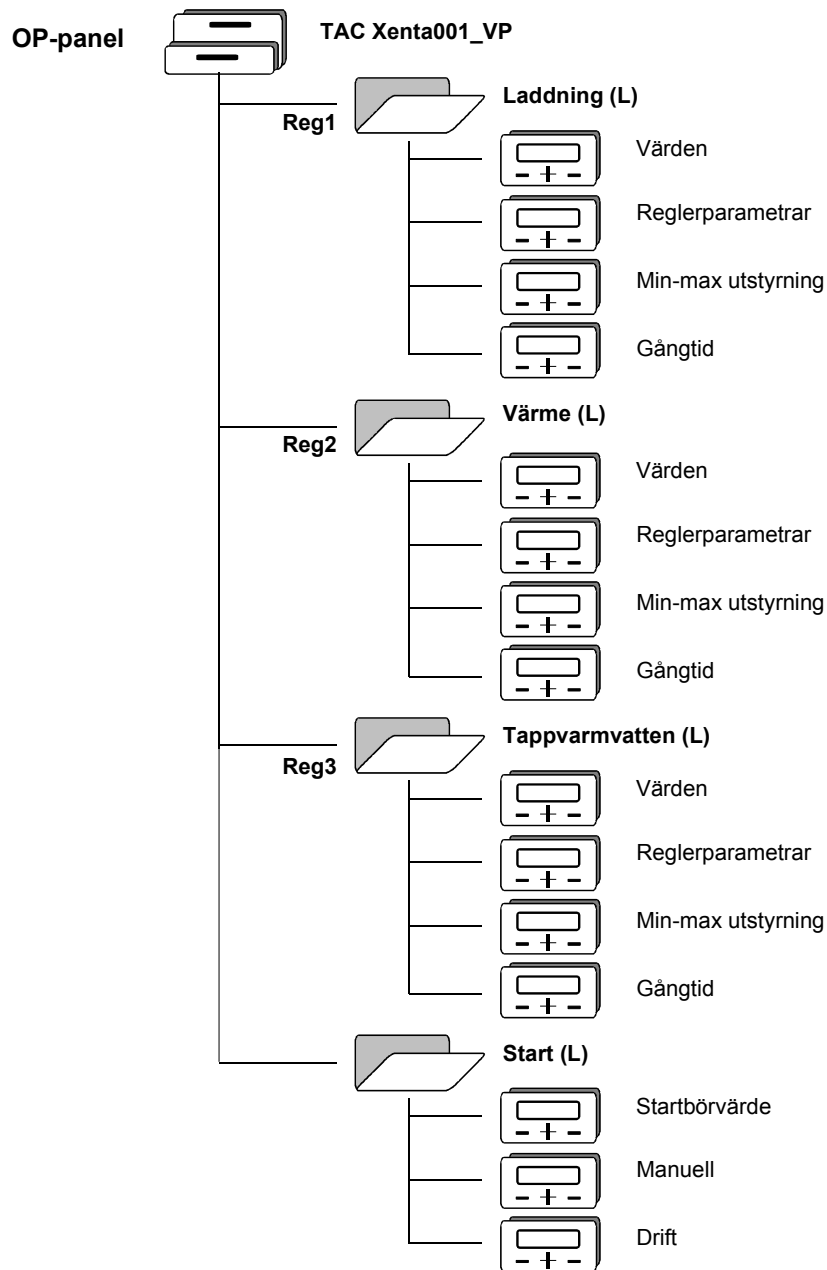


Figur 4.12 Inkoppling av tappvattenväxlarens cirkulationspump.

4.3.4 Regulatorutförande och handhavande

Regulatorn är av modell TAC Xenta 302 och liknar en PLC till funktionen. Modulen innehåller fyra regulatorer som kan programmeras till olika funktioner var för sig. Inställningen av regulatorfunktionen sker via en operatörspanel (OP-panel, se

Figur 4.13). Modulen har fyra ärvärdesingångar, fyra logiska ingångar och fyra utgångar. Utgångarna ger en analog utsignal som kan ställas till ett valfritt intervall $U_{min} - U_{max}$ inom området 0-10 V DC.



Figur 4.13 Inställning av regulatorfunktion via OP-panel.

Via OP-panelen kan man nå fyra undermenyer, varav tre utnyttjas för den aktuella applikationen. De tre undermenyerna hanterar laddning, värme och varmvatten.

4.3.4.1 Undermeny laddning

VÄRDEN	Börvärde	XX:X °C (45-55 °C)
	Ärvärde	XX.X °C
	Styrsignal	XX %
REGLERPARAMETRAR	P-band	XX °C
	D-tid	X sekunder
	Dödzon	X.X °C
MIN-MAX STYRSIGNAL	Min styrsignal	XXX % (t.ex. 15 %)
	Max styrsignal	XXX % (t.ex. 100 %)
GÅNGTID	Styrdonets gångtid	XX sekunder

4.3.4.2 Undermeny värme

VÄRDEN	Börvärde	XX:X °C (15-25 °C)
	Ärvärde	XX.X °C
	Styrsignal	XX %
REGLERPARAMETRAR	P-band	XX °C
	I-tid	XX minuter
	Dödzon	X.X °C
MIN-MAX STYRSIGNAL	Min styrsignal	XXX % (t.ex. 15 %)
	Max styrsignal	XXX % (t.ex. 100 %)
GÅNGTID	Styrdonets gångtid	XX sekunder

4.3.4.3 Undermeny varmvatten

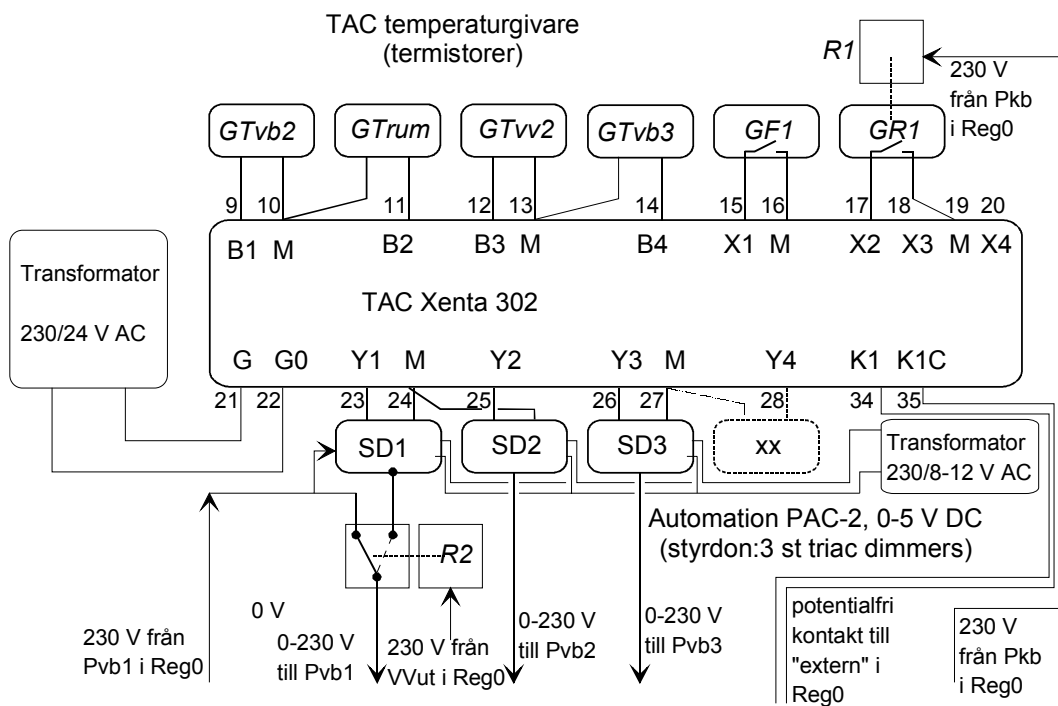
VÄRDEN	GF1	X (1 = till, 0 = från)
	Börvärde	XX:X °C (45-55 °C)
	Ärvärde	XX.X °C
	Styrsignal	XX %
REGLERPARAMETRAR	P-band	XX °C
	D-tid	X sekunder
	Dödzon	X.X °C
MIN-MAX STYRSIGNAL	Min styrsignal	XXX % (t.ex. 15 %)
	Max styrsignal	XXX % (t.ex. 100 %)

4.3.4.4 Undermeny startvillkor för värmepump

STARTVÄRDEN	GTvb3	
	Börvärde	XX.X °C
	Ärvärde	XX.X °C
MANUELL	Driftläge X	
	Manuell drift	X = 1
	Automatisk drift	X = 0
DRIFT	Manöver VP	X
	Driftindikering VP	X

4.3.5 Kopplingsschema

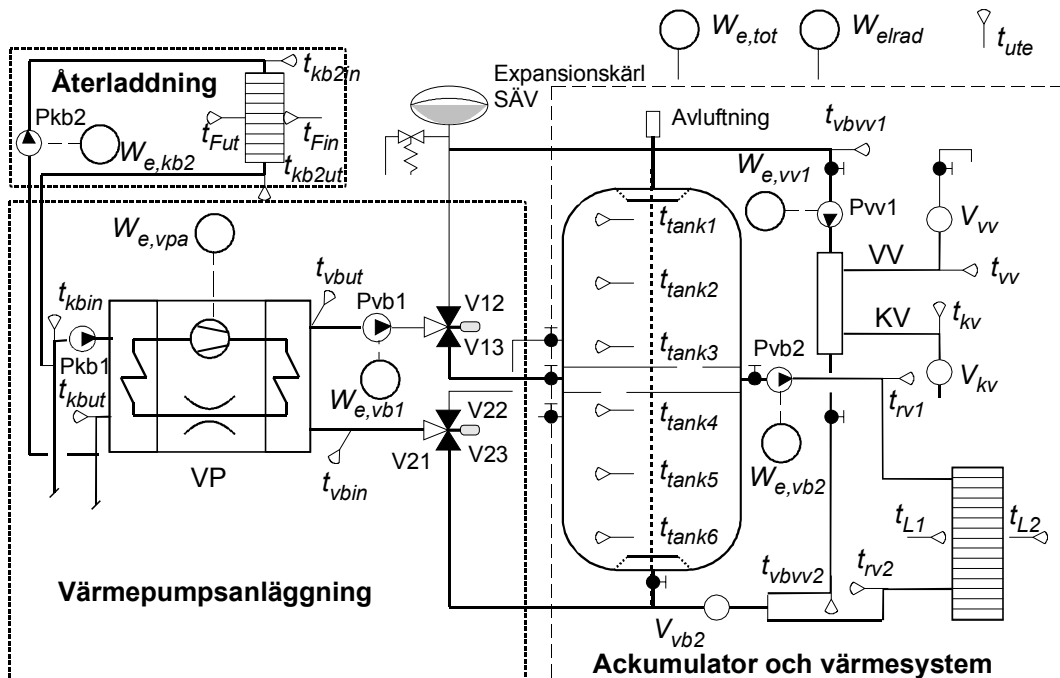
TAC Xenta 302 matas via en 230/24 V AC transformator. Reglergivarna kopplas in på ingångarna B1 – B3 enligt Figur 4.14 medan utgångarna Y1 – Y3 ansluts till pumparnas triacstyrningar. Flödesvakten GF1 ansluts till den logiska ingången X1.



Figur 4.14 Inkoppling av TAC Xenta 302.

4.4 Mätprogram

- Syfte 1: Studier av temperaturnivåer och energianvändning för värme, varmvatten och total elanvändning.
- Syfte 2: Studier av dynamiska förlopp i värme- och varmvattensystemen i samband med start och stopp av värmepumpen samt tappning av varmvatten.
- Tidsperiod 1: Ca. 1 år.
- Tidsperiod 2: Ca. 1 vecka under en dellastperiod (höst) och ca. 1 vecka under en fullastperiod (vinter)
- Mätintervall 1: Avläsning av veckomedelvärden för långtidsmätning. Mätintervallet i loggern vid bildandet av medelvärden är 1 min.
- Mätintervall 2: Avläsning med 1min intervall vid korttidsmätningar för studier av systemets dynamik. Detta intervall är baserat på en uppskattad stigtid av ca. 30 s för de snabbaste temperaturgivarna i dykrörsmontage. Tidsupplösningen 1 min ger ett antal mätningar per kanal av 60 per h, 1 440 per dygn och 10 080 per vecka.
- Mätutrustning: SP AE50.
- Mätutrustning 2: Intab 3100.



Figur 4.15 Skiss över programmets mätpunkter.

4.4.1 Huset totalt

Mätningar för att studera:

- Husets totala behov av el, värme och vatten
- Husets medeltemperatur inomhus,
- Husets medeltemperatur utomhus

Val av givare: För att göra mätningen enkel och billig och för att kunna jämföra med tidigare förbrukning används husets debiteringsmätare för el och kallvatten. Inomhus- och utomhustemperatur registreras med befintlig loggerutrustning och Pt100 givare.

Tabell 4.2 Huset totalt: Sammanställning över mätstorheter. L = långtidsmätning (veckomedelvärden, $\Delta\tau_{\text{mät}} = 1$ min) och K = korttidsmätning (momentanvärden, $\Delta\tau_{\text{mät}} = 1$ min eller 5 min).

Huset totalt Storhet	Beteck- ning	Mätosäkerhet [±]		Upplösning	
		L	K	L	K
<i>Temperatur [°C]</i>	t	L	K	L	K
Rum (frånluft in) Pt100	$t_{rum} = t_{Fin}$	0,5 K	--	0,1 K	--
Ute (strålningskyddad givare i carporten) Pt100	t_{ute}	0,5 K	--	0,1 K	--
<i>Volym [m³]</i>	V	L	K	L	K
Kallvatten (debiteringsmätaren) Vinghjulsätare	V_{kv}	5 %	--	0,1 dm ³	--
<i>Elenergi [kWh]</i>	W_e	L	K	L	K
Total el (debiteringsmätaren) Ferrarismätare	$W_{e,tot}$	2 %	--	0,1 kWh	--

4.4.2 Rumsvärmare

Mätningar för att studera:

- Cyklisk temperaturvariation (jämförelse med resultat utan tank),
- Stigtid och dödtid,
- Distributionseffektivitet,
- Pump- och fläktarbete.

Val av givare: Inomhus- och utomhustemperatur registreras med Intab fältlogger och Pt100 givare. Kommentar: Mätningarna gjordes manuellt via momentanavläsning av den befintliga loggern innan Intabloggern installerades.

Tabell 4.3. Värme: Sammanställning över mätstorheter. L = långtidsmätning (veckomedelvärden, $\Delta\tau_{\text{mät}} = 1$ min) och K = korttidsmätning (momentanvärden, $\Delta\tau_{\text{mät}} = 1$ min eller 5 min).

Värme Storhet	Beteckning	Mätosäkerhet		Upplösning	
		[±]		L	K
<i>Temperatur [°C]</i>	t	L	K	L	K
Värmebärare till rumsvärmare, Pt100.	t_{rv1}	0,2 K	0,2 K	0,1 K	0,1 K
Värmebärare från rumsvärmare, Pt100.	t_{rv2}	--	0,2 K	--	0,1 K
Lufttemperatur in till konvektor, Pt100.	t_{L1}	0,5 K	0,5 K	0,1 K	0,1 K
Lufttemperatur ut från konvektor, Pt100.	t_{L2}	0,5 K	0,5 K	0,1 K	0,1 K
<i>Elenergi [kWh]</i>	W_e	L	K	L	K
El till värmedistributionspump, Ferrarismätare.	$W_{e,vb2}$	2 %	--	0,1 kWh	

4.4.3 Varmvatten

Mätningar för att studera:

- Temperaturhållning,
- Stigtid och dödtid,
- Förbrukningsmönster (mängd, flöde, frekvens)

Tabell 4.4. *Varmvatten*: Sammanställning över mätstorheter. L = långtidsmätning (veckomedelvärden, $\Delta\tau_{\text{mät}} = 1$ min) och K = korttidsmätning (momentanvärden, $\Delta\tau_{\text{mät}} = 1$ min eller 5 min).

Varmvatten Storhet	Beteck- ning	Mätosäkerhet [±]		Upplösning	
		L	K	L	K
<i>Temperatur [°C]</i>	t	L	K	L	K
Kallvatten (tappvatten in) , Pt100.	t_{kv}	0,5 K	0,5 K	0,1 K	0,1 K
Varmvatten (tappvatten ut) , Pt100.	t_{vv}	0,5 K	0,5 K	0,1 K	0,1 K
<i>Volym [m³], flöde [m³/h]</i>	V	L	K	L	K
Volym, kallvatten (debiteringsmätaren), vinghjulsmätare.	V_{kv}	5 %	--	0,0001 m ³	--
Volym, flöde, varmvatten (tappvattensidan), induktiv flödesmätare.	V_{vv}, \dot{V}_{vv}	2 %	2 %	2,5 dm ³	2,5 dm ³
Volym, flöde, varmvatten (värmebärarsidan av VVX _{vv}), ej mätt av ”kostnads/nytt” skäl.	V_{vb3}, \dot{V}_{vb3}	2 %	2 %	2,5 dm ³	2,5 dm ³
<i>Värme [kWh]</i>	Q	L	K	L	K
Varmvattenenergi	Q_{vv}	--	5 %	--	0,1 kWh
<i>Elenergi [kWh]</i>	W_e	L	K	L	K
Tappningspump för vv	$W_{e,vb3}$	--	2 %	--	0,1 kWh
Laddningspump för tank	$W_{e,vb1}$	--	2 %	--	0,1 kWh

4.4.4 Bufferttank

Mätningar för att studera:

- Skiktning (temperaturgivare på olika nivåer),
- Kapacitet (värmemängd, se 4.4.3),
- Temperaturnivå (temperatur på utgående värmebärare från tanken och utgående tappvatten från värmeväxlaren, se 4.4.2 och 4.4.3),

Tabell 4.5. *Bufferttank*: Sammanställning över mätstorheter. L = långtidsmätning (veckomedelvärden, $\Delta\tau_{\text{mät}} = 1 \text{ min}$) och K = korttidsmätning (momentanvärden, $\Delta\tau_{\text{mät}} = 1 \text{ min}$ eller 5 min).

Bufferttank Storhet	Beteck- ning	Mätosäkerhet [±]		Upplösning	
		L	K	L	K
<i>Temperatur [°C]</i>	<i>t</i>				
Skiktningsgivare 1, Pt100.	t_{tank1}	0,5 K	0,5 K	0,1 K	0,1 K
Skiktningsgivare 2, Pt100.	t_{tank2}	--	0,5 K	--	0,1 K
Skiktningsgivare 3, Pt100.	t_{tank3}	--	0,5 K	--	0,1 K
Skiktningsgivare 4, Pt100.	t_{tank4}	0,5 K	0,5 K	0,1 K	0,1 K
Skiktningsgivare 5, Pt100.	t_{tank5}	--	0,5 K	--	0,1 K
Skiktningsgivare 6, Pt100.	t_{tank6}	--	0,5 K	--	0,1 K

4.4.5 Värmepump

Mätningar för att studera:

- Värmefaktor och energibesparing,
- Drifttid och startfrekvens för värmepumpen,
- Effekt av effektivare pumpar och sänkt temperaturnivå.

Kommentar: Dessa mätningar har delvis rapporterats tidigare^[2-5, 10]

Tabell 4.6. *Värmepump:* Sammanställning över mätstorheter. L = långtidsmätning (veckomedelvärden, $\Delta\tau_{\text{mät}} = 60$ s) och K = korttidsmätning ($\Delta\tau_{\text{mät}} = 30$ s).

Borrhålsåterladdning Storhet	Beteck- ning	Mätosäkerhet [±]		Upplösning	
		L	K	L	K
<i>Temperatur [°C]</i>	t	L	K	L	K
Värmebärare ut från värmepumpen, Pt100.	t_{vbut}	0,2 K	0,2 K	0,1 K	0,1 K
Värmebärare in till värmepumpen, Pt100.	t_{vbin}	0,2 K	0,2 K	0,1 K	0,1 K
Köldbärare ut från värmepumpen, Pt100.	t_{kbut}	0,2 K	0,2 K	0,1 K	0,1 K
Köldbärare in till värmepumpen, Pt100.	t_{kbin}	0,2 K	0,2 K	0,1 K	0,1 K
<i>Volym [m³], flöde [m³/h]</i>	V	L	K	L	K
Flöde, värmebärare, induktiv flödesmätare.	\dot{V}_{vb}	2 %	--	2,5 dm ³	--
<i>Elenergi [kWh]</i>	W_e	L	K	L	K
Total till värmepumpen, Ferrarismätare.	$W_{e,vpa}$	2 %	--	0,01 kWh	--
<i>Antal [st]</i>	N	L	K	L	K
Antal värmepumpsstarter.	N_{vp}	1	--	1	--
<i>Tid [h, min, s]</i>	τ	L	K	L	K
Drifttid för värmepumpen.	τ_{vp}	0,02 h	--	0,01 h	--
<i>Frekvens [h⁻¹, min⁻¹, s⁻¹]</i>	f	L	K	L	K
Startfrekvens för värmepumpen, veckomedelvärden.	f_{vp}	0,02 h ⁻¹	--	0,01 h ⁻¹	--

4.4.6 Borrhålsåterladdning

Mätningar för att studera:

- Frånluftens avkylning (återvunnen värme),
- Drifttid för återladdningspumpen (elanvändning),
- Effekt av effektivare pump.

Tabell 4.7. Borrhålsåterladdning: Sammanställning över mätstorheter. L = långtidsmätning (veckomedelvärden, $\Delta\tau_{\text{mät}} = 1 \text{ min}$) och K = korttidsmätning (momentanvärden, $\Delta\tau_{\text{mät}} = 1 \text{ min}$ eller 5 min).

Borrhålsåterladdning Storhet	Beteck- ning	Mätosäkerhet [\pm]		Upplösning	
		L	K	L	K
<i>Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]</i>	t	L	K	L	K
Frånluftstemperatur in till återladdningsbatteriet, Pt100.	t_{Fin}	0,5 K	--	0,1 K	--
Frånluftstemperatur ut från återladdningsbatteriet, Pt100.	t_{Fut}	0,5 K	--	0,1 K	--
Köldbärartemperatur in till återladdningsbatteriet, Pt100.	t_{kb2in}	0,2 K	--	0,1 K	--
Köldbärartemperatur ut från återladdningsbatteriet, Pt100.	t_{kb2ut}	0,2 K	--	0,1 K	--
<i>Antal [st]</i>	N	L	K	L	K
Antal starter för laddning	N_{ladd}	1	--	1	--
<i>Tid [h, min, s]</i>	τ	L	K	L	K
Drifttid för laddningspump	τ_{ladd}	0,02 h	--	0,01 h	--
<i>frekvens [h^{-1}, min^{-1}, s^{-1}]</i>	f	L	K	L	K
Startfrekvens för laddning	f_{ladd}	0,02 h^{-1}	--	0,02 h^{-1}	--
<i>Elenergi [kWh]</i>	W_e	L	K	L	K
Återladdningspump	$W_{e,kb2}$				

4.5 Ändringar under pågående mätning

När mätningarna skulle startas gjordes en del testkörningar med 1 min mätintervall. De återkommande mätningarna gjordes veckovis med tidsupplösningen 5 min. Nedan följer en förteckning över de mätinsamlingar som gjordes och vilka ändringar på värmepumpssystemet som gjordes under tiden.

2004-09-25: Mätfil Visthus#1, mätintervall 1 min

- Ventilen till tappvattenvärmeväxlaren stängd för att kontrollera ett misstänkt problem med självcirkulation genom tanken.
- Värmepumpen inkopplad och startad.

2004-09-26: Mätfil Visthus#2, mätintervall 1 min

- Ventilen till tappvattenvärmeväxlaren öppnad.
- Värmepumpen avstängd och pumpen Pvb1 fråkopplad.
- Stängt ventilen vid tappvattenvärmeväxlaren kl. 12.15.
- Kopplat in Pvb1 och värmepumpen igen kl. 14.30 (nu går flödet inte längre baklänges genom värmepumpen).
- Vid test bröt värmepumpen på högtryckspressostaten p.g.a. stängd ventil.
- Skiftat till den lägre tankanslutningen för laddningen och åter kopplat bort Pvb1. Monterat backventil("in-line ventil") i serie med tappvattenväxlaren.
- Öppnat ventilen vid tappvattenväxlaren kl. 20.20.

2004-09-28: Mätfil Visthus#3, mätintervall 1 min

- Mätfilen visar effekten av att sätta in en backventil.

2004-09-28: Mätfil Visthus#4, mätintervall 1 min, start kl. 15.16.

- Varmvattnet inkopplat till huset.
- Termostaten på värmepumpsregulatorn uppjusterad till IVTs rekommenderade inställning.

2004-09-28: Mätfil Visthus#4(4), mätintervall 1 min, start kl. 18.55

2004-10-02:

- Mätt eleffekten när kompressorn inte går, d.v.s. till värmesystemets pump, laddningspumpen och styrutrustningen (1 varv på elmätaren tar 118 s och ger $\dot{W}_e = \frac{1}{375} \cdot \frac{3600}{118} = 81 \text{ W}$)
- Laddningspumpen: Börvärdet för laddningen ändrat från 50 till 53 °C, minsta pumphastighet höjd från 20 till 50 % (annars bryter värmepumpen på högtryckspressostaten när tanken startas kall)
- Inställningen för varmvatten ändrad i värmepumpen från 45 till 47,5 °C
- Givaren för varmvatten i tanken flyttad neråt till lägsta dykfickan för varmvattengivaren för att öka varmvattenmängden.

2004-10-03:

- Kontroll av flödesmätaren för varmvatten. Tappning av 10 liter enligt husets kallvattenmätare ger 4 p vilket motsvarar $4 \cdot 2,5 = 10$ liter.
- Inställningar för regulatorerna:

Laddning: $t_{bör} = 53 \text{ }^\circ\text{C}$
 P-band = 20 K, D-tid = 5 s, dödband = 0,5 K
 Min. pumphastighet = 50 %

Värme: $t_{bör} = 19,5 \text{ }^\circ\text{C}$
 P-band = 5 K, I-tid = 20 min, dödband = 0,2 K (ändrat från 0,5 K)
 Min. pumphastighet = 20 %

Tappvatten: $t_{bör} = 52 \text{ }^\circ\text{C}$
 P-band = 5 K, D-tid = 5 s, dödband = 0,5 K
 Min. pumphastighet = 20 %
 Max. pumphastighet = 100 %

Startvillkor: $t_{bör} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
 Automat = 0
 (Manuell = 1)

2004-10-16: Mätfil Visthus#5, mätintervall 1 min., start kl. 23.50

- Temperaturgivarna T_{tank5} och T_{tank6} anslutna. T_{tank5} verkar visa ca. 0,5 K för lågt eller T_{tank5} för högt. T_{ute} ca. 8-9 $^\circ\text{C}$.
- Pumpinställningar: Pvb1 läge II (Wilo ...)
 Pvb2 läge II (Grundfos ...)
 Pvb3 läge III (Grundfos ...)

2004-10-19: Mätfil Visthus#5(3), mätintervall 5 min., start kl. 10.55

- T_{ute} ca. 8 $^\circ\text{C}$

2004-10-22

- Ändrat parallelförskjutningen i värmepumpens CL300 regulators kurvstyrning från 0 till +2 (kurvläget fortfarande 4).

2004-10-23: Mätfil Visthus#5(4), mätintervall 5 min., start kl. 20.00

2004-10-30

- Slutat kl. 20.00.

2004-10-30: Mätfil Visthus#5(5), mätintervall 5 min.

2004-11-07: Mätfil Visthus#5(6), mätintervall 5 min.

- Filen innehåller allt från föregående fil 2004-10-30 -- 11-08 på grund av en miss vid omstart.

2004-11-08: Mätfil Visthus#5(7), mätintervall 5 min.

- Flyttat data i konverterad excelfil från #5(6) till #5(7) beträffande den 7 november.

2004-11-09

- Kl. 16 ändrat inställningar på värmeregulatorn: Från I-tid = 19 min till I-tid = 100 min, dödband från 0,1 K till 0,0 K.
- Kl. 16.40 ändrat P-band från 5 K till 2 K.

2004-11-11

- Kl. 20.30 ändrat till I-tid = 10 min, P-band = 10 K, dödband = 0,0 K

2004-11-14: Mätfil Visthus#5(8), mätintervall 5 min., start kl. 17.05

2004-11-17

- Återställt reglerparametrarna till I-tid = 20 min, P-band = 2 K

2004-11-19

- Kl. 10.30 kopplat på elpatron i varmvattenberedaren och ställt termostaten så att den kopplar från vid ca. 60 °C ($T_{ute} = -8$ °C).

2004-11-20

Kl. 18.15 ändrat $T_{rum,bör}$ från 19,0 till 19,3 °C (motsvarar 20,4 till 20,7 på Pt-100 givaren för T_F som sitter i direkt anslutning till reglergivaren.

OBS!#5(7) överskriven av misstag på mätdatorn, finns på utvärderingsdatorn.

2004-11-21: Mätfil Visthus#5(9), mätintervall 5 min., start kl. 16.50

- Ändrat P-band till 1 K, I-tid till 50 min.
- OBS! Kopplat in extern styrning av värmepumpen den 25 november med $t_{start} = 29$ °C (temperaturen måste understiga 29 °C i den undre tanken för värmesystemet för att värmepumpen ska starta.
- Problem vid störttappning. För högt primärflöde fördärvar skiktningen i tanken samt ger för låg avkylning. Detta ger $t_{tank} > t_{start}$ och värmepumpen startar inte trots varmvattenbehov. Med el-patronen är temperaturen högre, vilket ger lägre flöde. Därmed klarar sig skiktningen. Kontrollera tidigare mätningar.

2004-12-05

- Kl. 09.20 sattes el-patronen för varmvatten på för att testa störttappningar.
- Stängt igen kl. 21.20.

2004-12-05: Mätfil Visthus#5(11), mätintervall 5 min., start kl. 22.10

2004-12-11

- Höjt varmvattentemperaturen.

2004-12-12: Mätfil Visthus#5(12), mätintervall 5 min., start kl. 19.00

2004-12-18

Kl. 18.00 ändrat P-band för laddningen från 20 till 10 K för att snabbare få ”rätt” temperatur till varmvattnet.

2004-12-19: Mätfil Visthus#5(13), mätintervall 5 min., start kl. 20.20

2004-12-21

- Kl. 22, höjt varmvattentemperaturen i värmepumpens regulator till ca. 49 °C samt minskat D-tiden från 5 till 2 på TAC Xenta (laddningsregulatorn).

2004-12-26: Mätfil Visthus#5(14), mätintervall 5 min., start kl. 23.05

2005-01-02: Mätfil Visthus#5(16), mätintervall 5 min., start kl. 16.25

- Filnumret skulle ha varit #15. På grund av en miss vid sparandet av filen blev #15 överhoppat.

2005-01-10: Mätfil Visthus#5(17), mätintervall 5 min., start kl. 22.35

2005-01-16: Mätfil Visthus#5(18), mätintervall 5 min., start kl. 21.20

2005-01-23: Mätfil Visthus#5(19), mätintervall 5 min., start kl. 19.25

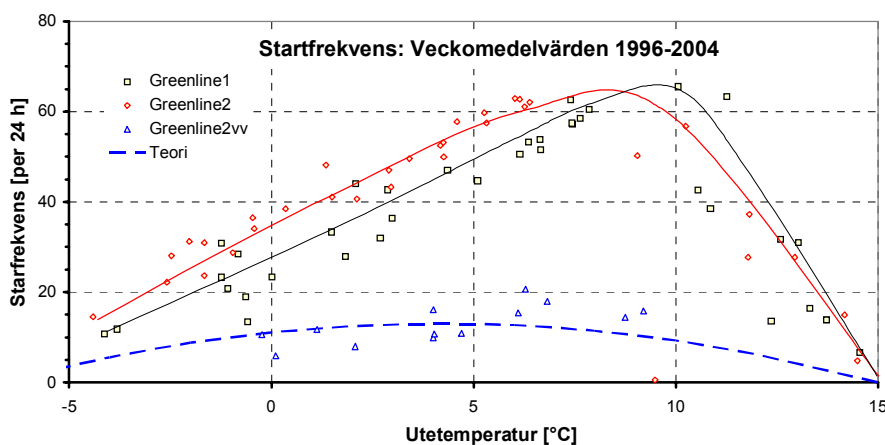
5 Resultat

Projektet ”Kombitank för värme och varmvatten – Resultat från mätningar på en värmepumpsinstallation” har genererat delresultat beträffande följande punkter:

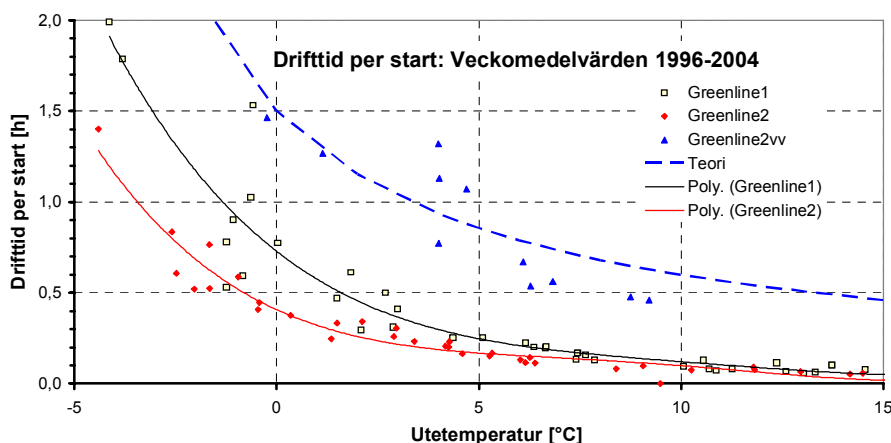
- Drifftid och startfrekvens
- Skiktning och värmeförluster
- Tankens funktion vid värme- och varmvattendrift v. 443 till och med v. 504
- Reglering av laddning och uttag.

5.1 Drifftid och startfrekvens

Startfrekvensen har minskat från 50 till 15 starter/dygn (Figur 5.1) och den kortaste drifftiden per start har ökat från 5 min till 30 min med tank (Figur 5.2). Minskningen är egentligen större eftersom en del starter bara avser varmvatten.



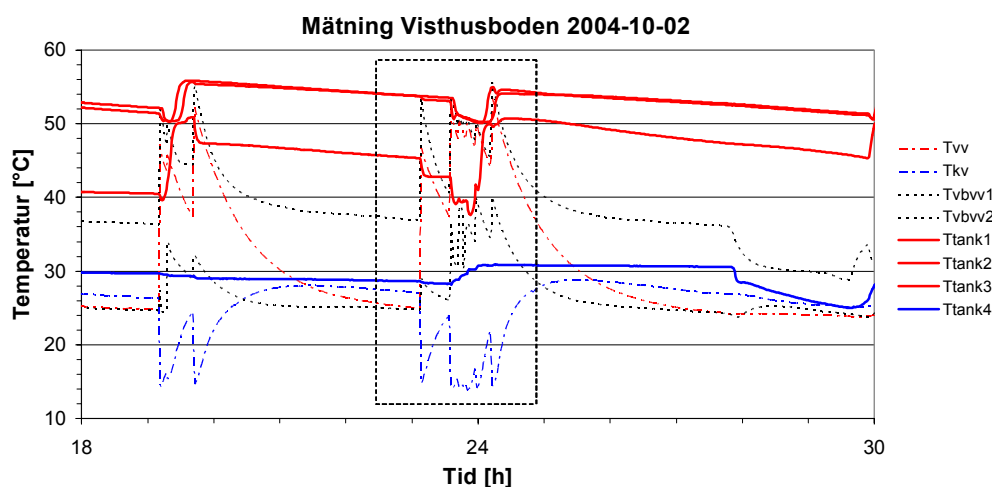
Figur 5.1 Startfrekvens som funktion av utetemperaturen. Veckomedelvärden med och utan återladdning av borrhålet samt med kombitank.



Figur 5.2 Drifftid per start som funktion av utetemperaturen. Veckomedelvärden med och utan återladdning av borrhålet samt med kombitank.

5.2 Tankens skiktning

Tankens skiktning har fungerat över förväntan. Figur 5.3 visar ett exempel på mätresultat från det undersökta systemet. De tre övre heldragna kurvorna, T_{tank1} - T_{tank3} , visar temperaturen i toppen, mitten och botten på varmvattendelen av tanken och T_{tank4} är temperaturen i toppen på värmesystemdelen. Resultaten visar en mycket bra skiktning som inte störs av tappningarna. Det är först när det kalla vattnet från värmesystemdelen når varmvattentermostaten (inställning 47 °C) som värmepumpen startar laddningen av tankens övre del. Man ser också att temperaturen i värmesystemdelen kan hållas ca. 20 K lägre än i varmvattendelen och att temperatursvinget blir mycket lågt.



Figur 5.3 Temperaturer i tanken (T_{tank}), värmebärare in och ut ur tappvattenväxlaren (T_{vbw1} , T_{vbw2}) samt kallvatten in (T_{kv}) och varmvatten ut (T_{vv}) ur tappvattenväxlaren under 12 h.

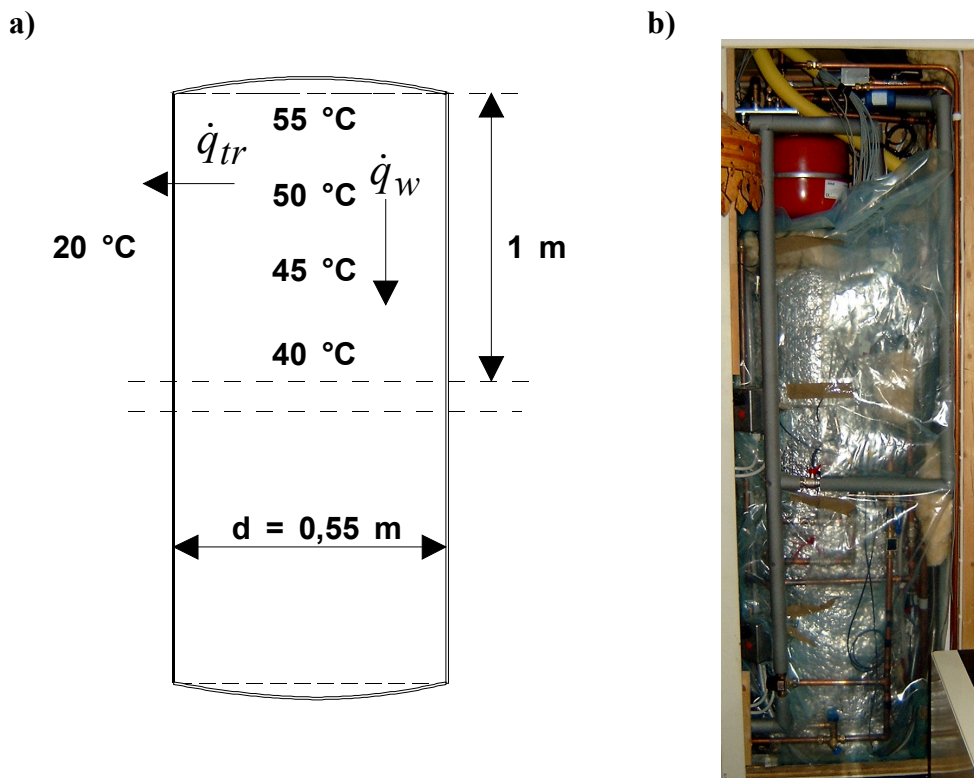
5.3 Värmeförluster

Tankens dimensioner framgår av skissen i Figur 4.5. Eftersom tanken är en prototyp, som bestyckats med extern värmeväxlare och temperaturgivare vid installationen, har den isolerats på plats. Isoleringen består av 5 cm mineralullsmatta. Eftersom mätningarna pågått under uppvärmningssäsongen har tomgångsförbrukningen inte kunnat mätas. Däremot har temperaturfallet i tappvattendelen kunnat registreras nattetid när uttag saknas. Med utgångspunkt från temperaturfall, tidsperiod och mängden vatten kan man uppskatta värmeförlusterna enligt ekv. 1.

$$\dot{Q}_{förlust} = \rho \cdot c_p \cdot V_{vv} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad [\text{W}] \quad \text{ekv. 1}$$

Med insatta värden på vattnets termofysikaliska storheter, varmvattendelens volym samt temperaturfallet mellan två laddningar blir förlusten uppskattningsvis

$\dot{Q}_{\text{förlust}} \approx -70$ W. Detta stämmer bra med beräknade transmissionsförluster. Dessa kan beräknas med hjälp av uppmätt medeltemperatur i tanken och data för isoleringen.



Figur 5.4 Transmissionsförlusterna kan beräknas med hjälp av uppmätt medeltemperatur i tanken (a) och data för isoleringen. Tanken isolerades på plats med 5 cm mineralullsmatta (b).

Förlusten neråt genom ledning i varmvattnet är liten och kan uppskattas enligt:

$$\dot{q}_{vv} = -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = -0,64 \cdot \frac{10}{1} = -6,4 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad \text{ekv. 2}$$

och
$$\dot{Q}_{vv, \text{för}} = \dot{q}_w \cdot A = -6,4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,55^2}{4} = -6,4 \cdot 0,24 = -1,52 \text{ [W]}$$

Transmissionsförlusten per ytenhet genom manteln ges av :

$$\dot{q}_{tr} = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} = -0,046 \cdot \frac{(50 - 20)}{0,04} = -34,5 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad \text{ekv. 3}$$

och den totala förlusten av

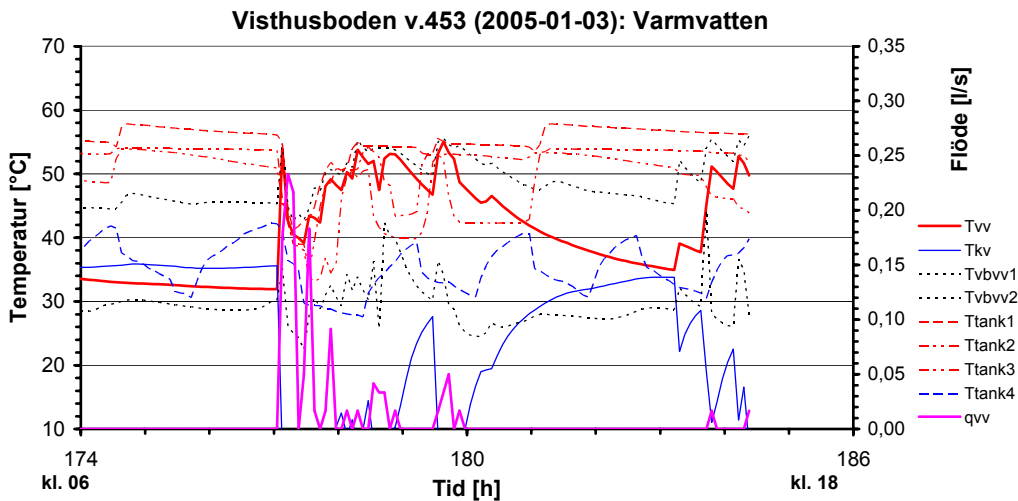
$$\dot{Q}_{tr} = \dot{q}_{tr} \cdot A = -34,5 \cdot \left(\pi \cdot 0,55 \cdot 1 + \frac{\pi \cdot 0,55^2}{4} \right) \text{ [W]} \quad \text{ekv. 4}$$

Därmed blir den totala förlusten $\dot{Q}_{tr} \approx -34,5 \cdot 1,97 \approx -68 \text{ W}$ vilket stämmer väl med den uppmätta förlusten. Med tanke på att temperaturnivån för nederdelen är ca. 20 °C lägre borde den totala förlusten för 400 liters tanken bli mindre än 70 + 30 = 100 W. En modern fabriksisolerad elberedare på 250 liter kan komma ner på ca. 50 W i tomgångsförlust. Uppenbarligen kunde isoleringsarbetet ha varit mera framgångsrikt men det är ändå bättre än den ersatta 300 liters el-beredaren från 1997. Den hade uppskattningsvis en förlust på ca. 120 W. Det bör påpekas att volymen var 100 liter mindre men vattentemperaturen var högre.

I samband med diskussionen om värmeförluster är en iakttagelse att rör ska väljas klara och isoleras väl ända från tappvattenväxlaren. Temperaturmarginalen mellan tank och acceptabel temperatur vid tappstället blir mindre med ett värmepumpssystem än med en elberedare. Därmed blir systemet känsligare för förlusten av värme som går till omgivningen och till att värma rören. Det upplevs som att man aldrig får riktigt varmt vatten vid små tappningar eftersom man inte hinner spola ur kallvattendelen (grova rör) eller värma röret (liten temperaturmarginal).

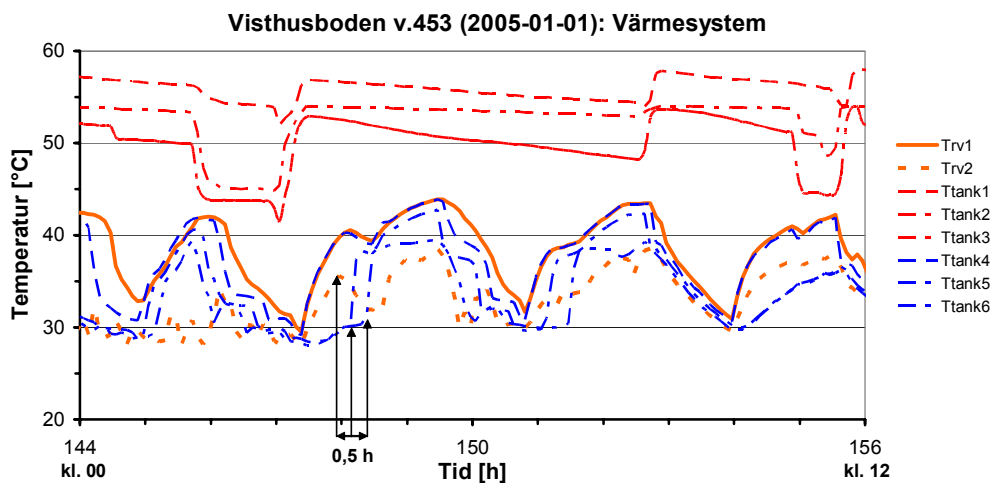
5.4 Ackumulatortank - Dygnsmätning

Vissa mätningar utfördes dygnvis med tidsupplösningen 1 minut för att studera dynamiken vid tappvattenvärmning. Huvuddelen av mätningarna genomfördes med en upplösning av 5 minuter för att kunna mäta veckovis utan att mätfilerna blev orimligt stora. Figur 5.5 visar en period med mycket stora tappvattenflöden och volymer. Trots stora flöden ligger T_{vv} ganska nära T_{tank1} (temperaturen i tankens topp). Vid normala tappningar ligger den utgående tappvattentemperaturen bara några tiondels grader under den ingående värmebärartemperaturen.



Figur 5.5 Tappvattentemperatur och flöde samt tanktemperaturer vecka 453.

Figur 5.6 visar att skiktningen i tanken fungerat mycket bra. Trots att tanken nästan töms helt kl. 03 genom stora tappningar ligger temperaturen i toppen fortfarande högt. De tre nivåerna T_{tank1} - T_{tank3} ligger väl åtskilda och mellan T_{tank3} och T_{tank4} i toppen på värmesystemdelen kan det skilja 20 K trots att avståndet mellan dom bara är ett par decimeter. Figuren visar också att när värmepumpen börjar ladda den övre delen, efter det att tanken tömts, så blir vattnet varmt direkt. På grund av att flödet av reglertekniska skäl inte kunde dras ner så långt som önskat blir det en liten dipps men temperaturen går aldrig under 53 °C.



Figur 5.6 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 453.

Figur 5.6 visar att också skiktningen i den undre tanken fungerar bra. När värmepumpen startar på externvillkoret att värmesystemtanken sjunkit till 30 °C stiger först temperaturen i toppen. Sedan kommer mellannivån och bottennivån med en tidsfördröjning som motsvaras av volymskillnaden dividerat med flödet.

Den utplaning som sker vid ca. 40 °C rakt ovanför den vänstra pilen beror på att när hustemperaturen nått inställt värde reglerar värmesystempumpen Pvb2 ner flödet. Därmed sjunker dels temperaturen på returen p.g.a. bättre avkylning och dessutom hämtar värmepumpen en större andel av det kalla bottenvattnet i tanken. Detta medför att returtemperaturen till värmepumpen sjunker och därmed även temperaturen ut ur värmepumpen.

5.5 Ackumulatortank - Veckomätning

Detta avsnitt redovisar veckomätningar av temperaturerna i tanken, vavattenflöden och energier, värmeeffekter och *COP*, drifttider, startfrekvens och relativ gångtid. Observera att i diagrammen är beteckningen $\dot{V}_{vv} = q_{vv}$.

5.5.1 Värme- och varmvatten vecka 443

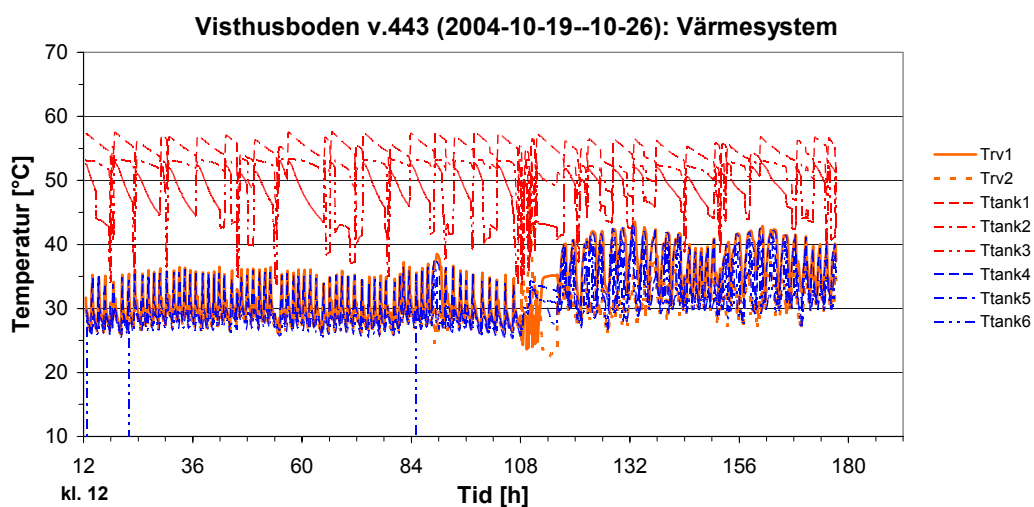
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 9,2 \text{ °C}, t_{vbut} = 31,7 (38,0) \text{ °C}, t_{kbin} = 7,0 \text{ °C}, t_{Fin} = 20,1 \text{ °C}, t_{Fut} = 7,7 \text{ °C},$$

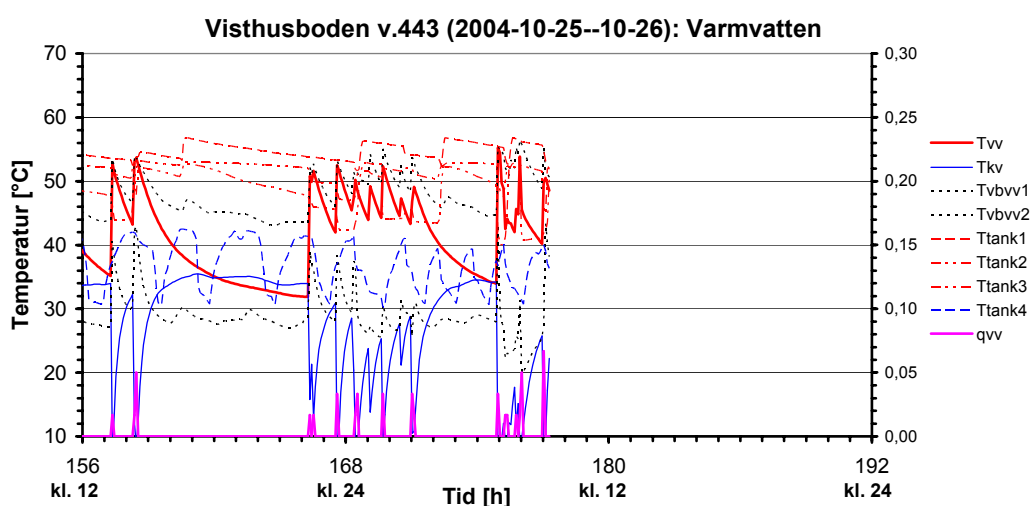
$$\dot{W}_{e,tot} = \text{kW}, \quad \dot{W}_{e,vpa*} = \text{kW}, \quad \dot{Q}_{1,vpa} = \text{kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,80$$

$$V_{kv} = 259 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 145 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 9,32 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,18 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 1,4 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 7,6 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 9,0 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,38$$



Figur 5.7 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 443.



Figur 5.8 Varmvattentappning och tanktemperatur 2004-10-25 – 10-26.

5.5.2 Värme- och varmvatten vecka 444

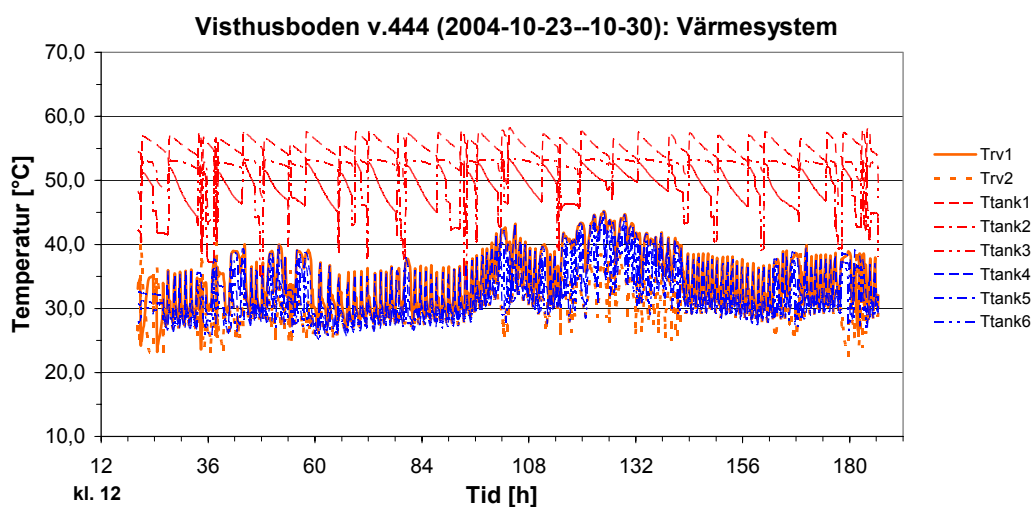
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 6,8 \text{ °C}, t_{vbut} = 34,8 (40,0) \text{ °C}, t_{kbin} = 5,4 \text{ °C}, t_{Fin} = 20,3 \text{ °C}, t_{Fut} = 6,0 \text{ °C},$$

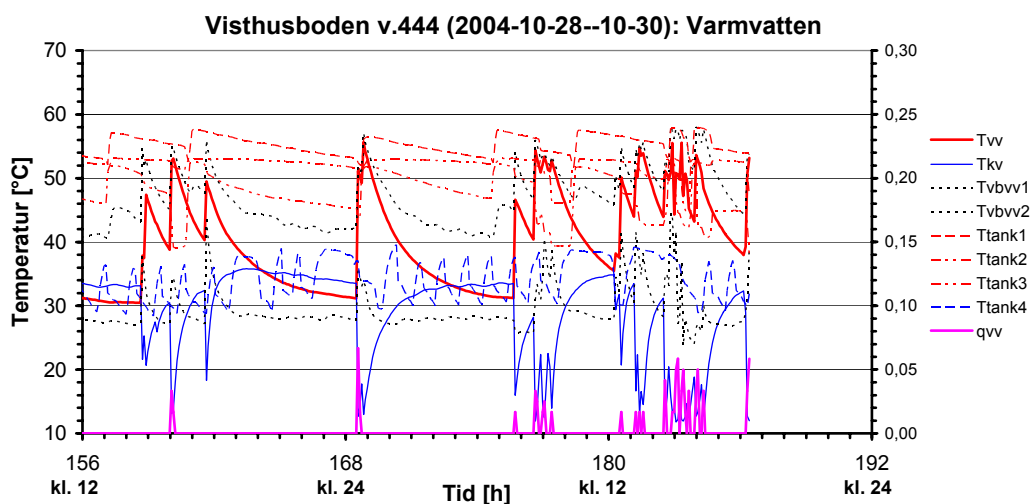
$$\dot{W}_{e,tot} = 1,21 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 0,60 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 1,70 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,85$$

$$V_{kv} = 193 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 139 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 6,24 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,13 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 1,3 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 7,9 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 9,2 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,38$$



Figur 5.9 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 444.



Figur 5.10 Varmvattentappning och tanktemperatur 2004-10-28 – 10-30.

5.5.3 Värme- och varmvatten vecka 445

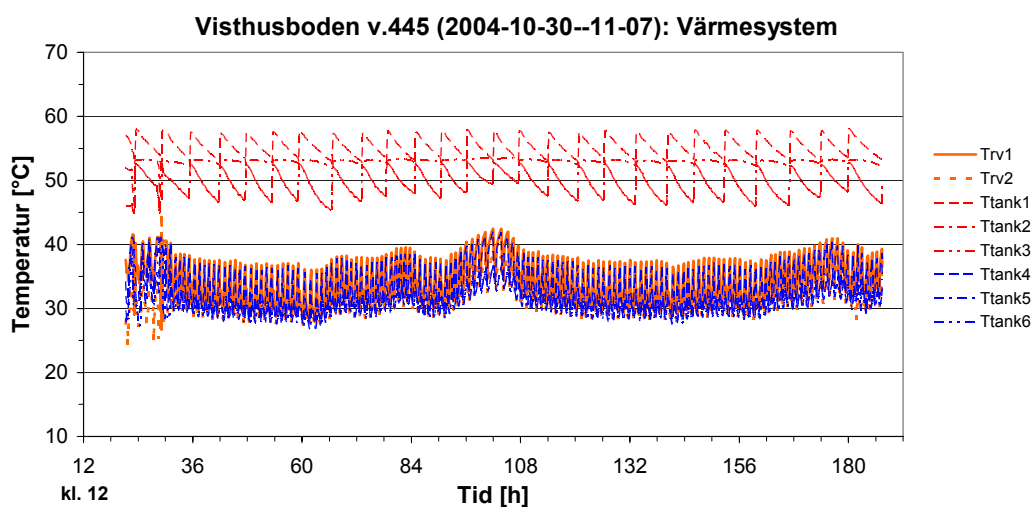
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 6,3 \text{ °C}, t_{vbut} = 34,6 (39,5) \text{ °C}, t_{kbin} = 4,3 \text{ °C}, t_{Fin} = 20,4 \text{ °C}, t_{Fut} = 5,3 \text{ °C},$$

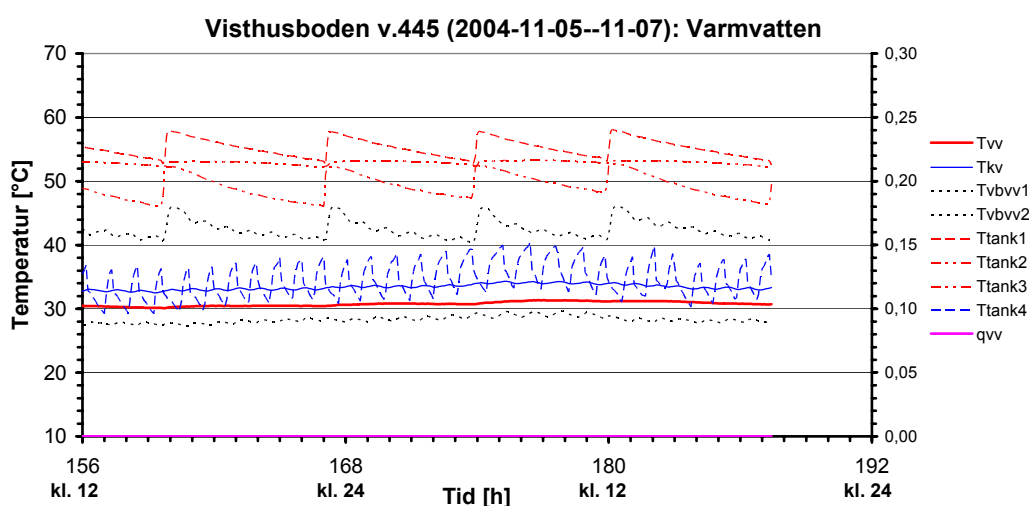
$$\dot{W}_{e,tot} = 1,12 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 0,66 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 1,81 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,73$$

$$V_{kv} = 53 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 13,6 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 0,58 \text{ kWh}/\text{dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,05 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 0,87 \text{ h}/\text{dygn}, \tau_{vp,rv} = 9,8 \text{ h}/\text{dygn}, \tau_{vp,tot} = 10,7 \text{ h}/\text{dygn}, \quad R_{vp} = 0,45$$



Figur 5.11 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 445.



Figur 5.12 Varmvattentappning och tanktemperatur 2004-11-05 – 11-07.

5.5.4 Värme- och varmvatten vecka 446

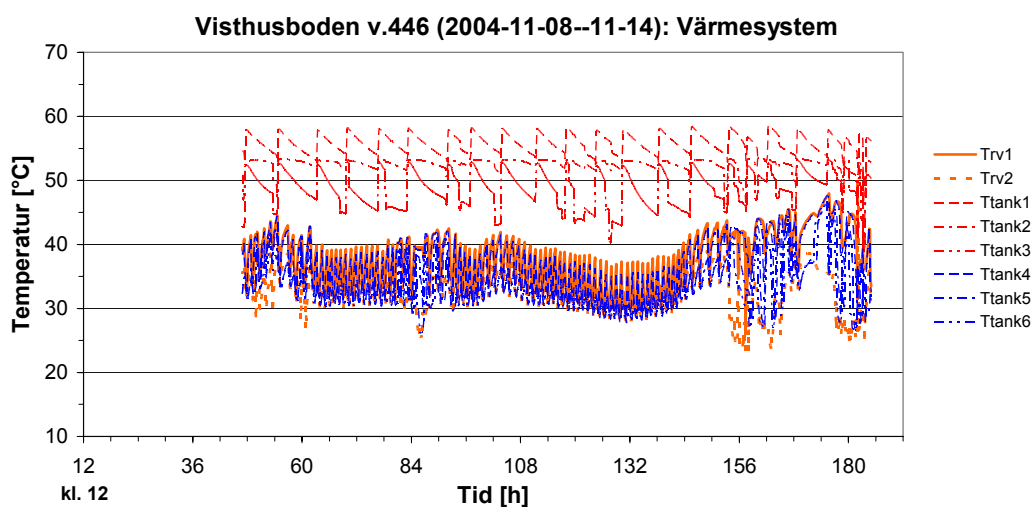
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 4,0 \text{ °C}, t_{vbut} = 37,5 (41,8) \text{ °C}, t_{kbin} = 4,1 \text{ °C}, t_{Fin} = 20,7 \text{ °C}, t_{Fut} = 4,7 \text{ °C},$$

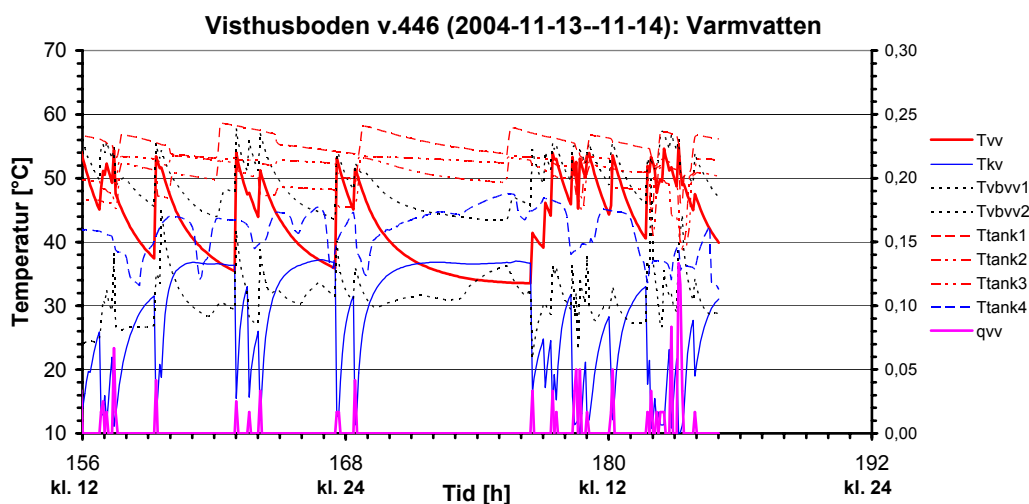
$$\dot{W}_{e,tot} = 1,51 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 0,75 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 1,99 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,66$$

$$V_{kv} = 213 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 96 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 4,92 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,13 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 1,1 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 11,3 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 12,5 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,52$$



Figur 5.13 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 446.



Figur 5.14 Varmvattentappning och tanktemperatur 2004-11-13 – 11-14.

5.5.5 Värme- och varmvatten vecka 447

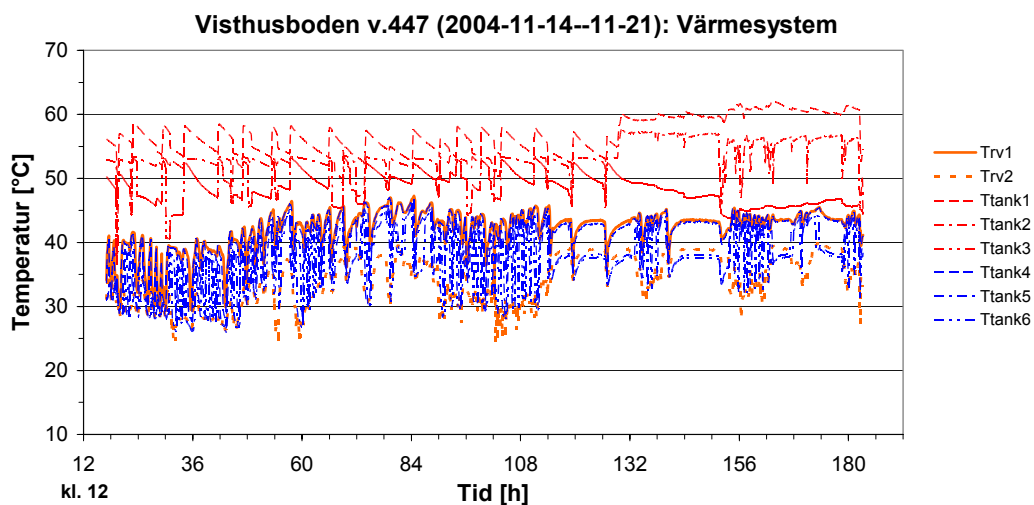
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = -0,2 \text{ °C}, t_{vbut} = 40,9 (44,1) \text{ °C}, t_{kbin} = 2,2 \text{ °C}, t_{Fin} = 20,6 \text{ °C}, t_{Fut} = 2,8 \text{ °C},$$

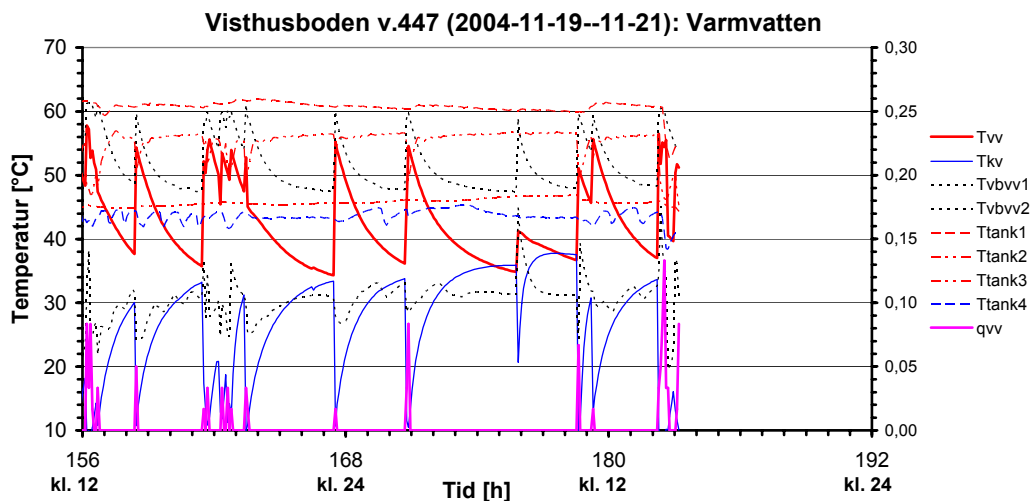
$$\dot{W}_{e,tot} = 1,89 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 1,00 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 2,57 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,58$$

$$V_{kv} = 221 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 150 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 6,85 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,13 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 3,1 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 12,5 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 15,6 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,65$$



Figur 5.15 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 447.



Figur 5.16 Varmvattentappning och tanktemperatur 2004-11-19 – 11-21.

5.5.6 Värme- och varmvatten vecka 448

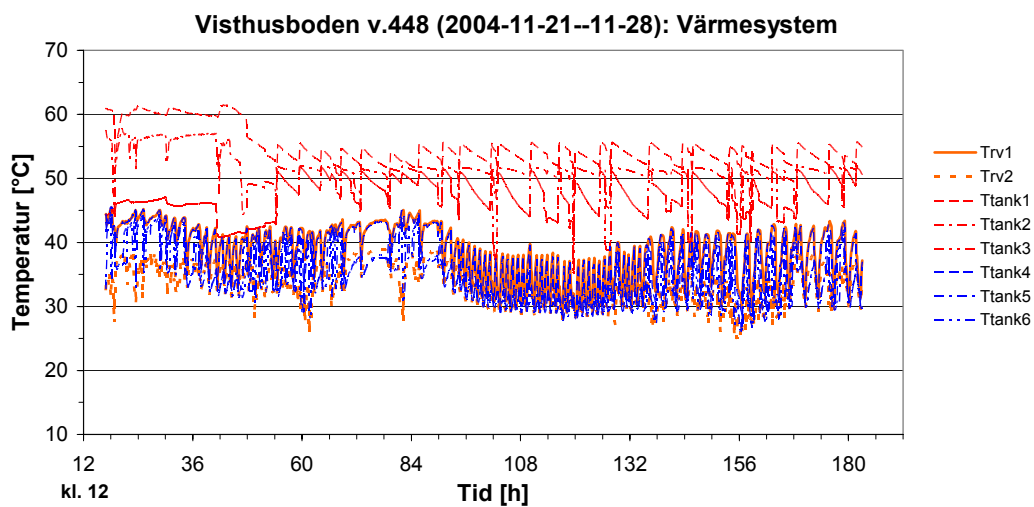
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 1,1 \text{ °C}, t_{vbut} = 37,5 (40,9) \text{ °C}, t_{kbin} = 2,3 \text{ °C}, t_{Fin} = 20,5 \text{ °C}, t_{Fut} = 2,9 \text{ °C},$$

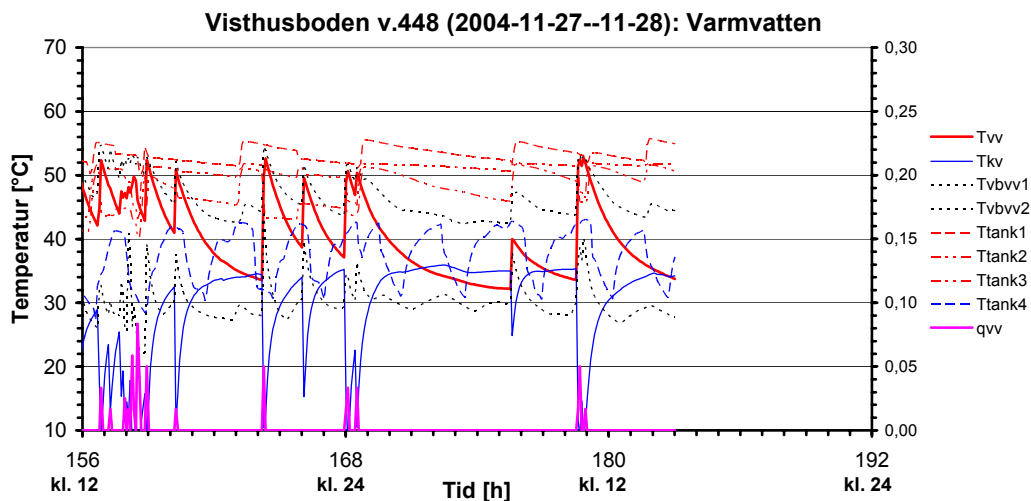
$$\dot{W}_{e,tot} = 1,78 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 0,90 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 2,32 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,58$$

$$V_{kv} = 224 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 157 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 7,34 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,25 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 2,2 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 12,7 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 14,7 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,62$$



Figur 5.17 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 448.



Figur 5.18 Varmvattentappning och tanktemperatur 2004-11-27 – 11-28.

5.5.7 Värme- och varmvatten vecka 449

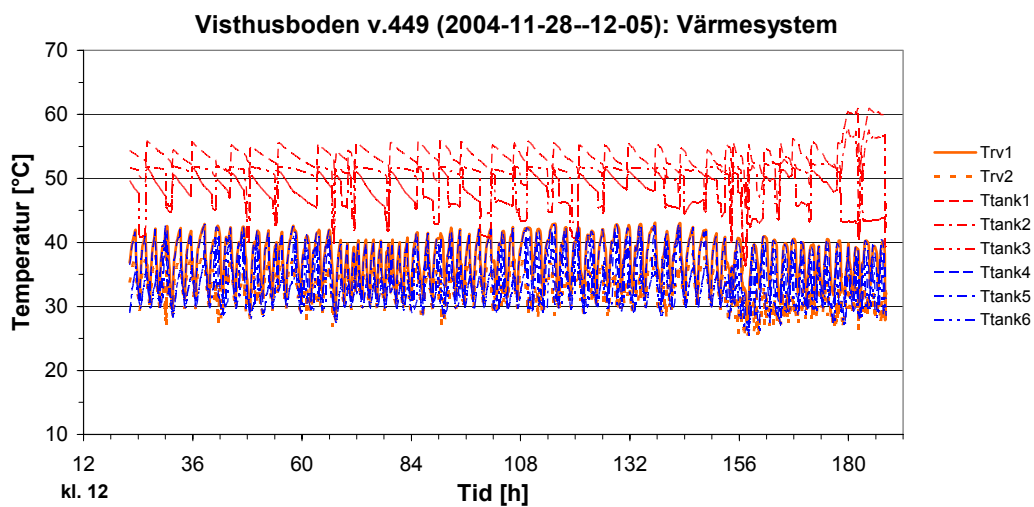
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 2,0 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{vbut} = 36,1 (40,2) \text{ } ^\circ\text{C}, t_{kbin} = 3,4 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{Fin} = 20,9 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{Fut} = 4,0 \text{ } ^\circ\text{C},$$

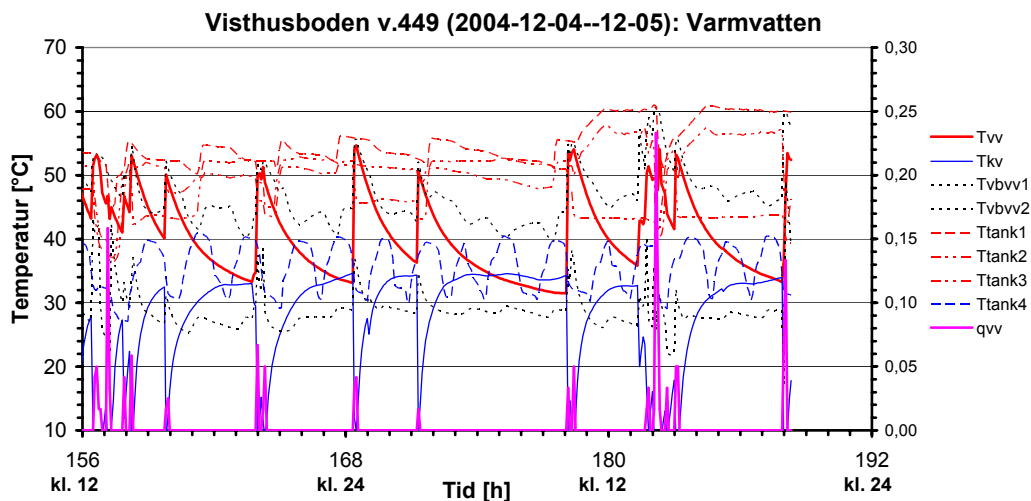
$$\dot{W}_{e,tot} = 1,57 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 0,76 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 1,99 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,61$$

$$V_{kv} = 202 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 159 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 7,38 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,23 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 1,9 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 12,2 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 13,1 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,54$$



Figur 5.19 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 449.



Figur 5.20 Varmvattentappning och tanktemperatur 2004-12-04 – 12-05.

5.5.8 Värme- och varmvatten vecka 450

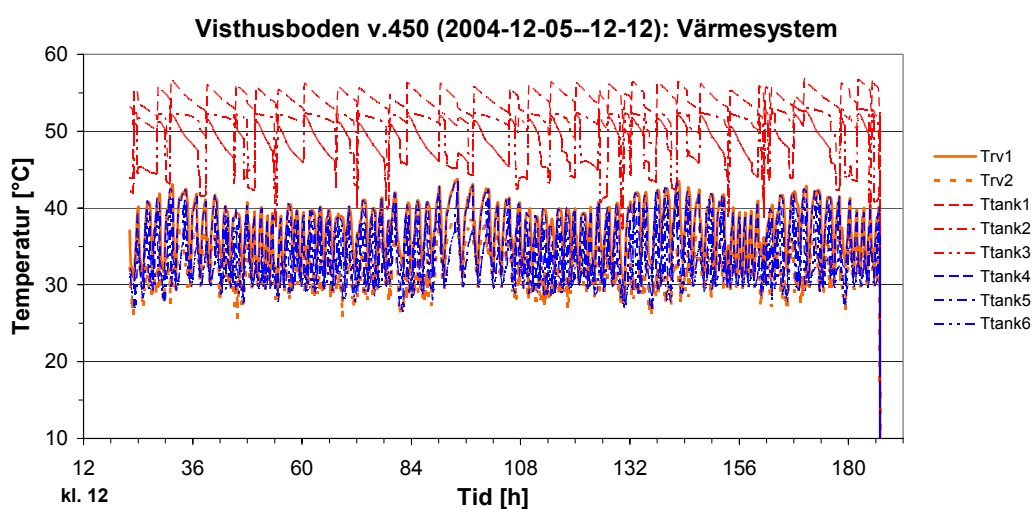
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 4,7 \text{ °C}, t_{vbut} = 35,6 (40,2) \text{ °C}, t_{kbin} = 3,8 \text{ °C}, t_{Fin} = 20,7 \text{ °C}, t_{Fut} = 4,4 \text{ °C},$$

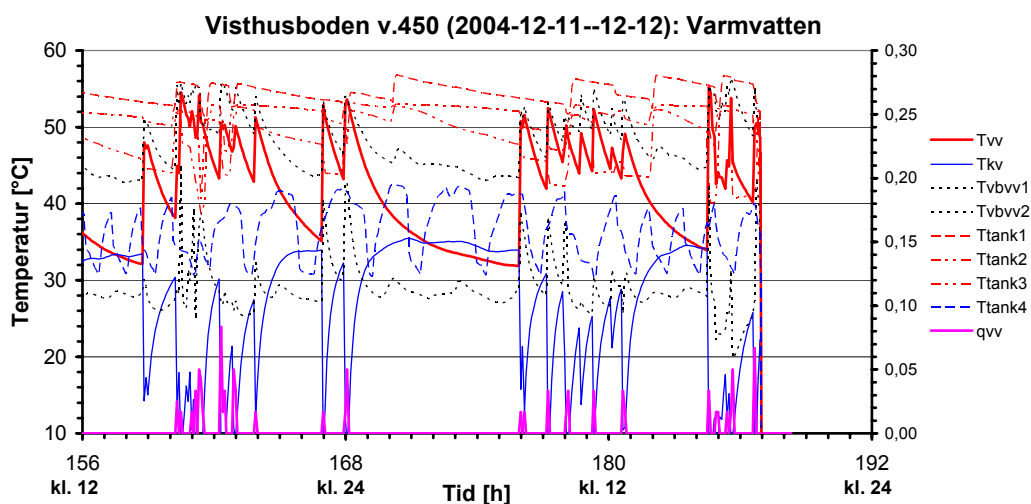
$$\dot{W}_{e,tot} = 1,55 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 0,72 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 1,89 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,64$$

$$V_{kv} = 254 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 145 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 6,75 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,10 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 1,2 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 10,5 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 11,7 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,49$$



Figur 5.21 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 450.



Figur 5.22 Varmvattentappning och tanktemperatur 2004-12-11 – 12-12.

5.5.9 Värme- och varmvatten vecka 451

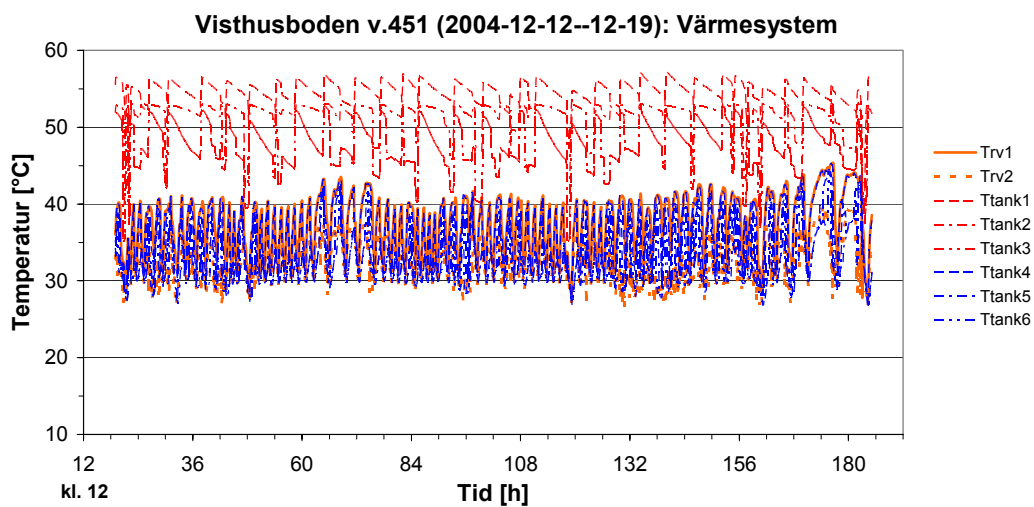
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 4,0 \text{ °C}, t_{vbut} = 36,4 (40,8) \text{ °C}, t_{kbin} = 3,4 \text{ °C}, t_{Fin} = 20,7 \text{ °C}, t_{Fut} = 4,0 \text{ °C},$$

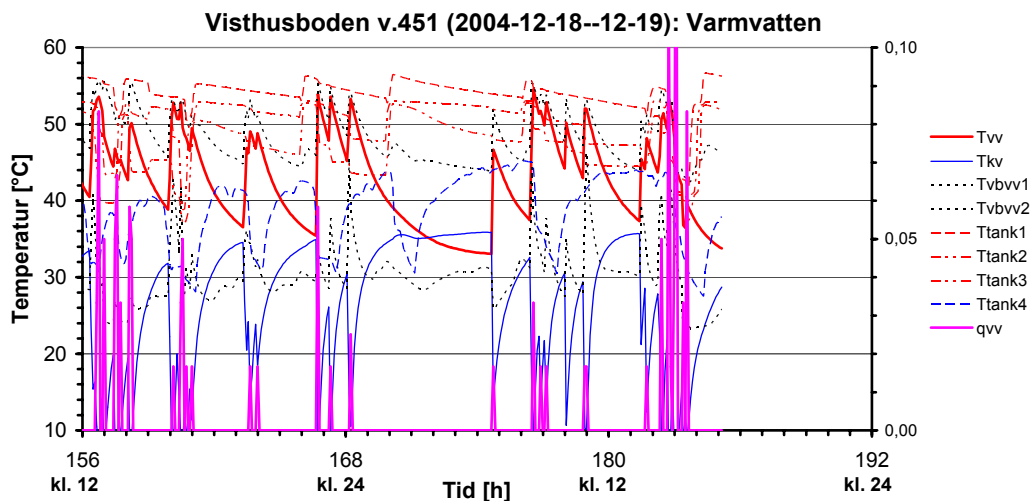
$$\dot{W}_{e,tot} = 1,59 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 0,78 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 1,97 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,57$$

$$V_{kv} = 205 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 160 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 7,52 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,17 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 1,3 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 11,0 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 12,2 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,51$$



Figur 5.23 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 451.



Figur 5.24 Varmvattentappning och tanktemperatur 2004-12-18 – 12-19.

5.5.10 Värme- och varmvatten vecka 452

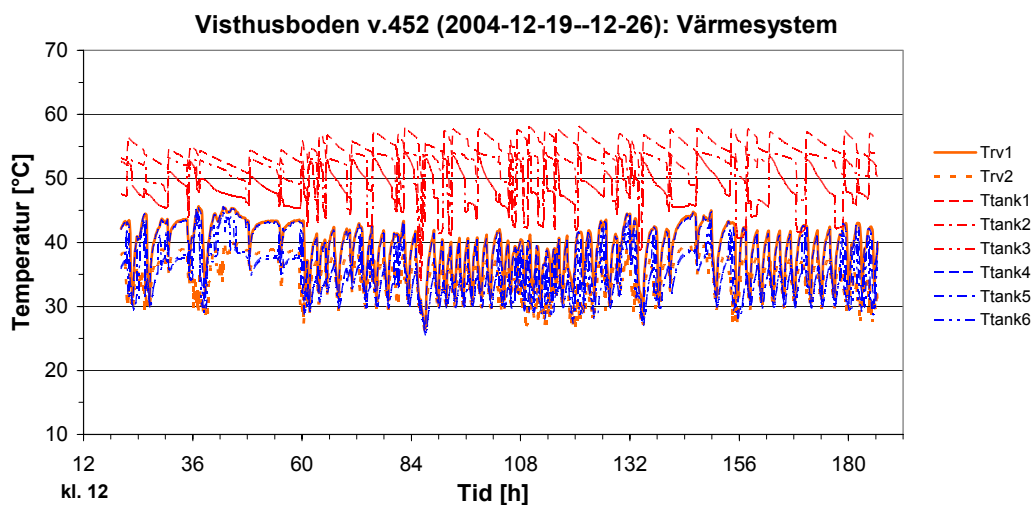
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 0,1 \text{ °C}, t_{vbut} = 39,4 (42,9) \text{ °C}, t_{kbin} = 2,0 \text{ °C}, t_{Fin} = 20,6 \text{ °C}, t_{Fut} = 2,4 \text{ °C},$$

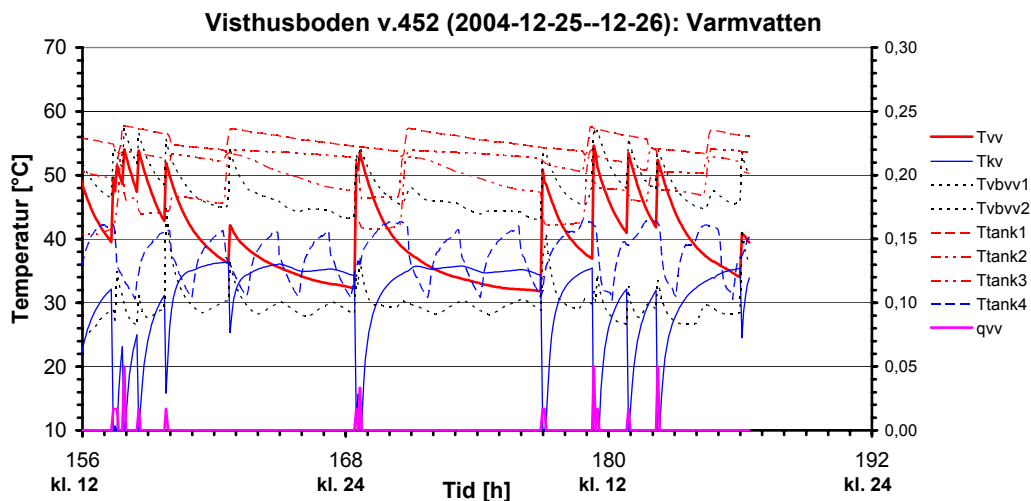
$$\dot{W}_{e,tot} = 2,10 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 1,00 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 2,49 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,49$$

$$V_{kv} = 289 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 238 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 11,3 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,15 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 1,5 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 12,9 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 14,4 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,60$$



Figur 5.25 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 452.



Figur 5.26 Varmvattentappning och tanktemperatur 2004-12-25 – 12-26.

5.5.11 Värme- och varmvatten vecka 453

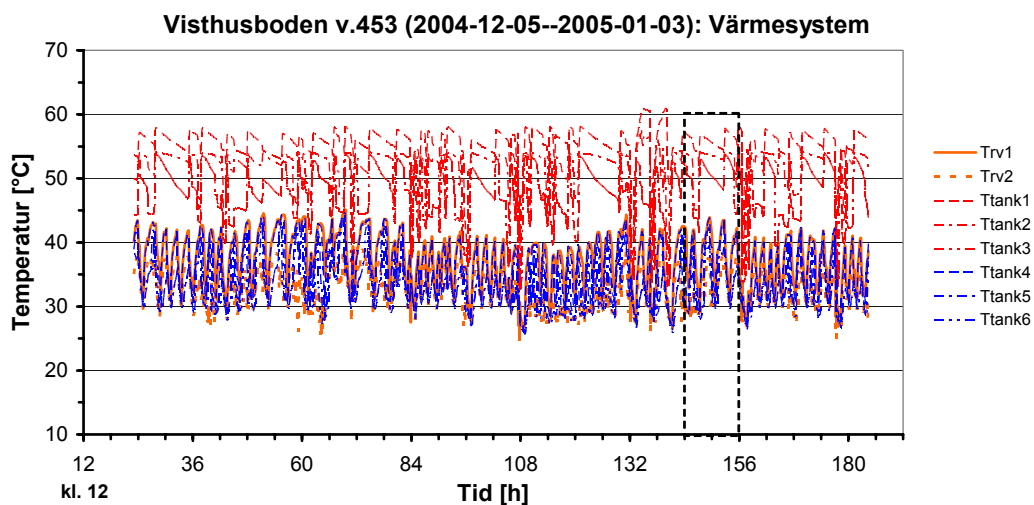
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 2,1 \text{ °C}, t_{vbut} = 38,3 (42,0) \text{ °C}, t_{kbin} = 3,0 \text{ °C}, t_{Fin} = 20,8 \text{ °C}, t_{Fut} = 3,6 \text{ °C},$$

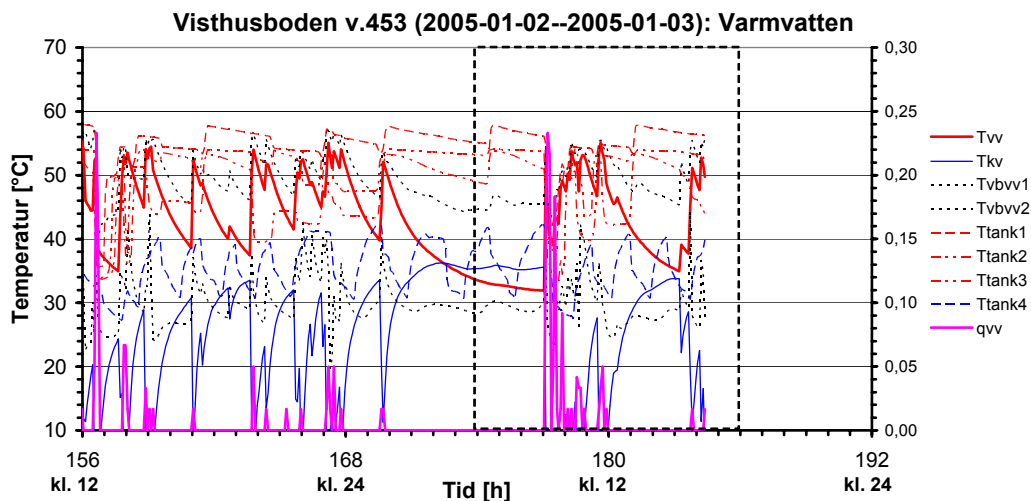
$$\dot{W}_{e,tot} = 2,11 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 0,86 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 2,16 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,51$$

$$V_{kv} = 597 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 500 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 24,2 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,33 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 3,1 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 10,9 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 14,0 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,58$$



Figur 5.27 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 453.



Figur 5.28 Varmvattentappning och tanktemperatur 2005-01-02 – 01-03.

5.5.12 Värme- och varmvatten vecka 501

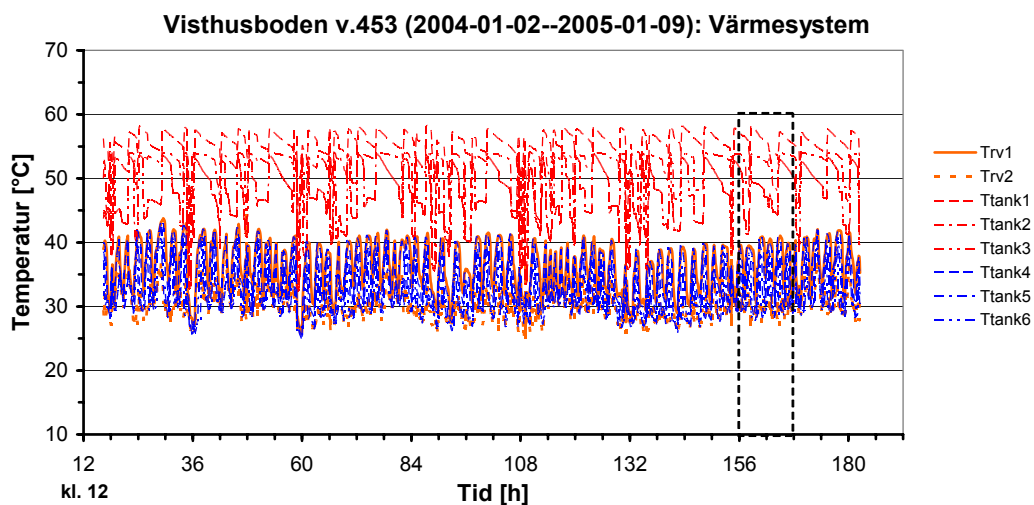
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 5,5 \text{ °C}, t_{vbut} = 36,9 (45,9) \text{ °C}, t_{kbin} = 4,7 \text{ °C}, t_{Fin} = 21,1 \text{ °C}, t_{Fut} = 5,1 \text{ °C},$$

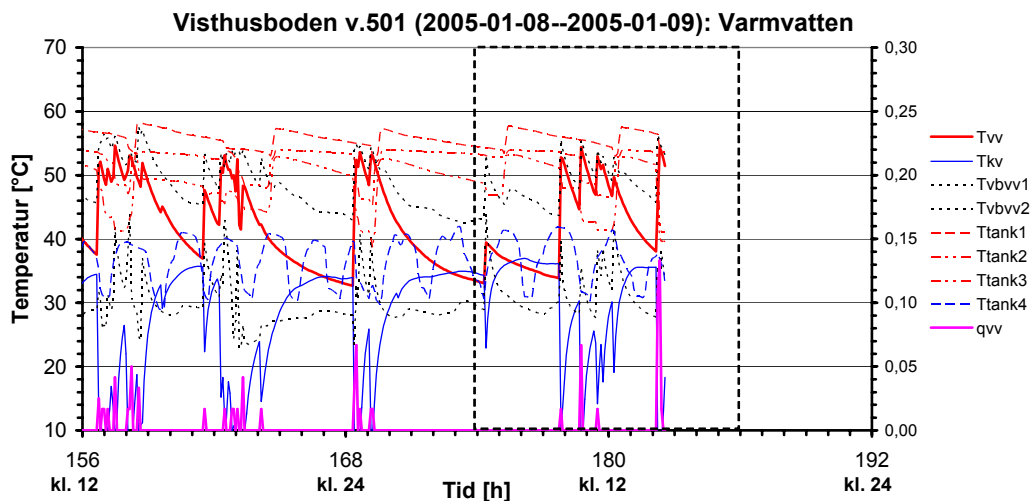
$$\dot{W}_{e,tot} = 1,93 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 0,66 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 1,72 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,59$$

$$V_{kv} = 538 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 427 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 20,9 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,32 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 2,5 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 8,8 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 11,2 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,47$$



Figur 5.29 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 501.



Figur 5.30 Varmvattentappning och tanktemperatur 2005-01-08 – 01-09.

5.5.13 Värme- och varmvatten vecka 502

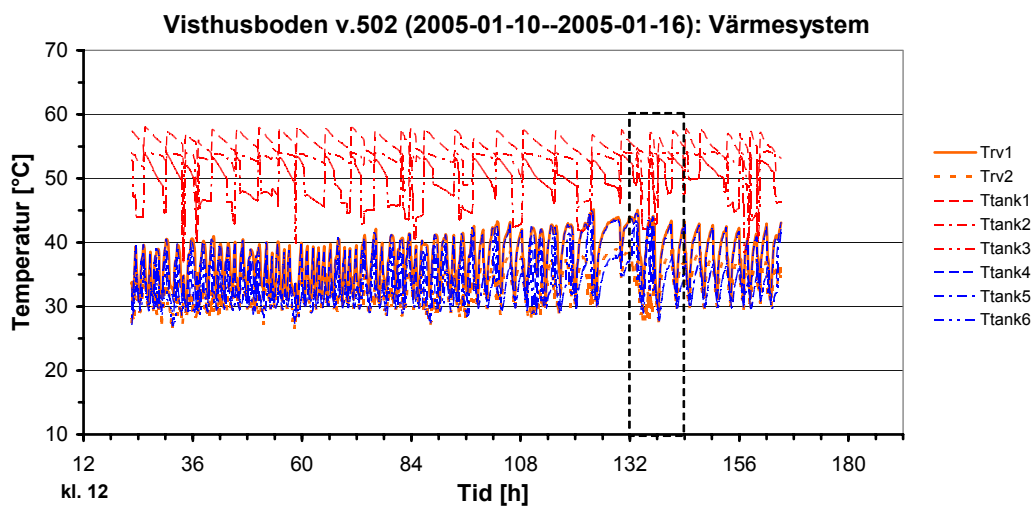
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 3,1 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{vbut} = 37,0 \text{ (46,0)} \text{ } ^\circ\text{C}, t_{kbin} = 3,4 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{Fin} = 20,8 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{Fut} = 4,0 \text{ } ^\circ\text{C},$$

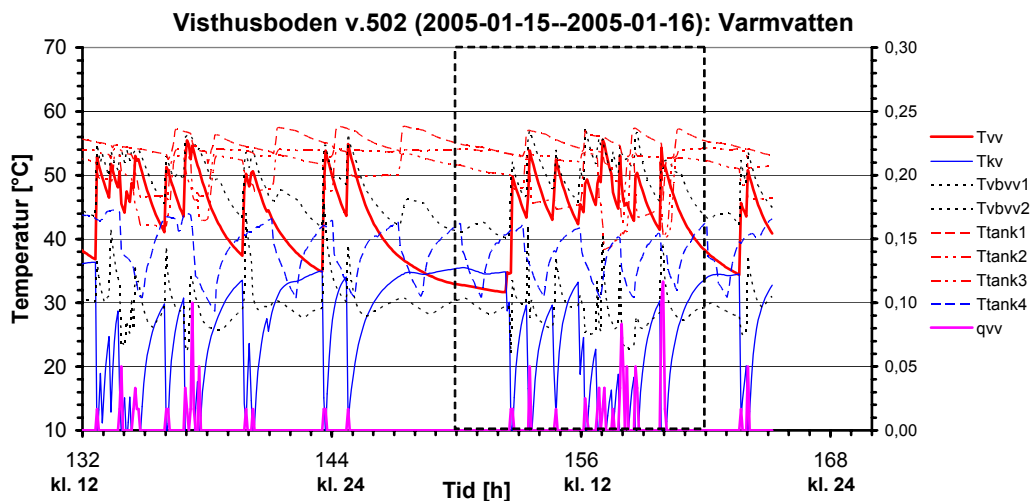
$$\dot{W}_{e,tot} = 1,83 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 0,81 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 2,04 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,53$$

$$V_{kv} = 330 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 163 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 7,95 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,12 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 1,4 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 11,5 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 12,9 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,54$$



Figur 5.31 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 502.



Figur 5.32 Varmvattentappning och tanktemperatur 2005-01-15 – 01-16.

5.5.14 Värme- och varmvatten vecka 503

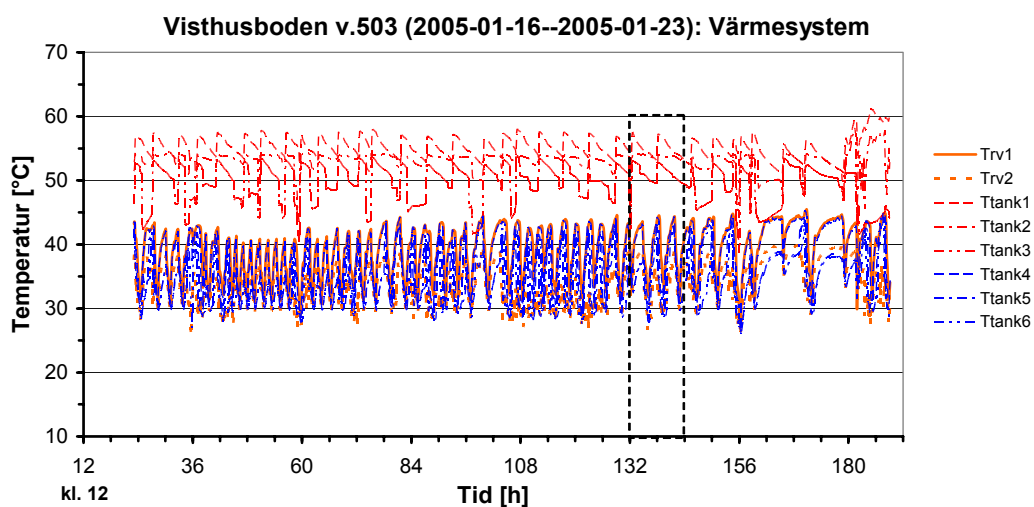
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = 1,2 \text{ °C}, t_{vbut} = 38,3 (47,3) \text{ °C}, t_{kbin} = 2,7 \text{ °C}, t_{Fin} = 20,8 \text{ °C}, t_{Fut} = 3,1 \text{ °C},$$

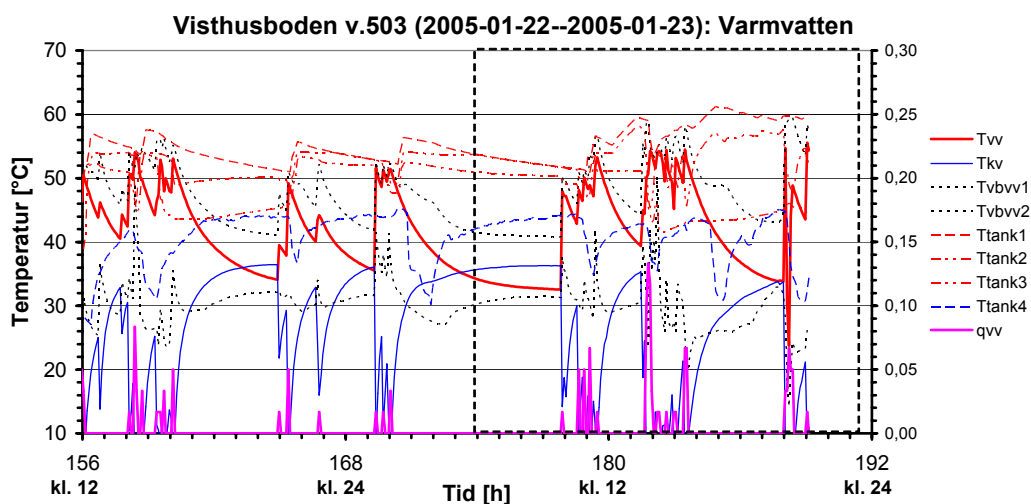
$$\dot{W}_{e,tot} = 1,92 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 0,88 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 2,19 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,48$$

$$V_{kv} = 264 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 150 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 7,18 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,13 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 1,2 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 12,4 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 14,4 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,60$$



Figur 5.33 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 503.



Figur 5.34 Varmvattentappning och tanktemperatur 2005-01-22 – 01-23.

5.5.15 Värme- och varmvatten vecka 504

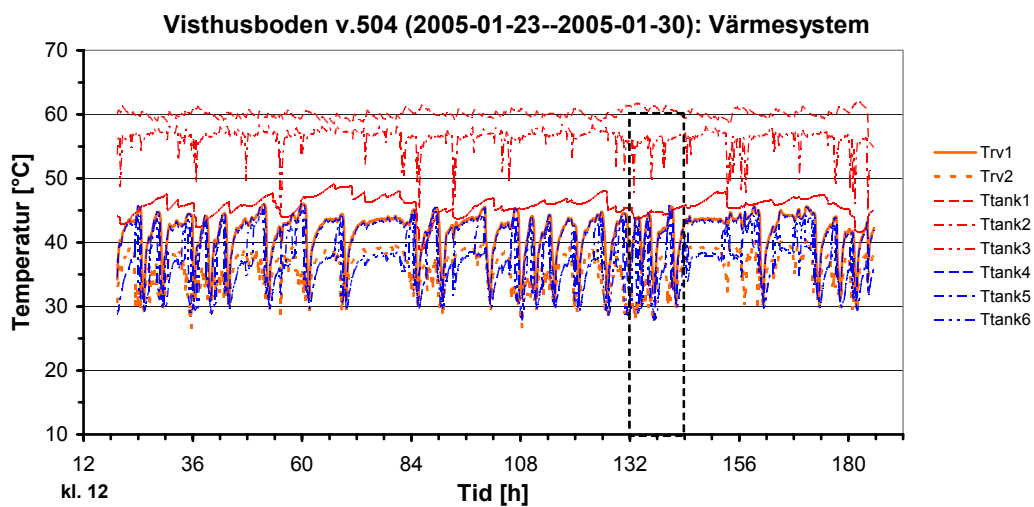
Veckomedelvärden för några storheter som loggas veckovis:

$$t_{ute} = -2,5 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{vbut} = 39,5 (48,5) \text{ } ^\circ\text{C}, t_{kbin} = 1,3 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{Fin} = 20,8 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{Fut} = 1,6 \text{ } ^\circ\text{C},$$

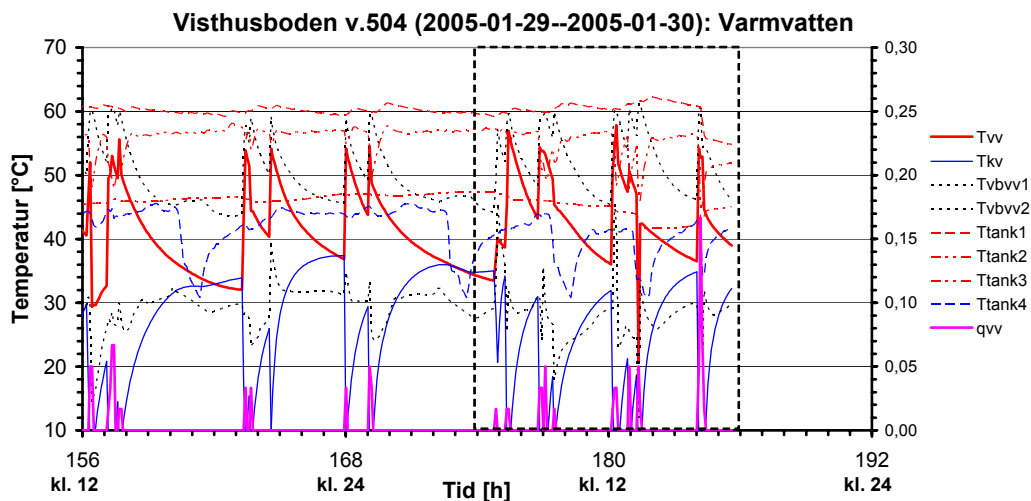
$$\dot{W}_{e,tot} = 2,28 \text{ kW}, \dot{W}_{e,vpa*} = 1,06 \text{ kW}, \dot{Q}_{1,vpa} = 2,57 \text{ kW}, \quad COP_{vpa*} = 2,43$$

$$V_{kv} = 236 \text{ dm}^3/\text{dygn}, V_{vv} = 166 \text{ dm}^3/\text{dygn}, Q_{vv} = 8,12 \text{ kWh/dygn}, \dot{V}_{vv,max} = 0,17 \text{ l/s}$$

$$\tau_{vp,vv} = 6,8 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,rv} = 13,5 \text{ h/dygn}, \tau_{vp,tot} = 20,3 \text{ h/dygn}, \quad R_{vp} = 0,85$$



Figur 5.35 Värmesystemtemperatur och tanktemperaturer vecka 504.



Figur 5.36 Varmvattentappning och tanktemperatur 2005-01-29 – 01-30.

6 Diskussion och slutsatser

På det hela taget har systemlösningen uppfyllt projektets mål. Under driftsättningen av systemet uppstod ett antal smärre problem, vilka i de flesta fall löstes ganska enkelt. I de fall problemen inte åtgärdats finns det enkla lösningar, som kommer att införas i framtiden. Det finns också så pass mycket resultat att det går att dra ett antal generella slutsatser av arbetet.

6.1 Måluppfyllelse

Projektet avsåg att studera fördelarna med att installera en tank för kombinerad värme- och varmvattendrift, att värdera inverkan av parasiteffekterna till pumpar och fläktar samt möjligheterna att reglera värme och varmvatten med hjälp av direktstyrda pumpar. Systemet har realiserats enligt plan och mätningar med 1 eller 5 minuters intervall finns dokumenterade för värme- och varmvattentanken under ett halvårs drift.

Mätningarna visar att projektet har uppfyllt samtliga mål. Den kombinerade tanken har fungerat som beräknat beträffande kombinationen värme - varmvatten, varmvattenkomfort samt inverkan på värmepumpens drift. Den maximala startfrekvensen har sänkts från 60 till 15 starter per dygn och den kortaste drifttiden per start har höjts från 5 till 30 minuter. Försöken med varvtalsreglering av pumpar visar att det med enkla medel går att direktstyra efter behov utan att använda reglerventiler. Beräkningar visar att potentialen för besparing med val av effektivare pumpar, fläktar och deras drift kan vara runt 30 % i denna typ av system.

6.2 Problem

Problem under projektets genomförande har berört varmvattenkomfort, varmvattendimensionering, pumpreglering, rörförluster och mätteknik.

Varmvattendimensionering

Vid stora varmvattentappningar är temperaturmarginalen för liten. Primärflödet blir därmed stort och returtemperaturen hög när Pvb3 försöker upprätthålla den inställda tappvattentemperaturen. Detta fördärvar skiktningen och dessutom blir temperaturen i värmesystemdelen av tanken så hög att startvillkoret inte uppfylls ($t > t_{start} = 30 \text{ °C}$). Därmed töms tanken på varmvatten utan att värmepumpen startar. Om man konstruerar en styrning från början, så att man slipper bygga på en befintlig enhet, blir det naturligtvis enklare. Då kan man bestämma att varmvattengivaren alltid startar värmepumpen utan att avvakta villkoret på den externa ingången.

Varmvattenkomfort

Initialt blev varmvattentemperaturen alldeles för låg trots normal inställning av temperaturen för start av varmvattenladdning. Temperaturfallet var nästan 10 K

från tappvattenväxlaren fram till tappstället. Det åtgärdades genom att noga isolera tappvattenväxlaren och röret fram till husets befintliga rörsystem samt höja varmvattentemperaturerna ytterligare. Ett annat problem med varmvattentemperaturen är att nivån sjunker i tanken vid långa stopp, delvis p.g.a. av för dålig isolering. En låg temperaturmarginal gör värmepumpsystem känsliga för alla typer av förluster. Dessutom gör kravet på att värmepumpen inte ska starta förrän värmedelen i botten är tömd att det blir en lång väntan om värmebehovet är lågt och inget varmvatten tappas. En medveten underdimensionering av tappvattenväxlaren visade sig i form av kapacitetsproblem vid stora tappningar. Växlaren dimensionerades för normalflödet 0,1 l/s (enligt SS2095) och inte för maxflödet 0,2 l/s (SS2095) eller dimensionerande flödet 0,35 l/s (BBR). Underdimensioneringen visade sig som väntat i form av problem med växlarkapaciteten vid stora tappningar. En liten temperaturmarginal gör att flödet drivs upp på primärsidan av tappvattenväxlaren. Därmed fördärvas skiktningen och avkyllningen försämras. När alltför varmt vatten returneras till tankens botten kommer dess temperatur inte att sjunka och det externa startvillkoret uppfylls inte. Därmed startar inte värmepumpen förrän hela tanken är tom. Vid tester med el-patronen inkopplad i varmvattendelen och temperaturen inställd på ca. 65 °C blev temperaturmarginalen tillräcklig för att undvika detta trots en underdimensionerad värmväxlare. Vid dimensioneringen bör primärflödet helst inte vara särskilt mycket större än sekundärflödet.

Rörförluster

För låg varmvattentemperatur kunde bl.a. härledas till stora förluster i rör och tappvattenväxlare. Dessa måste isoleras väl.

Systemkoncept

Vid första testkörningen var Reg123 ännu inte färdig och Pvb1 gick kontinuerligt enligt den ursprungliga konstruktionen. Den verkade därvid trycka ut varmvatten genom tappvattenväxlaren. Det fanns även en tendens till självirkulation genom tappvattenväxlaren, vilket störde skiktningen i tanken och orsakade temperaturförlust. Genom att montera en fjäderbelastad backventil ("in-line ventil") efter Pvb3 löstes problemet med självirkulation.

Om Pvb1 går kontinuerligt kommer Pvb2 att pumpa returvattnet genom värmepumpen, och inte till tanken, även när värmepumpen inte går. Problemet försvann när styrkopplingen till Reg123 var klar (Pvb1 stoppar då när värmepumpen stoppar). Ett annat problem vid intrimningen var att Pvb1 ursprungligen var ställd i läge II, enligt rekommendation. Därvid blev i vissa fall $\dot{V}_{vb2} > \dot{V}_{vb1}$, vilket medförde att returvattnet till värmepumpen bara kommer från värmesystemet och inget från tanken. Genom att ställa Pvb1 i läge III försvann problemet. Dessutom blev temperaturhöjningen över kondensorn bättre anpassad liksom regleringen i övrigt.

Pumpstyrning

Reglergivaren för att styra laddningstemperaturen till tanken måste monteras utanför värmepumpen, cirka 0,5 m från kondensorn. Därmed får man en

transporttid som ökar vid minskande flöde. Det gör det svårt att dra ner $\dot{V}_{vb, \min}$ till det önskvärda minvärdet vid laddning p.g.a. att dödtiden orsakar en instabil reglering. Det var nödvändigt att öka $\dot{V}_{vb, \min}$ från 20 % till 50 % av maximalt flöde för att få stabil reglering. Ett antal prov kördes med olika P-band och D-värden men man löser enklast problemet genom att inte koppla in regleringen förrän temperaturen stigit tillräckligt. Vid fabriksmontering kan man naturligtvis montera givaren i direkt anslutning till kondensorn och då blir det bättre förutsättningar.

Även i värmesystemet testades med olika reglerparametrar. Om man använder för stor I-del kan det bli vissa problem. Det tar t.ex. lång tid att komma ikapp plötsliga ändringar i internlast, temperaturhöjning p.g.a. torkskåp m.m. Rumstemperaturen pendlar $\pm 0,5$ K kring börvärdet p.g.a. sjunkande framledningstemperatur vid långa stopp medan man tömmer tanken.

Övrigt

En kulkiksventil monterades för avluftning på toppen av tanken. För att inte släppa ut för mycket vatten och för att reducera trycket monterades en strypning i utloppet från ventilen (en sparad ”snålduschbricka” hittades i en låda).

Vid installation av mätutrustningen upptäcktes att trådnätet på isolermattan samt hela dataloggern plötsligt hamnat på 230 V till jord (det kittlade i fingrarna!). Det visade sig att matningselektroniken till den induktiva flödesmätaren inte var jordad. Detta ger en spänning till jord eftersom mätaren får en referens via röret som den sitter i. Jordning av elektroniken löste problemet.

6.3 Slutsatser

Arbetet har lett till följande slutsatser:

Driftsförhållanden

Den kombinerade tanken har fungerat enligt plan och gett bra driftsförhållanden med avseende på drifttid per start och starfrekvens. Däremot kan man inte tjäna så mycket i temperaturnivå i värmesystemet som kan skulle kunna med en kapacitetsreglerad värmepump. En kapacitetsreglerad kompressor ger också många fler möjligheter att optimera driften för både värme och varmvatten. Även en kapacitetsreglerad värmepump har emellertid nytta av en tank, både för gångtiden och för att värmepumpen inte blir direktkopplad mot värmesystemet. Inga värmepumpar kan regleras ner till noll och det finns därför alltid en gångtidsaspekt. När värmepumpen är skiljd från värmesystemet kan man utnyttja individuell reglering av samtliga rumsvärmare utan att det medför några problem för värmepumpen. Samtidigt kan värmepumpens drift optimeras för sig utan hänsyn till vad värmesystemet har för sig.

Varmvattendimensionering

För att få en bra temperatur vid tappstället bör tankens temperatur inte understiga 60 °C p.g.a. av förluster från varmvattenrören. Maximalt tappvattenflöde har varit ca. 0,35 l/s medan normala flöden sällan överstiger 0,1 l/s. Största dygnsförbrukningen, med 7 personer i huset under julhelgen, har varit 30 kWh (ca. 600 l). Normalförbrukningen har varit ca. 10 kWh/dygn. Rätt dimensionering av tappvattenväxlare och pumpar är viktig för att bibehålla tankens skiktning och få rätt varmvattentemperatur.

Varmvattenkomfort

Vid anslutning av varmvatten från ett värmepumpssystem bör man använda klena rör som isoleras så långt som möjligt. Det är viktigt att även tappvattenväxlaren i system av typen tappvattenautomat ansluts med klena rör. Eftersom temperaturnivån är lägre än i system med elberedare har man inte råd att offra lika mycket temperatur för uppvärmning av rörsystemet.

Erfarenheterna visar att normala energimängder och tappflöden stämmer väl med den gamla svenska standarden SS2095 (10,4 kWh/dygn och 0,1 l/s). Dimensionerande värden bör däremot vara 30 kWh/dygn respektive 0,35 l/s. Flödet stämmer väl med dimensionering enligt byggnormen. Även byggnormens rekommenderade lägsta temperatur 50 °C vid tappstället stämmer väl med erfarenheterna från mätperioden. För att uppnå 50 °C vid tappstället på en rimligt kort tid bör temperaturen i tanken inte understiga 60 °C.

Rörförluster

Grova rör ökar både värmeförlusterna och mängden vatten som måste tappas innan brukaren upplever att det kommer tillräckligt varmt vatten vid tappstället. Exempelvis blir med rördimensionen 22x0,6 vattenvolymer per m 0,34 dm³ medan dimensionen 15x0,5 bara ger 0,1 dm³ per m. Med hänsyn även till förluster och mängden material som ska värmas måste man vänta mer än fem gånger så lång tid på varmt vatten med den grövre dimensionen.

Systemkoncept

Tankens skiktning har fungerat mycket bra och tanken har också klarat varmvattenbehovet bra. Lösningen ger också en snabb tillgång till användbar temperatur även efter en helt tömd tank. Konceptet ger dessutom ett bra temperaturutnyttjande vid nedreglering av värmesystemets pump när $t_{vb,ut}$ är större än $t_{rv,behov}$. Systemet blir då ett lågflödessystem med stor avkylning av värmebäraren. Den kalla värmebäraren returneras till tanken, vilken kyls ända tills det externa startvillkoret startar värmepumpen.

Pumpstyrning

I stort har samtliga pumpstyrningar fungerat som planerat. Det har gått utmärkt att hålla utgående tappvattentemperatur och laddningstemperaturen till tanken på de inställda börvärdena. Erfarenheterna från driften har emellertid gett några önskemål om ändringar in styrssystemet. Problem med reglerstabiliteten för laddningen, p.g.a. avståndet mellan reglergivare och kondensor, kan tillfälligt lösas på ett enkelt sätt. Genom att införa ett villkor att laddningspumpen går i

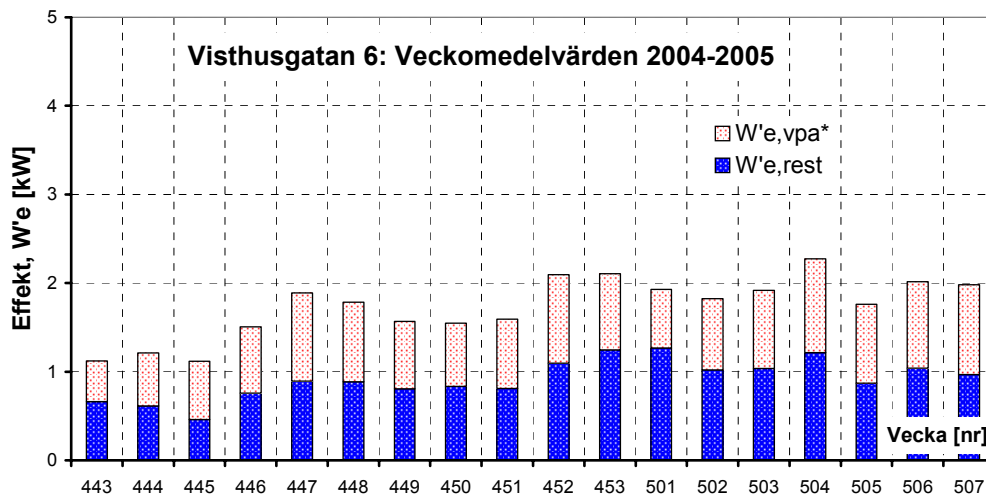
minläge, utan reglering, ända tills t_{vbw} överstiger ett visst inställt värde, t.ex. 50 °C, undviker man reglerproblemet. Först vid en högre temperatur börjar regleringen och då behövs direkt ett högre flöde varvid transporttiden inte längre är något problem. Därmed undviker man stabilitetsproblem p.g.a. dödtid. En annan lämplig modifiering gäller pumpen för värmesystemet för att undvika onödig drifttid och behovet att manuellt stänga driften sommartid. När kravet på rumstemperaturen varit uppfyllt och värmesystemets pump gått i min. läge mer än ett visst antal timmar ska den stoppa helt. Den startar igen när rumstemperaturen understiger inställt värde.

Övrigt

Det är bättre att reglera konvektorns avgivna effekt med fläkten än med pumpvarvtalet. Det är viktigt att värmesystemets pump inte har en kapacitet som överstiger kapaciteten för värmepumpens värmebärarpump, d.v.s.

$$\dot{V}_{rv,max} < \dot{V}_{vb,vp}$$

En observation är att ”övrig el” (hushållsel, belysning, frånluftsfläkt, motorvärmare samt en el-radiator till ett uppvärmt förråd) under en stor del av perioden är högre än total el för värme och varmvatten (drivel till värmepumpssystemet). Figur 6.1 visar resultat för perioden v. 443-v. 507. Dimensionerande effekt för huset är ca. 7 kW (beräknat samt verifierat genom mätning vid -20 °C när huset enbart hade direktel). Under veckorna runt jul och nyår (v. 452 - v. 501) var det många personer i huset och ganska mycket matlagning, disk, dusch, tvätt, torkskåp, belysning etc.



Figur 6.1 Veckomedelvärden av total eleffekt uppdelad på total effekt till värmepumpssystemet och övrig el.

7 Spridning av resultat

Den mest direkta spridningen av projektresultaten har skett inom projektgruppen. Mycket öppna och givande diskussioner har kunnat föras i gruppen och detta informationsutbyte har haft ett värde som väl matchar värdet av själva projektarbetet. Dessutom har arbetet bidragit till två eff-Sys rapporter, två granskade konferensbidrag, två tidskriftsartiklar samt ett antal föredrag:

- Fahlén, P, Karlsson, F, 2003. Improving Efficiency of Hydronic Heat Pump Heating Systems. (21st International Congress of Refrigeration, 2003-08-17--22, International Institute of Refrigeration, Proceedings of the 21st International Congress of Refrigeration.) Washington, USA^[10].
- Karlsson, F, Fahlén, P, 2003. Energy saving potential of capacity controlled brine-to-water heat pumps. (21st International Congress of Refrigeration, 2003-08-17--22, International Institute of Refrigeration, Proceedings of the 21st International Congress of Refrigeration.) Washington, USA^[12].
- Fahlén, P, 2003. Bergvärmepump med borrhålsåterladdning. (ScanRef, nr. 6, vol. 32, sid. 28-31.) Danmark^[4].
- Fahlén, P, 2003. Värmepumpar i vattenburna värmesystem - Effektiva lösningar för värme och varmvatten vid konvertering av elvärmda småhus. (Chalmers University of Technology.). Gothenburg, Sweden^[5].
- Fahlén, P, 2004. Bergvärmepump med borrhålsåterladdning. Energi&Miljö, 2004-04, no. 4, vol. 75, sid. 59-62. Stockholm^[8].
- Fahlén, P, 2004. Effektiva värmepumpslösningar med värme och varmvatten - Alternativ vid konvertering av elvärmda småhus. (Associations of Refrigeration in Denmark, Finland, Norway, Sweden and Iceland.) Scan-Ref, 2004-12, no. 6, vol. 33, sid. 32-34. Denmark^[6].
- Fahlén, P, 2004. Värmepumpar i vattenburna system – Effektiva lösningar med värme och varmvatten vid konvertering av elvärmda småhus. (Statens Energimyndighet.) eff-Sys H23, 48 sidor. Eskilstuna, Sweden^[7].
- Fahlén, P, 2005. Värmepump för värme och varmvatten – Ackumulering och styrning. (4:e eff-Sysdagen, Statens Energimyndighet.) 2005-01-13. Eskilstuna, Sweden^[9].

8 Referenser

1. EN255-4, 1997. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 4: Requirements for space heating and sanitary hot water units. (CEN.) February 1. Brussels, Belgium.
2. Fahlén, P, 1997. Uppföljning av värmepumpstävlingen. VVS-Forum, March, no. 3.
3. Fahlén, P, 2002. Ground-source heat pumps - Recharging of boreholes by exhaust-air coils. (7th IEA Heat Pump Conference.) 2002-05-19 -- 22, vol. 2, sid. 1027-1040. Beijing, China.
4. Fahlén, P, 2003. Bergvärmepump med borrhålsåterladdning. (Associations of Refrigeration in Denmark, Finland, Norway, Sweden and Iceland.) Scan-Ref, 2003-11, no. 6, vol. 32, sid. 28-31. Denmark.
5. Fahlén, P, 2003. Värmepumpar i vattenburna värmesystem - Effektiva lösningar för värme och varmvatten vid konvertering av elvärmda småhus. (Chalmers University of Technology.). Gothenburg, Sweden.
6. Fahlén, P, 2004. Bergvärmepump med borrhålsåterladdning. Energi&Miljö, 2004-04, no. 4, vol. 75, sid. 59-62. Stockholm.
7. Fahlén, P, 2004. Effektiva värmepumpslösningar med värme och varmvatten - Alternativ vid konvertering av elvärmda småhus. (Associations of Refrigeration in Denmark, Finland, Norway, Sweden and Iceland.) ScanRef, 2004-12, no. 6, vol. 33, sid. 32-34. Denmark.
8. Fahlén, P, 2004. Värmepumpar i vattenburna system – Effektiva lösningar med värme och varmvatten vid konvertering av elvärmda småhus. (Statens Energimyndighet.) eff-Sys H23, 48 sidor. Eskilstuna, Sweden.
9. Fahlén, P, 2005. Värmepump för värme och varmvatten – Ackumulering och styrning. (4:e eff-Sys-dagen, Statens Energimyndighet.) 2005-01-13. Eskilstuna, Sweden.
10. Fahlén, P and Karlsson, F, 2003. Improving Efficiency of Hydronic Heat Pump Heating Systems. (21st International Congress of Refrigeration, International Institute of Refrigeration.) 2003-08-17--22. Washington, USA.
11. Karlsson, F, 2002. Driftoptimering av värmepumpssystem - behovsstyrning av värme och varmvatten. (SP Swedish National Testing and Research institute.). Borås, Sweden.

12. Karlsson, F and Fahlén, P, 2003. Energy saving potential of capacity controlled brine-to-water heat pumps. (21st International Congress of Refrigeration, International Institute of Refrigeration.) 2003-08-17--22. Washington, USA.
13. SS1897, 1984. Kyl- och värmeutrustning - Kylteknik och värmepumpsteknik - Terminologi. (Sveriges Mekanstandardisering.) 25 June 1. Stockholm, Sweden.
14. SS2095, 1986. Värmeutrustning - Värmepumpar - Laboratorieprovning av prestanda. (Sveriges Mekanstandardisering.) 25 December 1. Stockholm, Sweden.