



EXAMENSARBETE | BACHELOR'S THESIS

Högskolan i Halmstad
Sektionen för Ekonomi och Teknik

HT 2011 – VT 2012
Energiingenjör – Förnybar Energi 180 hp

Smart Control

En reaktion på EU:s ekodesignkrav

Författare: Yngve Gustafsson, Eih09 och Axel Graneskog, Eih09
Handledare: Torkel Nyström, NIBE och Urban Persson, Högskolan i Halmstad
Examinator: Sven Werner
Datum för publicering: 2012-06-15

Abstract

The purpose of this thesis is to assist the Swedish energy company NIBE Energy Systems in their studies of adaptive regulation applicable to electrical water heaters. Due to coming energy classifications of these appliances in the European Union, NIBE Energy Systems needs to use adaptive regulation, called Smart Control, to keep their products in the best possible energy class and remain competitive to the market. By using this Smart Control regulation a 2-3 % improvement of efficiency can be credited the system. This is a small number, but heavily needed, since the energy classes are based on the idea that the European Union is provided with electricity from coal condensate power resulting in a 40 % maximum efficiency. Furthermore, doing nothing will result in some water heaters not being approved to use on the market from 2015 due to low efficiency. The thesis is made out of three sections; product-/literature studies of products already commercially available using similar principles, data analysis on existing Smart Controlled water heater and recommendations to the company for future development of their own system. Limitations have been made through simplified calculations and thermodynamic assumptions. A conclusion can still be made from the thesis; electrical water heaters using Smart Control saves 10 - 15 % of electrical energy use today in a real world environment. Main sources to this thesis have been data analysis, Internet, brochures and conversations with the mentors.

Sammanfattning

Syftet med det här examensarbetet är att assistera det svenska energiföretaget NIBE i deras studier av adaptiv reglering beträffande företagets sortiment av varmvattenberedare. På grund av kommande energiklassificering av dessa inom EU behöver NIBE Energy Systems använda en adaptiv reglering kallad Smart Control, för att placera deras produkter i bästa möjliga energiklass och fortsätta vara konkurrenskraftiga på marknaden. Genom att använda denna Smart Control får 2-3 % verkningsgrad tillgodoräknas systemet. Detta kan tyckas vara ett litet tillskott men är istället mycket nödvändigt. Eftersom energiklasserna är baserade på tanken att hela EU förses med el från kolkondenskraftverk, resulterar det i en teoretisk maximal verkningsgrad av 40 %. Görs ingenting blir vissa varmvattenberedare ej godkända att sälja redan år 2015. Rapporten består av tre delar; produkt-/litteraturstudie av varor som redan finns kommersiellt tillgängliga och använder liknande principer, dataanalys av ett existerande system som styrs av Smart Control och rekommendationer till företaget för framtida utveckling av ett eget system. Avgränsningar har gjorts genom att till viss del förenkla och anta värden i beräkningar och termodynamisk teori. En slutsats kan trots detta dras i arbetet; eluppvärmda varmvattenberedare som använder sig av en Smart Control sparar i dagsläget 10 - 15 % elenergi i en verklig miljö. Huvudsakliga källor i arbetet har varit mätdataanalys, Internet, broschyrer och konversationer med handledarna.

Förord

Vi vill tacka Torkel Nyström som engagerat hjälpt oss med handledning, besvarande av frågor, lokaler att arbeta i och inte minst lunchbokningar när vi varit på NIBE. Tomas Eriksson som från början skapat möjligheten till det här vill vi också tacka, samt Bengt Blomkvist som även han hjälpt oss då frågor kommit upp. Ett stort tack riktas till Urban Persson, vår handledare från högskolan, för hjälp med handledning och rapportupplägg. Till slut tackar vi Thomas Munther som hjälpt oss med frågor kring programmering och alla övriga som någon gång kommit i vägen för våra frågor.

Yngve Gustafsson

Axel Graneskog

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	Mål.....	1
1.2	Syfte.....	2
1.3	Krav/Kriterier	2
1.4	Avgränsningar	2
1.4.1	Sluttidpunkt.....	3
1.4.2	Resurser.....	3
1.5	Samarbetspartners	3
1.6	Uppdragsgivare.....	4
1.6.1	NIBE Energy Systems	4
2	Bakgrund	5
2.1	Problemformulering.....	7
2.2	Litteratur- och produktstudie.....	8
2.2.1	Vad är ett adaptivt system?.....	9
2.2.2	Hur fungerar ett adaptivt system?	10
3	Metod och data	11
3.1	Litteratur- och produktstudie.....	11
3.2	Analys av mätdata	11
3.2.1	Olika diagram och analys	14
3.2.2	Möjliga energivinster.....	19
3.2.3	Isolering.....	25
3.3	Resonemang kring styrning av en Smart Control	27
4	Resultat	31
4.1	Litteratur- och produktstudie.....	31
4.2	Analys av mätdata	31
4.2.1	Möjliga energivinster.....	31
4.3	Viktiga funktioner för en Smart Control	32
5	Konklusion/Slutsats.....	35
6	Diskussion	36
6.1	Arbetets gång.....	36
6.2	Funderingar kring ämnen som förekommer i arbetet	37

6.2.1	Energiklasser	37
6.2.2	Givarnas placering.....	37
6.2.3	Inlärningsperiod	37
6.2.4	Justerbar lägsta temperatur	37
7	Litteraturförteckning	39
8	Bilaga.....	41
8.1	Bilaga 1	41

1 Introduktion

Den här rapporten är ett examensarbete skrivet av två studenter vid Högskolan i Halmstad. Studenterna genomförde programmet Energiingenjör - Förnybar Energi ht 2009 till vt 2012. Programmet ger en högskole- samt teknologie kandidatexamen efter tre års studier. Examensarbetet utfördes från november ht 2011 till och med maj månad vt 2012. Det bedrevs på halvtid under den här perioden och kursen motsvarade 22,5 hp. Handledare från högskolan var Urban Persson, Universitetsadjunkt Energiteknik och examinator Sven Werner, Professor Energiteknik. Samarbetspartner för projektet var NIBE Energy Systems i Markaryd.

Examensarbetet uppkom då företaget fått kännedom om kommande krav inom EU kallat ekodesignkrav. De sa att elvarmvattenberedare skulle beläggas med en så kallad primärenergifaktor som väntades börja gälla vid halvårsskiftet 2012. Det skulle göra att beredarna hamnade i en låg energiklass i det kommande klassificeringssystemet med försämrade konkurrenskraft som följd. Dessutom skulle det innebära att beredarna inte blir godkända på marknaden från år 2015.

Det var här ett eventuellt examensarbete uppstod. Hur skulle man lösa den här nya klassningen och placera elvarmvattenberedarna i ett bättre läge? NIBE Energy Systems hade redan påbörjat egna studier och tester med inköpta, självlärande system. Dessa fungerade sedan som grund för arbetet och utvärderades för att se om de verkligen sparade energi i verkligheten och för att förstå regleringen på ett bättre sätt.

1.1 Mål

Arbetet omfattas av olika delmål, där projektgruppen önskar uppfylla några av dem och företaget NIBE Energy Systems andra.

Huvudmålet för projektgruppen är att bistå NIBE Energy Systems med ökad förståelse gällande den fortsatta utvecklingen av Smart Control i eluppvärmda varmvattenberedare. Motsvarande för NIBE Energy Systems är förutom ökad förståelse att ta reda på vad det finns för produkter och konkurrenter på marknaden idag, hur stor besparing som kan förväntas av adaptiv styrning (i verkligheten och teoretiskt) och viktiga slutsatser kring ämnet i övrigt.

Dessa huvudmål ska uppnås av tre delmål från projektgruppens sida. I kronologisk ordning för utförande börjar projektgruppen med en produkt-/litteraturstudie kring adaptiv styrning och i vilka system eller produkter de används idag. Denna följs av en dataanalys, gjord på mätdata från en redan existerande testutrustning, bestående av en eluppvärmd varmvattenberedare ansluten till en Smart Control som köpts från en underleverantör. Systemet är uppsatt i en villa där det brukas av en familj för att utvärdera besparingspotentialen vid verkligt beteende. Det sista delmålet ses som bonus om det kan genomföras och skulle innebära programmering av egen Smart Control efter erfarenheter av det övriga arbetet.

1.2 Syfte

Syftet med det här examensarbetet är att rendera information åt företaget NIBE Energy Systems som adaptiv styrning av varmvattenberedare och dess möjlighet att spara energi. Informationen ska bestå av en sammanfattning gällande de adaptiva system/produkter som finns på marknaden idag, vilken minskning av energianvändning som kan förväntas i teorin respektive praktiken och ge förslag till hur en Smart Control kan tänkas fungera. Den här informationen ska ge NIBE Energy Systems ett kompletterande underlag till det fortsatta arbetet att nå högsta möjliga energiklass i det kommande klassificeringssystemet inom EU för varmvattenberedare. Dessutom krävs en åtgärd om NIBE Energy Systems ska kunna förhindra att delar av deras sortiment med varmvattenberedare inte blir godkända från år 2015. Förutom att nå bästa möjliga energiklass hoppas företaget öka förståelsen för Smart Control och med hjälp av företagets egna kunskaper tillsammans med det underlag denna rapport utgör, slippa vara beroende av utomstående företag och därmed också sänka produktionskostnaderna.

1.3 Krav/Kriterier

Den viktigaste utvärderingsparametern i arbetet kommer vara hur NIBE Energy Systems värdesätter den information projektgruppen tillfört. Om arbetet även leder fram till en egenutvecklad styrning, betygsätts den genom följande punkter:

Hur många procent energi sparas?

Vilken prisökning innebär styrningen för slutkund?

Tillfredsställs varmvattenbehovet eller upplever testpersonerna att varmvattnet tar slut?

Att följa rådande tidsplan är också ett krav. Detsamma gäller de olika tidsfrister som finns satta i kursplanen för examensarbetet. Exempel på detta är seminarietillfällen och slutdatum för när rapporten ska vara färdig.

1.4 Avgränsningar

Arbetet är tidsbestämt till 22,5 hp vilket i dagsläget motsvarar 15 veckors heltidsstudier och bedrivs på halvtid under senare delen av HT 2011 fram till och med VT 2012.

Ekonomiska avgränsningar berör främst det eventuella egenutvecklade systemet. Alla ändringar som görs på NIBE Energy Systems befintliga produkter kostar pengar som måste argumenteras för.

En erfarenhetsmässig avgränsning finns då detta examensarbete mer kommer kunna bidra med teori och analys kring den tänkta egenutvecklade styrningen än fysiskt byggande och programmering av den.

Trots avgränsningarna bedömer projektgruppen resultatet som användbart.

1.4.1 Sluttidpunkt

Den skriftliga rapporten ska främst arbetas fram under perioden fram till maj månad. Detta för att ha tid över till förberedelser inför slutseminariet och skolans mäsas Utexpo. Följs tidsplanen finns det tid till korrekturläsning, framtagande av presentation och övning inför densamma. Utexpo är en mäsas där studenter vid Högskolan i Halmstad presenterar sina examensarbeten.

1.4.2 Resurser

De resurser projektgruppen haft till förfogande är högskolans bibliotek, övriga bibliotek i Halmstad, lärare från högskolan, Internet och inte minst projektgruppens handledare. Projektgruppen har haft tillgång till handledare både från högskolan och från företaget. Från högskolans sida har handledaren först och främst fungerat som bollplank åt idéer och formuleringar samt inspiration till innehållet i rapporten. Han har dessutom lett gruppen i rätt riktning för att nå slutmålen. Motsvarande från NIBE Energy Systems har bidragit med detaljkunskap, formulering av syfte och problem och inte minst inspiration.

En annan resurs har varit tillgång till eget kontor hos NIBE Energy Systems. Företaget tog initiativ till detta då det ger ett närmare samarbete och ökad förståelse för varandras arbete. När arbetet varit förlagt där har de bjudit på lunch och gett projektgruppen tillgång till produkter och dataprogram som behövts för att kunna utföra uppgifter på ett så bra sätt som möjligt.

1.5 Samarbetspartners

Högskolan i Halmstad

Urban Persson, Universitetsadjunkt Energiteknik

NIBE Energy Systems

Torkel Nyström, Handledare

Bengt Blomqvist, Handledare

1.6 Uppdragsgivare

Tomas Eriksson, Product Development Manager NIBE Energy Systems

1.6.1 NIBE Energy Systems

NIBE Industrier är namnet på moderbolaget som sedan indelas i tre olika affärsområden; NIBE Energy Systems som handlett detta examensarbete, NIBE Stoves och NIBE Element. NIBE Energy Systems erbjuder en mängd värmeprodukter för bostäder. Man hittar bland annat bergvärmepumpar, uteluftvärmepumpar, frånluftsvärmepumpar, varmvattenberedare, pellets-pannor och brännare, vedpannor och solfångare i deras sortiment. Med detta är NIBE Energy Systems Nordens största leverantör av villavärmeprodukter, störst i Europa inom huvudområdet värmepumpar och har en ledande position i norra Europa på varmvattenberedare. Huvudkontoret finns i Markaryd men företag som ingår i koncernen finns också på andra platser i Europa. NIBE Stoves är marknadsledande i Sverige på brasvärmeprodukter inom både befintliga bostäder och nybyggnationer samtidigt som NIBE Element är marknadsledande i norra Europa av komponenter och system för elektrisk uppvärmning [1].

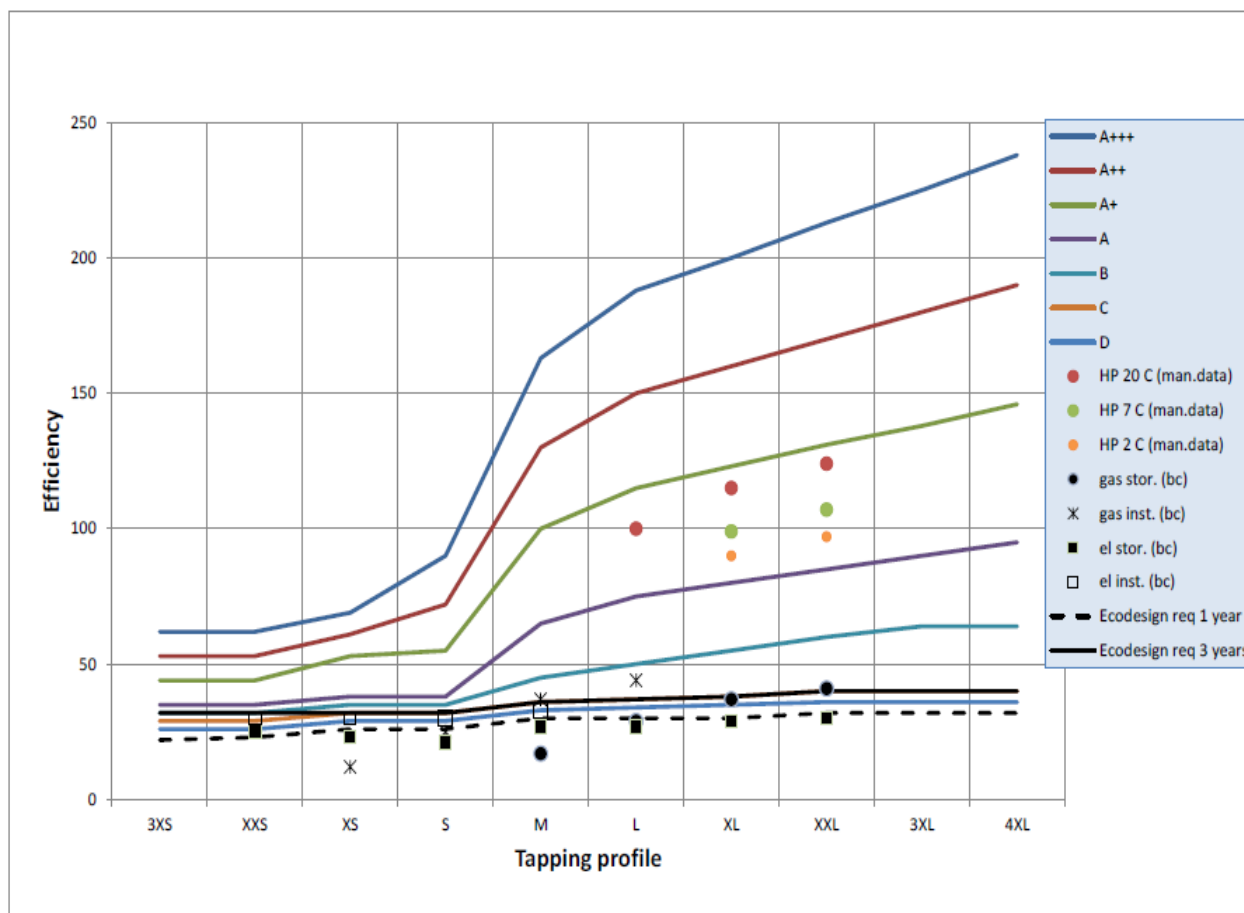
2 Bakgrund

EU vill uppmärksamma användandet av primärenergi genom att använda en enhet kallad primärenergifaktor. Denna ska ge en uppfattning om hur mycket primärenergi som krävs när man använder sig av ett visst energislag. Omvandling av primärenergi till elektricitet sker ofta i kolkondenskraftverk med verkningsgraden 40 % eller lägre. På grund av denna relativt låga verkningsgrad går det åt mycket primärenergi för att skapa elektricitet. Elektricitet får faktorn 2,5 tilldelad sig [2] därför att 40 % multiplicerat med 2,5 ger 100 %. Låt säga att en varmvattenberedare har verkningsgraden 95 %. Efter att hänsyn tagits till primärenergifaktorn blir istället verkningsgraden $95/2,5=38$ %. Det handlar alltså om att vara primärenergieffektiv. Med denna bakgrund har NIBE Energy Systems i Markaryd efterfrågat den här utredningen och skapat ett tillfälle för examensarbete.

Vad som ska utredas är om adaptiv styrning kan implementeras i delar av NIBE Energy Systems sortiment av elvarmvattenberedare för att minska användandet av el och därmed primärenergi. Detta i syfte att fortsätta vara attraktiva på marknaden då de hamnar i bättre energiklasser när dessa introduceras. Andra typer av varmvattenberedare riskerar annars att konkurrera ut de eluppvärmda vilket innebär stor påverkan på företaget då deras volymer av dessa produkter i dagsläget är stor. Förutom detta riskerar enstaka beredare att ej bli godkända från år 2015 eftersom energiklass C då blir den lägsta tillåtna och inte alla beredare klarar av det i dagsläget.

EU har demokratiskt tagit fram ett krav kallat ekodesignkrav, som tar upp det här och väntas börja gälla under andra halvåret 2012. Där anges planer på de primärenergifaktorer som nämns tidigare i texten. En mängd bestämmelser om hur varmvattenberedare ska klassificeras finns också där och så kallade tappcykler specificeras. De kan liknas vid tänkta användningar av beredarna under ett dygn. Beroende på vad de sedan klarar av placeras de i motsvarande energiklass.

En bild som visar energiklasserna och exempel på hur olika beredare placeras i dem visas i Figur 1.



Figur 1 Detta diagram beskriver energiklassning för olika beredare

Energimyndigheten har yttrat sig om kraven och lämnat flera synpunkter. Bland annat konstateras den föreslagna primärenergifaktorn för el vara väl hög. För att inte förhindra den process som nu kommit långt i skeendet rekommenderar Energimyndigheten att faktorn revideras efter de fem år kraven kommer bestämmas för, istället för att försöka ändra planerna nu med följden att energikraven fördröjs i hela branschen. Synsättet Energimyndigheten har speglar till viss del NIBE Energy Systems. De anser att faktorn kan vara orättvis av den anledningen att det helt beror på vilken nation den ska återspegla. Norge omvandlar 119 TWh el i sina vattenkraftverk ett normalår [3]. Med den elanvändning de har [4] [5] (ca: 113,5 TWh 2009) går det konstatera att nästintill all el kommer från förnybara källor. I det här fallet hamnar den totala verkningsgraden kring $0,90 \cdot 0,95 = 0,86 \rightarrow 86\%$ [6]. En varmvattenberedare driven av el från vattenkraft skulle med detta resonemang bli placerad i energiklass A [7]. Hela Europa ses dock som en enhet och på grund av det, blir elektricitet en mycket olämplig källa till uppvärmning.

2.1 Problemformulering

Eluppvärmda varmvattenberedare måste oundvikligen minska sin energianvändning för att inte placera sig i en av de sämsta energiklasserna. Hur kan det åstadkommas? Vidare önskar NIBE Energy Systems få ökad kunskap om hur en Smart Control arbetar och det är en stor del av vad rapporten handlar om.

För att närma sig den verkningsgrad som krävs för att hamna i energiklass C som nämndes i Bakgrund används olika strategier för olika storlekar av beredare. De mindre (15-100 liter) isoleras kraftigare och inga övriga åtgärder är nödvändiga. Stora beredare (mer än 270 liter) når en betydligt högre verkningsgrad än 40 %, då de med bibehållen ekonomisk konkurrenskraft kan kompletteras med värmepumpar. Segmentet däremellan (100-270 liter) är vad som kvarstår och det segment den här rapporten behandlar. Åtgärden tilläggsisolering blir i dessa fall varken praktiskt eller ekonomiskt försvarbar, detsamma gäller alternativet värmepump. Hur detta segment ska klara utmaningen att överleva på marknaden är vad examensarbetet ska ge ledtrådar till.

2.2 Litteratur- och produktstudie

Det finns ett antal produkter på marknaden som använder sig av adaptiva system. Projektgruppen har däremot haft svårt att hitta information som har med rapportens område att göra. För att ändå ge exempel på olika tillämpningar av adaptiv styrning presenteras här några av de produkter som hittades.

I Figur 2 ses en traktor som ska lära sig känna igen olika markegenskaper och därefter reglera sin hastighet och riktning. Det här ska i sin tur göra det möjligt för traktorn att följa en viss färdväg utan förare. Traktorn är självlärande samtidigt som den använder linjära drivenheter för gaspedal och styrning. Den använder sig av en dator, diverse sensorer och GPS-system där GPS:en anger den aktuella positionen som jämförs med den förväntade.



Figur 2 [8] *En traktor som styrs med hjälp av adaptiv regulator. (godkänd för publicering av Elektor)*

Ett exempel på företag som använder adaptiv styrning i sin verksamhet är Valutec med säte i Skellefteå. De arbetar med träförädling och den adaptiva styrningen sker vid virkestorkning och värmebehandling. Systemet kan simulera olika så kallade torkscheman och kompensera felaktiga börvärden. Det kan också konstruera styrdata från olika sensorer, bland annat temperaturgivare, för att anpassa sig och ge bästa möjliga slutresultat [9].

Företaget Home Solution har en plattform för att öka boendekomfort och sänka driftkostnaderna där man styr värme och varmvatten. Styrningen sker med hjälp av givare som läser av utom- och inomhustemperatur för att få en adaptiv styrning. Dess teknik anpassar därefter uppvärmningen så att den håller sig på en jämn nivå och samtidigt uppfyller kraven som ställs för ett

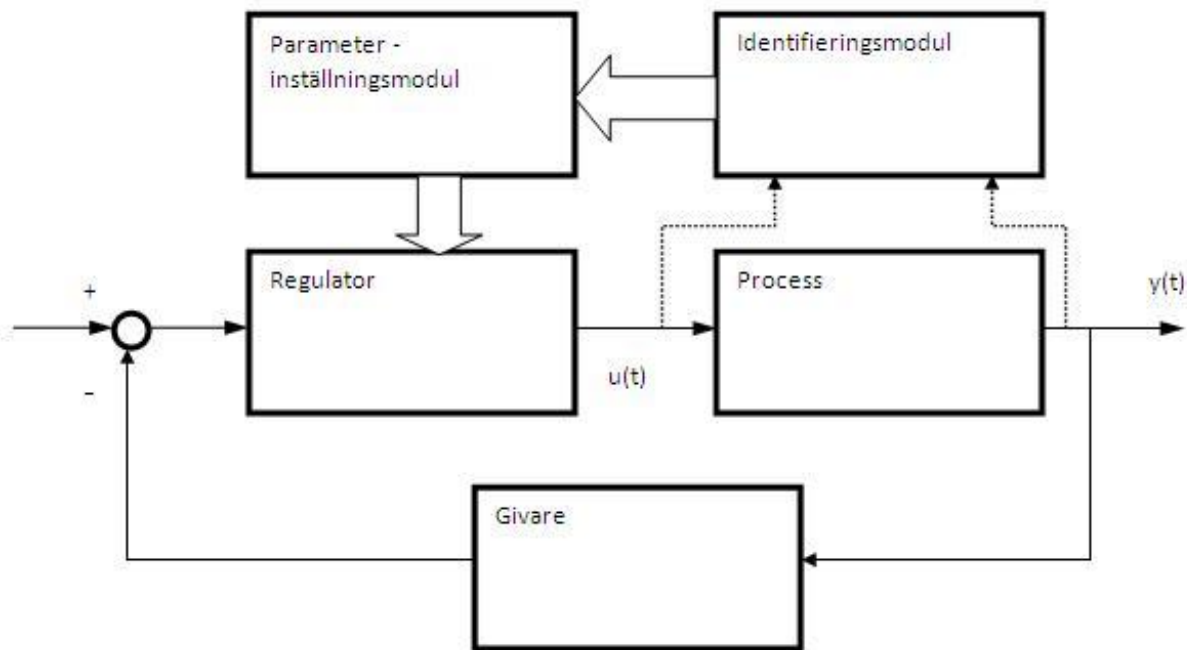
behagligt inneklimat. Styrningen är också uppkopplad mot Internet vilket gör att man kan kontrollera värden och reglera dessa snabbt vid behov [10].

2.2.1 Vad är ett adaptivt system?

Ett adaptivt system är ett system som självt lär sig hur det ska agera i olika situationer. Man använder ett sådant när man inte vet hur variationer i användningen kommer se ut eller när en process är olinjär och man vill att systemet ska anpassa sig automatiskt. Det finns flera styr- och reglersystem som anpassar sig efter den situation de befinner sig i utan att för den skull vara adaptiva. Skillnaden mellan dessa och ett liknande adaptivt är att det adaptiva systemet vet vad som hänt tidigare och styr utfallet därefter, det gör inte en vanlig PID-regulator [11].

2.2.2 Hur fungerar ett adaptivt system?

Figur 3 illustrerar ett grundutseende för adaptiv reglering. Identifieringsmodulen uppdaterar hela tiden en matematisk formel (överföringsfunktion) av den del i systemet som ska regleras. Denna formel uppdateras genom så kallad parametrisk identifiering [12]. Med parametrisk identifiering menas en matematisk formel med numeriska parametrar som ges genom att systemet bestäms med minsta kvadratmetoden. På så sätt vägs kontinuerligt uppdaterade värden in när dessa ändras, samtidigt som de äldre värdenas relevans kommer avta allt eftersom nya värden förekommer. Tack vare detta uppdateras formlerna så att de hela tiden är aktuella [13].



Figur 3 [13] Ett typiskt grundutseende för adaptiv reglering.

Parameterinställningsmodulens uppgift är sen att beräkna vilka regulatorparametrar som är mest optimala för systemet beroende på hur överföringsfunktionen (den matematiska formeln) ser ut. Denna beräkning kan ske på flera olika sätt beroende på vilka regulatorer som används [13].

Regulatorn kommer sedan beräkna styrsignalen u för processen genom att använda de regulatorparametrar som bestämdes i föregående steg och uppdaterar därefter reglerparametrarna (ej samma sak som regulatorparametrarna) [13].

Egentligen ska en ideal adaptiv regulator kunna kopplas in i en godtycklig process för att sen ställa in sig så att den aktuella processen blir optimal. Dock har man inte lyckats komma dit ännu, utan behöver göra en del förarbete innan den adaptiva regulatorn sätts igång.

3 Metod och data

Innehållet under den här rubriken uppdelat efter de tre områden projektet från början delades in i. Arbetet inleddes med en produkt- och litteraturstudie följt av mätdataanalys. Därefter utgick projektgruppen från analysen och skapade kriterier för hur den anser en Smart Control bör agera. Kriteriernas syfte är att öka förståelsen för hur en Smart Control fungerar vilket är en av problemställningarna i arbetet.

3.1 Litteratur- och produktstudie

Efter inledande samtal om examensarbetet med NIBE Energy Systems startades arbetet mot de satta målen. Det första steget var att göra en produkt- och litteraturstudie.

Först söktes information på Internet. De sökord¹ som användes finns angivna i fotnoten. Det var också här som flest relevanta källor för arbetet fanns. Alla sökningar gjordes med Google.

Därefter söktes böcker som kunde vara intressanta genom att ange sökord² i skolbibliotekets databas. Trots flera sökningar fann projektgruppen inte någon information om det användningsområde rapporten handlar om. Däremot användes en bok som tidigare använts i kursen styr- och reglerteknik för att beskriva vad adaptiva system är.

Tre år (2009-2011) av vardera tidsskriften Ny Teknik, Energi och Miljö samt Energi-magasinet har lästs igenom för att söka information kring ämnet.

3.2 Analys av mätdata

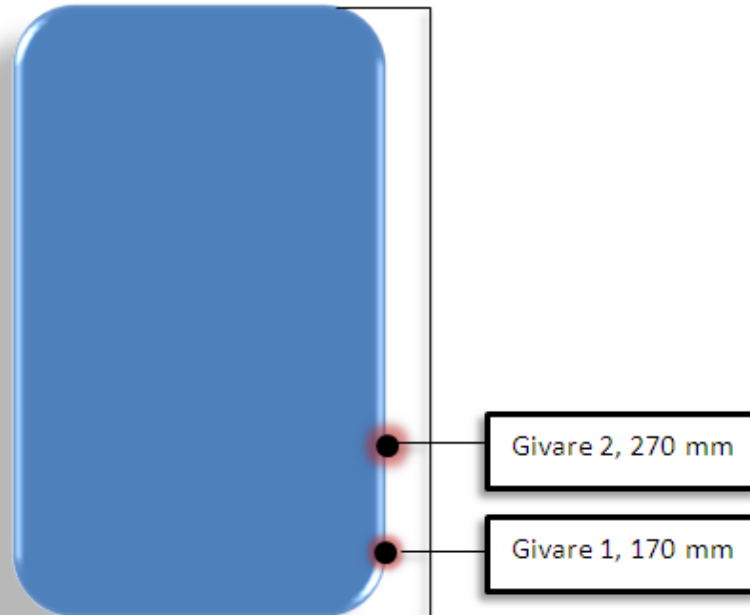
Analysen är gjord på data som samlats in från en testutrustning bestående av en 100-liters varmvattenberedare med en Smart Control kopplad till sig och en datalogger. Datalogerna registrerade temperaturen på fyra platser enligt Figur 5 var 30e sekund. De har sedan lagts in i olika diagram för att se mönster och beteenden. På grund av den mängd data (ca 3000 A4-sidor) det här utgör har projektgruppen inte tagit med den som bilaga. Delar av den presenteras i kommande figurer i form av diagram. Värden på olika dygns medelvärde finns med som Bilaga 1.

Varmvattenberedaren var placerad hos en av NIBE Energy Systems bestämd familj som motsvarar en genomsnittlig sådan i Sverige. Under tiden dataanalysen gjordes diskuterades idéer som dök upp med gruppens handledare för att förankra tankar hos en person med mycket erfarenhet i branschen.

¹ De sökord som kom bäst till användning och söktes i Google var Smart Control, Water heater smart control, Adaptiva System, Adaptiv värme, Adaptivt varmvatten, Adaptiv algoritm värme, Sjävlärande system, Sjävlärande system, Sjävlärande varmvatten system, Adaptiv styrning varmvatten, Adaptiv styrning varmvatten algoritm, Adaptiv styrning algoritm.

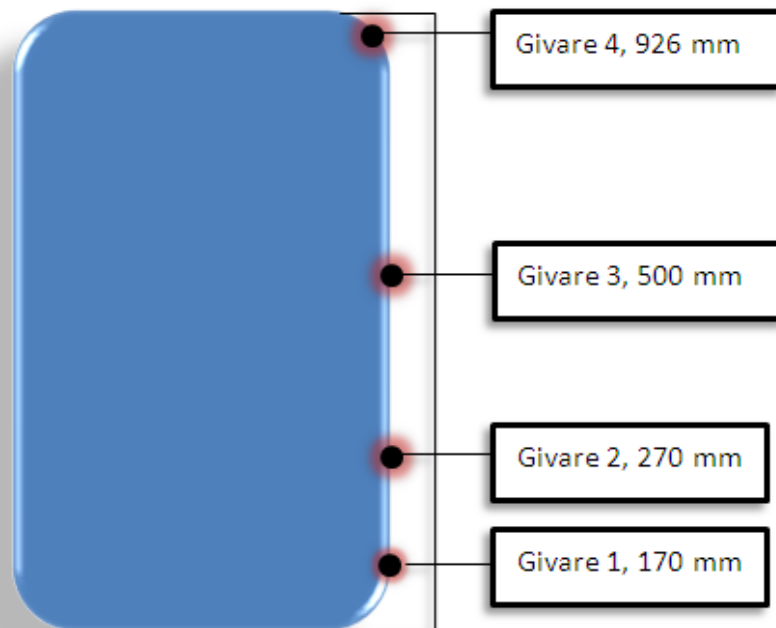
² Adaptiv, adaptiva system, adaptive system, styrsystem, styr- och reglersystem, reglersystem, varmvattenberedare, varmvatten adaptiv, varmvatten, värmesystem, varmvattensystem.

För att förklara uppbyggnaden av det system som analyserats visas Figur 4 nedan där det går se att endast två givare används. Givare 1 som är längst ner befinner sig 170 mm från varmvattenberedarens botten. Givare 2 finns 100 mm högre upp. För övrigt finns en elpatron på 3 kW placerad i botten som regleras genom att slås på eller av.



Figur 4 *Smart Control*:ens två givare ses här i en 100-liters beredare.

NIBE Energy Systems har utefter detta placerat ut fyra givare där deras fjärde givare är placerad högst upp i tanken på nivån 926 mm från botten räknat. Givare 3 finns vid 500 mm och de två resterande på samma nivåer som testobjektet. Dessa placeringar valdes för att få en bra översikt av vad som händer i hela tanken. De understa två givarna är placerade vid Smart Controllerns eftersom man då kan analysera vad som händer och vid vilka temperaturer detta system reglerar.

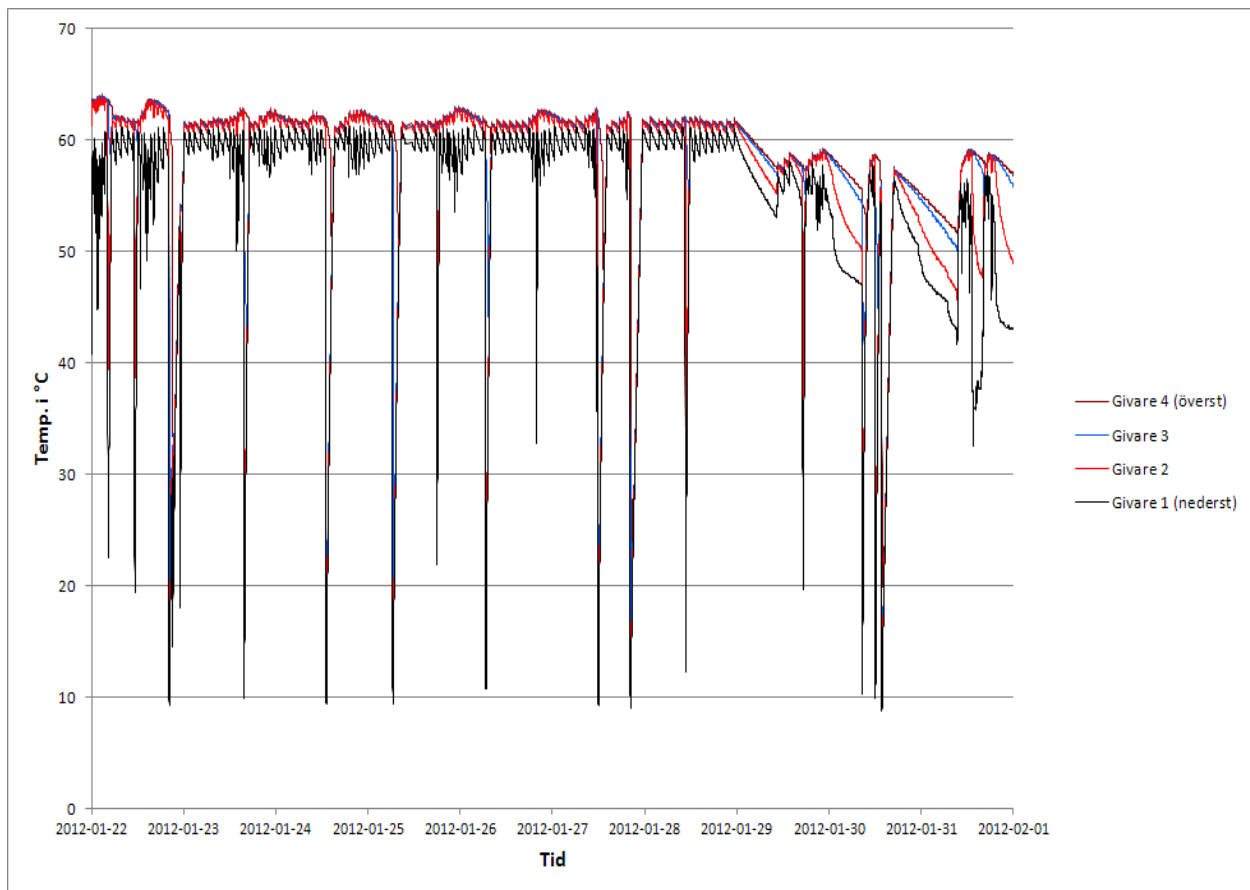


Figur 5 NIBE Energy Systems placering av givare.

3.2.1 Olika diagram och analys

Nedanför presenteras olika diagram som tagits fram i dataanalysen. De representerar olika tidsperioder och visar olika situationer systemet ska klara av. Varje diagram presenteras tillsammans med kommentarer om hur de tolkats. Figur 6 visar ett typexempel på hur en inlärningsvecka för en Smart Control kan se ut. De tre sista dygnet av kurvan visar att en anpassning börjat från tidigare veckas behov. Diagrammet visar perioden 12/01/22 - 12/02/01 som börjar med en söndag och slutar med en onsdag. Systemet håller sig i början av tidsperioden kring börvärdet 60 °C. När den undre givaren pendlar kring 60 °C pendlar den övre kring 63 °C. Med andra ord skiljer cirka tre grader mellan toppen av tanken och undre givaren då tanken laddats fullt. Om inte temperaturen får överstiga 65 °C i tanken bör med andra ord inte 62 °C överstigas vid den lägre givaren.

Under upplärningsperioden har systemet endast ett villkor. Det är att temperaturen ska hållas kring ett inställt börvärde. Under tiden mäts energiåtgången för att kunna skapa ett anpassat värde för samma tidpunkt kommande vecka. Det syns tydligt i bilden när upplärningsperioden tagit slut. Då sjunker temperaturen vid alla givare och placerar sig kring ett lägre börvärde.

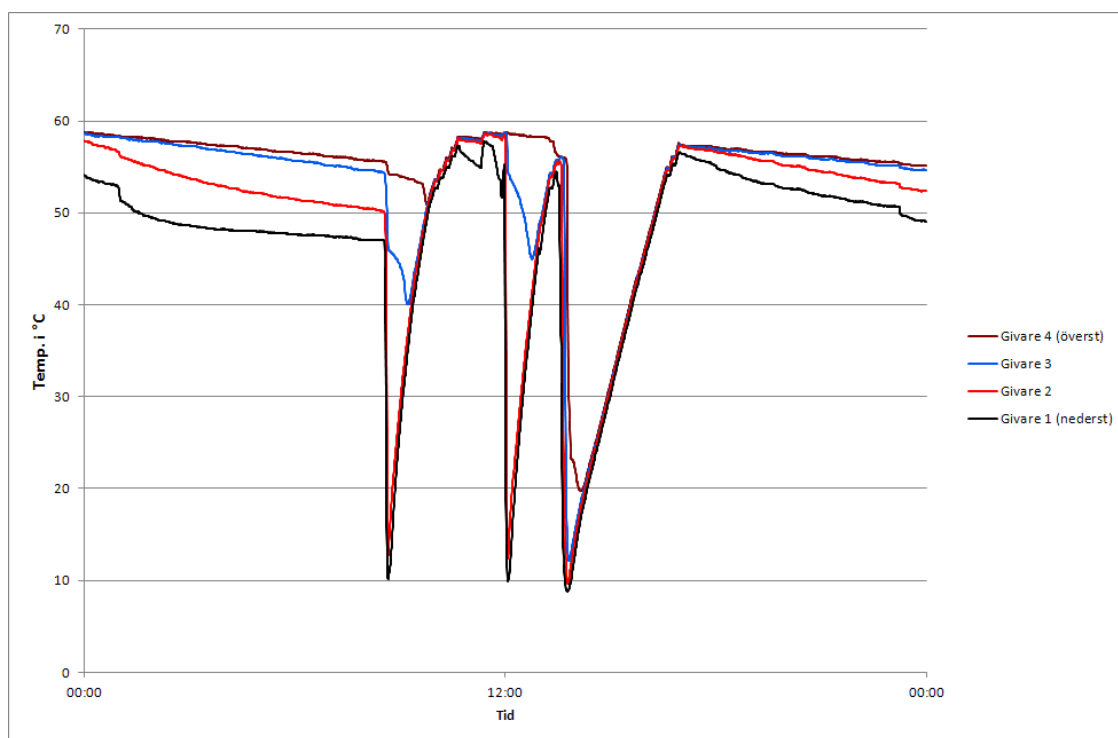


Figur 6 Figuren föreställer en inlärningsperiod samt början av adaptiv reglering med en Smart Control.

I Figur 7 syns tydligt två saker. Den första är att ingen energi tillförs beredaren nattetid. Kurvorna följer sakta varandra i avsvälning med sjunkande temperaturer och inga uttag sker. Vid uttag av varmvatten skapas karaktäristiska, branta nedgångar i temperaturerna och det händer inte under avsvälningsperioderna som syns här. Systemet har lärt sig att det inte behöver tillföra energi nattetid. Detta kan lika gärna vara en tid på dagen om inget varmvatten används, det viktiga är att systemet identifierat perioder då ingen energi åtgår.

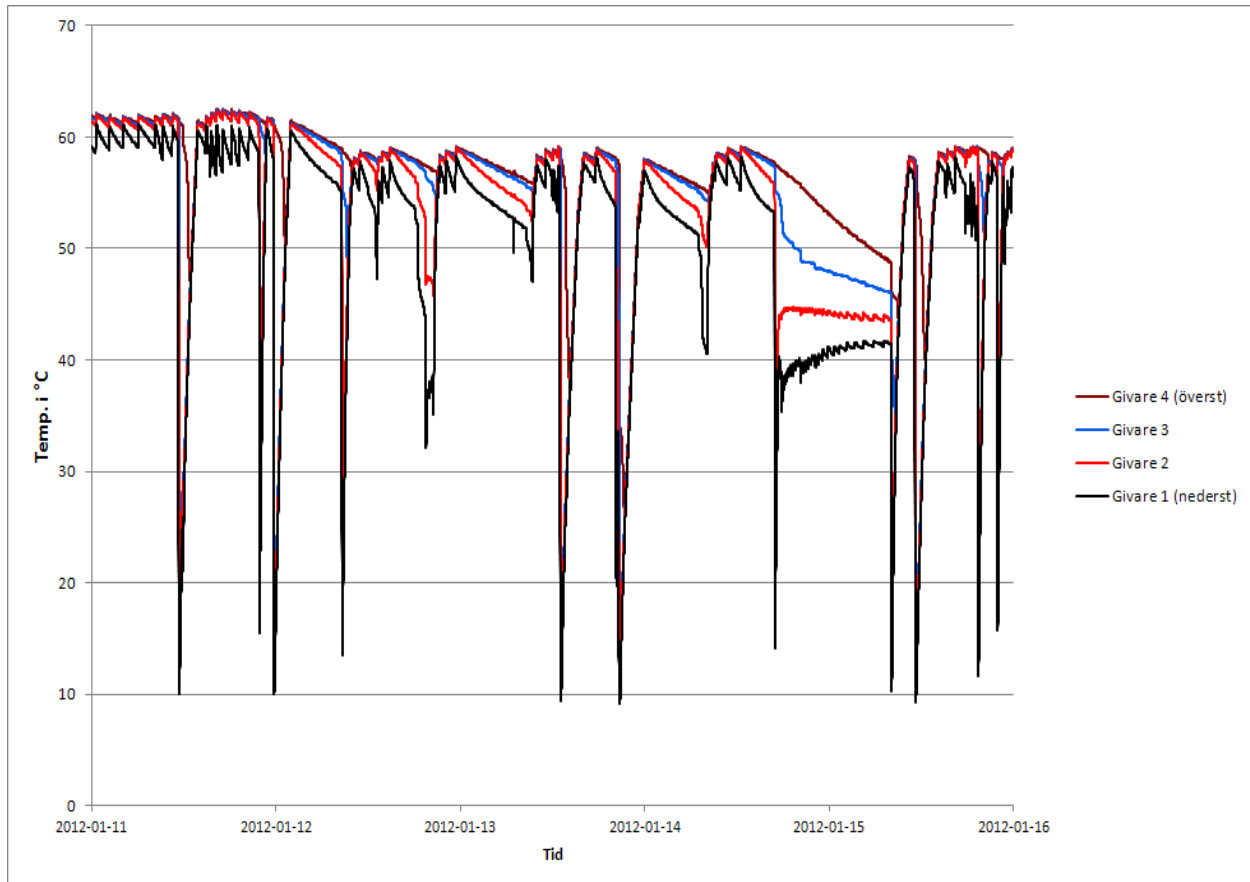
Det går också se att det denna dag en gång inträffat att varmvattnet inte räckt till. Det syns på den tredje stora tappningen. Alla temperaturgivare svalnar av nedåt 20 °C. Den temperaturen är för låg för att använda till disk eller dusch. Här är alltså ett exempel på när styrningen inte varit tillräcklig. Med största sannolikhet och med erfarenhet från dataanalysen är det vid en dusch det här sker. Komfortkravet har då inte uppfyllts eftersom den som duschat gjort av med allt tillgängligt varmvatten och sedan slutat duscha för att det blivit för kallt.

Man kan anta att några få graders ökad temperatur i det här fallet inte hade spelat någon roll. Systemet projektgruppen tittat på har uppmätts ha maxtemperaturen 65 °C i autoläge. Det är knappt tio grader mer än vad som fanns när tappningen startade och hade troligtvis inte gjort att varmvattnet räckt till. Beredaren kan med andra ord ses som underdimensionerad i det här fallet. Genom att manuellt välja en högre tillåten maxtemperatur för Smart Controllern att arbeta med skulle detta problem troligtvis undvikas till samma tidpunkt nästkommande vecka. Problemet är att det kräver ett aktivt val av användaren. Denna kunskap och insikt är inte alls säkert att ägaren av systemet har.



Figur 7 Ett dygn med både avsvälning och tappningar med en Smart Control styrning.

I flera av diagrammen syns tydligt hur temperaturen pendlar kring det inställda börvärdet som i Figur 8. Eftersom de aktuella beredarna tillförs max effekt eller ingen alls, bildas denna svängning. När effekten stängs av till elpatronen tar det en viss tid innan den svalnar till omgivande vattentemperatur, därför fortsätter den att värma vattnet lite till. På samma sätt bildas en fördröjning mellan det att effekt tillförs patronen tills dess att den blivit tillräckligt varm för att värma det omgivande vattnet.



Figur 8 I denna figur ses en liten period av inläring. Resterande är en tidsperiod då Smart Control:en reglerar temperaturen efter föregående vecka.

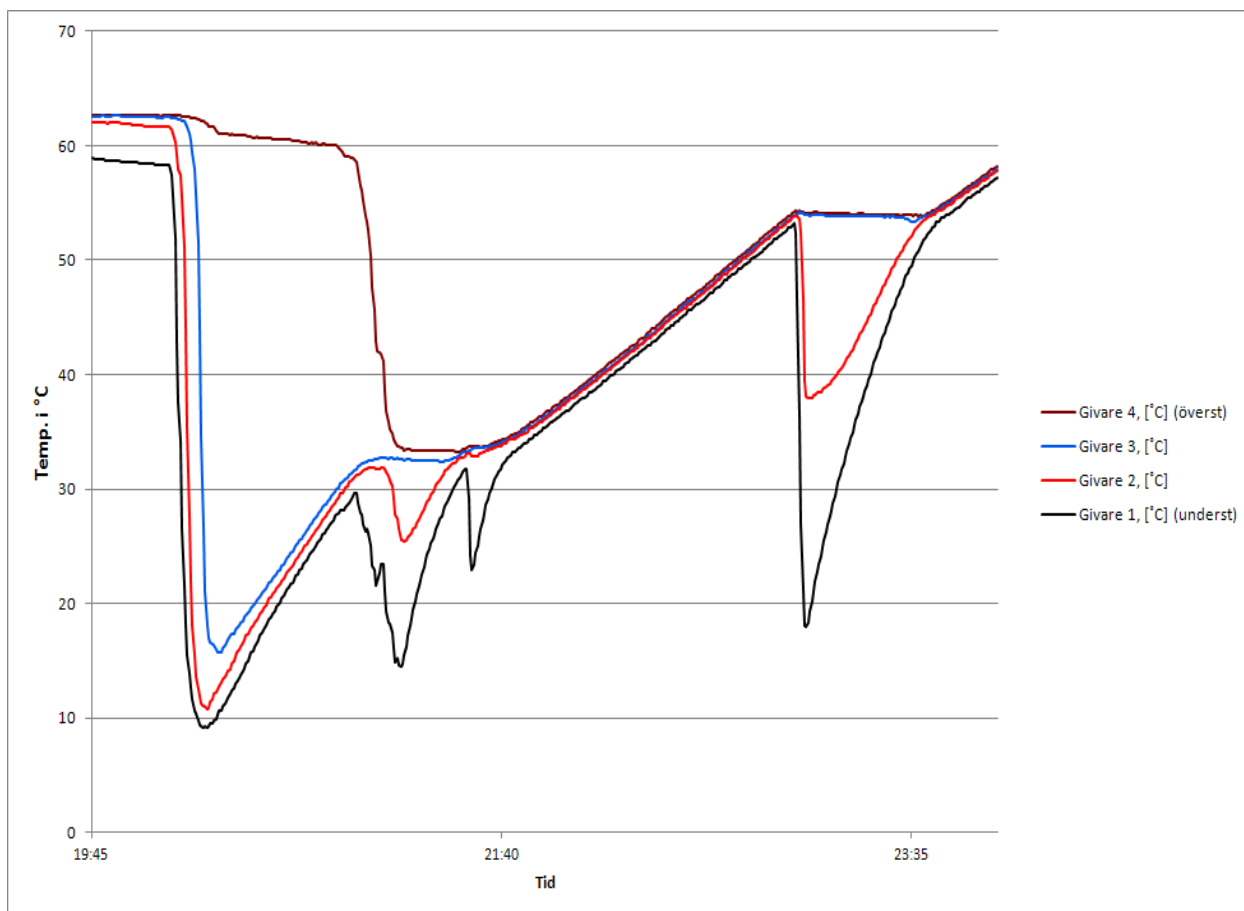
I Figur 9 kan flera förhållanden utläsas. Diagrammet visar en förstoring av en viss tidpunkt. I och med tidsangivelserna på x-axeln (och även tillgång till rådata) kan tidpunkten för varje uttag avläsas. Dessutom går det se under hur lång tid det skett och vilken energimängd som gått åt. Genom att tolka tid och temperaturfall kan projektgruppen uppskatta vilken form av uttag det troligen rör sig om. En handtvätt ger ett väldigt litet utslag, en disk lite större och en dusch ett mycket stort utslag. Dalarna i detta diagram är från vänster en dusch, disk, början till dusch (som avslutades på grund av för kallt vatten) och sedan en dusch igen senare.

Innan den sista duschen följs linjerna åt uppåt. Det visar att hela tankens volym påverkas av uppvärmningen. En skiktning sker alltså inte under uppvärmningsfasen utan bildas därefter. Skiktning innebär att två eller flera olika temperaturer kan existera i beredaren samtidigt med

mer eller mindre skarpa gränser mellan dem. Det här gör att givaren i botten kan användas som energimätare vid uppvärmning.

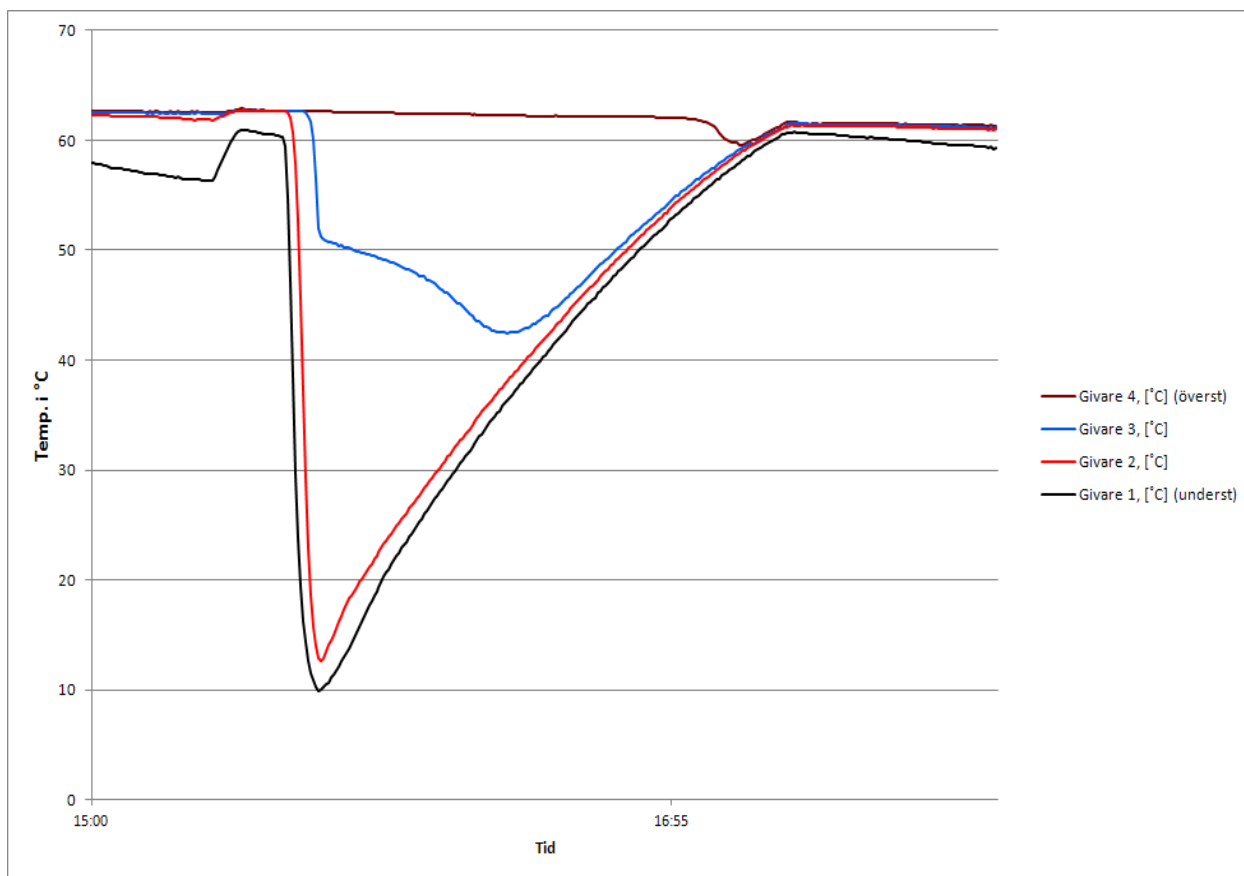
Vad som också kan urskiljas är lutningen på kurvan. Den representerar hastigheten beredarens volym blir uppvärmd med. Det går relativt lätt att räkna ut detta teoretiskt tack vare att effekten är känd men här syns det verkliga förloppet.

Som tidigare nämnts går det utläsa om varmvattnet som funnits tillgängligt räckt till eller inte. Vattnet tappas ur längst upp i tanken och därför kan man följa förloppet med hjälp av temperaturerna på de olika nivåerna i tanken. När den översta givaren visar att det inte finns varmt vatten kvar har allt varmvatten tagit slut. Den mörkröda kurvan i diagrammen representerar temperaturen högst upp i tanken. Genom att titta på den i Figur 9 syns att varmvattnet i det här fallet inte räckt till. Som nämndes tidigare i texten var det en person som tänkt duscha men avbrutit när vattnet varit för kallt.



Figur 9 Här ses bland annat att det varit brist på varmvatten och att temperaturökningen sker i hela tanken på en gång, utan stora skiktningar.

I Figur 10 ses omrörning i tanken. Med omrörning menas det förlopp då turbulenta strömningar bildas och rör om vattnet. Det sker vid uppvärmning eftersom varmt vatten från elpatronen strömmar uppåt genom stora delar av tankvolymen. Omrörning ska helst undvikas av den anledningen att det förstör skiktningen i tanken. Om skiktet längst upp i tanken är det som störs kan det avgöra om tillräckligt varmt vatten finns tillgängligt för uttag eller inte. Händelsen syns tydligt på två platser i figuren. Den blå kurvan och även den mörkröda sjunker precis innan de ansluter till de andra kurvorna när temperaturen ökar. Det här fenomenet är inte något som specifikt har med adaptiv styrning att göra utan är ett allmänt problem för den här typen av varmvattenberedare.



Figur 10 Efter tappning kan tydlig ses att omrörning sker. Samtidigt kan det urskiljas att temperaturerna börjar öka och lägger sig, under uppvärmningsfasen, till slut bredvid varandra.

3.2.2 Möjliga energivinster

Vad blir egentligen vinsten med en Smart Control? I och med att temperaturerna sänks i beredaren när inte energi används minskas energiförlusterna genom isoleringen ut i rummet där beredaren är placerad, det vill säga man minskar transmissionsförlusterna.

Projektgruppen har valt att titta på tre olika tillfällen med olika värmeanvändningen. Det första tillfället syns här i Figur 11 och innebär endast en större tappning (dusch) men flera mindre. Genom att använda de fyra olika givarnas mätvärden och göra ett medelvärde av dessa ritas den övre kurvan (mörkröd) upp i Figur 11, Figur 12, Figur 13 och Figur 14. Därefter kan den jämföras med den teoretiskt bästa Smart Control-kurvan. På det viset kan teoretiska värden fås fram för hur mycket förluster det finns att ta vara på. Formeln som använts för de här beräkningarna är:

$$P = U * A * \Delta T \quad [\text{kJ}] \quad (1)$$

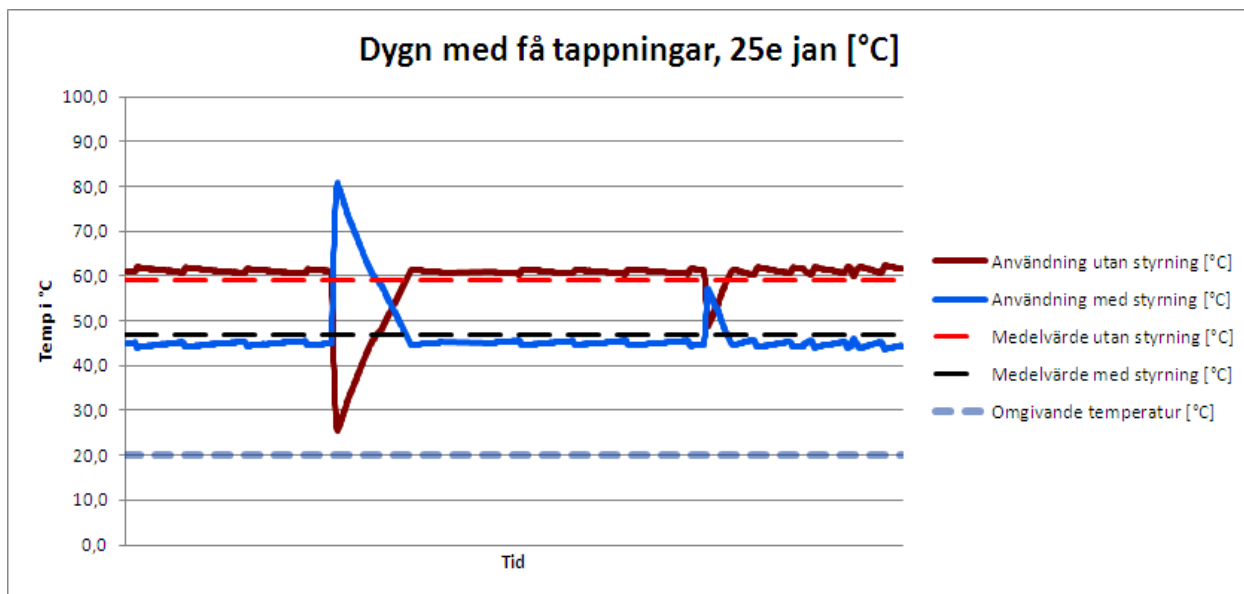
P – effekt, U – U-värde, A – area

$$U = 1/R_{\text{tot}} \quad [\text{W/m}^2, \text{K}] \quad (2)$$

$$R_{\text{tot}} = \Sigma R \quad [\text{m}^2, \text{K/W}] \quad (3)$$

$$R = d / \lambda \quad [\text{m}^2 * \text{K/W}] \quad (4)$$

R – värmemotstånd, d – tjocklek, λ – värmeledningsförmåga



Figur 11 En teoretisk besparing kan här urskiljas då medeltemperaturen sänks.

Här är U och A konstanta tack vare att det är på samma beredare beräkningarna gjorts. Alltså fås den procentuella skillnaden genom att använda relationen mellan de ΔT som förekommer. Omgivande temperatur antogs till 20 °C och de medelvärden som fås fram i Figur 11 är $59,1\text{ °C}$ respektive $46,9\text{ °C}$. Det lägre medelvärdet är det teoretiskt bästa en Smart Control kan ha för det aktuella tillfället. Det har tagits fram genom att spegla den övre kurvan och utgå från 45 °C för att sedan göra ett medelvärde av den. Resterande figurer under den här rubriken är konstruerade på samma sätt. Procentbesparingen blir alltså i det här fallet;

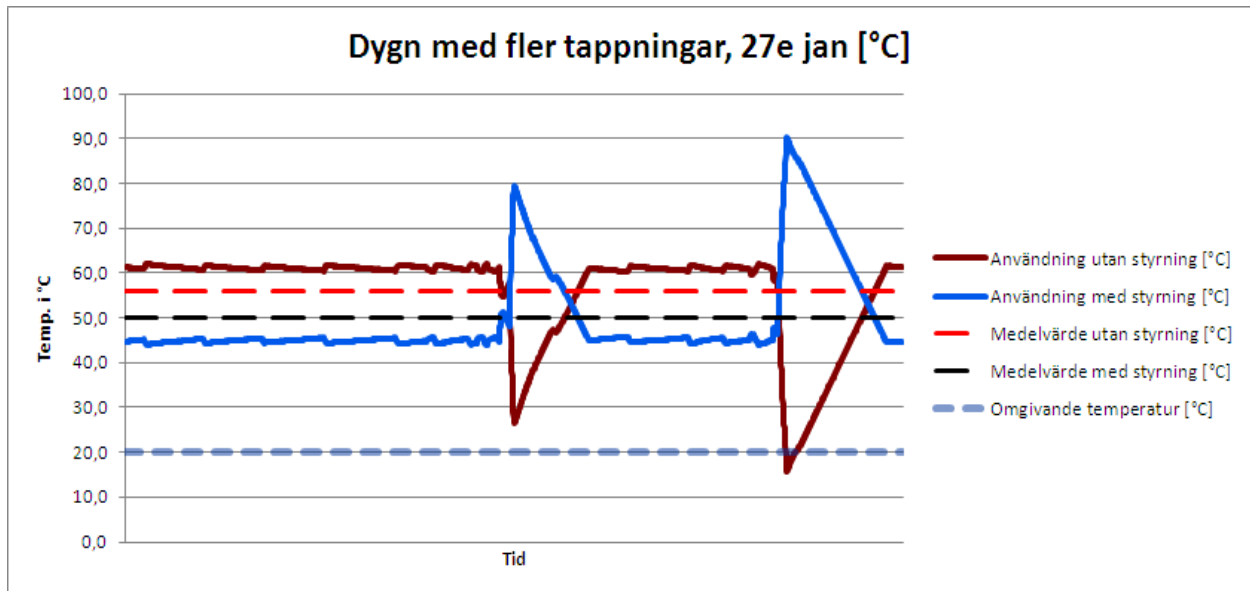
$$1 - \frac{(46,9 - 20)}{(59,1 - 20)} = 31,20\%$$

Det är viktigt att komma ihåg att siffrorna är strikt teoretiska och praktiskt omöjliga. Därför kan också den höga besparing uppstå som i exemplen här. Anledningen till att de är praktiskt omöjliga att kopiera är dynamiken i uppvärmning och avsvälning av vatten. Om det teoretiska förloppet ska kunna ske i verkligheten förutsätter det en oändligt snabb uppvärmning vilket betyder en oändlig effekt i elpatronen. Förutom det här måste behovet av varmvatten vara exakt detsamma som under Smart Controllerns mätperiod. Hade det varit en verklighet med så hög effekt i elpatronen hade inte problemet existerat från första början eftersom man då kan värma vattnet precis då det behövs och en varmvattenberedare med ackumulator varit onödig.

Det andra exemplet som ses i Figur 12 visar en situation med två större tappningar istället för en som i det första. Med samma beräkning som tidigare blir vinsten i det här fallet 17 %.

$$1 - (29,9/36,1) = 17 \%$$

Här har medeltemperaturerna varit 56,1 °C respektive 49,9 °C. Den omgivande temperaturen runt beredaren är som innan antagen till 20 °C.

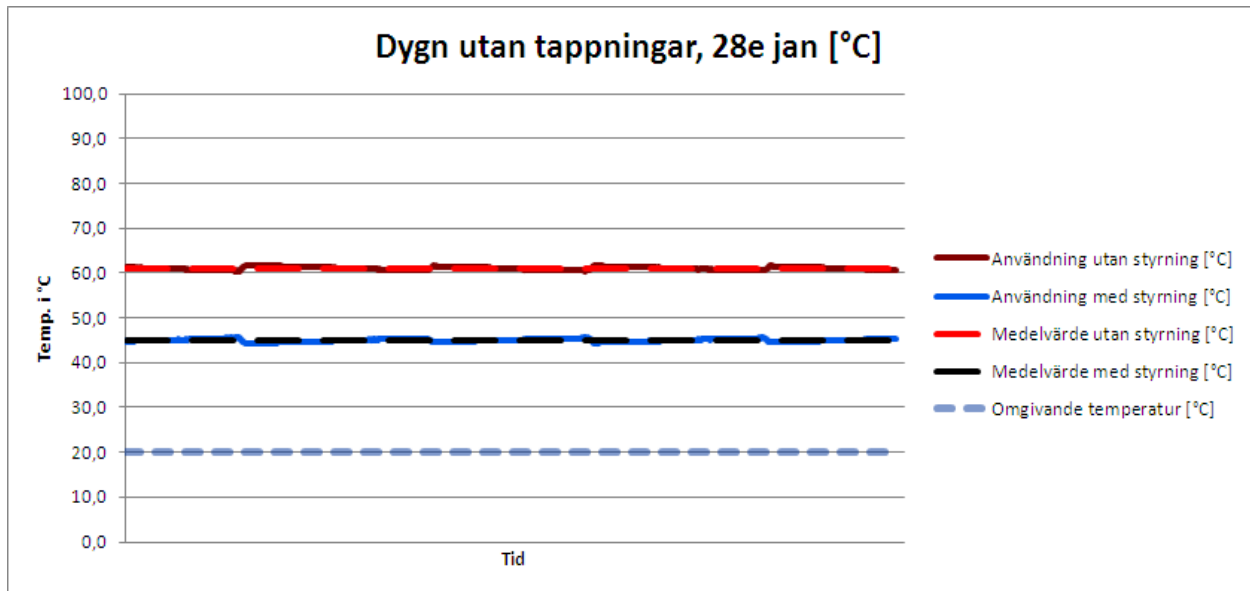


Figur 12 En teoretisk besparing kan här urskiljas då medeltemperaturen sänks.

Det sista exemplet projektgruppen valt att ta upp är Figur 13. Energibesparingen blir i det här fallet hela 39 %. Beräkningen är också här gjord på samma sätt som i de två tidigare exemplen.

$$1 - (25/41) = 39 \%$$

Medeltemperaturerna var vid denna tidpunkt 61 °C utan Smart Control och 45 °C med.

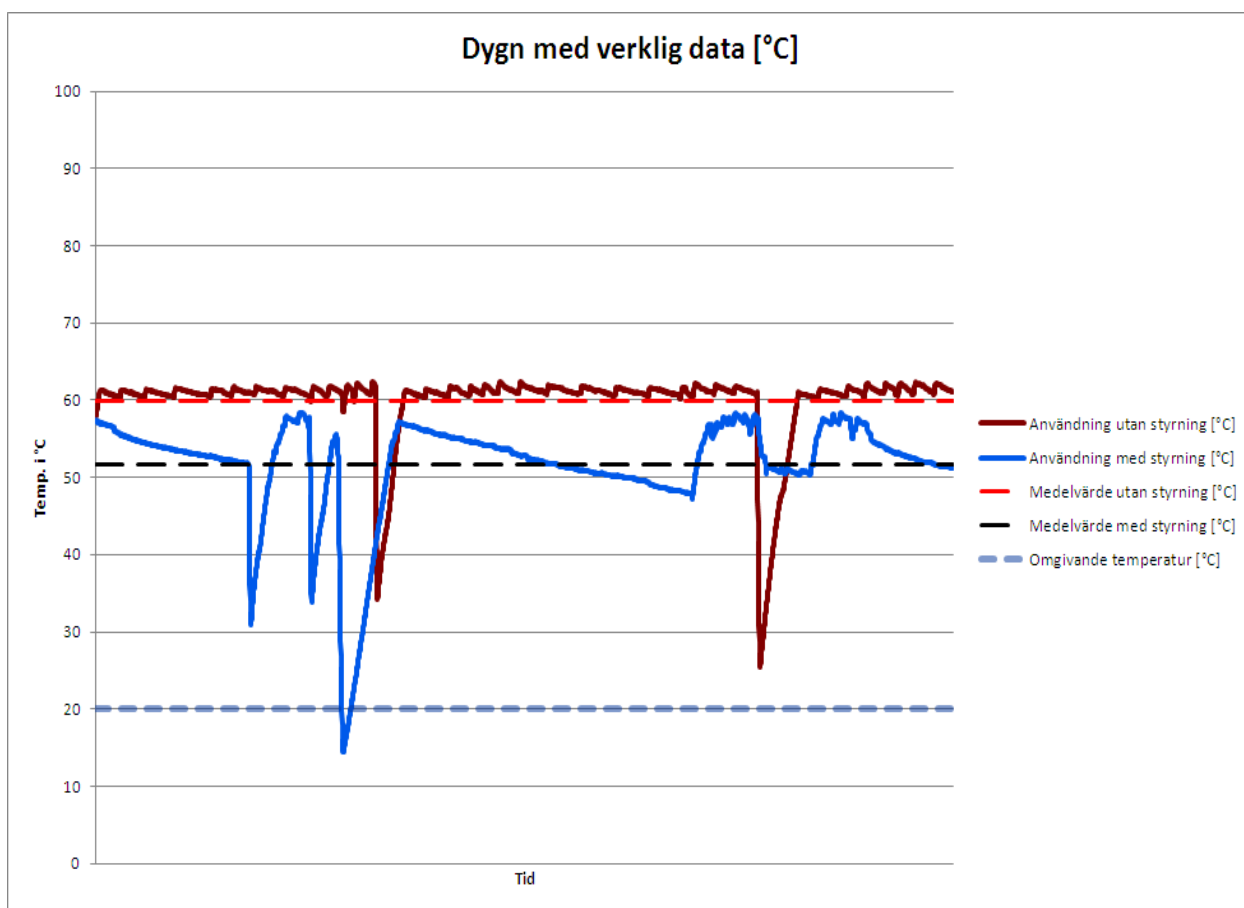


Figur 13 *Då inga tappningar sker kan här urskiljas en teoretisk besparing då medeltemperatur sänks.*

För att inte enbart skildra teoretiska värden presenteras här värden från verkligheten med hjälp av testobjektet som funnits tillgängligt för arbetet.

I Figur 14 visas mätdata från två dygn. Den mörkröda kurvan visar också här medelvärdet av de fyra temperaturgivare som varit placerade på beredaren. Dessutom visas motsvarande period en vecka senare på samma sätt av den klarblå kurvan. Den ljusare röda streckade linjen och den svarta streckade linjen visar i sin tur medelvärdet av den mörkröda respektive den klarblå kurvan under tidsperioden. På samma sätt som tidigare har skillnaden mellan omgivande temperatur och de två medelvärdena undersökts för att se hur de relateras till varandra. Resultatet blir då en besparing motsvarande 20,6 %.

$$1 - (31,7/39,9) = 20,6 \%$$



Figur 14 Så här kan en besparing taget ur verkliga livet se ut då medeltemperatur sänks.

Här i Tabell 1 ses ett halvårs mätvärden tagna från den testanläggning NIBE Energy Systems haft på prov. Även här syns att medeltemperaturen vid Smart Control-styrning (Smart ITS) sjunker jämfört med Standard BBS (standardtermostat). Det som kan vara intressant i denna tabell är att användaren under en period varit utan varmvatten vid tre tillfällen. Dock kan det spekuleras i vad som orsakat detta. Vid övriga tillfällen anses Smart Controllern fungera bra. Vad som också är intressant är att det här skett en faktisk besparing på $1-(62/72)=0,139 \rightarrow 13,9\%$. Divideras denna siffra med primärenergifaktorn 2,5 blir vinningen i verkningsgrad $13,9/2,5=5,56\%$. Siffran är något missvisande, på grund av att dålig isolering kring rör i installationen hjälper Smart Controllern att spara energi enligt teorin som beskrivs i kommande avsnitt om Isolering. Den verkningsgraden skulle innebära att varmvattenberedaren har en verkningsgrad som är över 100 %, vilket är omöjligt. Om hänsyn tas till isoleringen kan en vinst kring 2-3 % verkningsgrad vara rimlig.

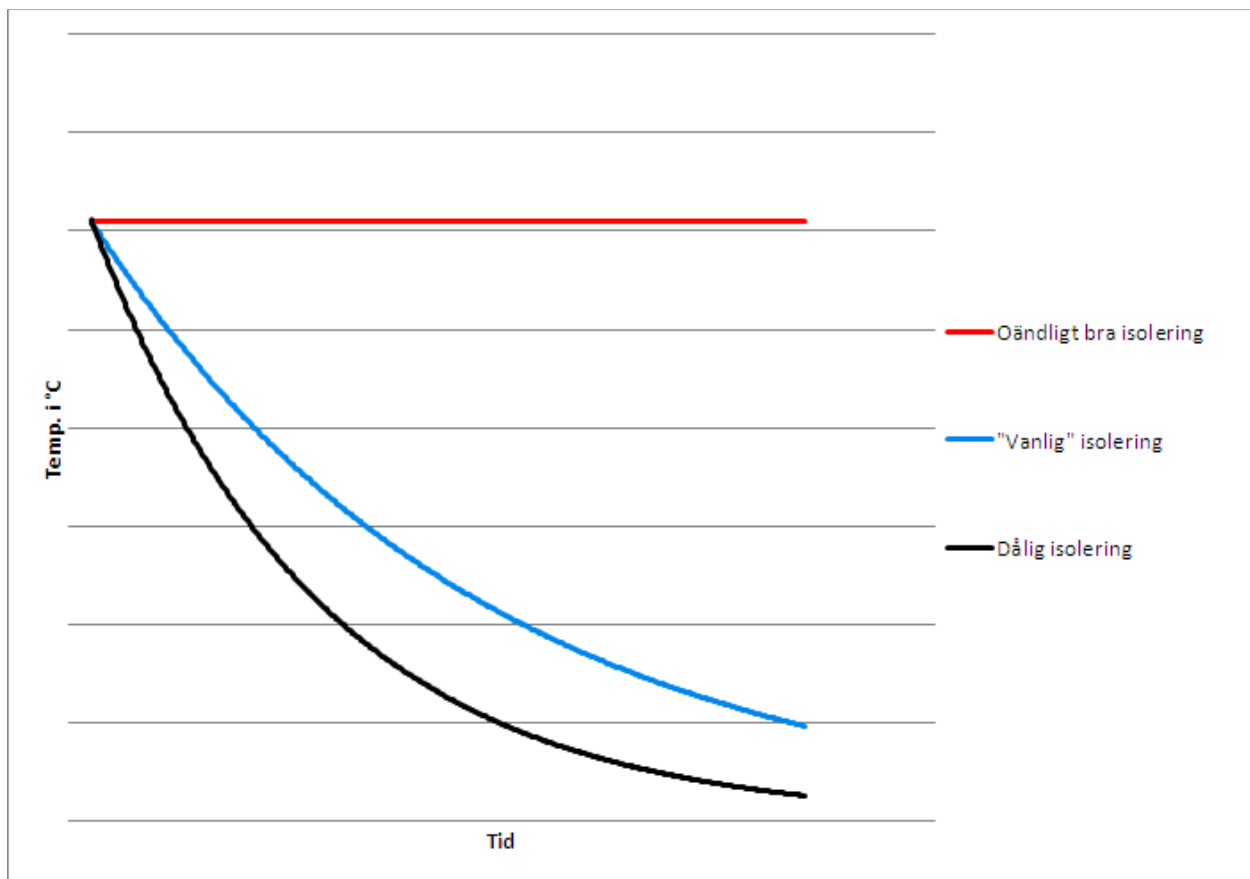
Tabell 1 Uppmätta värden under en halvårsperiod, både med och utan Smart Control, visar att medeltemperaturen faktiskt sänks.

Smart Control-test hos Jonas Nilsson, Strömsnäsbruk 2010-2011						
Nr.	Testperiod (Mellan 2010-2011)	Reglering på elpatron	Anteckningar	Elanvändning	Varmvattenkonsumtion	Elektricitet/Varmvattenfaktor
				kWh	Liter	Wh/liter
Test 1.	17 Nov - 17 Dec	Smart ITS	3 gånger utan varmvatten	185	2966	62
Test 2.	17 Dec - 17 Jan	Smart ITS	Ok	182	2944	62
Test 3.	20 Jan - 20 Feb	Standard BBS	Ok	264	3689	72
Test 4.	22 Feb - 22 Mars	Smart ITS	Ok	242	3716	65
Test 5.	22 Mars - 22 April	Smart ITS	Ok	261	4115	63
Test 6.	28 April - 28 Maj	Standard BBS	Ok	262	3662	72

3.2.3 Isolering

Om man mÅlar upp tvÅ extrema exempel dÅr det fÅrsta År en beredare med oÅndligt bra isolering och det andra en beredare utan isolering kan ett par antaganden gÅras. Om man bÅrjar titta pÅ den beredare som har oÅndligt bra isolering kan det snabbt konstateras att en Smart Control skulle vara onÅdig. Anledningen till det År att inga fÅrluster finns nÅr vattnet vÅl vÅrmt upp. I den andra situationen utan isolering hade en Smart Control istÅllet gjort stor nytta tack vare att transmissionsfÅrlusterna blir mycket stora sÅ fort temperaturen År hÅgre i beredaren Ån vad den År i omgivningen.

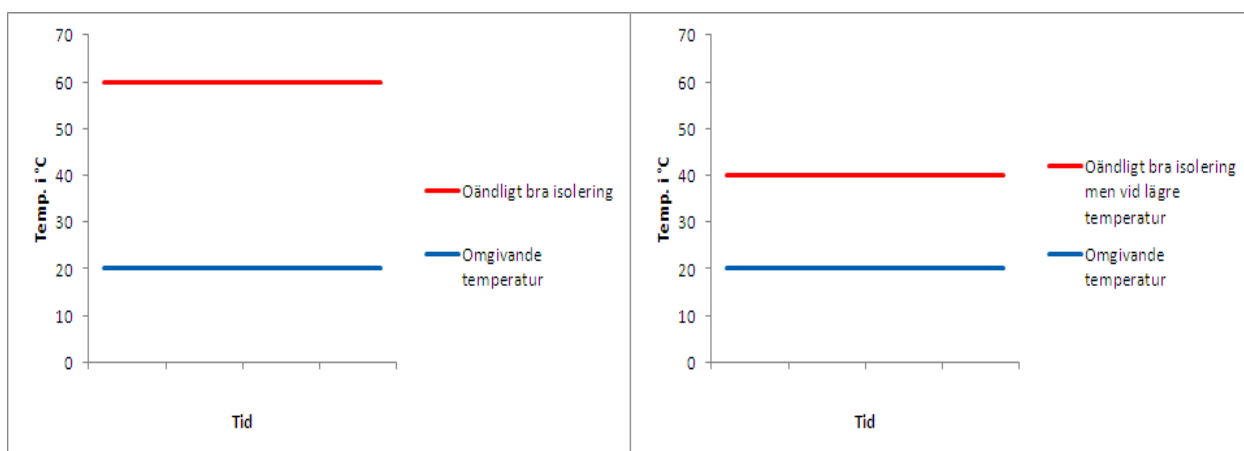
NedanfÅr visar Figur 15 vad som beskrevs i stycket innan. Den "oÅndligt bra" isoleringen kommer aldrig slÅppa ut nÅgon vÅrme och dÅrfÅr År det rÅda strecket rakt. Hur lÅnge man Ån vÅntar med att anvÅnda varmvattnet kommer ingen vÅrme ha gÅtt fÅrlorad. Den blÅ kurvan visar vad som kan kallas en vanlig isolering. Den lÅcker vÅrme Åver tid och vÅntar anvÅndaren fÅr lÅnge med att anvÅnda varmvatten kommer det inte finnas nÅgot kvar om inte ytterligare vÅrme tillfÅrts. Har varmvattenberedaren till sist en dÅlig isolering kommer varmvattnet snabbt att svalna. Eftersom kurvorna År brantare vid hÅgre temperaturer visar det ocksÅ tydligt varfÅr en lÅg medeltemperatur År att Ånska. Ska temperaturen hÅllas hÅg med exempelvis en dÅlig isolering kommer elpatronen fÅ motverka den kraftiga lutningen och vara pÅslagen stora delar av tiden.



Figur 15 Olika avsvlningskurvor vid olika bra isolering.

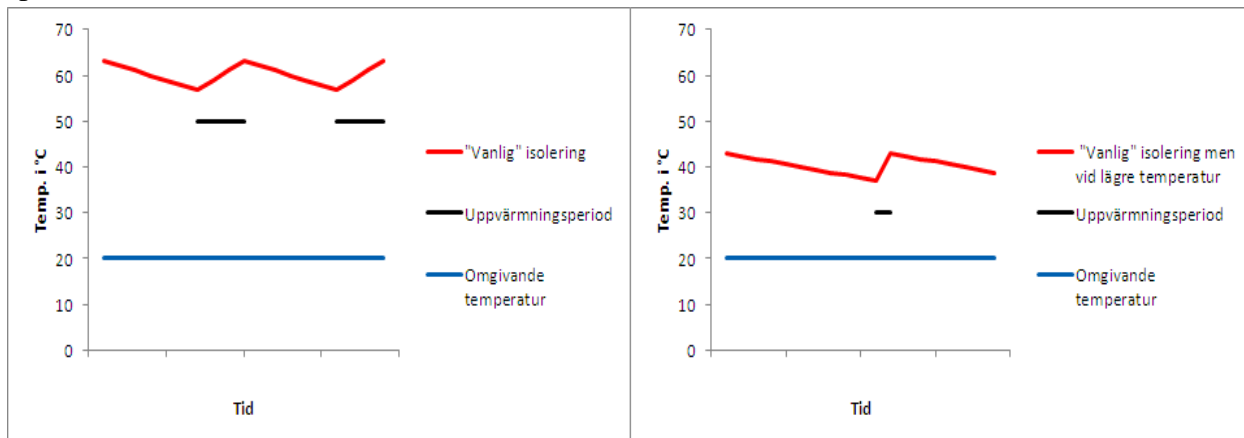
För att vidare exemplifiera vinsterna med att ha låga medeltemperaturer har Figur 16, Figur 17 och Figur 18 skapats. Här finns också tre exempel att utgå från. Det som åskådliggörs är en röd kurva som visar vattnets temperatur utan inblandning av Smart Control. En blå kurva som visar omgivande temperatur runt varmvattenberedaren och svarta linjer vid de tidpunkter då elpatronen är aktiv.

Figur 16 visar hur situationen sett ut med en "oändligt bra" isolering. Vattnets temperatur och den omgivande temperaturen befinner sig parallellt med varandra ända tills ett uttag sker oavsett hur lång tid det tar innan det händer och vilken temperatur vattnet har. Så länge inget uttag sker innebär det att elpatronen heller inte behöver slås på. Därför finns inget svart streck i den här bilden.



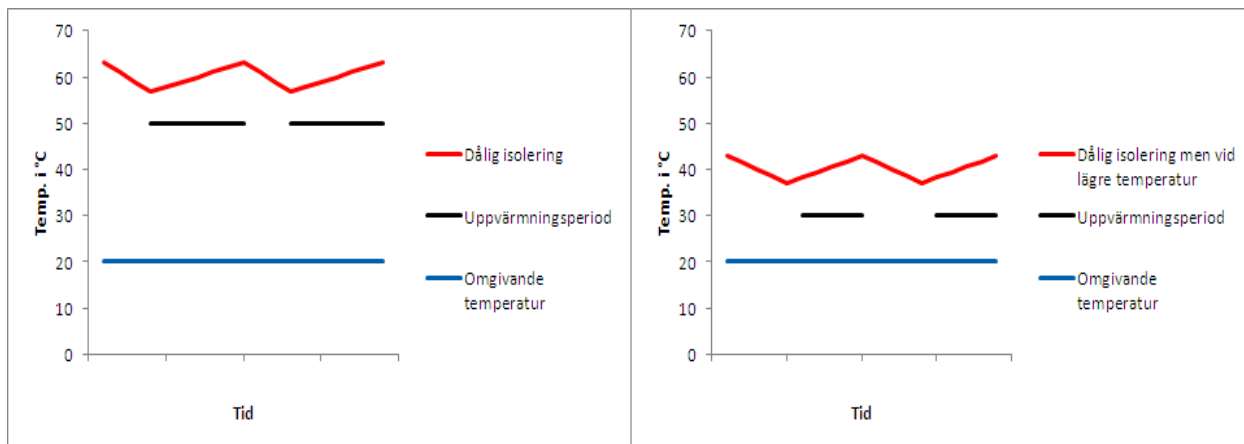
Figur 16 *Oändligt bra isolering kommer aldrig släppa genom någon värme genom transmissionsförluster.*

I Figur 17 behövs däremot en uppvärmning med jämna mellanrum för att temperaturen ska hållas kring ett börvärde. När temperaturen sänks av Smart Controllern är inte de svarta strecken lika långa. Eftersom det är denna gångtid hos elpatronen som avgör energimängden kan energi sparas.



Figur 17 Så här kan transmissionsförluster se ut med dagens isolering.

Till slut visar Figur 18 ett exempel likt det ovan men med ännu sämre isolering. Det tar lång tid för elpatronen att höja temperaturen och den läcker sedan snabbt ut. Minskas temperaturen ser man likväl även här att patronens gångtid minskar och därmed energiförbrukningen. Det är det här som är grunden till hur besparing sker med en Smart Control.



Figur 18 Transmissionsförlusterna för en riktigt dålig isolering kan se ut så här vid två olika temperaturer.

3.3 Resonemang kring styrning av en Smart Control

En Smart Control behöver en satt tidsperiod då den läser av användarens beteende för att senare kunna anpassa tillgången till varmvatten. Den behöver också en temperaturgivare för att göra avläsningen med samt någon form av tidslogger som registrerar den tid elpatronen varit

påslagen. Det testobjekt projektgruppen haft tillgång till har använt sig av två givare. Därför blir det också utgångsläget för resonemangen i det här stycket.

Givarna är placerade på de två höjderna 170 mm och 270 mm över varmvattenberedarens botten. Det ger vissa begränsningar. För att se exakt vart skiktningar sker måste ett oändligt antal givare finnas som övervakar varenda del av beredarens höjd. På grund av att det endast finns två givare i det här fallet begränsas alltså översikten av hur vattnets temperatur ser ut. Däremot går det anta att temperaturen i resten av tanken är minst lika hög som den hos den övre givaren. Tack vare det kan man garantera en viss reservenergi då systemet inte förutspått rätt behov. Denna reservenergi uppskattats bli lagom när den övre givaren visar 45 °C. Det räcker då ungefär till en fem minuter lång dusch.

Femminutersduschen har projektgruppen uppskattat kräva 10 000 kJ med hjälp av NIBE Energy Systems hemsida. De värden NIBE Energy Systems uppger är för en normal dusch på 3-4 minuter som kräver 40 liter vatten och tas från en varmvattenberedare med temperaturen 80 °C. Utgående temperatur från beredaren är 40 °C och ingående vatten 10 °C. Flödet som används i beräkningen är 12 l/min [14].

$$Q = \frac{m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)}{3600} \quad [kWh] \quad (5)$$

Där $Q = \text{energi}$, $m = \text{massa [kg]}$, $m = \rho \cdot V$, $\rho = \text{densitet [kg/m}^3]$, ρ för vatten är ca: 1 000 [kg/m³], $V = \text{volym [m}^3]$, $c_p = \text{Specifik värmekapacitet [kJ/(kg * K)]}$, c_p för vatten är ca: 4,2 [kJ/(kg * K)], $T = \text{temperatur [K eller } ^\circ\text{C]}$

För att beräkna volymen vid 270 mm (givare 2) använder gruppen tankens höjd 926 mm.

$$V = 100 - \left(\frac{270}{926} * 100\right) = 70,8 \quad [\text{liter}] \quad (6)$$

$$m = \rho * V = 1000 * 0,0708 = 70,8 \quad [\text{kg}] \quad (7)$$

$$T_1 = 10 [^\circ\text{C}]$$

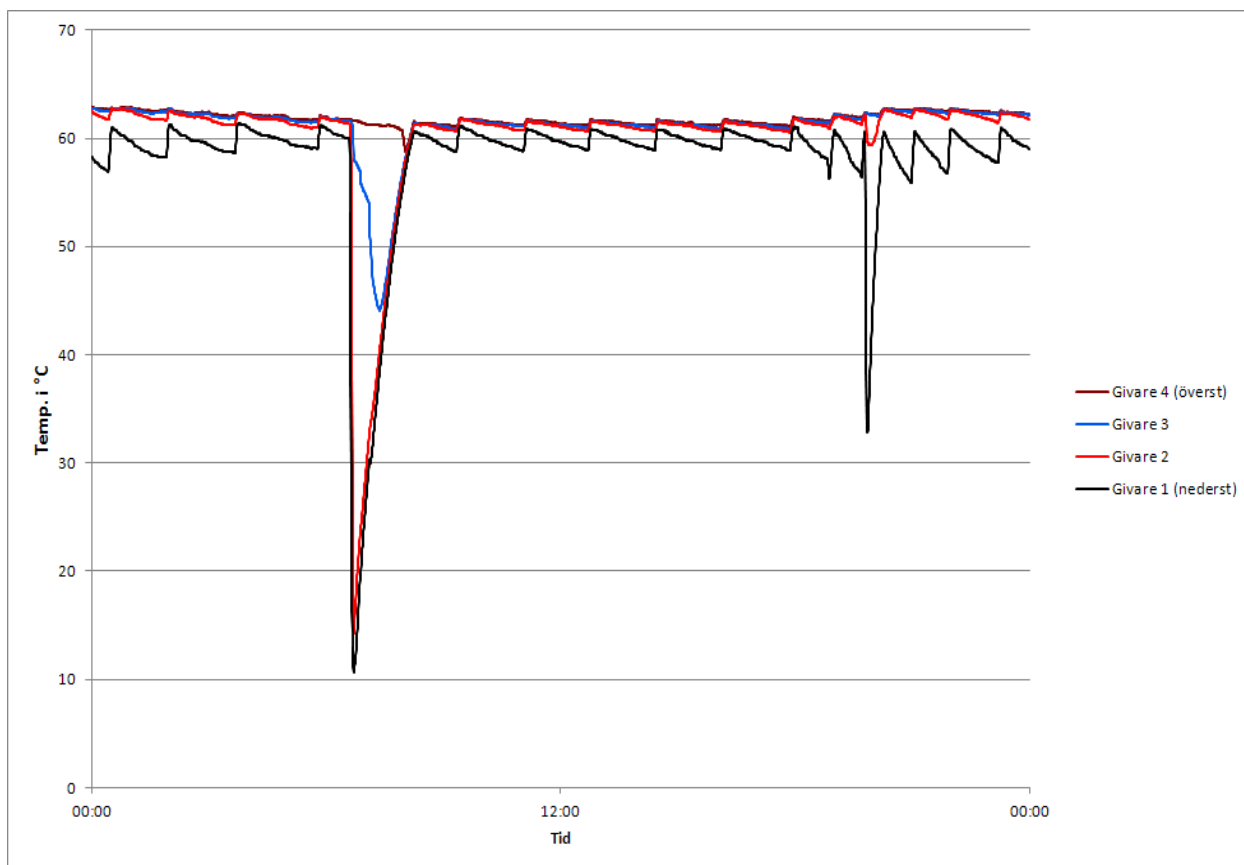
$$Q = 10\,000 \text{ kJ}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = T_2 - 10 = \frac{10\,000}{70,8 * 4,2} = 34 \quad [^\circ\text{C}] \quad (8)$$

$$T_2 = 44 [^\circ\text{C}]$$

T_2 rundas upp till 45 °C.

För att efterlikna det behov som varit under inlärningsperioden kan tiden mätas som åtgår mellan det att en varmvattentappning börjat och att börvärdet på temperaturen åter uppnått. Förfarandet syns tydligt i Figur 19. Genom att mäta den här tiden kan samma energimängd garanteras till samma tidpunkt nästkommande vecka eftersom elpatronens effekt hela tiden är densamma. För att ge en tidsmarginal som parerar avvikelser i användarens beteende skulle exempelvis tillslaget av elpatronen kunna ske trettio minuter innan det som egentligen krävs.



Figur 19 Tappningar under inlärningsperiod.

Systemet måste veta om en tappning skett eller inte. Förslagsvis registreras hastigheten med vilken en temperatursänkning sker vid den övre givaren (Givare 2 i Figur 4). Om ett uttag sker är hastigheten karaktäristisk hög. Har ett uttag registrerats kan systemet anta samma energibehov veckan efter. Villkoren som är satta för maxtemperaturer har högre prioritet än uppvärmningstiden. Därför avbryts uppvärmningen om den exempelvis når 65 °C innan den egentligen varit tillslagen den tid som systemet tror sig behöva från mätningar veckan innan. Om förhållandet är det motsatta, att temperatursänkningen skett långsamt och ett uttag därmed inte skett, kan systemet låta vattentemperaturen gå ner till den satta lägstanivån för samma tidpunkt nästa vecka.

När Smart Controllern har fel och användarens varmvattenbehov inte tillfredsställs bör den nästkommande vecka garantera att det finns för mycket varmvatten och mäta behovet, för att

sedan justera igen till veckan därefter. Förslagsvis sker det här när den satta reservenergin inte längre finns kvar i beredaren. Det måste betyda att mer energi använts än vad systemet förberett och händelseförloppet som beskrivs tidigare i stycket sätter igång. Om Smart Controllern utsätts för detta gång på gång vid samma tidpunkt varje vecka blir följderna att systemet håller satt maxtemperatur och gör därmed allt den kan för att ge varmvatten. Lyckas den ändå inte kan användaren antingen manuellt höja max tillåten temperatur eller byta beredare om temperaturen redan höjts och varmvattnet ändå inte räcker till. I det fallet är varmvattenberedaren underdimensionerad mot det varmvattenbehov den ska tillgodose.

För att temperaturen på varmvattnet i beredaren ska kunna höjas över 65 °C måste varmvattenberedaren vara försedd med en blandventil. Den ska garantera att max 65 °C förs vidare till de olika tappställena. Gränsen är given av Boverkets Byggregler [15] och är satt med anledning av risk för skällning.

4 Resultat

4.1 Litteratur- och produktstudie

Projektgruppen har inte hittat många produkter på marknaden som liknar det den försöker åstadkomma. Det finns en mängd varianter av andra adaptiva system inom flera branscher men inte mycket som påminner om examensarbetets område.

Vad projektgruppen ändå funnit har till största delen varit produkter som kombinerar fördelar med värmepumpar kopplade till ordinarie elektriska varmvattenberedare. Genom att dessutom komplettera dem med olika typer av Smart Control påstås de ha mycket bra prestanda. GE Appliances säger sig till exempel kunna spara 62 % elektricitet genom att använda deras kombinerade värmepump/element-beredare med Smart Control [16]. Liknande kinesiska produkter finns på marknaden. Dongguan Keyang Energy-saving Equipment Technology Co., Ltd. gör just sådana [17].

En enda produkt har hittats som saluförs direkt på den svenska marknaden. Det är producenten IVT som har en funktion i deras bergvärmepump IVT PremiumLine EQ [18] som automatiskt reglerar tillgången på varmvatten efter behovet. Den innehåller en patentsökt funktion för styrningen av detta och är den produkt som mest liknar vad det här arbetet handlar om.

Tillverkaren Whirlpool har en variant av Smart Control-styrd varmvattenberedare som funnits några år på marknaden [19]. Den har en till synes enklare adaptiv styrning med några få villkor. Två elpatroner finns i beredaren. En i den lägre delen av tanken och en i den övre. Då den lägre registrerar en sänkning av temperatur under en viss tid uppfattar systemet detta som ett mindre uttag och sänker temperaturen i tanken lite grann. Påverkas däremot den övre uppfattas det som ett större uttag och temperaturen i tanken höjs med ett visst antal grader. På det här sättet ska systemet variera mellan satta min- och maxtemperaturer, spara energi genom lägre tomgångsförluster och samtidigt klara de komfortkrav som ställs.

4.2 Analys av mätdata

4.2.1 Möjliga energivinster

Den procentuella energivinsten avgörs av det ΔT som bildas mellan varmvattenberedarens medeltemperatur och den omgivande temperaturen i en given varmvattenberedare med en given isolering. Om två ΔT relateras till varandra fås en kvot som kan omvandlas till procent. Den procentsatsen motsvarar energibesparingen och med en Smart Control ska en lägre medeltemperatur kunna uppnås.

Beroende på hur stor transmissionsförlusten är genom varmvattenberedarens isolering blir energivinsterna olika stora. Den procentuella vinsten är fortfarande densamma mellan olika medeltemperaturer men med sämre isolering ökar effekten från transmissionsförlusterna och därför blir energimängden också större över en given tid.

4.3 Viktiga funktioner för en Smart Control

För att minska energianvändningen och därmed placera NIBE Energy Systems varmvattenberedare i högre energiklasser är följande kriterier förslag från det arbete projektgruppen gjort. Kriterierna är tänkta att ge förståelse för hur en Smart Control agerar.

Legionella

På grund av risk för bakterietillväxt rekommenderas vattentemperaturen nå 65 °C efter ett visst tidsintervall. Vid den temperaturen dör legionellabakterierna inom tio minuter. Tidsintervallet i befintliga beredare har NIBE Energy Systems erfarenhetsmässigt satt till var 14:e dag. Det här kommer med all sannolikhet behöva korrigeras om Smart Control används och systemets arbetstemperatur tillåts bli lägre eftersom bakterietillväxten då blir större. Dessa temperaturhöjningar föreslås ske vid tillfällen då värmebehov föreligger för att förhindra uppvärmning som endast går till spillo via tomgångsförluster [20].

En varm dusch

Vid perioder då inget varmvattenuttag förväntas ske ska det ändå alltid finnas en energireserv motsvarande fem minuters dusch i beredaren. Eftersom systemet inte alltid kommer förutse rätt energibehov är det här ett sätt att försöka säkerställa komfortkraven.

En kall dusch

Temperaturen får inte understiga 45 °C vid den övre givaren i varmvattenberedaren. Den övre givaren garanterar en viss volym och därmed energimängd medan temperaturen garanterar att vattnet uppfattas som tillräckligt varmt även vintertid.

Smart Control i Autoläge

Temperaturen på vattnet i varmvattenberedaren får inte överstiga 65 °C i "Autoläge" om inte en blandare finns ansluten till den. Detta för att Boverkets byggregler anger en maxtemperatur 60 °C tillgänglig vid tappstället på grund av risk för skållning [21]. Autoläget bör ha möjlighet att arbeta med temperaturer upp till förslagsvis 80 °C. Om användaren upplever att varmvattnet vid flera tillfällen inte räcker till, kan temperaturen för autoläget då höjas och en ny inlärningsperiod startas.

Boost

En "boostfunktion" (knapp) rekommenderas som åsidosätter Smart Controllern en viss tid och slår på elpatronen. Den är tänkt att nyttjas när brukaren vet med sig att uttag kommer ske som är större än motsvarande tid veckan innan.

Superboost

En tänkt funktion (knapp) för att undvika överdimensionerade tankvolymmer som blir oundvikliga om den tidigare vanliga systemtemperaturen 80 °C sänks till 65 °C. Genom att

tillfälligt låta systemet nå 80 °C kan systemet ge samma energimängd som tidigare men samtidigt ha fördelen att spara energi då temperaturen senare sänks och en lägre medeltemperatur erhålls. Tillåts temperaturen tillfälligt nå 80 °C för att tillfredsställa ett temporärt energiuttag måste en blandare på beredaren säkerställa att 65 °C lämnar den och inte mer.

Hur mycket längre kan jag duscha?

Att använda en display som visar kvarvarande minuter som finns att duscha i 40 °C vatten är en idé projektgruppen fick under arbetets gång. Genom att ge användaren den informationen har den en chans att planera sin dusch. Dels kan personen se hur länge den kan duscha men också få en utmaning i att försöka förbruka så få minuter som möjligt med energivinster som följd.

Semester

När ingen befinner sig i byggnaden behöver inte heller varmvatten finnas där. En semesterfunktion (knapp) ska hålla vattentemperaturen över fryspunkten i systemet och tillsammans med kriterie 1 undvika tillväxt av legionellabakterier.

Inlärningsperiod

Systemet lär sig vilken energi som behövs vid olika tillfällen genom att mäta tid. Eftersom effekten alltid är känd ger tiden all nödvändig information. Tiden som mäts är den som åtgår tills samma temperatur som innan tappningen började har uppnåtts. Den plus 30 minuter markerar tillfället nästkommande vecka då systemet ska börja sin uppvärmning. De extra 30 minuterna är tänkta som marginal för att parera oregelbundna brukarbeteenden. Förslagsvis är inlärningsperioden en vecka men om den istället bör vara två eller tre veckor är beslut som måste tas efter praktiska försök.

Temperatursänkning

Systemet vet när energi används genom att mäta hur temperaturen varierar över tid. En viss derivata dt/ds (t =temperatur [°C], s =tid [s]) anger att det sker. Vilken derivata som är lämplig har inte utretts av projektgruppen men när den satta parametern inte överskrids och ett uttag kan förmodas inte ha skett ska systemet reagera med att sänka temperaturen till lägstanivån 45 °C för motsvarande tidpunkt veckan efter. Derivatans bör övervakas förslagsvis en timme efter att systemet förberett ett uttag.

Temperaturökning

Smart Controllern måste också veta när varmvattnet den förberett inte räckt till och justera värdet inför kommande vecka. Förslagsvis sker det när den övre givaren registrerar en temperatur som är lägre än 40 °C. Om det händer kan inte längre reservvärmens för fem minuters dusch garanteras och systemet har enligt projektgruppens sätt att se det inte gjort sitt jobb. Temperaturen sätts till 40 °C på grund av hänsyn till den pendling som ofrånkomligen sker kring bör-

värdet. Kriterie 3 vill ha temperaturen 45 °C och försöker uppfylla det. Däremot kommer temperaturen fortsätta någon grad ner under detta innan den börjar öka igen. Därför får inte systemet boosta direkt när det sker eftersom det då skulle göra det hela tiden. Rekommendationen är sedan att Smart Controllern vid motsvarande period kommande vecka gör samma förfarande som under inlärningsveckan. Den värmer alltså vattnet till 65 °C, eller annat satt börvärde, låter tappningen ske och mäter tiden att uppnå börvärdet igen. Det här kan mycket väl hända vecka efter vecka vid samma tid men är i sådana fall precis som det ska eftersom systemet då kommer ha maximal energimängd tillgänglig.

5 Konklusion/Slutsats

De varmvattenberedare ur NIBE Energy Systems sortiment som riskerar att inte klara de uppsatta kraven för verkningsgrad år 2015, kommer med största sannolikhet göra det med hjälp av Smart Control. Siffran 2-3 % är den ökning av verkningsgrad som kan förväntas och då är inte längre verkningsgraden ett problem.

Figur 11, Figur 12 och Figur 13 visar att energiuttaget relaterat till installerad beredares kapacitet avgör energibesparingen. Behöver användaren 50 % av beredarens kapacitet är det just den som ska finnas tillgänglig. Det resulterar i lägre medeltemperatur, mindre temperaturskillnad mellan tanken och omgivningen och därmed lägre transmissionsförluster.

Isoleringen är avgörande för besparingspotentialen från en Smart Control. Figur 15 visar att en "oändligt bra" isolering inte ger några transmissionsförluster. Eftersom det är de som utgör potentialen finns ingen möjlighet till besparing i det fallet. Motsatsen är att inte ha någon isolering alls. Materialet som omsluter vattnet blir då avgörande och ett högt U-värde ger snabbt stora förluster när differensen mellan omgivande temperatur och varmvattenberedarens ökar. Här finns då betydande transmissionsförluster för Smart Controllern att arbeta med och varje grad medeltemperaturen kan sänkas ger en betydande besparing.

6 Diskussion

Rapporten skulle undersöka om den adaptiva styrningen Smart Control kunde vara ett sätt att uppfylla de nya energikraven i lot 2 från EU. Som det verkar är det fullt möjligt vilket gör att hela NIBE Energy Systems sortiment klarar ställda krav istället för så som det var innan då enstaka inte gjorde det.

Förutom att undersöka potentialen med Smart Control, skulle vi samtidigt tolka styrningen för att vidarebefordra det vi såg till NIBE Energy Systems, för att de i sin tur skulle få ökad förståelse för hur den går till. Vi har sett flera mönster i de diagram vi skapat och på samma gång funderat kring hur vi själva skulle vilja att systemet fungerade. Därför tror vi att NIBE Energy Systems kan få användning av det vi lärt oss i deras fortsatta arbete med produktutveckling.

Den Smart Control vi i inledningen själva tänkte ta fram övergavs. Eftersom mätdataanalysen visade sig vara den i särklass viktigaste delen av arbetet lät vi den ta lång tid. När vi tyckte den gett oss tillräckligt många ledtrådar åt ett eget system koncentrerade vi oss istället på rapportskrivning. Som alternativ till en färdig Smart Control när inte tiden räckte till ville vi formulera bra villkor åt styrningen.

6.1 Arbetets gång

På grund av att projektet bestämdes först två veckor efter kursens start förlorades användbar tid. Däremot bedrivs examensarbetet parallellt med ytterligare en kurs under hela tiden eftersom arbetstakten är planerad att motsvara halvtidsstudier. Det gav möjligheten till utjämning mellan kurserna och mer tid kunde planeras åt den andra kursen i inledningen av perioden.

Den tidsplan som skapades från början innehöll många uppskattningar. Skälet till det är den osäkerhet som fanns kring vad det var vi egentligen skulle ägna oss åt. Ett grundläggande upplägg fanns och vi visste delvis vad som skulle göras men hur lång tid det skulle ta hade vi mycket liten uppfattning om. Det har lett till ändringar under arbetets gång och den slutgiltiga tidsplanen har både tillägg och frändrag jämfört med den ursprungliga. Under tiden som arbetet fortskredit och vi fått större förståelse kring problemet upptäckte vi fler ämnen att ta upp. Det har gjort att tiden vi lagt på projektet ökat efter hand.

Den litteraturstudie som gjordes i början av projektet kan utökas med hjälp av sökningar i fler databaser. Kanske finns det tidigare gjorda rapporter som undersöker samma problemställning? Överlag verkar det emellertid svårt att hitta sådana utredningar. Antagligen hör det ihop med att det först nu ställs tydliga krav som tvingar fram den här typen av utrustning.

Intervjuer är ett instrument som kanske kunde hjälpt oss mer i arbetet. Våra handledare har gett oss mycket hjälp med svar på frågeställningar om allt från rapportdisposition till hur spri-darna för kallvatten ser ut i varmvattenberedarna. På samma sätt kunde kanske andra människor hjälpt oss med förståelsen av systemet Smart Control och adaptiv reglering.

6.2 Funderingar kring ämnen som förekommer i arbetet

6.2.1 Energiklasser

De kommande energiklasserna kommer från och med 2015 heta C, B, A, A+, A++ och A+++ . Det här är inte tydligt för konsumenter. Står det att produkten uppfyller klass A kan det tolkas som att det är den bästa klassen. Om kunden står bredvid två olika produkter där den ena tillhör klass A och den andra A+++ kanske kunden ser att det är skillnad på dem men överlag borde A vara den absolut bästa, inte A+++ . A++ blir då i sådana fall B etc.

6.2.2 Givarnas placering

För en 100-liters beredare tros placering av våra två givare fungera bra. Dock kommer dessa behöva flyttas beroende på storleken på beredaren för att få så bra funktion som möjligt. Därför hade det varit en stor fördel om givarnas placering varit justerbar.

En fördel med flyttbara givare hade för en beredare med samma storlek också kunnat vara att placera den övre givaren högre upp. Då får man en mindre energireserv som också kan påverka medeltemperaturen i beredaren och därmed besparingen.

6.2.3 Inlärningsperiod

Vi refererar hela tiden i texten till “nästkommande” vecka och “föregående vecka”. Det syftar på att systemet alltid läser en vecka bakåt i tiden och jämför värden för att anpassa den aktuella veckan. Att endast se en vecka bakåt i tiden kan tänkas vara för kort tid. Om systemet istället ser två eller tre veckor bakåt och bildar medelvärden av dessa kanske komfortkraven uppfylls bättre. Det här är något som också behöver testas i verkligheten eller åtminstone simuleras. Någonstans måste man emellertid dra gränsen för hur långt bak i tiden systemet ska titta. Låt säga att någon användare har en hobby som utförs var femte vecka. Ska då systemet vara så smart att det vet om det? Troligtvis inte eftersom det blir alldeles för lång tid att hålla reda på.

6.2.4 Justerbar lägsta temperatur

Vid flera tillfällen nämner vi att den reservenergi vi vill ha i tanken är den som motsvarar 45 °C vid övre givaren. Det kravet formas främst av två orsaker. Den ena är att värme förloras vid transporter i rör. Genom att ha 45 °C från början är det sannolikt att 40 °C når tappstället. För det andra är 45 °C anpassat så att det alltid ska finnas energi till fem minuter dusch i en 100-liters beredare. Den tiden känns rimlig eftersom man då kan ta en snabb dusch utan att systemet förberett någon tappning.

Däremot är det kanske inte alltid 45 °C fungerar bäst för alla användare, därför har vi också funderat på om denna temperatur skulle kunna vara justerbar. Om tappstället finns mycket nära varmvattenberedaren kanske temperaturen kan sänkas och ändå upplevas som tillräckligt varm med ännu lägre medeltemperatur och större energivinster som följd. Om tappstället är långt ifrån

varmvattenberedaren behöver temperaturen kanske istället höjas för att inte upplevas som för kall.

Om reservenergin kan justeras via reglering av temperaturen vid den övre givaren kan det leda till att vår Smart Control inte bara blir anpassad till en 100-liters beredare. Den skulle kunna bli mer flexibel och användas i olika tankvolymmer inom vissa gränser. Om det här ska göras måste villkoren för styrningen ses över eftersom exempelvis boostvillkoret finns vid 40 °C.

7 Litteraturförteckning

- [1] "Om NIBE Villavärme," NIBE, [Online]. Available: <http://www.nibe.se/Om-NIBE/>. [Använd 05 03 2012].
- [2] Carlos Lopes, Linn Stengård - Energimyndigheten, "ecee pages on EuP Eco-design: Water_heaters - ECEEE," [Online]. Available: http://www.ecee.org/Eco_design/products/water_heaters/Swedish%20comments%20water%20heaters%202012-04-03.pdf. [Använd 12 03 2012].
- [3] Mattias Jönsson - Svensk Energi, "Produktion - Svensk Energi," Svensk Energi, 11 08 2011. [Online]. Available: <http://www.svenskenergi.se/sv/Om-el/Vattenkraft/Sa-tillverkas-el--vattenkraft/>. [Använd 18 03 2012].
- [4] "Utvecklingsindikatorer för länder - Google Public Data Explorer," Världsbanken, 30 03 2012. [Online]. Available: http://www.google.se/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&met_y=eg_use_elec_kh_pc&idim=country:NOR&dl=sv&hl=sv&q=elf%C3%B6rbrukning+norge. [Använd 10 04 2012].
- [5] "Utvecklingsindikatorer för länder - Google Public Data Explorer," Världsbanken, 30 03 2012. [Online]. Available: http://www.google.se/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&met_y=sp_pop_totl&idim=country:NOR&dl=sv&hl=sv&q=befolkningsm%C3%A4ngd+norge. [Använd 10 04 2012].
- [6] "Vattenkraft fortum.se," Fortum, 11 04 2012. [Online]. Available: <http://www.fortum.com/countries/se/om-fortum/energi-och-produktion/vattenkraft/pages/default.aspx>. [Använd 20 04 2012].
- [7] Carlos Lopes - Energimyndigheten, "Energimyndigheten - Varmvattenberedare," 23 02 2012. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/Global/F%c3%b6retag/Ekodesign/Ekodesign/Varmvattenberedare/2012-02-23%20Frukost%20seminarium%20Lot%201%20Lot%202%20cl.pptx>. [Använd 04 03 2012].
- [8] Elektor, "Självlärande förarlös traktor - ELEKTOR.SE," 27 09 2011. [Online]. Available: <http://www.elektor.se/nyheter/sjalvlarande-forarlos-traktor.1957967.lynkx>. [Använd 20 12 2011].
- [9] "Valutec Styrssystem," Valutec, [Online]. Available: <http://www.valutec.se/page/styrssystem/>. [Använd 03 12 2011].
- [10] "Home Solutions AB - Om Home Solutions," Home Solutions AB, [Online]. Available: http://www.homesolutions.se/modules/hs_info/index.php?id=4. [Använd 20 12 2011].
- [11] B. Thomas, i *Modern Reglerteknik*, Korotan, Ljubljana, Slovenien, Liber AB, 2008, p. 365.
- [12] B. Thomas, i *Modern Reglerteknik*, Korotan, Ljubljana, Slovenien, Liber AB, 2008, pp. 316-323.
- [13] B. Thomas, i *Modern Reglerteknik*, Korotan, Ljubljana, Slovenien, Liber AB, 2008, p. 367.
- [14] "Varmvattenkapaciteter - varmvattenberedare," NIBE Energy Systems, [Online]. Available: <http://www.nibe.se/Produkter/Varmvattenberedare/Varmvattenkapaciteter/>. [Använd 20 02

- 2012].
- [15] "Regelsamling för byggande, BBR," Boverket, Karlskrona, 2012.
- [16] "Efficient Water Heater, More Savings GE Appliances," GE Appliances, [Online]. Available: <http://www.geappliances.com/heat-pump-hot-water-heater/water-heater-efficiency-savings.htm>. [Använd 12 02 2012].
- [17] "All in one heatpump," Dongguan Keyang Energy-Saving Equipment Technology Co., Ltd., [Online]. Available: http://www.alibaba.com/product-gs/516820237/All_in_one_heat_pump_water.html. [Använd 15 02 2012].
- [18] "IVT PremiumLine EQ," NIBE Energy Systems, [Online]. Available: <http://www.ivt.se/pages/product.asp?IngID=344&IngLangID=1>. [Använd 10 03 2012].
- [19] "Whirlpool Water Heaters," Whirlpool, [Online]. Available: http://www.whirlpoolwaterheaters.com/learn_more/energysmartelectricwaterheateroperation.aspx. [Använd 13 04 2012].
- [20] Jönsson, Bertil, "Legionella - Boverket," Boverket, [Online]. Available: <http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Bygga-nytt/Tappvatten/Legionella/>. [Använd 01 04 2012].
- [21] Y. Svensson, "Boverket," 10 10 2011. [Online]. Available: <http://webtjanst.boverket.se/boverket/rattsinfoweb/vault/BBR/PDF/BFS2011-26-BBR19.pdf>. [Använd 05 03 2012].

8 Bilaga

8.1 Bilaga 1

I tabell 2 ses tio dygns olika medelvärden. De sju första är dygn utan Smart Control-styrning.

Tabell 2

Radetiketter	Medel av Alla givarnas medel- värde
01/23	60,2
01/24	59,6
01/25	59,1
01/26	60,3
01/27	56,1
01/28	60,5
01/29	57,6
01/30	50,9
01/31	52,6
02/01	50,7
Totalt	57,2