



AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ
Avdelningen för elektronik, matematik och naturvetenskap

Värmeåtervinning - styrning för frånluftsvärmepump i flerbostadshus

Rony Ali
2019-05-29

Examensarbete, Grundnivå (högskoleexamen), 15 hp
Elektronik
Automationsingenjör, CO-OP

Handledare: Niclas Björsell
Bitr. handledare: Torbjörn Petterson
Examinator: José Chilo

Förord

Examensarbetet har varit mycket berikande för mig som student då jag har fått projektera samt analysera om hur styr- och reglersystem fungerar inom fastighetsautomation. Projekteringen har varit mycket givande och visat hur styr- och reglersystem bidrar till energibesparingar samt kostnadsbesparingar för fastigheter. Även om arbetet har varit mycket lärorikt har det samtidigt varit en stor utmaning då ämnet behandlats minimalt tidigare under studierna. Examensarbete hade inte kunnat genomföras utan stöd från samtliga medarbetare på förteget Ståhlkloo AB samt handledare på högskolan.

Ett stort tack till Aidin Salehi, Torbjörn Petterson, Lars-Göran Westlund, Mia Mårdberg samt Niclas Björsell som har bistått med mycket värdefull information och handledning under studierna, praktikperioderna och framförallt med examenarbetet.

Sammanfattning

Ökad potential för minskning av energianvändning och hållbar tillväxt har gjort att FN skapat Agenda 2030. För att uppfylla Agendan genomförs därför olika energieffektiviseringsåtgärder. I svenska bostads- och varmvattenberedningssektorn har frånluftsvärmepumpen varit en betydelsefull faktor i skapandet av kostnadseffektiva samt energisnåla bostäder.

Flerbostadshuset *BRF Frånskiljaren* i Ludvika var inte försedd med någon form av moderniserad ventilationsanläggning. Ventilationen i flerbostadshuset har bestått av självdrag som är en beprövad metod där ventilationen drivs av termiska krafter. Stora åtgärder hade utförts i flerbostadshuset för att bibehålla komfortabel inomhustemperatur, kostnadseffektivisera samt minska energiförbrukningen. Åtgärderna utfördes i form av att installera nya frånluftsledningar i *BRF Frånskiljaren* för att kunna återvinna värme ur frånluften med hjälp av en frånluftsvärmepump. Vidare saknade fastigheten ett styr och reglersystem för värmeåtervinningen med hjälp av frånluftsvärmepumpen.

Med syfte att ordna ett styr- och reglersystem för värmeåtervinningen med hjälp av frånluftsvärmepumpen har styr- och reglersystem studerats på frånluftsvärmepumpar. Det övergripande målet med detta examensarbete har varit att skapa ett driftkort som beskriver styr- och reglersystemet med tillhörande funktionsbeskrivning och dokumentation för en frånluftsvärmepump.

Metoden som använts för att styra systemet och reglera värmen i flerbostadshuset *BRF Frånskiljaren* valdes av Ståhlkloo AB, vilket var att reglera med framkoppling och PID-reglering. Funktionaliteten hos driftkortet har programmerats in i en styrenhet i form av parameterinställningar i färdiga funktionsblock.

Under projektet designades ett driftkort med dess funktionalitet samt ett tillhörande användargränssnitt för en frånluftsvärmepump. Projektet kom i mål och en fullt fungerande styrning med tillhörande gränssnitt används idag och är i drift.

Abstract

The UN agenda 2030 for sustainable development seek to ensure access to affordable, reliable and modern energy. In the Swedish housing and hot water preparation sector, the exhaust air heat pump has been an important factor in the process of creating cost-effective and energy-efficient housing.

Before this project was conducted the apartment building *BRF Frånskiljaren* in Ludvika lacked a proper ventilation system. The ventilation in the apartment building came from natural ventilation. The natural ventilation is a well-known method where ventilation is created by thermal forces. Extensive work was carried out in the property in order to increase cost-efficiency and reduce the energy consumption. New exhaust air pipes were installed in order to recycle the heat from the exhaust air with an exhaust air heat pump. Furthermore, the property lacked a control system for the heat recovery of the exhaust air heat pump.

The purpose of this thesis work was to create a control system for the heat recovery by means of the exhaust air heat pump. The purpose was expected to be fulfilled by doing a study on the control systems on exhaust air heat pumps. Furthermore, the overall goal of the study was to create an operating card that describes the control system with associated function description and the documentation for an exhaust air heat pump.

The method used to control the system and regulate the heat in *BRF Frånskiljaren* was chosen by Ståhlkloo AB. The method included regulation with both feed-forward and PID-control. The functionality of the operating card was programmed into a control unit in the form of parameterization of finished function blocks

The project was completed with the implementation of a fully functioning control system with an associated user interface.

Innehållsförteckning

Förord.....	i
Sammanfattning	iii
Abstract.....	iv
1 Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål.....	2
1.3 Översikt	2
2 Teori	3
2.1 Frånluftsvärmepump.....	3
2.2 Fastighetsautomation.....	5
2.2.1 Datorhuvudcentral.....	7
2.2.2 Användargränssnitt.....	7
2.3 Styr- och reglersystem.....	8
2.4 PID-regulatorn.....	9
2.5 Styrning och reglering för värmesystem	10
2.6 Prognosstyrning för värmesystem	12
3 Process och resultat.....	14
3.1 Process	14
3.2 Resultat.....	17
3.2.1 Funktionsbeskrivning - driftkort.....	18
3.2.2 Funktionsbeskrivning, Reglering - värmekrets.....	20
3.2.3 Programkonfiguration.....	21
3.2.4 Användargränssnitt.....	22
4 Diskussion	24
5 Slutsatser	25
Referenser.....	26
Bilaga A	A

1 Introduktion

I detta avsnitt redogörs bakgrunden till projektet, syfte och mål samt en outline för disposition.

1.1 Bakgrund

Idag utgör fastigheter en stor del av energiförbrukningen i samhället. Energiförbrukningen som går åt till att värma upp bostäder och varmvattenbredning uppgår till ca 40 % av den totala energianvändningen i samhället, enligt den senaste rapporten från energimyndigheten. Där finns också kategorin hushåll och lokaler som står för 90 % av energianvändningen i hela den sektorn som motsvarade 40 %.

Ökade ambitioner för minskning av energiförbrukning har gjort att FN skapat *Agenda 2030* som en global överenskommelse, med målet att uppnå en mer hållbar utveckling. Bland de 17 universella målen finns punkt 11 som innebär hållbara städer och samhällen. Sverige har höga ambitioner att uppfylla kraven och har tillsatt en handlingsplan. Arbetet kommer att undersöka hur energiförbrukningen kan minskas i fastigheter i enlighet med *Agenda 2030* målsättningar.

Med dagens teknik finns det olika tillvägagångssätt för att minska energiförbrukningen i fastigheter. Betydande faktorer för energiförbrukningen i flerbostadshus beror idag dels på belysning och ventilation, men till största del av uppvärmning [1]. Projektet har tagits fram av företaget Ståhlkloo AB som projekterar inom fastighetsautomation. Fastighetsautomation relateras till att reglera, styra samt att övervaka system i en fastighet [2]. Syftet är att på ett automatiskt och intelligent sätt kontrollera delsystem såsom värme-, belysning-, ventilation- och luftkonditioneringsystem utifrån ett centralt system i syfte att åstadkomma kostnadseffektiva samt energisnåla lösningar.

Flerbostadshuset *BRF Frånskiljaren* i Ludvika var inte försedd med någon form av ventilationsanläggning. Ventilationen i flerbostadshuset har bestått av självdrag som är en beprövad metod där ventilationen drivs av termiska krafter. Stora åtgärder utfördes i flerbostadshuset för att bibehålla komfortabel inomhustemperatur, kostnadseffektivisera samt minska energiförbrukningen. Åtgärder utfördes i form av att installera nya frånluftsledningar i *BRF Frånskiljaren* för att kunna återvinna värme ur frånluften med hjälp av en frånluftsvärmepump.

1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet var att ordna ett styr- och reglersystem för värmeåtervinningen med hjälp av frånluftsvärmepumpen för ett flerbostadshus. Det övergripande målet med detta examensarbete är att skapa ett driftkort som beskriver styr- och reglersystemet, en tillhörande funktionsbeskrivning och dokumentation för en frånluftsvärmepump. Driftkortet avses utvecklas genom att analysera tidigare projekt där Ståhlkloo AB framställt liknande driftkort för flerbostadshus. Styr- och reglermetoden som skulle användas för frånluftsvärmepumpen valdes av Ståhlkloo AB, vilket var att reglera med framkoppling och PID-reglering. Funktionaliteten för det utvecklade driftkortet avses sedan att programmeras in en styrenhet. Avslutningsvis ska ett tillhörande användargränssnitt för styrning och övervakning utformas för frånluftsvärmepumpen.

1.3 Översikt

I avsnitt 2 Teori redovisas all bakgrundsfakta om styr- och reglersystem samt frånluftsvärmepumpens funktion och uppbyggnad. Teori som berör examensarbetet samt teori som kan förbättra arbetet tas också upp. I avsnitt 3 Process och Resultat presenteras hur projektet genomförts, i fas från dokumentation av textbearbetning, driftkort med tillhörande driftinstruktioner, konfiguration av program, skapande av gränssnitt samt vilka resultat projektet uppnått. I avsnitt 4 Diskussion kommer de valda metoderna för arbetet att kommenteras, mot bakgrund till de resultat som erhållits i projektet och tillhörande teorier. Slutligen kommer det kortfattat i avsnitt 5 Slutsatser de viktigaste slutsatserna återupprepas om projektet som i fullo återfinns i diskussionsavsnittet, samt förslag till utveckling av projektet inkluderas. Exempelvis ges förslag till förbättrad metodik.

2 Teori

I detta avsnitt redogörs för en teoretisk referensram med avsikt att ge en övergripande beskrivning av styr- och reglersystem inom fastighetsautomation. Avsnittet avser att beskriva hur en frånluftsvärmepump är uppbyggd och fungerar, teorin bakom fastighetsautomation och hur begreppet används för att optimera inomhusklimatet. En beskrivning av hur ett styr- och reglersystem är uppbyggt och används presenteras, där en grundläggande teori bakom två olika regler-principer omnämns. PID-regulatorn, som är en av de vanligaste implementationerna av ett styr- och reglersystem, beskrivs översiktligt. Avsnittet beskriver även den bakomliggande teorin av hur värmesystem kan styras och regleras med hjälp av framkoppling. Avslutningsvis beskrivs en annan system-princip för styrning och reglering av värmesystem.

2.1 Frånluftsvärmepump

Den fundamentala principen för en värmepump grundar sig i att effektivt ta fördel av övergången mellan gas- och vätskefas i ett köldmedium. Detta görs genom att ändra köldmediets kokpunkt genom tryckvariationer. Om trycket minskar så sjunker förångningstemperaturen och när trycket ökar så stiger förångningstemperaturen. Genom att använda övergången mellan gas- och vätskefas är det möjligt att utvinna värmeenergi från omgivningen om kokpunkten på köldmediet kan sänkas så pass mycket att det kokar vid omgivande temperatur. Värmeenergi tillförs när köldmediet kokar. För att sedan utvinna den tillförda värmeenergin behöver köldmediet övergå till vätskefas igen, övergången från gas till vätska frigör värmeenergi.

Frånluftsvärmepumpens funktion är att återvinna värmen från frånluftsventilationen i en fastighet och sedan återanvända den som tillägg till en värmekälla. Denna process fungerar som ett slutet system som hela tiden återvinner värme från luften [3]. Optimering av VVS-system (värme, ventilation och sanitet) har länge varit en bidragande del för att öka energieffektiviteten och minska energikostnaderna [4], se Fig.1.

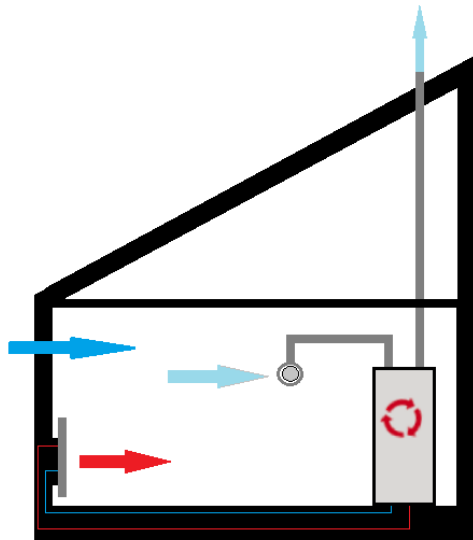


Fig.1 Frånluftsvärmepump funktion.

Frånluftsvärmepumpens uppbyggnad kan studeras med hjälp av konstruktionen i Fig. 2. Uppbyggnaden brukar delas upp i fem delar. I det slutna systemet cirkulerar ett köldmedium som har låg kokpunkt. Den återvunna värmen från frånluften värmer köldmediet i förångaren, där trycket är lågt vilket medför att köldmediet kokar vid omgivande temperatur och övergår till gas. Trycket höjs med hjälp av en eldriven kompressor. Den uppvärmda gasen passerar sedan kondensorn som är sammankopplad till värmesystemet. Kondensorns uppgift är att få gasen att kondensera till vätska så att temperaturen minskar. Den avgivna värmeenergin tas upp av värmesystemet. Expansionsventilen har som funktion att sänka trycket på köldmediet som passerar [5].

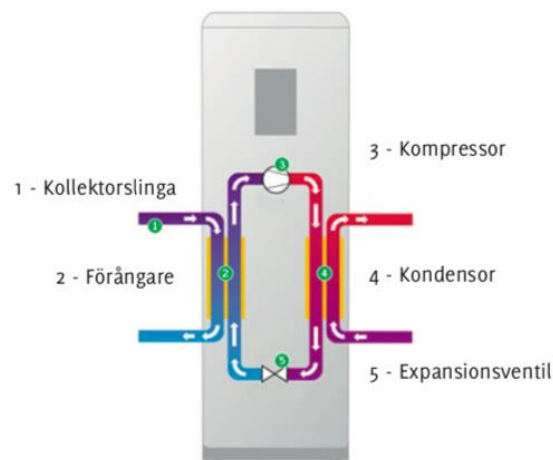


Fig.2 Frånluftsvärmepumpens uppbyggnad [5].

Verkningsgraden på värmepumpar anges i form av värmefaktorn (ϵ). Värmefaktorn anger sambandet mellan avgiven värmeenergi vid kondensorn och den tillförda driftenergin (kompressoreffekten). En hög värmefaktor innebär en bra värmepump. För att uppnå detta måste styr- och reglerparametrar ställas in på rätt sätt så att temperaturskillnaden mellan den upptagna värmen i förångaren och den avgivna värmen i kondensorn är minimal. Stora temperaturskillnader kan medföra en sämre värmefaktor.

Värmefaktorn benämns även som COP-värdet (Coefficient Of Performance) vilket beskriver värmepumpens effektivitet. COP-värdet förändras med det slutna systemets temperaturskillnad och har en utsträckning på 3–4 [5]. En bra värmefaktor innefattar att värmeåtervinningen som har gjorts är 3–4 gånger högre än den tillförda elektriska energin.

2.2 Fastighetsautomation

Fastighetsautomation (BAS) har i syfte att på ett automatiskt intelligent sätt kontrollera alla styrningar samt regleringar i en fastighet [6]. Strukturen av BAS baseras på ett flertal mindre delsystem i fastigheten. Huvuduppgiften för BAS är att åstadkomma kostnadseffektiva samt energisnåla lösningar. För att kunna uppnå dessa mål styrs samt regleras alla delsystem såsom värme, belysning, ventilation och luftkonditioneringssystem automatiskt i ett centralt system [7]. Fastighetsautomation har sedan länge varit en stor källa för att minimera energiförbrukningen samt att kostandseffektivisera fastigheter. Rätt optimerad BAS leder till ökad komfort inomhus samt underlättar underhåll på all utrustning. Detta blir möjligt då det centrala systemet innehåller all styrning och övervakning [8].

För att kunna styra samt övervaka alla delsystem som ingår i en fastighet delas BAS upp i tre olika nivåer, se Fig. 3. Dessa tre nivåer är:

- Management system level/Informationsnivå
- Automation level/ Automationsnivå
- Field level/Fältnivå

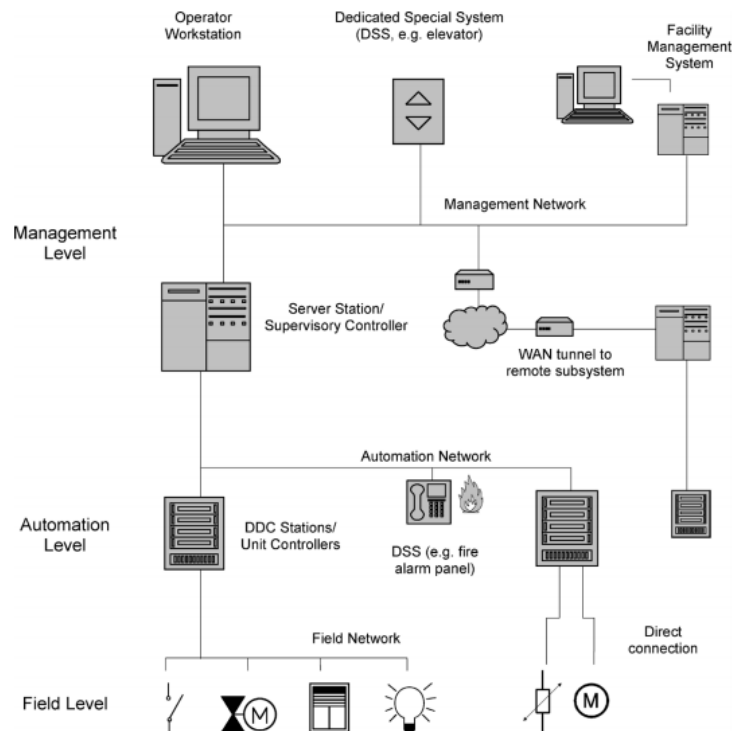


Fig.3 Automationsnivåer uppbyggnad [6].

Informationsnivån (Management system level) är den mest avancerade nivån. Stora datamängder från de olika systemen samlas in i informationsnivån för bearbetning vilket gör det mycket avancerad. För att förbättra styrningen då stora datamängder bearbetas kan optimeringar ske på basis av tidigare datamängder. Informationsnivån är förutsättningen för de två underliggande nivåerna, vilket innebär att denna nivå är ett krav för att kunna styra samt övervaka de underliggande systemen. Styrning och övervakning inom fastighetsautomation sker med hjälp av en datorhuvudcentral (DHC).

På informationsnivån redogörs alla start- och stoppfunktioner, larmhantering samt förändringar i bör- och Ärvärdet i ett användargränssnitt. Förändringar i bör- och Ärvärdet görs med hjälp av program avsedda för dessa funktioner som är uppkopplade till nätet och molntjänster. En molntjänst är en IT-struktur som gör information tillgänglig för användare via internet. Molntjänster är utformade att ge åtkoms till program, och funktioner via en central enhet istället för att styra dessa från enskilda enheter. Styrning samt övervakning via nätverk och molntjänst ökar tillgängligheten till alla system. Molntjänst- och nätövervakning möjliggör företagsbesparingar, då systemen är utspridda i olika delar av staden men kan ändå hanteras samtidigt [6].

Automatiserade regleringar med särskilda övervakning på maskiner i drift faller under automationsnivån (automation level). På automationsnivån görs all reglering som berör de mekaniska samt elektroniska komponenterna/maskinerna [6]. Komponenterna/maskinerna är helt automatiserade och kommunicerar med varandra vilket leder till självständigt utförda arbeten. Eftersom all reglering som berör driften faller under automationsnivån påverkar inte avvikelser på informationsnivån denna nivå då allt är i normaldrift. Detta leder till att vid fel på informationsnivån kan driften av maskinerna fortsätta. Komponenterna och maskinerna placeras oftast i apparatskåp med manövrering nära intill. Syftet är att driften ska kunna stoppas omedelbart vid allvarliga fel [6].

Fältnivån (Field level) är den lägsta nivån inom fastighetsautomation och här sker all styrning som är direkt kopplade till någon maskin. Specifika styrningar görs för varje del av fastigheten som är uppdelade i flera zoner. Här samlas all information in från givare som sedan skickar ut specifika signaler till olika typer av styrningar såsom t.ex. styrning av pumpar och fläktar.

2.2.1 Datorhuvudcentral

Huvudcentralen är ett övergripande system med uppgiften att lagra all information från alla styrenheter som är uppkopplade mot systemet. För att inte överbelasta datorhuvudcentralen ansluts ett antal undercentraler (DUC) [9] till datorhuvudcentralen. En DUC fungerar som en styrenhet och har som uppgift att få alla styrenheter att kommunicera med varandra i de olika delsystemen. En DUC består av flertal digitala och analoga in- och utgångar samt en mikroprocessor [6]. Mikroprocessorn i en DUC har som funktion att styra samt reglera alla logiska funktioner och används oftast till shuntventiler i fastighetsautomation.

2.2.2 Användargränssnitt

Human machine interface (HMI), översätts till *människa-maskin-gränssnitt* eller användargränssnitt. Det är en mjukvara som används för att övervaka maskiner samt att hantera larm. HMI används också till att styra och reglera maskinerna i realtid samt till att komma åt information på de maskiner som är kopplade mot systemet [10]. Gränssnittet är mestadels webbaserat via molntjänster vilket gör det möjligt att kommunicera trådlöst med systemen via mobiltelefoner, surfplattor och datorer. Då all integrering samt programkonfigurering sker i HMI:et ökar tillgängligheten till systemen och underlättar arbetet för underhållspersonal, då alla ändringar samt bevakningar kan ske via en eller flera datorskärmar som visar hela processen i en översiktlig bild.

Vid användning av HMI hanteras stora mängder av data, vilket har lett till att specifika gränssnitt skapats: Supervisory Control And Data Acquisition system (SCADA). SCADA-gränssnitt är vanligt förekommande inom industrier och har blivit allt vanligare inom fastighetsautomation. Dessa gränssnitt gör det möjligt att fjärrstyra system via molntjänster, vilket leder till att realtidsdata samt loggade värden kan presenteras i överskådliga diagram och tabeller [10].

2.3 Styr- och reglersystem

Styr- och reglersystem innefattar i princip samma sak, men skiljer sig på en avgörande punkt, se Fig.4–5 [11]. Styrsystem innefattar ett öppet system och saknar återkoppling. Detta gör att vid all form av styrning skall det finnas god kännedom om systemet för att inte påverkas av störningar i form av exempelvis utomhustemperaturen och brus. Små störningar kan påverka systemet och förstöra den önskade utsignalen. Reglersystem innefattar en samling av metoder för att få ett system att tillgodose de behov som ställts på systemet. Vid reglering finns det återkoppling i systemet vilket innebär att störningar som kommer in i systemet behandlas [9].

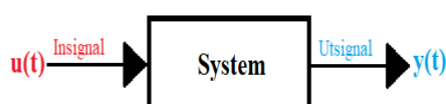


Fig. 4 Styrning utan återkoppling.

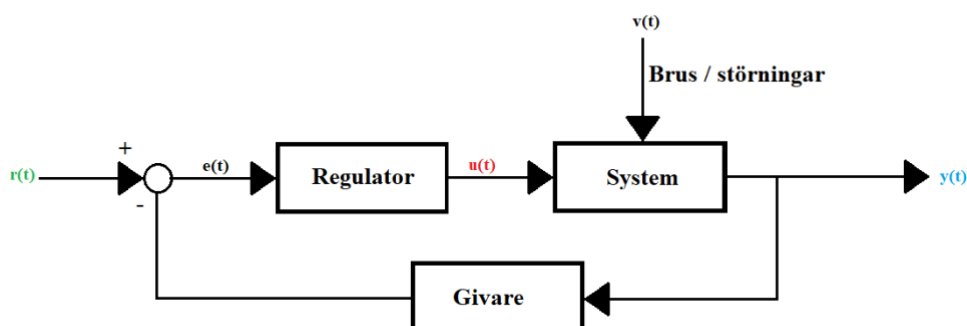


Fig. 5 Reglersystem med återkoppling.

En övervägande del av dagens styr- och reglersystem är programmerade att automatiskt kompensera eventuella avvikelser. Kompensationen sker omedelbart och resulterar i att systemet försöker bibehålla ett önskat värde baserat på en referenssignal [12]. Automatiserade styr- och reglersystem samt brandskydd för värme, kyl och ventilation i bostäder är idag ett krav enligt boverkets byggregler [13].

2.4 PID-regulatorn

Inom styr- och reglerteknik förekommer olika strategier på hur ett system med återkoppling skall styras. Vid avancerad styrning och reglering behövs återkoppling i ett system [9], se Fig.6. Återkopplingen har som uppgift att reducera bort brus samt störningar för att få önskat Börvärde. För att styra denna typ av återkopplade system används oftast PID-regulatorer, andra typer av regulatorer förekommer men kommer inte att omnämnas vidare.

PID-regulatorn delas upp i tre olika delar. Den första delen, även kallad P-del, består av en proportionell reglering. Proportionell reglering innebär att regulatorn enbart tar hänsyn till reglerfelet, d.v.s. skillnaden mellan Bör- och Ärvärdet, och påverkar systemet proportionerligt. P-delen har en direkt inverkan på hur aggressivt regulatorn försöker kompensera för reglerfelet. Denna typ av reglering är en effektiv strategi inom styr- och reglerteknik, men har dock brister. Ett kvarstående fel kan uppstå vilket gör att det faktiska Ärvärdet inte stämmer med det önskade Börvärdet [14].

För att eliminera det kvarstående reglerfelet läggs en integrerad del till på den proportionella delen, även kallad PI-del. Den integrerande delen bestämmer hur snabbt det kvarstående felet ska elimineras. Den integrerande delen gör att PI-regulatorn blir en aning långsammare än P-regulatorn [14]. 90 % av dagens regulatorer är PID-regulatorer, men dock ställs endast PI-parametrar in i de flesta fallen eftersom den deriverande delen inte avses användas [15]. Detta beror på att den deriverande delen kan medföra att systemet blir störningskänsligt och i verkligheten kan de flesta reglerproblem lösas med enbart PI-delen [14].

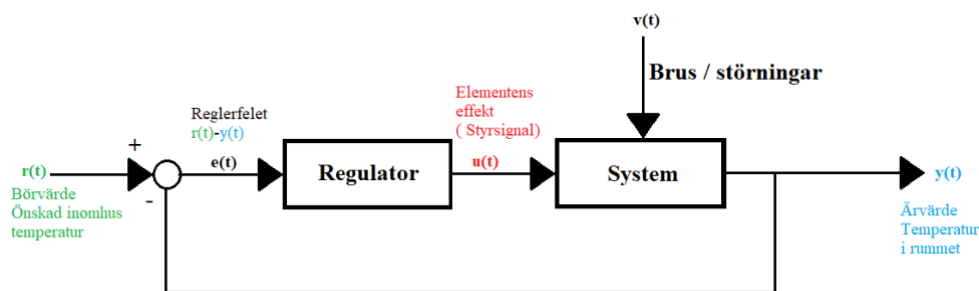


Fig.6 Avancerad styrning och reglering för exempelvis inomhustemperatur.

2.5 Styrning och reglering för värmesystem

En betydande faktor till varför energiförbrukningen har minskat är att antalet värmepumpar har ökat kraftigt [16]. Intelligent styrning samt regleringar har implementerats på dessa värmepumpar för att därmed kunna avgöra hur mycket energi som skall tillföras för att bibehålla komfortvärme.

Styr- och reglering för värmesystem i flerbostadshus styrs idag med hjälp olika metoder. Den vanligaste metoden för att reglera värme i flerbostadshus är att reglera efter angiven effekt orsakad av framledningstemperaturen (framkoppling) i vattenburna system såsom golvvärme och radiatorer. Framledningstemperatur är den temperatur köldmediet i systemet har i början av ett golvvärme- eller radiatorsystem [5].

Rätt framledningstemperatur i ett värmesystem erhålls genom reglering av shuntventiler. Regleringen av temperaturen sker mellan primär- och sekundärkretsen i värmesystemet vilket också är huvuduppgiften för shuntgruppen. Det effektivaste sättet att sköta regleringen är via ett reglersystem. Reglersystemet kontrollerar en elektrisk motor som styr en shuntventil med hjälp av en reglercentral. Reglercentralen har ett flertal givare som känner av:

- A. Utomhustemperatur
- B. Inomhustemperatur
- C. Framledningstemperatur

Givarna i reglercentralen sänder signaler till reglersystemet som utifrån en förutbestämd kurva, se Fig.7, avgör vilken framledningstemperatur styrmotorn ska föra in till värmesystemet. Den förutbestämda kurvan fastställer förhållandet mellan framledningstemperaturen och utomhustemperaturen. Radiatorernas värmeavgivning är olinjära jämfört med radiatorernas temperatur vilket gör att reglerkurvorna blir böjda [5]. Framledningstemperaturen i flerbostadshus styrs och regleras med hjälp av temperaturen utomhus; kallare utetemperatur innebär högre framledningstemperatur. Bäst verkningsgrad erhålls genom att hålla temperaturen i primärkretsen så hög som möjligt.

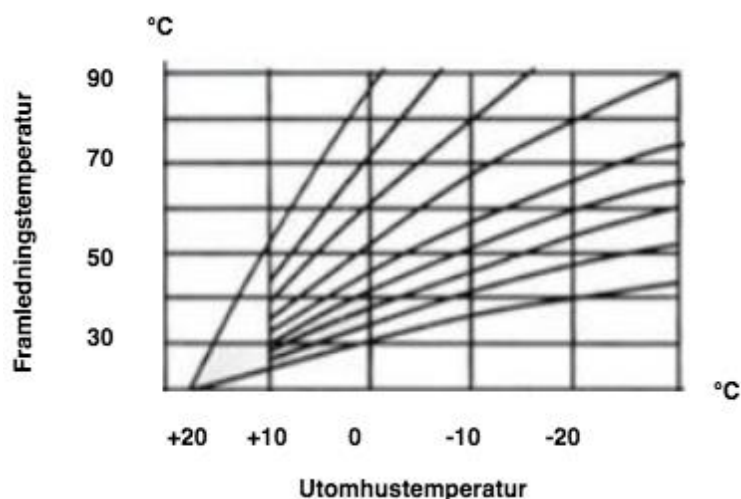


Fig.7 Reglerkurva baserad på framledningstemperatur och utetemperatur [5].

Reglering med hjälp av utomhustemperatur är en mycket effektiv metod men har dock brister. Utomhustemperaturen som referenssignal tar inte hänsyn till interna värmestillskott som t.ex. antalet personer som avger värme i rummet. Då interna värmestillskott förekommer leder regleringen till att det blir en oönskad ökning av temperaturen inomhus (övertemperatur). Övertemperatur kan även inträffa då utomhustemperaturen oscillerar kraftigt. Värmeeffekten inomhus stiger då kylan inte hinner påverka fastigheten på grund av fastighetens värmetröghet [5]

Kalibrerade termostatventiler med en maxbegränsning på radiatorerna är därför ett förekommande komplement till systemet. Termostatventil består av två åtskilda delar, dels av en ventil som sitter i framledningsröret och sedan termostaddelen som skruvas fast på ventilen. Termoventilerna programmeras att vid övertemperatur begränsas värmeflödet, vilket exploaterar värmestillskottet i fastigheten [5].

2.6 Prognosstyrning för värmesystem

Som tidigare nämnts, är framkoppling, d.v.s. att styra och reglera efter önskad framledningstemperatur, den vanligaste metoden för att erhålla önskad temperatur i fastigheter. För att erhålla rätt framledningstemperatur styrs och regleras systemen efter en förutbestämd kurva som fastställer förhållandet mellan framledningstemperaturen och utomhustemperaturen. Detta innebär att utomhustemperaturen har en stor inverkan på fastighetens värmebehov [5][17].

Prognosstyrning har sedan länge varit en effektiv metod för att styra samt reglera värmebehovet till en fastighet. Denna metod tillämpas då utomhustemperaturen används som referens för ett värmesystem. Rätt värmebehov till fastigheten bestäms då utifrån väderprognoser som informerar om alla parametrar som har en inverkan på utomhustemperaturen [17]. Parametrar som solpåverkan och vindförhållanden kan påverka utomhustemperaturen. Exempelvis används denna metod då väderprognoser förutsäger att nästkommande dag ska bli varm. Värmesystemet minskar då värmeförseln in till fastigheten i förtid för att undvika övertemperaturer i fastigheten [5]. Övertemperatur har sedan länge varit ett problem inom fastighetsautomation när ingen hänsyn tas till utomhustemperaturens förändringar [17].

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) har skapat en kalkylmodell för hur prognosstyrning skall utföras. Denna kalkylmodell tar hänsyn till hur solen och vinden påverkar utomhustemperaturen. Parametrar som sol, vind och utetemperatur skapar tillsammans en specifik parameter, *ekvivalent temperatur* (T_e), vilket beskriver värme- och kylbehovet i en fastighet. *Ekvivalenta temperatur*-parametern ställs in i reglercentralen som sedan styr och reglerar värmesystemet för att erhålla önskad framledningstemperatur [18], se Fig. 8.

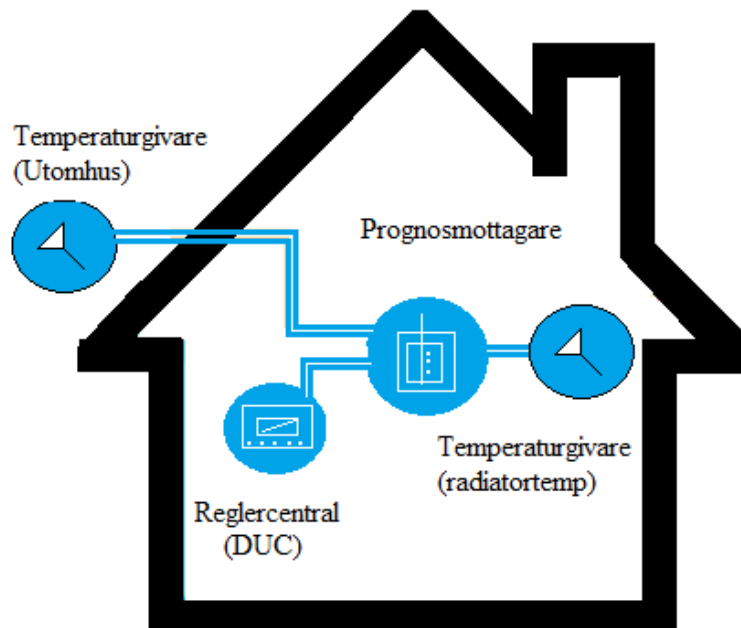


Fig.8. Prognosstyrning.

SMHI sänder dagligen ut en flerdygnsprognos som innehåller information om vad den *ekvivalenta temperatur*-parametern skall vara för varje timme. Olika metoder används för att ta vara på SMHI:s information. Via internet skickas SMHI:s data och tas sedan emot av den befintliga DUC:en i fastigheten vilken sedan kommunicerar med reglercentralen som ställer in rätt värde på den ekvivalenta temperaturen. En annan förekommande metod vid datahantering är installation av en prognosmottagare som direkt kommunicerar med reglercentralen. Reglercentralen optimerar därefter styrningen och regleringen för att erhålla önskad framledningstemperatur [18].

3 Process och resultat

I detta redogörs för en design samt funktionsbeskrivning till ett driftkort för en frånluftsvärmepump som ligger till grund för styrningen för värmeåtervinningen i ett flerbostadshus. Även implementering av driftkortet, konfigurering av program samt utformning av användargränssnitt beskrivs. Projektet har dokumenterats i form av textbearbetning och driftkort med tillhörande driftinstruktioner.

3.1 Process

Innan arbetet kunde påbörjas hölls ett uppstartsmöte med chefsansvarig på Ståhlkloo AB. Uppstartsmötets syfte var att redogöra projektets omfång och förväntade resultat. I Fig. 9 presenteras arbetets tillvägagångsätt i flödesschema-format.

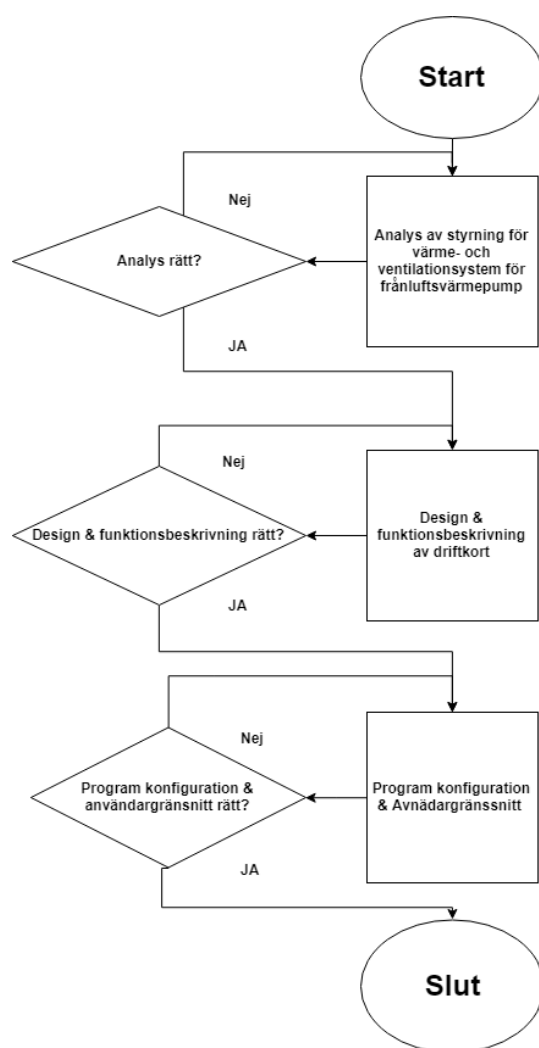


Fig.9 Arbetets tillvägagångsätt i flödesschema-format.

Arbetet påbörjades genom att analysera styrningar för värme- och ventilationssystem där frånluftsvärmepumpar hade installerats i flerbostadshus. Material som har använts vid analys har erhållits av Ståhlkloo AB där tidigare projekt har gått igenom för att ta fram ett konkret tillvägagångsätt för att lösa uppgiften. Ett förberedande arbete genomfördes med företaget *LTS Söderköping* som producerar frånluftsvärmepumparna där en sammanställning av styrning, design samt funktionsbeskrivning för driftkort gjordes. Val av komponenter till driftkortet studerades för att slutligen kunna forma en konceptuell modell för hur driftkortet till projektet skulle skapas.

Flera designers av driftkort har utformats med hjälp av den konceptuella modellen som tagits fram tidigare där befintliga komponenter, som erhöles från Ståhlkloo AB, användes. Utveckling och tester av driftkortet gjordes i mjukvaran TAC Designer. Vid varje design testades olika positioneringar av komponenter för att undersöka samverkan och optimeringsmöjligheter. Ett flertal tester genomfördes i programvaran innan ett exempeldriftkort sammanställdes. Designen av driftkortet till frånluftsvärmepumpen genomfördes genom att välja komponenter som filter, frånluftsfläkt, cirkulationspump, kompressor, förångare, kondensator, serviceomkopplare, tryckgivare, flödesgivare, temperaturgivare, spjäll samt frekvensomformare.

Vid färdig designat driftkort användes programvaran TAC Designer för att skapa en funktionsbeskrivning till det färdigställda driftkortet. Funktionsbeskrivningen som skapades var en standardiserad funktionsbeskrivning utifrån de valda komponenterna. En standardiserad funktionsbeskrivning är en funktionsbeskrivning som är bäst lämpad för företaget Schneiders egna projekt. Programvaran TAC-designer är skapad av företaget och därför skapas en funktionsbeskrivning efter deras behov. Funktionsbeskrivningen behövde utökas för att uppfylla detta projektets behov. Start/stopp-funktioner, förreglingar, reglering samt brandfunktion, korrigerades i funktionsbeskrivningen för att erhålla korrekt styrning.

För att implementera driftkortet på den DUC som Ståhlkloo AB valt till projektet skapades en I/O-lista för alla komponenter som systemet innehöll. I/O-listan skapades som en Excel-fil. Vid färdigställd I/O-lista importerades Excel-filen i mjukvaran FUP XL. Därefter konfigurerades programmet för frånluftsvärmepumpen. Konfigurationen för frånluftsvärmepumpen togs fram med hjälp av driftkortets design med tillhörande funktionsbeskrivning. Adressering av komponenterna baserades på DUC:en, där varje komponent kopplades till respektive in- och utgång i FUP XL. Vid konfiguration av styr- och reglering valdes färdigprogrammerad funktionalitet för ventilation samt värme.

För att erhålla önskad inomhustemperatur bestämdes det att reglera värmen i flerbostadshuset med hjälp av framkoppling. För att åstadkomma en sådan reglering användes en reglercentral och ett reglersystem. Till reglercentralen kopplades ett flertal givare som läste av framledningstemperaturen, inomhustemperaturen samt utomhustemperaturen. Reglersystemet som används utgår från en förutbestämd kurva och avgör vilken framledningstemperatur som ska föras in till värmesystemet. Reglersystemet bestod av en PID-regulator där enbart PI-reglering användes. Initialt valdes P-parametrar, I-parametrar och en reglerkurva som tagits fram vid tidigare projekt hos företaget Ståhlkloo AB, dessa validerades på det verkliga systemet och därefter justerades parametrarna manuellt för att uppnå önskad funktionalitet.

Vidare utformades ett användargränssnitt (HMI) med hjälp av det konfigurerade systemet och driftkortsdesignen. En färdig mall valdes där komponenter med tillhörande grafik sammanställdes. Mjukvaran FUP XL har en inbyggd funktion som kopplar samman den logiska funktionaliteten med de grafiska delarna i programmet. Avslutningsvis laddades programmet ned på DUC:en som sedan installerades i fastigheten. Dokumentationen över designat driftkort med tillhörande funktionsbeskrivning överlämnades till handledare på företaget.

3.2 Resultat

Ett driftkort med tillhörande funktionsbeskrivning designades efter analyser av styrningar för frånluftsvärmepumpar i flerbostadshus. Driftkortet kan ses i Fig.10. De valda komponenterna kan ses i Tab.1.

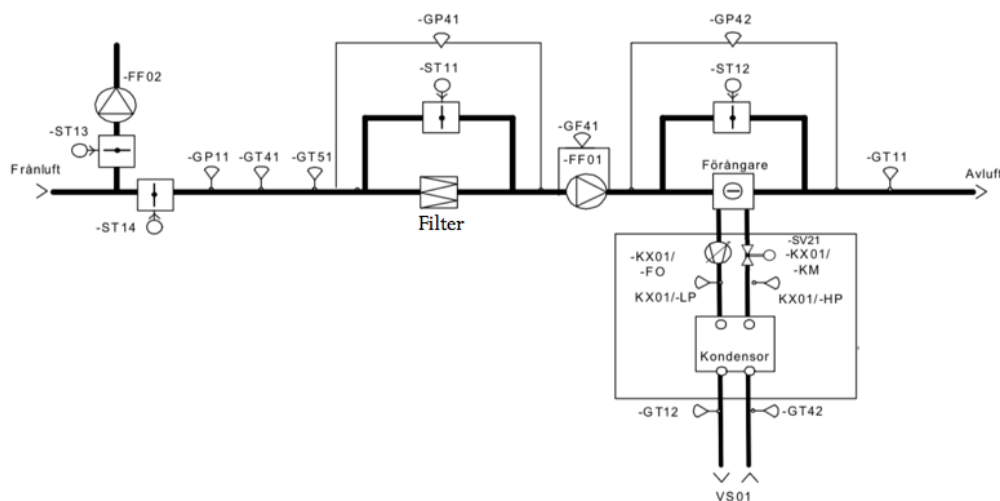


Fig.10 Återvinning FA01.

Tabell.1 Komponenter för ett driftkort.

Komponent		Beskrivning
Filter	Filter	Rengör all luft in till fastigheten.
Fläkt	FF01, FF02	Driver fram luften i frånluftskanalen.
Expansionsventil	SV21	sänker trycket på köldmediet i frånluftsvärmepumpen
Frekvensomriktare	FO	Styr elmotor
Cirkulationspump	CP01	Får köldmediet att cirkulera i systemet.
Kompressor	KX01	Komprimerar gas.
Förångare	Förångare	Upptar värmen för återvinningen.
Kondensör	Kondensör	Kondensorn överförs energin från köldmediet till byggnadens värmesystem.
Serviceomkopplare	KX01	En serviceomkopplare som kan avbryta driften för frånluftsggretaget.
Tryckgivare	GP41,42,51, LP, HP	Kontrollerar trycket på frånluften, tryckfallet över filtret, förångaren, kondensorn.
Flödesgivare	GF41	Kontrollerar flödet.
Temperaturgivare	GT11,12,41,42,51	Kontrollerar temperaturen på frånluften, inluftstemperaturen samt avluftstemperaturen, returledningstemperaturen.
Spjäll	ST11,12,13,14	Avsedd för att reglera luftflödet.

3.2.1 Funktionsbeskrivning - driftkort

Frånluftsaggregatet med inbyggd värmepump betjänar byggnaden med värme som är återvunnen ur frånluften, se Fig.10. Värmeåtervinningen sänker frånluftstemperaturen från 21°C till 2°C för uppvärmning av varmvatten. Frånluften passerar genom aggregatets filter via fläkten (FF01) och värmepumpens förångare, varvid utvunnen energi ur frånluften överförs i förångaren till värmepumpens köldmedium. Köldmediet förångas och komprimeras därefter av kompressorn (KX01). I kondensorn överförs energin från köldmediet till byggnadens värmesystem. Vid köldmediets passage genom kondensorn sänks temperaturen, se avsnitt 2.1 Frånluftsvärmepump. Nedan beskrivs alla styr- och regler funktioner utförligt.

3.2.1.1 Start/Stopp & Förreglingar

Frånluftsfläkt (FF01) är i kontinuerlig drift, kompressor (KX01) och cirkulationspump (CP01) startar på behovssignal från värmecentral. Via serviceomkopplare kan drift på frånluftsaggregatet avbrytas. Vid återgång till auto sker återställning av summalarm. Via serviceomkopplare Från/Automatik kan drift på återvinningsaggregat avbrytas. Vid återgång till automatik sker återställning av summalarm. Kompressordrift (KX01) förreglas med tryckgivare, GP11, tryckgivare LP/HP och temperaturgivare GT51).

3.2.1.2. Spjäll.

ST11 samt ST13 stänger via hjälpreläer och öppnas via fjäderfunktion energilöst. ST14 öppnas via hjälprelä och stänger via fjäderfunktion.

3.2.1.3. Reglering.

Frånluftsfläkt (FF01) styrs att vara i drift kontinuerligt och regleras via tryckgivare (GP11). Vid behovssignal från värmecentral stänger (ST12), VV01-GT41 understiger inställt värde startar kompressor (KX01) på ett minvärde i 2 minuter. Kompressor (KX01) effekt styrs steglöst via 0-10V signal. Temperaturen (GT11) min-begränsas till inställt värde genom att vid sjunkande temperatur styra ner effekten på kompressor (KX01). Temperaturen (GT12) max-begränsas till inställt värde genom att vid stigande temperatur styra ner effekten på kompressor (KX01). Då värmebehov inte föreligger stoppas kompressorn (KX01), varvid expansionsventilen (SV21) stänger helt. Expansionsventil (SV21) har en varierande strypning och styrs av tryckgivare (GP41) och temperaturgivare (GT41).

3.2.1.4. Brandfunktion

I avsnitt 2.3 Styr- och reglersystem redogörs att brandskydd är ett krav enligt boverkets byggregler [13]. Via brandtermostat (GT51) erhålls följande funktion: Frånluftsfläkt (FF01) stoppas och rökgasfläkten (FF02) startas. Evakueringsspjäll (ST11), (ST12) samt (ST13) öppnas och ST14 stängs.

3.2.1.5. Avfrostning förångare

Vid frostning stiger tryckfallet vid -GP42 och när inställt värde överskrids stoppas -KX01 så att avfrostning sker, -ST12 behålls stängd. När tryckfallet vid -GP42 sjunkit under inställt värde tillåts -KX01 starta efter inställd tidsfördröjning.

3.2.1.6. Givare & Givarinställningar

GT11 mäter temperaturen i avluften. GT41 mäter temperaturen i frånluften. GT42 mäter temperaturen i returledning. GT12 mäter temperaturen i tilloppsledning. GT91 Utekomparerat Börvärdet. GP11 mäter tryck i frånluftskanal. GP41 mäter tryckfallet över filter. GP42 mäter tryckfallet över förångaren. GF41 Flödesgivare, differenstryck över frånluftsfläkt (FF01).

3.2.1.7. Larmlista

Tabell.2 Larmlista

Beteckning	Benämning	Klass	Anmärkning
GT51	Brandtermostat	A	
FF01	Summalarm	B	
KX01	Larm F0	B	
LP01	Utlöst lågtryckspressostat	B	
HP01	Utlöst högtryckspressostat	B	
GP11	Tryck/Givarfel	B	
GP41	Högt filtertryckfall	B	
SO01	Servicebrytare	B	
GTxx	Avvikande temp./Givarfel	B	

3.2.2 Funktionsbeskrivning, Reglering - värmekrets

I avsnitt 2.5 Styrning och reglering för värmesystem redogörs att rätt framledningstemperatur i ett värmesystem erhålls genom reglering av en shuntventil med hjälp av ett reglerystem [5]. Reglersystemet driver en elektrisk motor som styr shuntventilen med hjälp av en reglercentral. En översikt över hela uppvärmningssystemet kan ses i Fig. 11.

Framledningstemperaturen VS01-GT11 regleras via processenheten (DUC), FA01 och ventilställdon VS01-SV11 så att inställd temperatur erhålls, se Fig.11. Vid värmebehov styrs FA01 att öka effekten och sedan öppna VS01-SV11 i sekvens. Börvärdet för VS01-GT11 förskjuts via uttemperaturgivare AS01-GT91. Nattsänkning enligt tidsprogram i processenheten. Trycket i värmekretsen VS01 konstanthålls vid tryckgivare VS01-GP11 genom att reglera pumpen steglöst till inställt värde.

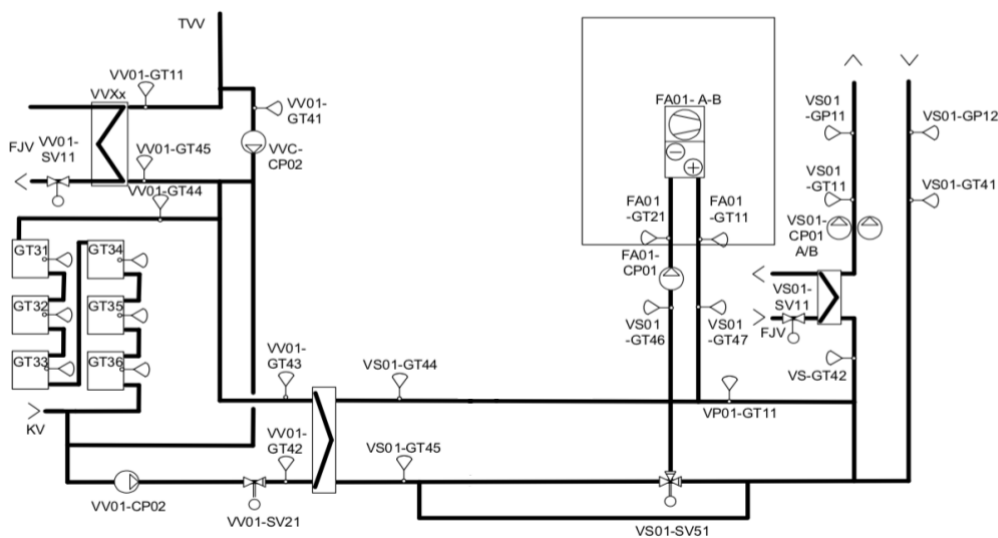


Fig. 11 Översikt över hela uppvärmningssystemet med återvinning.

3.2.3 Programkonfiguration

En I/O lista, se Bilaga. A. med tillhörande komponenter samt funktion skapades utefter designen av driftkortet för frånluftsvärmepumpen i flerbostadshuset. Adressering av komponenterna baserades på den DUC som användes (OPEN 600 Ems basic 24). Då konfiguration sker i mjukvaran FUP XL, som är tillverkad av företaget DEOS. AG, valdes samtliga komponenter av detta fabrikat (DEOS).

Ett konfigurerat system skapades för frånluftsvärmepumpen, se Fig.12. Konfigurationen för frånluftsvärmepumpen bygger sin styrning samt funktion utifrån driftkortet. Färdigprogrammerade funktionaliteter för ventilation och värme sammanställdes och ett fungerande system uppnåddes. FUP XL användes för all integrering, vilket innebär att mjukvaran sammanställer den konfigurerade programmeringen med HMI:et. Rätt funktionalitet kopplades till rätt in- och utgång på DUC:en.

Definition	Definition specification	Comment
	General	
def_ext01	const.f:fl_0 "constants assignment: constant = 0.0"	delayed outside temperature
	CL pump	
def_ext02	const.f:dig_one "constants assignment: constant value = ONE"	switch setting -AUTO-
def_ext03	const.f:dig_null "constants assignment: constant value = NULL"	switch setting -HAND-
def_ext04	INDIBO12.F00:05 "COSMOS IO (internal) DIBO12H (\$S) (FA01): FA01-CP01 Driftindikering från pump Driftindikering"	operation (!!! mandatory !!!)
def_ext05	CES_16.F00:error_05 "16 error messages (e.g.frost protection): FA01-CP01 Driftindikering"	error
def_ext06	const.f:dig_null "constants assignment: constant value = NULL"	SA-fan operation stage 1
def_ext07	const.f:dig_null "constants assignment: constant value = NULL"	SA-fan operation stage 2
def_ext08	const.f:dig_null "constants assignment: constant value = NULL"	frost protection error
def_ext09	ex_1stex.f00:fan_enabling "FF01: EX-fan -enabling-"	CL pump external -ON-
def_ext10	INDIBO12.F00:00 "COSMOS IO (internal) DIBO12H (\$S) (FA01): FA01-S0 Serviceomkopplare Driftindikering"	CL pump external -OFF-

Fig.12 Konfiguration av program.

I avsnitt 2.5 Styrning och reglering för värmesystem redogörs att en förutbestämd kurva bestämmer vilken framledningstemperatur regler-systemet ska föra in till värmesystemet [5]. Kurvan kan ses i Fig.13. Den förutbestämda kurvan fastställer förhållandet mellan framledningstemperaturen (y-axeln) och utomhustemperaturen (x-axeln). Reglerkurvan som ställdes in togs fram med hjälp av Ståhlkloo AB:s tidigare projekt. Regulatorparametrarna som ställdes in i PID-regulatorn är P-parametrar och I-parametrar. De två parametrarna validerades mot systemet och kalibrerades slutligen manuellt för önskad funktionalitet. P-delen syftade till att avgöra hur pass kraftigt regulatorn skulle korrigerar reglerfelet och I-delen valdes för att tvinga reglerfelet till noll. Då arbetet har byggts upp för att testas under kommande vinterhalvår är de valda parametrarna bäst lämpade för projektet nu. Parametrarna är tillsvidare fastställda för att ge realistiska värden då systemet skall sättas i drift för återvinning. Dessa parametrar kommer under vinterhalvår ändras för att bli mer exakta.

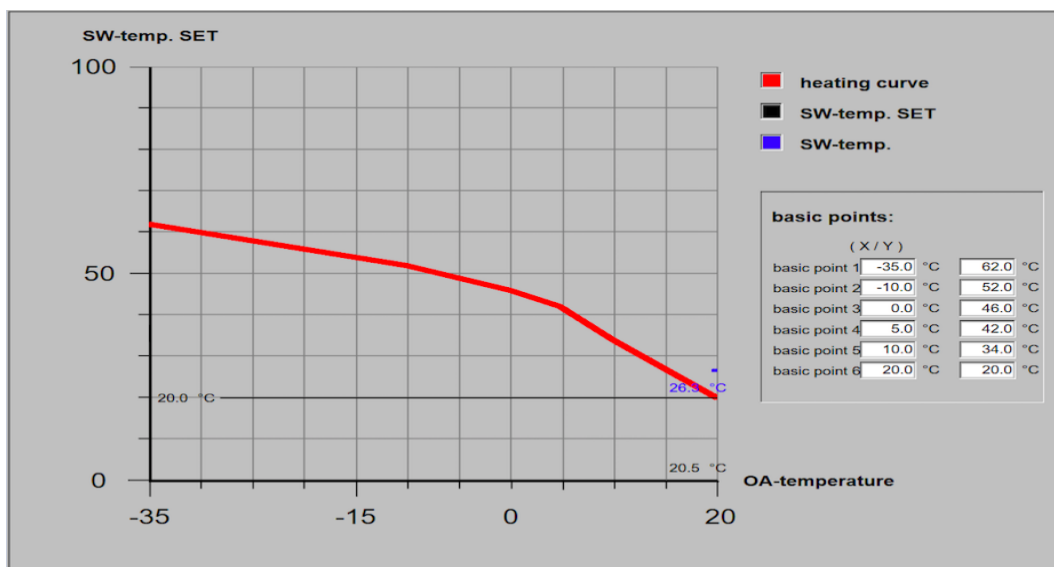


Fig.13 Förutbestämd reglerkurva.

3.2.4 Användargränssnitt

I avsnitt 2.2.2 Användargränssnitt redogörs att användargränssnitt gör det möjligt att fjärrstyra samt övervaka system via molntjänster, vilket leder till att realtidsdata samt loggade värden kan presenteras i diagram för en översiktsbild av systemet [10]. Den konfigurerade programmeringen med de grafiska delarna kopplades samman och sammanställdes för en hel processbild av systemet, se Fig.14. Utifrån denna processbild kan övervakning samt ändringar av systemet göras i realtid.

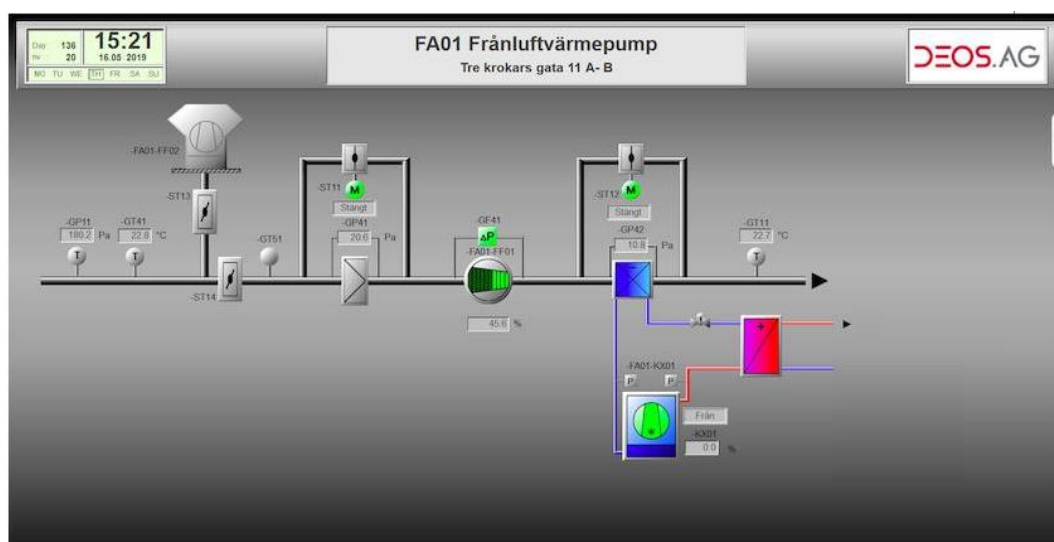


Fig.14 Processbild FA01 frånluftsvärmepump.

Det färdig konfigurerade programmeringen laddades ner i DUC:en som vidare installerades i ett apparatskåp i fastigheten, se Fig.15.



Fig.15 Installerad DEOS DUC i flerbostadshuset.

Respektive komponent kopplades till respektive in- utgång. Temperaturgivare samt tryckgivare kopplades till analoga ingångar enligt den I/O- lista som skapats. Temperaturgivare samt tryckgivare kopplades till analoga ingångar enbart då vi vill läsa av temperaturen samt trycket. Spjäll samt fläktar kopplades till digitala inputs då dem endast kommer slås på eller av. Till digitala samt analoga outputs kopplades indikeringar och larm för fläktar, spjäll samt givare. Kommunikation mellan DUC:en och användargränssnittet sker med hjälp av internetanslutning.

4 Diskussion

Syftet med projektet var att ordna ett styr- och reglersystem för värmeåtervinningen med hjälp av frånluftsvärmepumpen. Under projektet designades ett driftkort med tillhörande funktionalitet samt ett användargränssnitt för frånluftsvärmepumpen. Styrningen används idag och är i drift och väntas att komma till användning vid kommande vinterhalvår eller då värmebehovet för flerbostadshuset ökar. En nackdel är att under sommartid var det inte möjligt att dra några slutsatser om styrningen och regleringen för värmeåtervinning med hjälp av en frånluftsvärmepump fungerar som det är tänkt.

Den vanligaste metoden som används för att reglera värme i flerbostadshus är att reglera framledningstemperaturen (framkoppling). I detta projekt användes denna metod. Reglering med hjälp av framledningstemperatur baserad på utomhustemperaturen är en mycket effektiv metod men har dock brister. Utomhustemperaturen som referenssignal tar inte hänsyn till interna värmestillskott som avger värme i rummet, vilket bidrar till att det blir oönskad temperatur inomhus [5]. Anledningen till att denna metod valdes trots sina brister är att den är mycket välprövad samt fungerande. Att reglera värmen med hjälp av framledningstemperaturen var en förvald metod av företaget och det var bestämt att tillämpa den i projektet.

Reglering med hjälp av utomhustemperatur är en mycket effektiv, samt fungerande metod men har tidigare visat att oönskade övertemperaturer kan uppnås, se avsnitt 2.5 Styrning och reglering för värmesystem. För att undvika oönskade övertemperaturer kan kalibrering av termostatventiler med en maxbegränsning på radiatorerna göras [5].

I avsnitt 2.6 Prognosstyrning för värmesystem anges en annan effektiv metod som kan användas för att undvika övertemperaturer. Prognosstyrning är en effektiv metod för att styra samt reglera värmebehovet till en fastighet. Denna metod tillämpas då utomhustemperaturen används som referens för ett värmesystem. Rätt värmebehov till fastigheten bestäms då utifrån väderprognoser som informerar om alla parametrar som har en inverkan på utomhustemperaturen [17]. Metoden bygger på att väderprognoser förutsäger att nästkommande dag ska bli varm eller inte. Värmesystemet minskar då värmestillförseln in till fastigheten i tid för att undvika övertemperaturer i fastigheten [17]. Denna metod kan anses vara lämplig för att lösa uppgiften, men på grund av begränsningar kunde inte den användas. Kravet som ställdes på vilken metod som användes bestämdes av Ståhlkloo AB, där erfarenheten med framkoppling som reglermetod var betydligt mycket högre än prognosstyrning.

5 Slutsatser

Den allomfattande slutsatsen som dras utifrån projekteringen är att det är fullt genomförbart att designa ett driftkort med dess funktionsbeskrivning baserad på tidigare liknande projekt. Bästa driftkort med tillhörande funktionsbeskrivning kunde designas genom att analysera ett flertal tidigare driftkort.

Färdigprogrammerade funktionalitet sammanställdes och ett fungerande system uppnåddes. Den konfigurerade programmeringen med de grafiska delarna kopplades samman och sammanställdes till en processbild. Processbilden ökar tillgängligheten till systemen och underlättar arbetet för underhållspersonal, då alla ändringar samt bevakningar kan ske via en eller flera datorskärmar som visar hela processen i en översiktssbild. Användargränssnittet gör det möjligt att fjärrstyra system via molntjänster.

Projektet kom i mål och en fullt fungerande styrning med tillhörande gränssnitt är nu i drift. Fortsatt arbete till detta projekt är att göra en uppföljning och dokumentera storleken gjorda energibesparingar då frånluftsvärmepumpen återvinner värme som sedan används för att värma upp fastigheten. Då energibesparingar har beräknats kan kostnadsuppskattningar göras för att slutligen avgöra om det är kostnadseffektivt att återvinna värme med hjälp av en frånluftsvärmepump. Ytterligare förslag till fortsatt arbete för detta projekt är att styra- och reglera med hjälp av termostatventiler samt prognosstyrning för att därmed utvärdera om ytterligare besparingar i form av energi och kostnader kan göras.

Referenser

- [1] V. L. Erickson och A. E. Cerpa, *Occupancy Based Demand Response HVAC Control Strategy*. .
- [2] J. Wong och H. Li, "Development of a conceptual model for the selection of intelligent building systems", *Build. Environ.*, vol. 41, nr 8, s. 1106–1123, 2006.
- [3] "En Frånluftsvärmepump återvinner värme ur ventilationsluft -BOSCH". [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.bosch-climate.se/produkter/franluftsvarme/oversikt/>. [Åtkomst datum: 16-maj-2019].
- [4] E. . Mathews, D. Arndt, och M. . Geysler, "Reducing the energy consumption of a conference centre—a case study using software", *Build. Environ.*, vol. 37, nr 4, s. 437–444, apr. 2002.
- [5] C. Warfvinge, *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur AB, 2010.
- [6] W. Kastner, G. Neugschwandtner, S. Soucek, och H. M. Newman, "Communication systems for building automation and control", *Proc. IEEE*, vol. 93, nr 6, s. 1178–1203, 2005.
- [7] L. A. Hurtado, P. H. Nguyen, W. L. Kling, och W. Zeiler, "Building energy management systems - Optimization of comfort and energy use", *Proc. Univ. Power Eng. Conf.*, s. 1–6, 2013.
- [8] G. F. Schneider, P. Pauwels, och S. Steiger, "Ontology-Based Modeling of Control Logic in Building Automation Systems", *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 13, nr 6, s. 3350–3360, 2017.
- [9] B. Thomas, *Modern reglerteknik*, 5:e uppl. Stockholm: Studentlitteratur AB, 2016.
- [10] G. Ericsson, "Cyber Security and Power System Communication", *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, nr 3, s. 1501–1507, 2010.
- [11] K. J. Åström och P. R. Kumar, "Survey Paper Control: A perspective ", *Automatica*, vol. 50, s. 3–43, 2014.
- [12] Z. Yang, N. Li, B. Becerik-Gerber, och M. Orosz, "A Non-Intrusive Occupancy Monitoring System for Demand Driven HVAC Operations", 2012, s. 828–837.
- [13] NBHBP, *Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler*, vol. 2. 2012.
- [14] K. J. Åström och T. Hägglund, "The future of PID control", *Control Eng. Pract.*, vol. 9, nr 11, s. 1163–1175, nov. 2001.
- [15] Tore Hägglund, *Praktisk processreglering*. Lund: Studentlitteratur AB, 2010.
- [16] A. Hesaraki och S. Holmberg, "Energy performance of low temperature heating systems in five new-built swedish dwellings: A case study using simulations and on-site measurements", *Build. Environ.*, vol. 64, s. 85–93, 2013.
- [17] F. Tahersima, J. Stoustrup, H. Rasmussen, och S. A. Meybodi, "Economic COP optimization of a heat pump with hierarchical model predictive control", *Proc. IEEE Conf. Decis. Control*, s. 7583–7588, 2012.

- [18] ”SMHI Prognosstyrning | SMHI”. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.smhi.se/professionella-tjanster/professionella-tjanster/fastighet/smhi-prognosstyrning-1.1637>. [Åtkomstdatum: 16-maj-2019].

Bilaga A

Tab.1 I/O-lista

Analog Inputs			
Objekt	Funktion	Adr.	Component
FA01-GT41	Frånluftstemperatur	AI1	DEOS DS-TTF/KTF.250.PT1000.USE
FA01-GT42	Returtempertur	AI3	DEOS DS-TTF/KTF.100.PT1000.USE
FA01-GT91	Utetemperatur	AI4	DEOS DS-RTF.I.PT1000.USE
FA01-GP11	Kanaltryck	AI5	DEOS DPA2500
FA01-GP41	Filtertryckfall	AI6	DEOS DPA2500
FA01-GP42	Påfrostningstryck	AI7	DEOS DPA2500

Analog Outputs			
Objekt	Funktion	Adr.	Component
FA01-FF01	Styrsignal fläkt	AO0	
FA01-VP01	Styrsignal värmepump	AO1	
		AO2	
		AO3	

Digital Inputs			
Objekt	Funktion	Adr.	Component
FA01-SO	Serviceomkopplare	DI0	
FA01-GT51	Brandtermostat	DI1	via relä
FA01-VP01- FO	Larm Frekvensomformare	DI2	
FA01-VP01- HP/LP	Hög- /lågtryckspressostat	DI3	
FA01-FF01	Larm fläkt	DI4	
FA01-CP01	Driftindikering från pump	DI5	Grundfos Magna3
FA01-ST11	Indikering Stängt	DI6	DEOS PLD10-24-S2-FR
FA01-ST12	Indikering Stängt	DI7	DEOS PLD10-24-S2-FR

Digital Outputs			
Objekt	Funktion	Adr.	Component
FA01-FF01	Start/Stopp	DO0	Start/stopp
FA01-VP01	Start/Stopp	DO1	Start/stopp
FA01-CP01	Start/Stopp	DO2	Grundfos Magna3 Direktmatning 230volt
S: a Larm	Summa larmlampa	DO3	Monteras på FA01