



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

Skattning och HMI för utsläpp och effekt från kraftvärmepanna med reglerad fukthalt

Rickard Sandelin

2023

Examensarbete, Grundnivå (yrkesexamen), 15 hp
Elektronik
Automationsingenjör

Handledare: Niclas Björsell
Examinator: José Chilo

Förord

Jag har under hela arbetets gång tvivlat på om examensarbetet verkligen kommer vara till nytta. Det har varit ett väldigt enkelt arbete, och veckan innan publicering fick jag indirekt veta att den som påstått skulle bygga vidare inte var intresserad av att spara PLC-programmet och HMI:t som arbetet bestod av. Det har förekommit en del andra konstigheter, till exempel har jag fått kommentarer om att jag använt orden "man" och "som" för mycket, fastän de är vanliga ord i svenskan. Efter att ha sökt på de orden i rapporten hittade jag inga störande meningar. Samtidigt har varken handledare, opponenter eller examinator nämnt att jag haft två åtföljande stycken med snarlikt innehåll, vilket jag upptäckte mot slutet. Jag fick också minimal feedback från examinator. Min tolkning av det hela är att jag är olycksförföljd och får feedback av en eller flera bristfälliga AI-program och taskiga beslutsfattare, mitt patetiska liv verkar manipuleras av någon sådan kombination. Jag vill besvara manipulationen med några argument mot taskiga handlingar: Alla människor formas av sina omständigheter så skuld bör bara leda till straff om det finns större risk för repetition av brott, ett långvarigt krig verkar vara på väg att ta slut så onödiga attacker som skapar onödigt lidande borde förpassas till historien, vettiga mäktiga människor borde främja människans välmående och smart symbios med miljön. Om du som läser känner någon nyckelperson vad gäller manipulation av andra människors liv, skicka hen gärna mina tre argument mot att vara taskig. Jag avråder från att läsa resten av rapporten, då den innehåller olösta problem. Testa själv exempelvis att beräkna utsignal från H2-blocket efter 10-50 körningar enligt koden i Resultat ($H2_{old} = 0$ första körningen, $MC = 50$). Det är något där som inte stämmer...

Sammanfattning

Detta arbete uppstod från ett samarbetsprojekt mellan Högskolan i Gävle, Radarbolaget och Gävle Energi. Arbetet har syftet att för Gävle Energis kraftvärmeverk Johannes skapa PLC-program för skattning av momentana värden på effekt och utsläpp, samt skapa ett HMI som återger de skattade värdena i diagram och har reglage för fukthaltsändring. PLC-programmet skrevs med ABB Compact Control Builder och baserades på matematiska Z-transformmodeller framtagna av handledaren Niclas Björnell. Modellerna ska omvandla insignalerna bränsleinmatning, primärfläkt, sekundärfläkt, tertiärfläkt och fukthalt till utsignalerna effekt och NO_x-utsläpp. HMI:t konstruerades i programmet ABB Plant Explorer Workplace och kopplade signaler för fukthalt, effekt och NO_x-utsläpp till reglage och trenddiagram. Reglaget och trenddiagrammen lades in i en s.k. Faceplate som ska kunna läggas in i operatörernas existerande processbild på kraftvärmeverket. De matematiska modellerna för signalerna från PLC:n blev lite konstiga och kommer troligtvis åtgärdas i projektets fortsatta arbete. Det fortsatta arbetet innefattar även att skapa överföringsfunktioner, PLC-program och diagram för skattning av CO-utsläpp och stoftutsläpp, att skatta av framtida värden för uteffekt och utsläpp, att skapa avancerade modellfunktioner (i.e. MPC-funktioner) för beräkning av rekommenderad fukthalt i bränslet med avseende på uteffekt, NO_x-utsläpp, CO-utsläpp eller stoft-utsläpp, samt att eventuellt skapa styrsignaler till värmeverkets process.

Abstract

This work originates from a collaborative project by Högskolan i Gävle, Radarbolaget and Gävle Energi. The purpose of the work is to provide the cogeneration plant Johannes with a PLC program that estimates immediate values for combustion effect and emissions, and to provide a HMI that presents the estimates in diagrams and also contains a slider for change of moisture content. The PLC program was written in ABB Compact Control Builder and was based on Z transform models developed by the supervisor. The models is intended to convert the input signals fuel feed, primary fan, secondary fan, tertiary fan and moisture content into the output signals combustion effect and NO_x emissions. The HMI was constructed in ABB Plant Explorer Workplace and connected signals for moisture content, combustion effect and NO_x emissions to HMI slider and trend diagrams. The slider and diagrams were put into a so-called Faceplate that can be put into the process images of the operators at the cogeneration plant. The mathematical models for the signals turned out somewhat strange and will probably be updated in the continued work of the collaborative project. The continued work also includes to develop transfer functions, PLC program and diagrams for estimation of CO emissions and particle emissions, to estimate future values for effect and emissions, to create advanced MPC functions for calculation of recommended moisture content with respect to combustion effect, NO_x emissions, CO emissions or particle emissions, and possibly generate control signals for the process of the cogeneration plant.

Innehållsförteckning

Förord.....	i
Sammanfattning	ii
Abstract.....	iii
1 Introduktion	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Kraftvärmeverket Johannes.....	1
1.3 Syfte	1
1.4 Arbetsuppgift	2
1.5 Avgränsningar.....	2
1.6 Upplägg av rapporten.....	3
2 Teori	4
2.1 Mätvärden	4
2.2 Gränsvärden och riktvärden för utsläpp	4
2.3 Litteraturstudie	4
2.4 Matematisk modell.....	5
2.5 Simulerade insignaler	6
2.6 Faceplate	7
3 Metod	8
3.1 Studiebesök.....	10
4 Resultat	11
5 Diskussion	15
6 Slutsatser	17
Referenser.....	18

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Detta arbete har sitt ursprung i Högskolan i Gävles forskningsprojekt IDUN, som handlar om intelligent digitaliserat underhåll. Forskningsprojektet fokuserar på att göra underhåll effektivare i små och medelstora företags produktion, att utveckla nya tekniker för underhåll eller underhållsplanering och att öka värde för regelbundet underhållna produkter.

Ur forskningsprojektet uppstod ett samarbetsprojekt mellan Högskolan i Gävle, Radarbolaget och Gävle Energi med namnet *Minskade emissioner från kraftvärmepannor genom radiobaserad fukthaltsmätning*. Samarbetet går ut på att mäta och reglera fukthalt i den träflis som eldas i Gävle Energis kraftvärmeverk Johannes. Radarbolaget har då utvecklat en egen mätmetod för fukthalt och metoden ska tillämpas för att reglera fukthalten i flis till fastbränslepanna för fjärrvärme. Samarbetsprojektets hypotes är att genom att reglera fukthalt så styrs värmepannans effekt (kraftvärmeverkets genererade elektriska effekt) samt utsläpp av kväveoxider (NO_x), kolmonoxid (CO) och stoft (Total Particle Matter, TPM). Reglering skulle kunna sänka värmepannans utsläpp för att följa lagstadgade gränsvärden.

1.2 Kraftvärmeverket Johannes

Kraftvärmeverket Johannes sköts av Gävle Energi och producerar både el och värme. Johannes driver en BFB-panna (Bubblande Fluidiserad Bädd), vilket är en värmepanna som förångar renat vatten i tuber till torr ånga kopplade till en turbingenerator för el. Värmepannan har en sandbädd i botten som ”bubblar” för att hålla jämn temperatur, det är bra för förbränning av det träbaserade bränslet som matas in. Både rökgasen och den torra ångan går sedan till separata värmeväxlare, där vatten värms upp för att sedan cirkulera i ett fjärrvärmenät. Johannes och andra kraftvärmeverk har behov av teknik för att hålla sig under lagstadgade gränsvärden för utsläpp, så om tidigare nämnt samarbetsprojekt lyckas är det ett första steg i att förbättra stora värmepannors utsläpp och klimatpåverkan.

1.3 Syfte

Syftet med arbetet är att bidra till Högskolan i Gävles, Radarbolagets och Gävle Energis samarbetsprojekt *Minskade emissioner från kraftvärmepannor genom radiobaserad fukthaltsmätning*, som ska reglera elektrisk effekt samt utsläpp av NO_x, CO och stoft från värmepannor hos Gävle Energi genom att kontrollera biobränslets fukthalt. Bidraget utgörs av PLC-program för skattning av momentana värden på utsläpp och genererad effekt, samt HMI som återger de skattade värdena och har reglage för fukthaltsändring.

1.4 Arbetsuppgift

Detta examensarbete är ett mellanled i samarbetsprojektet mellan Högskolan i Gävle, Radarbolaget och Gävle Energi. Examensarbetet börjar efter utveckling av matematiska modeller för skattning av effekt och utsläpp av NO_x, och slutar efter PLC-programmering för att beräkna skattade värden av kraftvärmeverkets generatoreffekt och utsläpp, samt efter HMI-konstruktion som återger de skattade värdena i diagram och har ett reglage för fukthaltsändring av bränslet. Efter examensarbetet kommer projektets fortsatta arbete i form av:

Överföringsfunktioner, PLC-program för skattning av CO-utsläpp och stoftutsläpp, skattning av framtida värden för uteffekt och utsläpp, MPC-funktioner för beräkning av rekommenderad fukthalt i bränslet med avseende på uteffekt, NO_x-utsläpp, CO-utsläpp eller stoftutsläpp, samt eventuella styrsignaler till kraftvärmeverkets process.

Samarbetsprojektet har lett till att matematiska modeller beräknas av handledaren för examensarbetet, Niclas Björsell. Modellerna omvandlar data från fläktar, flismatning och fukthalt till data för utsläpp och effekt. Modellerna tas fram av handledaren parallellt med examensarbetet för att senare kunna implementeras i kommersiella styrsystem. Det första styrsystemet som ska använda tekniken finns hos Gävle Energis kraftvärmeverk Johannes. Styrsystemet ska tillsammans med operatör kunna anpassa matning av träflis till värmepanna med varierande fukthalt så att gränsvärden för utsläpp inte överskrids, samtidigt som kraftvärmeverket ska möta fjärrvärmenätets behov. Styrsystemet utgörs av ABB Distributed Control System (DCS) innehållande en eller flera Programmable Logic Controllers (PLC). Operatörens Human Machine Interface (HMI) ska vara kompatibelt med programmet ABB Plant Explorer Workplace eftersom HMI:t ska bestå av en så kallad Faceplate. Styrsystemet delas in i tre nivåer: lägst ligger Process för sensorer och ställdon, mitterst ligger Control för PLC och DCS och överst ligger HMI. Detta arbete fokuserar på de två övre nivåerna, Control och HMI.

1.5 Avgränsningar

Eftersom fastbränslepannan kontinuerligt används för fjärrvärme i regionen skall direkt testning av reglering med ställdon och sensorer göras i samarbetsprojektets senare skede, inte heller ska programmet beräkna framtida skattade värden på utsläpp och effekt eller förslag på fukthalt med avseende på uteffekt eller utsläpp, sådana beräkningar kommer också göras senare. Inga styrsignaler för själva processen kommer produceras. Ingen handledare från Gävle Energi kom i kontakt med studenten under projektets gång, vilket försvårade anpassning av arbetet till företagets önskemål. Däremot fick man under arbetets gång en operatör som kontaktperson som kunde svara på eventuella processnära frågor.

1.6 Upplägg av rapporten

I avsnittet Teori beskrivs vilka mätvärden i värmeverkets process som är intressanta, vilka gränsvärden som ska följas och varför, den matematiska modellen som skattning av utsläpp och effekt baseras på, vad en Faceplate är för något, samt en litteraturstudie som gjorts i samband med examensarbetet. I Metod beskrivs framställning av PLC-program och HMI eller närmare bestämt Faceplate samt det studiebesök som student och handledare gjorde på Gävle Energis kraftvärmeverk Johannes. I Resultat presenteras PLC-programmet med funktionsblock och Faceplate med diagram och reglage. I Diskussion diskuteras resultatet och metoden, det tas upp varför examensarbetet inte innefattat mer arbete, information från studiebesöket kommenteras, litteraturstudien diskuteras samt arbetets och kraftvärmeverket Johannes relation till de Globala Målen berörs. I Slutsatser återges arbetet översiktligt och förslag på fortsatt arbete presenteras.

2 Teori

2.1 Mätvärden

Följande mätvärden har pekats ut som viktiga insignaler i tidigare skede av samarbetsprojektet: bränslets fukthalt, bränslematningens hastighet, primärfläkt (som blåser underifrån in i förbränningen), sekundärfläkt (som blåser in i förbränningen från sidan) och tertiärfläkt (som blåser ovanför förbränningen från sidan). Andra mätvärden som är intressanta för jämförelse med skattade värden är förbränningseffekt (som är värdefullt för kraftvärmeverk), NO_x-utsläpp, CO-utsläpp och stoft-utsläpp. Utsläppen undersöks närmare i avsnitt 2.3 och påverkar miljön negativt, vilket lett till att utsläppen nu regleras av svensk lag, se tabell 1.

2.2 Gränsvärden och riktvärden för utsläpp

Gävle Energis kraftvärmeverk Johannes arbetar för att hålla sig under gränsvärden (GV) för att följa svensk lag. De vill också hålla sig kring riktvärden (RV) enligt tillstånd från staten, samtidigt som förbränningseffekten möter kundernas efterfrågan. Gränsvärden och riktvärden presenteras i tabell 1, där de relevanta parametrarna är NO_x, CO och stoft.

Tabell 1: Gränsvärden (GV) och riktvärden (RV) för utsläpp.
RT betyder bränsleinblandning av träavfall.

Till luft (oberoende av bränsleinblandning av träavfall)					
Parameter	RV	GV	Medelv	Enhet	GV enligt
NO _x (beräknat som NO ₂)	Inget	300	GV: Dygn	mg/m ³ _n , 6% O ₂	Lag (SFS 2013:253)
HCl (saltsyra, klorider)	Inget	15	GV: Dygn	mg/m ³ _n , 6% O ₂	Lag (SFS 2013:253)
TOC (totalorganisktinh.)	Inget	15	GV: Dygn	mg/m ³ _n , 6% O ₂	Lag (SFS 2013:253)
HF (fluorvätesyra, fluorider)	Inget	1,5	GV: Dygn	mg/m ³ _n , 6% O ₂	Lag (SFS 2013:253)
NO _x (beräknat som NO ₂)	50	60	RV: Månad GV: År	mg/MJ	Tillstånd
NH ₃	6	Inget	Månad	mg/MJ	
Till luft (beroende av bränsleinblandning av träavfall)					
Parameter	RV	GV	Medelv	Enhet	GV enligt
CO 40 % RT	Inget	59,8	Dygn	mg/MJ	Beräkn ur Lag (NFS2010:3)
30 % RT		66,5			
20 % RT		73,7			
10 % RT		81,6			
0% RT		90			
Stoft	Inget	34	Dygn	mg/ Nm ³	Beräkn ur Lag (NFS2010:3)

2.3 Litteraturstudie

I detta avsnitt presenteras information om hur utsläpp av kväveoxider (NO_x), kolmonoxid, koldioxid och stoft påverkas av fukthalt. Därefter belyses vilka andra faktorer än fukthalt som påverkar utsläppen.

Utsläpp av NO_x beror främst på kväveinnehåll och syretillgång. NO_x-utsläpp varierar mycket lite beroende på fukthalt, ungefär 2 % uppskattat från existerande diagram. Andelen NO_x i vid förbränning av träflis ligger runt 150 mg/m³ [1].

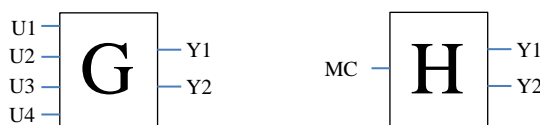
Koldioxid-utsläpp och kolmonoxid-utsläpp vid förbränning av trä beroende på fukthalt undersöktes. Torkat trä släpper huvudsakligen ut NO, CH₄, CO₂ och H₂O, varvid CO₂ och H₂O dominerar [2]. Ungefär 5% av rök från träeldning i 300°C värmepanna är koldioxid, det beräknas vara cirka 90 g/m³ [3]. Värt att notera är att ju fuktigare bränsle, desto mer CO och mindre CO₂ vilket räknas som värmeförlust då fullständig förbränning bara ger CO₂ [4]. Andel CO vid eldning av träflis påverkas starkt av fukthalt, 50 till 230 mg/m³ vid fukthaltsändring från 11 till 29 vikt-% [1].

Andel stoft (på engelska kallat total particle matter, TPM) från förbränning av träflis varierar svagt beroende på fukthalt, från 28 till 33 mg/m³ vid fukthaltsändring från 11 till 29 vikt-%, en variation av stoftinnehåll med ungefär 8%. Vilken typ av trä som används som bränsle och vilken slags bearbetning bränslet har genomgått påverkar stoftinnehåll i högre utsträckning. Även belastningsgrad hade större inverkan på stoftinnehåll än fukthalt [1].

Det finns flera andra faktorer än fukthalt som påverkar utsläpp vid förbränning av trä. Syretillgång och ventilation, dvs. syretillförsel, är de mest avgörande [4]. Sedan anges typ av värmepanna, belastningsgrad av värmepanna, samt typ av trä och dess bearbetning (för att möta behovet av åtskillnad mellan trä-baserade bränslen har det tagits fram ett internationellt klassificeringssystem kallat DIN EN ISO 17225). Det rekommenderas att följa värmepannans tillverkares riktvärden [1]. Ytterligare en faktor är förbränningstemperatur, som kan användas ihop med en ekonomisator för att reglera förbränningen i en värmepanna [5].

2.4 Matematisk modell

Utsignalerna från Gävle Energis värmepanna antas vara linjära och modelleras med överföringsfunktioner i Z-transform för de valda insignalerna fukthalt (MC), bränslematning (U1), primärfläkten (U2), sekundärfläkten (U3) och tertiärfläkten (U4). Insignalerna överförs till utsignalerna uteffekt (Y1) och NO_x-utsläpp (Y2) enligt det multivariabla systemet $Y(z) = G(z) * U(z) + H(z) * MC(z)$. Funktionerna G och H visas i fig. 1, där utsignalerna Y1 och Y2 erhålls genom att addera utsignalkomponenterna som genereras av G och H. Som exempel beräknas Y1 enligt formeln $Y1 = G11 * U1 + G14 * U4 + H1 * MC$. Delfunktionerna G11 och G14 omvandlar U1 och U4 till Y1-komponenter, G12 och G13 finns inte eftersom U2 och U3 inte påverkar Y1 märkbart, och H1 omvandlar fukthalt till Y1-komponent. Delfunktionerna har tagits fram av handledare genom System-identifiering, vilket inte varit del av examensarbetet.



Figur 1: Överföringsfunktionerna G och H omvandlar insignaler till utsignalkomponenter

Alla delfunktioner i G och H baseras på tillhandahållna linjäriserade Z-transformfunktioner med form $G(z) = \frac{a}{1+bz^{-1}}$. Z-transform är lämpligt för att modellera och omvandla tidsdiskreta ekvationer. Ekvationerna överlämnades som G(z) (eller H(z) när fukthalt är insignalen) och översätts till PLC-funktioner enligt följande:

$$\begin{aligned}
 G(z)U(z) &= \frac{a}{1+bz^{-1}}U(z) = Y(z) \\
 \Rightarrow Y(z)(1+bz^{-1}) &= aU(z) \\
 \Rightarrow Y(z) + bz^{-1}Y(z) &= aU(z) \\
 \stackrel{z^{-1}}{\Rightarrow} y(t) + by(t-1) &= au(t) \\
 \Rightarrow y(t) &= au(t) - by(t-1)
 \end{aligned}$$

Där y(t) är en utsignal-komponent. Sista raden kan även skrivas som $y(t) = g(q) * u(t)$ eller om $u(t)=MC$, $y(t) = h(q) * MC$. Varje delfunktion skrivs som funktionsblock (byggsten i huvudprogrammet) i språket Structured Text för PLC enligt formatet

```

y = a * u - b * y_old;
y_old = y;

```

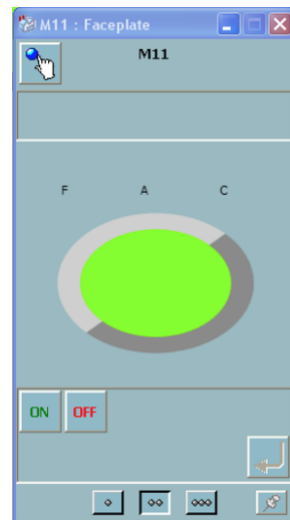
y_old motsvarar alltså y(t-1) vilket betyder ”y-värde från föregående exekvering”. y_old måste ha ett initialvärde eftersom det annars blir problem när y_old används första gången programmet exekveras utan att ha tilldelats något värde. Tidsenheten ställs in i Task Manager till 1 minut eftersom PLC-programmet ska exekveras en gång varje minut.

2.5 Simulerade insignaler

Eftersom verkliga insignaler inte används i arbetet så varieras alla insignaler utom fukthalt med kod. Maxvärden från Gävle Energis data anges som insignalvariablernas konstanta real-värde. Insignal-variablerna multipliceras med en variabel som pendlar stegvis mellan 0 och 1, vilket motsvarar 0 till 100% av maxvärden. Maxvärden följer, utan enhet: U1_bränslematning = 45, U2_primärfläkt = 7, U3_sekundärfläkt = 10 och U4_tertiärfläkt = 2.

2.6 Faceplate

HMI:t som arbetet ska leda till skall bestå av en Faceplate i ABB Plant Explorer Workplace. En sådan Faceplate är ett slags popup-fönster som öppnas genom att klicka på ett konfigurerat grafiskt element som lagts till i processbilden (den bild som operatörerna utgår ifrån för övervakning och kontroll av process). Man kan lägga in många olika element i en Faceplate, bland annat knappar, indikatorer, grafiska aspekter (aspekter är underobjekt associerade till en fil i Object type structure), Exempel visas i fig. 2. HMI:t ska i arbetet innehålla fukthaltsreglage eftersom fukthalt påverkar effekt och utsläpp. HMI:t ska också innehålla trenddiagram för effekt och utsläpp för att operatörer ska kunna se och åtgärda eventuella avvikelser från önskad drift, framför allt m.a.p. utsläpp.



Figur 2: En enkel Faceplate

3 Metod

Val av metod styrdes av faktumet att kraftvärmeverket Johannes använder sig av PLC och processövervakning från varumärket ABB. PLC-program skrevs i programmeringsmiljön ABB Compact Control Builder, vilket valdes eftersom programmet är tänkt att köras som sagt på PLC från ABB. I Compact Control Builder fanns det flera programmeringsspråk att välja bland. Språket Function Block Diagram (FBD) användes för huvudprogrammet enligt instruktioner från handledaren eftersom det bygger på funktionsblock, vilket ger en övergripande lättförståelig bild av programmets funktion. Funktionsblocken speglar termerna i följande ekvationer: $Y1 = G1*U + H1*MC$ och $Y2 = G2*U + H2*MC$. I huvudprogrammet blev alltså $G1*U$ blocket G1, $H1*MC$ blev blocket H1, $G2*U$ blev G2 och $H2*MC$ blev blocket H2.

Funktionsblock liknar subrutiner men kan skrivas i ett annat språk än huvudprogrammet. Funktionsblockens in- och utparametrar måste deklarerars i sina parameterlistor, sedan kan blocken placeras i huvudprogrammet och kopplas samman med huvudprogrammets variabler. Funktionsblocken skrevs med Structured Text-språket eftersom det var enkla matematiska rader och if-satser som skulle skrivas. Kombinationer av fukthalt (MC), transportband för flis (U1), primärfläkt (U2, användes inte), sekundärfläkt (U3), tertiärfläkt (U4) och blockets utsignal angavs som parametrar i funktionsblocken.

Till funktionsblocken tillhandahöll handledaren följande delfunktioner:

$$G_{11}(z) = \frac{0.1298}{1 - 0.8493z^{-1}}, G_{14}(z) = \frac{1.759}{1 - 0.758z^{-1}}, H_1(z) = \frac{1.7}{1 + 0.2732z^{-1}}$$
$$G_{23}(z) = \frac{8.953}{1 - 0.6932z^{-1}}, G_{24}(z) = 114, H_2(z) = \frac{-0.07894}{1 - 0.9982z^{-1}}$$

Första raden var funktioner för att beräkna effekt (Y1) från Z-transform enligt formeln

$$Y_1(z) = G_{11}(z)U_1(z) + G_{14}(z)U_4(z) + H_1(z)MC(z)$$

På samma sätt var andra raden av delfunktioner för att beräkna NO_x-utsläpp (Y2). Totalt är insignalerna är fukthalt (MC), bränsleinmatning (U1), primärfläkt (U2, används inte), sekundärfläkt (U3) och tertiärfläkt (U4). Primärfläkten ventilerar under förbränningen, sekundärfläkten ventilerar in i förbränningen och tertiärfläkten ventilerar ovanför förbränningen. I enlighet med avgränsningarna (avsnitt 1.4) så användes inte verkliga varierande signaler, istället simulerades alla U-signalerna med oscillationer som gick från 0 till de maxvärden som hämtats från Gävle Energis data. Fukthalt oscillerade inte eftersom den skulle styras med ett HMI-reglage.

I Compact Control Builder kopplades huvudprogrammet till en Task, som ställdes in specifikt för detta arbete så att programmet kördes 1 gång i minuten. Kopplingen utfördes genom Task Manager, som ansvarar för hur ofta ett program körs. Inställningen utgick från en standard-Task med namnet Slow Task, som exekveras med intervall i millisekunder. Det fanns två andra standard-Task med namnen Normal och Fast, som vanligtvis exekveras med intervall i mikrosekunder respektive nanosekunder.

HMI konstruerades i programmet ABB Plant Explorer Workplace, vilket valdes eftersom kraftvärmeverket Johannes använder sig av det programmet för sin processövervakning. Konstruktionen av HMI:t krävde att PLC-programmet var uppladdat till en ABB PLC 800, som i sin tur anslutits till datorn med programmet ABB OPC Server (till vilken man behöver PLC:ns IP-adress). Plant Explorer utgick ifrån en lång lista av s.k. Structures. I varje Structure utför man olika sorters ändringar och inställningar. I detta arbete behövde bara två Structures användas. Först skapades ett PLC-objekt i Object Type Structure, sedan skapades i objektet de signaler som ska användas i HMI:t, nämligen fukthalt samt utsignalerna Effekt och NOx-utsläpp. I Control Structure kopplades det skapade PLC-objektet till en ABB PLC 800 som var ansluten via OPC Server, sedan kopplades varje signal i PLC-objektet till sin motpart i PLC-programmet. I Control Structure konfigurerades även fukthalt-signalen till att vara kontrollerbar, eftersom den ska kunna ändras i HMI:t. Därefter behövde man göra en "deploy" i Control Structure, vilket realiserade de kopplingar och inställningar som gjorts. Sedan återvände fokus till Object Type Structure, där det skapades ett grafiskt element i form av ett reglage för fukthalten. Där skapades också trenddiagram för varje utsignal. Sist skapades en faceplate där reglaget och trenddiagrammen lades in.

Trenddiagrammen kunde struktureras på 3 olika sätt i faceplaten:

1. Alla utsignaler läggs i samma trenddiagram direkt i faceplaten
2. Faceplaten har en flik för varje utsignal
3. Faceplaten har en popup-knapp för varje utsignal

Alternativ 3 valdes eftersom det upplägget liknade kraftvärmeverkets standard mest, plus att man då enkelt kan lägga in gränsvärde i signallistan som visas under diagrammen. Kraftvärmeverkets standard framgick av studiebesöket som beskrivs kortfattat i avsnitt 3.1.

3.1 Studiebesök

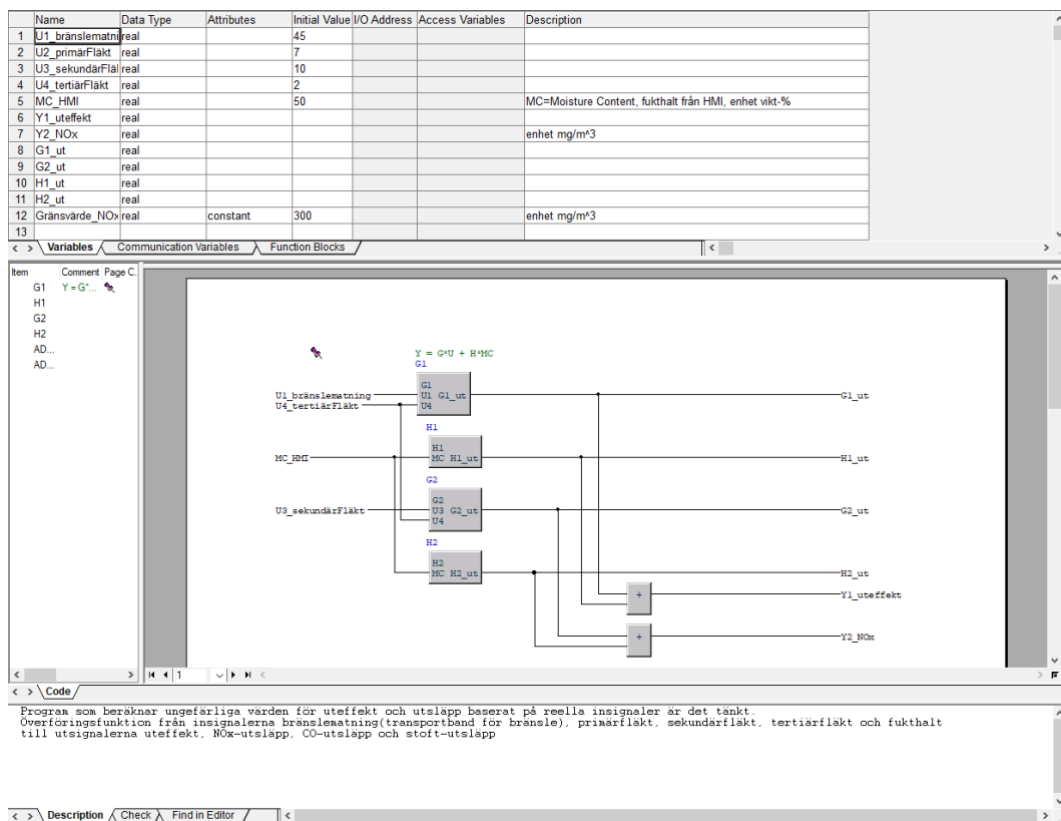
Ett studiebesök gjordes hos Gävle Energis kraftvärmeverk Johannes, där student och handledare fick lära sig om värmeverket av en operatör. Operatören delade med sig av mycket tidigare okänd information: Värmepannan har en fluorescerande sandbädd i botten (sandens bubblor med hjälp av primärfläkt), ammoniak tillsätts via styrsystem för att sänka NO_x, bränslet växlar mellan framför allt bark och träavfall, fukthalten hos bränslet ska ligga vid ungefär 50%, bränslet uppfuktas via styrsystem, inert gas blandas med primärfläktens luft, och under vintern påverkas driften av snö och is i bränslet. Bränslet låg utomhus i kanske 10 högar med storlek ca 5x15 m vilket visade på överkapacitet inför sommaren då värmeverket används i mindre utsträckning.

Förutom den information som operatören förmedlade så fick student och handledare se operatörernas datorskärmar. Där syntes flera flikar av processbilder, som speglade olika delar av kraftvärmeverkets system. Besökarna fick även se exempel på Faceplates, vilket bidrog till att skapa en uppfattning om hur Faceplates hos Johannes kraftvärmeverk bör se ut. Kraftvärmeverkets Faceplates behöll standardstorlek på fönstret och hade ca 4-8 element i sig. Reglage var placerade i mitten av fönstret och knappar för diagram var placerade ovanför reglagen. Den nya kunskapen om hur Faceplates bör se ut på kraftvärmeverket Johannes användes vid konstruktion av det här arbetets Faceplate.

4 Resultat

Arbetet resulterade i ett PLC-program som skattar aktuella utsläpp av NOx, CO och stoft samt uteffekt, och ger då utdata som ska motsvara sensordata.

Huvudprogrammet är skrivet med språket Function Block Diagram och baseras på ekvationen $G(z) * U(z) + H(z) * MC(z) = Y(z)$. I ekvationen är G överföringsfunktioner till U -signalerna, H är överföringsfunktioner till MC (som står för Moisture Content) och Y är utsignalerna effekt och NOx-utsläpp. Programmet visas i fig. 3 och körs en gång i minuten.



Figur 3: Huvudprogram för skattning av värden för uteffekt och utsläpp. Från början skulle det inkludera CO-utsläpp och stoftutsläpp men svårigheter och tidsbrist ledde till att de ekvationerna inte kunde utföras.

De insignaler som används är som tidigare nämnts transportband, primärfläkt, sekundärfläkt och tertiärfläkt, och utsignalerna är uteffekt samt utsläpp av NOx. Programblock är skrivna med språket Structured Text och visas i fig. 4-7. Det bör nämnas att G - och H -blockens utsignaler är komponenter av Y -signalerna och därför borde namngivits i stil med $Y1a$, $Y1b$ et cetera. I fig. 4 och 6 syns logik med variablerna $cycle$ och $direction$, dessa variabler används för att generera varierande signaler från 0 till 100 % av de maxvärden för U -signalerna som hämtats från Gävle Energis data. Om PLC-programmet slutligen blir implementerat hos kraftvärmeverket Johannes så ska $cycle$ och $direction$ tas bort eftersom insignaler $U1-U4$ kommer variera enligt kraftvärmeverkets styrning, ingen simulering behövs.

	Name	Data Type	Attributes	Direction	FD Port	Initial Value	Description
1	U1	real		in	yes		transportband för träflis
2	U4	real		in	yes		tertiärfläkt
3	G1_ut	real		out	yes		
4							

Parameters Variables External Variables Function Blocks

```

(* G1-funktion med signalerna transportband och tertiärfläkt,
cykliskt tillägg som ska ersättas med verklig input-data från hårdvara *)

cycle := cycle + direction;          (* cycle & direction ska bort i slutversionen *)

G11 := 0.1298*cycle*U1 + 0.8493*G11_old;
G14 := 1.759*cycle*U4 + 0.758*G14_old;
G1_ut := G11 + G14;

G11_old := G11;
G14_old := G14;

if cycle >= 1 then
  direction := -0.25;
end_if;

if cycle <= 0 then
  direction := 0.125;
end_if;

```

Code

Figur 4: Funktionsblock för överföringsfunktion G1 till ekvation $Y1 = G1*U + H1*MC$

	Name	Data Type	Attributes	Direction	FD Port	Initial Value	Description
1	MC	real		in	yes	20	fukthalt i biobränsle
2	H1_ut	real		out	yes		
3							

Parameters Variables External Variables Function Blo

```

>(* fukthaltfunktion *)

H1 := 1.7*MC - 0.2732*H1_old;
H1_ut := H1;

H1_old := H1;

```

Code

Figur 5: Funktionsblock för överföringsfunktion H1 till ekvation $y1 = G1*U + H1*MC$

	Name	Data Type	Attributes	Direction	FD Port	Initial Value	Description
1	U3	real		in	yes		sekundärfläkt
2	U4	real		in	yes		tertiärfläkt
3	G2_ut	real		out	yes		
4							

Parameters Variables External Variables Function Blocks

```

(* G2-funktion med input från sekundärfläkt och tertiärfläkt,
cykliskt tillägg som ska ersättas med verklig input-data från hårdvara *)

cycle := cycle + direction;          (* cycle & direction ska bort i slutversionen *)

G23 := 8.953*cycle*U3 + 0.6932*G23_old;
G24 := 114*cycle*U4;
G2_ut := G23 + G24;

G23_old := G23;
G24_old := G24;

if cycle >= 1 then
  direction := -0.125;
end_if;

if cycle <= 0 then
  direction := 0.25;
end_if;

```

Code

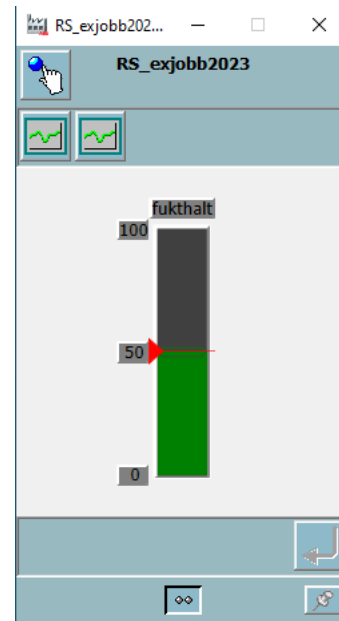
Figur 6: Funktionsblock för överföringsfunktion G2 till ekvation $Y2 = G2*U + H2*MC$

	Name	Data Type	Attributes	Direction	FD Port	Initial Value	Description
1	MC	real		in	yes	20	fukthalt i biobränsle
2	H2_ut	real		out	yes		

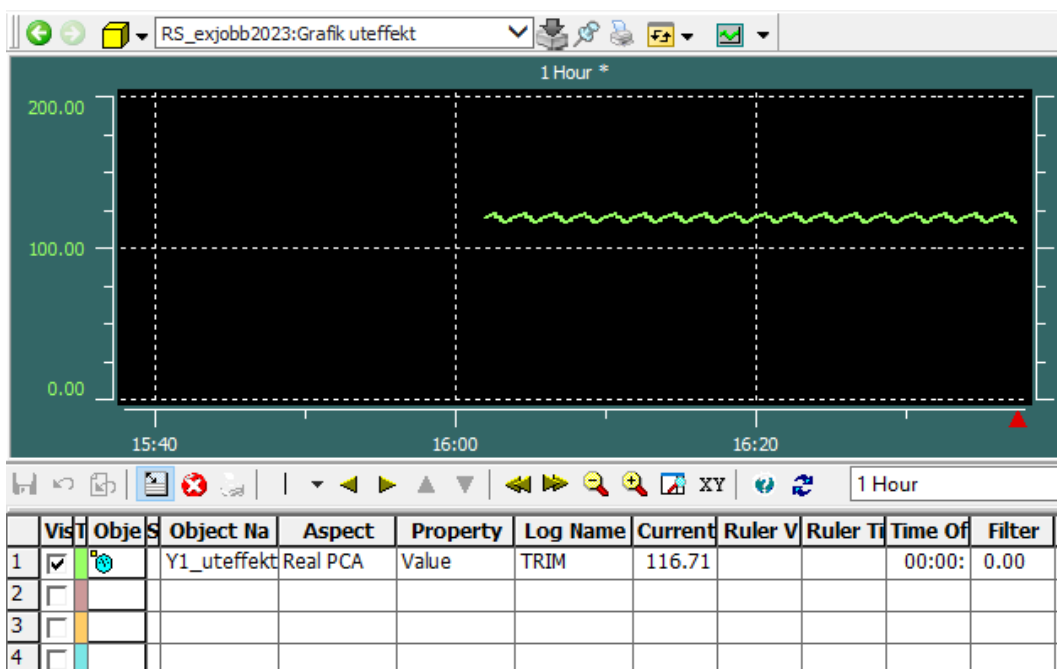
Code
<pre> (* fukthaltfunktion *) H2 := -0.07894*MC + 0.9982*H2_old; H2_ut := H2; H2_old := H2; </pre>

Figur 7: Funktionsblock för överföringsfunktion H2 till ekvation $y2 = G2*U + H2*MC$

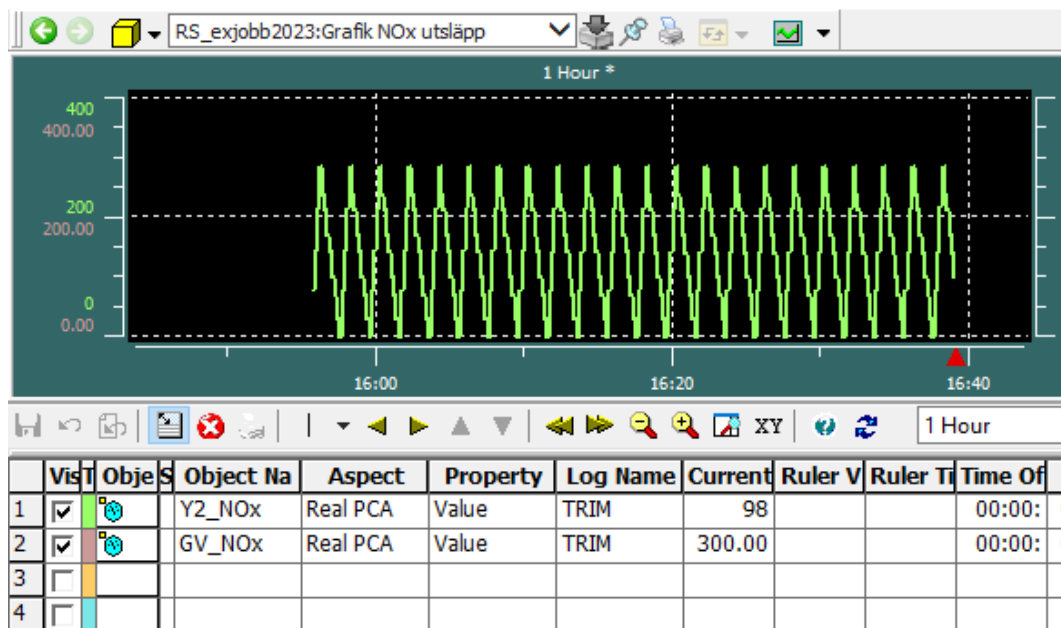
Arbetet ledde också till en ABB faceplate (fig. 8) där man kunde läsa av PLC- programmets utdata och även ändra fukthalt med ett reglage så att PLC-programmet ändrade sina utdata. Reglaget fick också en markör för värdet 50% eftersom fukthalten ska ligga däromkring. Om man klickar på reglaget så kommer en ruta upp där man kan skriva fukthaltsvärdet med tangentbordet. Faceplaten fick också knappar till trenddiagram för uteffekt och utsläpp av NOx se fig 9 och 10, namn på diagrammen dyker upp om man håller musen över respektive knapp. I trenddiagrammet för NOx-utsläpp angavs också det lagstadgade gränsvärdet för NOx-utsläpp.



Figur 8: Faceplate med reglage och knappar till trenddiagram



Figur 9: Trenddiagram för skattad uteffekt, enhet MW



Figur 10: Trenddiagram för skattat NOx-utsläpp med gränsvärde (GV) på 300, enhet mg/m³

I trenddiagrammen kan man se att uteffekten beror mest på fukthalt som är konstant, medan U-signalerna påverkar väldigt lite vilket visas av det lilla sicksack-mönstret. Med NOx-utsläpp är det tvärtom, inget konstant värde från fukthalten visas utan variationen från uträkningen $G2*U$ är det enda som syns.

5 Diskussion

Gävle Energi hade begärt program och HMI till ett fjärrvärmeverk för att begränsa utsläpp genom att reglera fukthalten i bränslet till deras fastbränslepanna. Resultatet av arbetet fungerade som tänkt, men visade kanske konstigheter i matematiken eftersom uteffekten i diagrammet (fig. 9) berodde nästan helt på den konstanta fukthalten medan de varierande U-signalerna påverkade väldigt lite, en värmepannas effekt borde rimligtvis påverkas mer av bränslematning (U_1) och fläktar. NO_x -diagrammet verkar vara mer realistiskt eftersom litteraturstudien visat att NO_x -utsläpp varierar mycket lite beroende på fukthalt. Både uteffekt och NO_x -utsläpp visade sig bero på misstag i konverteringen av delfunktionerna, men även när misstagen åtgärdats så kvarstod konstigheter. Sammanfattningsvis kan det sägas att det är svårt att dra slutsatser om simulerade signaler och linjärisering av en multivariabel förbränningsprocess kan ha medfört problem.

Signalomfånget för NO_x -utsläppet stämde bra med Gävle Energis data och går från 0 till ca 400 mg/m^3 . Signalomfånget för uteffekten stämde inte lika bra, den bör gå mellan 0 och 80 MW men går i diagrammet till över 120 MW.

Att programmet och HMI:t inte skulle vara helt färdiga beror på att arbetet önskas drivas vidare av handledare och Gävle Energi i tidigare nämnt samarbetsprojekt (avsnitt 1.1). Radarbolagets del i projektet är redan utfört i och med deras framtagning av teknik för fukthaltsmätning.

Vid studiebesöket framkom att ammoniak blandas med förbränningsgasen via styrsystem, vilket visar på att Gävle Energi redan undersökt teknik för att minska utsläpp eftersom ammoniak sänker NO_x -halten i rökgasen. Vid fortsatt klimatarbete vore det därför kanske bra att ta reda på hur deras tidigare undersökning av miljöåtgärder gått. Det nuvarande systemet tillsätter alltså ammoniak till rökgasen som i sin tur reagerar med kväveoxider, sedan samlas den ammoniak som inte reagerat och återförs till systemet.

Studiebesöket avslöjade också att förbränningsluften till kraftvärmeverket uppfuktas, vilket betydde att det tillsätts fukt upp till $50 \pm 5 \%$. Uppfuktningen beror på att vattenången som då produceras under förbränningen används i kraftvärmeverkets fjärrvärmesystem eller lagras för senare användning. Denna information är relevant för att förstå inom vilket intervall fukthalten ska ligga, och tillsammans med H-funktionerna kan man då uppskatta hur mycket fukthalten kommer påverka de skattade utsignalerna.

En tredje bit av information från studiebesöket var att inert gas blandas med primärluften, vilket kan bidra till att förklara varför primärfläkten inte har någon inverkan (dvs varför U2 inte används i modell eller program). Den inerta gasen tillsätts för att fläkten ska fluorescera värmepannans sandbädd, vilket får bränslet att lyfta och kastas om. Det är inte önskvärt att elden ska få fart nedåt, eftersom bränsle blandat med sand inte förbränns fullständigt.

Litteraturstudien visade att utsläpp av NO_x och stoft påverkas svagt av fukthalt, alltså måste fukthalten varieras kraftigt för att få markant effekt på utsläppen, eller så måste andra metoder tillämpas för att reglera just NO_x och stoft. Kolmonoxid däremot är ett mått på fullständig förbränning, och varierar beroende på fukthalt och bränsletyp. Förbränningen kommer behöva balanseras mellan att ge så mycket värme och ånga som önskas, och att hålla sig under svenska gränsvärden för kolmonoxid. Fukthalt i bränsle tar bort värme från systemet genom förgasning men trots det önskas fukthalten ligga runt 50 vikt-%. Detta beror på att ångan används för uppvärmning i fjärrvärme, uppvärmning av bränsle före förbränning och lagring av energi. Värmepannans tillverkares rekommendationer bör också tas hänsyn till. Under arbetets gång har det visat sig flera faktorer förutom fukthalt påverkar utsläpp. Medan vissa faktorer kanske inte är lämpliga att ändra, såsom sänka förbränningstemperatur, så är andra värda att se över för att minska utsläppen, såsom bränslets bearbetning och i långa loppet värmepannan och dess ventilationssystem.

Regleringen av utsläpp hos Gävle Energis kraftvärmeverk bidrar till bättre klimat och ligger i linje med de Globala Målen 9 och 13, vilka är *hållbar industri, innovationer och infrastruktur* respektive *bekämpa klimatförändringarna* [6]. Ännu mindre utsläpp från fjärrvärmeverk är dock eftersträvansvärt men svårare att uppnå, för varje grad Celsius sänkning så sänks energiåtgång väsentligt men samtidigt efterfrågas en viss mängd el och värme. Ett potentiellt hot mot anställda på kraftvärmeverk och mot Globala Målen nr 3 *god hälsa och välbefinnande* [6] är sjukdomen ODS (fliseldarsjukan) som man kan få av att vistas i miljöer där fast biobränsle eldas, men Gävle Energi motverkar redan problemet genom att mäta och anpassa luftkvalitén där anställda vistas.

6 Slutsatser

Arbetet började med data från Gävle Energi, matematiska modeller för effekt och NO_x-utsläpp samt mjukvara från ABB för PLC-programmering och HMI-konstruktion. PLC-programmeringen för skattade värden (y) från insignaler (u och MC) gjordes för huvudprogrammet med språket FBD och motsvarar Z-transformekvationen

$$Y(z) = G(z) * U(z) + H(z) * MC$$

där delfunktionerna G och H programmerades i funktionsblock med språket Structured Text. HMI-konstruktionen gjordes genom att koppla signalobjekt till PLC-signaler, skapa HMI-reglage för fukthalt och trenddiagram för effekt och NO_x-utsläpp, och sedan föra in grafikobjekten i en Faceplate. Arbetet resulterade i ett fungerande PLC-program med utsignaler, varav effekten var förvånande, och en Faceplate som innehöll reglage för fukthalt och trenddiagram för effekt och NO_x-utsläpp.

Projektets programkod och HMI kommer i nuläget bara vara användbart på Gävle Energis kraftvärmeverk i Gävle, men kan vara till hjälp för andra kraftvärmeverk om de har eller bygger liknande reglersystem med kompenserbara skillnader. Helst ska reglersystemen utformas med Compact Control Builder, ABB Plant Explorer Workplace och rätt tillhörande hårdvara. Ett sådant samarbete bör då ske först efter att handledare och Gävle Energi färdigställt arbetet. I nuläget förväntas färdigställningen bestå av:

- Överföringsfunktioner, PLC-program och diagram för skattning av CO-utsläpp och stoftutsläpp
- skattning av framtida värden för uteffekt och utsläpp
- MPC-funktioner för beräkning av rekommenderad fukthalt i bränslet med avseende på uteffekt, NO_x-utsläpp, CO-utsläpp eller stoft-utsläpp
- eventuella styrsignaler till kraftvärmeverkets process
- implementering av eventuell ny information

Dessutom behöver nog överföringsfunktionerna för skattning av uteffekt och NO_x-utsläpp förbättras eftersom den skattade uteffekten nästan bara påverkas av fukthalt medan det skattade NO_x-utsläppet inte påverkas synligt av fukthalten.

Referenser

- [1] C. Schön, D. Kuptz, R. Mack, V. Zelinski, A. Loewen, och H. Hartmann, "Influence of wood chip quality on emission behaviour in small-scale wood chip boilers", *Biomass Convers. Biorefinery*, vol. 9, nr 1, s. 71–82, mar. 2019, doi: 10.1007/s13399-017-0249-7.
- [2] A. Magdziarz, M. Wilk, och R. Straka, "Combustion process of torrefied wood biomass", *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 127, nr 2, s. 1339–1349, feb. 2017, doi: 10.1007/s10973-016-5731-0.
- [3] V. Kažimírová och R. Opáth, "Biomass combustion emissions", *Res. Agric. Eng.*, vol. 62, nr Special Issue, s. S61–S65, dec. 2016, doi: 10.17221/69/2015-RAE.
- [4] U. Kortela och Y. Majanne, "Intelligent instrumentation of solid fuel power plants", *IEEE Control Syst. Mag.*, vol. 7, nr 4, s. 31–35, aug. 1987, doi: 10.1109/MCS.1987.1105332.
- [5] N. Striūgas, L. Vorotinskienė, R. Paulauskas, R. Navakas, A. Džiugys, och L. Narbutas, "Estimating the fuel moisture content to control the reciprocating grate furnace firing wet woody biomass", *Energy Convers. Manag.*, vol. 149, s. 937–949, okt. 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.04.014.
- [6] "Globala målen – Läs om Globala målen – 17 mål för hållbar utveckling", *Globala målen*. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/> (åtkomstdatum 08 mars 2023).

