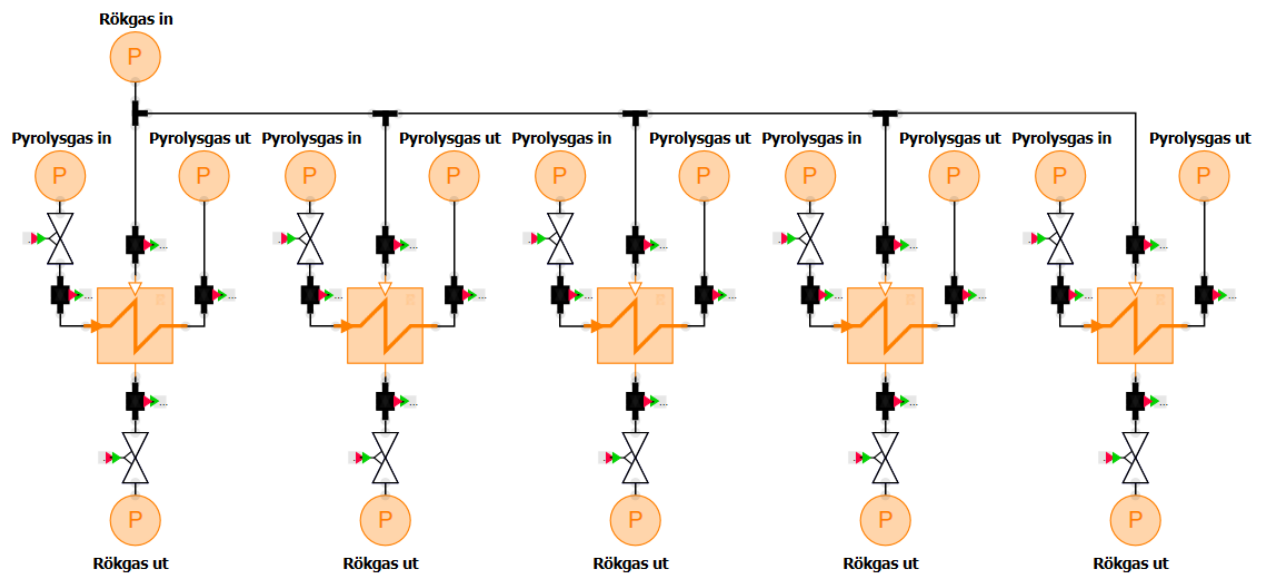




Digital tvilling för rökgasdistribution

Framtagning av reglerstrategi för anläggningskoncept

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Mekatronik

FILIP FORSBRING

OSKAR JOHANSSON

Förord

Detta projekt har utförts på uppdrag av Scandinavian Enviro Systems AB som ett avslutande examensarbete för högskoleingenjörsutbildningen Mekatronik (180 hp), vid Chalmers tekniska högskola. Projektet har löpt under utbildningens avslutande termin under en 20-veckorsperiod, motsvarande en omfattning på 15 hp.

Vi vill tacka både Johan Augustsson på Pidab AB och Mikael Börjesson på Siemens AB för deras handledning av, för oss, ny programvara. De har bidragit med tips om planering och struktur men även besvarat specifika detaljfrågor.

Ett stort tack till Olov Ershag, vår handledare på Scandinavian Enviro Systems AB, som introducerade oss för företaget och möjligheten vid H-sektionens exjobbsmässa. Hans vägledning och behjälplighet med att tillhandahålla information för att få en smidig och produktiv arbetsgång, har varit ovärderlig för genomförandet av examensarbetet.

Slutligen skulle vi även vilja lyfta fram vår handledare på Chalmers tekniska högskola, Bertil Thomas, för hans expertis inom reglerteknik vilken var en stor tillgång vid framtagningen av reglerstrategin.

Filip Forsbring och Oskar Johansson
Göteborg, Juni 2019

Abstract

Scandinavian Enviro Systems AB is a company that focuses on the recycling of end-of-life car tires through a patented pyrolysis technique. The company wants to scale up the recycling and the purpose of the work is to develop a digital twin for the flue gas distribution. A control strategy and dimensioning of the valves that control the distribution, is also included in the project.

Process data from the existing recycling process is collected and used as a basis for the work. SIMATIC SIMIT is the software where the simulation model is developed and it consists of several function-based models that communicate with each other. The strategy includes how the flue gas should be distributed and what type of regulation is recommended. The work resulted in a digital twin, consisting of four models, which can be used to simulate the operation of the upscale facility. Various operating scenarios can be tested by manually controlling the models with different valve- and heat exchanger settings. The flue gas distribution is recommended to be carried out step by step, so that one pyrolysis gas flow is heated at a time and to realize the control, cascade regulation is proposed. A further development of this work is to implement the cascade control in a software-in-the-loop configuration with an emulated control system.

Sammanfattning

Scandinavian Enviro Systems AB är ett företag som riktat in sig på återvinning av uttjänta bildäck genom en patenterad pyrolysteknik. Företaget vill skala upp återvinningen och arbetets syfte är att utveckla en digital tvilling för rökgasdistributionen. Projektet innefattar också att utveckla en reglerstrategi samt att dimensionera ventilerna som styr distribueringen.

Den befintliga återvinningsprocessen studeras och processdatan från den samlas in som underlag för arbetet. Simuleringsmodellen för distribueringen utvecklas i SIMATIC SIMIT och byggs upp i mindre funktionsbaserade modeller som kommunicerar med varandra. Strategin innefattar hur rökgasen ska fördelas och vilken typ av reglering som rekommenderas. Arbetet resulterade i en digital tvilling, bestående av fyra modeller, som kan användas för att simulera driften av den uppskalade anläggningen. Modellerna kan styras manuellt för att testa olika driftscenarion, ventilinställningar och värmeväxlarkonfigurationer. Rökgasfördelningen rekommenderas att genomföras stegvis, så att ett pyrolysgasflöde värms upp i taget och för att realisera styrningen föreslås kaskadreglering. En vidareutveckling av detta arbete är att implementera kaskadregleringen i en software-in-the-loop-konfiguration med ett emulerat styrsystem.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Avgränsningar	2
1.4	Precisering av frågeställningar	2
2	Teknisk bakgrund	3
2.1	Anläggningskoncept	3
2.2	Pyrolys	4
2.3	Vridspjäll	4
2.4	Tubvärmväxlare	4
2.5	SIMATIC SIMIT	4
3	Metod	5
4	Simuleringsmodell	6
4.1	Flödesmodell	6
4.2	Värmväxlarmodell	7
4.3	Modellintegrering	9
4.3.1	Huvudmodell	9
4.3.2	Mätmodell	11
4.3.3	Kontrollpanel	12
4.3.4	Dynamikmodell	13
5	Ventildimensionering	14
5.1	Styrventiler	15
5.2	Modulventiler	15
6	Reglerstrategi	16
6.1	Icke-parametrisk identifiering	16
6.2	Fördelning av rökgaser	18
6.3	Typ av reglering	19
7	Resultat	21
8	Diskussion	22

Referenser

23

Förkortningar

PID - Proportional Integral Derivative

P&ID - Piping & Instrumentation Diagram

SES - Scandinavian Enviro Systems AB

SIL - Software-in-the-Loop

SS - Shell Side

TS - Tube Side

1

Inledning

I det inledande kapitlet beskrivs bakgrunden till arbetet och vilka problem som det förväntas hantera. Kapitlet avser också tydliggöra vilka delar som inte behandlas inom ramen för det här projektet, såväl som att lika tydligt framhäva de frågeställningar som utgör dess kärna.

1.1 Bakgrund

Scandinavian Enviro Systems AB är ett svenskt företag som grundades år 2001. Företagets dotterbolag, Tyre Recycling in Sweden AB, driver den producerande verksamheten i Åsensbruk där de utvinner olja, stål och framförallt kimrök ur uttjänta däck. Ett däck består av cirka 30 % kimrök, vilket är ett fyllmedel vars funktion är att förbättra gummits mekaniska egenskaper. SES har lyckats återvinna medlet med sin patenterade pyrolysteknik - Carbonize by Forced Convection - med goda resultat. Det finns ett globalt intresse för tekniken som Enviro äger och de är i sin tur intresserade av att sälja tekniken [1].

I Åsensbruk har man i dagsläget en reaktormodul med en kapacitet på 6000 ton/år. Det ökade intresset för tekniken har föranlett att företaget, då man säljer sitt produktionspaket och erbjuder sin kompetens, vill kunna presentera och erbjuda en större anläggningskapacitet för sina kunder. Man planerar att femdubbla denna kapacitet till 30 000 ton/år, vilket motsvarar en lika stor ökning av antalet reaktormoduler. Detta skulle alltså innebära fem parallella moduler som förses med energi, i form av rökgas, från en gemensam brännare. Beroende på hur många moduler som är aktiva samtidigt kommer gasen behöva fördelas olika för att erhålla respektive flödes börvärdestemperatur. Företaget behöver därför en reglerstrategi för hur denna distribuering ska åstadkommas.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att utveckla en reglerstrategi för rökgasdistribueringen och att dimensionera ventilerna som styr regleringen. Vidare ska en digital tvilling till det nya anläggningskonceptet skapas, i form av en simuleringsmodell, för att möjliggöra implementering av den framtagna reglerstrategin. Till simuleringsmodellen ska ett operatörsgränssnitt också tas fram för att enkelt kunna testa olika driftscenarion.

1.3 Avgränsningar

Arbetets omfattning är begränsad och därför har ett antal avgränsningar stipulerats. Det handlar i huvudsak om den verkliga processens utsträckning i relation till simuleringsmodellen. Därtill har ett antal antaganden, kopplat till driftscenarion, införts för att minska processens komplexitet och därigenom underlätta regleringsarbetet. Nedan följer samtliga avgränsningar i punktform:

- Reglerstrategin kommer inte implementeras i någon existerande anläggning då den är en del av ett koncept för framtida anläggningar.
- Datan som används för att dimensionera simuleringsmodellen och styrventilerna utgår från tillgänglig processdata från den befintliga anläggningen i Åsensbruk.
- Brännarsystemet, där avkyld rökgas återförs och mixas med atmosfärsluft och bränsle i brännkammaren, behandlas ej.
- Reaktormodulsystemen, där pyrolysen av de uttjänta däckerna äger rum och råvaruutvinningen sker, betraktas som slutna system och behandlas ej.
- Den varma rökgasen och kalla pyrolysgasen, från brännarsystemet respektive reaktormodulerna, antas ha konstanta temperaturer och massflöden som ingångsvärden till simuleringsmodellen.

1.4 Precisering av frågeställningar

Projektet kan delas upp i tre olika områden och frågeställningarna nedan är en kombination av frågor som formulerats vid arbetets begynnelse och under det pågående arbetet. De ämnar bryta ner syftet och ytterligare tydliggöra vilka frågeställningar som arbetet fokuserat på.

Simuleringsmodell

- Hur ska modellen byggas upp för att efterlikna rökgasdistributionen?
- Finns det begränsningar i programvaran som inverkar negativt på värmeöverföringsförmågan?

Ventildimensionering

- Kan ventilerna dimensioneras utifrån tillhandahållen data om den befintliga processen och samtidigt ge rimliga resultat?

Reglerstrategi

- Kan de parallella flödena betraktas som oberoende av varandra vid regleringen?
- Hur ska rökgasen fördelas vid drift?
- Vilken typ av reglering är lämplig för processen?

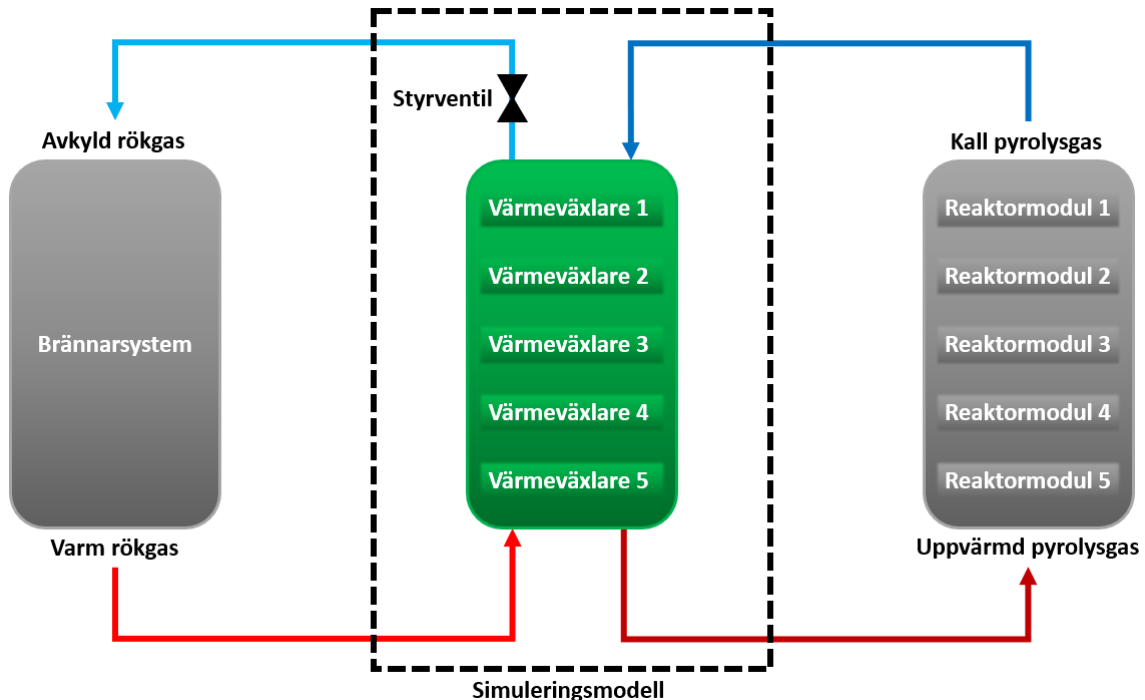
2

Teknisk bakgrund

Avsnittet nedan behandlar dels det anläggningskoncept som den digitala tvillingen skapas för, men även vilka tekniker och tekniska system som är en del av processen. Därtill beskrivs också en redogörelse för programvaran som används i projektet.

2.1 Anläggningskoncept

Konceptet som Scandinavian Enviro Systems AB har utvecklat är en kommersialisering av den patenterade pyrolysteknologin [2] och anläggningen styrs genom automation som bygger på en plattform från Siemens AG [3]. Huvudprocessen bygger på att en brännare förser reaktormodulernas energibehov. Detta sker genom att varm rökgas från brännaren värmeväxlas med kall pyrolysgas, så att pyrolysgasen värms till rätt temperatur (se figur 2.1).



Figur 2.1: Principen för anläggningskonceptet och simuleringsmodellen i förhållande till systemet.

2.2 Pyrolys

“Pyrolys är termokemisk sönderdelning av organiska ämnen i en idealiskt syrefri miljö där vätskor, fasta ämnen och icke-kondenserbara gaser bildas” [4, p.3]. I Åsensbruk sker processen i en reaktor och det organiska material som sönderdelas är gummi från uttjänta däck. Den icke-kondenserbara gasen som bildas benämns som “pyrolysgasen”, vilken cirkulerar i ett slutet system mellan reaktormodulerna och värmeväxlarna. Pyrolysgasens temperatur innan reaktorn är resultatet av rökgasregleringen.

2.3 Vridspjäll

Vridspjäll är en typ av ventil som är vanligt förekommande inom processindustrin och som används för att reglera flöden av olika slag [5]. Ventilen bygger på att man kan styra vinkeln hos en cirkulär skiva invändigt i röret. Ställs skivan vinkelrätt mot flödesriktningen blockeras flödet, medan om den vrids ett kvarts varv, så att den ställs parallellt med flödet, erhålls maximalt flöde. Allt däremellan ger följaktligen olika öppningsgrader för vridspjället. Styrventilerna som reglerar mängden rökgas är av denna typ och det som dimensioneras är vilket rökgasflöde som ska motsvara spjällets ventilkapacitet.

2.4 Tubvärmeväxlare

Tubvärmeväxlare är en av de mest använda typerna av värmeväxlare i industriella sammanhang [6]. Tubvärmeväxlaren bygger på att en fluid flyter invändigt i rör, vilka innesluts av en tub där en annan fluid flödar. Differensen mellan fluidernas temperaturer ger upphov till en värmeöverföring. Effektiviteten av värmeöverföringen ökas genom att det finns skiljeväggar inuti tuben. Tubvärmeväxlare kan användas på olika sätt där flödena kan flöda parallellt eller motströms. Beroende på riktningen får värmeöverföringen olika karaktäristik.

2.5 SIMATIC SIMIT

SIMATIC SIMIT är en programvara från Siemens AG som används inom processindustrin för att testa automationsapplikationer i en virtuell miljö. Plattformen kan konfigureras för både hardware-in-the-Loop (HIL) och software-in-the-Loop (SIL) [7]. Om den senare konfigurationen tillämpas, kopplas SIMATIC SIMIT till en extern programvara via ett emulerat styrsystem. Simuleringsmodellen, anläggningskonceptets digitala tvilling, skapas i SIMATIC SIMIT.

3

Metod

Innan arbetet med simuleringsmodellen kommer arbetsgången planeras genom att dela upp projektet i olika moment. Först kommer arbetet inledas med en förstudie där data och information om den befintliga processen i Åsensbruk samlas in. Processdatan kommer tillhandahållas från vår handledare på Scandinavian Enviro Systems AB i form av P&ID-ritningar och datablad. Dessa kommer användas för att få en tydligare bild av skillnaderna mellan den nuvarande processen och anläggningskonceptet. Från det materialet kommer en enkel skiss tas fram för den digitala tvillingen i samråd med vår kontakt på företaget. Syftet med skissen är att erhålla ett diskussionsunderlag och en utgångspunkt för samtal, beslut och åtgärder under arbetets gång. Parallellt med framtagningen av skissen kommer ett kompletterande flödesschema för processen och gasinteraktionen att skapas. Detta för att skapa en bättre förståelse för processen.

Därefter kommer en demoversion av programvaran användas för att bekanta sig med programvaran innan tillgången till licensen blir möjlig. Genomgång av manualen om programvaran kommer också att läsas som förberedelse. Arbetet med modellen kommer att byggas upp i små fungerande delsystem för att sedan koppla samman dem till en fungerande process. När strukturen på processen är uppbyggd kommer parametrar beräknas av processdata från Scandinavian Enviro Systems, för respektive komponent i modellen. Modellen kommer testas med de inställda värdena, volymflöden m.m. jämföras därefter med processdatan. Vid felaktigheter kommer diskussioner med personer inom branschen på Pidab AB att nyttjas för att eventuellt justera parametrarna.

Då modellen är skapad kommer arbetet för att ta fram en reglerstrategin att påbörjas. Icke-parametrisk identifiering kommer användas för att kunna ta fram ett stegsvar och en överföringsfunktion på processen. Stegsvaret och överföringsfunktionen kommer att analyseras för att verifiera att de är rimliga för processen.

Ett koncept för hur regleringen ska se ut kommer utarbetas med processens begränsningar och möjligheter i åtanke. Distruberingen av rökgas mellan de olika flödena till värmeväxlarna kommer behandlas så väl som temperaturregleringen i respektive flöden.

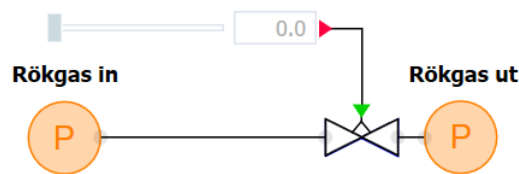
4

Simuleringsmodell

Programvaran som används för att skapa den virtuella anläggningen är SIMATIC SIMIT. För att simuleringsmodellen inte ska bli alltför komplex och svår att felsöka under framtagningen, byggs den initialt upp i två mindre delmodeller. Tillvägagångssättet säkerställer att respektive delmodells funktionsduglighet kan testas och verifieras innan modellerna sammanfogas. Samtliga komponenter som används är från komponentbiblioteken BASIC och FLOWNET.

4.1 Flödesmodell

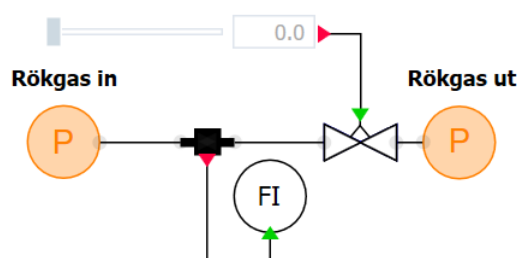
Den första delmodellen handlar om att ge upphov till ett massflöde, vilket åstadkoms genom att trycksätta modellen och därefter initiera ett tryckfall (se figur 4.1).



Figur 4.1: Modell för styrning av massflöde.

Tryckkällan till vänster i bild fixeras med ett övertryck motsvarande systemtrycket från brännkammaren, medan den andra tryckkällan initieras med ett lägre tryck. Differensen ger upphov till ett massflöde riktat åt höger i modellen. Enbart källorna i sig gör att modellen inte uppfyller minimikraven för en modell i SIMATIC SIMIT. För att styra mängden gas per tidsenhet kompletteras därför modellen med en styrventil och ett reglage.

Scandinavian Enviro Systems AB planerar att använda sig av vridspjäll med kvadratisk karaktäristik för att reglera rökgasflödet, varpå motsvarande inställning väljs i SIMATIC SIMIT. För att identifiera storleken hos det initierade massflödet införs en mätkomponent. Denna kopplas i serie med de övriga komponenterna via en kopplingsanslutning (se figur 4.2).

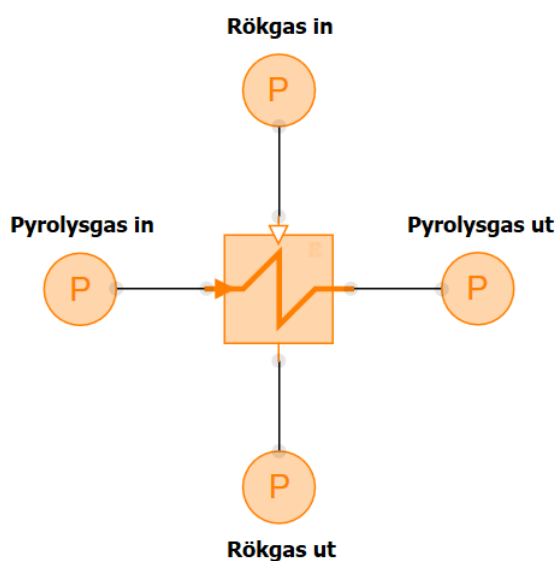


Figur 4.2: Flödesmodell för styrning och mätning av massflödet.

När modellen simuleras, visas flödets storlek i mätkomponentens operatörsfönster. På så vis erhålls en direkt återkoppling på reglagelägets inverkan på flödet. Därmed har modellen lyckats ge upphov till ett massflöde som i sin tur kan styras och kontrolleras med styrventilen.

4.2 Värmeväxlarmodell

Den andra delmodellen hanterar värmeväxlingen mellan gaserna och fokuserar således på temperaturen. Målet med växlingen är som bekant att den varma rökgasen ska höja temperaturen hos den kallare pyrolysgasen. Likt beskrivningen i föregående delmodell, så initieras gaserna med tryckkällor som sammanlänkas. Gasernas systemtryck ger upphov till massflöden och skapar, tillsammans med ingående temperaturdifferenser gaserna emellan, förutsättningar för värmeöverföringen. Själva överföringen i SIMATIC SIMIT möjliggörs av ett värmeväxlarblock. Företaget planerar att använda sig av tubvärmeväxlare med motriktade flöden, där rökgasen flödar utvändigt och pyrolysgasen invändigt. Följaktligen kopplas rökgasens tryckkällor till blockets skalsida och pyrolysgasens dito kopplas till blockets tubsida (se figur 4.3).

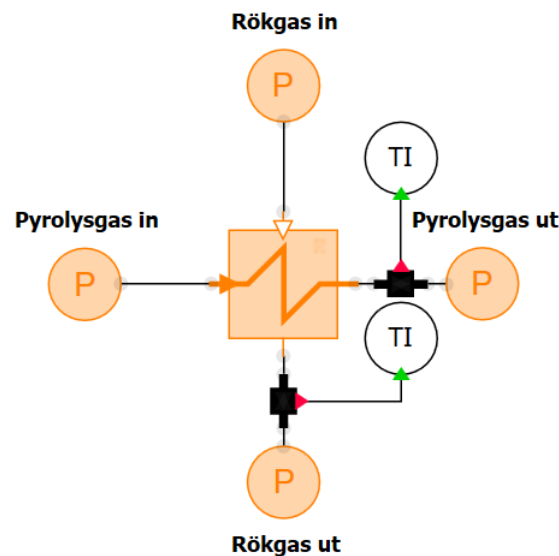


Figur 4.3: Modell för värmeöverföring mellan gaserna.

Dimensioneringen av värmeväxlaren utgår från ett testfall, utfört av en extern ingenjörbyrå, av den befintliga anläggningen i Åsensbruk. Testfallet dokumenterades i en specifikation där gasernas temperatur från brännarsystemet och reaktormodulen anges. I programvaran utgörs dimensioneringen av tubvärmeväxlaren av följande parametrar:

- Flödets riktning
- Antal segment
- Ventilkoefficient (SS & TS)
- Volym (SS & TS)
- Mantelarea (SS & TS)
- Värmeövergångstal (SS & TS)
- Tubens värmekapacitet
- Tubens massa

Riktningen är som bekant motströms och antal segment syftar indirekt på hur många skiljeväggar det finns inuti tuben. Värmeväxlaren i Åsensbruk har fyra jämnt fördelade väggar, vilket ger fem lika stora segment. De geometriska parametrarna beräknas ur data från specifikationen och parametrarna kopplat till tubmaterialet hämtas direkt ur densamma. För att identifiera gasernas utgående temperaturer införs en mätkomponent för respektive flöde (se figur 4.4).

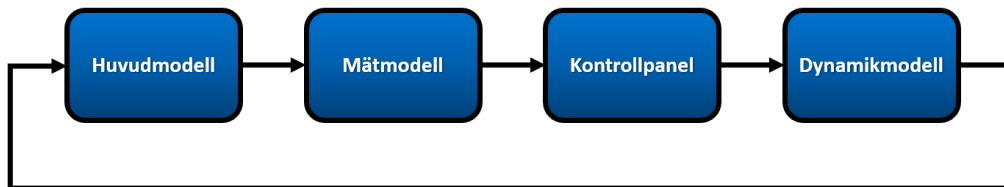


Figur 4.4: Värmeväxlarmodell för värmeöverföring mellan gaserna och mätning av utgående temperaturer.

Då modellen simuleras, visas gasernas temperaturer i mätkomponenternas operatörsfönster. Rökgasen kyls ner och pyrolysgasen värms upp, vilket innebär att modellen har lyckats ge upphov till ett värmeutbyte mellan gaserna.

4.3 Modellintegrering

De funktionsbaserade modellerna som beskrivits ovan sammanfogas till ett system, för att möjliggöra temperaturstyrning genom flödesreglering. Utöver integreringen av de två delmodellerna införs en övergripande struktur, vilken illustreras av ett blockschema (se figur 4.5).

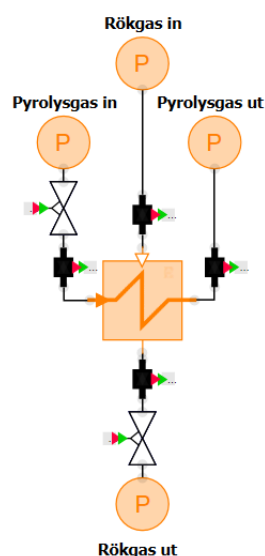


Figur 4.5: Blockschema som visar hur simuleringsmodellens modeller hänger ihop.

Strukturen innefattar totalt fyra modeller och kommunikationen mellan de möjliggörs av förbindelsekontakter i SIMATIC SIMIT, vilka både kan ta emot och skicka data. Syftet med uppdelningen är att begränsa den enskilda modellens omfattning och komplexitet. Nedan följer en redogörelse för respektive modell, datautbytet mellan modellerna och signalvägen med start i huvudmodellen.

4.3.1 Huvudmodell

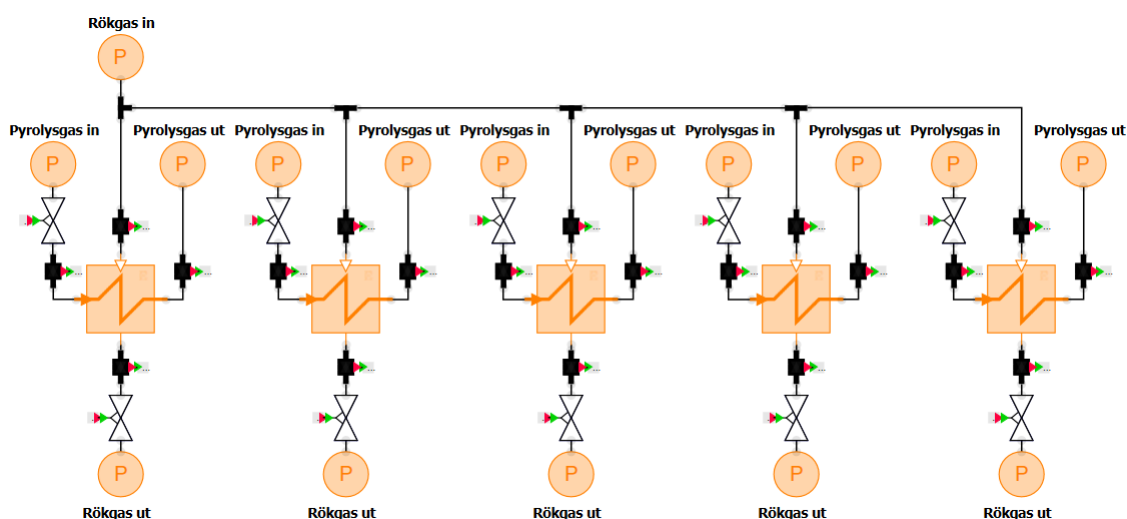
Integreringen av flödes- och värmeväxlarmodellen sker i huvudmodellen där den senare av de två används som grund för ihopslagningen. Styrventilen från flödesmodellen adderas till rökgasflödet i värmeväxlarmodellen och mätkomponenterna, som identifierade gasernas massflöden och temperaturer, ersätts av förbindelsekontakter (se figur 4.6).



Figur 4.6: Huvudmodellen med en värmeväxlare.

En önskad effekt som uppkommer i SIMATIC SIMIT är att pyrolysgasens massflöde ökar okontrollerat. För rökgasflödet är detta inget problem då styrventilen som reglerar gasmängden åtgärdar effekten, men för pyrolysgasen kvarstår dilemmat. Det löses genom att införa en strypande ventil, även för pyrolysgasflödet, trots att denna inte ska regleras i sig eller innefattas av simuleringsmodellen. Ventilen är egentligen placerad i den avgränsade reaktormodulen men för att kunna gå vidare med modellen hämtas den in och placeras på det ingående pyrolysgasflödet.

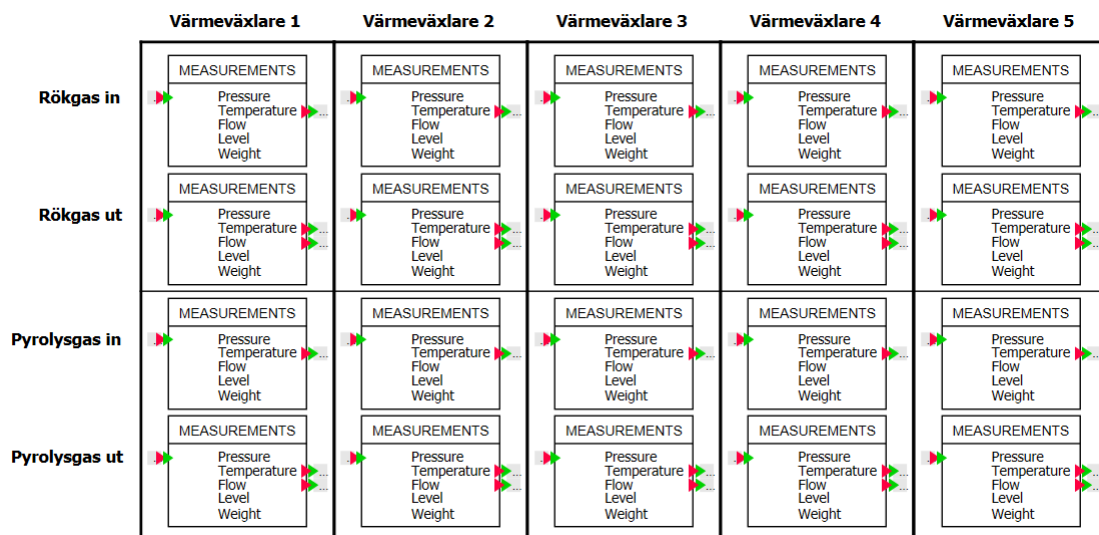
För att spegla anläggningskonceptet, med de fem parallella reaktormodulerna, skalas modellen upp så att rökgasen distribueras till motsvarande antal värmeväxlare (se figur 4.7). Då huvudmodellen simuleras skickas rök- och pyrolysgasdatan kontinuerligt till mätmodellen.



Figur 4.7: Huvudmodellen med fem värmeväxlare.

4.3.2 Mätmodell

Den andra modellen i blockschemat är mätmodellen. För varje värmeväxlaruppsättning i huvudmodellen vidarebefordras fyra datapaket till mätmodellen. Datapaketen filtreras genom mätblocken för att särskilja gasernas massflöden och temperaturer, så att numeriska värden erhålls för storheterna (se figur 4.8).



Figur 4.8: Mätmodellen där mätvärden filtreras.

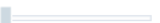
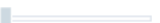
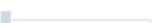
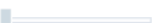
Ur fyra datapaket utvinns sex mätvärden som lagras i logiskt namngivna förbindelsekontakter. Benämningarna beskriver kontakten genom att redogöra för dess härkomst enligt:

- Vilken värmeväxlaruppsättning den kommer ifrån?
- Om det är rök- eller pyrolysgas?
- Om den är placerad innan eller efter värmeväxlaren?
- Om mätvärdet är massflöde eller temperatur?

Exempelvis “V VX1_RÖK_IN_TEMP” för den första värmeväxlarens ingående rökgastemperatur från brämnarsystemet. Sex mätvärden per uppsättning och fem värmeväxlare resulterar i totalt 30 värden som skickas till kontrollpanelen för vidare hantering.

4.3.3 Kontrollpanel

Syftet med kontrollpanelen är att erhålla en miljö i SIMIT där huvudmodellen kan styras manuellt och datan från densamma visas. Den manuella styrningen från kontrollpanelen är en förutsättning för att simuleringsmodellen ska kunna testas och verifieras, innan den kopplas upp mot den emulerade styrenheten. Manuell styrning avser att användaren själv ställer in ventileras öppningsgrad genom att justera reglage och binära brytare i SIMATIC SIMIT. För att realisera detta kopplas de, två per värmeväxlarpåläggning, till förbindelsekontakter i modellen (se figur 4.9).

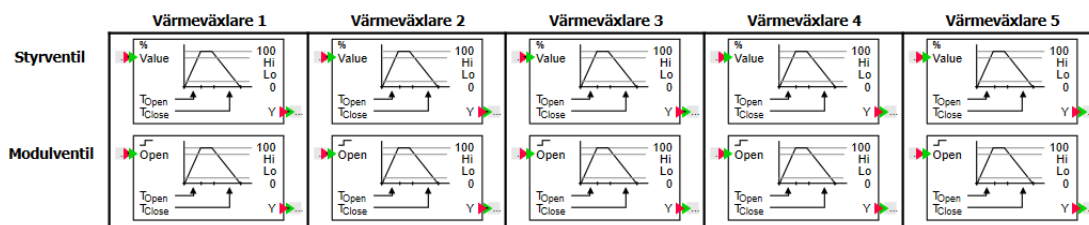
		Rökgas	Pyrolysgas
Värmeväxlare 1	Styrventil 	0.0 	
	Modulventil 	0.0 	
Värmeväxlare 2	Styrventil 	0.0 	
	Modulventil 	0.0 	
Värmeväxlare 3	Styrventil 	0.0 	
	Modulventil 	0.0 	
Värmeväxlare 4	Styrventil 	0.0 	
	Modulventil 	0.0 	
Värmeväxlare 5	Styrventil 	0.0 	
	Modulventil 	0.0 	

Figur 4.9: Kontrollpanelen där mätdata presenteras och ventilerna styrs.

Vid simulering läses kontakternas värden av kontinuerligt och det senast inlästa värdet vidarebefordras till dynamikmodellen för vidare bearbetning. Kontrollpanelen handlar dock inte bara om styrningen och att skicka signaler, utan också om att ta emot och behandla värden från mätmodellen. Anledningen till utbytet mellan nämnda modeller är för att synliggöra processens tillstånd och hur den reagerar på förändringar. Återkopplingen sker via digitala displayer som åskådliggör mätmodellens numeriska värden. Till höger i figuren ovan framgår det vilka värden som avses.

4.3.4 Dynamikmodell

Styr- och modulventilernas reglagevärden erhålls från kontrollpanelen och processas i dynamikmodellen, genom att låta signalerna passera dynamikblock. Syftet med modellen är att anpassa signalerna innan de skickas till ventilerna i huvudmodellen och denna anpassning tillgodosöks av två olika dynamikblockstyper (se figur 4.10).



Figur 4.10: Dynamikmodellen där ventilsignalerna behandlas.

Det ena blocket lämpar sig för de rökgasreglerande styrventilernas analoga signaler, genom att förbindelse- kontaktens värde omsätts till en motsvarande procentsats på blockets utgång. Detta ger i sin tur ventilens öppningsgrad och därigenom massflödets storlek.

Samma princip gäller för modulventilerna med undantaget att det inte finns något mellanting. Fullt stängda eller fullt öppna ventiler är nämligen alternativen för pyrolysgasen och orsaken till uppdelningen mellan ventiler grundar sig i att tydliggöra skillnaderna mellan dem. Styrventilerna som dimensioneras för regleringen kräver noggrannare inställningar, medan modulventilerna som enbart finns till för modellen, inte ställer lika höga krav. En inställning som dock tillämpas för båda är ventilens öppnings- och stängningstid. Dessa ger ett skydd mot stora styrsignaländringar eftersom att ändringen rampas under vald tid, istället för att hela ändringen sker i ett svep.

I och med färdigställandet av dynamikmodellen, har samtliga modeller som innefattas av simuleringsmodellen redovisats. Det betyder också att redogörelsen för datautbytet mellan modellerna och signalvägen i det beskrivna blockschemat, härmed är komplett.

5

Ventildimensionering

Styr- och modulventilerna i simuleringsmodellen behöver dimensioneras varsamt för att skapa förutsättningar för en effektiv reglering. Skillnaderna mellan ventilerna belystes delvis i samband med framtagningen av simuleringsmodellen, men i det här avsnittet förekommer en mer detaljerad beskrivning av skillnaderna såväl som tillvägagångssättet för dimensioneringen. Generellt, när reglerventiler dimensioneras, finns ett antal faktorer [8] att ta hänsyn till:

- Maximal vätskemängd som ska passera ventilen.
- Normal och minimal vätskemängd genom ventilen.
- Typ av vätska (vatten, olja, livsmedel etc).
- Risk för kavitation.
- Temperatur.
- Trycket före ventilen samt lämpligt tryckfall över hela ventilen.
- Rördimensioner.
- Önskad typ av ställdon.

Det som återstår för att kunna avgöra styr- och modulventilernas utformning i SIMATIC SIMIT är att beräkna lämplig ventilkoefficient och ventilauktoritet för respektive ventil. Vanligtvis väljs den ventil som har närmast högre koefficientvärde, jämfört med det teoretiska värdet som beräknas, men i avsaknad av datablad för ventilerna används det teoretiska värdet i simuleringsmodellen. Värdet härleds ur sambandet [8, p.462] nedan:

$$Q = \frac{K_{VS}\sqrt{\Delta P_{ventil}}}{\sqrt{\rho}} \implies K_{VS} = \frac{Q\sqrt{\rho}}{\sqrt{\Delta P_{ventil}}}$$

där Q är volymflödet (m^3/h), ΔP_{ventil} är tryckfallet över fullt öppen ventil (bar), ρ är mediets densitet (kg/dm^3) och K_{VS} är ventilkoefficienten (m^3/h). Tryckfallet över ventilen måste vara tillräckligt stort relativt flödeskretsens totala tryckfall, för att erhålla god regleringsförmåga. Relationen mellan tryckfallen är per definition [8, p.464] ventilauktoriteten β enligt:

$$\beta = \frac{\Delta P_{ventil}}{\Delta P_{total}} \cdot 100\%$$

Ventilkoefficienten och ventilauktoriteten är alltså beroende av varandra och för att kunna ha någon referenspunkt vid dimensioneringen, så ska $\beta \geq 40\%$ [9]. Resten av tryckfallet i flödeskretsen, upp till 60 %, tas upp av värmeväxlaren i simuleringsmodellen. Egentligen spelar även faktorer som rörledningar och mätflänsar

in, men eftersom att specifikationen enbart anger tryckfallet för gaserna över värmewäxlaren, så försummas dessa faktorer. För att kunna beräkna ventilkoefficienterna måste ett antagande om tryckfallet över ventilerna göras. Genom att välja β till 50 % blir tryckfallen över styr- och modulventilerna lika stora som tryckfallen över värmewäxlaren, vilka är kända från specifikationen. Alltså:

$$\begin{aligned}\Delta P_{styrventil} &= \Delta P_{vwx, rökgas} = 5,1 \text{ kPa} = 0,051 \text{ bar} \\ \Delta P_{modulventil} &= \Delta P_{vwx, pyrolysgas} = 5,0 \text{ kPa} = 0,050 \text{ bar}\end{aligned}$$

5.1 Styrventiler

Scandinavian Enviro Systems AB vet att de kommer använda sig av vridspjällsventiler med kvadratisk karaktäristik för styrventilerna. Ventilerna är avsedda för kontinuerlig reglering och från den tillhandahållna specifikationen erhålls följande data för rökgasen:

$$\begin{aligned}\dot{m} &= 8300 \text{ kg/h} \\ \rho &= 0,27 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Ur massflödet och densiteten beräknas volymflödet:

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{8300}{0,27} = 30\,741 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ventilkoefficientens teoretiska värde ges enligt:

$$K_{VS, styrventil} = \frac{30741 \cdot \sqrt{2,7 \cdot 10^{-4}}}{\sqrt{0,051}} = 2237 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.2 Modulventiler

I simuleringsmodellen används modulventilerna som tvålägesventiler med linjär karaktäristik och specifikationen ger följande pyrolysgasdata:

$$\begin{aligned}\dot{m} &= 7736 \text{ kg/h} \\ \rho &= 1,28 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Ur massflödet och densiteten beräknas volymflödet:

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{7736}{1,28} = 6044 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ventilkoefficientens teoretiska värde ges enligt:

$$K_{VS, modulventil} = \frac{6044 \cdot \sqrt{1,28 \cdot 10^{-3}}}{\sqrt{0,050}} = 967 \text{ m}^3/\text{h}$$

6

Reglerstrategi

Ett syfte med projektet är som bekant att utveckla en reglerstrategi för det nya anläggningskonceptet. Strategin, vilken redogörs för nedan i den här delen av rapporten, innefattar bland annat hur rökgasen föreslås distribueras och vilken typ av reglering som ska användas för att styra processen. Eftersom att arbetet kretsar kring en icke-existerande process kommer strategin inte kunna implementeras inom ramen för projektet, utan istället fungera som en rekommendation för framtida bruk. Innan det regleringsrelaterade hanteras måste processen, som simuleringsmodellen ger upphov till, analyseras.

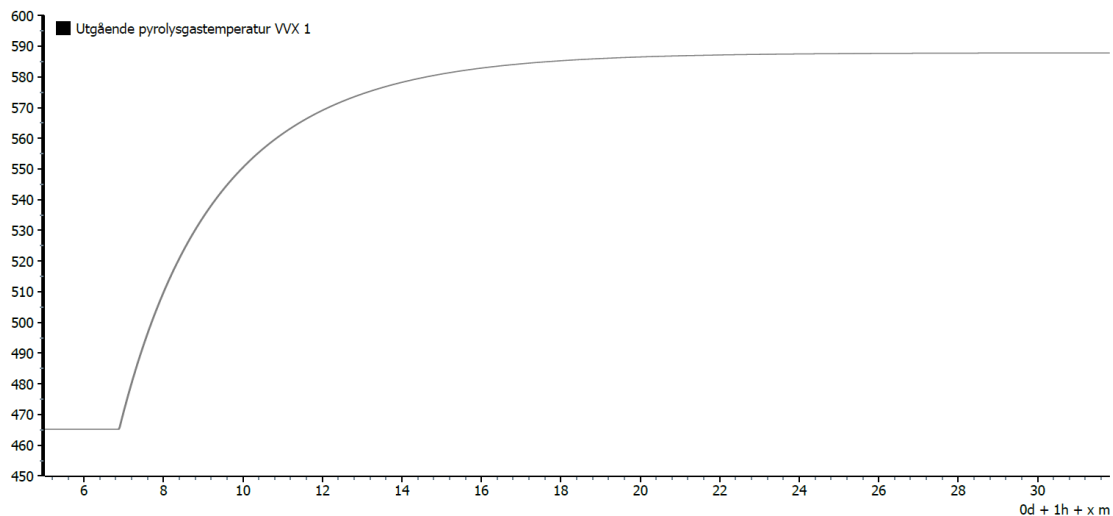
6.1 Icke-parametrisk identifiering

Icke-parametrisk identifiering är en metod för att analysera processer som används när teoretisk modellering, av olika anledningar, inte är kompatibelt. Trots att simuleringsmodellen beskriver ett koncept där många avgränsningar och förenklingar har gjorts, så är den fortfarande för komplex för att analyseras teoretiskt. Metoden baserar sig istället på experimentell identifiering där olika signaler skickas in i processen, för att därefter analysera hur systemet reagerar på signalerna. Från analysen kan processens överföringsfunktion bestämmas och i förlängningen leder detta fram till att reglering kan appliceras. Metoden ger en bra första uppfattning om hur processen ser ut med en enkel metodik som ger tydliga resultat.

Den experimentella identifieringsmetod som tillämpas i projektet är stegsvarsidentifiering. När experimentet utförs på en verklig process, kopplas utsignalgivaren till en dator som följer signalvärdet och skriver ut det i en graf på skärmen. Innan ett steg skickas in i systemet måste systemet stabiliseras kring arbetspunkten, vilken bestäms till en nivå inom intervallet för normal drift. Därefter kan en stegformad insignal initieras med en lagom stor amplitud, så att utsignalen återigen inträder i ett stationärtillstånd inom intervallet för normal drift. Ändringen registreras i det grafritande verktyget och studeras för att avgöra lämplig modellordning. När modellordningen fastställts, kan också processens överföringsfunktion fastställas. För att verifiera den framtagna överföringsfunktionen upprepas förfarandet med olika insignalamplituder.

I projektet används simuleringsmodellen som den “verkliga processen” och experimentet genomförs med hjälp av simuleringsverktyget i SIMATIC SIMIT. Nedan redogörs tillvägagångssättet för identifieringen i programvaran:

- Skapa en trend i trendverktyget och anslut givaren för utgående pyrolysgastemperatur till trenden.
- Starta simuleringen.
- Trigga den binära signalen som öppnar modulventilen i kontrollpanelen och invänta maximalt flöde.
- Ställ in styrventilen på 30 % och låt pyrolysgasernas stabiliserade slutnivå motsvara systemets arbetspunkt.
- Öka styrventilen till 50 % och låt pyrolysgasen stabilisera sig på nytt.
- Avsluta simuleringen.
- Exportera grafen från trendverktyget (se figur 6.1).



Figur 6.1: Processens stegsvar som visar pyrolysgasens temperatur.

En nödvändig notering är att pyrolysgastemperaturens första stabila tidsintervall inte motsvarar processens dödtid. Zonen är istället den stabila nivå som motsvarar systemets arbetspunkt. Någon dödtid kunde inte mätas upp på grund av att det inte förekom någon. Åtminstone gav experimentet i programvaran inte upphov till dödtid.

Stegsvaret i figuren jämförs med karaktäristiska stegsvar av olika modellordningar [8, p.116]. Denna jämförelse visar att stegsvaret verkar motsvara en process av första ordningen och överföringsfunktionen för en sådan process, utan dödtid, skrivs på allmän form som:

$$G(s) = \frac{K}{1 + Ts}$$

där K är den statiska förstärkningen och T är tiden det tar för pyrolysgasen att nå 63 % av slutnivån. Parametrarna läses av och beräknas från stegsvaret till:

$$K = \frac{\text{Utsignalstegshöjden}}{\text{Insignalstegshöjden}} = \frac{585 - 465}{50 - 30} = \frac{120}{20} = 6$$

$$T = T_{63\%} - T_{0\%} = 9,67 - 7,17 \text{ [min]} = 580 - 430 \text{ [s]} = 150 \text{ [s]}$$

Ovanstående ger överföringsfunktionen:

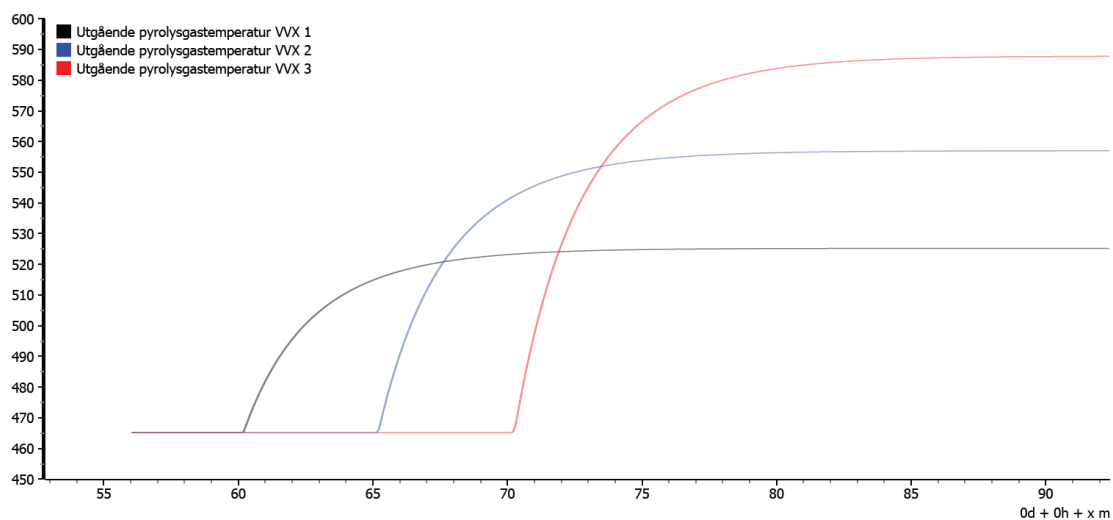
$$G(s) = \frac{6}{1 + 150s}$$

Den framtagna överföringsfunktionen antyder att processen är relativt långsam, vilket också blir tydligt när stegsvaret granskas. Det tar nämligen en dryg kvart för processen att stabilisera sig med den initierade styrventilsändringen.

6.2 Fördelning av rökgaser

De fem parallella reaktormodulerna förses med energi i form av rökgas från en gemensam brännare. En smidig fördelning är avgörande för att respektive reaktors pyrolysgasflöde ska växlas med ett lagom stort rökgasflöde, så att rätt börvärdestemperatur erhålls. Ett antagande om konstant ingående tryck till processen gjordes efter diskussion med handledare. Då rökgasens ingående systemtryck hålls uppe och förblir konstant under drift när alltfler reaktorer driftsätts, så kan flödena betraktas som oberoende av varandra. Detta är sant för simuleringsmodellen men oavsett om de också kommer kunna betraktas som oberoende av varandra när anläggningen realiserar, så behövs en plan för distribueringen.

För att erhålla god kontroll över processen och minimera eventuella störningar flödena emellan, föreslås att rökgasen distribueras stegvis. Med stegvis avses att en reaktor värms upp i taget och att distribueringen till nästföljande reaktor påbörjas först då ett villkor uppfylls. Villkoret skulle exempelvis kunna vara att föregående reaktors ärvärde måste befinna sig i ett närliggande temperaturintervall till dess börvärde. Detta skulle kunna resultera i ett uppvärmningsförlopp enligt nedanstående kurvor (se figur 6.2).



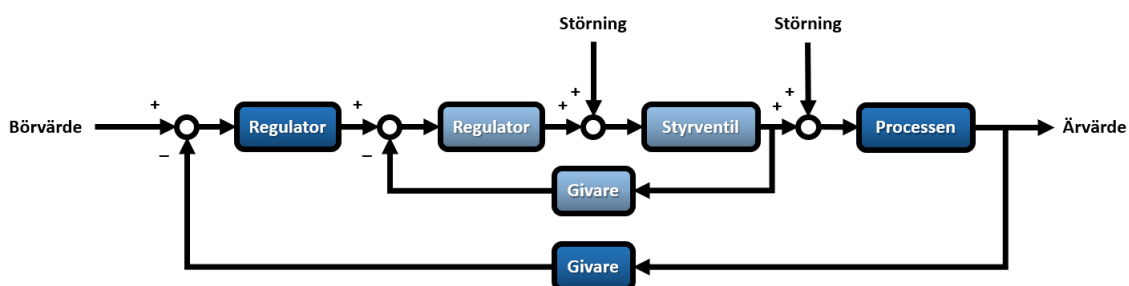
Figur 6.2: Fördelning av rökgas med tre aktiva reaktormoduler

I det iscensatta scenariot triggas flödena stegvis, med cirka fem minuters mellanrum, då föregående reaktors pyrolysgastemperatur trätt in i ett hypotetiskt börvärdesintervall. Figuren visar även att flödena kan betraktas som oberoende av varandra eftersom att temperaturen förblir stabil, allteftersom fler flöden aktiveras.

6.3 Typ av reglering

Vilken typ av reglering som lämpar sig bäst för processen beror dels på vad den består av och vilka yttre krav som finns. Processen som simuleringsmodellen beskriver beror på en kombination av olika faktorer. Allt från ingående gasdata, i form av storleken på massflödena och temperaturerna, till värmeväxlarens värmeöverföringsförmåga avgör vad den utgående pyrolysgastemperaturen blir. Då detta är en förstudie för anläggningskonceptet så har regulatorkretsen i detta steg inga uttalade mätbara krav på snabbhet, stabilitet eller störningsdämpning. I avsaknad av tydliga regleringsmässiga krav, så väljs därför en typ av reglering som verkar lämplig utifrån processens utformning.

En typ av reglering som är vanligt förekommande inom processindustrin är kaskadreglering [8, p.245]. Nedan illustreras hur kaskadreglering hade kunnat implementeras för anläggningskonceptet (se figur 6.3).



Figur 6.3: Blockschema för kaskadreglering av anläggningskonceptet.

Principen bygger på att både styrdonets- och processens värde återkopplas. Det kan vara ett bra alternativ för att den sekundära regulatorn, den inre, ska kunna kompensera för störningar på ventilen, innan de inverkar på processen. En förutsättning för tillfredsställande kompensation är att den inre reglerkretsen, styrdonets reglerkrets, är åtminstone fem gånger så snabb som den yttre reglerkretsen [10]. Med en vanlig enloopsregulator hade kretsen fått svårt att hantera snabba störningar då processen har relativt långa tidskonstanter. Kaskadreglering hanterar snabba störningar i den inre loopen innan det påverkar processen, vilket leder till en effektivare reglering.

För den yttre reglerloopen, där primärregulatorn ingår, behöver en temperaturgivare anslutas till det uppvärmda pyrolysgasflödet. Ärvärdet som givaren mäter kan då jämföras med reaktorns börvärde för att avgöra hur stort felet är. Vilken typ av givare som behövs för den inre loopen beror på vilka störningar som påverkar

styrventilen. En tänkbar störning skulle kunna vara ett varierande gastryck för rökgasen. Om tryckfallet över styrventilen inte hålls upp, utan avviker från det ventilen dimensionerats för, uppkommer en störning. Ponera att denna störning är den störning som har störst påverkan på systemet. I det fallet behöver givaren följaktligen vara en tryckgivare och sekundärregulatorn får då i uppgift att begränsa effekten av tryckavvikelsen.

Regulatorerna måste inte nödvändigtvis vara av samma typ, utan det räcker oftast att sekundärregulatorn är en P-regulator [11]. Det eventuella kvarstående fel som uppkommer med P-regleringen kan elimineras av den yttre regulatorn. Tillvägagångssättet för att ställa in regulatorerna ska ske enligt:

- Sätt primärregulatorn i manuell reglering.
- Ställ in parametrarna för sekundärregulatorn.
- Sätt sekundärregulatorn i automatisk reglering.
- Ställ in parametrarna för primärregulatorn.

Inställningen av reglerparametrarna genomförs med hjälp av någon lämplig inställningsmetod. En sådan metod som skulle kunna implementeras för anläggningskonceptet är lambdametoden. Fördelen med lambdametoden är att den vid dimensioneringen dels bygger på uppmätta värden, som processens dödtid, men även en parameter λ som inställaren själv väljer. Parametern λ beror fortfarande på de uppmätta värdena, men dessa kan multipliceras med olika numeriska värden beroende på vilken hastighet som önskas hos reglerkretsen. Processen som simuleringssmodellen gav upphov till, med det resulterande stegsvaret (se figur 6.1), är dock dessvärre inte kompatibelt med lambdametoden. Anledningen är den tidigare nämnda avsaknaden av dödtid. Om en dödtid hade kunnat mätas upp skulle lambdametoden vara ett fullgott alternativ som inställningsmetod, där styrkan ligger i snabbhetens anpassningsförmåga.

7

Resultat

Målet med projektet var att ta fram en reglerstrategi för värmeförsörjning till en pyrolysisprocess genom att skapa en simuleringsmodell att utföra det på.

En simuleringsmodell över processen är framtagen som innehåller ett rökgasflöde samt fem pyrolysgasflöden. Egenskaperna hos värmeväxlarna och trycknoderna i modellen, beräknades från specifikationer över Scandinavian Enviro Systems AB:s befintliga process. Modellen består av fyra sammanlänkade delar för att skapa en tydlig programstruktur, där de fyra delarna är huvudmodellen, mätmodellen, kontrollpanelen och dynamikmodellen. Kontrollpanelen används för att testa modellen och styra flöden manuellt. Simuleringsmodellen kopplar samman de olika delarna i processen och man får en tydlig överblick över hur processen ser ut. Simulering av processmodellen visar på en långsam process utan dödtid. Flödet kan styras och effekten av värmeväxlingen blir tydlig i och med att temperaturen ökar och stagnerar vid olika temperaturer, vid olika förhållanden.

Ventilernas dynamik i form av K_{VS} -värden för både styrventiler och modulventiler beräknades fram utifrån massflödet, densiteten och tryckfallet. Ventilerna som detta resulterade i var styrventiler av kvadratisk karakteristik med ett K_{VS} -värde på 2237 m³/h. Modulventilerna tilldelades linjär karakteristik med K_{VS} -värden på 967 m³/h. Inställningarna gav ett massflöde på pyrolysgasen såväl som på rökgasen som stämde överens med värdena i det erhållna databladet från Scandinavian Enviro Systems AB.

Arbetet med att ta fram en reglerstrategi resulterade i ett stegsvar för processen då styrventilen går från arbetspunkten, med 30% öppningsgrad, till 50%. Stegsvaret användes för att ta fram processens överföringsfunktion. Ett koncept togs fram för fördelningen av rökgas mellan värmeväxlarna, där rökgasen distribueras stegvis. Respektive reaktor värms upp en åt gången, tills temperaturen träder in i ett intervall centrerat kring börvärdet. Först då öppnas nästkommande ventil. En av anledningarna till detta koncept är att minska de parallella flödenas inverkan på varandra.

Efter informationssökning om olika typer av reglermetoder och respektive methods för- och nackdelar beslutades att användandet av kaskadreglering skulle vara en lämplig metod. Inställningen av regulatorparametrarna rekommenderas att utföras med lambdametoden.

8

Diskussion

Resultatet kopplat till simuleringsmodellen blev mer omfattande än vad tanken med arbetet var från början. Detta beror på att modellen bestämmer begränsningarna för styrningen av processen, då styrning på en modell som inte stämmer överens med verkligheten är oanvändbar. En modell som stämmer relativt bra överens med verkligheten kan spara både tid och pengar vid uppbyggnad och driftsättning av en anläggning.

Även om vi utgått från Scandinavian Enviro Systems AB:s bilagor finns det en rad olika begränsningar med modellen. Modellen är uppbyggd runt data om en befintlig anläggning med ett pyrolysgasflöde, till en simuleringsmodell som är avsedd för att använda fem olika pyrolysgasflöden. Modellen som ska byggas är ett koncept för framtiden men begränsar därmed också möjligheten att jämföra och verifiera modellens noggrannhet.

Den begränsade kännedomen om anläggningen, processen och programvaran som användes under detta projekt skulle eventuellt kunnat bidra till felaktigheter. För att minska denna påverkan vid viktiga moment under arbetsprocessen, rådfrågade vi personer inom branschen för expertis.

Stegsvaret som togs fram gav en process med en tidskonstant utan dödtid, vilket verkade orimligt med den kännedomen som fanns om processen. Processen innehåller stora flöden och en värmeväxlare som behöver värmas upp innan värmeväxlingen kan ske effektivt. Processen tar inte heller hänsyn till längden på rören som gaserna flödar igenom och detta är en tydlig begränsning i modellen, då en dödtid borde läggas in för att kompensera för avstånden.

För framtida arbeten kan man utarbeta nya värden för flöden och specifikationer för konceptet och arbeta med att skapa en noggrannare modell. Försöka göra modellen mer verklighetstrogen genom att ta hänsyn till fler delar som detta projekt har avgränsat sig ifrån, är ett annat exempel på vidareutveckling. Genom att koppla SIMATIC SIMIT till programvara för styrning i en SIL-konfiguration med ett emulerat styrsystem, kan kaskadregleringen realiseras.

Referenser

- [1] “Active dialogues on six continents,” *Scandinavian Enviro Systems AB*, Maj 22, 2018. [Online] Tillgänglig:
<https://www.envirosystems.se/en/news/active-dialogues-on-six-continents>
- [2] B-S. Ershag, O. Ershag, “Anläggning och förfarande för återvinning av kol och kolväteföreningar från organiskt insatsmaterial genom pyrolys,” ZACCO SWEDEN AB, SE 1450593-7, Nov. 19, 2016.
- [3] Scandinavian Enviro Systems AB, *Årsredovisning 2017*, Göteborg, Sverige: Scandinavian Enviro Systems AB, 2018.
- [4] K. Wang, R. C. Brown, “Prospects for Fast Pyrolysis of Biomass: Advances in Science and Technology,” in *Green Chemistry Series*, G. A. Kraus, A. Stankiewicz, P. Siedl, Ed., London, England: Royal Society of Chemistry, 2017, ch. 1, pp. 1-11. [Ebook] Tillgänglig:
<https://pubs-rsc-org.proxy.lib.chalmers.se/en/content/ebook/978-1-78262-618-3>
- [5] A. Y. Muhammad, H. A. Nazlin, “Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) of Butterfly Valve in Oil And Gas Industry,” [Special Issue] *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 11, pp. 9-19, Apr. 2016. [Online] Tillgänglig:
<http://jestec.taylors.edu.my>
- [6] Y. A. Cengel, J. M. Cimbala, R. H. Turner, *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*, 5th ed., New York, NY: McGraw-Hill Education, 2017.
- [7] Siemens AG, *SIMIT – Virtual commissioning and operator training*, Karlsruhe, Tyskland: Siemens AG, 2018. [Online] Tillgänglig:
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public/1552555452.15c6f91e-136f-465c-aba7-a13f01a8de46.simit-broschuere-en.pdf>
- [8] B.Thomas, *Modern Reglerteknik*, 5th ed., Stockholm Sweden: Liber AB, 2016, ISBN 978-91-47-11212-8
- [9] “Ventilauktoritet,” *Prema* [Online] Tillgänglig:
<https://www.prema.se/shunthandboken/Shuntteori/VentilensAuktoritet.html>

- [10] “Jernkontorets energihandbok,” *Jernkontoret* [Online] Tillgänglig:
<https://www.energihandbok.se/instrumentsystem>
- [11] “PID-regulator,” *Drivteknik* [Online] Tillgänglig:
<https://www.drivteknik.nu/pid-regulator>