



Automatisk reglering av vibrationsframmatning

Av

Albert Folkesson och Johan Grube

Department of Electrical and Information Technology
Faculty of Engineering, LTH, Lund University
SE-221 00 Lund, Sweden

Sammanfattning

Detta arbete har gjorts tillsammans med TePe Munhygienprodukter AB. Författarna studerar till högskoleingenjör i elektroteknik med inriktning automation vid Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg.

Vid produktion av mellanrumsborstar är materialframmatning en viktig del. Denna del styrs idag genom att en tekniker vrider på en potentiometer för att reglera hastigheten i frammatningen. Det önskas från företagets sida att detta istället regleras automatiskt.

Under arbetet tas två nya sätt att reglera hastigheten fram. Även den befintliga lösningen utvärderas. Den ena lösningen använder en PI-regulator, där systemet är återkopplat. I den andra lösningen linjäriseras materialframmatningen och styrs efter maskinens takt utan återkoppling. De tre olika reglersätten jämförs och utvärderas.

Lösningen blir att implementera en PI-regulator som helt utan mänskliga ingrepp styr frammatningshastigheten. Detta möjliggörs genom att göra beräkningar på de redan befintliga givarnas signaler. På så vis krävs mycket lite arbete för att lösningen ska kunna bli universell och kunna installeras på företagets samtliga maskiner.

Resultatet med PI-regulator är så pass bra och enkel att implementera att företaget nu avser att installera lösningen på samtliga maskiner.

Nyckelord: Vibrationsmatrare, materialframmatning, PI-reglering, linjär reglering, frekvensomriktare

Abstract

This bachelor thesis has been done together with TePe Munhygienprodukter AB. The authors study for a degree in electrical engineering with a focus on automation at Lund University, Campus Helsingborg.

In the production of interdental brushes, the infeed of materials is an important part. This part is controlled today by a technician adjusting a potentiometer to control the speed of the vibratory bowl. It is requested by the company that this is automatically regulated instead.

During the work, two new ways to adjust the speed are implemented. The existing solution is also evaluated. One solution uses a PI controller in a feedback loop. In another solution the material feed is linearized and controlled by the speed of the machine without feedback. The three different modes of regulation are compared and evaluated.

The solution will be to implement a PI controller that controls the feed rate without any human involvement. This is made possible by doing calculations on the existing sensors' signals. In this way, not a lot of work is required for the solution to be universal and installed on all the machines of the company.

The result of the PI controller is sufficient and easy to implement. The company now intends to install the solution on all their machines.

Keywords: Vibratory feeder, material infeed, PI regulator, linear regression, frequency converter

Innehållsförteckning

1 Inledning	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte	7
1.3 Målformulering	7
1.4 Problemformulering	7
1.5 Motivering av examensarbetet	7
1.6 Avgränsningar	8
2 Teknisk bakgrund	10
2.1 Produkten	10
2.2 Vibrationsmatare	11
2.3 Styrning	11
2.4 PLC	12
2.5 HMI	12
2.6 Frekvensomriktare	12
3 Metod	14
3.1 Datainsamling	15
3.1.1 Data från PLC	15
3.1.2 Data från HMI	15
3.1.3 Uppmätning av sorteringskålens hastighet	15
3.2 Hastighetsreglering	16
3.2.1 Analogkort	16
3.2.2 PI-reglering	16
3.2.3 Linjär reglering utan återkoppling	16
3.2.4 Manuell reglering	16
3.3 Källkritik	17
4 Analys	18
4.1 Data från isolerat test av sorteringskålar	18

4.1.1 Underdel	18
4.1.2 Överdel	22
4.2 Data från testkörningar	25
4.2.1 Manuell reglering	26
4.2.2 PI-reglering	28
4.2.3 Linjär reglering utan återkoppling	30
4.3 Körning med nedsatt maskintakt	32
4.3.1 Manuell reglering	32
4.3.2 PI-reglering	34
4.3.3 Linjär reglering utan återkoppling	35
4.4 Data från körning med filtertid	36
4.5 Data från produktion	38
4.5.1 Manuell reglering	40
4.5.2 PI-reglering	41
4.5.3 Linjär reglering utan återkoppling	42
5 Resultat	44
6 Slutsats	46
6.1 Reflektion över etiska aspekter	48
6.2 Framtida utvecklingsmöjligheter	48
7 Källförteckning	50
8 Appendix	52
8.1 Appendix A	52
8.2 Appendix B	59
8.3 Appendix C	61

1 Inledning

Följande kapitel behandlar den inledande delen av examensarbetet.

1.1 Bakgrund

TePe Munhygienprodukter AB bildades 1965 i Malmö [7]. De designar och tillverkar olika typer av munhygienprodukter. Det började med att Henning Eklund tillsammans med lärare vid Tandvårdshögskolan tog fram en trekantig tandsticka i trä. Företaget fortsatte att utvecklas och 1973 kom deras mest ikoniska produkt, tandborsten. Tandborsten har sedan dess rekommenderats av tandläkare i hela landet. 1993 kom en ny storsäljare, mellanrumsborsten. En produkt framtagen för att på ett effektivare sätt rengöra mellan tänderna, där tandborsten inte kommer åt.

Unikt med företaget är att de har all utveckling, design och produktion kvar i Sverige.

I produktionen av mellanrumsborstar matas olika plastdetaljer in till en maskin som sedan sammanställer produkten och skickar densamma vidare till paketering.

De formsprutade plastdetaljerna finns i olika färger. Plastdetaljerna matas in till maskinen via en vibrationsmatare som orienterar plastdetaljen så att den kommer fram till maskinen på ett korrekt vis. Hela inmatningssystemet styrs av olika givare som kontrollerar att detaljerna kommer fram till bufferten i rätt takt och att bufferten aldrig är tom. Det upplevs som att olika färger betar sig olika. Detta tros bero på att olika egenskaper hos de ingående plastdetaljerna kan variera beroende på exempelvis färg eller batch.

I dagsläget fungerar inte detta på ett tillfredställande vis och det upplevs som att inmatningen är orsaken till att maskinen inte kan hålla en konstant takt. Idag styrs inmatningshastigheten manuellt av de olika operatörerna. Detta görs genom att de vrider på en potentiometer som ändrar amplituden i vibrationerna hos inmatningssystemet. Det är ett långsamt system, vilket innebär att man får återkoppling först lång tid efter att man ändrat amplituden. Detta leder till att det är svårt att hitta bra inställning och därför varierar inställningarna.

1.2 Syfte

Det övergripande syftet är att undersöka om det är möjligt att förbättra inmatningen och om möjligt implementera en lösning.

Det kommer leda till att företaget kan producera med färre avbrott och att det inte är materialinmatningen som är begränsande.

1.3 Målformulering

Inmatningsamplituden skall styras av enbart PLC:n.

Inmatningen ska fungera på ett sådant sätt att den inte är begränsande för maskinens kapacitet och det ska behövas färre mänskliga ingrepp i produktionen.

1.4 Problemformulering

Följande frågor ska efter avslutat arbete kunna besvaras.

1. Är det möjligt att styra amplituden till sorteringskålarna via PLC:n?
2. Beter sig inmatningen av plastdetaljer olika beroende på vilken färg de har?
3. Är det inmatningstakten som är begränsande för produktiviteten?
4. Är det möjligt att reglera sorteringskålarna på ett bättre sätt?

1.5 Motivering av examensarbetet

Efter att ha varit på studiebesök hos företaget väcktes ett intresse för deras produktion. Därefter kontaktades företaget för att undersöka möjligheten för ett examensarbete. Företaget hade några idéer kring vad ett eventuellt examensarbete skulle kunna innebära. Av de idéer som presenterades lät detta mest intressant.

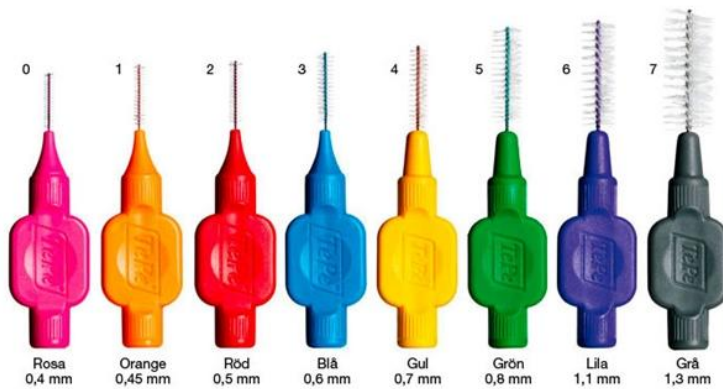
Det är ett förbättringsområde som de själva inte valt att prioritera högt. Men de vill gärna ha hjälp med det eftersom det skulle kunna ge ökad produktivitet.

1.6 Avgränsningar

Lösningen kommer endast att avse inmatningen till maskiner som tillverkar mellanrumsborstar. Lösningen kommer bara att implementeras för det styrsystem som den specifika maskinen använder. Då alla maskiner och vibrationsmatare skiljer sig åt kommer en lösning bara att implementeras på en maskin.

2 Teknisk bakgrund

2.1 Produkten



Figur 1. Mellanrumsborstar i olika storlekar.

TePe tillverkar mellanrumsborstar i nio olika storlekar och färger, anpassade för olika mellanrum mellan tänderna, *figur 1*. Detta för att underlätta rengöring av tänderna [4]. Varje mellanrumsborste består av tre till fyra delar. Alla modeller har två skaftdelar och en borste. De mindre modellerna har även en böjbar tipp medan tippen på de större är en fast del av skaftet.

2.2 Vibrationsmatare

Skaftens över- och underdelar samt tipp matas alla in i maskinen via varsin vibrationsmatare. Vibrationsmataren består av tre delar, buffert, sorteringskål och linjärenhet.

I bufferten fyller operatörerna på med de skaft som ska orienteras och matas till maskinen. Bufferten har i uppgift att hålla en jämn nivå i sorteringskålen, det sitter en nivågivare i botten av sorteringskålen vars uppgift är att starta bufferten när nivån är för låg. När givaren inte detekterat ett skaft på ett justerbart antal sekunder startas bufferten och kör till det att givaren gett signal i ett justerbart antal sekunder.

Sorteringskålen är uppbyggd på ett sådant sätt att den sorterar bort felorienterade skaftdelar. Skaftdelar vibrerar upp längs sidorna på insidan av skålen. Längs vägen finns passager som är utformade på ett sådant sätt att endast skaftdelar som ligger korrekt orienterade passerar. Alla felorienterade skaftdelar trillar ner till botten och får börja om. Det är helt slumpmässigt hur skaftdelarna är orienterade då de börjar vibrera upp längs sidorna. Detta medför att ett varierande antal skaftdelar sorteras bort.

De skaftdelar som tar sig genom sorteringskålen går vidare in i linjärenheten. Här transporteras alla skaftdelar in i maskinen genom att vibrera fram på ett liknande sätt som i sorteringskålen. Linjärenheten fungerar även som en buffert för korrekt orienterade skaftdelar.

Vibrationerna skapas genom att spole på undersidan av sorteringskålen magnetiseras och därmed attraherar överdelen av skålen. Överdelen står på fjädrar som då böjs. När spolen sedan avmagnetiseras får fjäderkraften skålen att återgå till sitt ursprungliga läge. Detta medför att skaftdetaljerna skjuts uppåt och när de sedan landar igen befinner sig skålen åter i sitt attraherade läge. På så sätt skapas en rörelse framåt [1][6].

2.3 Styrning

Vibrationsmatarna går att styra genom att antingen ändra frekvens eller genom att ändra amplitud i vibrationerna. Detta styrs av en frekvensomriktare. Sorteringskålarna har två uppmätta frekvenser, en tomgångsfrekvens och en arbetsfrekvens. Dessa ställs i frekvensomriktaren och bör inte ändras. Amplituden är det enda kvarstående sättet att styra hastigheten hos sorteringskålarna. Justering av amplitud sker i dagsläget genom att en tekniker vrider på en potentiometer som är kopplad till

frekvensomriktarens analoga ingång. Justeringen sker helt utan återkoppling. Genom att öka amplituden transporteras delarna längre i varje cykel och hastigheten ökar således. Sänker man den kommer bitarna inte att röra sig lika långt och hastigheten minskar. Man kan dock inte öka hastigheten för mycket och man kan inte heller sänka den för mycket. Om amplituden är för stor kommer även bitar som är rätt orienterade att sorteras ut av fällorna. Detta medför att det i praktiken går långsammare. Om amplituden är för låg fungerar inte alla fällor och det medför att detaljer kan komma fram fel orienterade. Om det sker krävs det att en operatör går in och tar bort den felorienterade biten. Under tiden kommer maskinen att stå still. Därför kan amplituden bara regleras i ett specifikt intervall.

2.4 PLC

PLC:n som styr hela maskinen är en FESTO CECX-X [3]. För att programmera den används CoDeSys V2.3. All kommunikation mellan PLC:n och olika I/O-noder i maskinen sker med det standardiserade protokollet CANbus[4]. Programmet är i huvudsak skrivet som FBD (Function Block Diagram), där vissa block är skrivna i ST (Structured Text) [9].

2.5 HMI

Via panelen kan delar av maskinen styras och övervakas. Det är via panelen operatörerna får information om vad som sker i produktionen. Här visas maskintakten hela tiden, vilken station som för tillfället är långsammast och var eventuella problem har uppkommit. Panelen är tillverkad Beijing Electronics och modellen är X2 pro 7. För att programmera panelen används programmet iX Developer 2.30 [10]. Programmet tillhandahåller lösningar för att grafiskt utforma bilder på panelen.

2.6 Frekvensomriktare

Sorteringsskål, linjärenhet och buffert styrs alla av varsin frekvensomriktare, Omron MX2 [2]. På dessa ligger ett program skrivet av tillverkaren för vibrationsmatarna, utöver det är det standard. PLC:n styr frekvensomriktaren genom en digital ingång, av eller på. Övriga parametrar för frekvensomriktaren ställs in direkt i densamma.

Den analoga ingången används för att styra vilken spänning som frekvensomriktaren ger ut till lasten. Endast tillverkaren vet hur denna omvandling sker.

3 Metod

För att ge en djupare förståelse för vad arbetet skulle lösa gjordes i en inledande fas observationer av hur maskinen arbetade. Samtal fördes med anställda hos företaget för att höra vad de upplevde att problemen bestod i. Ett besök hos tillverkaren av vibrationsmatarna gjordes även. Detta för att se om några idéer om styrning fanns från tillverkarens håll.

Efter att den inledande delen var gjord började arbetet med att hitta ett lämpligt sätt att kommunicera mellan PLC och frekvensomriktare. För att göra detta lästes manualer för de olika komponenterna. Möjligheten att använda en redan befintlig fältbuss, Modbus, utreddes [12]. Parallellt påbörjades arbetet med att inhämta data från maskinen. För detta skrevs ett block som lades in i PLC:n samt dataloggningsfunktionen i HMI:et. Data inhämtades sedan för analys.

Mot bakgrund av det som fanns i analysen av datan började arbetet med att ta fram en lämplig reglering. Den första tanken om reglering var PID-reglering [8]. En sådan reglering implementerades och testades. Data från maskinen inhämtades och utvärderades löpande. Olika parametrar och olika sätt att bestämma är- och börvärde testades.

Efter samtal med handledare på företaget beslutades att en annan typ av reglering skulle testas. För att göra detta krävdes att en mätning av frammatningen utfördes. En mätning som sedan skulle användas för att räkna ut en linjärisering av systemet. Denna reglering implementerades och testades sedan genom att analysera data från när den kördes.

3.1 Datainsamling

3.1.1 Data från PLC

För att enkelt kunna logga data för både under- och överdelar skapades ett funktionsblock "SpeedMonitor". Det har ett antal ingångar som kopplas till befintliga I/O-signaler i PLC-programmet. Dessa signaler valdes för att kunna generera intressant mätdata för mataren. Det som loggas i funktionsblocket är

- Utmatningstakten för sorteringsskålen
- Antal alarm för olika delar av matarsystemet
- Antal maskincykler då matarsystemet var långsammast
- Antal gånger bufferten har startat
- Andel av tiden då sorteringsskålen har kört

Information om maskinens hastighet, om den är startad samt start- och stopptider för matarsystemet fanns redan i befintligt program. Dessa variabler loggades även då de ansågs vara intressanta för systemet. För mer information om SpeedMonitor, se Appendix A.

3.1.2 Data från HMI

I HMI:et finns en funktion för loggning av data [11]. Denna funktion användes för att det var ett enkelt sätt att komma åt data från PLC:n eftersom kommunikation mellan HMI och PLC redan var etablerad. HMI:ets databas har en begränsad storlek. För att förhindra att denna fylls skrevs data över till ett USB-minne varje timme. På så sätt kunde data loggas under lång tid. Det medförde även att data på ett enkelt sätt kunde föras in på externa datorer för analys.

3.1.3 Uppmätning av sorteringsskålens hastighet

För att mäta hur amplituden korrelerar med hastigheten av materialframmatningen utfördes ett isolerat test av sorteringsskålen. Testet utfördes genom att montera bort linjärenheten, köra sorteringsskålen på dess arbetsfrekvens med fast amplitud och sedan räkna hur många skaftdetaljer den hade matat fram under en minut. Mätningen upprepades tio gånger för varje amplitud och sedan togs ett medelvärde av alla uppmätta värden. Med medelvärden som grund plottades sedan en kurva över skaftdelar per minut som en funktion av amplitud.

3.2 Hastighetsreglering

I följande avsnitt beskrivs hur de olika regleringarna har implementerats.

3.2.1 Analogkort

För att ersätta de befintliga potentiometrarna valdes ett analogt utgångskort, Beckhoff KL4004 [5]. Det valda kortet har samma spänningsområde som det potentiometrarna levererade, dvs. 0-10V. Det analoga utgångskortet möjliggör att PLC:n kan leverera en spänning till frekvensomriktarens analoga ingång. Kortet installerades med snabbkopplingar för att på ett enkelt sätt kunna koppla tillbaka potentiometrarna.

Det analoga kortet valdes framför en lösning med fältbuss för att det visade sig vara enklare, samtidigt som möjligheten att enkelt koppla in potentiometrarna behölls.

3.2.2 PI-reglering

I standardbiblioteket, `util.lib`, för CoDeSys 2.3 finns ett färdigt block för PID-reglering. Detta block lades till i PLC-programmet med parametrar från SpeedMonitor som inparametrar. PID-blocket valdes för att det är färdigt, beprövat och anpassat för den aktuella PLC:n. För att uppnå PI-reglering sattes derivatadelen till noll.

3.2.3 Linjär reglering utan återkoppling

Från den data som mättes upp under det isolerade testet av sorteringsskålarna sågs ett linjärt samband mellan hastighet och amplitud, se *figur 3* och *figur 5*. Linjär regression användes för att bestämma en linjär funktion av systemet [13]. Det skrevs varsitt block för de båda sorteringsskålarna eftersom de skiljde sig åt, kod för dessa finns i appendix B och C. I varje block används maskintakten som inparameter och som utparameter fås amplitud.

3.2.4 Manuell reglering

Med manuell reglering menas att amplituden sätts till ett fast värde oberoende av maskintakt. Detta görs antingen med potentiometern eller, efter att ändringar gjorts, på HMI:et. Möjligheten att reglera manuellt har behållits för att kunna utvärdera de olika alternativen mot varandra.

3.3 Källkritik

Många av de källor som använts är manualer från tillverkare. Dessa kan förutsättas vara tillförlitliga då det är de själva som producerar produkten.

Utöver manualer har ett antal artiklar använts. Dessa har varit publicerade i ansedda tidskrifter. Före publicering har dessa troligtvis faktagranskats av experter. Dessa kan därför anses vara pålitliga.

Några källor som använts har varit produktbeskrivningar eller förklaringar från tillverkare. Därför kan de också anses vara pålitliga.

Vid användandet av några utav dessa källor kan ett problem med tillförlitligheten vara att tillverkaren vill sälja. De kan därför välja att presentera sådant som får produkten att framstå på bättre än vad den är. Negativa aspekter hos en produkt kan därför ha utelämnats.

4 Analys

Under arbetets gång har det loggats data för de tre olika styrningarna vilket presenteras i följande kapitel. Den insamlade datamängden är för stor för att presenteras i sin helhet, så därför har delar av den valts ut. De delar som presenteras har valts ut för att förhållandena då datan inhämtades varit så lika som möjligt. Alla grafer som visas är, om inget annat anges, statistik under 15 minuters normaldrift.

Analog styrsignal är det värde som läggs på den analoga utgången. Detta värde är 0-10V skalat till 0-1023. 5V motsvarar alltså 512 som analog styrsignal. En ökning i den analoga ingången medför en ökad spänning till spolen, en minskning medför minskad spänning till spolen. Exakt hur detta sker, vilken koefficient, offset etc. är okänt.

4.1 Data från isolerat test av sorterings-skålar

I detta avsnitt presenteras den data som inhämtades då testet utan linjärenhet genomfördes. PPM i graferna står för produkter per minut och är baserat på medelvärden från tio respektive fem körningar. Anledningen till att det gjordes färre mätningar på överdelarna var tidsbrist.

4.1.1 Underdel

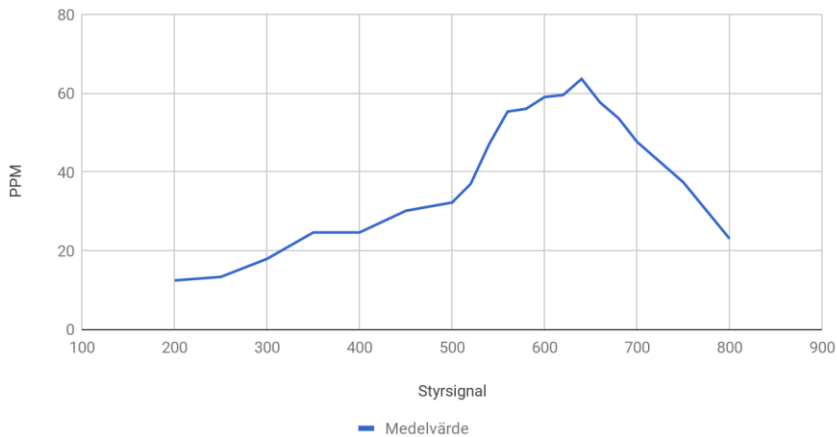
I detta avsnitt redovisas de mätdata som inhämtades under det isolerade testet för underdelar. I *tabell 1* presenteras all mätdata i sin helhet och i *figur 2* visas en graf över medelvärdena.

Tabell 1. Mätdata för isolerat test av underdel

Styrsignal	Mätning 1	Mätning 2	Mätning 3	Mätning 4	Mätning 5	Mätning 6	Mätning 7	Mätning 8	Mätning 9	Mätning 10	Medelvärde	Standard avvikelse
200	18	14	8	12	11	15	12	15	7	12	12.4	3.3
250	14	9	18	18	13	14	10	13	14	10	13.3	3.1
300	19	18	24	17	11	17	14	24	15	20	17.9	4.1
350	23	24	25	21	28	19	25	16	22	23	24.6	3.4
400	31	25	24	20	30	14	29	22	23	28	24.6	5.2
450	33	28	28	32	28	25	35	34	27	31	30.1	3.3
500	31	33	18	37	47	33	30	28	34	31	32.2	7.3
520	34	42	36	38	48	39	34	36	28	34	36.9	5.4
540	49	34	35	41	49	40	45	57	56	64	47	9.9
560	63	64	56	56	54	56	50	48	47	59	55.3	5.8
580	53	59	47	64	53	64	59	59	46	56	56	6.3
600	51	65	54	64	65	59	64	53	59	56	59	5.3
620	67	60	54	62	52	63	68	53	54	62	59.5	5.9
640	75	73	63	48	59	65	58	61	62	72	63.6	8.1
660	71	45	62	56	52	54	64	68	53	51	57.6	8.3
680	45	56	55	39	60	55	57	51	60	58	53.6	6.8
700	51	54	51	56	49	47	40	40	48	40	47.6	5.9
750	30	42	40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	37.3	6.4
800	23	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	23	N/A

I *tabell 1* visas resultat från de mätningar som gjordes under det isolerade testet. Standardavvikelse presenteras här men används inte till något annat än att ge en uppfattning om hur stor spridningen bland de olika mätpunkterna är. Anledning till att färre mätningar gjordes mot slutet var att det redan visats att hastigheten börjat avta efter ett visst värde. Styrsignalen bör aldrig regleras över detta värde.

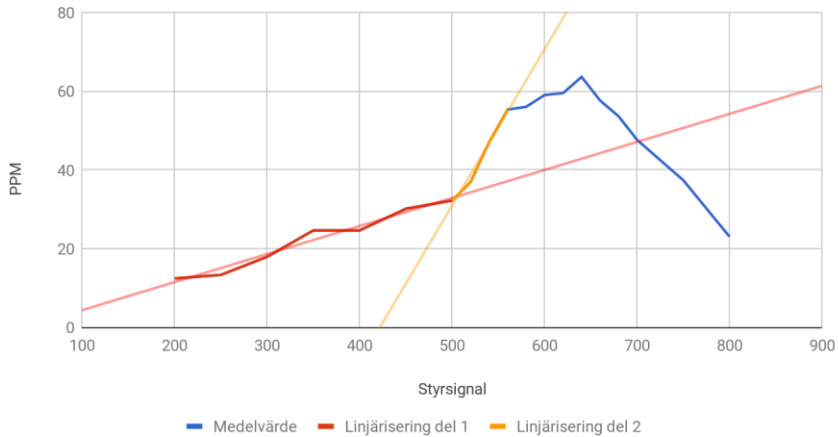
Mätdata underdel



Figur 2. Graf föreställande medelvärde från mätningar.

I *figur 2* ses samband mellan ökad amplitud och hur många produkter som levereras per minut. I figuren ses tydligt att produkter per minut ökar med ökad amplitud upp till ett visst värde. I *tabell 1* ses även att sorteringskålen inte kan leverera mer än 63 produkter per minut.

Linjärisering av underdel



Figur 3. Graf för linjärisering av underdel.

I *figur 3* visas de linjäriseringar som senare använts för att implementera linjär reglering. Linjäriseringen gjordes med hjälp av linjär regression. Kurvan delades upp i två intervall då detta bäst motsvarar grafen.

Ekvation 1. $f(x) = 0.07x - 2.77$

Ekvation 2. $h(x) = 0.4x - 167.56$

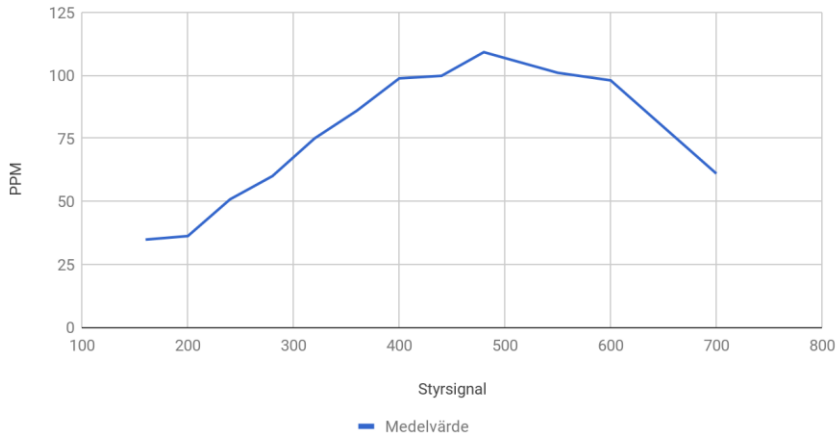
4.1.2 Överdel

I detta avsnitt redovisas de mätdata som inhämtades under det isolerade testet för överdelar. I *tabell 2* presenteras all mätdata i sin helhet och i *figur 4* visas en graf över medelvärdena.

Tabell 2. Mätdata för isolerat test av överdel

Styrsignal	Mätning 1	Mätning 2	Mätning 3	Mätning 4	Mätning 5	Medelvärde	Standard avvikelse
160	36	37	32	36	33	34.8	2.2
200	43	44	35	27	32	36.2	7.3
240	35	59	49	68	43	50.8	13.0
280	51	72	46	65	66	60	11.0
320	72	76	81	76	70	75	4.2
360	79	94	84	92	81	86	6.7
400	88	112	103	89	102	98.8	10.2
440	103	115	82	100	99	99.8	11.8
480	106	105	104	114	117	109.2	5.9
550	101	N/A	N/A	N/A	N/A	101	N/A
600	98	N/A	N/A	N/A	N/A	98	N/A
700	61	N/A	N/A	N/A	N/A	61	N/A

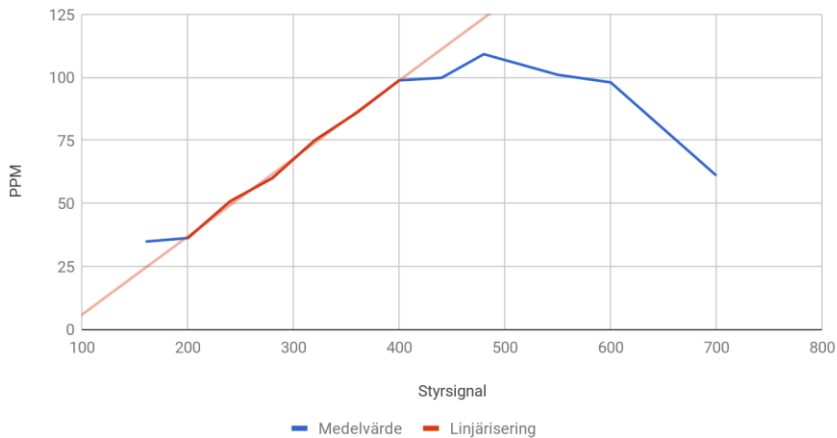
Mätdata överdel



Figur 4. Graf föreställande medelvärde från mätningar.

I *figur 4* ses ett tydligt samband mellan produkter per minut och ökad amplitud. Sambandet ter sig helt linjärt mellan 200 och 400. Figuren illustrerar även att ökad amplitud ger en ökning i produkter per minut upp till en gräns. I *tabell 2* ses även att soteringskålen är kapabel att leverera 109 produkter per minut.

Linjärisering av överdel



Figur 5. Graf för linjärisering av överdel.

I *figur 5* visas linjärisering av kurvan för överdelar. Precis som i fallet med underdelar användes här linjär regression för att räkna ut en linjärisering.

Ekvation 3. $h(x) = 0.31x - 25.11$

Båda testerna, över- och underdelar, utfördes under samma dag. Det innebar att maskinen hölls stängd för produktion under en hel dag. Då överdelarna skulle börja testas fanns inte tid att utföra tio mätningar på varje amplitud. Därför beslutades att endast fem mätningar skulle utföras på överdelarna. Detta gör att medelvärdena inte blir helt rättvisande, men ändå tillräckligt bra för ändamålet.

4.2 Data från testkörningar

I detta avsnitt visas data från loggning av sorteringskålarna, över- och underdelar. Under tiden då datan loggades övervakades maskinen mer noggrant än vad som normalt görs. Detta för att kunna få så rättvisande data som möjligt. Den mer noggranna bevakningen innebar att fel åtgärdades direkt för att maskinen skulle kunna köra så mycket som möjligt under tiden.

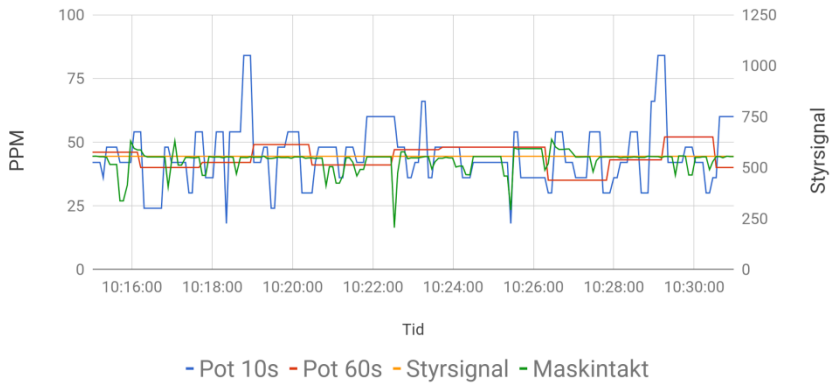
I följande avsnitt används begreppen Pot 10s och Pot 60s. Pot 10s är en prognos över hur många produkter som kommer under en minut baserat på hur många produkter som kommit fram under de senaste 10 sekunderna. Var tionde sekund görs följande beräkning
*antal de tio senaste sekunderna * 6 = antal under en minut*. Pot 60s visar hur många som faktiskt kom fram under den senaste minuten. Tiden räknar endast då sorteringskålen kör.

Alla grafer i detta avsnitt presenteras med dubbla Y-axlar. Den vänstra visar takt och produkter per minut. Den högra visar styrsignalen.

I följande grafer stämmer inte Pot 10s och Pot 60s för överdelar. Detta beror på att givaren registrerar samma produkt flera gånger. Detta fel korrigerades genom att filtertider lades in. Det är enbart PI-regleringen som är återkopplad och som därmed påverkas av dubbelregistreringen. Data från körningar med filtertider presenteras i avsnitt 4.4.

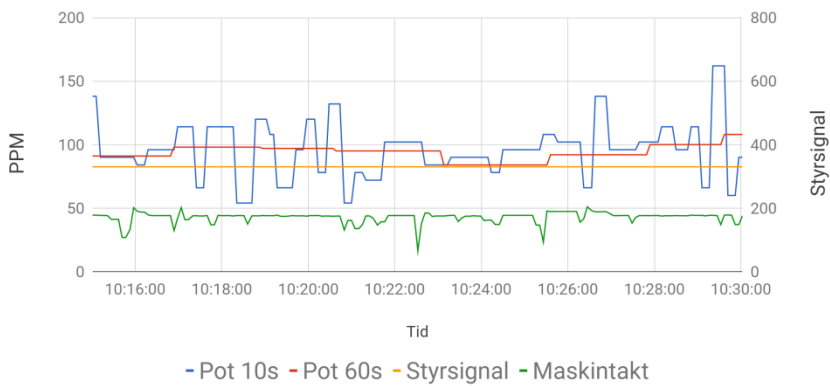
4.2.1 Manuell reglering

Manuell reglering underdel



Figur 6. Manuell körning för underdelar.

Manuell reglering överdel



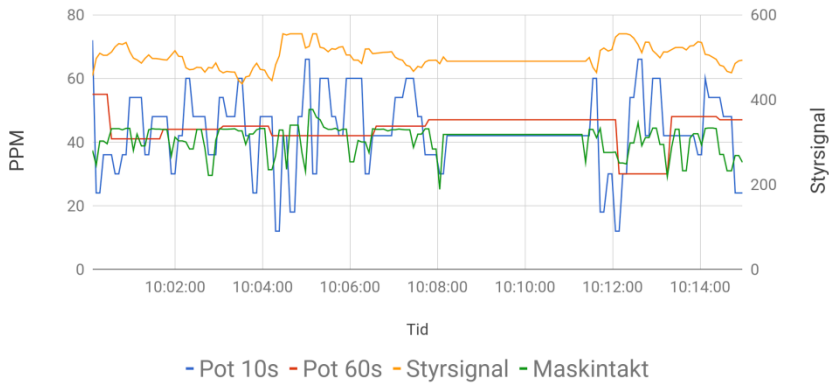
Figur 7. Manuell körning för överdelar.

Med manuell reglering menas i praktiken ingen reglering. Här ställs styrsignalen in till önskat värde och ändras sedan inte. Sorteringsskålen jobbar således utan någon återkoppling från maskinen. Den matar in till bufferten och väntar sedan när den får signal om att göra så. Detta är den reglering som tidigare använts. Styrsignalen ligger här konstant, men illustreras ändå i *figur 6* och *figur 7*. Detta för att enkelt visa vad den fasta styrsignalen varit under mätningen.

Pot 10s varierar mycket medan Pot 60s är mer stabil. Alla förändringar som sker i Pot 10s och Pot 60s är följder av slumpen.

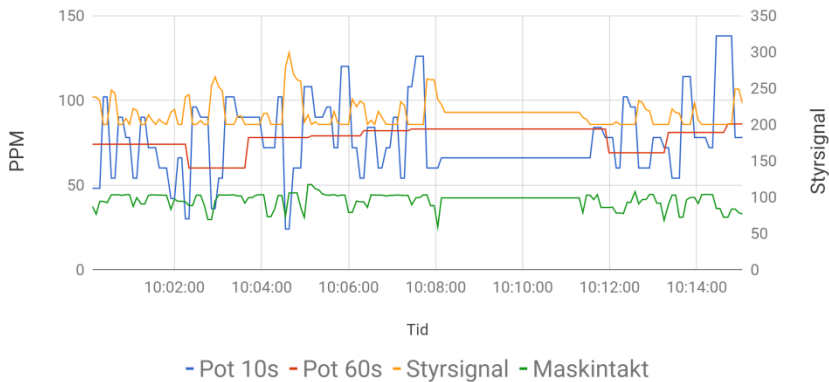
4.2.2 PI-reglering

PI-reglering underdel



Figur 8. Körning med PI-reglering för underdelar.

PI-reglering överdel



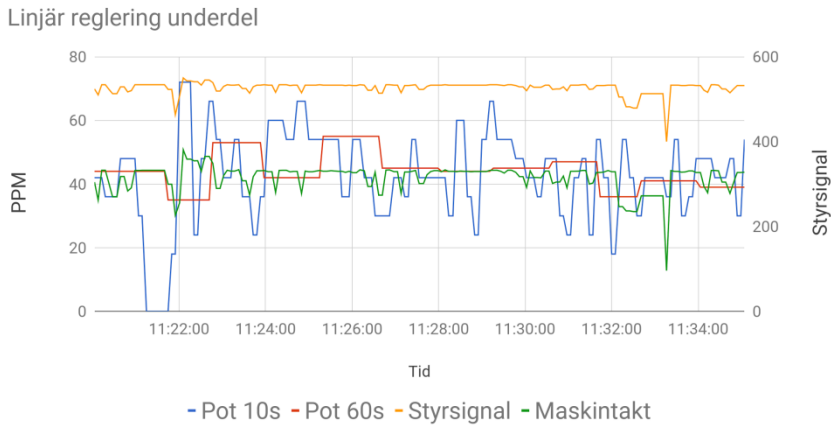
Figur 9. Körning med PI-reglering för överdelar.

I denna körning används PI-reglering. Detta innebär att systemet är återkopplat. Detta medför att styrsignalen är anpassad efter maskintakten Pot 10s. I PI-regulatorn används Pot 10s som ärvärde och maskintakten som börvärde. Som proportionell förstärkning har 1 använts och som integratorparameter har 10 använts. PI-reglering gör att sorteringskålen försöker leverera så mycket som maskinen behöver. Detta fungerar inte perfekt då det slumpmässiga systemet spelar in även här. Det är svårt att se i *figur 8* och *figur 9* men vid observation av systemet har det noterats att styrsignalen ökat då det kommit fram få produkter under lång tid. På samma sätt har den minskat då det kommer fram många produkter under kort tid. Många svängningar i Pot 10s kan förklaras med att systemet är slumpmässigt.

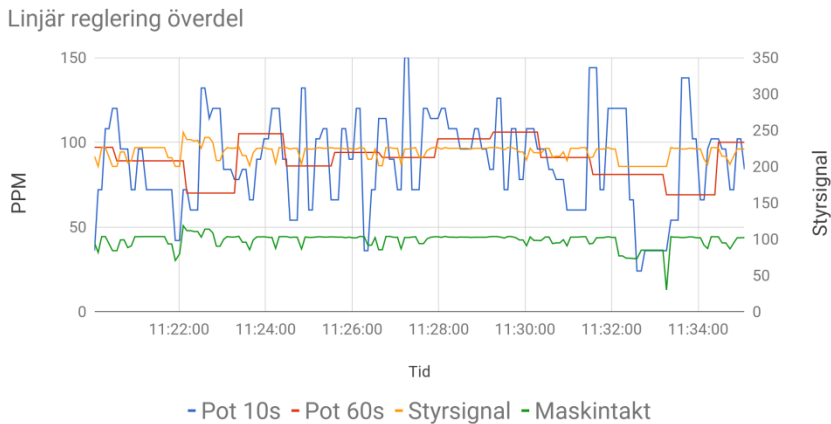
För underdelar har maxvärde för styrsignalen varit 555 och minvärde för densamma 400. Från *tabell 1* ses att detta innebär att sorteringskålen som minst levererar 24 produkter per minut och som mest ca 55 produkter på minut. Om sorteringskålen för underdelar skulle vara den långsammaste stationen kopplas regulatorn bort och sorteringskålen kör på regulatorns maxvärde, 555. Detta gör att den fyller på bufferten till dess att den inte längre är långsammast. Därefter kopplas regulatorn in igen.

För överdelar har styrsignalens maxvärde varit 400 och dess minvärde 200. Detta ger, från *tabell 2*, att sorteringskålen som minst levererar 36 produkter per minut som mest 99 produkter på minut. Anledningen till att 200 har satts som minvärde är att om amplituden är lägre än så fungerar inte alla fällor och felorienterade bitar kan komma fram och orsaka stopp. Även här används maxvärdet då sorteringskålen för överdelar är långsammast. Den kör med denna styrsignal till dess att den inte längre är långsammast.

4.2.3 Linjär reglering utan återkoppling



Figur 10. Körning med linjär reglering för underdelar.



Figur 11. Körning med linjär reglering för överdelar.

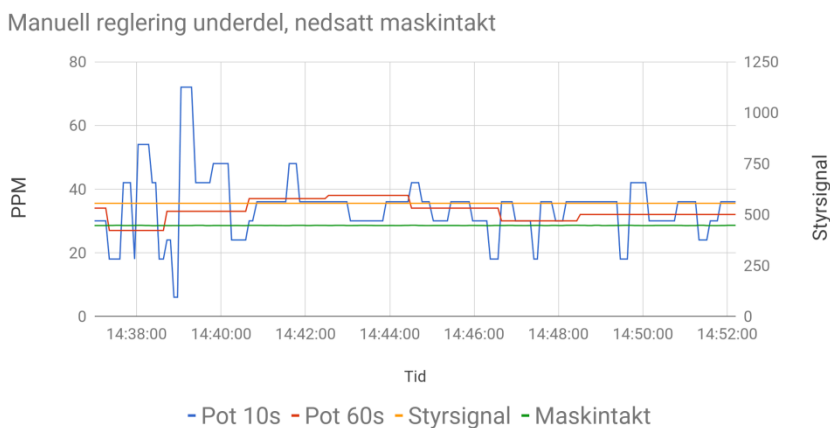
Vid denna typ av reglering används för underdelar *ekvation 1* då maskintakten ligger i intervallet 0-25. Då maskintakten är över 25 produkter per minut används istället *ekvation 2*. I de båda *ekvationerna* är det endast maskintakten som är variabel, vilket innebär att denna reglering ej är återkopplad. Detta ses genom att styrsignalen i *figur 10* är en direkt spegling av maskintakten. För överdelar används *ekvation 3* i hela maskintaktens intervall, men ett minvärde på 200 gör att den inte kan gå lägre än så. I *figur 11* vid 11:32:00 planar styrsignalen ut trots att maskintakten sjunkit. Här når den sin lägsta tillåtna styrsignal, 200. Precis som vid PI-reglering finns här ett intervall inom vilket styrsignalerna alltid måste ligga. Detta för att fällor ska fungera som avsett. Dessa intervall är samma som vid PI-reglering.

De mesta svängningarna i Pot 10s beror även här på att systemet är slumpmässigt.

4.3 Körning med nedsatt maskintakt

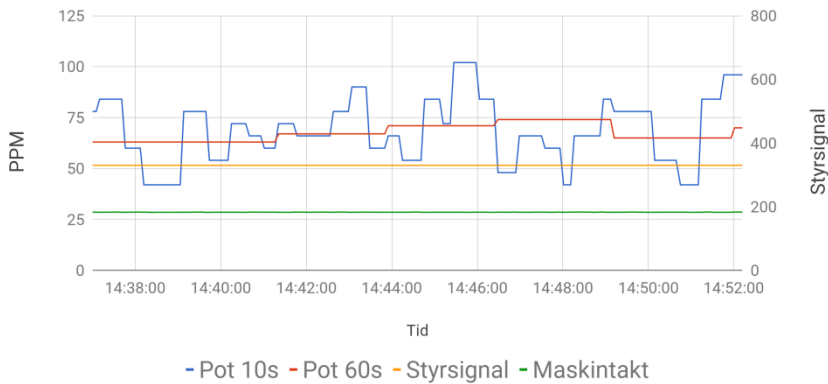
I detta avsnitt visas data som inhämtats då maskintakten medvetet sänkts. Detta är intressant för att se hur regleringen reagerar på sänkt hastighet. Idealt ska sorteringskålarna mata fram så många produkter som maskinen behöver, om då maskintakten sjunker blir behovet mindre och sorteringskålarna kan leverera långsammare.

4.3.1 Manuell reglering



Figur 12. Manuell reglering med sänkt maskintakt, underdelar

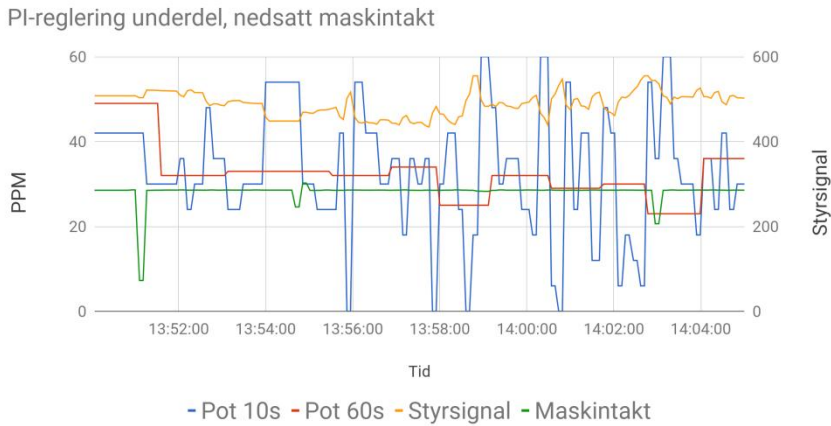
Manuell reglering överdel, nedsatt maskintakt



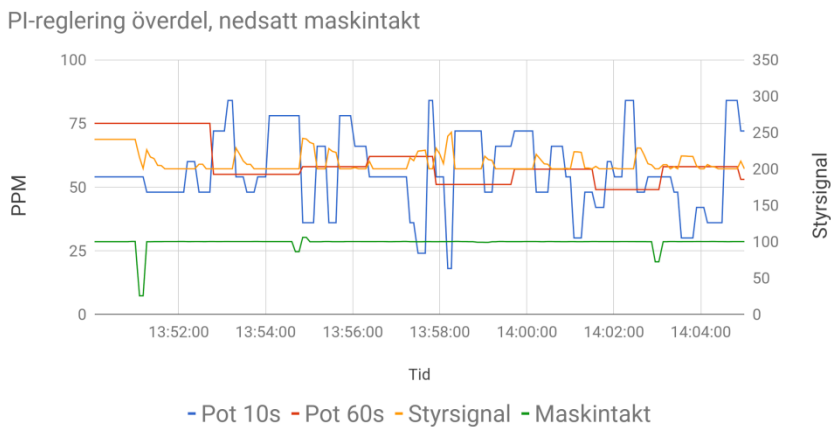
Figur 13. Manuell reglering med sänkt maskintakt, överdelar

Vid manuell reglering borde sorterings-skålen leverera lika många produkter som vid normal drift även när maskintakten är sänkt. I *figur 12* och *figur 13* syns att maskintakten ligger stabilt på 28 produkter per minut. Det syns även att Pot 60s och Pot 10s har sänkts jämfört med i *figur 6* respektive *figur 7*. Detta återspeglar inte verkligheten. Nivån i bufferten sjunker inte tillräckligt snabbt, vilket medför att sorterings-skålen oftare står stilla. Start- och stopptider för sorterings-skålen har inte förändrats. Anledningen till att Pot 60s och Pot 10s är lägre i *figur 12* och *figur 13* än i *figur 6* och *figur 7* är att givaren ofta registrerar flera produkter som en produkt eftersom att de ligger för tätt intill varandra. Detta blir mer vanligt förekommande när bufferten fylls på snabbare än den töms.

4.3.2 PI-reglering



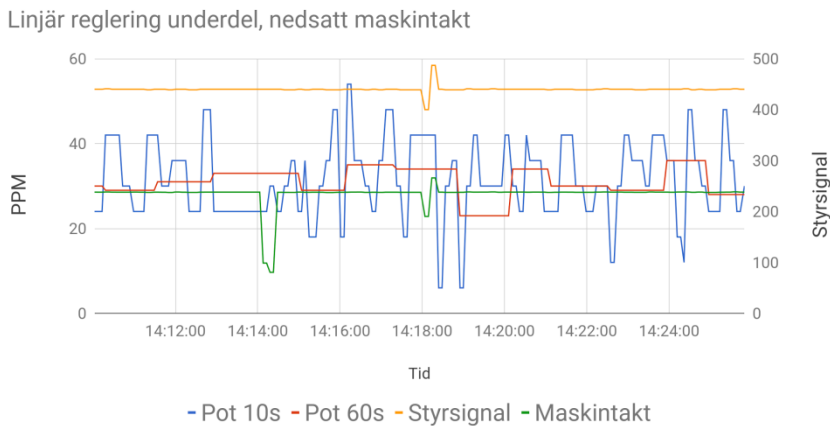
Figur 14. PI-reglering med sänkt maskintakt, underdelar



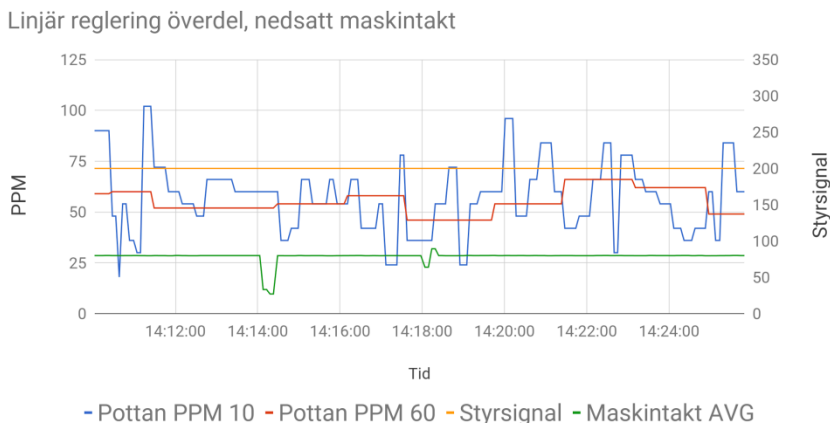
Figur 15. PI-reglering med sänkt maskintakt, överdelar

I *figur 14* och *figur 15* ses data från PI-reglering av maskinen med nedsatt hastighet. Här ses att styrsignalernas medelvärde är lägre i *figur 14* och *figur 15* jämfört med *figur 8* och *figur 9*.

4.3.3 Linjär reglering utan återkoppling



Figur 16. Linjär reglering med sänkt maskintakt, underdelar



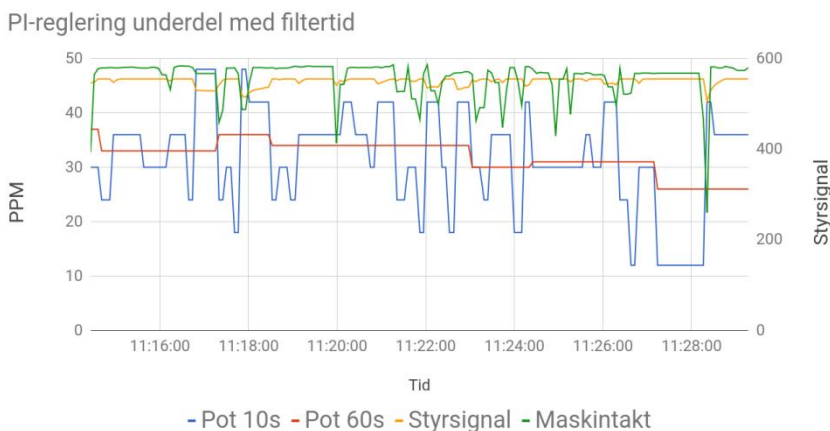
Figur 17. Linjär reglering med sänkt maskintakt, överdelar

I *figur 16* och *figur 17* ses data från PI-reglering av maskinen med nedsatt hastighet. Här ses att styrsignalernas medelvärde är lägre i *figur 14* och *figur 15* jämfört med *figur 10* och *figur 11*.

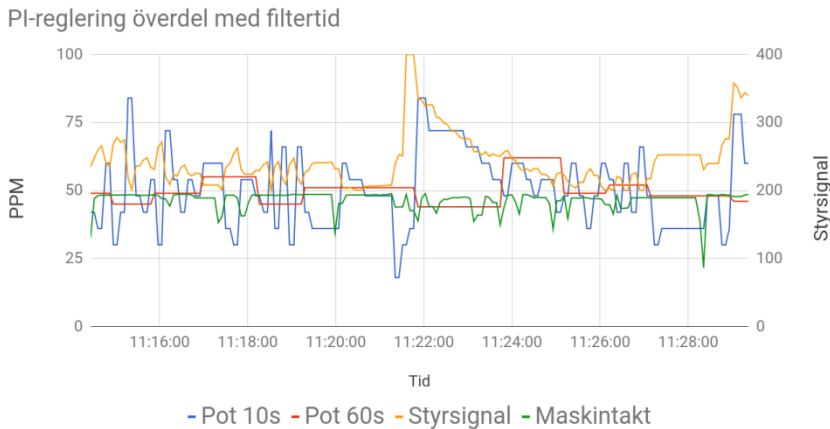
4.4 Data från körning med filtertid

Vid körning med PI-reglering beror styrsignalen av är- och börvärde. Som tidigare nämnts har problem med ärvärde upptäckts för överdelarna. Vid manuell reglering och vid linjär reglering är detta inte något problem, då dessa inte är återkopplade. Vid PI-reglering innebär detta att ett för högt ärvärde kommer resultera i en för låg styrsignal.

För att avhjälpa detta problem lades filtertider för givaren in. Detta innebär att givaren måste ha gett signal i minst 48 ms för att en produkt ska registreras. För att en ny produkt sedan ska kunna registreras måste givarens signal ha varit låg i minst 48 ms. Samma filtertider lades in för både över och underdelar.



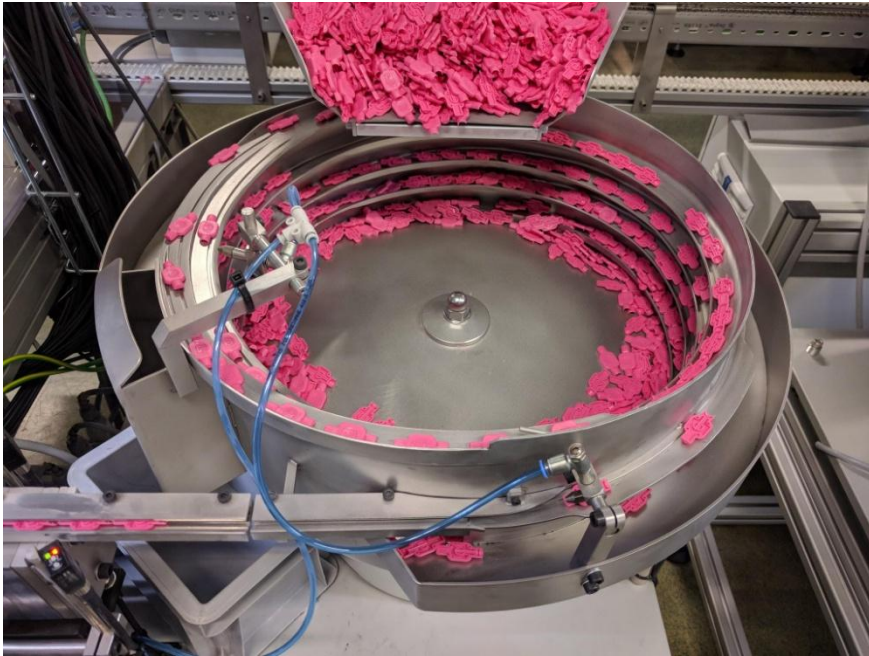
Figur 18. PI-reglering för underdel med filtertid



Figur 19. PI-reglering för överdel med filtertid

Data från körning med filtertider presenteras i *figur 18* och *figur 19*. Efter att problemet uppdagades har endast körning med PI-regulator gjorts. Därför presenteras bara data från körning med PI-reglering.

Vid körningen då datan inhämtades hade ett blås aktiverats. Blåsets funktion är att trycka fram produkterna för att minska risken för stopp vid övergången mellan sorteringskål och linjärenhet. Detta medför att produkterna ligger tätare mot varandra och det gör att givaren inte kan registrera alla produkter. Utan blåset fungerar övergången mellan sorteringskål och linjärenhet som en separator för produkterna.



Figur 20. Bild på sorteringskål samt övergång till linjärenhet.

Figur 20 visar sorteringskål och början av linjärenhet. Nere till vänster i *figur 20* syns givaren som registrerar produkterna. Här syns även att produkterna ligger tätt inpå varandra, vilket gör att givaren inte kan registrera alla produkter. Till höger i samma figur ses blåset som hjälper till vid frammatning av produkterna.

4.5 Data från produktion

I följande avsnitt visas data från normal drift för de tre olika driftsfallen. Här presenteras data som medeltal från åtta timmars körning. Fokus ligger här på hur stor del av tiden sorteringskålarna kör samt hur många gånger de är långsammaste station. Med Pot larm menas att operatören görs uppmärksam på att något är fel i sorteringskålen. Med Linear larm menas att det är något fel i linjärenheten. Båda dessa larm triggas då det gått 40 sekunder sedan en produkt passerat respektive givare. Långsammaste station innebär att sorteringskålen har varit maskinens långsammaste station under en maskincykel. Om inget orsakar totalstopp i linjärenhet eller sorteringskål kan produkter fortsätta komma fram och maskinen kan då fortsätta köra. Det

kan då gå ett antal maskincykler innan bufferten på nytt är fylld. Därför kan långsammaste station i vissa fall vara hög. Detta är dock inte synonymt med att sorteringsskålen varit begränsande för produktionen i stort.

Alla tabeller som visas här är data från åtta timmars normal drift. Långsammaste station anges som medeltalet per timme. Körvid för under- respektive överdel anges som procent av maskinens totala körvid. Maskinens körvid anger hur stor del av tiden den har kört, dvs. då den producerat. PPM anger medeltakten under tiden då datan inhämtades.

4.5.1 Manuell reglering

<i>Tabell 3. Data från åtta timmars normaldrift med manuell reglering</i>		
	Medelvärde	Standardavvikelse
Maskin		
PPM	47.2	0.5
Körtid	89 %	11 %
Underdel		
PPM 60	41.9	0.8
Körtid	65.3%	5.9%
Långsammaste station	36.3	24.5
Sorteringsskål larm	0.0	0.0
Linjär larm	0.3	0.7
Överdel		
PPM 60	102.6	2.6
Körtid	50.4%	4.3%
Långsammaste station	0.4	0.7
Sorteringsskål larm	0.1	0.4
Linjär larm	0.4	0.7

Ur tabell 3 framgår att under dessa åtta timmar har maskinen kört 89 % av tiden. Utav denna tid har sorteringsskålen för underdelar kört 65.3%. Sorteringsskålen för överdelar har under denna tid kört 50.4%.

4.5.2 PI-reglering

<i>Tabell 4. Data från åtta timmars normaldrift med PI-reglering</i>		
	Medelvärde	Standardavvikelse
Maskin		
PPM	46.8	0.3
Körtid	93.2%	3.7%
Underdel		
PPM 60	44.8	0.9
Körtid	74.4%	4.1%
Långsammaste station	61.1	24.4
Sorteringsskål larm	0.3	0.5
Linjär larm	0.3	0.5
Överdel		
PPM 60	81.0	1.4
Körtid	77.1%	9.8%
Långsammaste station	39.8	45.4
Sorteringsskål larm	0.6	1.1
Linjär larm	1.0	2.1

Ur tabell 4 framgår att under dessa åtta timmar har maskinen kört 93.2% av tiden. Utav denna tid har sorteringsskålen för underdelar kört 74.4%. Sorteringsskålen för överdelar har under denna tid kört 77.1%.

4.5.3 Linjär reglering utan återkoppling

<i>Tabell 5. Data från åtta timmars normaldrift med linjär reglering</i>		
	Medelvärde	Standardavvikelse
Maskin		
PPM	41.9	1.0
Körtid	96.1%	3.2%
Underdel		
PPM 60	44.5	1.5
Körtid	74.4%	8.3%
Långsammaste station	116.6	160.7
Sorteringsskål larm	1.9	2.0
Linjär larm	2.4	4.0
Överdel		
PPM 60	84.3	3.0
Körtid	69.9%	5.7%
Långsammaste station	2.5	5.1
Sorteringsskål larm	0.6	0.7
Linjär larm	0.5	0.8

Ur tabell 5 framgår att under dessa åtta timmar har maskinen kört 96.1% av tiden. Utav denna tid har sorteringsskålen för underdelar kört 74.4%. Sorteringsskålen för överdelar har under denna tid kört 69.9%.

5 Resultat

För att styra amplituden via PLC:n valdes ett analogkort före en lösning med fältbuss. Detta för att behålla möjligheten att koppla in potentiometrarna och för att en lösning med fältbuss hade genererat mer arbete.

Under arbetet har två olika förslag på reglering tagits fram och testats. Dessa har hela tiden jämförts med den befintliga lösningen.


Derivatadelen i regulatorn valdes bort eftersom det upplevdes instabilt och regleringen fungerade bra utan.

Data från körning med manuell reglering visar att om detta görs på rätt sätt så är det en tillräckligt bra reglering. Det innebär att sorteringskålarna kommer stå still en del och att tekniker måste ställa in alla värden och tider rätt. Med rätt värden kommer sorteringskålarna att leverera det maskinen behöver utan att vara långsammast i någon större utsträckning. Detta förutsätter att maskinen går i normal takt. Skulle takten av någon anledning sjunka så kommer sorteringskålen att stå still större delen av tiden och bufferten fyllas på för mycket. För många produkter i bufferten kan leda till andra problem. Till exempel kan för högt tryck långt fram i bufferten kan leda till att produkter klättrar på varandra eller fastnar. Om sorteringskålen är för lågt inställd kan ökad maskintakt innebära att den inte kan leverera vad maskinen begär. I tabell 3 ses att antalet gånger sorteringskålen är långsammaste station vid manuell reglering är få. Här ses även att sorteringskål och linjärenhet genererar få larm. Körtiden för skålarna ligger här på 65.3% respektive 50.4%, vilket är lägre än vid reglering med PI eller linjär reglering.

Vid körning med PI-reglering visar datan att körtiden för sorteringskålarna är högre än vid manuell reglering. Med denna typ av reglering kan körtiden komma upp i nivåer av 74.4% respektive 77.1%, från tabell 4. Dessa värden är betydligt högre än vid manuell reglering. Från samma tabell ses även att antal maskincykler då sorteringskålen är långsammaste station är något högre än vid manuell reglering. Vad gäller larm är det i princip ingen skillnad.

Data från körning med linjär reglering visar att även här har en ökad körtid uppnåtts. I tabell 5 ses att sorteringskålarna kör 74.4% respektive 69.9%. Vad gäller långsammaste station är siffran här något högre än vid de andra driftfallen. Den högre siffran beror på att det under en av de åtta timmarna

var mycket problem. Standardavvikelsen är här betydligt högre än vid de andra regleringarna. Antalen larm är här högre än vid de andra typerna av reglering. Detta är ett större problem. Det är svårt att säga vad det kan bero på.

 Operatör	 Tekniker	 Utveckling		
Manuellt värde	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="Regulator AV/PÅ"/>	Börvärde	<input type="text" value="0"/>
Minvärde	<input type="text" value="0"/>		Ärvärde	<input type="text" value="0"/>
Maxvärde	<input type="text" value="0"/>		Y-värde	<input type="text" value="0"/>
<input type="button" value="Tillbaka"/>		<input type="button" value="Trend"/>		

Figur 21. Skärmdump från HMI, inställningar för regulator

Det är nu möjligt att via HMI:et styra sorteringskållarna. *Figur 21* visar sidan på HMI:et från vilken man kan styra regulatorn. Här kan man styra vilket värde man vill ha som lägsta och högsta. Det går även att, via HMI:et, skriva vilket manuellt värde som ska gälla. Via HMI:et kan man även stänga av och sätta på regulatorn. Om regulatorn stängs av gäller det manuella värdet som angivits på HMI:et. Intervallet inom vilket manuella, minsta och högsta värde kan justeras är begränsat. Om manuell reglering önskas är detta ett tydligare sätt att tillämpa det på då det är lättare att se vilket värde som ställts in.

6 Slutsats

Vid användning av PI-regleringen som arbetet tagit fram uppnås en lika bra eller bättre styrning av sorteringsskålarna. PI-regleringen är så pass bra att den kan implementeras istället för lösningen med potentiometrar. Möjligheten att styra sorteringsskålarna manuellt bibehålls, och görs tydligare, via HMI:et. Regleringen innebär även att ett tidskrävande moment inte längre behöver utföras av tekniker.

1. Är det möjligt att styra amplituden till matningssystemet via PLC:n?

Det är möjligt att via PLC:n styra sorteringsskålarna. Detta möjliggörs genom att installera ett analogkort som ersätter potentiometrarna. Via PLC:n kan önskade signaler sedan läggas ut till de ingångarna på frekvensomriktarna som styr sorteringsskålarna. Vid styrning på detta sätt är principen den samma som vid styrning med potentiometrar. Det blir även tydligare att justera detta värde via HMI:et då det är svårt att se vad potentiometer är inställd på.

2. Beter sig inmatningen av plastdetaljer olika beroende på vilken färg de har?

Arbetet kan inte besvara frågan om det är skillnad mellan beteendet hos olika plastdetaljer. Detta då arbetet begränsades till endast en maskin som under hela arbetets gång endast producerade borstar av en färg.

3. Är det inmatningstakten som är begränsande för produktiviteten?

Inmatningstakten kan vara begränsande för produktiviteten. Det är däremot mer ofta andra delar av maskinen som är begränsande.

$$\begin{aligned} & \frac{\text{antal maskinacykler som inmatningen varit långsammast}}{\text{totalt antal maskinacykler}} \\ &= \frac{\text{antal maskinacykler som inmatningen varit långsammast}}{PPM * Körtid * 60} \\ &= \frac{116.6 + 2.5}{41.9 * 0.961 * 60} = 0.049 \end{aligned}$$

Uträkningarna är baserade på data från *tabell 5*. Detta är de sämsta uppmätta värdena. Detta visar att även vid det sämsta fallet är frammatningen bara begränsande för 4.9% av det totala antalet maskinacykler. Detta innebär att

vid 95.1% av antalet maskincykler är det någon annan del av maskinen som begränsar.

4. Är det möjligt att reglera matningssystemet på ett bättre sätt?

Det är möjligt att reglera sorteringskålarna på ett bättre sätt. Arbetet har tagit fram två förslag till andra typer av regleringar. Båda är ur många aspekter bättre än den tidigare. Några av de aspekterna är att körtiden för sorteringskålarna ökar, sorteringskålarna följer maskintakten och tid behöver inte läggas på att ställa in parametrar för sorteringskålarna.

6.1 Reflektion över etiska aspekter

Lösningen som arbetet tagit fram bidrar till att färre mänskliga ingrepp krävs. En fullt fungerande lösning tar helt bort ett arbetsmoment från de som sköter maskinen. Med ökad automatisering minskar behovet av arbetskraft. I vissa fall kan detta leda till uppsägning, men så är inte fallet här. De tekniker som sköter maskinen kommer att ha tillräckligt med andra arbetsuppgifter trots att de inte längre behöver ställa in sorteringskålarna. Arbetets lösning frigör istället tid för dem att utföra andra arbetsuppgifter.

6.2 Framtida utvecklingsmöjligheter

Lösningen finns idag bara installerad på en maskin. I framtiden skulle den kunna installeras på alla motsvarande maskiner hos företaget. Lösningen kan också användas för att avhjälpa liknande problem i andra maskiner.

För att ge ett mer stabilt ärvärde till regulatören skulle en givare kunna placeras på ett bättre ställe för att ge en mer pålitlig registergin av skaftdelarna.

Regulatorns parametrar kan eventuellt utvärderas och optimeras.

7 Källförteckning

- [1] Gary P. Maul, M. Brian Thomas. 1997. *Journal of Manufacturing Systems. A Systems Model and Simulation of the Vibratory Bowl Feeder* 16 (5):309-314. Doi: 10.1016/S0278-6125(97)88461-0
- [2] Omron. 2013. *MX2 USER'S MANUAL*.
https://industrial.omron.us/en/media/I570-E2-02B_3G3MX2_UsersManual_tcm849-112721.pdf (Hämtad 2018-05-09)
- [3] Festo. 2011. *MANUAL CONTROLLER MODULAR CECX*.
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/427641/CECX-X-_2011-12c_761886g1.pdf (Hämtad 2018-05-09)
- [4] Imai, P, Yu, X, & MacDonald. 2012. *Canadian Journal Of Dental Hygiene. Comparison of interdental brush to dental floss for reduction of clinical parameters of periodontal disease: A systematic review*. 46 (1): 63-78. CINAHL Complete, EBSCOhost. (Hämtad 2018-05-09)
- [5] Beckhoff. 2017. *Documentation KL400x*.
<https://download.beckhoff.com/download/document/io/bus-terminals/kl400xen.pdf> (Hämtad 2018-05-09)
- [6] Ying, Zhang. 2014. *What is a bowl feeder? And how does it work? RNA Automation Ltd*. <https://www.rnaautomation.com/blog/bowl-feeder-work/> (Hämtad 2018-04-13)
- [7] TePe munhygienprodukter. 2018. Om oss. <https://www.tepe.com/sv/om-oss/> (Hämtad 2018-05-22)
- [8] Karl J. Åström, Richard M. Murray. 2016. *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Second edition, version 3.0h. Princeton: Princeton University Press.
http://www.cds.caltech.edu/~murray/amwiki/index.php/Main_Page (Hämtad 2018-05-22)
- [9] William Bolton. 2009. *Programmable Logic Controller*. Fifth Edition. Elsevier. E-bok.

- [10] Beijer Electronics. 2015. *iX Developer Reference Manual*.
http://beijerinc.com/pdf/iX_Developer_Reference_Manual.pdf (Hämtad 2018-05-22)
- [11]] Beijer Electronics. 2015. *Beijer Electronics Data Collector Manual*.
<http://ftc.beijer.se/files/C125728B003AF839/E61648E7552350FDC125791F003C2323/BEDataCollector.pdf> (Hämtad 2018-05-22)
- [12] WAGO Sverige AB. 2011. *Modbus över Ethernet*.
http://www.wago.se/media/country_local_content/sweden/tekniska_guider/kom_igng_guide_modbus.pdf (Hämtad 2018-05-22)
- [13] The MathWorks Inc. 2018. *Linear Regression*.
https://se.mathworks.com/help/matlab/data_analysis/linear-regression.html
(Hämtad 2018-05-22)

8 Appendix

8.1 Appendix A

I detta avsnitt finns funktionsblocket SpeedMonitor som strukturerad text.

```
(* @NESTEDCOMMENTS := 'Yes' *)
(* @PATH := " *)
(* @OBJECTFLAGS := '0, 8' *)
(* @SYMFILIFLAGS := '2048' *)
FUNCTION_BLOCK SpeedMonitor
VAR_INPUT
    EN:BOOL;
    PotLvl: BOOL;
    LinearLvl: BOOL;
    InPosSensor: BOOL;
    BufferStart:BOOL;
    PotStart:BOOL;
    PotStartNormalSpeed:BOOL;
    LinearStart:BOOL;
    dwSystemTime64: SysTime64;
    SlowestStation: INT;
    StationNbr: INT;
    IndexPulse: BOOL;
    BufferAlarm:BOOL;
    PotAlarm:BOOL;
    LinearAlarm:BOOL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    ENO: BOOL;
    PotPPM5: INT;
    PotPPM10: INT;
```

PotPPM20: INT;
PotPPM60: INT;
LinearPPM5: INT;
LinearPPM10: INT;
LinearPPM20: INT;
LinearPPM60: INT;
SlowestStationCount: DWORD;
BufferStartCount: DWORD;
PotRunTimePercentage: REAL;
BufferAlarmCount: DWORD;
PotAlarmCount: DWORD;
LinearAlarmCount: DWORD;

END_VAR

VAR

NewTime: SysTime64;
ActualTime: DWORD;
OldTime: DWORD;
PotCounter5: INT;
PotCounter10: INT;
PotCounter20: INT;
PotCounter60: INT;
Pot5s: DWORD;
Pot10s: DWORD;
Pot20s: DWORD;
Pot60s:DWORD;
LinearCounter5: INT;
LinearCounter10: INT;
LinearCounter20: INT;
LinearCounter60: INT;
Linear5s: DWORD;
Linear10s: DWORD;
Linear20s: DWORD;
Linear60s:DWORD;

```

LinearLvl_R: R_TRIG;
InPosSensor_R: R_TRIG;
IndexPulse_R: R_TRIG;
BufferStart_R:R_TRIG;
t5s:DWORD := 5000000;
t10s: DWORD :=10000000;
t20s: DWORD :=20000000;
t60s :DWORD :=60000000;
t15m:DWORD :=900000000;
t1h: DWORD := 3600000000;
PotRunTime :REAL;
PotRunTimeNormalSpeed: REAL;
BufferAlarm_R:R_TRIG;
PotAlarm_R:R_TRIG;
LinearAlarm_R:R_TRIG;
SlowestStation_R: BOOL;
InPosOnDelay:TON;
LinearLvlOnDelay:TON;
InPosOffDelay:TOF;
LinearLvlOffDelay:TOF;
END_VAR
(* @END_DECLARATION := '0' *)
IF ENO THEN
    NewTime := dwSystemTime64;
    IF NewTime.ulLow > OldTime THEN
        ActualTime := (NewTime.ulLow-OldTime);
    ELSE
        ActualTime := ((4294967295-OldTime)+NewTime.ulLow);
    (* 4294967295 is maximum value of DWORD *)
    END_IF

    OldTime := NewTime.ulLow;

    IF PotStart THEN

```

```

PotRunTime := PotRunTime + ActualTime;
IF PotRunTime > t15m THEN
    PotRunTimePercentage :=
PotRunTimeNormalSpeed/PotRunTime;
    PotRunTime := 0;
    PotRunTimeNormalSpeed := 0;
END_IF

END_IF

IF PotStartNormalSpeed THEN
    PotRunTimeNormalSpeed := PotRunTimeNormalSpeed +
ActualTime;
    Pot5s:= Pot5s + ActualTime;
    Pot10s:= Pot10s + ActualTime;
    Pot20s:= Pot20s + ActualTime;
    Pot60s:= Pot60s + ActualTime;

LinearLvlOnDelay(IN := LinearLvl, PT:= T#48ms);
LinearLvlOffDelay(IN := LinearLvlOnDelay.Q, PT:= T#48ms);

LinearLvl_R(CLK:= LinearLvlOffDelay.Q);
    IF LinearLvl_R.Q THEN
        PotCounter5 := PotCounter5 + 1;
        PotCounter10 := PotCounter10 + 1;
        PotCounter20 := PotCounter20 + 1;
        PotCounter60 := PotCounter60 + 1;
    END_IF

IF Pot5s >= t5s THEN
    PotPPM5 := PotCounter5 * 12;
    PotCounter5 := 0;
    Pot5s := 0;

```

END_IF

```
IF Pot10s >= t10s THEN
    PotPPM10 := PotCounter10 * 6;
    PotCounter10 := 0;
    Pot10s := 0;
END_IF
```

```
IF Pot20s >= t20s THEN
    PotPPM20 := PotCounter20 * 3;
    PotCounter20 := 0;
    Pot20s := 0;
END_IF
```

```
IF Pot60s >= t60s THEN
    PotPPM60 := PotCounter60 ;
    PotCounter60 := 0;
    Pot60s := 0;
END_IF
```

END_IF

```
IF LinearStart THEN
    Linear5s:= Linear5s + ActualTime;
    Linear10s:= Linear10s + ActualTime;
    Linear20s:= Linear20s + ActualTime;
    Linear60s:= Linear60s + ActualTime;

    InPosOnDelay(IN :=InPosSensor, PT := T#48ms);
    InPosOffDelay(IN :=InPosOnDelay.Q, PT := T#48ms);
    InPosSensor_R(CLK:= InPosOffDelay.Q);
    IF InPosSensor_R.Q THEN
        LinearCounter5 := LinearCounter5 + 1;
```



```
        LinearCounter10 := LinearCounter10 + 1;  
        LinearCounter20 := LinearCounter20 + 1;  
        LinearCounter60 := LinearCounter60 + 1;  
    END_IF
```

```
IF Linear5s >= t5s THEN  
    LinearPPM5 := LinearCounter5 * 12;  
    LinearCounter5 := 0;  
    Linear5s := 0;  
END_IF
```

```
IF Linear10s >= t10s THEN  
    LinearPPM10 := LinearCounter10 * 6;  
    LinearCounter10 := 0;  
    Linear10s := 0;  
END_IF
```

```
IF Linear20s >= t20s THEN  
    LinearPPM20 := LinearCounter20 * 3;  
    LinearCounter20 := 0;  
    Linear20s := 0;  
END_IF
```

```
IF Linear60s >= t60s THEN  
    LinearPPM60 := LinearCounter60 ;  
    LinearCounter60 := 0;  
    Linear60s := 0;  
END_IF
```

```
END_IF
```

```
IndexPulse_R(CLK:= IndexPulse);
```

```
IF IndexPulse_R.Q AND SlowestStation = StationNbr THEN
    SlowestStationCount:= SlowestStationCount + 1;
END_IF
```

```
BufferStart_R(CLK := BufferStart);
IF BufferStart_R.Q THEN
    BufferStartCount := BufferStartCount + 1;
END_IF
```

```
BufferAlarm_R(CLK:= BufferAlarm);
IF BufferAlarm_R.Q THEN
    BufferAlarmCount := BufferAlarmCount +1;
END_IF
```

```
PotAlarm_R(CLK:= PotAlarm);
IF PotAlarm_R.Q THEN
    PotAlarmCount := PotAlarmCount +1;
END_IF
```

```
LinearAlarm_R(CLK:= LinearAlarm);
IF LinearAlarm_R.Q THEN
    LinearAlarmCount := LinearAlarmCount +1;
END_IF
```

```
END_IF
```

```
ENO := EN;
END_FUNCTION_BLOCK
```

8.2 Appendix B

I detta avsnitt finns funktionsblocket LinearRegulatorBottom som strukturerad text.

```
(* @NESTEDCOMMENTS := 'Yes' *)
(* @PATH := " *)
(* @OBJECTFLAGS := '0, 8' *)
(* @SYMFILEFLAGS := '2048' *)
FUNCTION_BLOCK LinearRegulatorBottom
VAR_INPUT
    ACTUAL:REAL;
    OUTPUT_MIN: REAL;
    OUTPUT_MAX:REAL;
    MANUAL_OUTPUT:REAL;
    REGULATOR_OFF: BOOL;
    SLOWEST_STATION:BOOL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    OUTPUT:INT;
END_VAR
VAR
    R_OUTPUT:REAL;
END_VAR
(* @END_DECLARATION := '0' *)
IF NOT REGULATOR_OFF THEN

    IF ACTUAL > 12.4 AND ACTUAL < 32.2 THEN
        R_OUTPUT :=14.042*ACTUAL + 38.867;
    END_IF

    IF ACTUAL >= 32.2 THEN
        R_OUTPUT :=2.519*ACTUAL + 422.065;
```

```
        END_IF

ELSE
    R_OUTPUT:= MANUAL_OUTPUT;
END_IF

IF SLOWEST_STATION THEN
    R_OUTPUT:= OUTPUT_MAX;
END_IF;

IF R_OUTPUT < OUTPUT_MIN THEN
    R_OUTPUT:= OUTPUT_MIN;
END_IF

IF R_OUTPUT > OUTPUT_MAX THEN
    R_OUTPUT := OUTPUT_MAX;
END_IF

OUTPUT := REAL_TO_INT(R_OUTPUT);
END_FUNCTION_BLOCK
```

8.3 Appendix C

I detta avsnitt finns funktionsblocket LinearRegulatorTop som strukturerad text.

```
(* @NESTEDCOMMENTS := 'Yes' *)
(* @PATH := " *)
(* @OBJECTFLAGS := '0, 8' *)
(* @SYMFILEFLAGS := '2048' *)
FUNCTION_BLOCK LinearRegulatorTop
VAR_INPUT
    ACTUAL:REAL;
    OUTPUT_MIN: REAL;
    OUTPUT_MAX:REAL;
    MANUAL_OUTPUT:REAL;
    REGULATOR_OFF: BOOL;
    SLOWEST_STATION:BOOL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    OUTPUT:INT;
END_VAR
VAR
    R_OUTPUT:REAL;
END_VAR
(* @END_DECLARATION := '0' *)
IF NOT REGULATOR_OFF THEN
    R_OUTPUT :=3.195*ACTUAL + 84.345;
ELSE
    R_OUTPUT:= MANUAL_OUTPUT;
END_IF

IF SLOWEST_STATION THEN
    R_OUTPUT:= OUTPUT_MAX;
END_IF;
```

```
IF R_OUTPUT < OUTPUT_MIN THEN  
    R_OUTPUT:= OUTPUT_MIN;  
END_IF
```

```
IF R_OUTPUT > OUTPUT_MAX THEN  
    R_OUTPUT := OUTPUT_MAX;  
END_IF
```

```
OUTPUT := REAL_TO_INT(R_OUTPUT);  
END_FUNCTION_BLOCK
```