

Institutionen för tillämpad IT, KTH-Kista

Mekatronikprojekt:

# Pneumatiskt positioneringssystem



## **Mekatronikgrupp 4**

Lars Viebke

Per Nylund

Freddie Tydal

Edib Halilovic

Christian Vasquez

Datum: 2003-07-04

## **Sammanfattning**

Detta är rapporten till ett mekatronikprojekt genomförd av fem sistaårselever på KTH i Kista under vårterminen 2003.

Projektuppgiften syftade på att undersöka och utveckla ett pneumatiskt positioneringssystem åt Bosch Rexroth baserad på en skyttecylinder och ett PLC-styrssystem.

En demonstrationsbänk upprättades och med denna som bas utvecklades ett positioneringssystem.

Positioneringssystemet visar att pneumatisk positionering är möjlig trots fysikaliska svårigheter hos mediet luft och att precisionen uppfyller de krav Bosch Rexroth ställer.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>4</b>
1.1	Bakgrundsbeskrivning.....	4
1.2	Projektförutsättningar.....	4
<b>2</b>	<b>Projekt mål.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Avgränsningar .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Lösningsmetod .....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Marknadsanalys .....</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>Linjärenhetsprinciper, positionering .....</b>	<b>7</b>
6.1	Funktionsanalys för linjärenheter.....	7
6.2	Familjetråd för linjärenheter.....	8
6.3	QFD för linjärenheter.....	9
<b>7</b>	<b>Beståndsdelar i pneumatiska linjärsystem .....</b>	<b>12</b>
7.1	Pneumatik.....	12
7.2	Lägesgivare .....	13
7.3	Styrning .....	14
7.4	Reglering .....	16
<b>8</b>	<b>Vår tekniska lösning.....</b>	<b>17</b>
8.1	Vår pneumatik .....	18
8.1.1	Teori kring pneumatiska skyttelcylindrar .....	20
8.2	Vår lägesgivare.....	22
8.3	Vår styrning.....	24
8.3.1	Signalschema.....	25
8.4	Vår reglering .....	26
8.4.1	Regleringsteori för pneumatiska skyttelcylindrar .....	28
8.4.2	Alternativa regleringar .....	31
8.5	PLC-program.....	33
8.6	Terminalstyrning .....	36
<b>9</b>	<b>Mätningar .....</b>	<b>38</b>
9.1	Mätresultat.....	38
9.2	Analys av mätresultat .....	41
<b>10</b>	<b>Slutsats.....</b>	<b>43</b>
<b>11</b>	<b>Rekomendationer .....</b>	<b>44</b>
<b>12</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>45</b>
<b>13</b>	<b>Bilaga .....</b>	<b>45</b>

# 1 Inledning

Mekatronikgrupp 4 har på fråg från Bosch Rexroth fått i uppdrag att utveckla ett demonstrerbart pneumatiskt positioneringssystem utifrån Bosch Rexroth:s produkter, baserad på en kolvstångsslös cylinder (skyttelecylinder) styrd av en PLC från Mitsubishi. Systemet skall optimeras utifrån olika belastningsfall och utvärderas, beräkningar och beskrivningar hur regleringen av systemet anpassas till cylindrar av olika storlek. Det pneumatiska positioneringssystemet kommer i första hand användas av Bosch Rexroth applikationsgrupp för att utifrån denna konstruera kundanpassade applikationer.

## 1.1 Bakgrundsbeskrivning

I dagsläget finns det en del olika positioneringsdon i form av linjärenheter som främst styrs rent elektriskt med motorer, dessa linjärenheter är i allmänhet relativt dyra samt ofta känsliga i krävande miljöer. Bosch Rexroth som är tillverkare av pneumatiska system, har uppmärksammat efterförfrågan av positionering med pneumatik som främst skulle kunna komplettera dessa mekaniska linjärenheter.

Bosch Rexroth har några idéer på hur man skulle kunna konstruera ett sådant system, men främst pga av tidsbrist har Mekatronikgrupp 4 från KTH i Kista anlåtats för att testa och utvärdera tänkbara lösningar på systemet samt bygga ihop en demonstrationsprototyp.

Bosch Rexroth vill kunna bredda sin marknad till en, där de säljer färdiga, eller delvis färdiga större positioneringslösningar till kunder utifrån Bosch Rexroth:s nuvarande produkter. För detta krävs att styrningen av linjärsystemet kan anpassas till olika pneumatiska enheter från Bosch Rexroth för att på bästa möjliga sätt kunna anpassa linjärsystemet efter den specifika tillämpningen och därmed uppnå olika kundönskemål.

## 1.2 Projektförutsättningar

- Huvuddelen av projektet skall genomföras av elever från KTH.
- Plattformen och den övergripande tekniska lösningen kommer ifrån Bosch Rexroth.
- Huvudkomponenter såsom PLC, pneumatik, elskåp inköps av Bosch Rexroth.
- KTH bidrar med mantimmar och mindre komponenter i form av maskinbearbetade delar skruv och mutter.

## 2 Projekt mål

- Konstruera en fungerande teknislösning av ett pneumatiskt positioneringssystem med huvudkomponenter ifrån Bosch Rexroth.
- Systemet skall vara återkopplat med avseende på läge. Position skall kunna styras genom att man skriver in parametrar på en panel.
- Ta reda på prestanda genom uppmätning. Mätmetoder skall framtagas.
- Repeternoggrannhet skall beskrivas i förhållande till rörelsemassa och hastighet i diagramform. Detta genom att positionering genomförs där systemet belastas med olika massor, varvid repeternoggrannheten mäts för de olika belastningsfallen. Som referens utnyttjas den ordinarie lägesgivaren. Hastigheten hos systemet mäts genom att tiden det tar för att genomföra ett antal bestämda mätcykler klockas för respektive belastningsfall.
- Systemet skall testas horisontellt.
- Begränsad marknadsundersökning samt undersökning av konkurrenter och deras produkter skall genomföras.
- Ovanstående mål skall dokumenteras

## 3 Avgränsningar

Den sammanställda prototypen behöver bara kunna demonstrera principen för reglering av pneumatiska linjärsystem. Övriga anpassningar till andra pneumatiska linjärenheter av annan typ och andra dimensioner behöver bara redovisas teoretiskt.

Prototypen behöver inte direkt gå att realisera i en producerbar produkt.

Tillämpningar för linjärsystemet behöver inte demonstreras utan bara beskrivas i begränsad omfattning.

All ekonomisk styrning sker från Bosch Rexroth, alla utgifter skall godkännas, för de delar som behövs för projektet skall i så stor omfattning som möjligt Bosch Rexroth:s produkter användas.

## 4 Lösning metod

- Teoretisk undersökning som utgår ifrån olika linjära positioneringssystem
- Teoretisk undersökning kring positionering med pneumatiska positioneringssystem
- Beräkningar och simuleringar främst utifrån reglering av pneumatiska cylindrar.
- Praktiska laborationer och försök
- Undersöka och optimera prestanda för systemet
- Analys av resultatet

## 5 Marknadsanalys

Bosch Rexroth applikationsgrupp planerar sälja det pneumatiska positioneringssystemet i färdiga kundstyrda applikationer (tillämpningar). De räknar med att kunna sammanställa och sälja ca 10 stycken positioneringssystem per år baserade på den pneumatiska linjärenheten. Kundkretsen befinner sig enbart i Sverige och omfattar automations- och tillverkningsindustrin.

I ett senare skede kan den pneumatiska linjärenheten produktifieras och säljas som lös enhet varvid produkten konkurrerar på en större marknad vilket medför att den potentiella kundkretsen ökas drastiskt.

Marknaden för pneumatiska linjärenheter är dock relativt begränsad jämfört med den totala marknaden för positioneringssystem främst beroende på den begränsade precisionen.

Efter en närmare undersökning av marknaden har det visat sig att det finns en marknad och ekonomiska förutsättningar för Bosch Rexroth att inkludera positionerbara pneumatikenheter i applikationsgruppens kundanpassade lösningar.

Därmed kan de få en större kundgrupp och få möjlighet att tillverka applikationer de tidigare inte kunde eller ta ett högre pris.

Applikationsgruppens nära kundanpassade lösningar och direkta kundkontakt är dess stora fördel men den begränsade storleken, endast tre personer, ger små möjligheter till starkt ökad försäljning.

Utvecklingskostnaderna för en positionerbar pneumatisk linjärenhet för applikationsändamål har beräknats, dels vid skolprojektet (med fiktiva arbetskostnader) och dels hur höga kostnaderna hade varit om utvecklingsarbetet hade drivits industriellt (*se bilaga*).

Utifrån kalkylerna är det rimligt att anta att utvecklingskostnaderna kan motiveras om projektet hade drivits industriellt. Vad det gäller de fiktiva arbetskostnaderna i skolprojektet ger de en omotiverat hög utvecklingskostnad som är svår att återfå, men huvudmålet vid denna typ av projekt är främst att inbringa kunskap.

Även en produktifiering av linjärenheten är ekonomiskt försvarbar, men riskerna är större, främst för höga utvecklingskostnader.

Bosch Rexroth kan i och med möjligheten att positionera sin pneumatiska utrustning bredda sitt sortiment och ta en marknad de tidigare inte hade.

Konkurrensen är relativt låg men den potentiella kundgruppen är samtidigt begränsad, främst pga tekniska brister som pneumatiken ger jämfört med andra tekniker för positionering.

Utifrån känslighetsanalyserna för de två områdena (*se bilaga*) bedöms tillämpningarna vara relativt okänsliga när det gäller fluktuation i volym medan marginalerna för den enskilda produkten är högre.

## 6 Linjärenhetsprinciper, positionering

Linjär kommer från latin och betyder linje. Linjäritet kan ses som en funktion av en linje i ett koordinat system, där varje x-värde ger ett bestämt y-värde. I tekniska sammanhang kan en linjärenhet ses som en givare/ställdon där en instorhet ger en bestämd utstorhet. Ett exempel är en fjäder som utsätts för en kraft, beroende på hur stor kraften är, förlängs fjädern. För att veta hur lång fjäderns töjning är måste start och aktuell position identifieras. Positionering är med andra ord att hålla reda på exakta positionen i förhållande till en referens (start positionen), för att uppnå önskad position.

En teknisk tillämpning av linjärenhet med positionering som man kan finna i en numerisk verktygsmaskin, är uppbyggd enligt följande princip: Själva linjärenheten består av en motor och en rem. Verktuget appliceras på remmen som motorn driver och där med utförs själva förflyttningen av verktuget linjärt i förhållande till den på lagda spänning. För att positionera verktuget till önskad ingreppsposition tillkommer någon form av givare som avläser aktuell position, samt ett styrsystem vars uppgift är att jämföra referensen med aktuellt värde samt att hålla reda på önskad position.

### 6.1 Funktionsanalys för linjärenheter

I funktionsanalys tar man först reda på huvudfunktion som i detta fall är att ”Medge förflyttning”. Under huvudfunktioner följer delfunktioner som hänger samman med huvudfunktionen.

Produkt: Linjärt positioneringssystem

Funktioner	Klass	Kommentar
Medge förflyttning	H	
Välja läge	N	Längs en plan yta
Avläsa position	N	Givare
Medge belastning	N	Belastningskravet utifrån tillämpningen
Medge mångsidighet	Ö	Anpassningsbar till olika tillämpningar
Maximera förflyttningslängd	Ö	Erforderlig förflyttningslängd utifrån tillämpning
Maximera hastighet	Ö	Acceleration, maxhastighet och insvängningstid
Minimera pris	Ö	
Åga underhållsfrihet	Ö	
Medge installationsvänlighet	Ö	
Maximera precision	Ö	Absolutnoggrannhet samt repeter Noggrannhet
Medge miljötålighet	Ö	Vatten, smuts, vibrationer, EMC, radiostrålning
Medge lättanvändhet	Ö	Gränssnittets utformning, anpassningsmöjlighet
Medge reparationsvänligt	Ö	Standardiserade delar och verktyg

H = huvudfunktion, N = nödvändig delfunktion, Ö = önskvärd delfunktion

#### Kommentar till funktionsanalysen:

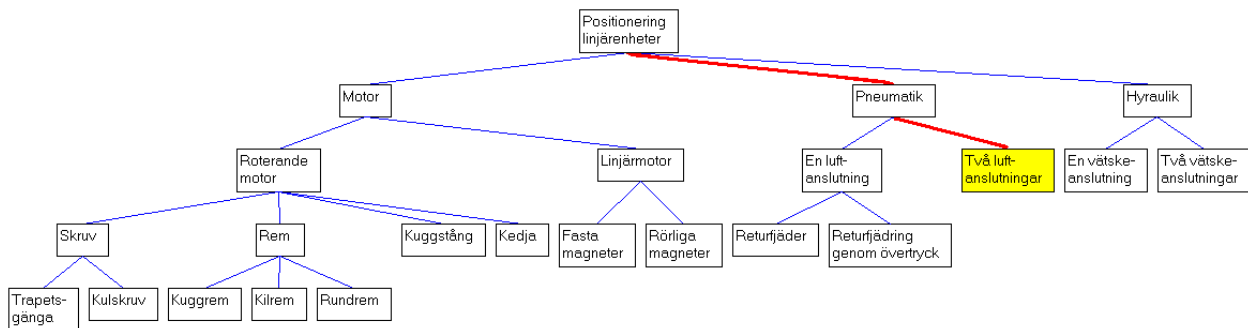
Funktionsanalysen visar att det finns fyra grundpelare i ett linjärt positioneringssystem. Den första grundpelaren är huvudfunktionen ”medge förflyttning”, de övriga tre grundpelarna består

av de nödvändiga delfunktionerna ”välja läge”, ”avläsa position” och ”medge belastning.” När grundpelarna är uppfyllda, anpassas det önskvärda funktionerna efter det ändamål som positioneringssystemet skall användas till.

## 6.2 Familjetråd för linjärenheter

I familjetråd åskådliggörs möjliga metoder för olika linjär positionering. Tanken med trädet är att man åskådliggör hur man följer en ”väg” genom att välja delfunktioner och deras underfunktioner, samtidigt som man kan testa andra ”vägar” om den valda underfunktionen inte visar sig lämplig.

Med familjetrådet kan man även på ett enkelt sätt visa möjliga lösningar och dellösningar till personer som inte är insatta i ämnet.



Figur 1: Familjetråd för positionering med linjärenheter där vår lösning och vägen till den har markerats

### Kommentar till familjetrådet

Familjetrådet visar tre tänkbara metoder att positionera med. Metoderna är motor, pneumatiskt och hydrauliskt.

#### Motor

+ *Fördelar*

Hög precision

Kräver inget extra medium

- *Nackdelar*

Kan ej utnyttja ändläge

#### Pneumatiskt

+ *Fördelar*

Billigt

Okänslig för yttre miljöpåverkan (fukt mm)

Ingen explosionsrisk

- *Nackdelar*

Svårt att få hög noggrannhet



## Hydrauliskt

### + Fördelar

Klarar av tyng belastning

Hög precision

### - Nackdelar

Dyrt

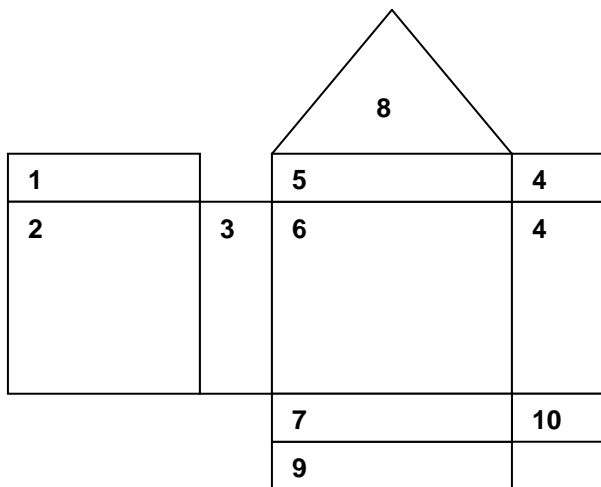
Vid läckage ge risk för miljöföroreningar

Figuren visar även olika typer av undermetoder. Exempelvis inom pneumatik kan en cylinder positioneras med en eller två luftanslutningar.

## 6.3 QFD för linjärenheter

QFD (Quality Function Deployment) är en metod som används för att få en förståelse för vad kundgruppen vill ha, vad som finns på marknaden idag, målvärden för den nya produkten, samt vilka kriterier som är viktiga för kundgruppen.

QFD för linjära positioneringsenheter återfinns i bilagan!



Figur 2: Principskiss över delarna i en QFD

1. VEM – Kundkrets: Tillverkningsindustrin
  - Kundgrupp 1 – Helfabrikat: avses den kundgrupp köper ett system där positioneringsenhet ingår.
  - Kundgrupp 2- Halvfabrikat: avses den kundgrupp som köper positioneringsenheter som lös enhet och utifrån denna själv bygger ett större system.
2. VAD – De kundkriterier som kundkretsen ställer på positionsenheten

3. VEM vs VAD – hur kundkretsen viktat de olika kundkriterierna
4. NU - existerande lösningar, konkurrenter – hur bra dessa uppfyller kundkriterierna
5. HUR – Kundkriterierna omsatta till mätbara kriterier
6. VAD vs HUR – Kundkriteriernas interaktion med de mätbara kriterierna
7. Hur mycket – målvärden utifrån de bästa existerande lösningarna
8. Tekniskt motstridighet - om de tekniska kriterierna hjälper eller stjälper varandra eller eventuellt samband
9. Viktade resultat utifrån kundkriterierna
10. Viktat resultat av existerande lösningar

### **Förklaring till kundkriterierna i QFDn för linjära positioneringssystem:**

#### **Lågt pris**

Billig i jämförelse med en andra konkurrenters produkter (andra linjärenheter), dessutom en låg kostnad för kunden vid installation och anpassning till de system där linjärenheten byggs in, samt även låg kostnad för kunder som massproducerar produkter där linjärenheten ingår.

#### **Underhållsfritt**

För tillverkningsindustrin som använder linjärenheten i till produktionsmaskiner är det centralt att linjärenheten kräver lågt underhåll samt har så hög livslängd som möjligt, samt att det underhåll som krävs kan skötas efter ett serviceschema.

#### **Lätt att installera**

Linjärenheten bör vara så enkel att installera som möjligt för de kunder som köper och använder linjärenheten i större system.

#### **God precision**

Tillräcklig noggrannhet för tillämpningen avser absolutprecision och repetering noggrannhet.

#### **Hög hastighet**

Avser hur snabbt det tar att positionera, inkluderande accelerationen, maxhastigheten, retardationen och insvängningstiden.

#### **Tåla krävande miljö**

Enheten bör kunna klara av de störningar den utsätts för beroende på vilken miljö den är placerad tex vibrationer, smuts, damm, fukt, elektriska störningar (lågfrekvens och högfrekvens), temperaturändringar, ljus.

#### **Lättanvänt**

Systemets användarvänlighet beroende främst på hur styrningen sker, gränssnittet mot användaren, hur systemet kalibreras vid tex varierande belastning.

### **Reparationsvänlig**

Lättåtkomlig, lätt att reparera vid behov, standardiserade delar och verktyg skall i största mån kunna användas. Enheten bör vara utformad på ett sådant sätt att olika delar vid reparation och demontering inte faller isär.

### **Generell olika tillämpningar**

Systemet ska kunna användas vid alla möjliga olika typer av tillämpningar

### **Klara av tunga laster**

Systemet bör klara de belastningar som den kan utsättas för utifrån kundens behov och användningsområdet, med den precision och hastighet som krävs.

### **Långa förflyttningar**

Linjärsystemet bör kunna utföra så långa förflyttningar som kunden kräver. Det användningsområde som enheten används inom med den precision och hastighet som krävs.

### **Resultat av QFD**

Det viktigaste resultatet i QFD:n (*se bilaga*) återfinns i ruta 7. De fem viktigaste tekniska kriterierna för kundgrupp 1 är lågt pris, lång drifttid, hög precision och noggrannhet samt bra skydd mot damm och fukt (hög IP-klass). För kundgrupp 2 (halvfabrikat) är de fem viktigaste kriterierna lång drifttid, kort installationstid, bra damm- och fuktskydd, många användningsområden samt att linjärsystemet klarar tillräckligt hög last. De viktigaste tekniska kriterierna är markerade med **fet stil**.

## 7 Beståndsdelar i pneumatiska linjärsystem

Målet för projektet är att positionera en pneumatisk skyttelcylinder och därmed utveckla ett positionerbart pneumatiskt linjärsystem.

Det pneumatiska positioneringssystemet består av tre huvuddelar:

- Pneumatik
- Lägesgivare
- Styrning

### 7.1 Pneumatik

Pneu i ordet pneumatik kommer från latin och betyder luft. I pneumatik utnyttjas luft för att överföra kraft eller rörelse. Luften komprimeras med hjälp av kompressorer. Tryckluften driver kolvar i cylindrar för att åstadkomma en linjär rörelse eller kraft. Den kan även åstadkomma en cirkulär rörelse eller moment som tex utnyttjas i olika tryckluftsdrivna handverktyg.

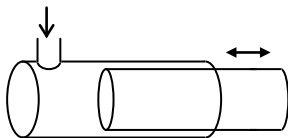
Tryckluften innehåller fukt som måste avskiljas, för detta krävs vätske- och smutsavskiljare. Pneumatiska komponenter behöver oftast oljesmörjning, vilket medför oljedimma som kan påverka annan utrustning.

#### Ventiler:

Luften regleras av ventiler som likt en vattenkran kan slå på och av lufttillförseln till den pneumatiska utrustningen. De kan skötas med handkraft eller på elektrisk väg i s.k. magnetoventiler som regleras genom elektromagnetisk kraft. Ofta används ventilerna både på in- utflödet för att åstadkomma en flexibel reglering.

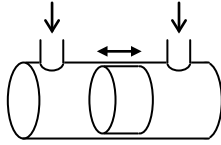
#### Pneumatiska cylindrar:

En pneumatisk cylinder med luftanslutning på en sida fungerar i princip som en cykelpump där man istället för att pumpa ur luft trycker in luft mot kolven varvid kolven trycks uppåt och förflyttas. Om lufttrycket i cylindern ökas, ökar kraften på kolven i samma omfattning. För att åstadkomma en returrörelse på kolven är kolven oftast utrustad med någon form av retur fjäder. Denna kan både vara i form av en traditionell mekanisk fjäder eller i form av ett övertryck på andra sidan om kolven dvs en luftfjäder.



Figur 3: Principbild på pneumatisk cylinder med en luftanslutning

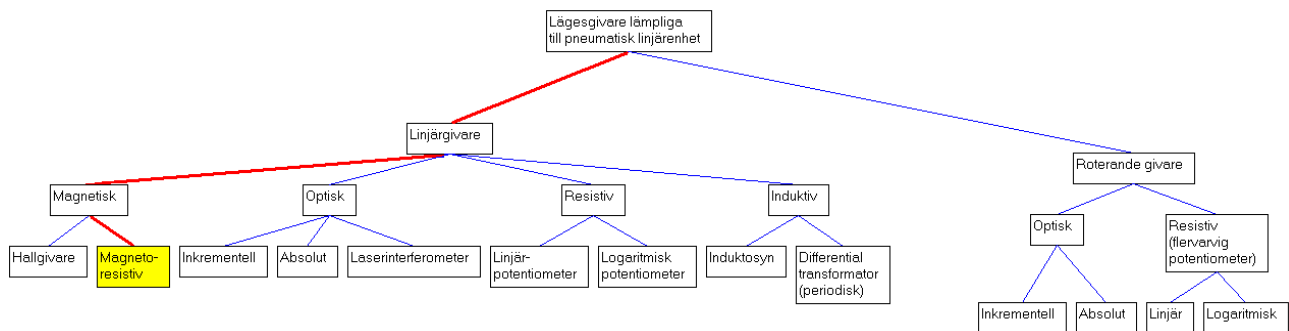
Det förekommer även pneumatiska cylindrar med två luftanslutningar, en på var sida om kolven. Dessa är ofta av en speciell typ som kallas kolvstånglösa cylindrar (eng. "rodless cylinder") eller skyttelcylindrar då den pneumatiska kraften appliceras direkt ovanför kolven till en skyttel istället för som på en traditionell väg via en stång (se Figur 3). För att förhindra luftläckage är cylindern utformad med en speciell packning som löper utmed ena sidan där skytteln leds ovanför kolven.



Figur 4: Principbild på kolvlös cylinder med två luftanslutningar

## 7.2 Lägesgivare

För att positioneringen skall vara möjlig måste hela tiden aktuell position av positionsobjektet kunna identifieras. Identifieringen görs via en lägesgivare. Lägesgivarna kan delas in i två grupper: inkrementella och absoluta. Den inkrementella gruppen är givare vars funktion mäter den sträcka vilket positionsobjektet förflyttat sig, medan den absoluta gruppen ger positionen som positionsobjektet har när mätningen sker. Några av de vanligaste lägesgivarna som används vid positionering visas i familjeträdet nedan (figur 5)



Figur 5: Familjetråd för lägesgivare lämpliga till pneumatisk linjärenhet där vår lösning och vägen till den har markerats

### Magnetisk

Fördelen med magnetiska givare är att livslängden är i princip obegränsad, att givarna är okänsliga för smuts samt att de är beröringsfria. De stora nackdelarna med magnetiska givare är att det krävs magnetiskt material, samt permanent magnet för att få de magnetiska givarna att fungera som lägesgivare. Exempel på magnetiska givare är hallgivare som är mera linjära än magnetoresistivgivare som däremot är känsligare än hallgivaren.

### Optisk

Fördelen med optiska givare är att de är beröringsfria samt okänsliga för elektroniska störningar. Nackdelen med optiska givare är att de är smutskänsliga, elektroniken runt den optiska givaren sätter begränsningar för prestandan och den är känslig för omgivande ljus. Några tänkbara optiska givare är inkrementellgivare, absolutgivare eller laserinterferometer.

### **Resistiv**

Fördelarna med resistiva givare är att de finns i många utförande beroende av data och utföringsform.

Nackdelarna med resistiva givare är det rent mekanisk slitaget samt en begränsad upplösningsförmåga. Exempel på resistiva givare är en linjär potentiometer eller en logaritmisk potentiometer.

### **Induktiv**

Fördelar med induktiva givare är det stora mätområde som sträcker sig mellan mikrometer till meter. Nackdelen är att det kräver mycket kringutrustning och utformning för att få en acceptabel lägesgivare. Några exempel på induktiva lägesgivare är induktosyn och periodisk differential transformator

## **7.3 Styrning**

För att ett positioneringssystem skall fungera krävs någon form av styrning. Denna utgår ifrån insignaler främst från lägesgivare och utifrån dessa regleras förflyttningen mot en sökt position. Positioneringen kan baseras på olika styrsystem beroende på tillämpningen, kundkrav och tillverkningsvolym.

### **Olika styrsystem**

#### **Mikroprocessorbaserat styrsystem**

En specialkonstruerad styrning utifrån den specifika tillämpningen baserad på en mikroprocessor.

##### *+ Fördelar:*

Möjlighet att reducera antalet kringkomponenter vilket ger en ganska kompakt och billig lösning. Priset för själva mikroprocessorn är relativt fördelaktigt och kraven på kringutrustningen kan begränsas. Det fördelaktiga priset gör att en mikroprocessorbaserad styrning ofta är billigaste alternativet vid serietillverkning.

##### *- Nackdelar:*

Styrningen blir specifik för tillämpningen och behöver förändras om tillämpningen ändras, varvid styrningen inte är generell. För att få fram en kostnadseffektiv lösning krävs relativt höga utvecklingskostnader.

Genom att det finns många olika märken och serier av mikroprocessorer behöver utvecklaren specialkunskaper kring den specifika mikroprocessorn systemet baseras på.

### **Analogt styrsystem**

En styrning baserad på analoga kretsar via återkopplade regleringar. Specialkonstruerad utifrån den specifika tillämpningen.

+ *Fördelar:*

En direkt återkopplad reglering kan göras mycket snabb och de analoga signalerna är kontinuerliga och kan därför ge hög precision i motsats till enklare digitala system.

- *Nackdelar:*

En mycket oflexibel konstruktion som ofta kräver en hel omkonstruering om förutsättningarna eller tillämpningen ändras något. Detta kan ge höga utvecklingskostnader men framförallt höga kostnader vid vidare kontinuerlig produktutveckling av styrsystemet som ofta krävs av marknaden för att hålla systemet konkurrenskraftigt.

En styrsystem baserad på analoga komponenter ställer höga krav på de ingående komponenterna för att hög precision skall uppnås och systemet är ofta känslig för störningar.

### **PC-baserat styrsystem**

En positionering kan styras av en persondator via styrkort eller extern hårdvara som ofta är generell och klarar fler tillämpningar. Ett flexibelt system som medger enkel utveckling och enkla uppgraderingar men ger ett högt materialpris per enhet och därmed främst är lämpad för kundkravsstyrda tillämpningar och små serier.

+ *Fördelar:*

Systemet blir generellt och kan enkelt ändras och justeras efter den specifika tillämpningen varvid utvecklingskostnaderna kan hållas nere.

- *Nackdelar:*

Systemet kräver en persondator och styrkort eller hårdvara som ofta är för dyr för att passa i prispressade tillämpningar. Persondatorer klarar generellt dåligt industriellt krävande miljö och tar ibland för mycket plats för att passa tillämpningar där dimensionerna måste hållas nere. Specialdatorer för dessa ändamål finns men priserna på dessa är mycket höga.

### **Styrsystem baserat på PLC**

PLC står för Programmable Logical Controller.

Ett positioneringssystemet baseras på en logikstyrd enhet lämplig för industriell miljö, som programmeras via ett högnivåspråk. Denna ger en flexibel och generell lösning som medger enkel utveckling och uppgraderingar. Priset på styrsystemet är relativt högt men det vägs upp mot låga utvecklingskostnader och kostnader vid vidareutveckling.

+ *Fördelar:*

Ett flexibelt system som klarar flera olika typer av styrtillämpningar. PLC:n och kringkomponenterna är gjorda för att klara industriellt krävande miljö. Systemet kan tillämpningsanpassas i större omfattning än PC-styrning utan att tappa flexibiliteten för anpassning till andra tillämpningar.

- *Nackdelar:*

Relativt höga priser på grund- och kringutrustningen.

### **Vad finns inuti en PLC?**

Elektronik för ingångar (optokopplare)

Minne för att lagra ingångarnas status (ingångsminne)

Elektronik och program för att kunna köra och utföra de program man matar in i PLC-systemet

Minne för att använda som mellanlagring vid körning av program, minnesceller

Minne för att lagra utgångarnas status, utgångsminne

Elektronik för utgångar (reläer)

Alla ingångar, utgångar och minnesceller har ett namn:

Ingångar heter  $X0$ ,  $X1$ ,  $X2$  o.s.v.

Utgångar heter  $Y0$ ,  $Y1$ ,  $Y2$  o.s.v.

Minnesceller heter  $M0$ ,  $M1$ ,  $M2$  o.s.v.

En PLC styrs ofta av en extern operatörsterminal. Denna består av en programmerbar enhet med en display och knappar som gör att användaren enkelt kan kommunicera med PLC:n och via terminalens gränssnitt styra och kontrollera den enhet som PLC:n reglerar.

## **7.4 Reglering**

För att på ett korrekt sätt positionera en pneumatisk linjärenhet krävs någon form av återkopplad reglering. Skillnaden mellan sökt position och den aktuella positionsangivelsen från positionsgivaren utnyttjas så att enheten strävar efter att nå och bibehålla önskad position.

### **Regleringsfaktorer:**

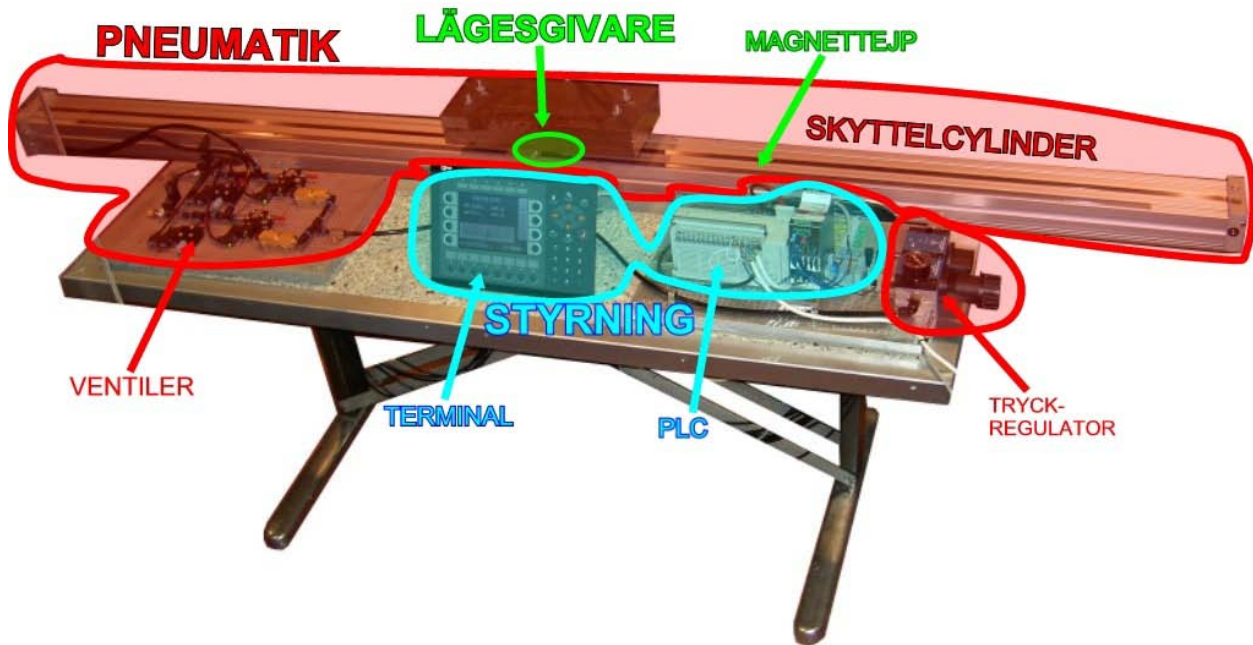
Utifrån hur återkopplingen i reglersystemet sker talar man i styr- och regleringssammanhang om olika reglerfaktorer. Ofta är en positioneringsreglering baserad på en s.k. PID-reglering (alternativt en enklare P-, PI- eller PD-reglering) där bokstäverna står för de individuella faktorerna enligt nedan:

- **P – Proportionell förstärkningsfaktor**, bestämmer hur mycket den återkopplade signalen i regleringen skall förstärkas. En hög P-faktor ger en snabb reglering men för hög P-faktor gör att systemet riskerar bli instabilt och självsvänga.
- **I – Integrerande faktor**, bestämmer hur mycket den återkopplade signalen skall integreras, jämnas ut utifrån det kvarstående felet, för att göra systemet mer stabilt. För hög integrerande faktor ger ett onödigt långsamt reglersystem.
- **D – Deriverande faktor**, utgår ifrån förändringen på felet, i positioneringssammanhang, skillnaden mellan aktuell och sökt position, där en ökning eller minskning av felet ger en snabb återreglering, detta för att både snabba upp regleringen utöver vad P-faktorn kan åstadkomma och för att eliminera översvängar.



## 8 Vår tekniska lösning

Det pneumatiska positioneringssystemet består av en skyttelcylinder (kolvstångslös cylinder), 6st 3/2-ventiler samt en positionsavkännare. Samtliga delar är sammanlänkade och styrs av ett PLC-styrsystem med en operatörsterminal som gränssnitt gentemot användaren.



### Pneumatik

**Kolvstångslös cylinder (skyttelcylinder):** Cylindern, med två luftanslutningar, består av en rörlig kolv som rör sig linjärt i cylinderhuset vars kolvrörelse bestäms av lufttrycket på respektive sida om kolven.

**Ventiler:** Sex ventiler i två grupper som reglerar respektive luftanslutning till cylindern. I varje grupp sitter en ventil för inflöde och två för utsläpp.

### Lägesgivare

**Positionsavkännare:** Består av ett magnettejp monterat på cylindern med 5mm mellan polerna samt en differentiell magnetoresistiv givare med inbyggd interpolering som mäter förflyttning över magnettejpen och ger positionen med 0,1 millimeters noggrannhet.

### Styrning

**PLC-styrsystem:** Mitsubishi FX2-N

Ett logiskt styrt industriellt styrsystem speciellt lämpat för positionering och reglering, med bla inbyggd PID-regulator och hög hastighet och därtill kompakta mått och flexibel uppbyggnad.

En operatörsterminal: E700 fungerar som gränssnitt gentemot användaren och används för att styra regleringen och positioneringen samt för att för användaren visualisera vissa datan från PLC:n.

## Reglering

En återkopplad reglering där lägesgivarens positionsangivelse utnyttjas för att reglera mot sökt position. Långt ifrån sökt position är regleringen konstant för att inom en reglerzon, vara proportionell mot det återstående felet. Regleringen sker genom att utluftutflödet styrs med ventilerna på den sida om kolven som den skall sträva mot.

### 8.1 Vår pneumatik

#### Data för skyttecylindern:

Bosch Rexroth kolvstångslös pneumatisk cylinder

Slaglängd: 2 m

Kolv diameter: 63mm

Axiellt moment: 340 Nm

Radiellt moment: 45 Nm

Vridmoment: 45 Nm

#### Data för ventilerna:

Bosch Rexroth pneumatiska 3/2-ventiler

Ut- och inluftsventiler:

Luftflöde: 340 liter/minut

Tillslagstid: 9ms

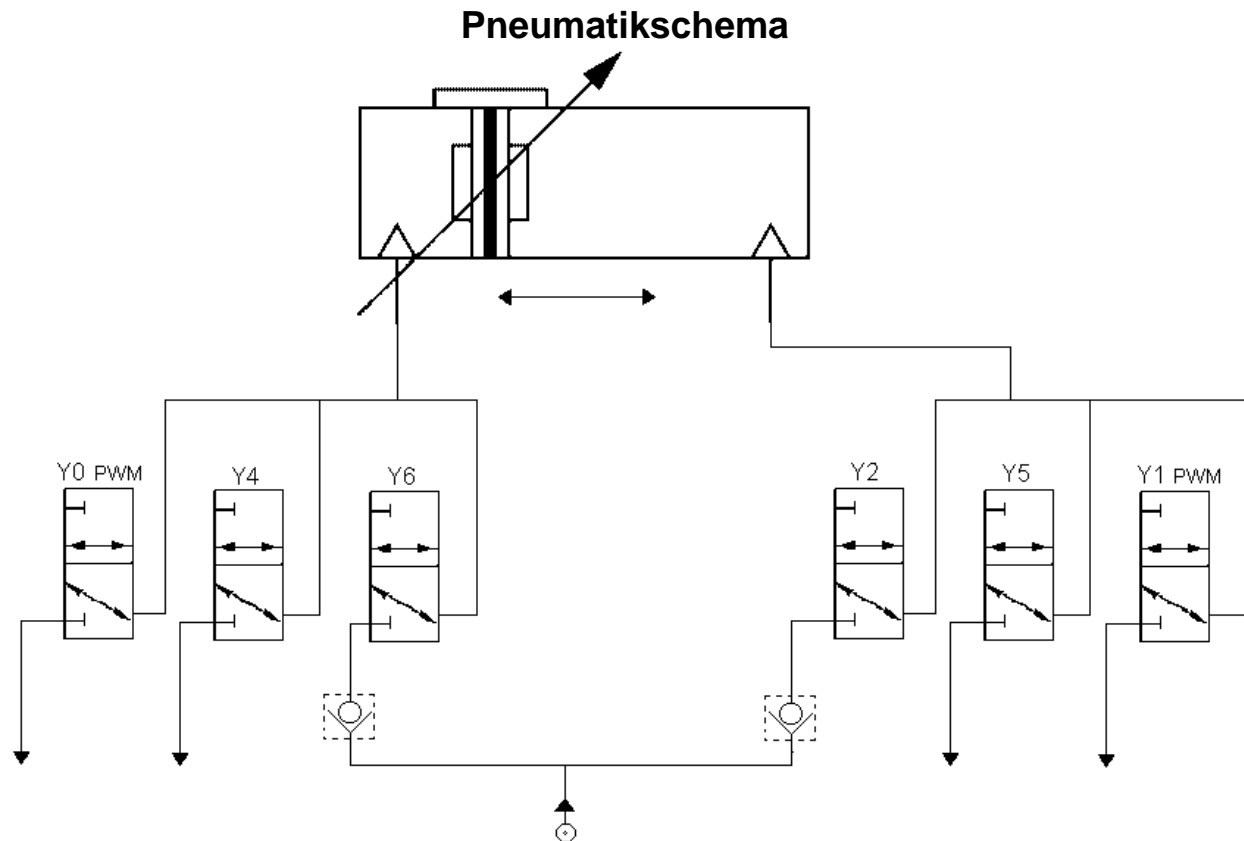
Frånslagstid: 6ms

Spänningsmatning: 24V

PWM-ventiler:

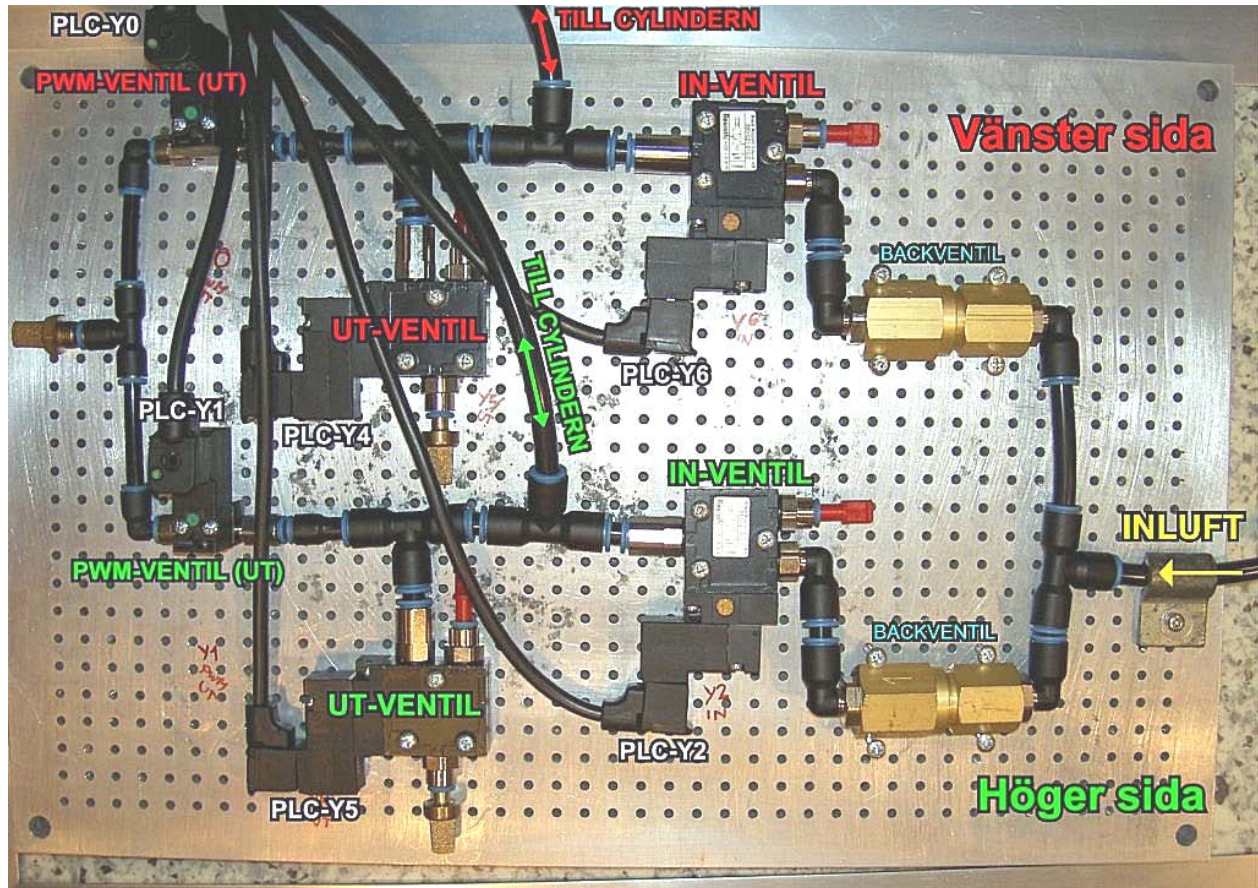
Luftflöde: 30 liter/minut

Spänningsmatning: 24V (likspänning eller pulsad spänning)



Figur 6: Schema för pneumatikkomponenterna vid reglering av skyttelcylinder

När kolven är stillastående är det fullt lufttryck på bägge sidorna i cylindern. Ventilerna är grupperade i två grupper där de ena tre reglerar luften på höger sida om kolven och de andra tre reglerar luften på vänster sida om kolven. Inluftsventilerna Y6 och Y2 är kopplade till en kompressor via backventiler. Y4 och Y5 är stora utluftsventiler. Ventilerna Y0 och Y1 är mindre ventiler med mindre luftgenomsläpp men med snabba omslagstider och speciellt lämpade för pulsreglering.



Figur 7: Montage av ventiler för reglering av skyttelcyllindern i det pneumatiska positioneringssystemet, med infogade benämningar

### Exempel på ventilreglering vid positionering åt höger:

Vid positionering åt höger sänks trycket på höger sida genom utluftsventilen Y5 öppnas, samtidigt som inluftsventilen Y2 stängs. När cylindern börjar närma sig sökt position så stängs Y5 och regleras genom utluftsventilen Y1. Detta genom att ventilen Y1 pulsas då med en PWM-signal på detta sätt får man kolven att röra sig långsammare till sökt position. När vald position har nåtts stängs utluftsventilen Y1 och inluftsventilen Y2 öppnas varvid luftrycket blir fullt på båda sidorna och cylindern är i balans.

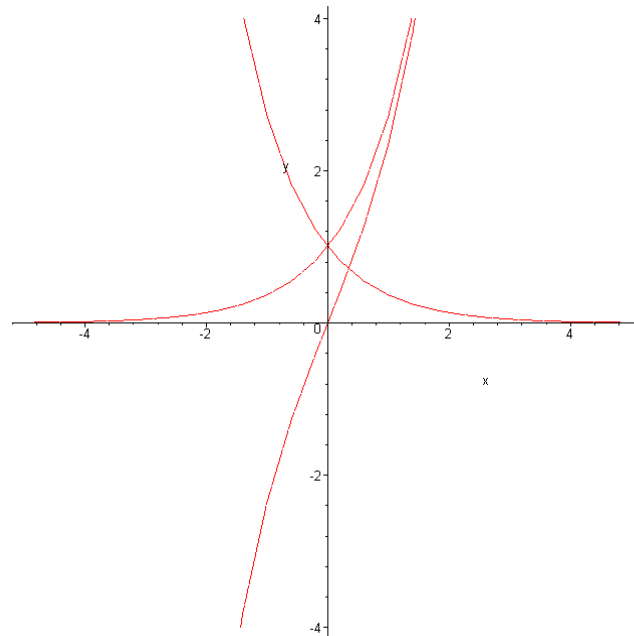
### 8.1.1 Teori kring pneumatiska skyttelcylindrar

Pneumatisk skyttelcylinder med dubbla luftanslutningar, en på varje sida om kolven är stillastående då luftrycket på varje sida om kolven är det samma.

Om luftrycket på någon sida om kolven ändras kommer kolven att sträva åt det håll där luftrycket är lägst och tvingas från den sida där luftrycket är högst. Den kraft som då utövas på kolven är skillnaden mellan luftrycken på båda sidorna om den gånger cylinderarean. I ett system med en skyttelcylinder med två luftanslutningar anbringas vanligtvis förflyttning eller kraft genom att luftrycket sänks på den sida man vill att kolven skall sträva mot (snarare än

att trycket höjs på motsatt sida). Trycket sänks genom att inluftsfödet stryps och luften släpps ut på den sida om kolven man vill att förflyttning skall ske mot medan tryckluft tillåts flöda in på motsatt sida om kolven.

Om kolven tvingas åt något håll utan att luft på någon sida om den tillåts flöda ut eller in i cylindern kommer lufttrycket öka på den sida som kolven tvingas mot och minska på den andra sidan. Förutsatt att cylindern är utsatt för övertryck och cylindern är likformig kommer lufttrycket ökas, brant stigande exponentiellt på den sida som kolven tvingas mot och svagt avtagande exponentiell på den andra sidan. Detta medför att den kraft som måste anbringas för att tvinga kolven åt något håll ändras hyperboliskt med förflyttning men approximativt kan antas öka exponentiellt.



Figur 8: Lufttrycksförändringar och resulterande kraft som krävs för att pressa en skyttelcylinder med tryckluft på båda sidorna om kolven



## 8.2 Vår lägesgivare

### ELGO Series LMIX2 - Magnetic Length Measuring System



Figur 9: Magneto-resistiv givare ELGO LMIX2 monterad på skyttel och magnettejp påklustrad på cylinderprofilen, på den pneumatiska linjärenheten.

Integrerad i själva givaren finns en mätbrygga bestående av två magneto-resistiva givare, differentiellt kopplade, interpoleringskretsar samt utgångsdrivkretsar.

Då lägesgivaren förflyttas över magnettejpen, ändras magnetfältet med 5mm mellan polerna. Genom elektronisk interpolering i givaren omvandlas den uppmätta förändringen hos magnetfältet till två utpulsar, A och B som varierar så att en förflyttning över magnettejpen med 0,1mm ger en puls-förändring på respektive kanal.

Kanalerna, A och B är 90 grader förskjutna från varandra så att det är möjligt att räkna åt vilket håll lägesgivaren förflyttas över magnettejpen. Detta genom att räkna på flankerna hos utpulserna och hur dessa förändras gentemot varandra.

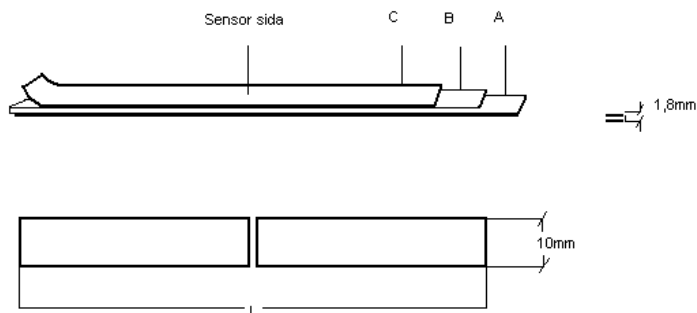
Genom att utnyttja flankmätning kan man även uppnå 4 gånger högre upplösning än vad som annars är möjligt.

#### Tekniska specifikationer för givaren:

- Upplösningen: 0.1 mm ( 0.025mm om mätning av alla flanker utnyttjas)
- Repeternoggrannhet: +/- 0,025 mm
- Maximal frekvens: 16 kHz
- Maximal hastighet: 5,0 m/s
- Avstånd mellan givare och magnettejp: max 2 mm
- Skyddsklass: IP 65
- Temperaturområde: 0° till +50° C
- Matningsspänning: 10-30V stabiliserad likspänning (max avvikelse 5%)
- Utström: max 20 mA
- Strömförbrukning: max 150mA

### Den magnetiska tejpens ELGO MB 20.50

Magnetejpen består av tre olika tejplager som i sin tur är gjorda av tre olika material. (A,B,C)



Figur 10: Magnetejp för positionsgivare

**A.** Magnetiserad syntetisk tejp med hög flexibilitet ansluten på undersidan.

**B.** Magnetisk ståltejp som skyddar den syntetiska tejpens från mekanisk slitage och är dessutom en magnetiskt kortslutningskrets. Detta medför bättre säkerhet under extrema magnetiska förhållanden.

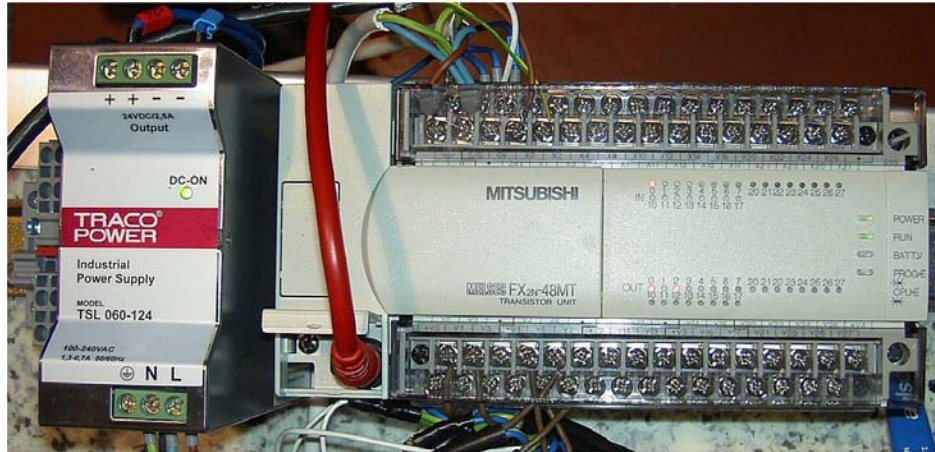
**C.** För att behålla flexibiliteten under transporten och installation är det tredje tejplagret separat och fästs på först då tejpens installeras permanent. Dess uppgift är att ge ett ytterligare mekaniskt skydd till den syntetiska tejpens.

Tekniska specifikationer för tejpens:

- Längd mellan magnetpolar: 5.0 mm
- Noggrannhet (vid 20° C): +/- (0,025 mm + 0,02 x l, (l = effektiv mätlängd i meter))
- Temperaturförlängningskoefficient: 16 µm / m / ° C
- Skyddsklass: IP 65

## 8.3 Vår styrning

Vår styrning baseras på ett PLC-system från Mitsubishi: FX2N



Figur 11: PLC Mitsubishi FX2N

### **Teknisk information över Mitsubishi FX2N PLC-system:**

FX2N-serien har den kraftfullaste centralenheten i FX-familjen. Serien kombinerar det kompakta PLC-systemets fördelar med det modulära PLC-systemets flexibilitet.

Ett av marknadens snabbaste PLC-system med en cykeltid på endast 0,08  $\mu$ s/logisk instruktion

Enkelt handhavande

Inbyggd reelltidsklocka

Inbyggda PID-regulatorer med automatisk inställning

Flyttalsaritmetik och kvadratrotfunktion

Stor minneskapacitet för upp till 16 000 programsteg

Grundenhet med alla PLC-funktioner

Inbyggd nätenhet

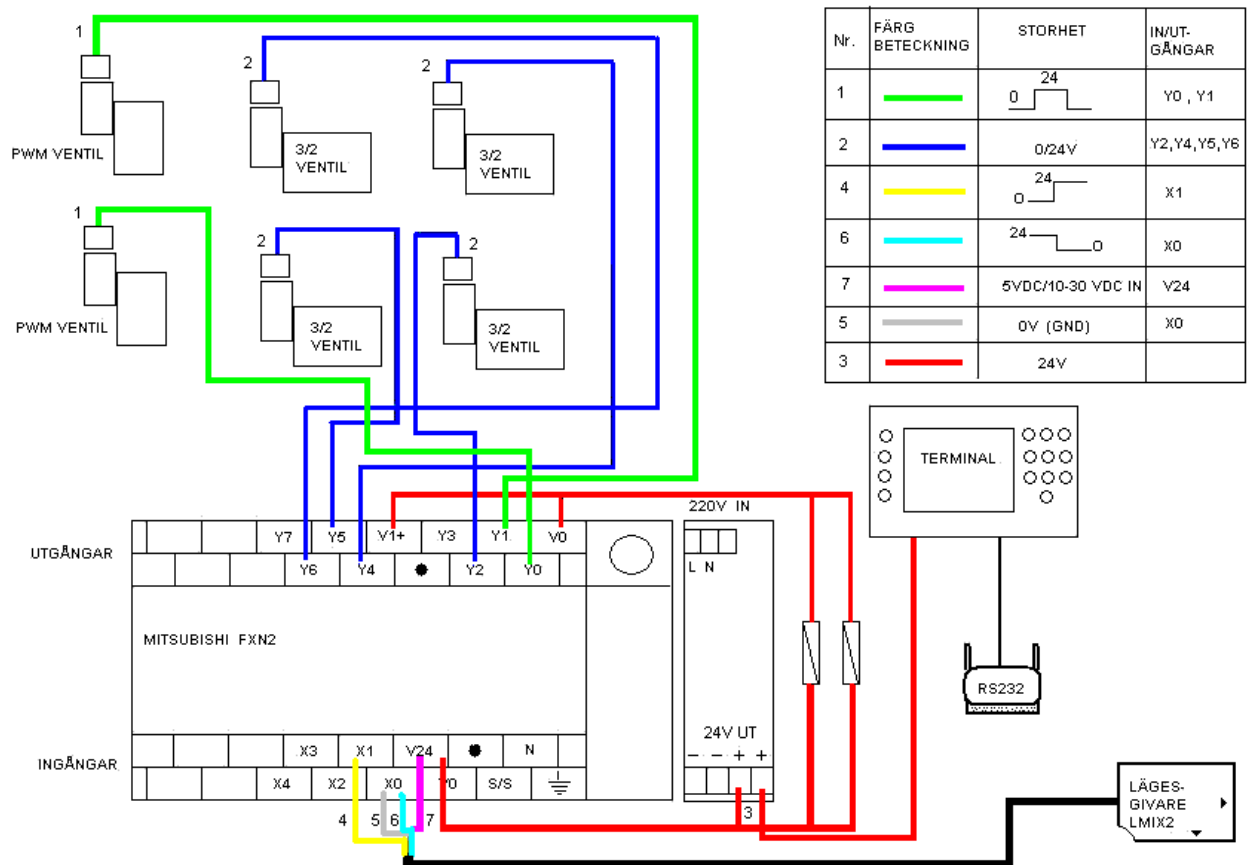
Centralenhet

Inbyggda digitala in- och utgångar

Effektiv och användarvänlig programmering med mjukvara som följer standarden IEC 61131.3



### 8.3.1 Signalschema



Figur 12: Signalschema för in- och utsignalerna till PLC:n

I signalschemat ingår fem huvuddelar: PLC, terminal, givare, ventiler och transformator.

Transformator matas med 220 volt växelspaning och ger en utspänning på 24 volt. Transformatorn förser PLC:n och terminalen med 24 volt.

Till PLC:n är även lägesgivaren ansluten vilken ger pulser in till PLC:n, samt ventilerna vilka PLC:n styr via utgångarna.

Beroende på vilken ventil som skall styras sänds etta på 24 volt till de för att öppna ventilerna eller en nolla för att stänga ventilerna. Till PWM-ventilerna sänds en PWM-signal med varierande pulslängd där spänningens effektivvärde skiftar mellan 0 och 24 volt.

Givaren är transparent dvs givaren matas med 24 volt vilket också är den höga nivån på de utgående signalerna. Från givaren brukas kanal A och B som pulsar ut en signal som skiftar mellan 0 volt och toppvärdet (24 volt).

## 8.4 Vår reglering

### Positionering av vår pneumatiska linjärenhet

Grundkriterierna vid positionering är att hela tiden hålla reda på den exakta positionen i förhållande till en referens (startpositionen) för att kunna reglera in sig till önskad position. Detta sker genom en återkopplad reglering, en modifierad P-reglering.

I det pneumatiska positioneringssystemet används en räknare som räknar antal lägesgivarpulser som kolven förflyttar sig i förhållande till referensen. Reglering till önskad position kan påverkas via inställning av reglerzon, målzon / anti-reglerzon och den så kallade rampen hos P-reglering.

#### Reglerzon

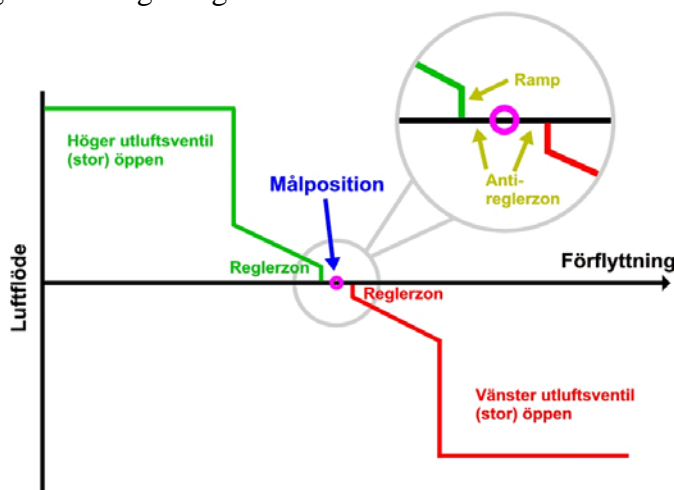
För att möjliggöra positionering av varierande belastning är reglerzonens storlek varierbar via en konstant. Vid hög belastning är reglerzonen större för att möjliggöra längre retardationssträcka än vid låg belastning. Retardationen sker via en stegvis ökande strypning av utluften fram till målzonen / anti-reglerzonen där utluften stoppas helt. Strypningen sker via pulsbreddsmodulering (PWM) (se figur 14) så att luftflödet minskar ju mindre skillnaden mellan den sökta och aktuella positionen är.

#### Målzon / Anti-reglerzon

Inom målzonen / anti-reglerzonen sätts precisionen för positionering. Områdets storlek (längd) där systemet inte regleras varierar via en konstant. Ett mindre område ger noggrannare precision men långsammare och känsligare reglering. Ett för litet område ger risk för självsvängning hos systemet där kolven hamnar i ett mellanläge och står mellan reglerzonerna till höger och vänster om målzonen / anti-reglerzonen.

#### Ramp

För att ge en snabbare återreglering nära målet kan man ställa in strypfaktorn för regleringen vid övergången mellan målzonen och reglerzonen. Faktorn varierar med hjälp av en konstant. Ett stort värde ger en snabb återreglering nära målet men risk för självsvängning hos systemet medan ett lågt värde ger långsam återreglering.



Figur 13: Luftflödet genom ventilerna vid positionering av skytteln där målet befinner sig till höger

## PWM-styrning av ventiler

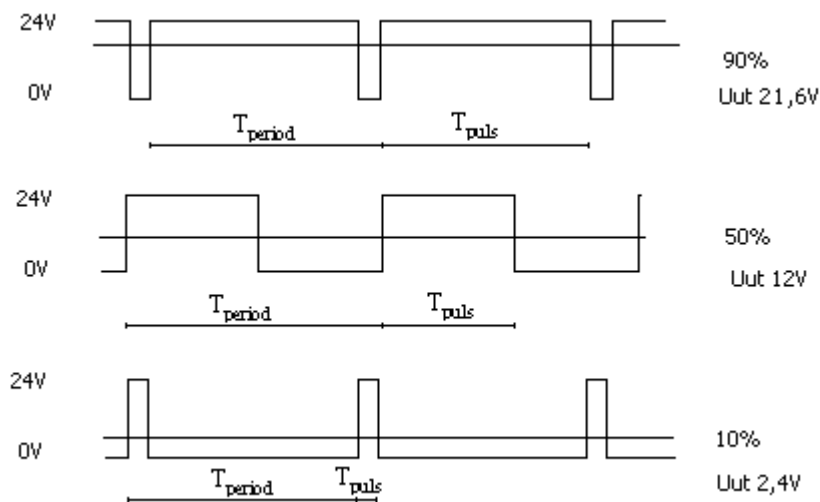
PWM (Pulse Width Modulation) används ofta inom servostyrning. Principen med PWM-styrning av luftflöde genom en ventil är att slå av ventilen genom pulser för att därmed analogt reglera flödet.

Periodlängden ( $T_{\text{period}}$ ) är konstant och genom att variera pulslängden ( $T_{\text{puls}}$ ) för förhållandet mellan höga pulser (1) och låga pulser (0) varieras luftflödet genom ventilen.

Genom att perioden ( $T_{\text{period}}$ ) ställs kort och därmed moduleringsfrekvensen hög i förhållande till hur snabbt luftflödet hinner med att ändras kommer det genomsnittliga luftflödet genom ventilen vara konstant om inte pulslängden ( $T_{\text{puls}}$ ) varieras. Då pulslängden ( $T_{\text{puls}}$ ) ändras kommer luftgenomströmningen ändras analogt trots att styrsignalen av ventilen är digital.

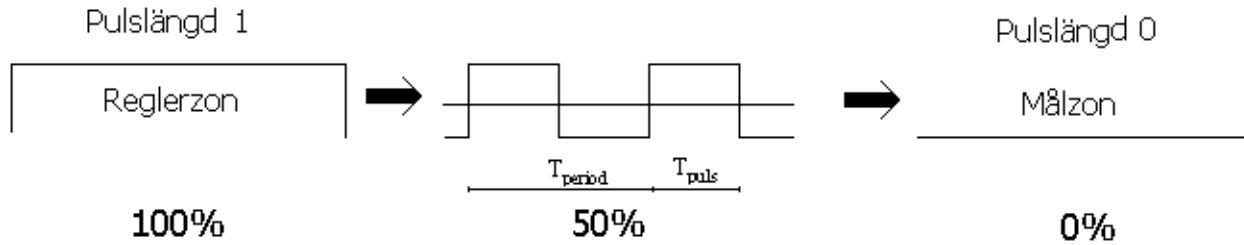
Effektivvärdet för spänningen som den PWM-reglerade ventilen matas med ändras proportionellt mot luftgenomströmningen hos ventilen i förhållande till maximal luftgenomströmning och spänningens toppvärde.

Figur 13 visas ett exempel med spänningar där pulslängden ( $T_{\text{puls}}$ ) varieras för en PWM-signal för matning av en ventil. Effektivvärdet för ventilens matningsspänning ( $U_{\text{RMS}}$ ) är uppmätt med en RMS-mätande multimeter.



Figur 14: Exempel på PWM-modulering av styrsignal för ventil

I det pneumatiska positioneringssystemet utnyttjas en PWM-reglering inom reglerzonen för att styra luftflödet genom speciella PWM-ventiler så att luftflödet är proportion till det återstående felet. Utflöde genom PWM-ventilerna reduceras då stegvis ju närmare målzonen / anti-reglerzonen kolven kommer.



Figur 15: Principskiss för PWM-reglering av ventiler där PWM-signalen går från pulslängden 1 till pulslängden 0

### 8.4.1 Regleringsteori för pneumatiska skyttelcylindrar

#### Faktorer som påverkar vid reglering av en pneumatisk skyttelcylinder:

- Längd på cylindern
- Cylinders diameter
- Reglerad massa
- Tillgängligt lufttryck
- Tillgängligt maximalt luftflöde
- Friktion
- Förflyttningslängd

#### Cylinderlängd

En lång cylinder ger långa luftpelare och en stor fjädring till kolven och därmed begränsningar vid positionering och reglering. Den möjliga positioneringsprecisionen minskar med längden på cylindern.

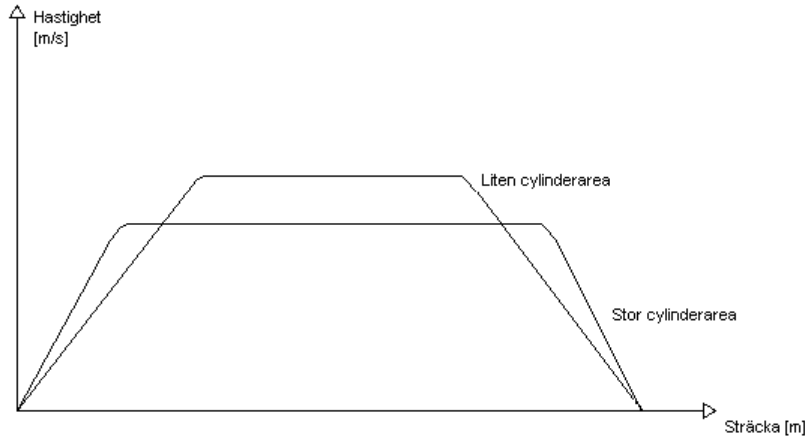
En längre cylinderlängd ger även längre reglerzoner för att kompensera den längre luftpelaren i cylindern vid retardationen.

#### Cylinderdiameter

Arean hos en cylinder ökar med kvadraten mot dess diameter och därmed kolvens area och volymen för luftpelaren i cylindern. En ökad cylinderarea ger en proportionell ökning av den pneumatiska kraften vid samma lufttryck och en proportionell minskning av hastigheten för obelastad kolv vid samma tillgängliga luftflöde. Detta pga en ökning av arean ger en ökad volym i cylindern som måste fyllas med den inflödande luften.

En ökad cylinderarea ger därmed en ökad acceleration och retardation (vid samma belastning) men lägre maximal hastighet för kolven.

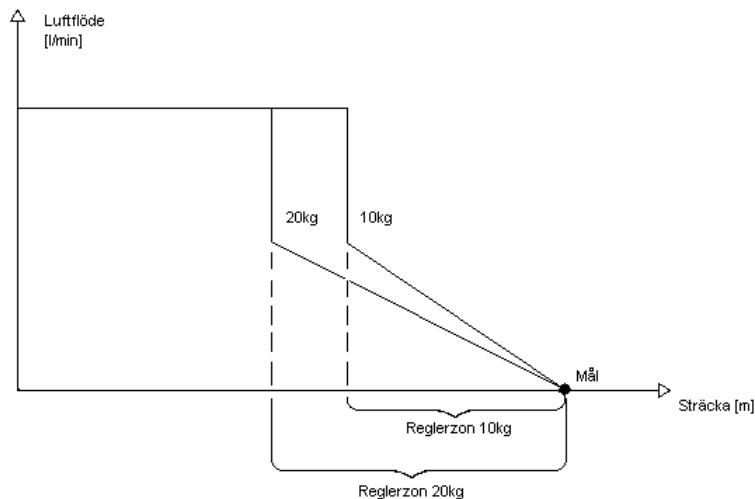
Reglerzonen för en cylinder med större diameter kan därmed förkortas vid samma belastande massa samtidigt som möjligheterna för positionering och reglering av skytteln förbättras.



Figur 16: Principdiagram för hastighet-sträcka vid positionering med två cylindrar med olika diameteter men samma luftflöde och belastning

### Massa

En ökad belastande massa på kolven ger en proportionell minskning av accelerationen för kolven och en proportionellt ökad retardation och därmed en ökad reglerzon, detta vid samma lufttryck och samma tillgängligt luftflöde samt vid positionering till samma målposition.



Figur 17: Luftflödet vid positionering av två olika belastningar, där reglerzonen (retardationssträckan) ökar med belastningen

### Lufttryck

Ett ökat lufttryck i systemet ger en proportionellt ökad tillgänglig kraft, acceleration och retardation för belastad kolv och ger ett högre tillgängligt luftflöde och därmed högre maximal hastighet hos kolven.

### Luftflöde

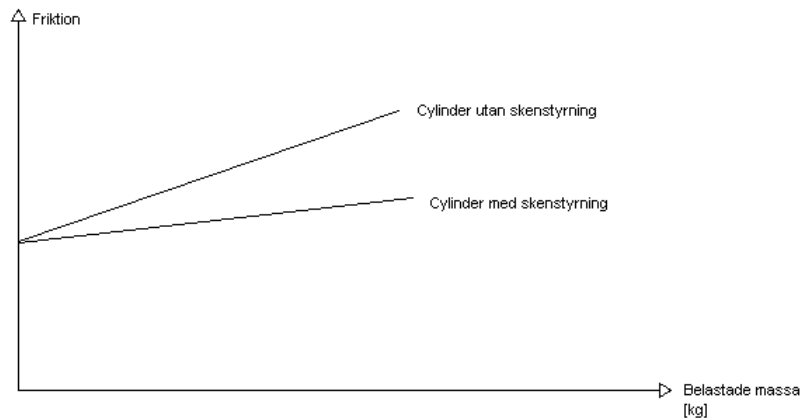
Luftflödet i systemet beror på lufttrycket och graden av stypning i systemet från kompressorn till kolven.

En ökning av tillgängligt luftflöde ger proportionellt ökad maximal hastighet för kolven.

## Friktion

En kolv som befinner sig i en cylinder i ett pneumatiskt system har en relativt hög friktion främst beroende på packningar i systemet. Denna friktion finns oavsett om systemet belastas eller ej men kan minskas vid ett ökat lufttryck (upp till rekommenderat arbetstryck) då packningarna ur detta hänseende kan påverkas positivt.

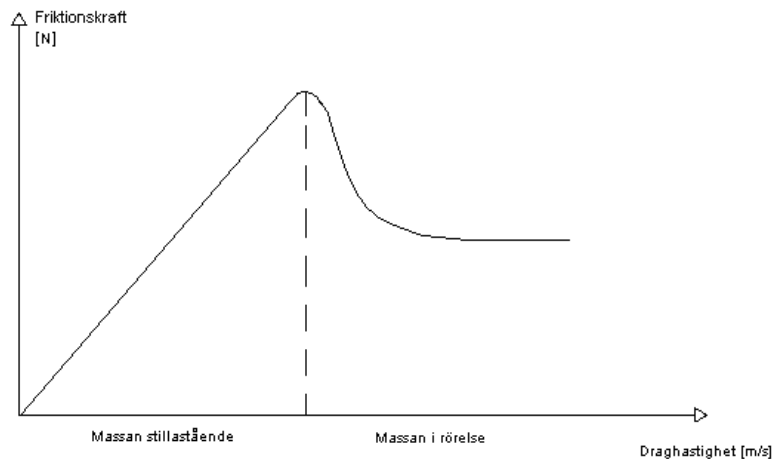
Beroende på om kolven är uppstogad med skenstyrning, friktionsstyrning eller annan typ av styrning påverkas friktionen olika för olika cylindertyper vid belastande massa.



Figur 18: Friktionen för en belastad skyttelcylinder med och utan skenstyrning

Generellt minskar friktionskraften då kolven sätts i rörelse. Tillsammans med den fjädrande effekten hos luftpelaren som vidareförmedlar kraften och friktionen kan det vara svårt att förflytta kolven långsamt eller en mycket kort sträcka utan att förflyttningen sker ryckigt med små hopp på någon millimeter, något som brukar benämnas som "slip-stick".

För att enklare förstå hur slip-stick-effekten fungerar kan man dra jämförelsen med att dra en tyngd med hjälp av ett vekt gummiband över ett underlag med hög friktion. Om tyngden dras väldigt långsamt kommer förflyttningen ske ryckigt.

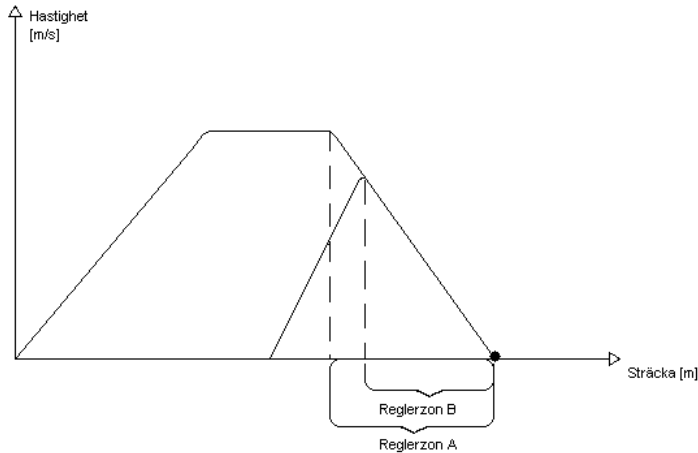


Figur 19: Stribeckkurva för dragande av massa mha gummiband

Slip-stick-effekten är generellt den främsta begränsande faktorn för möjligheten till hög positioneringsprecision och repeter Noggrannhet för ett pneumatiskt positioneringssystem.

## Förflyttningslängd

Om kolven förflyttas kortare sträcka än att den har hunnit accelererats upp till dess maximala hastighet (begränsas av tillgängligt luftflöde och friktionen i systemet) kommer retardationssträckan bli kortare än vid en längre förflyttning där maximal hastighet har uppnåtts. Detta innebär att reglerzonen vid korta förflyttningar generellt skall vara kortare än vid långa förflyttningar.



Figur 20: Principdiagram för två positioneringslängder, Lång sträcka A där max hastighet har nåtts och kort sträcka B där retardationen påbörjas innan maxhastigheten har nåtts

## 8.4.2 Alternativa regleringar

Utöver vår reglering av det pneumatiska positioneringssystemet finns ett antal alternativa regleringar som antingen bygger på en utbyggnad av ventilsystemet, andra ventiler eller en optimering / förändring av det nuvarande PLC-programlösningen.

*Kursiv text markerar antaganden gjorda utifrån de erfarenheter som fåtts vid projektet.*

Ersätta de nuvarande PWM-utluftsventilerna med större ventil (med högt luftflöde) som går att PWM-reglera, alternativt större ventil med annan typ av reglering (tex proportionalitetsventil) för att enklare och effektivare kunna utnyttja traditionella regleringsmetoder.

Inbyggd PID-regleringsfunktion i PLC:n som modifieras för att fungera med det nuvarande ventilarrangemang eller med ett ventilarrangemang som medger mindre modifiering från de traditionella regleringsteorierna.

Ett reglerprogram som hela tiden håller reda på aktuell hastighet genom att tex klocka de senaste räknarpulserna från lägesgivaren för att anpassa reglerzonens längd.

*Denna reglering bör kunna kompensera hastighetsförändringarna vid förflyttning av skytteln som uppkommer pga egensvängningar i systemet och därmed ge bra reglertider och säker positionering.*

En integreringsfunktion som hela tiden integrerar det återstående felet för att minimera detta nära målet.

*Pga slip-stick-effekten är det dock troligt att denna funktion i praktiken inte ger någon positiv effekt vid regleringen.*

Reglering av enbart inluften eller i kombination med reglering av utluften, speciellt nära målpositionen.

*Denna reglering kan ge en känsligare, noggrannare reglering men troligast är dock att den ger nackdelen att systemet blir känsligare för fluktuationer i motståndet (friktionen / slip-stick) och mindre "ork".*

Reglering med ett ytterligare par reglerbara ventiler för en känsligare reglering nära målet.

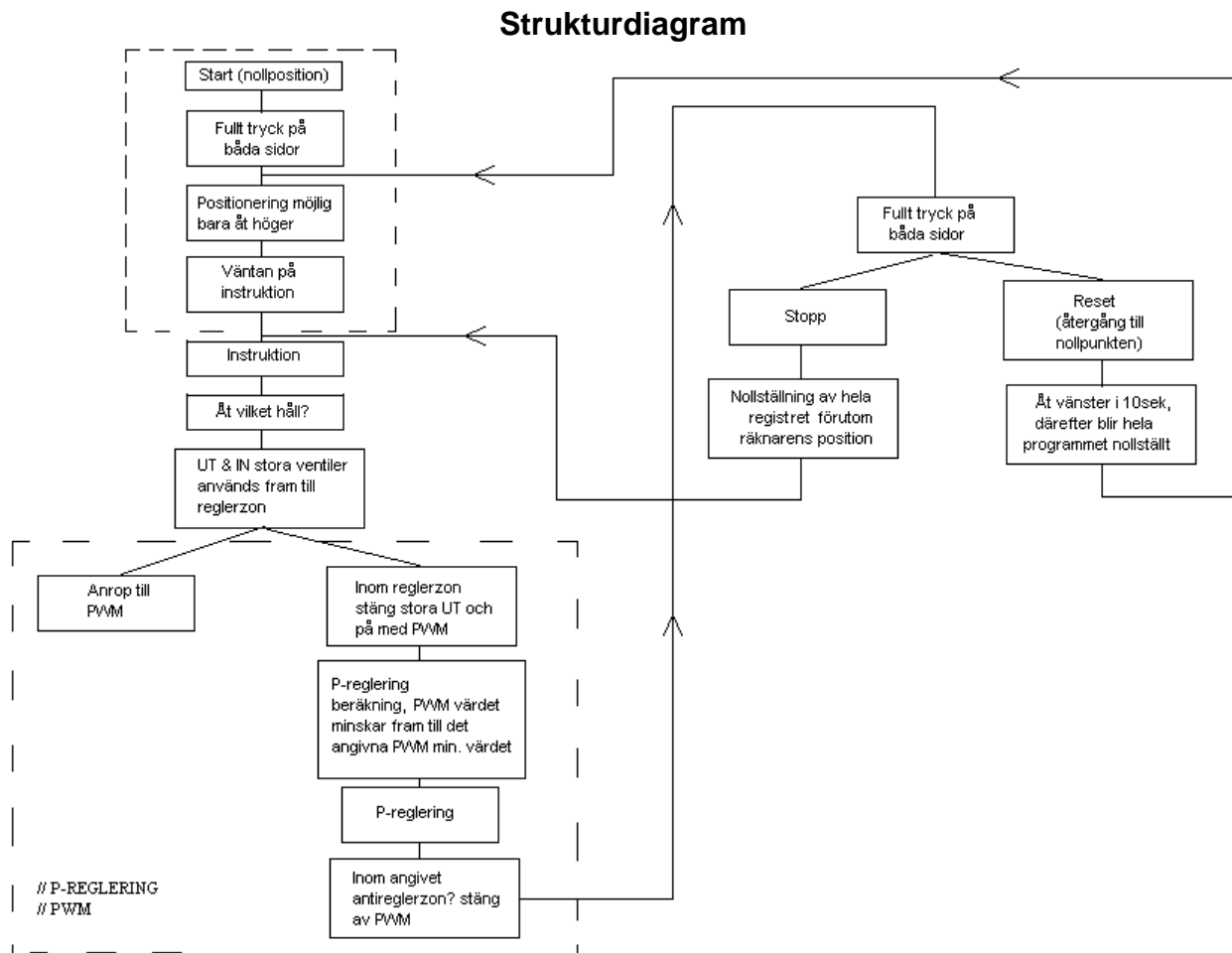
*Pga slip-stick-effekten är det dock troligt att denna funktion i praktiken inte ger någon positiv effekt på regleringen.*

"Trappstegsreglering", reglering av luftflödet genom en serie utluftsventiler (PWM-reglering) med olika luftgenomströmning eller försedda med olika strypning för att på detta sätt uppnå en P-regleringseffekt.

*Denna reglering är ur programmeringssynpunkt den enklaste men ger en oflexibel och okänslig reglering utan några synbara fördelar gentemot den nuvarande regleringen.*



## 8.5 PLC-program



Figur 21: Strukturdiagram för PLC-regleringsprogrammet till det pneumatiska positioneringssystemet

### Förklaring till strukturdiagrammet

#### Start

- Vid startläge av programmet befinner sig skytteln vid sin nollposition, dvs vid den vänstra ändan av cylindern. Detta gör att det i början på programmet endast är möjligt att positionering åt höger.

#### Positionering

- Då en position inmatas kommer programmet känna av åt vilket håll förflyttningen skall ske (vänster eller höger) beroende på var skytteln befinner sig i förhållande till önskad position (mål), och förflyttar skytteln genom att öppna respektive stänga ventiler.
- Parametrar, så som var reglerzonen ligger och hur stor anti-reglerzonen är, samt P-regleringsvariabler beräknas.

### **Reglerzon**

- Programmet känner av att skytteln har kommit in i reglerzonen och stänger av den stora utluftsventilen. I början på reglerzonen är PWM-ventilen öppen för fullt för att sedan succesivt strypas ned tills skytteln befinner sig inom anti-reglerzonen.

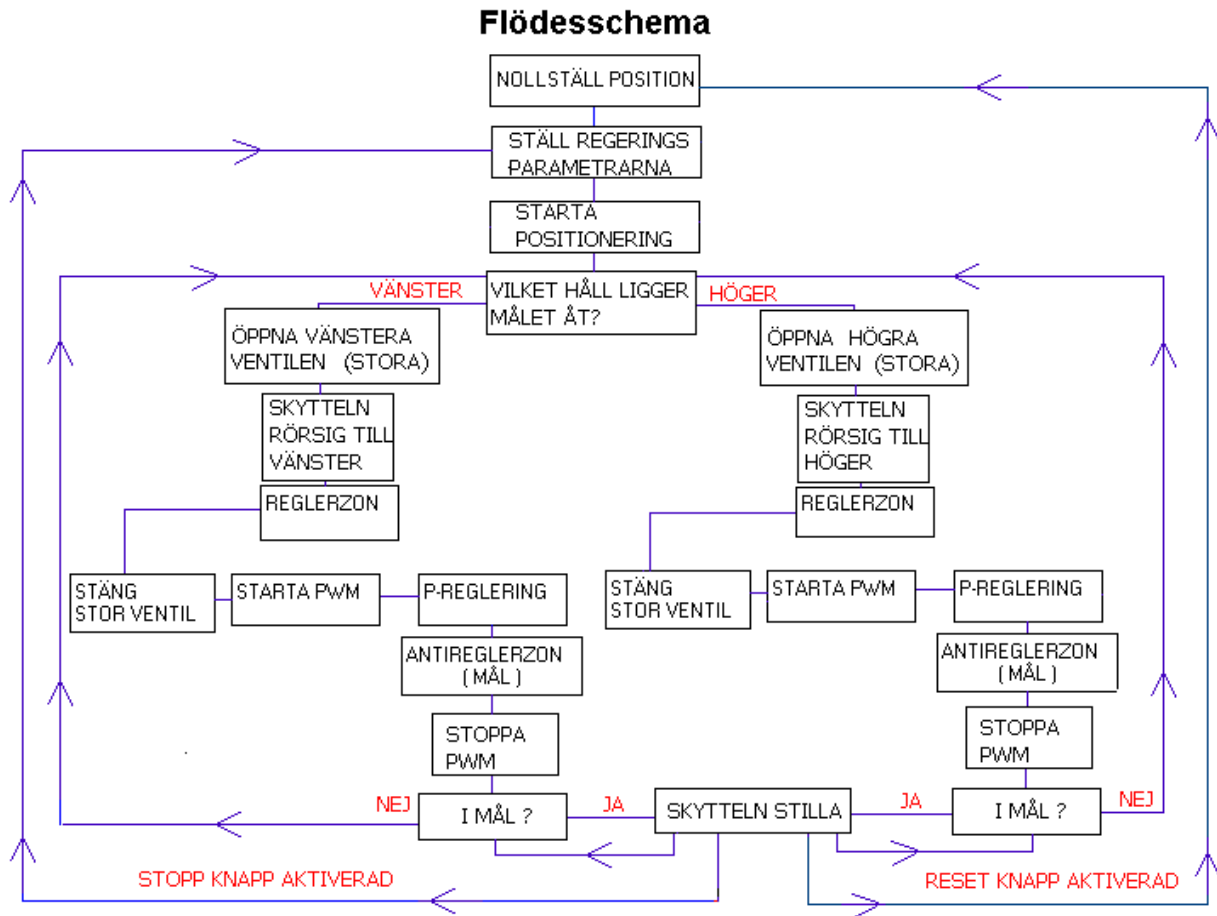
### **Anti-reglerzon**

- Programmet känner av att cylindern befinner sig inom anti-reglerzonen, och PWM-ventilen stängs av.
- Cylindern trycksätts på båda sidorna om kolven så att skytteln står still.
- Om skytteln av någon anledning rör sig så att den kommer utanför denna zon, så kommer P-regleringen att startas igen och köra tillbaka skytteln.

### **Mål**

- Skytteln har nu nått sin mål-position så är det två alternativ är möjliga, en ny positionering eller nollställning.
- För att en ny positionering ska vara möjlig så måste hela registret nollställas utöver räknarens position och därefter är programmet redo för en ny instruktion.

Vid nollställning återgår cylindern till sin nollposition under 10 sekunder. Därefter nollställs hela programmet.



Figur 20: Principflödesschema för PLC-regleringsprogrammet till det pneumatiska positioneringssystemet

## Förklaring till flödesschema

### Nollställ position

Skytteln intar positionen i den vänstra änden av cylindern, där nollställs räknaren.

### Ställ reglerings parametrarna

Operatören ställer regleringsparametrarna MÅL, PWM, RAMP och ANTI på operatörterminalens regleringsmeny

### Starta positionering

Operatören aktiverar startknappen (AUTO START)

### Vilket håll ligger målet åt?

Beroende på var skytteln befinner sig i förhållande önskad position (mål) skall skytteln förflytta sig till vänster eller höger.

### Vänster eller Höger

En av de två stora utluftventilerna öppnas. Om förflytningen skall ske till höger öppnas den högra ventilen eller om förflytningen skall ske till vänster öppnas den vänstra ventilen.

### Skytteln rör sig till (vänster eller höger)

Förflyttningen av skytteln sker till vänster eller höger.

### Reglerzon

När skytteln når reglerzonen **stängs en av de stora utluftsventilen av och PWM-ventilen börjar pulsera**. I början av reglerzonen är PWM-ventilen öppen för fullt för att sedan succesivt strypas ned vilket ger effekten av en modifierad **P-reglering**

### Anti-reglerzon (mål)

Skytteln är inom målzonen och **PWM-ventilen stängs av**. Cylindern trycksätts på båda sidorna om skytteln så att **skytteln står stilla**. Om skytteln glider över målzonen kommer skytteln att positionera sig i motsatt riktning för att slutligen stanna inom målzonen genom att cylindern trycksätts på båda sidorna om skytteln.

### Stoppknapp aktiverad

Positioneringen avbryts och operatören har möjlighet att mata in ett nya regleringsparametrar som skytteln skall positionera sig mot från den aktuella positionen.

### Resetknapp aktiverad

Positioneringen avbryts och skytteln intar den nollställda positionen.

## 8.6 Terminalstyrning

En operatörsterminal är ett gränssnitt mellan människa och maskin, som möjliggör en förenkling av komplexa maskinoperationer till en mer användarvänlig och förståelig presentation. Kommunikationen sker ofta i två riktningar, dels presenteras utförda maskinoperationer och dels kan operatören styra och utföra operationer enligt önskemål.

I det linjära pneumatiska positioneringssystemet brukas operatörsterminal 700E från Beijer koncernen (*Se bilaga*).



Figur 23: Operatörsterminal E700

Fördelar med denna operatörsterminal:

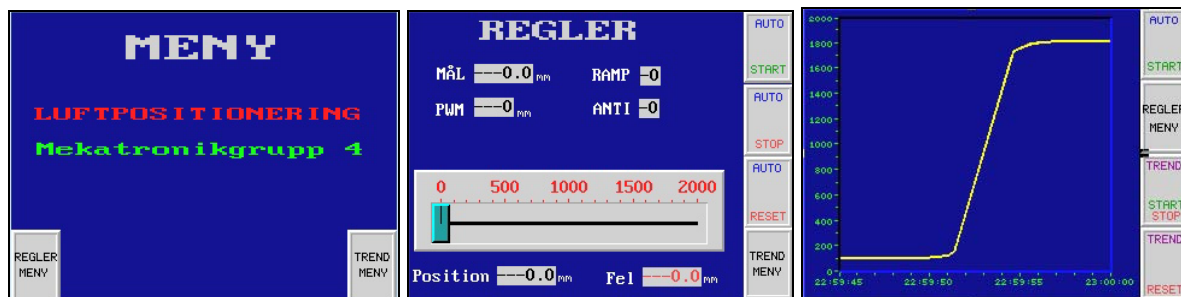
- stödjer de flesta PLC-automationssystem (Mitsubishi N2F m.fl.)
- lätt att programmera
- stödjer svenska språket
- möjliggör presentation i form av grafer och andra grafiska symboler i färg
- medger direktstyrning
- händelse kan utföras vid knapptryckning
- tålig för tuff industriell miljö

Programmeringen utförs i Windowsmiljö med verktyget E-designer och sker blockvis.

### Kortare beskrivning av för terminalstyrningen till det pneumatiska positioneringssystemet

*För fullständig operatörsmanual hänvisas till bilagan!*

Varje block kan ses som en meny i det pneumatiska positioneringssystemet där E700 är programmerad med tre block: HUVUDMENY, REGLER och TREND:



Figur 24: De tre blocken i operatörsterminalen för styrning av det pneumatiska positioneringssystemet

- MENY-blocket är huvudmenyn där möjligheten finns att länka sig vidare till det övriga blocken.
- REGLER-blocket ger möjlighet att ändra styr- och reglerparametrar samt styra och återställa positioneringen av skytteln.
- TREND-blocket ger möjlighet att studera positioneringen i en trendkurva som visar positionsräknarens förändring över tiden.

## 9 Mätningar

För att undersöka prestandan hos det realiserade pneumatiska positioneringssystemet men även för att observera och bekräfta vissa egenskaper har ett antal mätningar genomförts.

I dessa mätningar har skytteln positionerats från olika aktuella positioner till ett antal målpositioner samtidigt som skytteln har belastats med olika vikter. Tiderna har mätts för positioneringarna från start till stabilt läge inom målzonen / anti-reglerzonen.

Regleringen har anpassats så i de aktuella fallen att man dels har låtit skytteln ”smyga” mot målet och endast tillåtit en översläng på maximalt 2mm och dels har tillåtit en rejäl översläng på 10 till 20mm. Utifrån de aktuella tillåtna överslängarna, reglerlängderna, målpositionerna och de aktuella vikterna har reglerzonerna anpassats genom ett antal försök innan mätningarna utifrån varje mätfall.

För att analysera vilken positioneringsnoggrannheten som systemet har vid positionering till olika målpositioner med olika belastning, har även anti-reglerzonens (målzonens) längd ändrats vid ett antal mätfall.

### 9.1 Mätresultat

*För fullständiga mätresultat hänvisas till bilagan!*

#### Generella inställningar:

- Ramp: 7 (PWM-slutpuls 7ms vid 50Hz)
- Lufttryck: 6 bar

Viktupphängningen / slädens massa: 1,1kg

#### Förflyttningstider utan positionering:

0mm ⇒ 500mm: 1,5 sekund

0mm ⇒ 1000mm: 3,0 sekund

0mm ⇒ 1900mm: 5,7 sekund

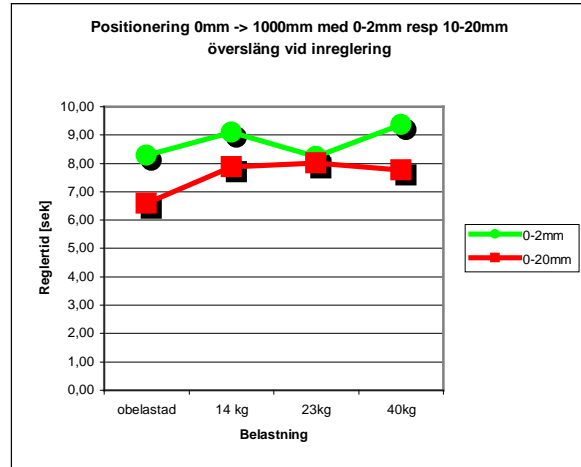
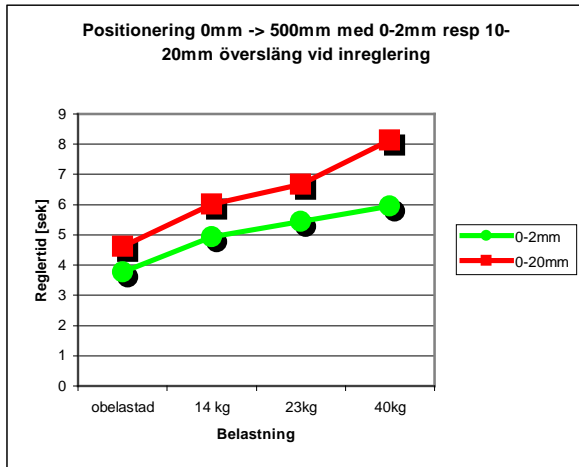
1000mm ⇒ 1900mm: 3,0 sekund

0mm ⇒ 500mm, Anti-reglerzon: ±1mm

Belastning	obelastad		14 kg		23kg		40kg	
	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm
<b>Reglerzon [mm]</b>	<b>220</b>	<b>75</b>	<b>240</b>	<b>125</b>	<b>240</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>150</b>
<b>Genomsnittstid [sek]</b>	<b>3,76</b>	<b>4,62</b>	<b>4,94</b>	<b>6,02</b>	<b>5,44</b>	<b>6,68</b>	<b>5,96</b>	<b>8,14</b>
Diff max-min	1,6	1,1	1,9	3,2	2,0	3,9	1,8	6,0

0mm ⇒ 1000mm, Anti-reglerzon: ±1mm

Belastning	obelastad		14 kg		23kg		40kg	
	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm
<b>Reglerzon [mm]</b>	<b>360</b>	<b>100</b>	<b>400</b>	<b>150</b>	<b>400</b>	<b>150</b>	<b>400</b>	<b>200</b>
<b>Genomsnittstid [sek]</b>	<b>8,28</b>	<b>6,60</b>	<b>9,10</b>	<b>7,88</b>	<b>8,24</b>	<b>8,02</b>	<b>9,36</b>	<b>7,76</b>
Diff max-min	1,9	2,5	3,3	1,3	2,1	4,0	1,8	2,2

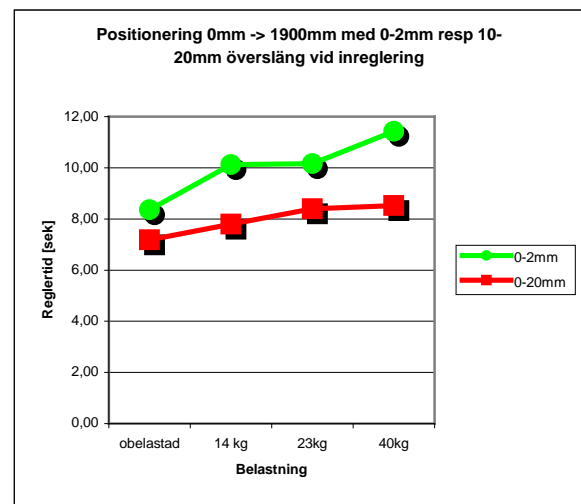
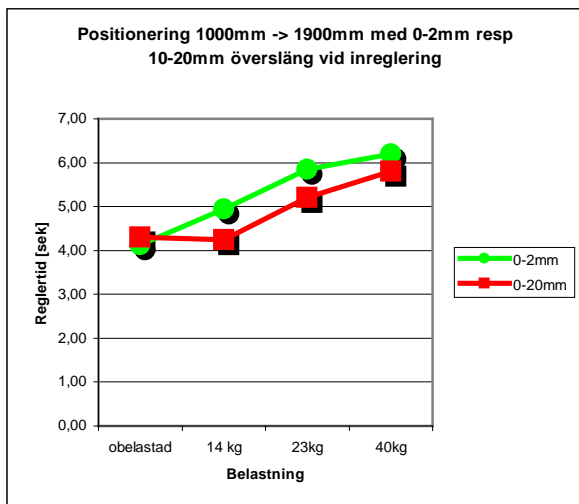


0mm ⇒ 1900mm, Anti-reglerzon: ±1mm

Belastning	obelastad		14 kg		23kg		40kg	
	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm
Reglerzon [mm]	200	40	250	50	250	50	275	75
Genomsnittstid [sek]	8,36	7,18	10,12	7,80	10,16	8,40	11,42	8,52
Diff max-min	0,9	0,6	0,6	1,0	1,0	0,7	0,5	1,1

1000mm ⇒ 1900mm, Anti-reglerzon: ±1mm

Belastning	obelastad		14 kg		23kg		40kg	
	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm
Reglerzon [mm]	110	40	150	50	150	50	175	75
Genomsnittstid [sek]	4,12	4,30	4,94	4,24	5,85	5,20	6,20	5,80
Diff max-min	1,0	0,9	0,2	0,9	1,4	2,6	0,6	2,0



0mm ⇒ 1000mm, Anti-reglerzon: ±2mm

Belastning	obelastad		23kg		40kg	
Översläng	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm
<b>Reglerzon [mm]</b>	<b>360</b>	<b>100</b>	<b>400</b>	<b>150</b>	<b>400</b>	<b>200</b>
<b>Genomsnittstid [sek]</b>	<b>6,52</b>	<b>5,40</b>	<b>8,22</b>	<b>6,28</b>	<b>7,46</b>	<b>7,08</b>
Diff max-min [sek]	1,4	0,7	2,1	2,0	1,3	1,1

0mm ⇒ 1900mm, Anti-reglerzon: ±2mm

Belastning	obelastad		23kg		40kg	
Översläng	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm
<b>Reglerzon [mm]</b>	<b>200</b>	<b>40</b>	<b>250</b>	<b>50</b>	<b>275</b>	<b>75</b>
<b>Genomsnittstid [sek]</b>	<b>8,36</b>	<b>7,72</b>	<b>10,96</b>	<b>7,46</b>	<b>11,00</b>	<b>7,40</b>
Diff max-min [sek]	1,3	1,7	3,3	0,9	1,1	0,6

0mm ⇒ 1000mm, Anti-reglerzon: ±0,5mm

Belastning	obelastad		23kg		40kg	
Översläng	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm
<b>Reglerzon [mm]</b>	<b>360</b>	<b>100</b>	<b>400</b>	<b>150</b>	<b>400</b>	<b>200</b>
<b>Genomsnittstid [sek]</b>	<b>oacc</b>	<b>oacc</b>	<b>oacc</b>	<b>oacc</b>	<b>14,08</b>	<b>13,80</b>
Diff max-min [sek]					10,0	5,1

*oacc = oacceptabel lång positioneringstid, >30 sekunder*

0mm ⇒ 1900mm, Anti-reglerzon: ±0,5mm

Belastning	obelastad		23kg		40kg	
Översläng	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm
<b>Reglerzon [mm]</b>	<b>200</b>	<b>40</b>	<b>250</b>	<b>50</b>	<b>275</b>	<b>75</b>
<b>Genomsnittstid [sek]</b>	<b>10,00</b>	<b>8,78</b>	<b>13,82</b>	<b>9,70</b>	<b>12,98</b>	<b>8,78</b>
Diff max-min [sek]	2,9	0,7	4,1	1,3	1,7	2,7

*oacc = oacceptabel lång positioneringstid, >30 sekunder*

0mm ⇒ 1000mm, Anti-reglerzon: ±0,3mm

Belastning	obelastad		23kg		40kg	
Översläng	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm
<b>Reglerzon [mm]</b>	<b>360</b>	<b>100</b>	<b>400</b>	<b>150</b>	<b>400</b>	<b>200</b>
<b>Genomsnittstid [sek]</b>	<b>oacc</b>	<b>oacc</b>	<b>oacc</b>	<b>oacc</b>	<b>oacc</b>	<b>20,06</b>
Diff max-min						16,8

*oacc = oacceptabel lång reglertid, >30 sekunder*

0mm ⇒ 1900mm, Anti-reglerzon: ±0,3mm

Belastning	obelastad		23kg		40kg	
Översläng	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm	0-2 mm	10-20mm
<b>Reglerzon [mm]</b>	<b>200</b>	<b>40</b>	<b>250</b>	<b>50</b>	<b>275</b>	<b>75</b>
<b>Genomsnittstid [sek]</b>	<b>12,18</b>	<b>10,14</b>	<b>oacc</b>	<b>18,1</b>	<b>15,08</b>	<b>9,74</b>
Diff max-min [sek]	2,0	3,9		19,5	4,0	1,7

*oacc = oacceptabel lång reglertid, >30 sekunder*



## 9.2 Analys av mätresultat

### Belastning

Högre belastning av skytteln kräver generellt längre reglerzon vid positionering för att skytteln inte skall överslänga mer. Detta pga att en högre massa har större rörelseenergi som kräver en längre retardationssträcka för att bromsas upp. Främst kravet på längre reglerzon men även en lägre acceleration och något lägre maxhastighet vid högre belastning ger generellt längre positioneringstid vid högre vikt.

### Startposition

Skytteln accelererar snabbare vid positionering från en ända av cylindern än då den startas längre från en ända. Detta pga att en kortare kraftöverförande luftpelare ger en lägre fjädring och därmed en mer direkt kraftöverföring.

### Målposition

Det är enklare att positionera till en målposition, där kolven har en kort luftpelare på åtminstone en sida, dvs nära en ända av cylindern. Detta pga en kortare luftpelare ger en lägre fjädring hos kraftöverföringen till kolven. Vid positionering nära en ända av cylindern kan det löna sig att låta skytteln överslänga (med kort reglerzon) jämfört med att smyga mot målet pga systemet där enkelt och snabbt kan återreglera mot målpositionen. Vid en positionering mot ett mål långt ifrån någon ända av cylindern lönar det sig däremot att låta skytteln "smyga" mot målpositionen med en lång reglerzons-inställning, då systemet här har betydligt svårare att positionera pga de långa luftpelarna på båda sidorna om kolven.

Vid positionering till en målposition nära en ända av cylindern går det snabbare att bromsa upp den belastade skytteln varför reglerzonen vid dessa positioneringar kan vara korta utan att riskera längre översläng.

### Översläng

En lång översläng vid positioneringen ger ofta en högre osäkerhet för längre reglertider än då skytteln "smygs" mot målpositioneringen. Skillnaderna mellan resultaten vid olika mätfall där skytteln tillåts överslänga varierar alltså ofta mer än vid positionering med ingen eller endast kort översläng.

Vid positionering med hög noggrannhet (liten anti-reglerzon) kan det vara lämpligt att antingen utnyttja en väldigt lång reglerzon för att garantera att kolvens hastighet då den närmar sig målet är nära noll varvid skytteln garanterat inte överslänger alternativt utnyttja en för kort reglerzon varvid skytteln överslänger rejält och lättare kan återreglera mot målpositionen.

### Anti-reglerzon / Positioneringsnoggrannhet

Storleken på anti-reglerzonen (målzonen) styr positioneringsnoggrannheten. Regleringen strävar hela tiden för att hamna inom anti-reglerzonen varför noggrannheten för slutpositionen hos en positionering hamnar någonstans mellan det vänstra och högra ändläget som anti-reglerzonen tillåter. Vid tex en anti-reglerzons-inställning på  $\pm 1$  millimeter innebär det att skytteln maximalt hamnar 1 millimeter till höger eller vänster från målpositionen då positioneringen är klar och systemet är stabilt.

Vid en allt för smal anti-reglerzons-inställning blir positioneringen antingen omöjlig då systemet aldrig lyckas reglera in utan självsvänger kring målet eller så blir positioneringstiderna oacceptabelt långa.

Positioneringsnoggrannheten styrs främst av slip-stick-effekten. Längden på de förflyttningshopp som slip-stick-effekten ger upphov till beror av friktionen och fjäderkonstanten för systemet vid den aktuella positionen. Eftersom fjäderkonstanten ändras med längden på luftpelarna kring kolven minskar längden på de ”hopp” som slip-stick-effekten ger upphov till ju närmare skytteln befinner sig från någon ända på cylindern. Därmed är det möjligt att utnyttja en mindre anti-reglerzon ju närmre någon ända av cylindern skytteln befinner sig.

Eftersom en högre belastning av skytteln ger en jämnare förflyttning kan det vara möjligt att utnyttja en mindre anti-reglerzon vid positionering av en lämplig belastande massa än om skytteln är obelastad eller belastas med en för liten massa.

Med denna skyttecylinder med en längd av 2 meter och vårt regler-system är det möjligt att garantera en positioneringsnoggrannhet på  $\pm 1$  mm och  $\pm 0,5$  mm nära någon ända av cylindern utan att osäkerheten hos regleringen blir hög eller positioneringstiderna blir oacceptabelt långa.

### **Övriga observationer**

Vid förflyttning av skytteln varierar hastigheten under förflyttningen pga friktionen, egenfrekvensen hos systemet och den fjädrande effekten hos den kraftöverförande luftpelaren. Detta gör det svårt att anpassa så att reglerzonen alltid blir optimal för en positionering även om förutsättningarna är de samma mellan flera positioneringar.

Skytteln går jämnare vid högre belastning även om en belastad skyttel fortfarande går i ojämn hastighet vid förflyttning, med då med längre egenfrekvens än vid förflyttning av en obelastad skyttel.

Då skytteln är ”inkörd” minskar friktionen och därmed ökar möjligheterna till högre precision vid positionering drastiskt, då just friktionen och slip-stick-effekten är den mest begränsande faktorn för att uppnå hög positioneringsprecision och repeter-noggrannhet.

## 10 Slutsats

Tryckluft är ett svårt medium att utnyttja för positionering. Det fjädrande verkan hos tryckluften, den höga friktionen och bristen på koppling mellan kraftöverföringen och den rörliga massan skapar problem.

Men genom det låga priset jämfört med konkurrerande system och praktiska fördelar finns en potential för pneumatisk positionering.

Positionering med hjälp av tryckluft kräver en speciell reglering som tar hänsyn till luftens egenskaper.

Utifrån de premisserna fick vi till uppdrag att realisera en pneumatisk positionering.

De nödvändiga delkomponenter tilldelade av Bosch Rexroth och utifrån dessa utvecklade vi ett demonstrationsarrangemang som användes för att utvärdera och demonstrera pneumatiska positioneringsmetoder.

Den reglering vi till slut baserade positioneringen på är en modifierad P-reglering som är anpassad till egenskaperna för det pneumatiska systemet och de reglerbara ventilerna. Men denna har vi visat att positioneringen är möjlig utifrån de krav som ställdes.

Med vår skyttelcylinder, med en slaglängd på 2 meter och vårt reglersystem är det möjligt att garantera en positioneringsnoggrannhet på  $\pm 1$  mm och  $\pm 0,5$  mm nära någon ända av cylindern utan att osäkerheten hos regleringen blir hög eller positioneringstiderna blir oacceptabelt långa. Detta gäller för de belastande massor som systemet kan utsättas för. Positioneringstiderna hamnar då kring 3-15 sekunder beroende på positioneringslängd och belastande massa.

Den främsta begränsande faktorn vid pneumatisk positionering är slip-stick-effekten som uppkommer pga friktionen och fjädringen hos kraftöverföringen.

Det är därför rimligt att anta att en kortare cylinder med kortare luftpelare kan positioneras med högre positioneringsnoggrannhet. En lägre friktion i systemet kan också bättra på regleringsmöjligheterna.

Projektet har varit mycket lärorikt för oss deltagare och som helhet har projektet varit lyckat. Resultaten kan utnyttjas av Bosch Rexroth för vidare utveckling av pneumatiska positioneringssystem.

## 11 Rekommendationer

Det reglersystem vi har utvecklat visar att pneumatisk positionering är möjlig med de krav som kan ställas av Bosch Rexroth och applikationsgrupp för att basera kundanpassade lösningar utifrån denna.

Vi har dock ett antal rekommendationer för att Bosch Rexroth på bästa möjliga sätt skall kunna utnyttja den pneumatisk positioneringen.

### Reglering

Det finns tre huvudvägar att gå vid vidareutveckling av regleringen.

- Vidareutveckla vår reglering främst ur tillförlitlighetssynpunkt och för att få ner positioneringstiderna
- Undersöka möjligheterna att utnyttja inbyggd PID-regulator i PLC:n som modifieras efter de reglerbara ventilerna
- Större ventiler som går att reglera, varvid det blir enklare utnyttja traditionella regleringsmetoder

### Optimering

För att nå maximal positioneringsnoggrannhet krävs utöver en förbättrad reglering att de fysikaliska egenskaperna för cylindern optimeras utifrån den främsta begränsande faktorn – slipstick.

Det bästa sättet att reducera denna effekt för en cylinder är att åstadkomma lägre friktion, främst genom att utnyttja skenstyrning men även att se till att cylindern är väl ”inkörd”.

### Produktifiering

En produktifiering av det pneumatiska positioneringssystemet kan löna sig för Bosch Rexroth. De kan därmed ta en större marknad och nå kunder de tidigare inte hade.

En rekommendation är att istället för att basera regler- och styrsystemet på en PLC-lösning, är att utveckla ett mikroprocessorstyrsystem som direkt anpassas efter lösningen. Denna bör ge lägre kostnader vid högre volymer och vara tillräckligt kraftfull och flexibel för att klara av uppgiften.

## 12 Referenser

P.E Lindahl, W Sandqvist – Mätgivare  
B Thomas - Modern reglerteknik  
Ragnar Grahn, Per-Åke Jansson – Mekanik, Statik och dynamik  
Richard Hagelberg – Automationsteknik  
David G. Ullman – The Mechanical Design Process

Information via hemsidor:

Bosch Rexroth: <http://www.boschrexroth.com>

Beijer: <http://www.beijer.se>

Festo: <http://www.festo.com>

Tolomatic: <http://www.tolomatic.com>

Paabautomation: <http://www.paabautomation.se/>

Bimba: <http://www.bimba.com>

Hoerbiger: <http://www.hoerbiger.com>

Stribeckkurvor: [http://www.tribologie.nl/goto/stribeck\\_e.htm](http://www.tribologie.nl/goto/stribeck_e.htm)

## 13 Bilaga

- Ordlista
- Projektorganisation
- Konkurrentsammanställning
- Datablad Operatörsterminal E700
- Operatörsmanual – Terminal till pneumatisk linjär positionering
- Tidsplan
- QFD - linjärenheter
- Mätresultat
- Ekonomirapport
- PLC-program-kod

## Ordlista

**Absolut lägesgivare** – lägesgivare som hela tiden ger den absoluta positionen

**Anti-reglerzon** – målzon – det område kring målpositionen i där systemet ej reglerar

**Familjetråd** – schema för att åskådliggöra metoder eller funktioner och delfunktioner och dess relation

**Flank** – det område hos en pulsad signal där signalen stiger eller faller (positiv, negativ flank)

**Hydraulik** – teknik att överföra energi med hjälp av vätska

**Induktosyn** – induktiv inkrementell lägesgivare

**Inkrementell lägesgivare** – lägesgivare som mäter förflyttning stegvis

**IP-klass** – Klass som anger damm-, fukt- och vattenskydd

**Kolvstångslös cylinder** – Pneumatisk cylinder utan förbindningsstång (*se skyttelcylinder*)

**Kulskruv** – gängad stång för linjär förflyttning försedd med ”mutter” med inbyggd kulstyrning

**Linjärenhet** – positioneringsdon som positionerar i längsled

**Linjärmotor** – motor förflyttar i längsled till motsats mot en traditionell motor som roterar

**PID-reglering** – reglerteknik, utsignalen styrs proportionellt mot felet samt en integrering och derivering

**P-reglering** – reglerteknik där reglersignal står i proportion till det återstående felet

**PLC** – Programmable Logical Controller, logikbaset styrsystem anpassat till industriella miljöer

**Pneumatik** – tryckluftsteknik för drivning, förflyttning, kraftgivande eller momentgivande

**Produktifiera** – produktpassning av en prototyp där främst produktionstekniska aspekter går igenom

**PWM** – Pulse Width Modulation – pulsering av styrsignal för reglering av den genomsnittliga signalnivån

**QFD** – Quality Function Deployment, utvärderingsmetod vid produktutveckling

**Ramp** – styr strypfaktorn vid övergång mellan målzonen och reglerzonen

**Reglerzon** – det område kring målpositionen vid den pneumatiska positioneringen där systemet P-regleras

**RMS** – ”Root Mean Square”, effektivvärdet av en cykliskt varierande signal

**Skyttel** – fästnanordning som förbinder kolven med lasten hos en kolvstångslös cylinder

**Skyttelcylinder** - Pneumatisk cylinder utan förbindningsstång (*se kolvstångdlös cylinder*)

**Slip-stick** – förflyttning sker ryckigt eller med hopp pga friktion och fjädring hos kraftöverföring

**Trapetsgängad skruv** – gängad stång för linjär förflyttning försedd med glidlagrad ”mutter”

**Översläng** – vid positionering där målpositionen passeras vid reglering

## Projektorganisation

### Organisationsstruktur

#### Delansvariga:

Per Nylund	Projektledare
Lars Viebke	Hårdvaruansvarig, Rapportansvarig
Freddie Tydal	PLC-programmeringsansvarig
Edib Halilovic	Webansvarig
Christian Vasquez	Ekonomiansvarig, Presentationsansvarig

<i>Johan Widfeldt</i>	<i>Styrgrupp, Bosch Rexroth</i>
<i>Peter Pålsson</i>	<i>Styrgrupp, Bosch Rexroth</i>
<i>Sonny Wallgren</i>	<i>Handledare, KTH</i>

#### Delgrupper:

##### PLC-programmering:

Freddie Tydal, Edib Halilovic

##### Hårdvara (mekaniska montage, beräkningar, mätningar):

Lars Viebke, Per Nylund

##### Ekonomi (ekonomirapport, ekonomidel i huvudrapport):

Christian Vasquez, Per Nylund, Lars Viebke

### Ansvar och befogenheter

Projektgruppen ansvarar för att produkterna som levereras uppfyller kravspecifikationen och att leverans sker i rätt tid.

De delansvariga för respektive område ansvarar för att uppgifter inom området uppfylls och svarar mot projektledaren.

Styrgruppen, samt Sonny Wallgren kontrollerar att projektgruppen uppfyller sina åtaganden.

Projektledaren håller den personliga kontakten med Bosch Rexroth samt ansvarar för att Bosch Rexroth uppdateras.

### Tidsplaner

Leverans av systemet och redovisning v. 11 2003, för utförligare tidsplan (*se bilaga*).

### Budget

Bosch Rexroth har avsatt 25 000 SEK

## **Tidrapportering**

Tidsrapportering av gruppmedlemmarna en gång i veckan mot KTH.

## **Uppföljning**

Veckomail från gruppen till Bosch Rexroth och Sonny Wallgren samt möten då varje fas avslutas och övergår till nästa (*se tidsplan*). Informella uppdateringsmöten med Sonny normalt varje onsdag.

## **Dokumentation**

Delrapporter lämnas in till Sonny Wallgren i fas 3 och vid påbörjande av period 4. En slutrapport lämnas till Sonny Wallgren och Bosch Rexroth vid projektredovisningen v 11. 2003.



## Konkurensammanställning

Tillverkare och leverantörer av pneumatiska linjära positioneringssystem, med den tillgängliga information som finns att tillgå på deras hemsidor och via mail:

### **Tolomatic:**

Land	USA
Namn	PrecisionAir
Längd	Upp till 16 fot
Hastighet	Upp till 2.5 m/s
Repeternogranhet	0.25 mm
Styrssystem	DSP-baserat
Gränssnitt	Windowsbaserad mjukvara
Peumatiksystem	Kolvstånglös cylinder
Extra	Magnetpartikel broms

Enheten leveras i två cylinderdiametrar, längden kapas efter kundens behov. Enligt reklam är precisionen och repeternogranheten helt oberoende av belastning!

### **Paabautomation** (återförsäljare):

Land	Sverige
Namn	Pi-Air typ WV-121 och WV-111
Längd	150-700 mm
Diameter	80,100,140 mm
Hastighet	26,17,8 mm/s
Repeternogranhet	(hysteres mindre 0.5%)
Peumatiksystem	Jämförelse mellan pneumatisk controller och cylinderposition
Extra	Skyddsklass IP-54

### **Bimba:**

Land	USA
Namn	Bimba Pneumatic Control System
Längd	Väljs efter kundens behov.
Diameter	1-1/16", 1-1/2", 2", 2-1/2", 3"
Repeternogranhet	0.1 mm
Peumatiksystem	Återkopplad positionering
Extra	Även för mätning

Enheten är anpassningsbar för olika applikationer ("on-the-fly applications")

### **Airtech:**

Land	Sverige
Peumatiksystem	Kolvstånglös cylinder (rodless cylinder)
Extra	El-drift / el/luft-drift, även parallellkörning.

Kolvstånglös cylinder finns med skenstyrning, glidstyrning.

### **Festo**

Land	Tyskland
Pneumatiksystem	Servopneumatic positioning system

### **Origa / Hoerbiger**

Land	Tyskland
------	----------

## Datablad Operatörsterminal E700

<b>E700</b>	
<b>Displaytyp</b>	Bakgrundsbelyst LCD, 256 färger
<b>Presentationsform</b>	Grafik + text
<b>Displaystorlek</b>	320 x 240 pixlar
<b>Aktiv yta på display B x H (mm)</b>	115,18 x 86,38
<b>Texthöjd (mm)</b>	Variabel
<b>Lysdioder (LED)</b>	14 (två färger)
<b>Funktionstangenter</b>	16 (8 med egen text)
<b>Summer</b>	Ja
<b>Larmhantering</b>	16 grupper
<b>Tidkanaler</b>	Ja
<b>Realtidsklocka</b>	Ja
<b>Trendgrafer</b>	Historisk
<b>Recepthantering</b>	Ja
<b>Rapportutskrifter</b>	Ja
<b>Lösenord för säkerhet</b>	8 nivåer
<b>Transparent mode (1)</b>	Ja
<b>Minne för applikation</b>	400 kb Flash
<b>Matningsspänning</b>	+24 VDC, 20-30 V
<b>Strömförbrukning</b>	600 mA (24 V)
<b>Omgivningstemperatur</b>	0 °C till +50 °C
<b>Spolningssäker front</b>	IP65, NEMA 4, NEMA 4X (2)
<b>EMC</b>	EN 50081-1, EN 50082-2
<b>UL</b>	UL 508, UL 1604 (3)
<b>DNV</b>	Ja
<b>MTBF (h)</b>	84 496
<b>Mått B x H x D (mm)</b>	276 x 198 x 87
<b>Vikt (kg)</b>	1,7
<b>Antal expansionskortplatser</b>	2
<b>Kommunikationsgränssnitt</b>	RS-422 och RS-232C

(1) Beroende på drivrutin

(2) Endast inomhusbruk

(3) Klass I Div 2

# OPERATÖRSMANUAL

## Terminal till pneumatisk linjär positionering

### ANSLUT / STARTA TERMINALEN

1. Anslut väggkontakten i ett 220V vägguttag
2. Vänta tills huvudmenyn syns på displayen

### STÄNG AV TERMINALEN

Ta ut väggkontakten i ett 220V vägguttag

### HUVUDMENY



I HUVUDMENY kan två val utföras genom att trycka på knapparna REGLER eller TREND för att komma till respektive undermeny.  
Det går alltid att hoppa tillbaka till HUVUDMENYN från en undermeny genom att trycka på MENY-knappen

## REGLER



Från REGLER-menyn startas, stoppas och nollställs regleringen, samt inställning av följande regleringsparametrar:

**MÅL** Önskad position i millimeter

**PWM** Hur många millimeter från målet regleringen skall starta

**RAMP** Hur mycket luftflödet skall strypas vid regleringen (minimal strypning = 20)

**ANTI** Felmarginal innan återreglering tar vid, antal räknarpulser (1 puls = 0,1 mm)

I REGLER-menyn finns möjlighet att hoppa till TREND-menyn genom att trycka på knappen TREND eller att gå till huvudmenyn genom att trycka MENY.

## INSTÄLLNING AV REGLERINGSPARAMETRAR

### Inställning av MÅL

1. Tryck på en piltangent för att förflytta den blinkande ramen till MÅL-rutan
2. Skriv in önskad position i millimeter (0-2000) med hjälp av de numeriska knapparna
3. Tryck enter ( )

### Inställning av PWM

1. Tryck på en piltangent för att förflytta den blinkande ramen till PWM-rutan
2. Skriv in önskad reglerlängd i millimeter (0-2000) med hjälp av de numeriska knapparna
3. Tryck enter ( )

### **Inställning av RAMP**

1. Tryck på en piltangent för att förflytta den blinkande ramen till RAMP-rutan
2. Skriv in ett värde (0-20) med hjälp av de numeriska knapparna
3. Tryck enter ( )

### **Inställning av ANTI**

1. Tryck på en piltangent för att förflytta den blinkande ramen till ANTI-rutan
2. Skriv in önskad anti-reglerzon (0-2000) med hjälp av de numeriska knapparna
3. Tryck enter ( )

## **STYRA FÖRFLYTTNING / REGLERING**

### **STARTA REGLERING**

Tryck på knappen AUTO START

***OBS! Innan start av reglering måste den tidigare regleringen vara stoppad eller nollställd och de nya regleringsparametrar vara inställda.***

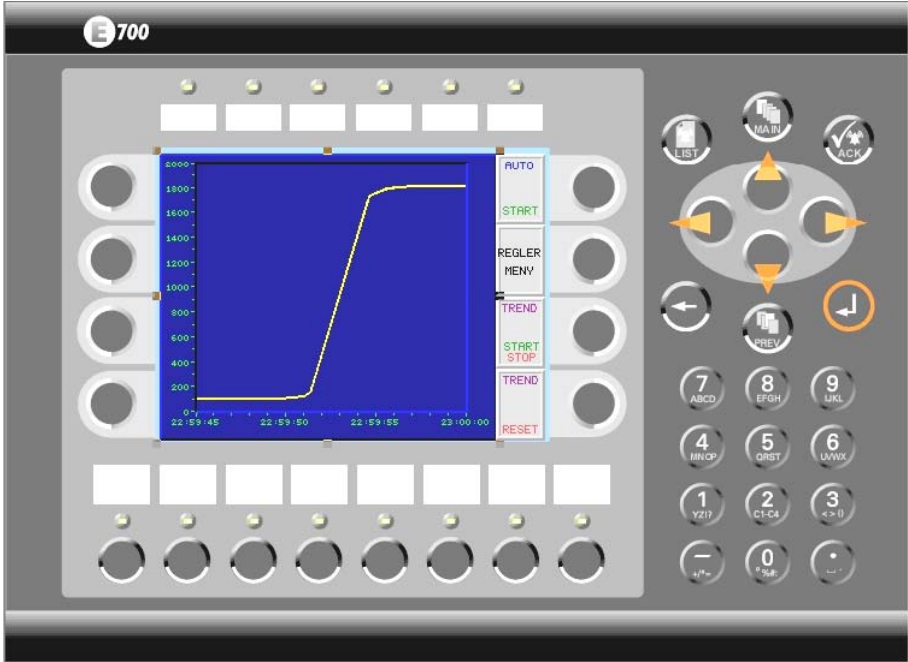
### **STOPPA REGLERING**

Tryck på knappen AUTO STOPP

### **NOLLSTÄLL REGLERING**

Tryck på knappen AUTO RESET

## TREND



Med TREND-menyn ges möjligheten att studera positioneringsförloppet vid förflyttning mellan två positioner i form av en trendgraf.

Från TREND-menyn kan regleringen startas genom att trycka på AUTO START eller hoppa direkt till REGLER-menyn genom att trycka REGLER. För att hoppa till huvudmenyn tryck MENY.

**OBS! Innan start av reglering måste den tidigare regleringen vara stoppad eller nollställd och de nya regleringsparametrar vara inställda.**

**STARTA TRENDGRAF**  
Tryck på TREND START / STOPP

**STOPPA UTSKRIFT AV TRENDGRAF**  
Tryck på TREND START / STOPP

**FRYSA TRENDGRAF**  
**OBS! Trendgrafen måste vara startad**  
1. Tryck på knappen TREND START / STOPP  
2. Tryck på knappen TREND RESET

**RADERA TRENDGRAF**  
Tryck på TREND RESET då trendgrafens rullar eller är fryst