



CHALMERS



Styrning av ett statiskt expansionssystem för kalibrering av UHV- och HV-givare.

Controlling a static expansion system for calibration of UHV- and HV-gauges.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Mekatronik

DANIEL ARNLUND
GERARDO PONCE POBLETE

Examinator
Bertil Thomas

Institutionen för Signaler och system
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2015

Styrning av ett statiskt expansionssystem för kalibrering av UHV- och HV-givare.



Controlling a static expansion system for calibration of UHV- and HV-gauges.

Daniel Arnlund
Gerardo Ponce Poblete



CHALMERS

Institutionen för Signaler och system
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2015

Förord

Det här examensarbetet är den avslutande delen på högskoleingenjörsprogrammet Mekatronik (180hp) vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet utfördes på SP i Borås under 10 veckor sommaren 2015. Vi vill först och främst tacka folket på Tryck och Vakuum som har gjort arbetet möjligt. Framförallt vill vi tacka Martin Bjerling, Martin Zelan, Jonas Olsson och vår SP-handledare Fredrik Arrhén. Vi vill även tacka vår handledare på Chalmers, Manne Stenberg.

Daniel Arnlund och Gerardo Ponce Poblete, Borås 2015

Sammanfattning

I den här rapporten framgår det hur en uppdatering av ett styrsystem har gått till. Det som styrs är ett vakuumsystem avsett för att kalibrera hög- och ultrahögvakuumgivare. Vakuumsystemet utgörs av ventiler, pumpar och vakuumkammare. Då det saknades kundtjänst och reservdelar till det gamla systemet samt att det fanns vissa säkerhetsbrister beslutade uppdragsgivaren, SP i Borås, att PLC:n behövdes bytas ut. Det nya systemet levererades av Siemens och är av modell S7-1214C DC/DC/Relay. Det är en kompakt modulär PLC, vilket betyder att den är utbyggbar om det behövs i framtiden. Den gamla PLC:n kunde styras manuellt eller via programvara i en PC. Styrningen via PC krävde ett rack med transistorer och flera I/O. I det nya systemet kan detta skötas via Profinet vilket betydde att transistorracket inte var nödvändigt och att PLC:n behövde färre moduler.

Efter att ha programmerat PLC:n i Ladder-diagram blev *resultatet* att den nya PLC:n har tagit över den gamlas arbetsuppgifter för den manuella styrningen och utökat säkerheten men är ännu inte automatiserad. Automatiseringen som är den överordnade styrningen via dator kommer en annan projektgrupp att utveckla med hjälp av Labview utvecklad av National Instruments.

Abstract

This report describes how an old PLC was replaced with a new one. It was not possible to get support, spare parts for the older system and because of some security issues SP in Borås decided to replace it with a new one. The system that was being controlled is a static expansion system for calibration of high- and ultrahigh vacuum gauges. The vacuum system is comprised of valves, pumps and vacuum chambers. The manufacturer of the new system is Siemens and the chosen model is the S7-1214C DC/DC/Relay. It is a compact modular PLC which can be upgraded with new modules when and if necessary. The old PLC could either be controlled manually or automatically via a computer. When the system was controlled automatically it was through a rack of transistors that became obsolete with the new PLC. The automatic control can now be made through Profinet which saves hardware and space.

The programing was done with Ladder Diagrams and *resulted* in the S7 taking over the manual controls while adding new safety features. Doe the automatic control has not been addressed in this project another project group is set to develop this feature using the software “Labview” from National Instruments.

Beteckningar (utan inbördes ordning)

I/O	Input/output ~ ingångar/utgångar
SEA V	Serial Expansion Apparatus 5 – Vakuumsystemet i fråga
PLC	Programmable Logic Controller
SRG	Spinning Rotor Gauge - tryckgivare för högvakuum
NPL	National Physical Laboratory
IGs	Ionisation gauges - joniseringsvakuumeter, en tryckmätare
HV	HögVakuum – 100×10^{-3} Pa till 100×10^{-9} Pa
UHV	UltraHögVakuum – 100×10^{-9} Pa till 100×10^{-12} Pa
mbar	Storhet för tryck, atmosfärstryck ~ 1 mbar motsvarar 100 Pa

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar.....	1
1.4 Precisering av frågeställningen	1
2 Teknisk bakgrund	2
2.1 Definition av vakuum.....	2
2.1.1 Hur skapas vakuum?.....	2
2.1.2 Tillämpningsområden	2
2.1.3 Högvakuum och ultrahögvakuum	2
2.1.4 Något om utrustningen	2
2.2 Programmable Logic Controller.....	4
2.2.1 Minnet	4
2.2.2 Hårdvara	5
2.2.3 Input/output-modulerna.....	5
2.2.4 Vanliga PLC-system	5
2.2.5 Programmera PLC	7
3 Metod	8
4 Vakuumsystemet.....	9
4.1 Vad SEA V är.....	9
4.1.1 Beskrivning av SEA V (med hjälp av figur 5).....	9
4.2 Funktionsbeskrivning av systemet	10
4.2.1 Ventilbegränsare	10
4.2.2 Expansioner	10
4.2.3 Kalibrering	11
5 Analys av det gamla och uppgradering till det nya systemet.....	12
5.1 Överblick av systemet.....	12
5.1.1 Kabinettsskåp.....	12
5.2 Kartläggning och installation	13
5.2.1 Kontakt med PLC	13
5.2.2 Hur de nya d-subdonen kopplades med de gamla.....	15
5.2.3 MIMIC.....	16
5.3 Val av PLC.....	17
5.2.1 Kravspecifikation och beslutsmatris	17

5.4 Det gamla styrsystemet.....	18
5.5 Det nya systemet	20
6 Programmeringen.....	21
6.1 Funktionsbeskrivning	21
6.1.1 MIMIC.....	21
6.1.2 Ventiler	21
6.1.3 Förvakuumpumpar	22
6.1.4 Turbomolekylärapumpar.....	22
6.1.5 Bakning	22
7 Resultat och diskussion.....	23
7.1 Resultat	23
7.2 Diskussion	23
Referenser	25
Litteratur.....	25
Figurer.....	25
Appendix I: Bild över SEA V	27
Appendix II: Adress- och färgbeteckning.	28

1 Inledning

Inledningen är en sammanfattning av bakgrunden till arbetet. Här behandlas förutom bakgrunden, syfte och avgränsningar.

1.1 Bakgrund

På SP-avdelningen Tryck och vakuum finns ett vakuumsystem som används inom högvakuum- och ultrahög vakuum-området, det vill säga tryck mellan 10^{-7} - 100 Pa. Tekniken som styr systemet är idag föråldrat och behöver uppdateras. Styrningen sker med hjälp av program i Visual Basic 6 samt en separat PLC. Hela styrsystemet ska uppdateras och göras om, programmet ska skrivas i utvecklingsmiljön LabView och en modern PLC ska ersätta den gamla.

Kunskap och dokumentation om hur vakuumsystemet är styrt är begränsat och är till stor del låst i minnet hos en forskare. Detta är ett tydligt problem som ska lösas genom att systemet utvärderas, analyseras och att allt blir utförligt dokumenterat.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att framtidssäkra SP:s automatiska vakuumsystem genom en modernisering av styrsystemet. Det ska även vara möjligt att utöka vakuumsystemets funktionalitet efter behov. Primärt ska det nya styrsystemet ha samma funktion som det gamla när det gäller den manuella styrningen. Sekundärt är att PLC:n tillsammans med dess mjukvara ska kunna styra vakuumsystemet autonomt, ett exempel på detta är att användaren bestämmer önskat tryck och styrsystemet sköter resten vad gäller inställning av initialt tryck och hantering av expansioner.

1.3 Avgränsningar

För att vakuumsystemet ska bli helt uppdaterat krävs det ytterligare två moment som inte kommer behandlas.

Programmering av styrsystemet i PC.

Test och verifiering av det kompletta uppdaterade systemet.

Dessa två delar kommer att bearbetas av en annan arbetsgrupp i ett senare projekt som tar vid där detta slutar.

1.4 Precisering av frågeställningen

Hur styrs systemet idag?

Vilken PLC uppfyller kraven?

Hur ser mätningsdata ut idag och får det uppdaterade systemet samma värden?

2 Teknisk bakgrund

För att kunna bygga ett nytt PLC-system krävs fördjupade kunskaper om vad vakuum och PLC är, hur de fungerar och hur de används. I följande kapitel ska detta studeras.

2.1 Definition av vakuum

Fysikaliskt definieras vakuum som ett rum utan materia. I praktiken innebär det att ett vakuum uppstår i ett utrymme som har ett tryck långt under atmosfärstrycket [1].

2.1.1 Hur skapas vakuum?

Vakuum skapas med hjälp av en pump som evakuerar gas ur den miljö som ska vakuumsättas för att sedan släppa ut gasen i atmosfären. För att skapa hög- och ultrahögvakuum används i detta system en turbopump som har mycket höga varv per minut, upp till 40 000 rpm [2]. Turbopumpar tar skada om trycket är över 100 Pa vid normal drift och därför krävs det att en förvakuumpump används för att sänka trycket till rätt nivå.

2.1.2 Tillämpningsområden

Det finns flera applikationer för vakuum och beroende på hur lågt trycket är lämpar det sig för olika processer. Några av användningsområdena för vakuum är:

- Gjutning
- Ytbeläggning
- Frystorkning
- Inom halvledarindustrin
- Partikelacceleratorer
- Rymdforskning

I de flesta laboratorier används vakuum genom att antingen experimentera i vakuummiljö eller att utrustningen som används är beroende av vakuum som t ex elektronmikroskop. Det är även vid forskningslaboratorier där de lägsta trycken nås [7].

2.1.3 Högvakuum och ultrahögvakuum

Högvakuum uppstår vid tryck som är lägre än 10^{-4} Pa medan ultrahögvakuum inträder vid 10^{-7} Pa [3]. Det som krävs för att uppnå högvakuum och ultrahögvakuum är ett system som kombinerar olika pumpar, t ex en förvakuumpump och en turbopump och kammare med olika volymer. Förvakuumpumpen sänker trycket till cirka 10 Pa varefter turbopumpen sänker trycket ytterligare några dekader så att högvakuum eller ultrahögvakuum kan uppstå [7].

2.1.4 Något om utrustningen

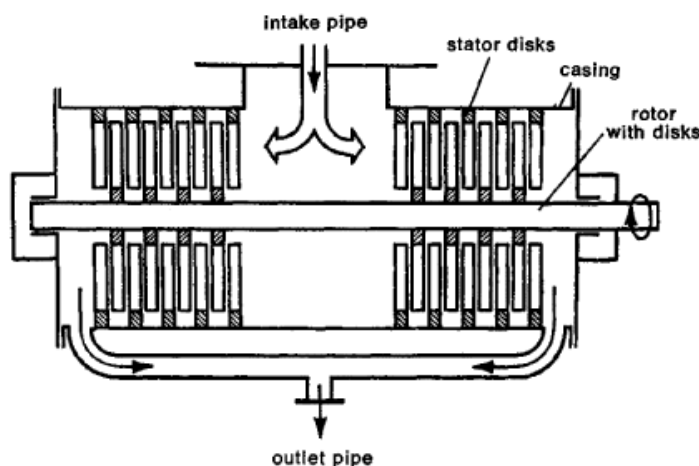
Vakuum kan skapas med en ganska primitiv utrustning. Allt som krävs är en lufttät miljö som kan hålla emot atmosfärstrycket t ex en glaskupa och en sugande pump kopplad till miljön. Efter lite pumpande har ett vakuum skapats. Moderna system är lite mer avancerade än ovanstående och kan bestå av olika typer av pumpar, ventiler och tryckgivare. Det aktuella expansionssystemet består av rör och vakuumkammare av rostfritt stål samt av förvakuumpumpar, turbomolekylärpumpar, piranetryckgivare och joniseringsgivare.

2.1.4.1 Förvakuumpumpar

Vissa vakuumpumpar som exempelvis turbomolekylärpumpen, kan inte pumpa mot atmosfärstryck. I dessa fall behövs en annan typ av pump som kan göra just det och det är precis vad en förvakuumpump gör. Det finns olika typer av förvakuumpumpar som delas in i två huvudkategorier, oljetätade och torrgående pumpar. Ett exempel på en oljetätande pump är en vätskeringspump som använder olja som smörjmedel för de roterande bladen. När gasen löper in från inloppsöppningen fångas den mellan de roterande bladen som komprimerar gasen och sveper ut den genom utloppsporten [10].

2.1.4.2 Turbomolekylärpumpar

Turbomolekylärpumpar, eller turbopumpar, är de enda mekaniska pumparna som kan nå tryck under 10^{-8} Pa. Dessa pumpar har vinklade blad som roterar i höga hastigheter likt turbinmotorer. När gasmolekyler träffar de roterande bladen skickas de in i en stator (blad som är fasta d v s statiska) där de successivt komprimeras tills att ett tillräckligt högt tryck nås och partiklar kolliderar med varandra och gasen kan pumpas ut mot atmosfären. Turbopumpen kan inte pumpa gaser mot atmosfärstryck och måste få hjälp av en förvakuumpump, annars böjs de tunna bladen med katastrofal följd [7].



Figur 1 a) principskiss av en turbopump från [6], b) En turbopump i genomskärning från [7] CC-BY

2.1.4.3 Tryckgivare

Det finns många olika tryckgivare men det finns ingen som kan mäta tryck från atmosfärs- till UHV. Givarna delas istället in i olika tryckområden som de är mest effektiva i. Ett exempel är piranigivaren som kan mäta tryck från 10^3 Pa till 10^{-3} Pa. Piranigivaren har två trådar, oftast platina, som används som två armar för att bygga en Wheatstonebrygga. De båda trådarna värms upp av strömmen genom bryggan. När gasmolekyler kommer i kontakt med en tråd lämnar den ifrån sig värme och den elektriska resistansen ändras.

För att kunna mäta ännu lägre tryck används en joniseringsvakuumeter som kan mäta tryck från 10^{-4} till 10^{-8} Pa. Med relativt små skillnader, använder alla joniseringsvakuumetrar samma princip. De kvarvarande gasmolekylerna joniseras av energirika elektroner där de positiva jonerna samlas vid en elektrod och den erhållna jonströmmen mäts och omvandlas till tryck [11].

2.2 Programmable Logic Controller

I denna del kommer det ytligt beskrivas vad en PLC är och dess funktion. Majoriteten av informationen i denna del är hämtad ur referens [4].

Programmable Logic Controller eller översatt till svenska "programmerbart styrsystem" är ofta förkortat just PLC och är en typ av dator som används främst i industriella sammanhang. En PLC består vanligtvis av en microprocessor, ett programmerbart minne samt in - och utgångar och är väldigt flexibel.

En PLC har många likheter med en dator men är designad för att reglera industriella applikationer genom att:

- tåla tuffa miljöer med fukt, vibrationer, temperaturer och brus.
- vara lätt att förstå, programmera och bygga ut med moduler
- ha gränssnitt för I/O inbyggt i systemet

Samma hårdvara kan användas från enkla styruppgifter till komplicerade, allt som behövs är nya instruktioner. Dessa instruktioner är *logiska* det vill säga använder sig av Boolesk algebra och utnyttjas för att ta emot information analogt eller digitalt via ingångarna för att sedan utföra en handling genom utgångarna. Ett exempel på detta kan vara att om fotosensor A får värde 0 öppnas ventil B.

2.2.1 Minnet

Minnet i en PLC består av tre olika typer.

ROM - Read Only Memory, innehåller operativsystemet och andra viktiga data och kan inte ändras.

RAM - Random Access Memory, innehåller användarens programinstruktioner och är arbetsminnet. Den innehåller även tillfällig information som t ex klockor och räknare samt status för allt som är kopplat till I/O. Det som läses in av RAM sparas inte utan försvinner när strömförsörjningen bryts. För att förhindra att användarskapad data går förlorad är ett batteri kopplat till minnet som sparar och driver minnet under en period då huvudströmmen är bruten.

EPROM – Erasable and Programmable Read Only Memory, innehåller instruktioner som är skrivna av användaren och som inte ska ändras. Det som skrivs till EPROM sparas där även efter att huvudströmmen stängs av och kan vid en uppstart överföras till arbetsminnet.

2.2.2 Hårdvara

Som tidigare nämnts består ett PLC-system av en processor, minne, input/output enheter, kommunikationssgränssnitt, programmeringsanordning och strömförsörjningsaggregat.

- En *CPU*, som står för Central Processing Unit, är den enhet som innehåller mikroprocessorn. Centralprocessorn tolkar insignaler, utför styrfunktioner enligt programmet som lagrats i minnet och skickar det som signaler till outputmodulen.
- *Kraftförsörjningsenheten* reglerar spänningen genom att omvandla den ingående AC spänningen till en låg DC spänning.
- I *programmeringsanordningen* utvecklas det önskade programmet som sedan överförs till minnesmodulen i PLC:n.
- I *minnesmodulen* finns programmet som ska köras av mikroprocessorn lagrat.
- *Input/output* modulerna gör det möjligt för processorn att kommunicera med externa enheter.
- Kommunikationsmodulen används för att bland annat erhålla och skicka information till och från avlägsna PLC:n eller datorer via ett kommunikationsnätverk.

2.2.3 Input/output-modulerna

Dessa moduler är de som tillhandahåller det gränssnitt som gör att PLC och verkligheten samverkar. De består oftast av isolerade kontakter som möjliggör att in- och utanordningar, så som sensorer och ställdon, kan kopplas direkt till modulen.

Den digitala in- och utsignal som är kompatibel med mikroprocessorn är 5V DC, dock kan insignalen variera på stora PLC. Insignalerna kan vara 5V, 24V eller 220V, medan mindre PLC har oftast bara 24V som alternativ insignal. Insignaler större än 5V omvandlas innan de går in till processorn. Utsignalerna är ännu mer flexibla där typ av ström kan väljas (AC eller DC), samt olika spänningar och strömstyrkor.

Det finns tre typer av utgångar, relä-, halvledar- och triac. Relätypen används för AC/DC omvandling och tål hög ström men är långsam i förhållande till de andra. Halvledar-varianten använder en halvledare (transistor) för att omvandla ström i en extern krets men brinner upp om strömmen är för stor eller inte DC. Motsvarande för AC är triac. Både halvledar- och triac outputs använder optokopplare som isolering.

2.2.3.1 Sinking och Sourcing

Begreppen "sinking" och "sourcing" beskriver hur apparaterna kopplas upp mot PLC. Det är viktigt att veta vilken typ av I/O som används. Sinking innebär att en input- enhet förser inputmodulen med spänning. När inputmodulen förser input-enheten med spänning kallas det sourcing. Samma princip gäller för output.

Kopplas det fel kan PLC:n ta skada, för att detta inte ska ske så ska sinking kopplas mot sourcing och vice versa.

2.2.4 Vanliga PLC-system

De två vanligaste PLC är modulära och kompakta. Det finns även enklare modeller så kallade microPLC som är mindre och enklare än de kompakta och kan inte byggas ut samt softPLC

som enbart är programvara. Då micro- och softPLC inte är aktuella i detta sammanhang kommer ingen djupare redogörelse för dessa att göras.

2.2.4.1 Modulära

Dessa är de mest avancerade och versatila PLC-systemen och kan användas till allt från enkel styrning till storskalig industri. På grund av att de är utbyggbara kan önskade moduler adderas till systemet. Oftast monteras dessa system på rack i skåp och kan därför anpassas till alla behov.



Figur 2 Modulär PLC från [2], återgiven med tillstånd.

2.2.4.2 Kompakta

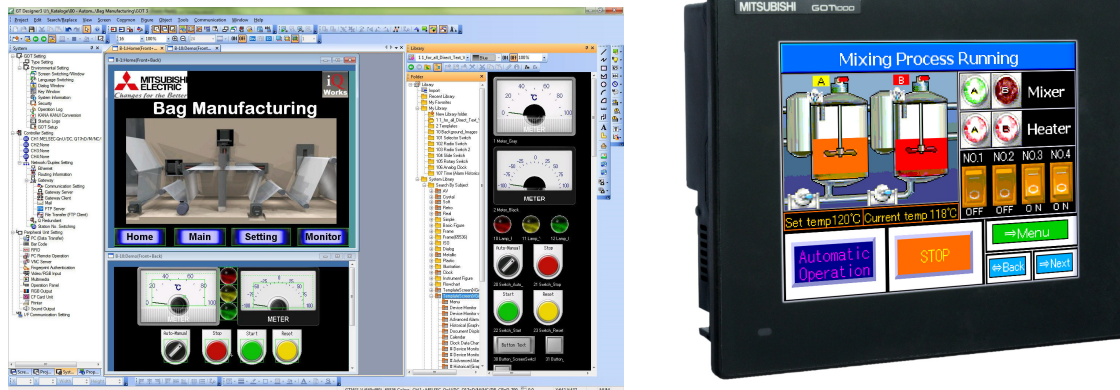
De kompakta styrenheterna används vanligtvis för mellanstora system och är antingen i form av ett block eller modulär. CPU-modulen har ofta inbyggda funktioner så som flera I/O, ethernet och plats för SD-kort. Som figur 3 visar kan även blocken byggas ut. [5][6]



Figur 3 Kompakt PLC med sex st. moduler från [3], återgiven med tillstånd.

2.2.5 Programmera PLC

Det finns flera alternativ när det kommer till att programmera ett styrsystem. Det går att programmera i lågnivåspråk som Assembler, en rad olika högnivåspråk som C och BASIC. Det finns även alternativ för de ingenjörer som inte har avancerade programmeringskunskaper som t ex funktionsblock och ladder-diagram. Programmering av PLC kan ske via datorprogram eller via paneler s.k. HMI.



Figur 4 Exempel på programmeringsgränssnitt (a) Mjukvara i PC, (b) HMI med touchscreen från [4], återgivna med tillstånd.

På 90-talet definierades en standard (IEC 61131) för PLC-system där det bland annat definierades fem programspråk för kodning av PLC:n. Dessa fem är:

- **Instruktionslista (IL, SCL)** - består av en serie instruktioner där instruktionerna innehåller en operanddel och en operationsdel. En operand deklarerar vilken signal som ingår i operationen medan operationsdelen förklarar vad som skall göras.
- **Ladder-diagram (LAD, LD)** - består av två vertikala linjer som motsvarar strömskenor. Mellan de vertikala linjerna finns horisontella linjer som bygger upp schemat med programinstruktioner.
- **Funktionsblock (FBD, FB)** - ses som ett grafiskt språk som visar signal- och dataflöden med hjälp av logiska block. De logiska blocken förses med in- och utgångar och även med kopplingar mellan blocken.
- **Funktionsdiagram eller sekvensschema (SFC)** - används som en grafisk beskrivning av den sekventiella förloppet av ett program.
- **Strukturerad text (ST)** - är ett programspråk som påminner väldigt mycket om programspråket Pascal och är användbart bland annat beräkningsrutiner och stränghantering. [4]

3 Metod

I denna del förklaras vilket tillvägagångssätt som är lämplig att följa för att genomföra systemuppgraderingen.

Det första momentet i arbetet är att skaffa ämneskunskaper och att studera den äldre hård- och mjukvaran.

För att kunna förstå hur vakuumsystemet fungerar krävs en faktainsamling om vad vakuum är och hur det skapas. Därefter är det nödvändigt att ta fram information om det aktuella systemet och dess nuvarande funktion. Sedan krävs mer kunskap om vad en PLC är och hur den fungerar samt information om den PLC:n som ska bytas ut. Detta görs genom att använda litteratur och studier om den föråldrade PLC:ns specifikationer. Det fysiska systemet skall även studeras för att se hur många I/O och vilka moduler som används, hur kabeldragningen ser ut och hur koden är skriven och vad den gör.

Nästa moment är att göra en kravspecifikation och studera marknaden av PLC-system och begära offerter från olika leverantörer för att sedan göra en beslutsmatris där de olika styrsystemen jämförs. Efter en elimineringsprocess kan rätt PLC väljas ut och beställas.

När valet av PLC:n är gjord kan programmeringen påbörjas. Innan det nya styrsystemet installeras måste en dokumentation av kabeldragningen på det gamla systemet göras för att underlätta installationen.

Avslutningsvis testas den manuella styrningen av det nya styrsystemet först genom simuleringar och sist mot den verkliga processen.

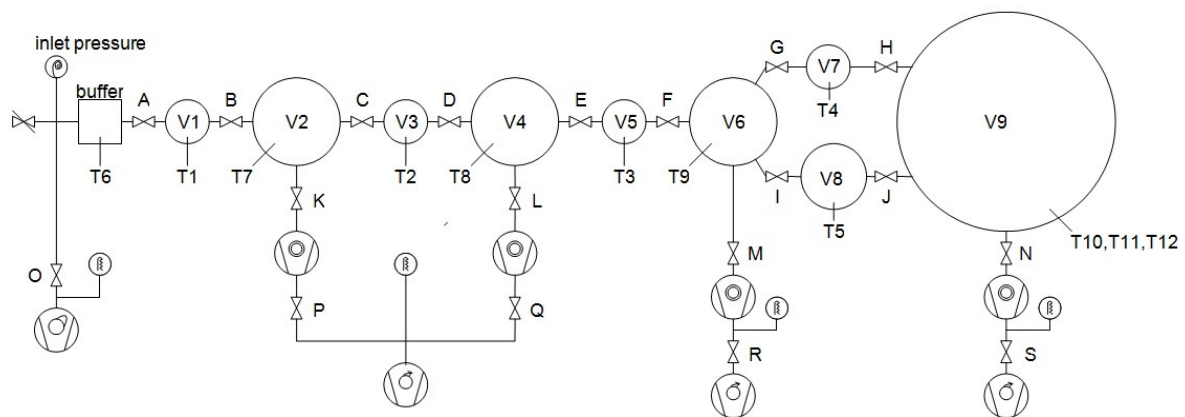
4 Vakuumsystemet

I följande kapitel kommer det aktuella vakuumsystemet döpt till Serial Expansion Apparatus V eller förkortat SEA V, att presenteras.

4.1 Vad SEA V är

Series Expansion Apparatus 5, SEA V, är ett statiskt expansionssystem framtaget av NPL, Storbritanniens motsvarighet till SP och utnyttjar en standard för att skapa vakuum. Vakuumsystemet är helt automatiserat med dator men kan även styras manuellt med PLC [7].

Systemet är en så kallad primär normal och används för att kalibrera vakuumgivare och konstruerades år 1993. Det består av ett fyrfaldigt expansionssystem där de sista två volymerna med tillbehör kan "bakas", d v s värmas upp till 175°C under 17 timmar. Vid normal drift utförs bakning cirka två gånger om året för att ta bort vattenånga och andra föroreningar som har uppkommit via genomträngning, eventuella läckor men främst då systemet öppnas mot atmosfären [3].



Figur 5 Ritning av SEA V från [1], återgiven med tillstånd.

Nyckel till bilden: A-S = ventiler, T = temperaturgivare, $V_{2,4,6,9}$ = stora volymer, $V_{1,3,5,7,8}$ = små volymer,  = turbopump,  = förvakuumpump

En större version av Figur 5 återfinns i appendix 1.

4.1.1 Beskrivning av SEA V (med hjälp av figur 5)

Längst till vänster finns inlopp för kvävgas, kopplade till en tryckregulator kallad DPI, ett tryckmätinstrument kallad PPI och en förvakuumpump. DPI reglerar starttrycket men mäter inte tillräckligt noggrant. Därför finns PPI som kontrollerar om DPIs tryckmätning stämmer. Förvakuumpumpen är även kopplad till resten av systemet som består av fyra stora behållare och fem små. Mellan dessa finns det ventiler som delar upp systemet i olika sektioner. De större volymerna är kopplade till var sin turbopump som i sin tur är kopplad till en förvakuumpump. Volym två och fyra delar däremot på en förvakuumpump. Förvakuumpumparna har piranigivare som mäter tryck och används som referens. De stora

volymerna är kopplade till tryckgivare, temperaturgivare och SRG. Volym V6 och referensvolymen V9, skiljer sig lite från resten då de även har joniseringsgivare, IG, V9 har även två extra temperaturgivare.

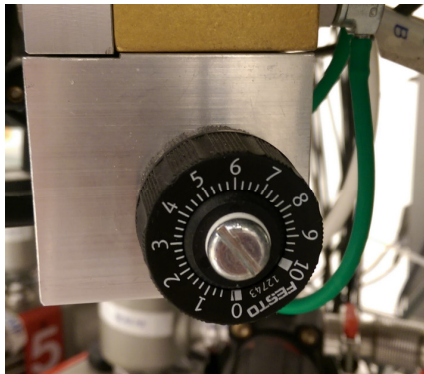
Ventilerna P, Q, R, S är till för att förhindra så kallad Backstreaming och för att skydda resten av systemet från den oljedimma som genereras av förvakuum pumparna som normalt ventileras ut mot atmosfären.

4.2 Funktionsbeskrivning av systemet

I föregående underrubrik beskrevs hur vakuumsystemet är uppbyggt. Nedan beskrivs hur systemet fungerar, alltså hur den skapar vakuum.

4.2.1 Ventilbegränsare

En viktig egenskap för ventilerna A, C, E, G och I är att de ska stänga långsamt. Detta är för att gasbalansen inte ska rubbas vid en isolering av en volym. För att detta ska vara möjligt har analoga **begränsare** installerats på alla ventiler. Begränsarna har en ratt som reglerar en fjäder som justerar hur snabbt ventilen stänger. Ratten är markerad mellan 0-10, där 0 är inget motstånd och 10 ger maximal flödesbegränsning. Tiden för en stängning är tio sekunder och har optimerats av NPL [8] då varje ventil kräver en individuell inställning. Efter dessa tio sekunder är inte ventilen helt stängd och en ytterligare ventil aktiveras som sluter tätt.



Figur 6 Ventilbegränsare, Författarens egen bild.

4.2.2 Expansioner

Det är med hjälp av expansioner som olika låga tryck skapas och går till på följande sätt. En vakuumkammare, som vi kallar för "A", fylls med en förbestämd volym gas som sedan isoleras. Efter att vakuumkammare A har pumpats ut öppnas en ventil till vakuumkammare B och kvarvarande gas fyller, eller expanderar till, den nya kammaren. Eftersom en mindre volym gas fyller varje kammare blir trycket lägre och ett högre vakuum skapas. Med andra ord är en expansion när gas från en volym fyller en annan volym.

Volym V7 och V8 skiljer sig i storlek. Vakuumkammare V7 är ungefär 300 gånger mindre än referensvolymen V9 medan V8 är 100 gånger mindre.

Vid en kalibrering bestäms först vilket tryck som önskas. Därefter räknas det ut efter en formel hur systemet ska initialt trycksättas och hur många expansioner som är lämpligast samt om

volym V7 eller V8 ska användas. När V7 används kallas expansionen för "normal" medan expansion via V8 kallas "dashed".

Systemet tillåter upp till fyra expansioner¹:

Singelexpansion: initialt är ventil H och J stängda medan resten är öppna. Vid en expansion via volym V7 blir nästa steg att stänga ventil G och N. Därefter öppnas ventil H till referensvolymen V9 där kalibrering av utrustningen sker. Motsvarande moment tillämpas då V8 dock används genom ventil I och J. Expansionskvoten² för en normal är 300 och för en dashed är kvoten 100.

Dubbelexpansion: initialt är ventil F stängd medan övriga ventiler som finns mellan gasinloppet och volym V5 är öppna. Isolering sker först i V5 genom att ventil E stängs långsamt och därefter är det samma procedur som en singelexpansion. Expansionskvoten är 200.

Trippleexpansion: Volym V3 isoleras genom att först stänga ventil D och därefter ventilerna C och L. Sedan öppnas ventil D för att fortsätta med en dubbelexpansion. Expansionskvoten 200.

Kvadrupleexpansion: Till att börja med stängs ventil B följt av ventil A för att isolera V1. Efter att ventil K stängs och ventil B öppnas sker en trippleexpansion. Expansionskvoten är även här 200.

Volym 9 är referensvolymen det vill säga den volym som det slutgiltiga trycket mäts mot. Det är också denna volym som de instrument som ska kalibreras kopplas mot. Efter att vald expansion är genomförd så har ett referensvakuum skapats som t ex vakuumgivare kan kalibreras mot.

4.2.3 Kalibrering

En kalibrering handlar om att jämföra värden. Det finns en produkt som användaren vet värdet på, en normal, och används som en måttstock. Sedan jämförs det värde som ska kalibreras med normalen och justeras efter behov. I detta fall är det SEA V och dess expansioner som är normal.

¹ Se figur 5 för ventil- och volymhänvisningar

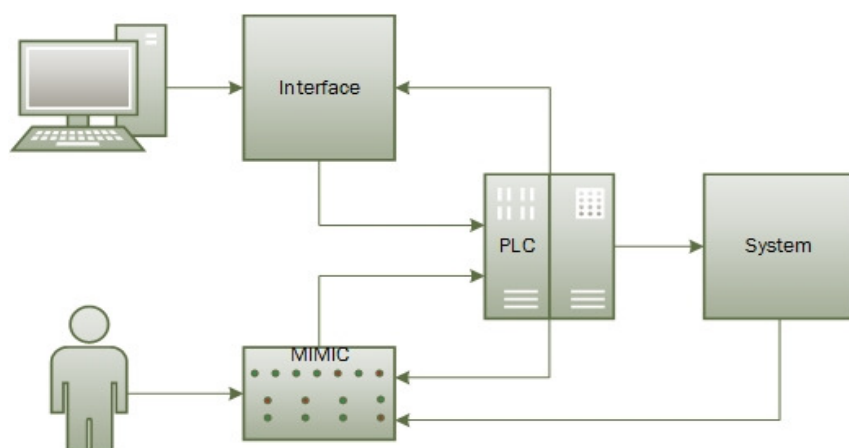
² Det vill säga storleksförhållandet mellan en liten och en stor volym

5 Analys av det gamla och uppgradering till det nya systemet

I det här kapitlet studeras det befintliga systemet som utgör grunden till det nya. Sedan redovisas en kravspecifikation och olika PLC jämförs mot varandra. Efter att ett val har gjorts presenteras det nya systemet.

5.1 Överblick av systemet

Den gamla PLC-styrningen gjordes antingen manuellt via en panel av knappar som skickade signaler till CPU:n som sedan gav order om vad som skulle göras eller så styrdes vakuumsystemet med dator via ett kretskort med transistorer kallad Interface eller TTL. Figur 13 visar en överskådlig bild över hur kommunikationen mellan de olika delarna gick till.



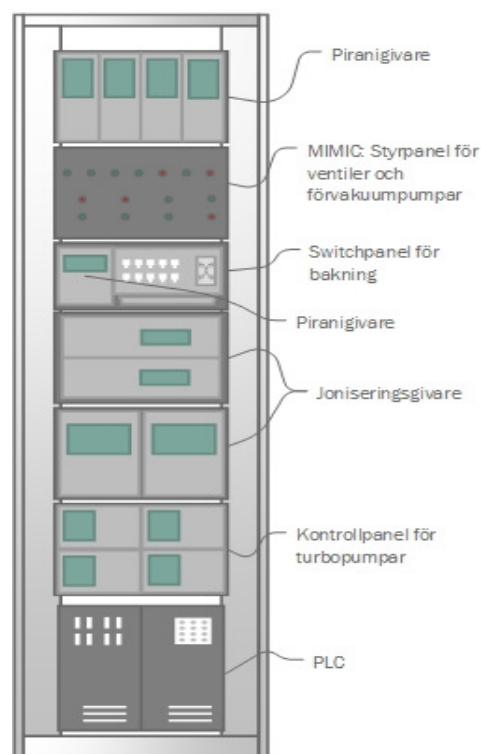
Figur 7 Schema över det gamla systemet, författarens egen bild.

Med den nya CPU:n behövs ingen transistorkrets utan kontakt med dator kan ske direkt via PROFINET som är inbyggd. Alternativt kan en kommunikationsmodul användas, i vårt fall CM 1241 som har ett RS232 gränssnitt. På detta sätt sparas tjugo stycken ingångar och tre stycken D-subdon å 37 stycken pins. Det nya systemet liknar det gamla men all kommunikation via Interface kommer ersättas av en kabel direkt till CPU:n.

5.1.1 Kabinettsskåp

All styrutrustning till vakuumsystemet finns i ett kabinettsskåp. Beskrivet i nedstigande led sitter hårdvaran som följer:

Högst upp sitter fyra stycken piranigivarpaneler som visar trycket vid förvakuumpumparna. Därefter sitter styrpanelen kallad MIMIC som består av tryckknappar för ventiler och fyra stycken switchar för förvakuumpumparna, se figur 12. Nedanför MIMIC finns en piranigivarpanel som visar trycket i de stora behållarna, en switchpanel samt en instrumentbräda för temperaturkontroll som



Figur 8 Modell av kabinettsskåp, författarens egen bild

används vid bakning av systemet. Efter det sitter fyra stycken joniseringsgivarpaneler följt av fyra instrumentbrädor för turbopumparna. Längst ner sitter "hjärnan" som styr hela systemet, PLC:n.

5.2 Kartläggning och installation

Nu när PLC-fabrikatet var valt började en ordentlig kartläggning över hur alla kablar var dragna mellan den gamla PLC:n till dator, tryckluft, styrpanel, givare, ventiler och pumpar.

En handskriven loggbok användes som guide för att studera systemet [9]. Loggboken användes för att bland annat dokumentera installationen av styrsystemet hos NPL, därmed var den en god informationskälla. Med hjälp av loggboken kunde kopplingarna mellan styrsystemets I/O kontrolleras. Dock är boken gammal och alla ändringar är inte dokumenterade vilket ledde till att djupare utredning fick göras. För det mesta gick utredningen ut på att följa en koppling från punkt till punkt.

Resultatet av kartläggningen var att anslutningar mellan D-subdon och PLC hade glappkontakt och i värsta fall lossnat samt att kontaktskorna inte passar det nya systemet. Sladdarna från PLC:n var kopplade via d-subbar till ett transistor-rack döpt till TTL som var till för att styra olika expansioner med automatik via en dator och till en vägg med reläer som satt fast i vakuumsystemet. Denna samling reläer var döpt till IEEE och var ansvarig för ordergivningen till ventiler och pumpar.

På grund av npn-tranistorerna i IEEE var det nödvändigt att konfigurera alla ingångar till **sourcing**.

5.2.1 Kontakt med PLC³



Figur 9 D-subdon PLC 4, författarens egna bild.

Alla signaler går alltså via D-subdon, fyra stycken med 37-pin, tre stycken med 25-pins och två stycken 15-pins. Nedan beskrivs vilken d-sub som är kopplad till vad⁴ i den gamla PLC:n.

³ En utförlig förteckning kopplingarna finns i appendix II

⁴ Märkningarna är gjorda av NPL

PLC 1, 37-pin: Denna d-sub består enbart av *utsignaler* som går direkt från datorstyrningen in i en kontakt i en panel tillhörande vakuumsystemet märkt "PLC B" som går vidare till IEEE som går vidare till alla styrobjekt.

PLC 2, 37-pin: Denna är kopplad till *datorstyrningen* men levererar *insignaler* till PLC:n (comp air, chilled water on (flow detect), chilled water on (wall)). En 25-pin d-sub märkt "Red Leds" går även in i denna.

PLC 3, 37-pin: Även denna är kopplad till *datorstyrningen* och skickar *insignaler* till PLC för att styra alla ventiler, val av manuell eller datorstyrning och två reservkontakter märkta "CM 23" och "CM 24".

PLC 4, 37-pin: Skickar *utsignaler* från PLC via en plint till Soft close-ventilerna, de vanliga ventilerna och förvakuumpumparna. Via plinten är även signaler från en 25-pin d-sub märkt "Green Leds" kopplad till PLC 4. Denna d-sub följer sedan samma väg som PLC 1 och går in i en kontakt i vakuumsystemet märkt "PLC A".

Push/B to PLC. 25-pin: Är *insignaler* från alla knappar på MIMIC till PLC:n.

Switches panel. 15-pin: är kopplad till bakningen och är *insignaler* från system safe/risk, oven control, IG safe/risk, IG ON/OFF och Compressed Air. D-suben består även av *utsignaler* till Oven reset, Oven control, IG ON/OFF och Fault. Allt kopplat till styrsystemets I/O Nytt namn: Kontrollenhet för bakning.

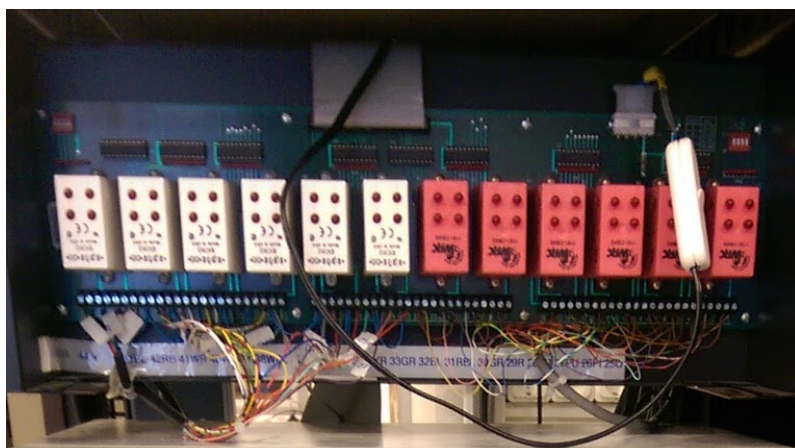
Rack trips. 15-pin: Är *insignaler* från kontrollpaneler tillhörande piranitryckgivare 1-4, UHV piranigivarna. turbopumparn, joniseringsgivare 3 och 4. Nytt namn: Givare

Red Leds, 25-pin: *Insignaler* från röda ledlampor kopplade till PLC 2. De röda ledlamporna tändes när en ventil var stängd och släcktes när den var öppen.

Green Leds. 25-pin: *Utsignaler* från gröna ledlampor kopplade till PLC 4. När en knapptryckning görs tänds eller släcks en grön ledlampa beroende på om ventilen ska öppnas eller stängas och är sammankopplad med PLC 4.

Alla sladdar som är kopplade till PLC:ns I/O behövde dras om då de äldre sladdarna inte klarade de krav som Siemens rekommenderade. De nya sladdarna var tjockare, uppfyllde RoHS och var halogenfria. Dessa löddes sedan till nya d-subbar och kopplades på ett sådant sätt att de var kompatibla med de äldre. Fördelen med det var att nya kopplingar till ordergivningen inte behövdes göra, nackdelen var att kabeldragningen från S7an inte blev optimal.

Ett specialfall är kopplingen till kontrollenheten. Förutom att den är kopplad till en utgång är den även kopplad till ett relä som sluter en kontakt så att enheten blir matad med spänning efter att vissa förutsättningar har uppfyllts.



Figur 10 Framsidan på TTL, Författarens egen bild.

5.2.2 Hur de nya d-subdonen kopplades med de gamla

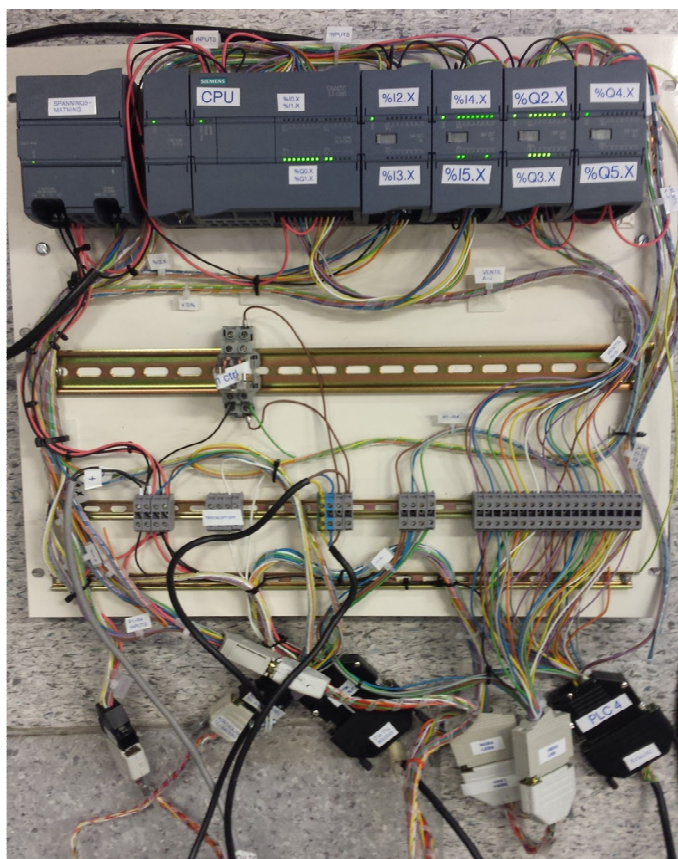
PLC 1 och 2 var sammanlänkade med varandra genom en låda för att sedan ledas vidare till TTL. I den nya kopplingen behövdes inte PLC 2 och PLC 1 kopplades direkt till d-subben Red Leds. Det betydde att två kabellängder och lådan kunde tas bort.

Rack trips och Switches panel samt PLC 4 och Green Leds användes och kopplades precis som tidigare. Rack trips och Switches panel fick mer beskrivande namn, Givare och Bakningspanel.

PLC 3 som enbart var utsignaler från TTL kopplades helt bort.

Alla kopplingar mellan dator och PLC via TTL blev alltså bortkopplat på grund av det gränssnittet sköts nu via Profinet.

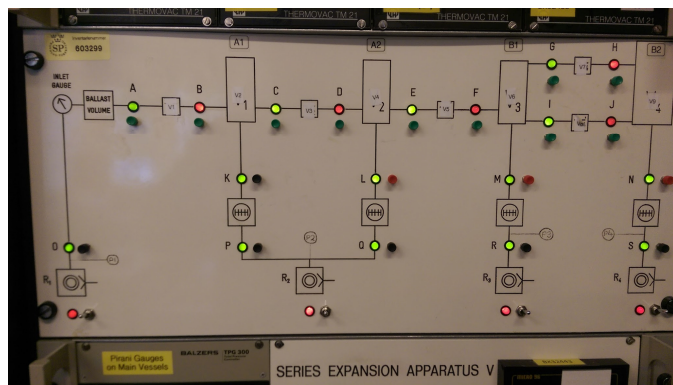
För att hålla kabeldragningen så enkel som möjligt och göra den lätt att följa drogs alla inputs åt vänster och alla outputs till höger.



Figur 11 Det kompletta PLC-systemet inklusive kabeldragningar. Författarens egen bild.

5.2.3 MIMIC

MIMC är SEA Vs hmi det vill säga det är via denna knapp-panel där all manuell kontroll sker. Panelen har en modell av vakuumsystemet snarlikt till figur 4.1⁵ där tydliga tryckknappar finns placerade vid varje kontrollenhet. Tre stycken d-subdon är kopplade till panelen som påverkar knapptryckningar, röda och gröna leds. Röda leds indikerar att ventilen är stängd och gröna att ventilen är öppen. Förvakuumpumparnas led lyser rött när de är igång annars är de släckta. LED dioderna har tre ben och blir matade med olika spänning beroende på vilken färg och ljusstyrka som önskas. NPL konstaterade att för röd färg var 33.3 k Ω att föredra och 1 k Ω för grön. Tillsammans ger de det tydligaste gula ljuset som används för att indikera att en ventil är i mellanläge [9]. PLC:ns spänningsmatning förser även Mimic med spänning via d-subbarna.



Figur 12 MIMIC framsida, författarens egen bild.

⁵ Det som skiljer panelen från verkligheten är vissa beteckningar.

5.3 Val av PLC

För att välja ett lämpligt PLC-system behövs tydliga krav om vad som ska utföras. Dessutom är önskemål om vad systemet ska klara av bra att ha. Förutom en kravspecifikation behövs ett strukturerat sätt att välja vilket system som passar bäst. En lyx i detta arbete är att inga beräkningar på avkastning, ROI eller annat ekonomiskt behöver göras.

5.2.1 Kravspecifikation och beslutsmatris

Efter diskussion med uppdragsgivaren har följande kravspecifikation tagits fram. Utöver det som framgår i Tabell 5.1 finns det underordnade krav som t ex hastighet och minneskapacitet men alla dessa uppfylls av PLC-system som klarar de primära kraven. Pris är alltid aktuellt, dock finns inget officiellt pristak då priserna för ett sådant här system är överkomliga.

Tabell 5.1 Kravspecifikation. K = krav, Ö = Önskemål

Funktionskrav på PLC			
Utfärdare: Daniel Arnlund och Gerardo Ponce	Skapad: 20150625 Modifierad: 20150630		
Krav	Målvärde	K/Ö	Kommentar
Digitala inputpunkter	72 st	K	
Digitala outputpunkter	40 st	K	Ska vara relä-typ
Utbyggbar med analog I/O		K	Kräver lite mer CPU.
PC-kommunikation	1 st	K	Standardtyp, t ex rs232
Möjlighet att ansluta skärm	1 st	Ö	En skärm för att kunna se data brevid PLC hade underlättat.
Kostnad	<15000 kr	Ö	Det finns ingen exakt budgeterad siffra, summan är tagen utifrån viss kännedom av marknaden hos uppdragsgivaren.
Mjukvara för nedladdning		Ö	Att mjukvaran är nedladdningsbar (dl) gör att arbetet med att programmera styrsystemen kan påbörjas innan leverans av hårdvaran.

Kravspecifikationen användes som underlag för att begära offerter från några leverantörer. De olika PLC-systemen som rekommenderades ställdes mot varandra i en Pugh-matris som visas i tabell 5.2.

Tabell 5.2 Pugh-matris. Nyckel: "1" = Överträffar kraven, "0" = överensstämmer med kraven, "-1" = överensstämmer inte med kraven⁶.

Beslutsmatris							
Krav	Viktning	Leverantörer					
		ABB AC500- eCo	SCN CPU 015	Beijer Electronics ⁷ FX3U	Siemens ETH-200SP	Siemens S7-1200	Schneider Electric Modicon M241
72 st DI	1,0	1	1	1	1	1	1
40 st DO	1,0	1	1	1	1	1	1
Analog I/O	2,0	0	0	0	0	0	0
Kostnad	0,4	0	-1	-1	-1	0	1
Skärm-uttag	0,5	1	1	1	1	1	1
PC-Com	1,0	1	1	1	1	1	1
Mjukvara dl	0,5	0	0	0	0	0	0
Resultat		3,5	3,1	3,1	3,1	3,5	3,9

Beslutsmatrisen visar att alla system klarar kraven, det enda som skiljer dem åt i detta avseende är kostnaden som väger lätt. Eftersom Schneider Electrics Modicon M241 klarade kraven till lägst kostnad fick den högst slutpoäng men det som valdes till slut var Siemens S7-1200. Varför det är Siemens S7-1200 och inte Schneiders Modicon M241 som valdes som ersättare av det gamla systemet beror på anledningar utanför kravspecifikationen, se nedan.

Siemens är en av Europas största leverantörer av styrsystem, vilket betyder att de har bra support, leveranstid och programvara. De finns även med i sortimentet för en katalogdistributör som ansvariga på SP kan beställa från utan någon större administration. Inget av detta var med i funktionskraven men när alla alternativ klarar kraven måste värden utanför kravspecifikationen beaktas. Med andra ord så var det ställning på marknaden som avgjorde vilken leverantör som valdes.

5.4 Det gamla styrsystemet

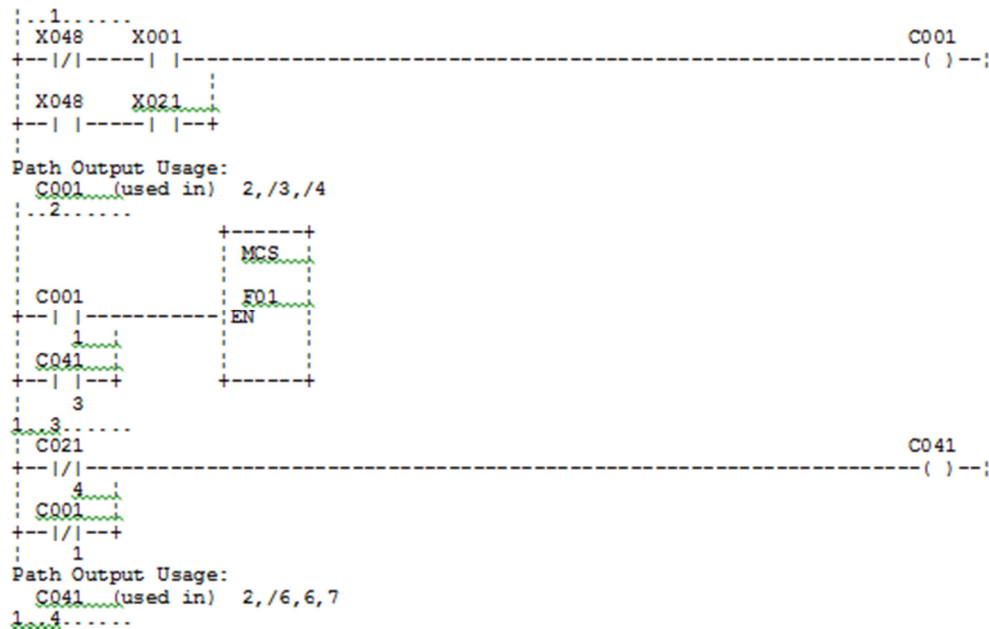
Det aktuella PLC-systemets fabrikat är "Sprecher + Schuh" och består av:

Antal	Typ	Modell	Kommentar
1 st	Processor	PCU-20	Även kallat Sestep 290
2 st	Spänningsomvandlare	PSU-20	230V AC - 24V DC
9 st	Inputmodul	IDD-22 24V DC	8 kanaler/modul, tot 72 st.
5 st	Outputmodul	ODR-21 Relay	8 kanaler/modul, tot 40 st.

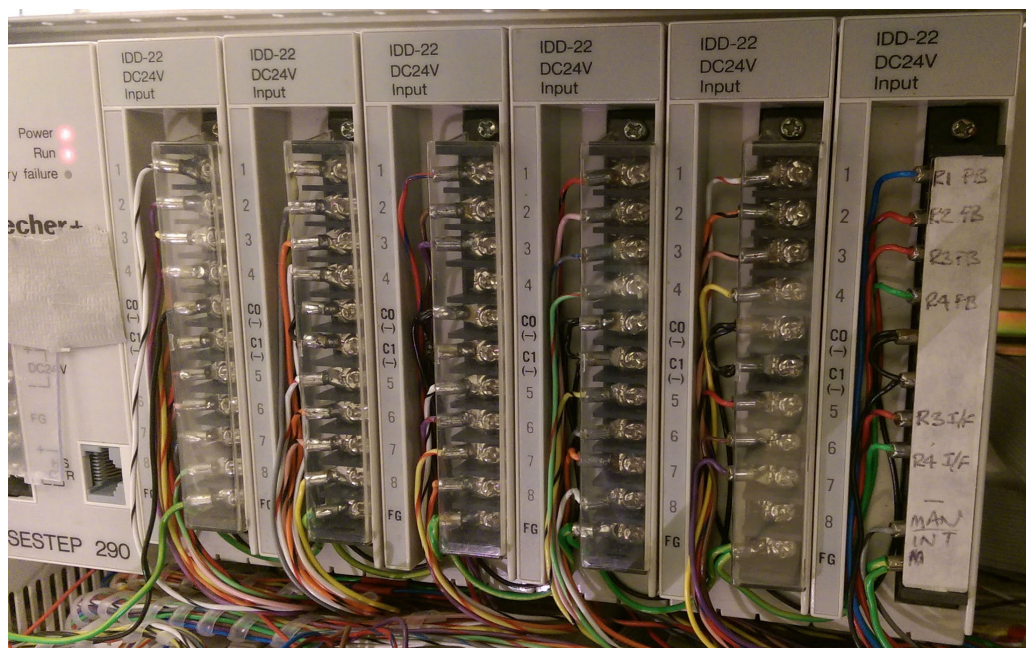
⁶ Kategorin för kostnad var aningen flytande i den mån, som tidigare nämnts, att ett maximalt belopp saknades. På grund av detta har kostnaden bedömts genom att ge "1" för system som kostar under 14500kr, "0" om priset är 15000 kr och "-1" om priset är över 15500kr.

⁷ Beijer Electronics är återförsäljare till Mitsubishis PLC-system

Språket som användes för att programmera systemet är Ladder-diagram. PLCn tillverkas inte längre och ingen support finns tillgänglig, det medför vissa svårigheter. Djupare kännedom om hårdvaran kan inte fås med enkla medel. Koden är svår att få fram ur PLCn på grund av att någon programvara för mjukvaran inte finns. Dock finns koden tillgänglig i textform i ett primitivt format vilket gör det svårt att följa.



Figur 13 Ladder-diagram, författarens egen bild.



Figur 14 Sex stycken inputmoduler och del av processor, författarens egen bild.

5.5 Det nya systemet

I korthet består det nya styrsystemet av:

Tabell 5.3 Översikt över det nya styrsystemet.

Siemens S7-1200			
Antal	Typ	Modell	Kommentar
1 st	CPU 1214C	S7-1200	Kompakt CPU
3 st	DO Relä	SM 1222	å 16 st 2A
4 st	DI	SM 1221	Sink/source å 16 st
1 st	CM	CM 1241	RS232-gränssnittsmodul
1 st	Nätton	PM 1207	in: 120/230VAC ut: 24VDC/2.5A
1 st licens	Mjukvara	Siemens TIA v13	Använt på operativsystemet windows 7. En skärm på 20" eller större rekommenderas.

S7-1200 CPU 1214C DC/DC/Relay är en kompakt PLC med 14 st inbyggda digitala ingångar, 2 st analoga ingångar och 10 st relä-utgångar. Program/dataminne på 75 kbyte, 4 Mbyte minne som är utbyggbart med SD-kort och kan utökas med totalt 12 moduler. Den kan programmeras i de vanliga standardspråken som LAD, FBD och ST, programmen kan även organiseras i Organisation Blocks, OB.

6 Programmeringen

Hur programmet är framtaget och skrivet behandlas i detta kapitel. För att få ett bra program är det hjälpsamt att ha en struktur. Därför delas arbetet med programmeringen upp i att stycka upp styrningen i mindre delar och beskriva vad dessa delar ska göra. För att göra programmet mer överskådligt skrivs så mycket som möjligt i egna funktioner.

6.1 Funktionsbeskrivning

I den här delen beskrivs hårdvarans funktion för att på så sätt erhålla en bättre bild över varje dels uppgift och hur de ska fungera.

6.1.1 MIMIC

När en knapp trycks ska donet som är kopplad till knappen reagera på ett önskat sätt. LED-lamporna lyser grönt när ventilerna är öppna, rött när de är stängda och gult när de är mellan två lägen. Förvakuumpumparnas LED lyser rött när de körs annars är lamporna precis som pumparna avstängda.

6.1.2 Ventiler

I vakuumsystemet finns det två benämningar på samma typ av ventil. Namnet är beroende på funktionen hos ventilen och var den sitter. Ventil A-J och O-P är isoleringsventiler och ventilerna K-N är säkerhetsventiler⁸. **Alla ventiler är normalt stängda.** Ventilerna A-J delar samma egenskaper med några undantag, därför beskrivs dessa ventilers funktion först allmänt och sedan preciseras olikheterna.

En ventils funktion är ganska rättfram. När den är öppen och den får en signal att stängas ska detta ske och vice versa. Om det är en soft close-ventil ska den stängas långsamt, annars snabbt. Vad som bestämmer om en ventil är soft close beror på vilket håll expansionen sker. Vanligtvis sker expansionerna från vänster till höger alltså från liten volym till stor. En omvänd expansion sker åt motsatt håll, alltså från höger till vänster men detta används inte idag.

6.1.2.1 Ventil A, C, E, G och I

Vid en *normal expansion* ska den stängas långsamt och öppnas normalt.

Vid en *omvänd körning* öppnas och stängs ventilen utan begränsning.

6.1.2.2 Ventil B, D, F, H och J

Vid *normal körning* öppnas och stängs ventilen utan begränsning.

Vid en *omvänd expansion* ska den stängas långsamt och öppnas normalt.

6.1.2.3 Ventil K, L, M och N

Ventil K kan öppnas endast då ventil A, B eller O är stängda och piranigivare A1 visar ett tryck under 30 Pa eller om turbopump 1 är avstängd. Annars ska ventilen vara stängd. Om detta villkor inte är uppfyllt ska en LED blinka rött två gånger. När villkoret är uppfyllt ska en grön LED blinka två gånger och K kan öppnas.

Innan ventil L kan öppnas ska villkoren för ventil K vara uppfyllda, dock ska piranigivare A2 vara under 30 Pa eller om ventil C eller D är stängda. Om detta villkor inte är uppfyllt ska en

⁸ Förtydligande: Alla ventiler är av samma typ och funktionalitet men har fått namn beroende av deras funktion i vakuumsystemet.

LED blinka rött två gånger för att indikera detta. När villkoret är uppfyllt ska en grön LED blinka två gånger och K kan öppnas.

För att öppna ventil M måste villkoren för ventil L vara uppfyllda, dock ska piranigivare B1 vara under 30 Pa eller att ventil E eller F är stängda. Om detta villkor inte är uppfyllt ska en LED blinka rött två gånger för att indikera detta. När villkoret är uppfyllt ska en grön LED blinka två gånger och K kan öppnas.

För att öppna ventil N måste villkoren för ventil M vara uppfyllda, dock ska piranigivare B2 vara under 30 Pa eller att ventil E eller F är stängda. Om detta villkor inte är uppfyllt ska en LED blinka rött två gånger för att indikera detta. När villkoret är uppfyllt ska en grön LED blinka två gånger och K kan öppnas.

6.1.3 Förvakuumpumpar

Dessa pumpar ska normalt alltid vara på och vid en omstart av PLC:n ska dessa sättas på. Annars kan de styras med en ON/OFF knapp på MIMIC.

6.1.4 Turbomolekylärpumpar

Turbopumparna är, precis som förvakuumpumparna, normalt alltid igång. Det enda sättet att styra pumparna är via varje individs kontrollpanel. D v s ingen programmering av pumparna kommer att ske dock så kan de leverera en signal då pumpen är igång.

6.1.5 Bakning

För att kunna baka vakuumsystemet behöver vissa säkerhetsåtgärder vidtas.

- Då det är ventilerna F-J och volymerna V4-V9 som bakas behöver ventil E vara stängd.
- Turbo 3, 4 och förvakuumpump R3 och R4 måste vara igång och pumpa systemet.
- IG 3 och 4 ska vara på
- Switchen "System safe/risk" ska vara aktiverad.
- Tryckluft och kylt vatten ska finnas.

När detta är gjort kan switchen "Oven Reset" aktiveras.

När IG 3 och 4 är igång kan switcharna "Ion gauges ON/OFF" och "Ion gauges Safe/Risk" aktiveras. När detta är gjort är alla villkor uppfyllda för att starta bakningen.

7 Resultat och diskussion

I denna avslutande del summeras arbetet till ett tydligt resultat och en diskussion görs över vad som kan förbättras för framtiden, vad som har hänt och varför.

7.1 Resultat

Syftet med att uppgradera styrsystemet var att det gamla inte tillverkades längre vilket gjorde att reservdelar eller support var svårt att få tag på. Det nya systemet skulle även framtidssäkras och med bibehållen funktionalitet. Ett sekundärt syfte var att automatisera styrsystemet.

Resultatet av 10 veckors arbete är att uppgraderingen fungerar och det primära målet är uppfyllt och har överträffats. Den gamla PLC:ns funktionalitet har bibehållits samtidigt som förbättringar har gjorts. Den nya PLC:n är mindre i storlek men med kraftfullare mjuk- och hårdvara samt förberedd med analoga ingångar. Förutom att PLC:n från Siemens uppfyllde alla hårdvarukrav finns det en stor flexibilitet i systemet då den är utbyggbar med många olika moduler. Siemens har funnits länge på marknaden och är en av Europas största leverantörer av styrsystem vilket medför en trygghet att produkten håller god kvalitet och att support kommer att vara tillgänglig under överskådlig tid. De mjukvarurelaterade förbättringar som gjorts är främst säkerhetsmässiga. Nu är det omöjligt att en turbomolekylärpump havererar på grund av att den knapp har blivit felaktigt nedtryckt, vilket är den främsta och viktigaste funktionella uppgraderingen. Om systemet är utsatt för atmosfärstryck eller om trycket i tillhörande vakuumkanare är över 30 Pa och en säkerhetsventil får en öppningsorder händer ingenting förutom att varningslampan "Fault" på bakningspanelen tänds. Det var först tänkt att lampan till ventilen skulle blinka men att tända Fault var en enklare lösning med samma effekt.

Det sekundära målet med att styrsystemet skulle vara autonomt via PLC:n förblir olöst då tiden inte räckte. Dock är det fullt möjligt att göra det via den tillhörande mjukvaran TIA v13.

Koden är i stort lättförstådd och med de kompletterande förklarande kommentarerna kan den appliceras i andra system. Det var också tanken från början då det finns mindre vakuumsystem på avdelningen Vakuum och Tryck som väntar på en uppdatering.

Med andra ord är de primära målen realiserade.

7.2 Diskussion

I och med valet av PLC-leverantör gjordes en kravspecifikation som var bristfällig då prestandan på de flesta PLC var likvärdiga och val av leverantör togs av orsaker utanför kravspecifikationen på styrsystemet. Dessa orsaker hade kunnat ingå i kravspecifikationen.

En önskan i programmet var att alla förvakuumpumpar skulle starta och ventilerna P-S skulle öppnas efter 20 sekunder vid en omstart av PLC:n t ex efter ett strömavbrott. Det gick framgångsrikt att få pumparna att fungera men så fort Start-Up OB gick in i en delay så avslutades blocket och programmet gick in i Main. På grund av tidsbrist fanns det dessvärre inte möjlighet att ta reda på varför detta skedde eller hur det gick att åtgärda. Men i stället för

att ta bort koden helt är den kvar men med en statisk öppen grind så att den delen förblir inaktiv.

En annan förbättring som kan göras i programvaran är att hela bakningsprocessen cyklas konstant i Main. Eftersom bakning sker ett fåtal gånger per år är detta onödigt och den delen skulle kunna läggas i en interrupt och därmed bara aktiveras när bakning är aktuellt.

Idag går all information från systempanelen via Mimic och sedan vidare till PLC:n, det är inte helt optimalt ty när t ex en ventil tappar strömförsörjning när den är öppen stängs ventilen utan att PLC:n vet att detta har skett. Det hade varit bättre om signalerna från SEA V hade gått direkt till PLC:n, då hade flera säkerhetsfunktioner kunnat implementeras.

De största svårigheterna och incidenterna som uppstod i arbetet var att tydlighet saknades, exempelvis stod det i manualen för en typ av ventil att den var normalt öppen, men i praktiken var den normalt stängd. De största händelserna under projektets gång var att två ventiler slutade fungera och att en kortslutning skedde när jordningskablarna lossnade i spänningsmatningsenheten då PLC:n skulle monteras i racket. Kortslutningen ledde till att några kablar blev brända och att plast smälte. Som tur är var detta bara estetiskt och funktionaliteten blev inte påverkad. Problemet med ventilerna betydde att hela systemet inte kunde köras "live" utan att de trasiga ventilerna behövde simuleras med hjälp av mjukvaran för att testa resterande delar av systemet. Eftersom allt annat fungerade som önskat och det är mer eller mindre likadan kod som styr alla ventiler drogs slutsatsen att även de trasiga ventilerna skulle fungera efter ett byte eller en reparation.

I efterhand har det framkommit att det finns en brist i säkerheten i systemet. Det som inte finns med i programmeringen men som är bra att åtgärda är att turbopumparnas säkerhetsventiler ska stängas om en turbopump stängs av, det vill säga om Turbo X OK = 0.

Om styrsystemet behöver byggas på fler skenor kommer en förlängningssladd behövas med produkt ID "6ES7290-6AA30-0XA0"⁹.

⁹ Detta är med för att det var onödigt svårt att hitta denna information.

Referenser

Litteratur

- [1] [<http://www.accessscience.com.proxy.lib.chalmers.se/SEArch?q=vacuum>]
- [2] [<http://www.accessscience.com.proxy.lib.chalmers.se/content/vacuum-pump/725800>]
- [3] J.M. Lafferty, *Foundations of Vacuum science and technology*, John Wiley & Sons, Inc, 1998.
- [4] Bolton, W.. (2009). Programmable Logic Controllers (5th Edition). Elsevier. Online version available at:
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPLCE0043/programmable-logic-controllers/programmable-logic-controllers>
- [5] Mitsubishi Electric, *MELSEC iQ-F-serien* [Online], url: <https://se3a.mitsubishielectric.com/fa/sv/products/cnt/plcf/items/local>
- [6] VIPA, *The compact control system* [Online], url: <http://www.vipa.com/en/products/control-systems/100v/>
- [7] <http://www.mcallister.com/vacuum2.html>
- Six Month Report, P.A. Carroll, Februari 2007
- [SEA V uncertainty budget]
- [8] Comparison of NPL High Vacuum Series Expansion Standards SEA II and SEA V (NMS project MA03101020). J Greenwood, Oktober 2001
- [9] SEA V Logbook Feb 89- sept 96, Fiona Redgrave, Bernard Waller, et al. Opublicerad
- [10] http://www.lesker.com/newweb/vacuum_pumps/vacuum_pumps_technicalnotes_1.cfm
- [11] http://www.lesker.com/newweb/gauges/gauges_technicalnotes_1.cfm?section=tech&init=skip

Figurer

- [1] Författare okänd, "SEA V uncertainty budget", år okänt. Opublicerat.
- [2] Mitsubishi Electric, "Q00JCPU (lo-res*)", 2015 [Elektronisk bild]; https://se3a.mitsubishielectric.com/fa/sv/mymitsubishi/material/sendfile?material_id=255&user_data=MTYxNTcw
- [3] Mitsubishi Electric Europe, "FX3U-16M assembly of 6 components (lo-res)", 2015 [Elektronisk bild]; https://se3a.mitsubishielectric.com/fa/sv/mymitsubishi/material/sendfile?material_id=35&user_data=MTYxNTcw

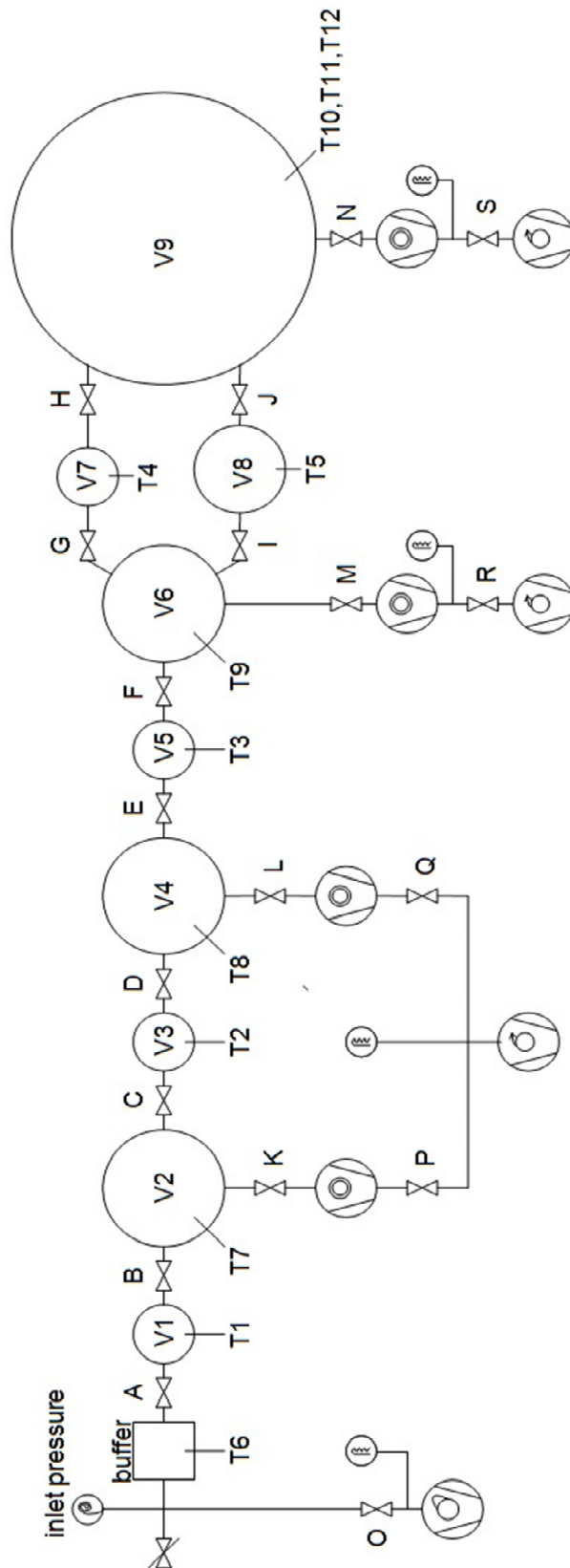
[4] Mitsubishi Electric Europe, (a) "iQ Works - GT Designer3 screen shot" (b) "GT1055", 2015 [Elektronisk bild]; <https://se3a.mitsubishielectric.com/fa/sv/mymitsubishi/material>

[5] activexperts.com, "fig-01.gif", 2015 [Elektronisk bild] <http://www.activexperts.com/serial-port-component/tutorials/pinout422/fig-01.gif>

[6] The free dictionary, "Figure 5. Diagram of a turbomolecular pump.", 2015 [Elektronisk bild] <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/vacuum+pump>

[7] Wikipedia.org, "Interior view of a turbomolecular pump", 2015 [Elektronisk bild]] https://en.wikipedia.org/wiki/Turbomolecular_pump

Appendix I: Bild över SEA V



Appendix II: Färg- och adressbeteckningar.

FÄRGSCHEMA ÖVER KOPPLINGSTRÅDARNA								
	VIOLET	BRUN	BLÅ	GRÅ	GRÖN	ORANGE	GUL	VIT
Input	%Ix.0	%Ix.1	%Ix.2	%Ix.3	%Ix.4	%Ix.5	%Ix.6	%Ix.7
Output	%Qx.0	%Qx.1	%Qx.2	%Qx.3	%Qx.4	%Qx.5	%Qx.6	%Qx.7

Ventiler		
	Inputs	Outputs
Namn	Adress ()	Adress
(Knapp till) Ventil A	%I0.0	%Q0.0
(Knapp till) Ventil B	%I0.1	%Q0.1
(Knapp till) Ventil C	%I0.2	%Q0.2
(Knapp till) Ventil D	%I0.3	%Q0.3
(Knapp till) Ventil E	%I0.4	%Q0.4
(Knapp till) Ventil F	%I0.5	%Q0.5
(Knapp till) Ventil G	%I0.6	%Q0.6
(Knapp till) Ventil H	%I0.7	%Q0.7
(Knapp till) Ventil I	%I1.0	%Q1.0
(Knapp till) Ventil J	%I1.1	%Q1.1
(Knapp till) Ventil K	%I1.2	%Q2.0
(Knapp till) Ventil L	%I1.3	%Q2.1
(Knapp till) Ventil M	%I1.4	%Q2.2
(Knapp till) Ventil N	%I1.5	%Q2.3
(Knapp till) Ventil O	%I2.0	%Q2.4
(Knapp till) Ventil P	%I2.1	%Q2.5
(Knapp till) Ventil Q	%I2.2	%Q2.6

(Knapp till) Ventil R	%I2.3	%Q2.7
(Knapp till) Ventil S	%I2.4	%Q3.0

Soft close Ventiler

Namn	Adress (Outputs)
Slut ventil A	%Q3.5
Slut ventil C	%Q3.6
Slut ventil E	%Q3.7
Slut ventil G	%Q4.0
Slut ventil I	%Q4.1

Pumpar

Namn	Adress (inputs)	Namn	Adress (Outputs)
Knapp till R1	%I3.0	Förvakuumpump R1	%Q3.1
Knapp till R2	%I3.1	Förvakuumpump R2	%Q3.2
Knapp till R3	%I3.2	Förvakuumpump R3	%Q3.3
Knapp till R4	%I3.3	Förvakuumpump R4	%Q3.4
Turbo 1 OK	%I3.4		
Turbo 2 OK	%I3.5		
Turbo 3 OK	%I3.6		
Turbo 4 OK	%I3.7		

Givare	
Namn	Adress (Inputs)
Pirani 1	%I4.0
Pirani 2	%I4.1
Pirani 3	%I4.2
Pirani 4	%I4.3
Balzers TPG 300 A1	%I4.4
Balzers TPG 300 A2	%I4.5
Balzers TPG 300 B1	%I4.6
Balzers TPG 300 B2	%I4.7

Bakning			
Namn	Adress (Inputs)	Namn	Adress (Outputs)
Chilled Water (Wall)	%I5.0	Oven control	%Q4.4
Chilled Water (Flow Detect)	%I5.1	IG On/Off Out	%Q4.5
System Safe/Risk	%I5.2	Fault	%Q4.6
Oven Reset	%I5.3	Oven Reset Check	%Q4.7
IG Safe/Risk	%I5.4		
IG On/Off	%I5.5		
Tryckluft	%I5.6		

Kommentar om adressförteckningen

- Ingången MAN/AUT på adress %I2.5 används inte men finns med på avgörande positioner i programmet. Den är tänkt att användas för val mellan manuell eller autonom körning.
- Inga interna register med adress %Mx.x är redovisade här. De finns i programvaran, är beskrivna och används enbart där.
- Alla adresser finns enkelt tillgängliga i programvaran.
- Totalt 42 ingångar och 32 utgångar.