



**LUND**  
UNIVERSITY

FACULTY OF ENGINEERING

Department of Mechanical Engineering

Division of Production and Materials Engineering

**Komplettering av äldre examensarbete publicerat 1986 för anpassning till ny  
examensordning**

---

## **Optimering av automatiseringsnivå**

**– En studie av olika parametrars påverkan  
på lönsamheten i flödesorienterad presslinje**

Sven Asking

Lund 2012-02-24

## Förord

Jag är tacksam för det stöd och den hjälp som jag fått genom professor Jan-Eric Ståhl och medarbetarna vid Institutionen för Maskinteknologi, avdelningen för Industriell Produktion vid LTH, att genomföra denna studie, vilket möjliggjort att jag kunnat avsluta mina studier och tagit ut min examen efter förhållandevis lång yrkesverksamhet inom området. Jag vill även tacka doktorand Per Gabrielson från avdelningen och Alfa Laval AB i Lund som genom besök och intervjuer gett viktig information och vägledning från en industriell tillämpning.

Lund 2012-02-24

Sven Asking

## Sammanfattning

Denna studie är genomförd i syfte att utröna hur automationsgraden utvecklas i förhållande till lönsamheten vid en långt driven automation. Genomfört arbete skall ses som ett komplement till mitt tidigare examensarbete författat 1986. Tillsammans med mina erfarenheter vunna under min yrkesutövning kan man även se utvecklingen i ett historiskt perspektiv där föreliggande studie ligger i framkant vad beträffar tillverkningsekonomisk modellering av högautomatiserade tillverkningsystem.

Den specifika tillämpning som valdes att studeras var ett tillverkningsystem i form av en presslinje vid Alfa Laval i Lund. Den automationsmetod som valts är att implementera hanteringsrobotar som förflyttar arbetsstycket mellan de olika förädlingsstationerna. Fem (5) olika konfigurationer med ökande antal robotar studeras. Olika faktorerers påverkan studeras. De ingående parametrarna påverkas i huvudsak positivt vad gäller kvalitet och kostnader, men negativt ur komplexitets – och känslighetssynpunkt av denna automation.

Slutsatsen är att en längre driven automation än den som åstadkoms här i det aktuella tillverkningsystemet, krävs för att visa var kurvan vänder upp, d v s när ytterligare automation inte längre är lönsam. För att åstadkomma detta krävs en ytterligare längre driven och mer diversifierad automation, vilken inte var aktuell i denna studie.

## Innehåll

<b>1. INTRODUKTION .....</b>	<b>1</b>
1.1 BAKGRUND.....	1
1.2 PROBLEMFÖRMULERING .....	1
1.3 SYFTE OCH MÅL.....	1
1.4 FOKUS OCH AVGRÄNSNINGAR.....	1
1.5 MÅLGRUPP.....	1
<b>2. FÖRSTUDIE .....</b>	<b>2</b>
2.1 ANTAGANDEN OCH BEDÖMNING .....	2
<b>3. PLANERING OCH TEORETISKA RAMAR .....</b>	<b>3</b>
3.1 PLANERING .....	3
3.2 TILLÄMPNING .....	3
3.3 TEORI OCH RAMAR.....	3
3.4 AUTOMATISERING.....	6
<b>4. UTFÖRANDE .....</b>	<b>7</b>
4.1 PLANERING .....	7
4.2 TILLÄMPNING .....	7
4.3 TEORI OCH RAMAR.....	7
4.4 AUTOMATISERING.....	7
<b>5. SLUTFÖRANDE.....</b>	<b>9</b>
5.1 RESULTAT AV STUDIEN .....	9
<b>6. SLUTSATSER.....</b>	<b>10</b>
6.1 SLUTSATSER AV STUDIEN .....	10
<b>7. REFERENSER .....</b>	<b>11</b>
7.1 ARTIKLAR.....	11
7.2 BÖCKER .....	11
7.3 ELECTRONISKA KÄLLOR.....	11
7.4 UNDERVISNING.....	11
7.5 MÖTEN.....	11
<b>APPENDIX I.....</b>	<b>I</b>
<b>APPENDIX II .....</b>	<b>I</b>



## 1. Introduktion

*Introduktionen syftar till att beskriva studien och förklara de bakomliggande orsakerna till den. Omfattningen och syftet kommer att förtydligas, liksom fokus och avgränsningar.*

### 1.1 Bakgrund

Det finns olika skäl till varför ett företag eller bransch önskar automatisera sin tillverkning av produkter. Det är vanligtvis vid tillverkning av identiska produkter i massvolym som fördelarna att automatisera blir mest uppenbara, men även när det krävs flexibilitet kan det finnas krav och fördelar att öka automationen. Ett av de viktigaste skälen att automatisera är att öka den tillgängliga kapaciteten. Ett annat kan vara miljö- eller hälsomässigt. Dessa nämnda behandlas dock inte i denna studie, utan här har fokus istället lagts på de kanske viktigaste lönsamhetsmässiga (lönsamhet = avkastning/ansvärt kapital) fördelarna och hur långt denna utveckling bör drivas. Det finns nämligen en ekonomisk gräns även vid tillgång till obegränsade resurser för hur långt, till vilken automationsgrad (omfattningen av förädlingen som har automatiserats på en given organisatorisk nivå), lönsamheten att automatisera ökar. Denna studeras närmare i här.

### 1.2 Problemformulering

Optimering av automationsnivå m a p detaljkostnaden. Hur påverkas den vid ökad automation?

Olika alternativa produktionsupplägg med ökande grad av automation studeras.

1. Beräkna maskin- och utrustningskostnader för respektive konfiguration
2. Beräkna automationsgraden  $x_{LoA}$  ( $x_{LoA} = (k_{CP}) / (k_{CP} + k_D)$ ) för de olika konfigurationerna
3. Hur påverkas lönsamheten, hur långt bör man automatisera?

### 1.3 Syfte och mål

Syftet med denna studie är att i en specifik tillämpning, en presslinje vid Alfa Laval i Lund, se till vilken automationsgrad lönsamheten slutar att öka och av detta även kunna dra generella slutsatser. Målet är att bidra till ny kunskap inom detta område.

### 1.4 Fokus och avgränsningar

Fokus och avgränsning i denna studie är de aktuella förhållandena i ett typiskt tillverkningsavsnitt och sambanden mellan automationsgrad och lönsamhet. Av detta är förhoppningen att även kunna dra generella slutsatser om hur man bör förhålla sig i olika applicerbara valsituationer.

### 1.5 Målgrupp

Målgruppen för studien är primärt Institutionen för Maskinteknologi, avdelningen för Industriell Produktion, vid LTH och Alfa Laval AB, men även den i allmänhet tekniskt och ekonomiskt intresserade investeraren kan förhoppningsvis dra några nyttiga slutsatser från det redovisade materialet.

## 2. Förstudie

---

*En förstudie är en preliminär studie i de absoluta första skeendena av ett projekt. Förstudien ska svara på om uppdraget eller projektet går att genomföra, om tid och kostnader för att genomföra projektet är i linje med de förväntade intäkterna. Resultatet av en förstudie är oftast en påbörjad utredning/planeringsfas, nedläggning eller återremitterad förstudie.*

---

### 2.1 Antaganden och bedömning

Antagandet som är grunden för denna studie är att kurvan för lönsamheten (egentligen förädlingskostnaden per detalj) som en funktion av automationsgraden, planar ut och ökar vid en given automationsgrad.

Frågor som bör ställas och författarens svar efter egen bedömning:

- Finns vetenskaplig teori i ämnet som är tillämpbar?  
*Ja, genom forskning vid bl a LTH, J-E Ståhl. Publicerad litteratur och MathCAD.*
- Finns lämplig applikation att projicera teorierna för att komma till en lösning?  
*Ja, inte så svårt hitta tillämpningar där man planerar automation och där man redan genomfört. T ex Alfa Laval i Lund, där enligt uppgift f ö doktorand Per Gabrielson skulle kunna var handledare.*
- Finns förutsättningar att komma fram till resultat?  
*Ja, med ovanstående uppfyllda förutsättningar.*
- Finns tillgänglig tid och resurser?  
*Ja.*
- Bör projektet startas eller läggas ned?  
*Projektet bör startas.*

Var bör vetenskaplig grund och teori hämtas? Denna grund bör inhämtas från tillgänglig forskning och litteratur för att få fram så bra och objektiva svar på alla de vägval och frågeställningar som uppkommer. Automation, optimering och tillverkningsindustri är nyckelord i sökningen av befintlig kunskap.

Hur ser förhållandena ut vid en aktuell tillämpning? Alfa Laval i Lund med dess sk kanalplattelinje har valts som tillämpningsobjekt. Vilken automatisering är aktuell? I det här fallet har man siktat in sig på hanteringsrobotar och konsekvenser vid en eventuell implementering.

### 3. Planering och teoretiska ramar

---

*Planeringen och den teoretiska ramen består i att beskriva utgångsläget och att införa läsaren till teorin, vilket kommer att vara av betydelse för studien. Planeringen och den teoretiska ramen kommer att stödja förverkligandet av de empiriska studierna och också påverkar analysen och slutsatserna i slutet av studien.*

---

#### 3.1 Planering

Den aktuella studien går till så att en aktuell applikation väljs för att studera hur den föreslagna automationen skulle få för effekter specifikt, men också vilka generella slutsatser som kan dras. Parallellt med detta studeras den vetenskapliga teori som finns på området och vilka ramar den ger. Automatisering och de specifika samband som studien av automationsgraden  $x_{LoA}$  ger tas upp. I detta avsnitt beskrivs detta närmare nedan.

#### 3.2 Tillämpning

Som tillämpningsobjekt väljs en flödesorienterad tillverkningslinje; en sk kanalplattelinje vid Alfa Laval AB i Lund. Här finns ett antal förädlingsstationer i form av pressar och svetsautomater uppställda i en flödeslinje. Produktionsarbetet är organiserat i flödesgrupper.

Genom att investera i hanteringsrobotar mellan förädlingsstationerna skulle en ökande grad av automation kunna uppnås och detta studeras här närmare. För att få en god bild av de lokala förhållandena och förutsättningar för studien planeras besök och intervjuer med företrädare för företaget.

#### 3.3 Teori och ramar

Det finns förstås en stor mängd tillämpningar av olika långt driven automation inom tillverkningsindustrin. Denna är till största delen driven av jakten på ekonomisk vinning i en globaliserad värld präglad av hård konkurrens.

Teoretiska resonemang som används i studien har hämtats från Industriella tillverkningsystem<sup>1</sup> från vilken följande specifika teorier kan appliceras och ger ramar här.

- Området industriell produktion är tvärvetenskapligt. Produktionsvärde och produktionsvärdeanalys är viktiga begrepp som indirekt är kopplade till de faktorer som analyseras. De tillverkningsmetoder, processer med givna resultat, processdata och producerbarhet, som används är klippande bearbetning, pressning och lasersvetsning. Redan Henry Ford introducerade flödestänkande och korta ledtider vilka präglar den aktuella applikationen. Eliminering av buffertar kopplar ihop processer som tidigare varit frikopplade från varandra. Batchvis förädling inom verkstadsindustrin (tillverkningsindustrin) är den produktionsteknik som den aktuella produktionsapplikationen förknippas med. Det rör sig här om egna produkter och egen tillverkning till 100%.
- Tillverkningen är organiserad som en produktverkstad och där tillverkas endast en typ av produkt, plattvärmeväxlare för industriella applikationer. Produkten är

<sup>1</sup> Ståhl, J-E. (2010): Industriella tillverkningsystem del II, LU, andra upplagan, Lund

moduluppbyggd (ett modulkoncept bygger på att gränssnittet mellan de olika modulerna är standardiserat) och modulen för värmeöverföring är den som tillverkas i den aktuella flödesgruppen. Fördelarna med denna organisering är bl a; ökad flexibilitet och mindre störningskänslig, plattare arbetsorganisation, personalen ges fullt ansvar för produktionssäkerheten, bredare personalkompetens och ökad samhörighetskänsla. Det finns både för- och nackdelar med olika former av produktionstyper och layouter. Produktionstyper; enstycksstillverkning, serie-/batchtillverkning och masstillverkning (kontinuerlig masstillverkning). Den aktuella applikationen är batchtillverkning som lämpar sig för de många verktygsvarianterna och relativt kort ledtid. Layouter; produktorienterad layout, funktionellt orienterad layout och flödesorienterad layout (transferlinje), som i den aktuella applikationen. Genomloppstiden för en batch är kort. PIA, produkter i arbete, är lågt. Störningskänsligheten är hög. Kapacitetsutnyttjandet och planeringsbehovet är relativt lågt. Möjligheterna att automatisera genom hanteringsrobotar som binder ihop de olika förädlingsstationerna är goda. Motiven att ordna förädlingen i flödeslinjer är att öka produktionstakten (minska transportavstånden), minska genomloppstiden (PIA) och att det administrativa arbetet med planering. Linjen är taktad och arbetsstycket förflyttas med konstant takt styrd av den långsammaste förädlingsstationen. Personalen som är organiserad i flödesgrupper tar ansvaret för hela flödet. Med ökad automatisering övergår flödeslinjen från asynkron, d v s arbetsstycket förflyttas inte i jämn takt genom hela flödet och buffertar förekommer, till synkron, d v s alla detaljer förflyttas samtidigt (gemensam takt) genom linjen.

- Kapacitet och kostnad. Cykeltiden  $t_0$  är den nominella förädlingstiden för en detalj. Denna kan delas upp i flera olika delar från maskintid till ren spiltid. Den s k lean triangeln beskriver den lämpliga prioritetsordningen då totaleffektiviteten  $E_q$  är målfunktion. Produktivitet och tillgänglighet är närbesläktade begrepp.
- Uppbyggnad av förädlingsstationer. Vid uppbyggnad av en produktionslinje måste vissa restriktioner tas i beaktande beroende på i vilken ordning de olika förädlingarna måste utföras. Dessa benämns precedensvillkor. Olika metoder kan tillämpas för att konfigurera stationer, t ex att gruppera de tillåtna momenten som tar längst tid i en så tidig station som möjligt i linjen.
- Störningsanalys, med vilken intensitet störningar uppkommer och hur störningarna är statistiskt fördelade är speciellt viktig att ta hänsyn till vid produktion med begränsad bemanning (PBB). Buffertar är viktigast att ha vid den långsammaste stationen, den trånga sektorn.
- Systematisk produktionsanalys, SPA, skall beskriva och avspegla verkliga produktionsförhållanden och bl a utgöra beräkningsunderlag för att bestämma förlusttermerna kassationsandelen  $q_Q$ , stilleståndsandelen  $q_s$  och taktförlusten  $q_p$ . Produktionssäkerhetsbegreppet innefattar process- eller resultatparametrarna produktionstakt, kassationer och stillestånd, vilka i sin tur påverkar detaljkostnaden. Det gäller att hitta en balans mellan dessa som ger rätt kvalitet, rätt tid och rätt tillverkningskostnad. Genom att använda Produktionssäkerhetsmatrisen, PSM, får man ett praktiskt verktyg som knyter samman begreppen. Förutom detta arbetssätt finns även andra som t ex ”Five Why” (5Y), ”Ichikawa” och ”Pareto”.

- Deterministisk produktionsutveckling, är deterministisk (förutbestämd) och målstyrd (till skillnad mot s k ständiga förbättringar). Modellen utgör grunden för tillverkningsekonomisk simulering som möjliggör ekonomisk analys av olika utvecklingsinsatser och scenarier, t ex införande av ny teknologi och tekniksprång. Strategier för produktionsutveckling primärt baserad på påverkan av enskilda faktorer knutna till produktionssäkerhetsmatrisen kan t ex vara reduktion av tillverkningskostnaden, reducerad ställtid, ökad produktionstakt eller förbättrade tillverkningsstoleranser. Rationalisering m a p produktionsresurserna innebär en planmässig och praktisk procedur för effektivare utnyttjande och för att åstadkomma detta används i stor utsträckning automatisering. För en modulariserad produkt som kräver flexibilitet att kunna ställa om för olika detaljer är s k programmerbar automation lämplig. Det finns många skäl till varför ett företag vill öka automatiseringen, bl a öka produktionseffektiviteten, reducera ledtider, förbättra arbetsmiljön, förbättra materialutnyttjandet, höja produktkvaliteten, reducera arbetskostnaderna, minska beroende av yrkeskunskaper, minska PIA och andra ekonomiska orsaker. Optimal automationsnivå m a p detaljkostnaden pv (kr/h) kan matematiskt beskrivas,  $pv = (60/t_p) * (fv - k)$ . Genom att maximera pv m a p automationsnivå erhålls det maximala utbytet av förädlingen. Strategier för produktionsutveckling kan förutom de ekonomiska sambanden också knytas till olika verkstadstekniska förädlingsmetoder, vilket brukar benämnas faktorgruppsbaserad produktionsutveckling.
- Fortlöpande produktionsutveckling, ständiga förbättringar. Detta är ett område med ett flertal olika grenar. S k Lean Manufacturing (ingående i Lean Production som även innehåller produktutveckling och företagets externa intressenter) är en huvudgren som bl a innehåller JIT, Stockless Production, Toyodism e t c). S k Six Sigma är en förbättringsmetod som bygger på strävan efter att minska variationerna i produktionen, vilket i sin tur leder till bättre processkontroll. Exempel på andra verktyg för produktionsutveckling är DFMA, QFD, FMEA, Kanban, TPM, 5S, Pareto, SPC, QC, TQC, grupptechnologi, Kaizen, 5Y e t c).
- Simulering av tillverkningsystem. Genom simulering kan man förutse resultatparametrarnas uppträdande, vilket bör vara en naturlig del av varje företags verksamhet. För att simulera krävs att man gör en dynamisk modell av sitt tillverkningsystem, vilket också kan leda till en bättre förståelse för den egna situationen och hur den kan utvecklas. Bl a bilindustrin har kommit långt inom detta område, inte minst p g a den hårdnande globala konkurrensen.
- Hållbar utveckling kommer att bli en allt viktigare del av utvecklingen av produkter och tillverkningsystem. Utvecklingen drivs av både lagstiftning och konsumenternas (och producenternas) direkta krav. Även Miljö- och kretsloppsparametrar MK tas med som en resultatparameter i resultatet för en tillverkningsmetod. Resursutnyttjande (t ex energi och råvaror) och planering för återvinning blir viktiga faktorer att beakta.
- Produktionsanpassad produktutveckling är en väsentlig del av s k integrerad produktutveckling. Viktiga tillverkningsekonomiska frågeställningar, ofta produkt- och företagsunika, bör ställas vid samverkan mellan konstruktions- och

produktionsfunktionerna i företaget. Här kan koncepten med modularisering av produkten, grupp teknologi och flödesgrupper ses som en konsekvens av denna samverkan.

- Utlokaliserad produktion, s k outsourcing, är en del av den globalisering som blivit en konsekvens av lägre transportkostnader och enklare och snabbare kommunikationer. Huvudanledningar till varför man förlägger produktion utanför hemmamarknaden är lägre produktionskostnader, ökad närvaro på nya marknader med ökade intäkter och juridiska eller avtalsmässiga skäl. För att lyckas med detta krävs ett ännu större fokus på kontroll över produkternas kvalitet.

### 3.4 Automatisering

Genom hanteringsrobotar som hanterar och förflyttar materialet mellan förädlingsstationerna kan en automatisering av tillverkningslinan åstadkommas. Här studeras flera olika fall med en ökande automation och ett ökande antal robotar installerade.

Syftet med studien är att klarlägga i vilken utsträckning och hur långt denna automatisering är lönsam och vilka generella slutsatser som kan dras. Mätetalet är automationsgrad  $x_{LoA}$ , som är kvoten mellan maskintimkostnaden och summan av maskintimkostanden och lönekostnaden ( $x_{LoA} = (k_{CP}) / (k_{CP} + k_D)$ ) för varje tillverkningslinjekonfiguration.

De parametrar som man påverkar när man som i detta fall investerar i automatisering är i huvudsak nedanstående.

1. Nominell cykeltid per detalj,  $t_0$  (min)
2. Andel kassationer,  $q_Q$
3. Andel produktionsstillestånd,  $q_S$
4. Materialspill,  $q_B$
5. Ställtid per detalj,  $T_{su}$  (min)
6. Lönekostnad,  $K_D$  (kr/h)
7. Maskintimkostnad under produktion,  $K_{CP}$  (kr/h)
8. Maskintimkostnad under stillestånd,  $K_{CS}$  (kr/h)



## 4. Utförande

---

*De empiriska studierna har samma struktur och rubriker som planering och teoretisk ram, i syfte att förenkla för läsarna av denna rapport. Den empiriska studien består huvudsakligen av data och information från intervjuer på Alfa Laval. Detta tillsammans med den teoretiska ramen utgör grunden för analys och slutsats i slutet av studien.*

---

### 4.1 Planering

För att få en god bild av de lokala förhållandena och förutsättningar för studien har besök och intervjuer med företrädare för företaget genomförts.

### 4.2 Tillämpning

Alfa Lavals affärsidé är att leverera komponenter till plattvärmeväxlare inom ett definierat sortiment med rätt kvalitet, till ett konkurrenskraftigt pris och enligt överenskomna leveranstider. Produktionen i Lund är organiserad i två enheter; Supply Unit (SU) där all montering av värmeväxlare sker och Component Unit (CU) som tillverkar och försörjer SU och direktkunder med komponenter. Presslinjen tillverkar kanalplattor till plattvärmeväxlare. Personalkulturen präglas av öppenhet och tydlighet, regelbunden information, tillvaratagande av personalens kreativitet, befrämjande av personalutveckling och att nå företagets mål och uppfylla kunders krav och behov. Man arbetar i olika skiftformer (Intermittent 3-skift och 2-skift) för att uppfylla verksamhetens mål med fokus på gruppens utveckling och medarbetarnas kompetens. Detta arbete sker genom den dagliga styrningen via Cell Status Board möten och genom att upprätta och utveckla ett standardiserat arbetsätt (SOP). Uppsatta mål för utrustningars effektivitet (OEE) mäts löpande. De förbättringsverktyg som används är MES (tillverkningskontroll), 5S, STF, Six Sigma och AviX (analysredskap för produktionsprocesser)

Det studerade tillverkningsystemet, den s k kanalplattelinjen (CU) vid Alfa Laval AB i Lund, är en presslinje med en serie hydraulpressar uppställda i en flödeslinje med tillhörande svetsstation. Här används bl a tillverkningsmetoderna klippande bearbetning, plastisk bearbetning, alkalisk tvättning och lasersvetsning. Ljuslåda används för upptäckt av eventuella defekter och sprickor efter mönsterpressningen och som sista operation i systemet provtrycks de svetsade plattparen (kassetter) för täthetskontroll (till svetsning och provtryckning går endast en mindre del av produktionen, huvuddelen plattor är avsedda att monteras direkt i plattvärmeväxlaren med tätningar av huvudsak olika gummikvaliteter). En principskiss av den aktuella tillverkningslinjen visas i Appendix I.

### 4.3 Teori och ramar

Den teori och ramar som beskrivits tillämpas här i begränsad omfattning, men ger en bred bas som stöd att utgå ifrån.

### 4.4 Automatisering

Här görs beräkningar av automationsgraden  $x_{LoA}$  vid flera olika konfigurationer (1 – 5) med en ökande automation och ett ökande antal hanteringsrobotar installerade, se Appendix II. Robotarna tar här i ökande grad över de hanteringsuppgifter som idag sköts av mänskliga operatörer i flödesgruppen. De indata som används har diskuterats med företagets företrädare och bedömts som rimliga för denna typ av tillverkningslinje, men gör inte anspråk på att vara de

verkliga. Den tekniska komplexiteten och andra källor till utmaningar i denna hypotetiska studie har här inte närmare undersökts.

Parametrarna bedöms utvecklas enligt följande.

1. Nominell cykeltid per detalj  $t_0$  minskar när automatiseringen ökar. I detta fallet i så stor grad eftersom en så stor del av tiden i ursprungsfallet utgörs av väntetid i buffertar och hanteringstid mellan arbetsstationerna, vilken påverkas väsentligt
2. Andel kassationer  $q_Q$  ökar inledningsvis p g a personalminskningen och avsaknad av effektiva produktionstekniska anpassningar, men när dessa väl trimmats in sjunker andelen kassationer till en lägre nivå med jämnare kvalitet än i ursprungsfallet
3. Andel produktionsstillestånd  $q_S$  ökar eftersom störningskänsligheten ökar med ökad komplexitet. Effekten av detta kan reduceras m h a buffertar
4. Materialspill,  $q_B$  ökar inledningsvis p g a avsaknaden av effektiva produktionstekniska anpassningar, men när dessa väl trimmats in sjunker andelen kassationer till en lägre nivå jämnare kvalitet än i ursprungsfallet
5. Ställtid per detalj,  $T_{su}$  (min) ökar med den ökade komplexiteten
6. Lönekostnad,  $K_D$  (kr/h) minskar med lägre bemanning trots krav på högre kompetens
7. Maskintimkostnad under produktion,  $K_{CP}$  (kr/h) ökar med ökade investeringar i automatisering, men minskar delvis samtidigt också med ökande utnyttjande (t ex fler skift)
8. Maskintimkostnad under stillestånd,  $K_{CS}$  (kr/h) påverkas på motsvarande sätt som  $K_{CP}$  i detta avseende



## 5. Slutförande

---

*I denna del diskuteras teoretiska ramverk och empiriska studier.*

---

### 5.1 Resultat av studien

Resultatet av studien visar att automationsgrad  $x_{LoA}$  ökar för varje tillkommande automatisering med ytterligare hanteringsrobotar. Något fall där kurvan tycks vända (funktionens derivata noll) kan ej observeras i det aktuella intervallet.

Det framkommer också att, baserat på aktuell data, den initiala automatiseringen i konfiguration 2 och 3 inte är lönsamma, men att konfigurationerna 4 och 5 är det.

## 6. Slutsatser

---

*I denna del drar och sammanställs slutsatser från analysen i slutförandet.*

---

### 6.1 Slutsatser av studien

Slutsatsen är att en längre driven automation än den som åstadkoms här i det aktuella tillverkningssystemet, krävs för att visa var kurvan vänder upp, d v s när ytterligare automation inte längre är lönsam.

De ingående parametrarna påverkas i huvudsak positivt vad gäller kvalitet och kostnader, men negativt ur komplexitets – och känslighetssynpunkt av denna automation.

## 7. Referenser

---

*Detta kapitel omfattar referenser från artiklar, böcker, elektroniska källor, undervisning och möten*

---

### 7.1 Artiklar

-

### 7.2 Böcker

Ståhl, J-E. (2010): Industriella tillverkningssystem del II, LU, andra upplagan, Lund

### 7.3 Elektroniska källor

Alfa Laval, [www.alfalaval.com](http://www.alfalaval.com) (2012-02-24)

Permanova Lasersystem, [www.permanova.com](http://www.permanova.com) (2012-02-24)

### 7.4 Undervisning

Industriella tillverkningssystem del II, kurs, LTH (VT 2010)

### 7.5 Möten

Gabrielson, P., doktorand vid avdelningen för Industriell Produktion, Institutionen för Maskinteknologi vid LTH och ansvarig för produktionsutveckling vid Alfa Laval AB i Lund (2010, 2011)

## **Appendix I**

Appendix I, Kanalplattelinje (flödesorienterad), utgångskonfiguration

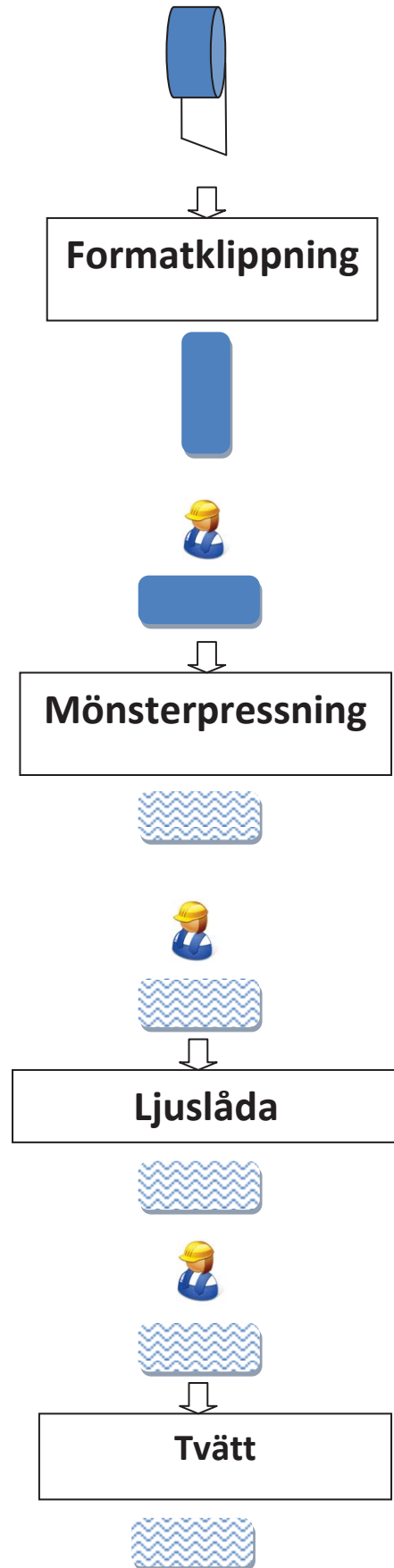
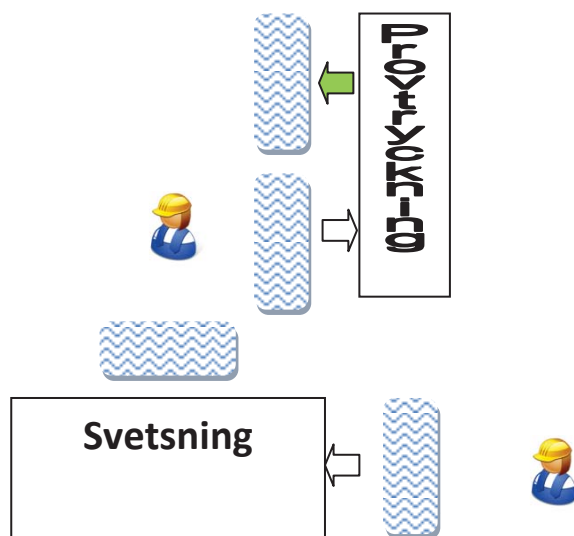
## **Appendix II**

Appendix II, Kanalplattelinje (flödesorienterad) - beräkning av Automationsgrad (konfig. 1 - 5), excelark, 1 av 2

Appendix II, Kanalplattelinje (flödesorienterad) - beräkning av Automationsgrad (konfig. 1 - 5), diagram, 2 av 2

## Appendix I, kanalplattelinje

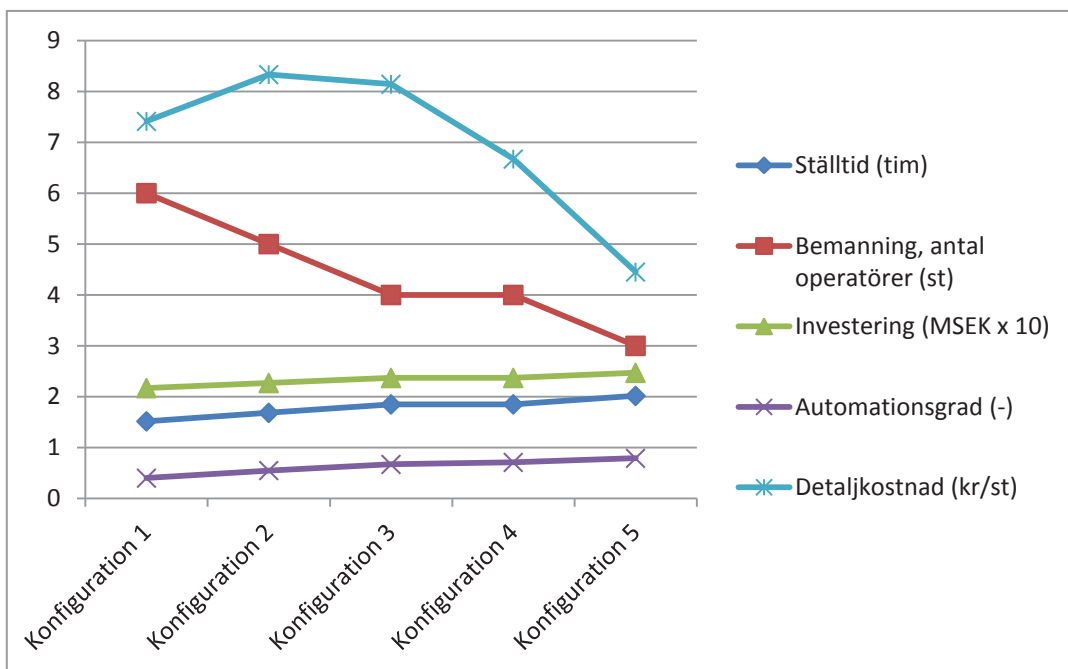
Detta är en principskiss av det studerade tillverkningssystemet, den s k kanalplattelinjen (Component Unit) vid Alfa Laval AB i Lund, som är en presslinje med en serie hydraulpressar uppställda i en flödeslinje med tillhörande svetsstation. Här används bl a tillverkningsmetoderna klippande bearbetning (formatklippning), plastisk bearbetning (mönsterpressning), alkalisk tvättning och lasersvetsning. Ljuslåda används för upptäckt av eventuella defekter och sprickor efter mönsterpressningen. och som sista operation i systemet provtrycks de svetsade plattparen för täthetskontroll (till svetsning och provtryckning går endast en mindre del av produktionen, huvuddelen plattor är avsedda att monteras direkt i plattvärmväxlaren med tätningar av olika gummikvaliteter).



SA, 2012-02-24														
Appendix II, Kanalplattelinje (flödesorienterad) - beräkning av Automationsgrad (konfig. 1 - 5)												1/2		
Konfiguration 1														
Ingen automatiserad hanteringsutrustning mellan arbetsstationerna														
#	Arbetsstation	Ställtid (min)	Bemanning	Investering	Maskin- och utr.kostnad / h, Kcp	Personalkostnad, Kd	Autom.grad, XLoa	t0	qQ	qS	qB	Tsu	kCS	k
1,0	Formatklippning av plåt	5	1	3 000 000 kr										
2,0	Mönsterpressning	30	1	10 000 000 kr										
3,0	Ljuslåda	3	1	200 000 kr										
4,0	Tvätt	5	1	2 000 000 kr										
5,0	Förmontering	15	1	1 000 000 kr										
6,0	Svetsning	25	0,5	5 000 000 kr										
7,0	Tryckprovning	8	0,5	500 000 kr										
	<b>Total:</b>	<b>91</b>	<b>6</b>	<b>21 700 000 kr</b>	<b>1 000 kr</b>	<b>1 500 kr</b>	<b>0,40</b>	<b>40</b>	<b>0,01</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>30</b>	<b>900 kr</b>	<b>7,41 kr</b>
Konfiguration 2														
Automatiserad hanteringsutrustning mellan arbetsstationerna 1 och 2														
#	Arbetsstation	Ställtid (min)	Bemanning	Investering	Maskin- och utr.kostnad / h, Kcp	Personalkostnad, Kd	Autom.grad, XLoa	t0	qQ	qS	qB	Tsu	kCS	k
1,0	Formatklippning av plåt	5	0,5	3 000 000 kr										
1,5	Hanteringsrobot	10	0	1 000 000 kr										
2,0	Mönsterpressning	30	0,5	10 000 000 kr										
3,0	Ljuslåda	3	1	200 000 kr										
4,0	Tvätt	5	1	2 000 000 kr										
5,0	Förmontering	15	1	1 000 000 kr										
6,0	Svetsning	25	0,5	5 000 000 kr										
7,0	Tryckprovning	8	0,5	500 000 kr										
	<b>Total:</b>	<b>101</b>	<b>5</b>	<b>22 700 000 kr</b>	<b>1 500 kr</b>	<b>1 250 kr</b>	<b>0,55</b>	<b>30</b>	<b>0,03</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>60</b>	<b>1 350 kr</b>	<b>8,33 kr</b>
Konfiguration 3														
Automatiserad hanteringsutrustning mellan arbetsstationerna 1, 2 och 3														
#	Arbetsstation	Ställtid (min)	Bemanning	Investering	Maskin- och utr.kostnad / h, Kcp	Personalkostnad, Kd	Autom.grad, XLoa	t0	qQ	qS	qB	Tsu	kCS	k
1,0	Formatklippning av plåt	5	0,5	3 000 000 kr										
1,5	Hanteringsrobot	10	0	1 000 000 kr										
2,0	Mönsterpressning	30	0	10 000 000 kr										
2,5	Hanteringsrobot	10	0	1 000 000 kr										
3,0	Ljuslåda	3	0,5	200 000 kr										
4,0	Tvätt	5	1	2 000 000 kr										
5,0	Förmontering	15	1	1 000 000 kr										
6,0	Svetsning	25	0,5	5 000 000 kr										
7,0	Tryckprovning	8	0,5	500 000 kr										
	<b>Total:</b>	<b>111</b>	<b>4</b>	<b>23 700 000 kr</b>	<b>2 200 kr</b>	<b>1 100 kr</b>	<b>0,67</b>	<b>20</b>	<b>0,03</b>	<b>0,2</b>	<b>0,05</b>	<b>80</b>	<b>1 980 kr</b>	<b>8,15 kr</b>
Konfiguration 4														
Automatiserad hanteringsutrustning mellan arbetsstationerna 1, 2, 3 och 4														
#	Arbetsstation	Ställtid (min)	Bemanning	Investering	Maskin- och utr.kostnad / h, Kcp	Personalkostnad, Kd	Autom.grad, XLoa	t0	qQ	qS	qB	Tsu	kCS	k
1,0	Formatklippning av plåt	5	0,5	3 000 000 kr										
1,5	Hanteringsrobot	10	0	1 000 000 kr										
2,0	Mönsterpressning	30	0	10 000 000 kr										
2,5	Hanteringsrobot	10	0	1 000 000 kr										
3,0	Ljuslåda	3	0,5	200 000 kr										
4,0	Tvätt	5	1	2 000 000 kr										
5,0	Förmontering	15	1	1 000 000 kr										
6,0	Svetsning	25	0,5	5 000 000 kr										
7,0	Tryckprovning	8	0,5	500 000 kr										
	<b>Total:</b>	<b>111</b>	<b>4</b>	<b>23 700 000 kr</b>	<b>3 000 kr</b>	<b>1 200 kr</b>	<b>0,71</b>	<b>12</b>	<b>0,02</b>	<b>0,25</b>	<b>0,05</b>	<b>120</b>	<b>2 700 kr</b>	<b>6,67 kr</b>
Konfiguration 5														
Automatiserad hanteringsutrustning mellan arbetsstationerna 1, 2, 3, 4 och 5														
#	Arbetsstation	Ställtid (min)	Bemanning	Investering	Maskin- och utr.kostnad / h, Kcp	Personalkostnad, Kd	Autom.grad, XLoa	t0	qQ	qS	qB	Tsu	kCS	k
1,0	Formatklippning av plåt	5	0,5	3 000 000 kr										
1,5	Hanteringsrobot	10	0	1 000 000 kr										
2,0	Mönsterpressning	30	0	10 000 000 kr										
2,5	Hanteringsrobot	10	0	1 000 000 kr										
3,0	Ljuslåda	3	0	200 000 kr										
3,5	Hanteringsrobot	10	0	1 000 000 kr										
4,0	Tvätt	5	0,5	2 000 000 kr										
5,0	Förmontering	15	1	1 000 000 kr										
6,0	Svetsning	25	0,5	5 000 000 kr										
7,0	Tryckprovning	8	0,5	500 000 kr										
	<b>Total:</b>	<b>121</b>	<b>3,00</b>	<b>24 700 000 kr</b>	<b>4 000 kr</b>	<b>1 050 kr</b>	<b>0,79</b>	<b>6</b>	<b>0,02</b>	<b>0,3</b>	<b>0,05</b>	<b>160</b>	<b>3 600 kr</b>	<b>4,44 kr</b>

**Appendix II, Kanalplattelinje (flödesorienterad) - beräkning av Automationsgrad (konfig. 1 - 5), 2 av 2**

Nedan redovisas hur automationsgraden och övriga väsentliga variabler utvecklas med ökande grad av automatisering m h a hanteringsrobotar mellan förädlingsstationerna. Konfiguration 1 representerar en flödeslinje utan robotar mellan stationerna.





Mathcad fil för simulering av optimal  
automationsgrad

Sven Asking

och

Jan-Eric Ståhl

Lunds universitet

version 2012-02-15

## Grund fil för Simulering av optimal automationsgrad

$x_{LoA}$ [-]	$t_0$ [min]	$q_Q$ [-]	$q_S$ [-]	$q_B$ [-]	$T_{su}$ [min]	$K_D$ [Kr/h]	$K_{CP}$ [Kr/h]	$K_{CS}$ [Kr/h]
0.40	40	0.01	0.10	0.10	30	1500	1000	900
0.55	30	0.03	0.15	0.15	60	1250	1500	1350
0.67	20	0.03	0.20	0.05	80	1100	2200	1980
0.71	12	0.02	0.25	0.05	120	1250	3000	2700
0.79	6	0.02	0.30	0.05	160	1050	4000	3600

### Annuitetsberäkning

$p := 0, 0.01 \dots 0.2$        $n := 1, 1.1 \dots 20$

### Beräkning av maskintimkostnaden $k_{CP}$ och

$k_{CS}$   $T_{plan} := 1400, 1600 \dots 8000$        $K_0 := 1.0 \cdot 10^6, 1.1 \cdot 10^6 \dots 50 \cdot 10^6$

$$a(p, n) := \frac{(10^{-9} + p) \cdot (1 + p)^n}{(1 + p + 10^{-9})^n - 1}$$

$Y := 200$  Maskinyta samt erforderlig kringyta       $k_Y := 500$  Årlig lokalkostnad per kvadratmeter

$k_{UHh} := 600$  Underhållskostnad per timme inkl. material

$h_{UH} := 80$   $h_{UH}$  antal underhållstimmar per produktionstid

$k_{ph} := 200$  Driftskostnad i kr/h avseende rörliga kostnader som t.ex. el, processvätskor etc.

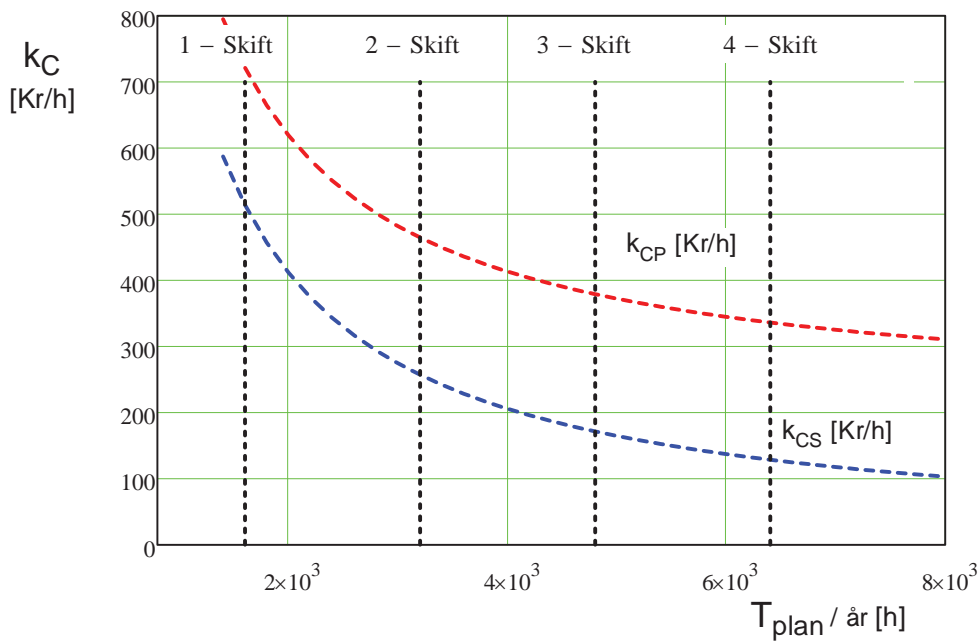
$n_{ren} := 10$  Antal driftsår mellan varje renoveringstillfälle

$k_{ren} := 10$  Renoveringskostnad i nuvärde efter  $n_{ren}$  driftår i förhållande till grundinvesteringen  $K_0$

$$k_{CP}(K_0, p, n, T_{plan}) := \frac{a(p, n) \cdot K_0 \cdot \left( 1 + \frac{n}{n_{ren}} \cdot \frac{a(p, n_{ren})}{k_{ren}} \right) + Y \cdot k_Y + T_{plan} \cdot \left( k_{UHh} \cdot \frac{1}{h_{UH}} + k_{ph} \right)}{T_{plan}}$$

$$k_{CS}(K_0, p, n, T_{\text{plan}}) := \frac{a(p, n) \cdot K_0 \cdot \left( 1 + \frac{n}{n_{\text{ren}}} \cdot \frac{a(p, n_{\text{ren}})}{k_{\text{ren}}} \right) + Y \cdot k_Y}{T_{\text{plan}}}$$

$$a_1 := 0, 100 \dots 700 \quad a_2 := 0, 100 \dots 700 \quad a_3 := 0, 100 \dots 700 \quad a_4 := 0, 100 \dots 700$$



$$k_{CP}(24.7 \cdot 10^6, 0.07, 10, 3 \cdot 1600) = 971.416$$

kD    Kcp    Kcs

$$k_{CS}(24.7 \cdot 10^6, 0.07, 10, 3 \cdot 1600) = 763.916$$

$$K_x := \begin{pmatrix} 1500 & 1000 & 900 \\ 1250 & 1500 & 1350 \\ 1200 & 2200 & 1980 \\ 1100 & 3000 & 2700 \\ 1050 & 4000 & 3600 \end{pmatrix}$$

$$K_{\text{ww}} := \begin{pmatrix} 250 \cdot 6 & 500 & 450 \\ 250 \cdot 5 & 600 & 550 \\ 250 \cdot 4 & 750 & 700 \\ 250 \cdot 3 & 900 & 850 \\ 250 \cdot 2 & 1200 & 1150 \end{pmatrix}$$

$$\alpha_1 := \frac{K_{0,1}}{K_{0,0} + K_{0,1}}$$

$$\alpha_5 := \frac{K_{4,1}}{K_{4,0} + K_{4,1}}$$

$$\alpha_4 := \frac{K_{3,1}}{K_{3,0} + K_{3,1}}$$

$$\alpha_2 := \frac{K_{1,1}}{K_{1,0} + K_{1,1}}$$

$$\alpha_3 := \frac{K_{2,1}}{K_{2,0} + K_{2,1}}$$

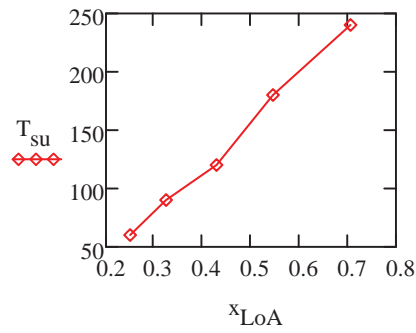
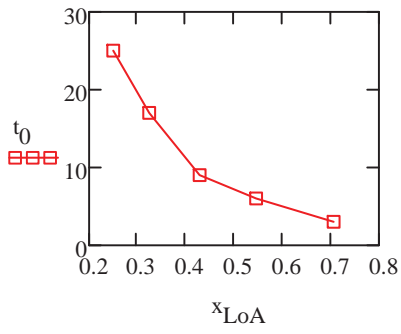
$$K_{1,0} = 1.25 \times 10^3$$

$\alpha \quad t_0 \quad q_Q \quad q_S \quad q_B \quad T_{su} \quad k_D \quad k_{CP} \quad k_{CS} \quad n_{op}$

$$P := \begin{pmatrix} \alpha_1 & 25 & 0.01 & 0.10 & 0.10 & 60 & K_{0,0} & K_{0,1} & K_{0,2} & 6 \\ \alpha_2 & 17 & 0.03 & 0.15 & 0.12 & 90 & K_{1,0} & K_{1,1} & K_{1,2} & 5 \\ \alpha_3 & 9 & 0.04 & 0.25 & 0.07 & 120 & K_{2,0} & K_{2,1} & K_{2,2} & 4 \\ \alpha_4 & 6 & 0.03 & 0.45 & 0.10 & 180 & K_{3,0} & K_{3,1} & K_{3,2} & 3 \\ \alpha_5 & 3 & 0.02 & 0.55 & 0.12 & 240 & K_{4,0} & K_{4,1} & K_{4,2} & 2 \end{pmatrix}$$

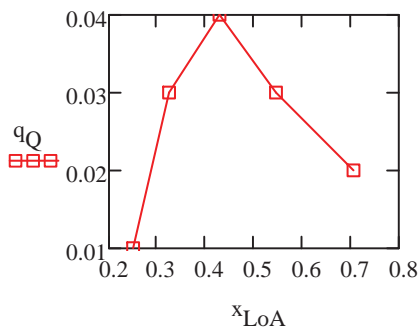
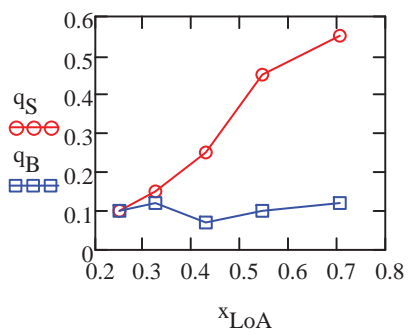
$x_{LoA} := P^{(0)} \quad t_0 := P^{(1)} \quad q_Q := P^{(2)} \quad q_S := P^{(3)} \quad q_B := P^{(4)}$

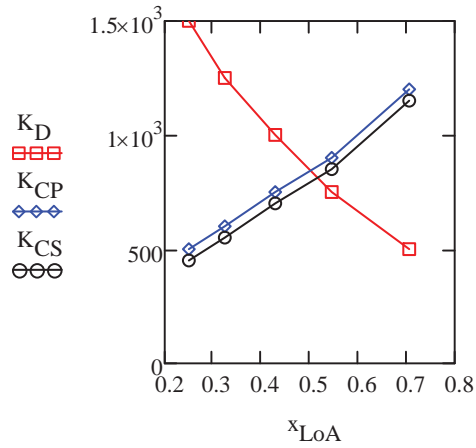
$T_{su} := P^{(5)} \quad k_D := P^{(6)} \quad k_{CP} := P^{(7)} \quad k_{CS} := P^{(8)}$



$\alpha_1 = 0.25$

$\alpha_5 = 0.706$





$j := 0 \dots \text{last}(t_0) \quad x := 0.1, 0.12 \dots 0.9$

$k_{1x} := 1 \quad k_{2x} := 1 \quad k_{3x} := 1 \quad k_{4x} := 1$

$t_{0x}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := k_{1x} + k_{2x} \cdot x + k_{3x} \cdot x^2 + k_{4x} \cdot x^3$

$\text{MIN}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := \sum_j (t_{0j} - t_{0x}(x_{\text{LoA}_j}, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}))^2$

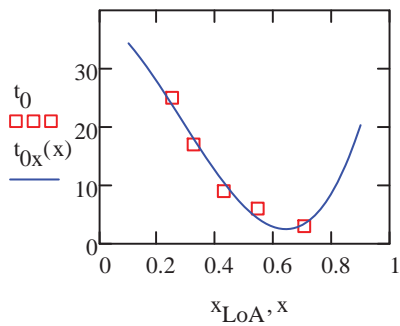
Given

$\text{MIN}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) = 0$

$\begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \end{pmatrix} := \text{Minerr}(k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x})$

$k_1 = 38.834 \quad k_2 = -30.204 \quad k_3 = -170.228 \quad k_4 = 200.991$

$t_{0x}(x) := k_1 + k_2 \cdot x + k_3 \cdot x^2 + k_4 \cdot x^3$



$$\underline{k_{1x}} := 1 \quad \underline{k_{2x}} := 1 \quad \underline{k_{3x}} := 1 \quad \underline{k_{4x}} := 1$$

$$T_{\text{sux}}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := k_{1x} + k_{2x} \cdot x + k_{3x} \cdot x^2 + k_{4x} \cdot x^3$$

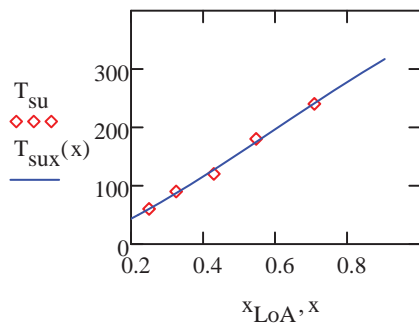
$$\underline{\text{MIN}}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := \sum_j \left( T_{\text{su}_j} - T_{\text{sux}}(x_{\text{LoA}_j}, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) \right)^2$$

Given

$$\text{MIN}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) = 0$$

$$\begin{pmatrix} k_{1\text{su}} \\ k_{2\text{su}} \\ k_{3\text{su}} \\ k_{4\text{su}} \end{pmatrix} := \text{Minerr}(k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x})$$

$$\underline{T_{\text{sux}}}(x) := k_{1\text{su}} + k_{2\text{su}} \cdot x + k_{3\text{su}} \cdot x^2 + k_{4\text{su}} \cdot x^3$$



$$\underline{k_{1x}} := -5 \quad \underline{k_{2x}} := -5 \quad \underline{k_{3x}} := 1 \quad \underline{k_{4x}} := 1$$

$$q_{\text{Sux}}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := k_{1x} + k_{2x} \cdot x + k_{3x} \cdot x^2 + k_{4x} \cdot x^3$$

$$\underline{\text{MIN}}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := \sum_j \left( \frac{q_{\text{S}_j} - q_{\text{Sux}}(x_{\text{LoA}_j}, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x})}{q_{\text{S}_j}} \right)^2$$

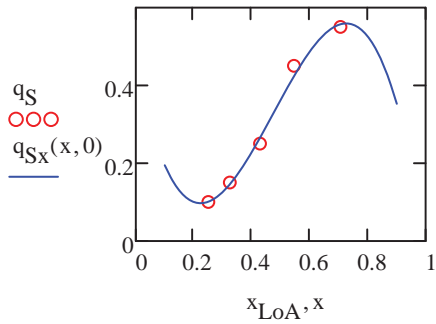
Given

$$\text{MIN}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) = 0$$

$$\begin{pmatrix} k_{1\text{S}} \\ k_{2\text{S}} \\ k_{3\text{S}} \\ k_{4\text{S}} \end{pmatrix} := \text{Minerr}(k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x})$$

$$k_{1S} = 0.453 \quad k_{2S} = -3.548 \quad k_{3S} = 10.389 \quad k_{4S} = -7.3$$

$$q_{Sx}(x, y) := k_{1S} + k_{2S} \cdot x + k_{3S} \cdot x^2 + k_{4S} \cdot x^3 - y$$



$$\underline{k_{1x}} := 1 \quad \underline{k_{2x}} := 1 \quad \underline{k_{3x}} := 1 \quad \underline{k_{4x}} := 1$$

$$q_{Qx}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := k_{1x} + k_{2x} \cdot x + k_{3x} \cdot x^2 + k_{4x} \cdot x^3$$

$$\underline{\text{MIN}}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := \sum_j \left( q_{Q_j} - q_{Qx}(x_{LoA_j}, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) \right)^2$$

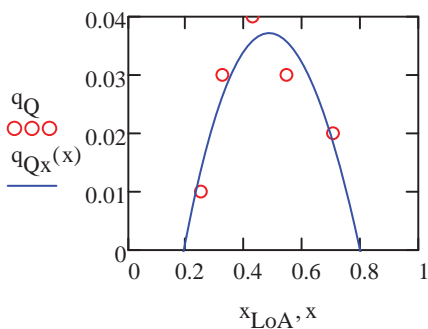
Given

$$\text{MIN}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) = 0$$

$$\begin{pmatrix} k_{1Q} \\ k_{2Q} \\ k_{3Q} \\ k_{4Q} \end{pmatrix} := \text{Minerr}(k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x})$$

$$k_{1Q} = -0.068 \quad k_{2Q} = 0.453 \quad k_{3Q} = -0.53 \quad k_{4Q} = 0.086$$

$$\underline{q_{Qx}}(x) := k_{1Q} + k_{2Q} \cdot x + k_{3Q} \cdot x^2 + k_{4Q} \cdot x^3$$



$$\underline{k_{1x}} := 50 \quad \underline{k_{2x}} := 1 \quad \underline{k_{3x}} := 1 \quad \underline{k_{4x}} := 1$$

$$q_{Bx}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := k_{1x} + k_{2x} \cdot x + k_{3x} \cdot x^2 + k_{4x} \cdot x^3$$

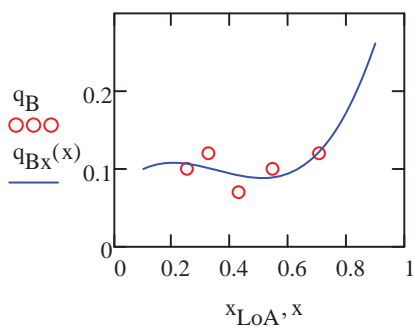
$$\underline{\text{MIN}}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := \sum_j \left( q_{B_j} - q_{Bx}(x_{\text{LoA}_j}, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) \right)^2$$

Given

$$\text{MIN}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) = 0$$

$$\begin{pmatrix} k_{1B} \\ k_{2B} \\ k_{3B} \\ k_{4B} \end{pmatrix} := \text{Minerr}(k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x})$$

$$\underline{q_{Bx}}(x) := k_{1B} + k_{2B} \cdot x + k_{3B} \cdot x^2 + k_{4B} \cdot x^3$$



$$\underline{k_{1x}} := 50 \quad \underline{k_{2x}} := 1 \quad \underline{k_{3x}} := 1 \quad \underline{k_{4x}} := 1$$

$$K_{Dx}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := k_{1x} + k_{2x} \cdot x + k_{3x} \cdot x^2 + k_{4x} \cdot x^3$$

$$\underline{\text{MIN}}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := \sum_j \left( K_{D_j} - K_{Dx}(x_{\text{LoA}_j}, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) \right)^2$$



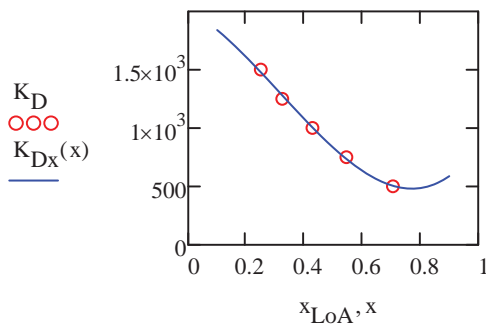
Given

$$\text{MIN}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) = 0$$

$$\begin{pmatrix} k_{1D} \\ k_{2D} \\ k_{3D} \\ k_{4D} \end{pmatrix} := \text{Minerr}(k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x})$$

$$k_{1D} = 2.013 \times 10^3 \quad k_{2D} = -1.369 \times 10^3 \quad k_{3D} = -4.169 \times 10^3 \quad k_{4D} = 4.366 \times 10^3$$

$$K_{Dx}(x) := k_{1D} + k_{2D} \cdot x + k_{3D} \cdot x^2 + k_{4D} \cdot x^3$$



$$k_{1x} := 50 \quad k_{2x} := 1 \quad k_{3x} := 1 \quad k_{4x} := 1$$

$$K_{CPx}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := k_{1x} + k_{2x} \cdot x + k_{3x} \cdot x^2 + k_{4x} \cdot x^3$$

$$\text{MIN}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := \sum_j \left( K_{CPj} - K_{CPx}(x_{LoA_j}, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) \right)^2$$

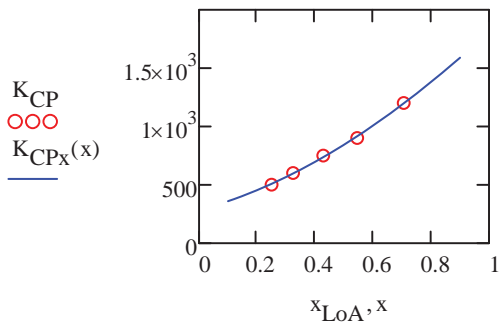
Given

$$\text{MIN}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) = 0$$

$$\begin{pmatrix} k_{1C} \\ k_{2C} \\ k_{3C} \\ k_{4C} \end{pmatrix} := \text{Minerr}(k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x})$$

$$k_{1C} = 282.945 \quad k_{2C} = 659.966 \quad k_{3C} = 971.474 \quad k_{4C} = -104.158$$

$$K_{CPx}(x) := k_{1C} + k_{2C} \cdot x + k_{3C} \cdot x^2 + k_{4C} \cdot x^3$$



$$k_{1x} := 50 \quad k_{2x} := 1 \quad k_{3x} := 1 \quad k_{4x} := 1$$

$$K_{CSx}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := k_{1x} + k_{2x} \cdot x + k_{3x} \cdot x^2 + k_{4x} \cdot x^3$$

$$\text{MIN}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) := \sum_j \left( K_{CS_j} - K_{CSx}(x_{LoA_j}, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) \right)^2$$

Given

$$\text{MIN}(x, k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x}) = 0$$

$$\begin{pmatrix} k_{1CS} \\ k_{2CS} \\ k_{3CS} \\ k_{4CS} \end{pmatrix} := \text{Minerr}(k_{1x}, k_{2x}, k_{3x}, k_{4x})$$

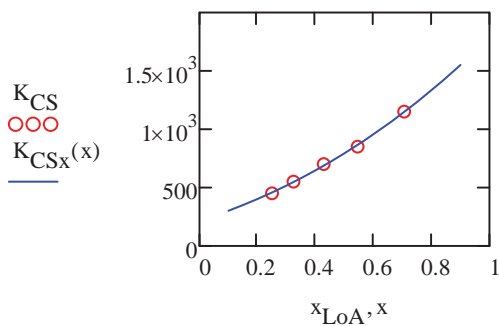
$$k_{1CS} = 214.155$$

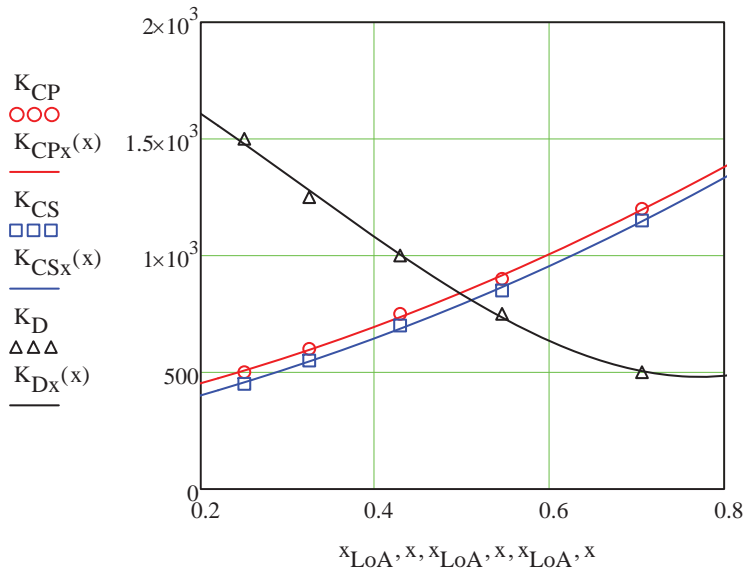
$$k_{2CS} = 794.202$$

$$k_{3CS} = 675.447$$

$$k_{4CS} = 99.621$$

$$K_{CS}(x) := k_{1CS} + k_{2CS} \cdot x + k_{3CS} \cdot x^2 + k_{4CS} \cdot x^3$$

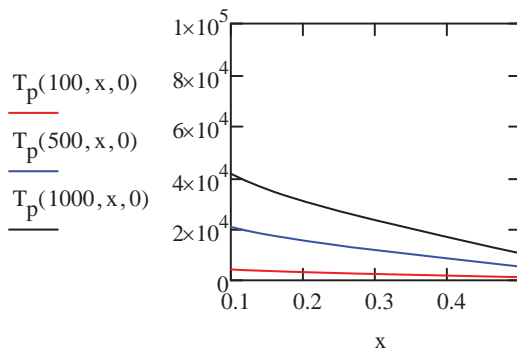




## Ekonomimodell med konstant $T_{plan}$

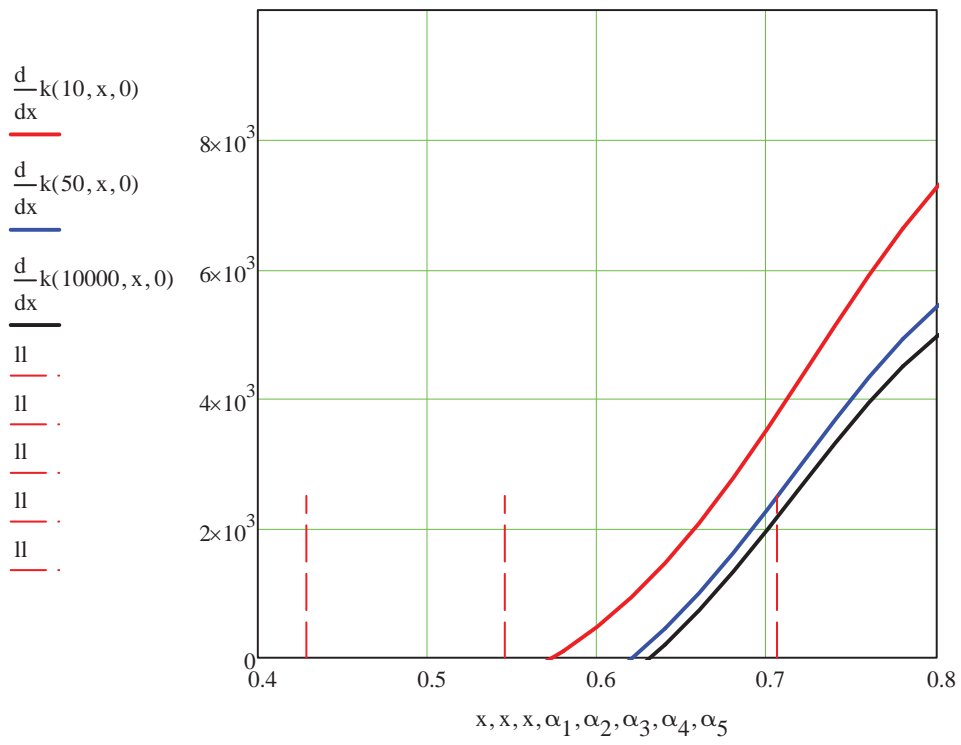
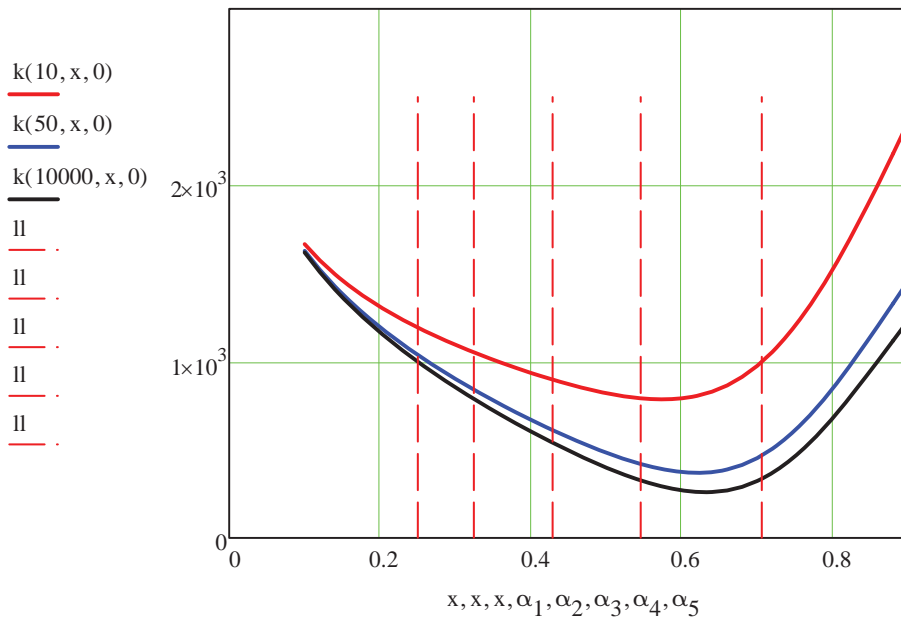
$$N_0 := 1, 2 \dots 1000 \quad k_B := 100 \quad U := 1.0 \quad x_p := 1.0 \quad x_{su} := 1$$

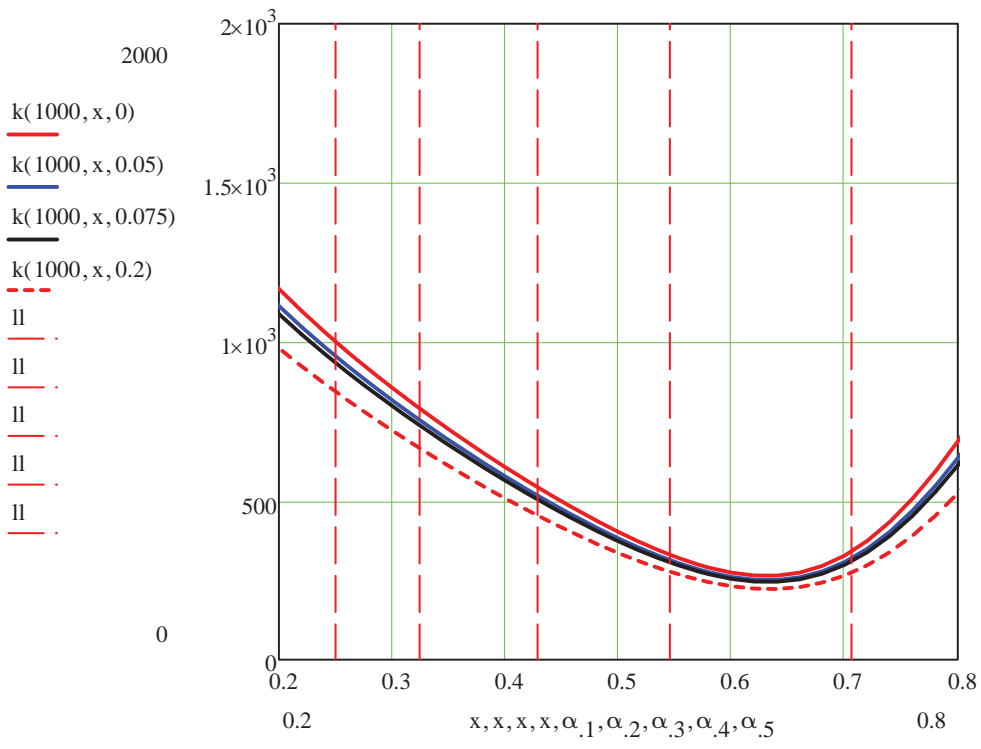
$$T_p(N_0, x, y) := \left[ T_{sux}(x) + \frac{N_0}{1 - q_{Qx}(x)} \cdot \frac{t_{0x}(x)}{(1 - q_{Sx}(x, y))} \right]$$



$$k(N_0, x, y) := \frac{k_B \cdot \frac{N_0}{(1 - q_{Qx}(x))(1 - q_{Bx}(x))} + \frac{K_{CPx}(x)}{60} \cdot \frac{x_p \cdot t_{0x}(x) \cdot N_0}{(1 - q_{Qx}(x))} + \frac{K_{CSx}(x)}{60} \cdot \left[ \frac{x_p \cdot t_{0x}(x) \cdot N_0}{(1 - q_{Qx}(x))} \cdot \frac{q_{Sx}(x, y)}{1 - q_{Sx}(x, y)} + x_{su} \cdot T_{sux}(x) \right] + \frac{K_{Dx}(x)}{60} \cdot \left[ \frac{x_p \cdot t_{0x}(x) \cdot N_0}{(1 - q_{Qx}(x))} \left( 1 + \frac{q_{Sx}(x, y)}{1 - q_{Sx}(x, y)} \right) + x_{su} \cdot T_{sux}(x) + \frac{(1 - U)}{U} \cdot T_p(N_0, x, y) \right]}{N_0}$$

$h := 0, 20 \dots 2500$





$$\left[ \frac{(1-U)}{U} \cdot T_p(N_0, x, y) \right] \dots$$

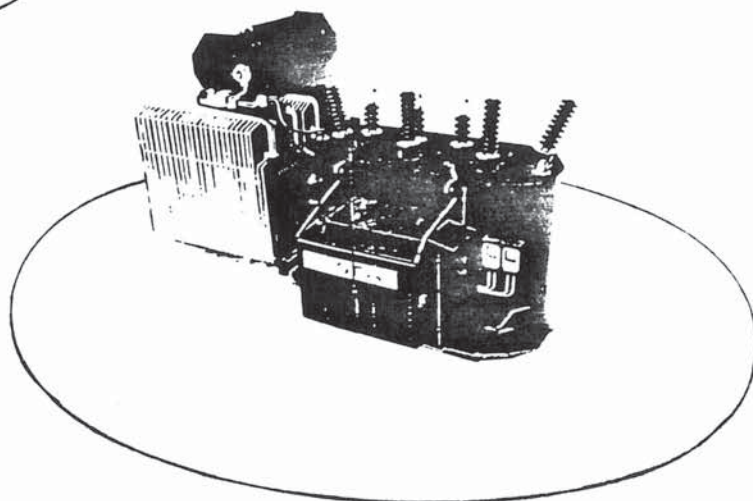
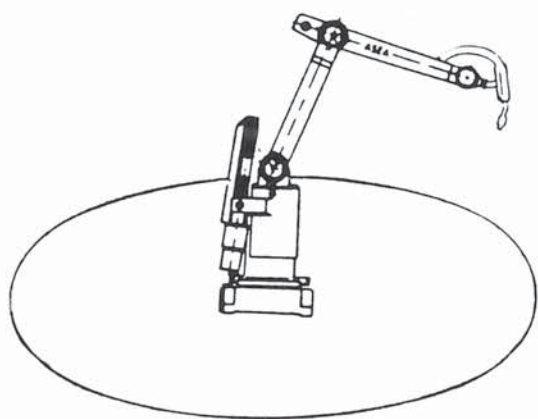
Examensarbete författat 1986  
av

Sven Asking





# ROBOTSVETSNING VID ASEA TRANSFORMERS



SVEN ASKING  
PÄR HINSEGÅRD  
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA  
1986

# ASEA

Författare - Author

Z1PAP, Sven Asking och Pär Hinsegård

Godkännare - Approved by

Z1PAP Sture Bergström

Uppdragsgivare - Requested by

Z1P Stefan Bengtsson

Titel - Title

Robotsvetsning inom  
Z-divisionen

Rapport

Report

Från - From

Z1PA

Datum - Date

86-11-05

Utredning, teoretisk  
undersökning - Analysis,  
theoretical investigation

Provnings, experim. under-  
sökning - Test, experi-  
mental investigation

Delrapport

Slutrapport  
Provnings/undersökning avslutad  
Test/investigation finished

R Z1P 86-06

Reg.

Sida - Page

1

Ordernr - Ref. No.

Debiteras ordernr

Pkl/Akl

Antal textsidor - No. of pages of text

85

Antal bilagesidor - No. of supplm. pages

13

Sammanfattning - Summary

Examensarbetet söker att klargöra vilka möjligheter det finns för införande av robotsvetsning hos ASEA Transformers (Z).

Z tillverkar i huvudsak transformatorer i korta serier (ca 1-4 st). Man producerar dock också mer standardbetonade komponenter som säljs direkt externt. Dessa har något större seriestorlek ca 2-400 st). Tillverkningen kan således karakteriseras som småserietillverkning.

Detaljers lämplighet för robotisering avgörs till stor del av utformning och fogtypen. Anpassning kan dock ofta ske genom enkla omkonstruktioner. Övriga kriterier som kan användas vid sökning av lämpliga detaljer är storlek, massa, svetsmängd och årsvoly. m.

Sökningen visade att antalet lämpliga objekt var litet. Flertalet av objekten föll på något eller några av kriterierna storlek, massa eller årsvoly. m. Det slutgiltiga valet föll på flätkåpor och lindningskopplarlådor. Ca 1-1,5 skift torde vara tillräckligt för att klara av Z's lämpligast produkter i en robotstation.

För att få tillräcklig beläggning rekommenderas därför att stationen görs gemensam med L-divisionen.

Objekten ställer stora krav på stationen i fråga om adaptivitet och arbetsområde. Olika layoutförslag togs fram ur vilka en station med lösning baserad på JACK-KNIFE och LaserTrak befanns vara bäst. Kombinationen ligger dock på gränsen av vad som kan betraktas som tekniskt möjligt idag.

Distribution

Z1P Z1P-sekr (original) Z1PA Z1PP Z1KD Z1K(2) Z1VP Z2K PAUT  
Lunds Tekniska Högskola (5)

Enbart sida 1 - Page 1 only

KSB

Z1 ZQ ZM Z2P LPA

Nyckelord - Ämnesord

Robot  
Transformator  
Svetsning

Keywords

Övriga nyckelord

Anm. Huvudregeln är att nyckelorden skall skrivas på svenska i vänstra kolumnen.

I kolumnen för keywords införs då så önskas engelska motsvarigheter till ämnesorden samt engelska uttryck utan svensk motsvarighet. Med övriga nyckelord avses t ex materialbeteckning, produktbeteckning, leverantör, kund, etc.

## FÖRORD

Målet är att klargöra möjligheterna att införa robotsvetsning hos ASEA Transformers.

Arbetet har i huvudsak utförts vid ASEA Transformers i Ludvika. Handledare från ASEA var ing Roger Skyllberg och civing Göran Morau. Från Institutionen för Mekanisk Teknologi och Verktygsmaskiner, Lunds Tekniska Högskola, har tekn dr Gunnar Bolmsjö varit handledare. Dessa har under arbetets fortskridande givit värdefulla synpunkter och vi vill därför tacka dem och övriga personer som bidragit till rapportens tillkomst.

Ludvika i juli 1986

Sven Asking

Pär Hinsegård



## SAMMANFATTNING

Examensarbetet söker att klargöra vilka möjligheter det finns för införande av robotsvetsning hos ASEA Transformers (Z).

Z tillverkar i huvudsak transformatorer i korta serier (ca 1-4 st). Man producerar dock också mer standardbetonade komponenter som säljs direkt externt. Dessa har något större seriestorlek (ca 2-400 st). Tillverkningen kan således karaktiseras som småserietillverkning.

Detaljers lämplighet för robotisering avgörs till stor del av utformning och fogtypen. Anpassning kan dock ofta ske genom enkla omkonstruktioner. Övriga kriterier som kan användas vid sökningen av lämpliga detaljer är storlek, massa, svetsmängd och årsvolym.

Sökningen visade att antalet lämpliga objekt var litet. Flertalet av objekten föll på något eller några av kriterierna storlek, massa eller årsvolym. Det slutgiltiga valet föll på flätkåpor och lindningskopplarlådor. Ca 1-1,5 skift torde vara tillräckligt för att klara av Zs lämpligaste produkter i en robotstation.

För att klara av beläggningsproblematiken rekommenderas därför att stationen görs gemensam med L-divisionen.

Objekten ställer stora krav på stationen i fråga om adaptivitet och arbetsområde. Olika layoutförslag togs fram ur vilka en station med lösning baserad på JACK-KNIFE och LaserTrak befanns vara bäst. Kombinationen ligger dock på gränsen av vad som kan betraktas som tekniskt möjligt idag.

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
	1.1 Bakgrund	
	1.2 Syfte	3
	1.3 Avgränsning	3
	1.4 Genomförande	3
2	PRODUKTER OCH ORGANISATION	4
	2.1 En transformators uppbyggnad	4
	2.2 Uppdelning av produkter och organisation	
	2.3 Seriestorlek	8
3	"KRAVSPECIFIKATION" PÅ ROBOTSTATION FÖR SVETSNING	9
4	AUTOMATISERAD BAGSVETSNING	12
	4.1 Konstr.anpassning av objekt	13
	4.2 Toleranser och fogberedning	16
	4.3 Svetsprocessens toleransförmåga	19
	4.4 Fixturer	19
5	LÄMPLIGA DETALJER FÖR ROBOTSVETSNING	21
	5.1 Aktuella svetsarbetsplatser	21
	5.2 Aktuella detaljer	23
	5.3 Urval	27
	5.4 Flätkåpor	28
	5.5 Lindningskopplarlådor	30

6	TILLGÄNGLIG OCH FRAMTIDA TEKNIK	33
	6.1 Robottyper för bågsvetsning	33
	6.2 Off-lineprogrammering	38
	6.3 Kringutrustning	38
7	PROBLEMINVENTERING	55
	7.1 Beläggning	55
	7.2 Toleranser hos objekt	55
	7.3 Objektens utformning	57
	7.4 Arbetsområde/hanteringsutrustning	58
	7.5 Systemkompatibilitet	59
8	LAYOUTFÖRSLAG	60
	8.1 Stationer baserade på IRB 6	60
	8.2 Stationer baserade på MAC 2000	70
9	LÖNSAMHETSBEDÖMNING	74
10	BEDÖMNING AV LAYOUTFÖRSLAG	77
	10.1 Bedömning	77
	10.2 Val	80
	10.3 Vald station	83
11	KOMMENTARER OCH SLUTSATSER	84
12	REFERENSER	
	BILAGOR	

## 1 INLEDNING

### 1.1 BAKGRUND

ASEA Transformers är ett av de fyra dotterbolag till ASEA AB som är lokaliserade i Ludvika. Bolagen har tillsammans ett brett kunnande och produktionsmöjligheter för kompletta elkraftnät.

ASEA Transformers tillverkar transformatorer och reaktorer med spänningar upp till 750 kV och effekter upp till 1000 MVA.

En allmän trend inom verkstadsindustrin är ökad automatisering. Automatiseringen ökar förutsättningarna för såväl FMS (Flexible Manufacturing System) som PBB (Produktion med Begränsad Bemanning) och möjliggör lönsammare tillverkning även i små serier. Det man främst vill komma åt vid FMS är omställningskostnaden/tiden då det traditionellt är denna som styrseriestorlekarna. Med FMS kan man minska kapitalbindningen och öka genomloppshastigheten. Det är dock viktigt att påpeka att hela tillverkningskedjan måste vara anpassad för ändamålet. Vid produktion i små serier blir det direkt nödvändigt med en flexibel produktionsapparat.

Ett koncept för att öka maskinutnyttjande och kapacitet är PBB, vilket innebär att man producerar under t ex ett extra skift, med starkt reducerad personal.

Svetsrobotar ger möjligheter till att automatisera svetsningen i en plåtverkstad.

I dag finns ca 400 svetsrobotar installerade i Sverige. Flertalet av dessa är installerade i tillverkningskedjor för produkter med stora serier.

Det är viktigt ur konkurrenssynpunkt att följa med i utvecklingen. Undersökningar har gjorts tidigare angående möjligheterna att införa robotiserad svetsning i plåtverkstaden. Dessa har dock ej resulterat i någon installation. Orsaken till detta har bl a varit att de tekniska problemen då framstod som alltför stora.

Tekniken förbättras dock ständigt varför det ånyo är intressant att undersöka den typ av småserieproduktion som det rör sig om vid ASEA Transformers.



## 1.2 SYFTE

Syftet med examensarbetet är, förutom att det utgör en obligatorisk del i civilingenjörsutbildningen, att:

- Utröna möjligheterna att idag eller inom en nära framtid införa robotsvetsning vid ASEA Transformers.
- Vid behov föreslå produktförändringar i produktritningskoncepten i syfte att möjliggöra ökad robotisering och
- Konkretisera möjligheterna genom att föreslå lösningar i form av layouter.
- Utföra lönsamhetsbedömning för ovanstående layouter.

## 1.3 AVGRÄNSNINGAR

- Endast ASEA Transformers plåtverkstad (Z1VP) och de produkter som tillverkas där behandlas.
- Val av robotar och kringutrustning inriktas mot ASEAs och ESABs produktprogram, vilka tillsammans täcker området väl.
- Ur produktionssynpunkt begränsar sig uppgiften i att undersöka möjligheten att införa robotiserad bågsvetsning.
- Tidsmässigt bör arbetet kunna utföras på tre månader, vilket dock främst skall ses som ett mål.

## 1.4 GENOMFÖRANDE

Arbetet har utförts i projektform med regelbundna uppföljningsmöten i en styrgrupp, sammansatt av handledare och företrädare för olika funktioner främst inom ASEA Transformers. En tidsplan har följts och genomförandet har tagit ca tre månader med start i början av april 1986.

Arbetsplats har i huvudsak varit ASEA Transformers och dess produktionsavdelning (Z1P), men kontakter med andra intressenter har fortlöpande tagits vid behov. Personliga besök hos robotleverantörer och vid externa robotinstallationer har även gjorts under arbetets gång. Dessa besök har givit värdefulla intryck och ideer för arbetets fortskridande.

Under arbetets gång har litteraturstudier och faktainsamling gjorts kontinuerligt inom berörda ämnesområden.

## 2 PRODUKTER OCH ORGANISATION

För att få ett grepp om verksamheten vid ASEA Transformers i Ludvika bör man ha en uppfattning om produkter och organisation. Vi ger därför här en presentation av produktprogrammet samt en organisatorisk översikt av uppdelningen i Power Transformers och Transformer Components.

### 2.1 EN TRANSFORMATORS UPPBYGGNAD

En krafttransformator är uppbyggd av ett antal mer eller mindre standardbetonade komponenter samt komponenter som är speciellt utvalda för den enskilda tillämpningen.

Fig 2.1 visar hur transformatorstrukturen byggs upp.

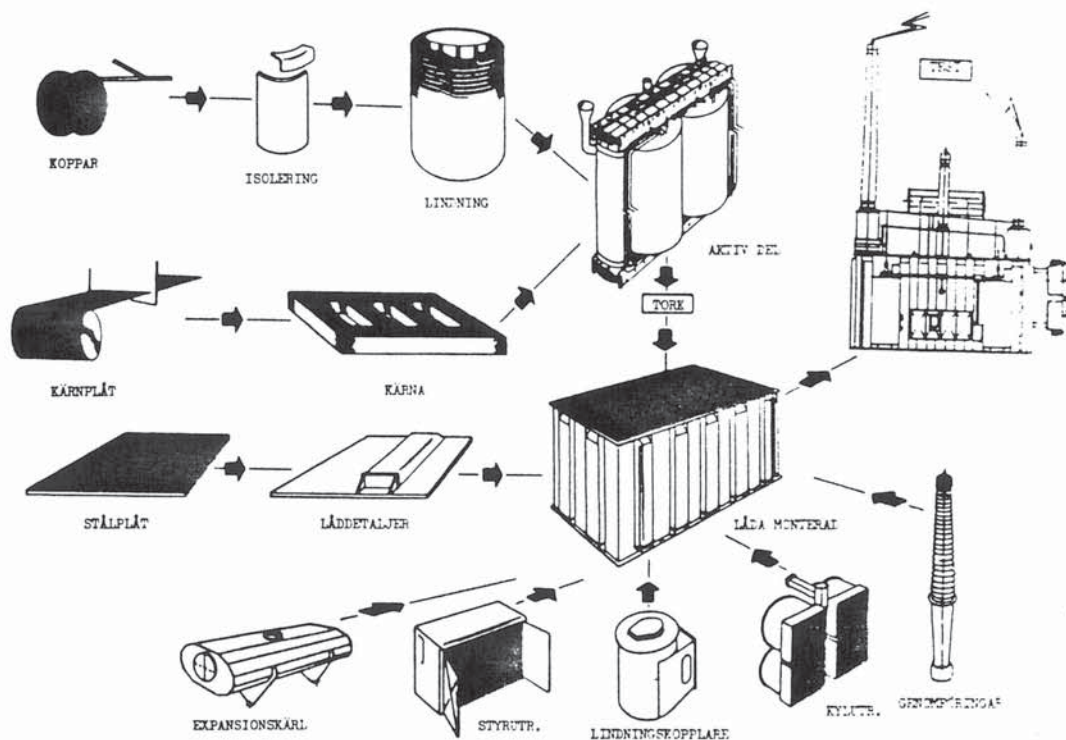


Fig 2.1 Transformatoruppbyggnad.

De detaljer som transformatorn är uppbyggt av är i huvudsak tillverkade i stål. För dessa ingår vanligtvis svetsning som tillverkningsoperation. Transformatorn kan grovt delas in enligt följande:

- \* LÅDA MONTERAD
- \* LOCK MONTERAT
- \* EXP.KÄRL MONTERAT
- \* AKTIV DEL
- \* SLUTMONTAGE (t ex rör och flänsar)
- \* LINDNINGSKOPPLARLADA
- \* TILLBEHÖR (t ex kylutrustning)
- \* ÖVRIGT

## 2.2 UPPDELNING AV PRODUKTER OCH ORGANISATION

Det är de ingående detaljerna i transformatorn som främst är aktuella för robotsvetsning. Deras typ och antal är direkt beroende av slutproduktsortimentet. En god överblick över detta samt organisationen kring det krävs för att få grepp om helhetsbilden.

En robotstation kan betraktas som en långsiktig investering, varför man även bör ta hänsyn till framtida produktprogram och de förändringar som kan inträffa.

ASEA Transformers (Z) är uppdelat på två huvudområden, ASEA Power Transformers (Z1) och ASEA Transformer Components (Z2). Uppdelningen är ett resultat av att man levererar dels kompletta transformatorer, dels separata komponenter till dessa. Montering och viss ämnestillverkning sker åtskilt, emedan plåtverkstaden är gemensam för produkterna. Det totala produktsortimentet delas upp i produktklasser främst efter typ och storlek. Plåtverkstaden är indelad i mindre arbetsområden efter detaljernas typ och storlek. Arbetsområdena benämns tillverkningsadresser.

Uppdelningen av produktansvaret framgår av tabellen nedan:

Ansvars- område	Produkt- klass
Z1	727 Speciella transf, loktransf, reaktorer, ungstranf, testtranf
	725 TAA, TAA 145, TAC < 50 MVA < 170 kV
	724 TBA < 315 MVA < 245 kV
	723 TCA > 315 MVA > 245 kV
Z2	722 Lindningskopplare
	728 Kylare, genomföringar, tillbehör



Produktklass	Genomsnittlig seriestorlek 85/86
727 Loktransformatorer	4,3
Reaktorer	1,6
725 TAA, TAC, TAA 145	1,7
724 TBA	2,0
723 TCA	2,2
722 Lindningskopplare	1,8 <sup>*)</sup>
728 Kylare	400
728 Genomföringar	82,5 <sup>**)</sup>

\*) Detta gäller för deras lådor.

\*\*\*) Endast för genomföringar med rotationssymmetrisk svets.

Tabell 2.2

### 2.3 SERIESTORLEKEN

Vid all automatisering spelar seriestorleken en central roll. Seriestorleken hos slutprodukterna påverkar givetvis direkt seriestorlekarna hos de ingående detaljerna. En övergripande bild fås om man studerar de genomsnittliga seriestorlekarna (GS) hos produktklasserna. Dessa beräknades på grundval av leveranserna 85/86. Beräkningen har skett enligt följande:

$$GS_{\text{produktklass}} = \frac{\text{Summa levererade produkter}}{\text{antalet typer}}$$

Resultaten redovisas i tabell 2.2. Man kan där direkt utläsa att de största serierna finns inom Z2's produktklasser. Tabellen återspeglar väl det faktum att det är småserietillverkning som är aktuell inom ASEA Transformers. Det faktum att nästan varje transformator optimeras m a p på såväl dimension, funktion och tillverkningskostnad bidrar till de korta serierna inom Z1's produktklasser. Optimeringen utförs till stor del med dator. Endast ett fåtal av de ingående delarna är standardiserade förutom de som Z2 bidrar med.

Dessutom gäller för transformatorer i produktklasserna 723-725 att en eventuell serie delas upp på flera leveranser. Detta medför att de vanligtvis produceras som enstyck.

### 3 KRAVSPECIFIKATION PÅ ROBOTSTATION FÖR SVETSNING

#### Kravkriterier för rb-installation

##### TEKNISKA KRAV

##### T1: Teknisk realiserbarhet;

Stationen skall vara tekniskt realiserbar. Detta innebär att installationen i huvudsak skall bygga på känd teknik och ej kräva orimliga utvecklingsresurser för att realiseras.

##### T2: Kvalitet;

Stationen skall kunna tillgodose de kvalitetskrav som ställs på det utförda svetsarbetet. I det här fallet är det främst kravet på täthet som är viktigt att uppfylla.

##### T3: Kapacitet;

Stationen skall klara den arbetsvolym som produktionen kräver. Det bör även vara möjligt att öka kapaciteten genom att låta rb:en arbeta flera skift.

**T4: Flexibilitet;**

Stationen skall vara flexibel. Det bör vara relativt enkelt att övergå till en ny produkt, vilket ställer krav på hanteringsutrustning och programmeringsprinciper.

**T01: Effektivitet:**

Stationen och dess layout bör kunna ge effektiva materialflöden. Man bör sträva efter att söka sammanföra en följd av operationer i tillverkningskedjan. Flödena bör vara överskådliga och uppdelade i mindre relativt fristående automationsavsnitt, detta för att skapa förutsättningar för en störningstålig drift.

**T02: Användarvänlighet;**

Stationen måste ses som ett hjälpmedel i produktionen av personalen. I annat fall kommer den ej att kunna utnyttjas i den utsträckning som annars är möjligt. Motståndet mot användningen kan även skapa förutsättningar för konflikter bland olika personalkategorier. Det är därför viktigt att alla inblandade parter är informerade och förberedda för installationen.

**EKONOMISKA KRAV****E1: Lönsamhet;**

För all industriell verksamhet ställs normalt krav på lönsamhet. Detta gäller även nämnda rb-installation. Kostnadsbilden kommer att förändras vid en sådan omläggning av produktionen som en rb-installation innebär, Detta medför t ex att de fasta kostnaderna kommer att öka, vilket ställer ökade krav på utnyttjande. Utbildningskostnader i samband med denna typ av installation kan även komma att bli betydande. Som positiva effekter, förutom sänkning av styckkostnaden för de tillverkade produkterna, kan ett automatiserat system ge högre och/eller jämnare kvalitetsutfall. Genom detta fås minskade kostnader för kassation och ett minskat behov av kontroll och justering. De förkortade svettstider som stationen ger torde medföra att genomloppstiderna minskas och därmed ger möjlighet till sänkning av produkter i arbete (PIA).



## ARBETSMILJÖ

## A1: Frikoppling;

Installationen bör ge förutsättningar för en ökad frikoppling av personalen. De svetscykeltider som man planerar för stationen bör därför vara relativt långa och möjligheten att utnyttja magasin eller buffertar bör undersökas. Frikopplingen kan utnyttjas till arbetsutvidgning och arbetsberikning, vilket även måste ses som positivt.

## A2: Personsäkerhet;

Installationen skall vara personsäker. Detta skall gälla både under drift, programmering och service. Påfyllning av magasin, förberedelse för verktygsbyte, kontrollmätning etc skall kunna ske under robotens processtid.

## 4 AUTOMATISERAD BÅGSVETSNING

Automatisering av svetsning ställer nya högre krav på objektet än vid manuell svetsning. Nivån på kraven varierar något beroende på automatiseringsutrustningens adaptivitet. Ett system utan återkoppling ställer stora krav på precision och repetitivitet emedan ett återkopplat system kan klara avvikelser inom vissa gränser. Såväl robotens, hanteringsutrustningens och objektets noggrannhet är dock bidragande till resultatet. I sämsta fall adderas alla felkällorna.

De ungefärliga toleranskrav som ställs på pistolens läge i förhållande till fogen vid gasmetallbågs svetsning i plåt med tjocklek mellan 2 och 10 mm anges i fig 4.1 nedan.

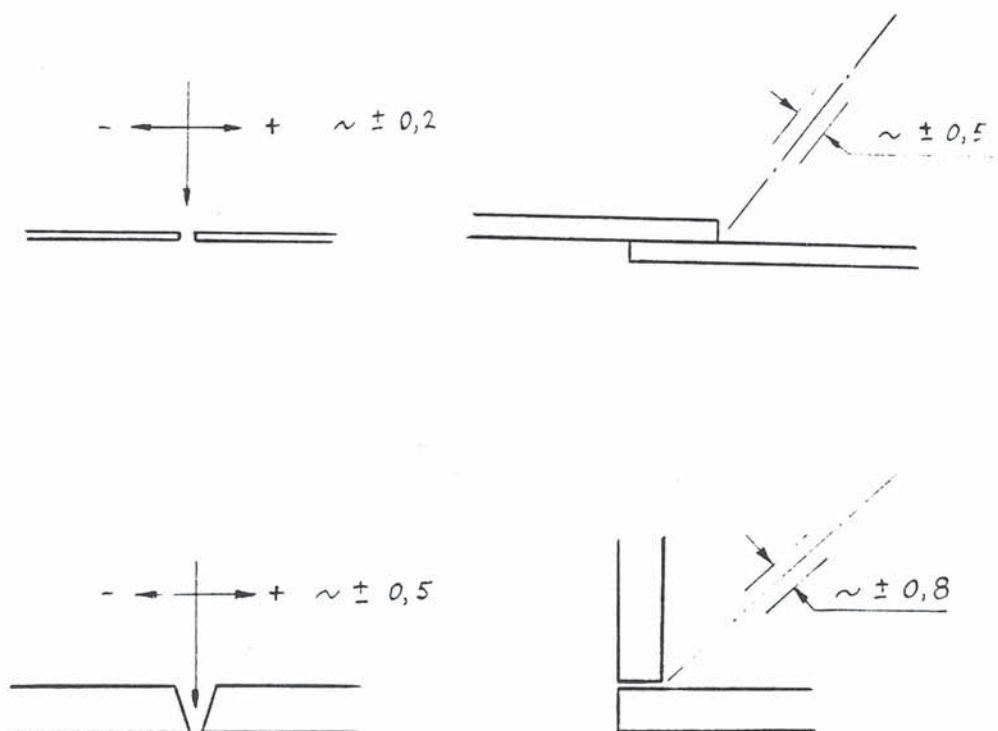


Fig 4.1 Toleranskrav för pistolläge.

Utrustningens utförande, antal axlar hos robotar osv ställer också krav på objektet i fråga om t ex åtkomlighet och storlek. Med andra ord påverkar allt arbete från det att objektet konstrueras till färdigsvetsning möjligheterna för automatisering. Vi söker nedan att generellt ange de riktlinjer man bör följa under arbetet för att nå ett lyckat resultat.

#### 4.1 KONSTRUKTIONSANPASSNING AV OBJEKT

Konstruktionens utförande är avgörande för möjligheterna att automatisera svetsningen. Beroende på typen av utrustning varierar kraven på objekten.

Robotsvetsning som vi rekommenderar ställer lägre krav än specialautomater. I det fallet att robotstationen redan är realiserad tar man hänsyn till de speciella begränsningar som finns inbyggda. Anvisningar bör då utformas i anslutning till dessa.

Det är främst 7 delar som bör omfattas av en checklista vid konstruktionen.

- \* Fogar och svetslägen bör medge stora toleransområden så att man i största möjliga grad kan kompensera för dålig positionering och dåliga toleranser. Med felaktig positionering kan man annars lätt få t ex genombränning (se fig 4.2) eller dålig inträngning.

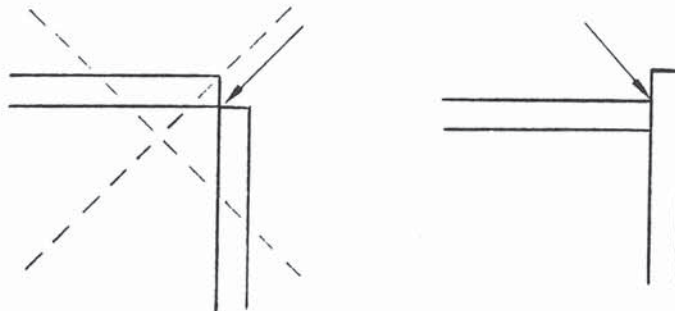


Fig 4.2 Risk för genombränning.

- \* Spalter bör undvikas då dessa är synnerligen besvärliga ur svetssynpunkt. De största spalterna man bör tillåta visas i fig 4.3.

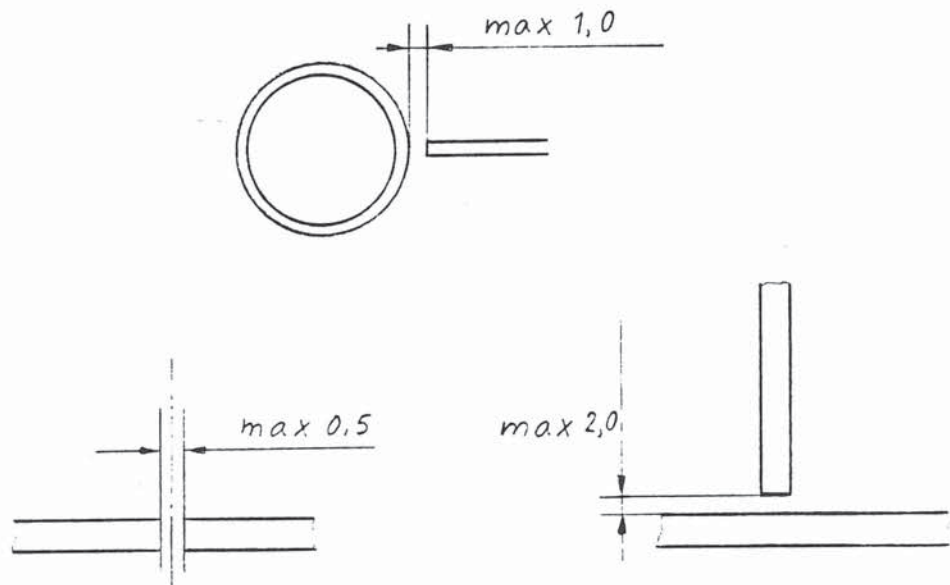


Fig 4.3 Tillåten spaltbredd.

- \* Det finns också en mängd sätt att konstruera så att spalterna elimineras, vilket naturligtvis är det bästa, exempel på detta ges på nästa sida, fig 4.4.

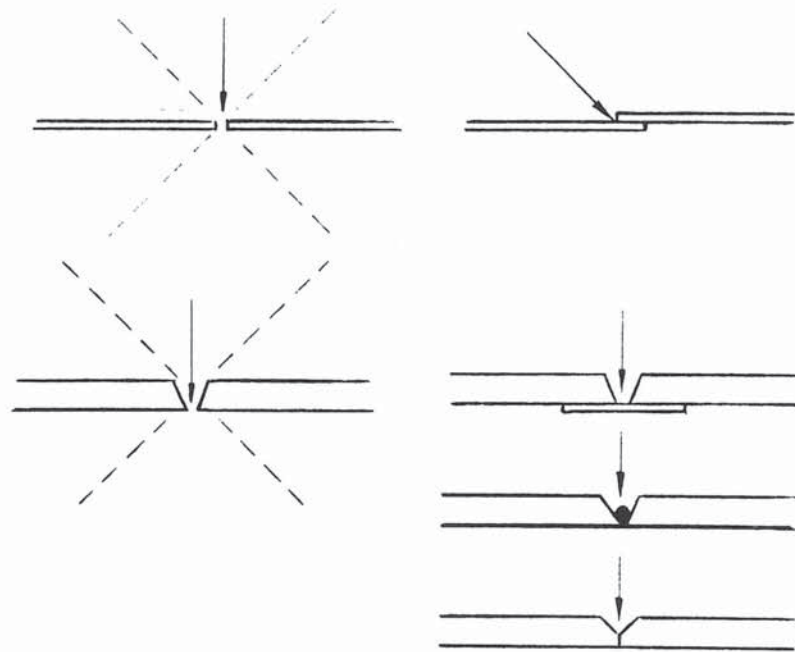


Fig 4.4 Spaltelimination genom konstruktion.

- \* En förutsättning för att fogen skall gå är att fogsöka är att den går att detektera. Fördelaktigast är då om den har formen av ett V, detta är också bra med tanke på smältbadets flytande egenskaper. I-fogar och andra typer av stumfog är därför ej lämpliga.

- \* Toleranssättning bör vara individuell, d v s varje mått toleranssätts. Detta ger fördelarna:
    - Varje tolerans är genomtänkt.
    - Tillverkning och kontroll förenklas.
    - Onödigt små toleranser undviks.
- Idag används generell toleranssättning vid ASEA Transformers.
- \* Koordinatmåtsättning från ytor, punkter som är lämpliga ur referenssynpunkt för fixturer och programmering.
  - \* Konstruera för god åtkomlighet med aktuell utrustning. I detta fallet kan man få ta hänsyn till att fogsökare/fogföljare kan vara nödvändigt. Exempel på konstruktion för ökad åtkomlighet fig 4.5.

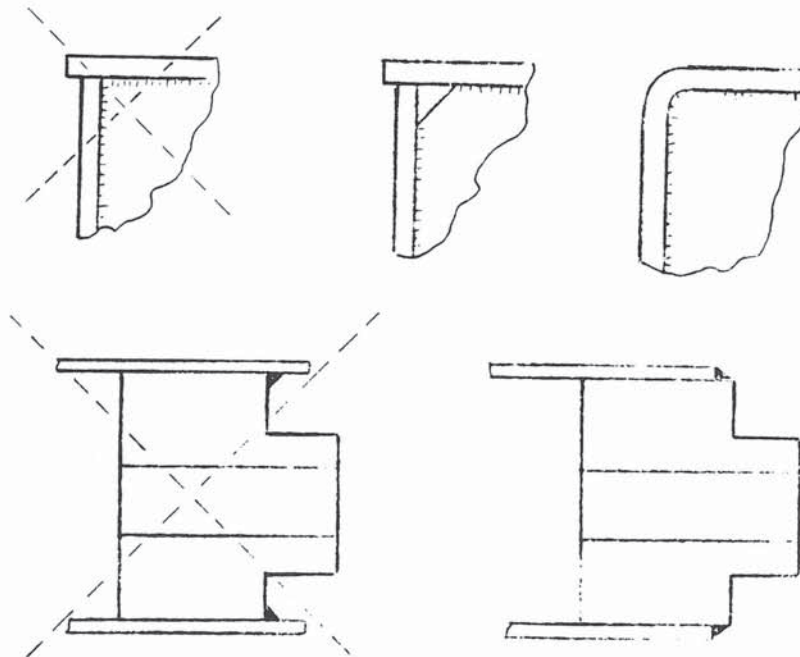


Fig 4.5 Atgärder för bättre åtkomlighet.



- \* Tag hänsyn till värmedeformation och värmeförlust så att gynnsammare parametrar kan användas. Exempel, fig 4.6.

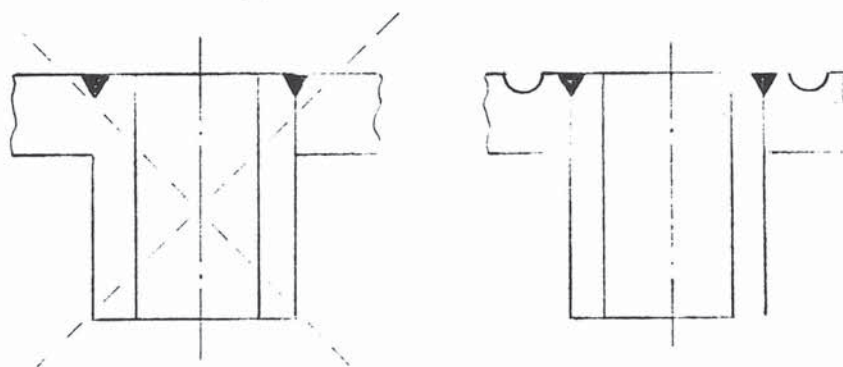


Fig 4.6 Hänsyn till värmedeformation.

#### 4.2 TOLERANSER OCH FOGBEREDNING

Kvaliteten på svetsen är starkt beroende av fogberedning och svetsdata. De metoder som används i Zs plåtverkstad vid ämnestillverkning kommenteras något emedan en djupare studie kan göras i 12.3.

I dag används gasskärning och klippning för det stora flertalet detaljer.

De toleranser man kan åta sig att klara i ämnestillverkningen idag är verkstadstoleranserna, (se bilaga 1).

Toleransernas inverkan på resultatet beror också på detaljens utformning. En utredning bör göras huruvida man kan förbättra toleranserna. Vi behandlar endast närmare den inverkan som tillverkningstoleranserna har på de objekt vi väljer ut.

En översikt över de olika fogberedningsmetoder som står till buds kan ses i fig 4.6.

<u>Fogberedningsmetoder</u>	Produktivitet		Kvalitet
	delning av plåt	framst fas	
Gasskärning	8	10	7
Plasmaskärning	10	7	5
Laserskärning	10 (<4mm)	—	9
Klippning	3	—	5
Stansning och nibbling	7	—	2
Fräsning	—	1	10
Hyvling	—	1	10
Kombinationsutrustningar	8	—	(2-9)
Fasmaskin typ rullsax	—	7	5

Fig 4.6 Fogberedningsmetoder, tiopoängsskala.

En viss utveckling har skett på laserskärningssidan men det är ej ännu ekonomiskt att skära grövre godstjocklekar (> 4mm) utan man får i stället förbättra dagens metoder. För fasning av stumfog till Y-fog används lämpliga fasmaskiner.

Bockning av ingående delar bereder stora problem för mekanisering då det är synnerligen svårt att erhålla goda toleranser vid utförandet. Variationen i återfjädring orsakas av avvikelser i plåttjocklek och hållfasthet.



#### 4.3 SVETSPROCESSENS TOLERANSFÖRMÅGA

Försök har gjorts för att söka detektera olika parametrars inverkan på toleranskraven.

De parametrar man kan variera är:

- Svetsspänning/svetsström
- Trådmatningshastighet
- Svetshastighet
- Pistolvinkel i svetsriktningen
- Pistolvinkel i tvärriktningen
- Kontaktrörsavstånd
- Gastyp
- Tillsatsmaterial

Kombinationerna blir många och endast delar av området är undersökt. Några tabeller för snabb bestämning av lämpliga svetsdata finns ej tillgängliga i dagsläget. De vanligaste sättet är därför att man prövar sig fram till acceptabelt resultat. Något som kan uppfattas som tips för att anpassa svetsparametrarna ges i 12.4, kap 9 och i 12.1.

#### 4.4 FIXTURER

Man kan dela upp fixturerna i två olika kategorier.

- 1 Fixturer för häftning
- 2 Fixturer för färdigsvetsning

Fixturerna för häftning går oftast att göra betydligt enklare än de för färdigsvetsning. Detta beror på att man manuellt kan utföra mätningar och inte slutgiltigt behöver låsa alla lägen. Värmedeformationer uppstår främst vid färdigsvetsning och medför även det stora krav på fixturen.

Komplexitet och storlek har stor betydelse för fixturers kostnad. Fixturer innebär en hög kostnad som måste bäras av de detaljer som skall svetsas i den. Alltså krävs långa serier för att avancerade fixturer för färdigsvetsning skall bli aktuella. För småserietillverkning rekommenderas enkla häftfixturer.

Vid större serier och små detaljer kan fixturer användas för färdigsvetsning. En enkel fixtur av denna typen ligger i prisklassen 20 000 SEK. Ekonomiska övervägande bör göras i varje enskilt fall.

Något om fixturkonstruktion finns i 12.4, kap 7.

## 5 LÄMPLIGA DETALJER FÖR ROBOTS SVETSNING

I plåtverkstaden tillverkas årligen ca 15 000 olika typer av artiklar. Ca 75% av dessa är unika, dvs orderbundna och återkommer sällan i samma utförande. Seriestorlekarna varierar från 1 till 400 st/år och medelseriestorleken ligger på 2-3 st/typ av artikel. För att få fram de för robotsvetsning gynnsammaste artiklarna gjordes en successivt allt finare sökning. Arbetet delades in i tre stadier:

1. Aktuella svetsarbetsplatser
2. Aktuella detaljer
3. Urval

### 5.1 AKTUELLA SVETSARBETSPLATSER

Vid denna, den första, sökningen är syftet att finna på vilka tillverkningsadresser (se bilaga 2) som svetsning förekommer och ur dessa välja ut de intressantaste ur automatiseringssynpunkt. En sammanställning görs av objekt och antal sysselsatta svetsare på respektive tillverkningsadress. På grundval av dessa fakta och ett antal lämpliga kriterier väljs intressanta adresser ut. De kriterier som här avses är:

- Storlek
- Massa
- Svetsmetod
- Svetsmängd

#### Storlek:

Kostnaden för installationen är starkt beroende av hur stort arbetsområde som krävs. Antalet åkrörelser/yttre axlar samt längden på dessa bör därför minimeras. Då det är objektets storlek som bestämmer arbetsområdet väljer vi i 1:a hand objekt < 2x2x2 m.

#### Massa:

För hantering av basobjekten krävs som regel olika typer av lägesställare och manipulatorer. Dessa hjälpmedel har naturligtvis begränsad lyftkapacitet, vilket i sin tur ger begränsningar på objektens massor. Maximal massa på basobjektet sätts därför till 1 000 kg.



## Svetsmetod:

Materialet som används i de detaljer som tillverkas är stål (låglegerat) och aluminium. De metoder som står till buds för robotiserad svetsning av den här typen av detaljer är MIG och MAG. Smältsvetsning utan tillsatsmaterial är ej aktuellt pga de relativt grova plåttjocklekarna. TIG-svetsning ställer stora och kanske i det här fallet orealistiska krav på toleranser och svetsmiljö. Metodfunktioner som kan kombineras tillsammans med MIG- och MAG-robotsvetsning är bl a pendling, spraybåge och pulsning.

## Svetsmängd:

Antalet svetsare på tillverkningsavsnitt är ett bra mått på den svetsmängd som finns inom avsnittet. I den mån svetsaren har kombinerade arbetsuppgifter får en uppskattning göras. Gränsvärdet för att avsnittet skall anses intressant sätts vid 1 svetsare kontinuerligt sysselsatt med svetsning.

Efter att ha definierat mål och kriterier kan ett urval göras. Nedan följer tabell 5.1 i vilken samtliga tillverkningsadresser där svetsning förekommer behandlas.

Tillv adress	Objekttyper	Mått (m)	Massa (kg)	Svetsmetod	Svetsmängd (st)
4164	Kylarbattery	1,7x1,7x0,4 <sup>*)</sup>	500	MAG	1,3
4161	Kylardetaljer	1,5x1,5x0,7	145	MAG/Bel.elektr	1,3
4344	Pressbalkar	6x0,2x0,1 <sup>*)</sup>	200	"-	0,5
4744	"-	"-	"-	"-	"-
4345	"-	"-	"-	"-	0,8
4745	"-	"-	"-	"-	"-
4331	Loklådor(komb)	1,8x1,7x2,2	1600	"-	1,3
4340	Mindre transf.- lådor	2,8x1,5x2,5	2300	"-	3,2
4740	Transf.lådor	7x3x4 <sup>*)</sup>	30000	MAG/Bel elektr/ Pulver	7,8
4330	Detalj tillv	0,2x0,2x0,1 <sup>*)</sup>	20	MAG/Bel.elektr	1,5
4730	"-	0,4x0,4x0,2 <sup>*)</sup>	30	"-	"-
4178	Rot.sym alu.- detaljer	0,6x0,6x1,0	200	MIG/TIG	1,3
4346	Lk-detaljer	0,5x0,5x0,5 <sup>*)</sup>	50	MAG/Bel.elektr	1,3
4347	Lindn.koppl. låda	1,7x0,9x1,4	700	"-	1,3

Tabell 5.1

\*) Uppskattade siffror

Kommentarer till tabell 5.1:

- Tillverkningsadress 4164 behandlas ej närmare och utgår pga att de kylar batterier som tillverkas här är föremål för en eventuell nykonstruktion efter ett annat koncept.
- Tillverkningsadress 4344, 4744, 4345 och 4745 utgår pga pressbalkarnas geometri och svetsmängd.
- Tillverkningsadress 4331 utgår. Orsaken är de kombinerade loklådornas stora massa (ca 1 600 kg).
- Tillverkningsadress 4340 utgår pga detaljernas (i huvudsak transformatorlådor och integrerade lindningskopplarlådor) stora mått och varierande geometri.
- Tillverkningsadress 4740 utgår pga transformatorlådornas mycket stora mått och massor.

## 5.2 AKTUELLA DETALJER

I föregående avsnitt gjordes en grov indelning av tillverkning och objekt. Vi söker nu att ytterligare tränga in i objektfloran. En grovsällning av denna gjordes genom att hänsyn togs till en rad kriterier. Dessa används också i ett senare skede i samband med urvalet, där man efter den grova bedömningen väljer ut de objekt som kan vara värda att satsa på.

Kriterierna är som följer:

- Fogtyp
- Atkomlighet
- Svetsvolym
- Årsvolym

Av dessa kan de första tre betraktas som något flexibla än årsvolymen då dessa kan påverkas genom konstruktionsförändringar.

Årsvolymen är direkt beroende av efterfrågan och betydligt svårare att reglera. Olikheter av denna typ påverkar kriteriernas genomslagskraft.

Kriterierna kommenteras närmare nedan:

Fogtyper:

Behandlas närmare under automatiserad bågsvetsning. Men generellt sett är inre kälffogar, överlappsfogar, V-fogar med rotstöd och Y-fogar gynnsammare än övriga fogtyper.

Åtkomlighet:

Vi bedömer här möjligheter att nå in i t ex hörn. Åtkomligheten ur robotens arbetsområdessynpunkt faller ej in här. Tre olika nivåer i kriterieuppfyllelse kan erhållas dålig (d), god (g) och mycket god (mg). Endast de utvalda kommenteras närmare.

Svetsvolym:

Det jämförelsemått som är lämpligt att använda är svetskostnad som finns tillgänglig för så gott som varje objekt. Allmänt gäller vid robotsvetsning att man strävar efter att svetsa de detaljer som har stor svetsvolym. Svetsvolymen är viktig ur flera synpunkter, t ex:

- Cykeltid
- Beläggning
- Balans i stationen mellan olika produkter
- Materialhanteringskapacitet



Årsvolym:

Årsvolymer definieras som det antal detaljer som produceras av en viss detalj på ett år. Man kan generellt sätta upp de gränser som gäller för olika grad av automatisering (fig 5.1).

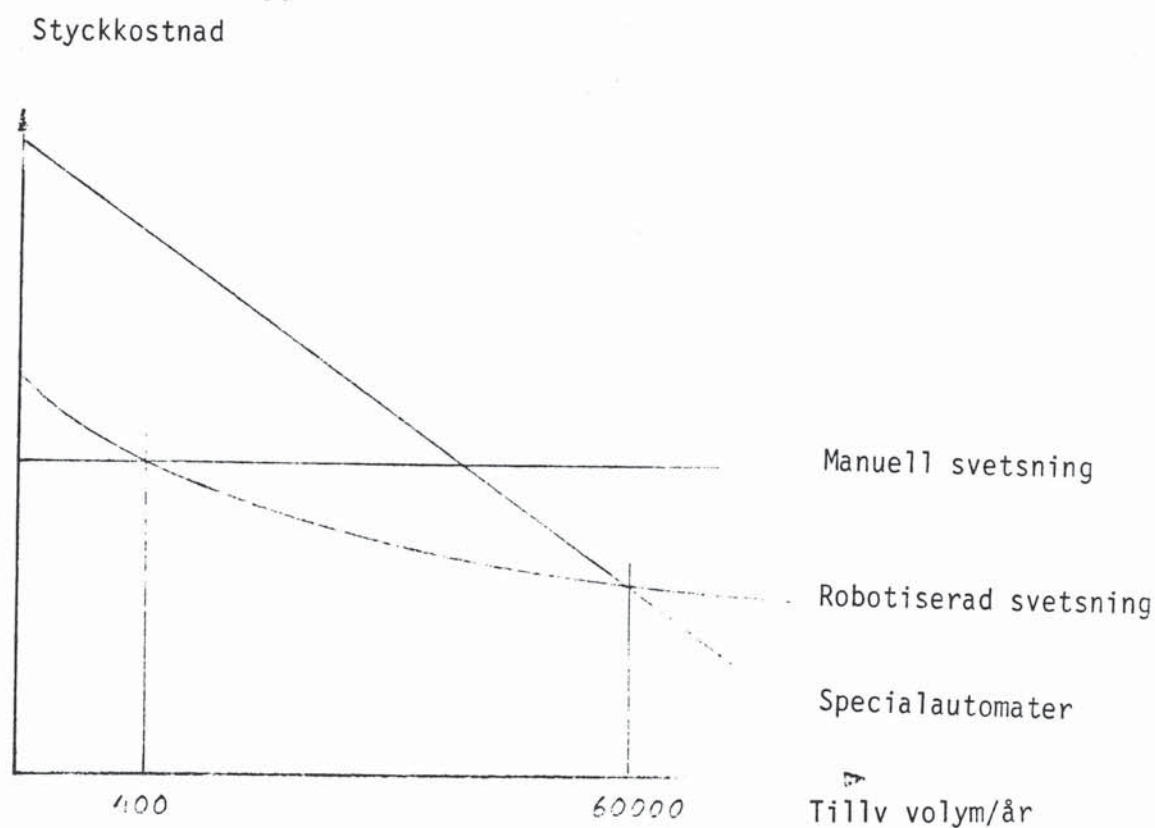


Fig 5.1 Tillverkningskostnad vid olika produktionsmetoder.

En annan intressant faktor att beakta när man senare skall beräkna beläggningen på stationen är årssvetsvolymen. Man får då beräkna den svetsstid (inkl förflyttningar mellan svetsarna) som ett objekt kräver. Multipliceras denna med årsvolymer fås den beläggning objektet ger. (Detta redovisas under flätkåpor och lindningskopparlådor. Arbetet med att räkna ut detta för samtliga detaljer ligger inte inom ramen för projektet.)

En översikt för aktuella detaljer med kriterier presenteras i tab 5.2.

	Objekt	Fogtyp	Åtkom- lighet	Svetsvolym	Årsvolym
Avsnitt 4161	Flätkåpa	kälfog/I-fog	g	128 kr	500
Avsnitt 4330	Låda	kälfog	g	15 kr	100
Avsnitt 4730	Mellanfläns	kälfog	g	23 kr	100
Avsnitt 4178	Toppkär1	V-fog	mg	35 kr	900
	Flexibla förb	V-fog	mg	37 kr	950
	Bult	kälfog	mg	50 kr	900
	Flänsförlängn	kälfog	g	20 kr	900
Avsnitt 4347	LK-låda, UZE	kälfog	g	316 kr	275

Tab 5.2 Aktuella detaljer.



De resultat (under aktuella detaljer) som presenteras i tabell 5.2 kommenteras:

En första grovsällning genomfördes direkt vid informationsinsamlandet. Objekt som då uteslöts föll på kriterierna årsvolym (det förekommer en mängd unika objekt) och/eller svetsmängd.

Beträffande åtkomligheten är denna mycket god på flertalet detaljer då dessa ofta har stora dimensioner och är okomplicerade.

Det problem man dock stöter på vid stora detaljer är det att robotens egna räckvidd/arbetsområde ej är tillräckligt stort.

De förekommande fogtyperna på de aktuella objekten är till ca 95% gynnsamma för robotsvetsning. Fogtypen är också som vi tidigare nämnt relativt enkelt att förändra om detta krävs.

### 5.3 URVAL

I detta stadium är avsikten att välja ut de basobjekt som anses som mest lämpade att belägga en robotstation. Underlaget för detta urval är den i föregående avsnitt presenterade tabellen. Där framgår de viktigaste kriterierna som bör tas i beaktande vid jämförelse och urval.

I tabellen framgår att åtkomligheten för svetsning är god för samtliga basobjekt och några stora skillnader föreligger ej. När det gäller fogtyper är inte heller detta kriterium utslagsgivande.

Visserligen kanske kälfog anses som lämpligast, men utnyttjas rotstöd vid I- och V-fog är dessa även att betrakta som lämpliga. De återstående kriterierna kommer således att bli utslagsgivande vid urvalet. Här bör man dock inte se någon enskild siffra som avgörande utan det är produkten av svets- och årsvolym som blir utslagsgivande. De objekt som då visar sig ha den högsta årssvetsvolymen är flätkåpor och lindningskopp-larlådor. Dessa väljs därför ut som lämpliga att närmare undersöka möjligheten att robotsvetsa. Detta urval utesluter dock ej övriga objekt, men för att komma vidare och se vilken beläggningsnivå man härmed kommer på med dessa objekt så nöjer vi oss med det i detta stadium.

## 5.4 FLÄTKAPOR

Under denna punkt söker vi att närmare redovisa fakta kring flätkåpa som är av vikt för eventuell robotinstallation. En sammanställning av viktiga fakta ges nedan.

Viktiga fakta, flätkåpor

## Svetsmängd:

Total svetslängd	31300 mm
Total bågtid	1,12 h
Årssvetstid	746 h
Årsbågtid	560 h
Manuell svetstid	2,9 h
Häfttid	1,0 h
Fogtyper käl fog	2 (I-svets med rotsvetssida)
Godstjocklek	3 mm
Antal svetsar	10 st

## Satsstorlek:

Antal objekt/order	50 st
--------------------	-------

## Arsvolym (prognos):

	500 st
--	--------

## Mått:

Ø	1500 mm
H	700 mm

## Massa:

	145 kg
--	--------

## Atkomlighet:

Fogar som kräver extra undersökning	3 st
-------------------------------------	------

## Toleranser:

Gällande verkstadstoleranser

För att nu närmare kunna bestämma den beläggning på stationen man kan erhålla beräknades den totala båg tiden (per objekt). Denna är en funktion av svets hastighet och svetslängd. Beräkningarna för flätkåpa redovisas i bilaga 3.

Kommentaren till kriterier och fakta:

Häfttid och manuell svets tid:

I dag tar det ca 6 skift för två man att färdigställa 25 st flätkåpor varav ca 1,5 skift är häftning. Detta ger resultaten ovan. Noteras bör att i färdigsvetsningen ingår även en del riktningarbete av främst mantel.

Fogtyper: De olika fogtyperna är kälffogar av olika typer och kan ses vid snitt A-A till E-E. samt en I-svets med rotsvetssidor, se snitt B-B. En fyllnadssvets läggs mellan mantel och ring, se snitt C-C. Samtliga hänvisningar här och vidare är till, bilaga 5.

Åtkomlighet: God vid alla svetsar utom svets vid montage av lock (09) där maxbredden ges av nedanstående figur 5.2.

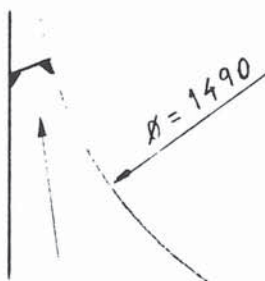


Fig 5.2 Trång sektion.

I övrigt finns inga kritiska foglägen.

Toleranser:

Såväl ring som mantel är böckade vilket medför att stora avvikelser lätt erhålls främst vid svetsarna vid snitt A-A till C-C.

En spaltbredd mellan 0-3 mm kunde uppmätas vid I-fogen (B-B) och fyllnadsfogen (C-C).

Fixturen används endast vid häftning av fästvinklarna (08). Toleranskraven för att flätkåpan skall fylla sin funktion är låga utom vid inloppet.

### 5.5 LINDNINGSKOPPLARLÅDOR

Här redovisas fakta som är viktiga med tanke på en eventuell framtida robotsvetsning av de olika typerna av lindningskopplarlådor. En sammanställning ges nedan.

#### Viktiga fakta, lindningskopplarlådor

##### Svetsmängd:

Total svetslängd	11000 - 14900 mm
Total bågtid	0,65 - 1,0 h
Årsbågtid	195 h
Årssvetsid	259 h
Häfttid	1,5-3 h
Fogtyper käl fog	3 och 4
Godstjocklek	4 - 8 mm
Antal svetsar	17 st

##### Satsstorlek:

Antal objekt/order	1,7 st
--------------------	--------

##### Årsvolym:

250 st

##### Mått:

Kubisk L	770 - 1740 mm
B	770 - 890 mm
H	1060 - 1430 mm

##### Cylindrisk

##### Massa:

300 - 700 kg



Atkomlighet:

Fogar som kräver extra undersökning 1 st

Toleranser:

Gällande verkstadstoleranser

Beläggningen på stationen bestäms genom att beräkna bågtiden för objekten, i det här fallet de olika typerna av lindningskopplarlådor. Bågtiden ges av svets hastighet och svetslängd. Dessa beräkningar redovisas i bilaga 4.

Kommentarer till kriterier och fakta:

Häftning: Vid häftningen används endast fixtur då första sidoplåten häftas fast på ramen. I övrigt ritsas och fixeras detaljerna manuellt efterhand som de häftas. Riktighetsarbete sker succesivt under häftningen.


Helsvetsning: Som arbetsmoment efter häftningen följer helsvetsning. Denna utförs i lägeställare.

Tätprovning: De utförda svetsarna tätprovras efter slipning. Vid läckage läggs ny svets på.

Kapacitet: Normalt produceras 3-4 lådor/dag i avsnittet.

Ämnestillverkning: Alla ingående delar, utom tak som klipps, gasskärs i skärmaskin.

Toleranser: De toleranskrav man arbetar efter är verkstadstoleranserna (bilaga 1), men för funktionen är dessa ej avgörande. De största problemen med att hålla sig inom toleranserna har man vid bockningen, vilket kan yttra sig i fogspalter på upp till 10 mm vid fogen mellan tak- och sidoplåt (se A bilaga 5).

Varianter: Varje låda är unik och anpassas för sin speciella tillämpning. Dock finns 3 grundvarianter på låda vad gällande ytterdimension. Det som gör varje låda unik är kombinationen av detaljer som appliceras på lådan (dessa optionsdetaljer är markerade med  på ritningarna).

För beräkningen av beläggningen för en eventuell robotstation har endast de för grundvarianterna ingående svetsarna medräknats. En ny grundkonstruktion av låda är under utveckling och kommer förmodligen att ersätta nuvarande variantprogram inom ett år. Storlek och uppbyggnad av den nya typen av låda är dock i stort sett lik nuvarande typer, varför kraven på en eventuell robotstation ej kommer att förändras nämnvärt.

Fogtyper: De fogtyper som förekommer är uteslutande kälfogar med a-mått 3 och 4 mm. Fogarna är av gynnsam typ.

Atkomlighet: Lådans dimensioner medför att några större problem med trånga och svåråtkomliga svetslägen ej förekommer.

## 6 TILLGÄNGLIG OCH FRAMTIDA TEKNIK

Vi försöker här kortfattat beskriva vilka komponenter som finns tillgängliga i dag för att bygga upp en svetsrobotstation. Den högre automationsnivån med specialautomater är ej intressant då systemet innebär att operationssekvensen helt bestäms av utrustningens uppbyggnad. Man saknar då den flexibilitet som är nödvändig vid småserieprodukter. Avancerad off-lineprogrammering är något som är intressant för framtida bruk, behandlas kort under egen rubrik.

De produkter som skulle kunna tänkas vara lämpliga att svetsa i specialautomater är de rotationssymmetriska i aluminium, men här är antalet varianter för stort och volymen otillräcklig för att dessa skall komma ifråga.

### 6.1 ROBOTTYPER FÜR BAGSVETSNING

Det finns främst två olika grundkoncept för robotsvetsning idag. Dels den traditionella typen som hos ESAB representeras av Irb 6/2 AW, dels den nya MAC 2000. Robotar av andra fabrikat är uppbyggda på liknande sätt varför vi ej behandlar dessa närmare. Jämförelse av prestanda kan göras i tabell 6.1.

Typiskt för Irb 6/2 AW är:

- Litet eget arbetsområde, se fig 6.1.

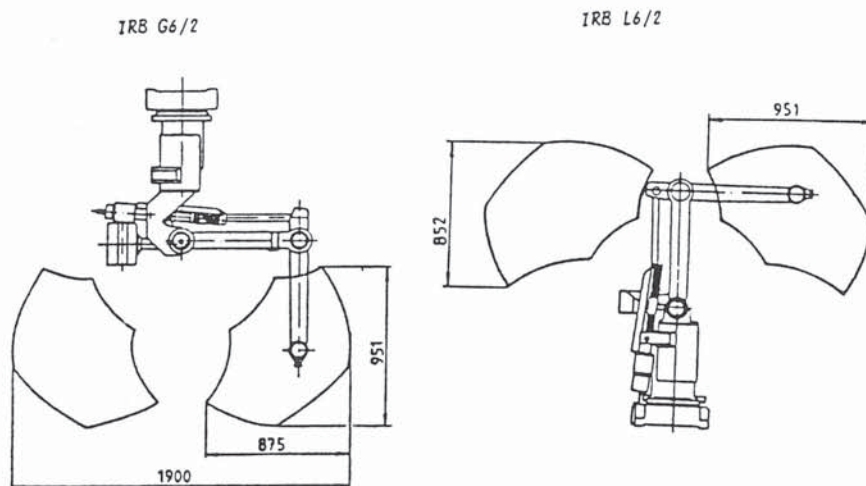


Fig 6.1 Arbetsområde Irb G 6/2 och L 6/2



- Synkron servokontroll av yttre axlar. Detta innebär att objektet kan flyttas samtidigt som roboten svetsar, sker t ex med Orbit, se fig 6.2.

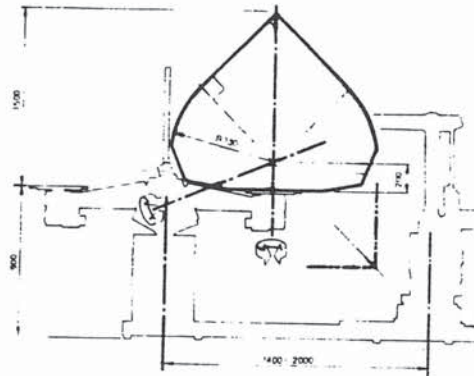


Fig 6.2 Robotstation med Orbit.

- Yttre axlar för ökat arbetsområde kan vara åkrörelse i portal, åkbanan eller i vridansordning som JACK-KNIFE.
- Klarar även att styra yttre relästyrd utrustning.
- Går att kombinera med fogföljare/fogsökare.
- Lämplig att bygga in i FMS-system.
- Programmeras genom att under dialog köra roboten till start- och slutposition. Under dialogen matar man in parametrar som ström, spänning och hastighet.
- Linjär och cirkulär interpolation används för uppbyggnad av programmet. Detta innebär att man med ett fåtal positioner kan beskriva en linjär eller cirkulär rörelse (se fig 6.3).

#### Linjär interpolation



#### Cirkelinterpolation

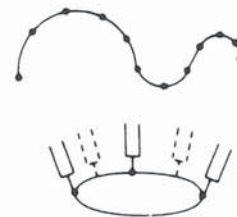


Fig 6.3 Interpolationsmöjligheter

- Lagring av program i primärminne och sekundärminnet.  
 Kommentar: Primärminnet klarar ej program för större detaljer, utan man får under drift anropa program från sekundärminne (tar 2s).
- Programmering on line innebär att man upptar produktionstid. För att komma i fråån detta är off-lineprogrammering under utveckling.

#### Kommentarer till Irb 6/2 AW:

Roboten svetsar snabbare än motsvarande manuellt utfört arbete främst pga snabbare förflyttningar mellan olika svetslägen. Möjligheten att kontrollera yttre axlar och svetsprocess synkront med roboten medför att man kan svetsa svåra arbetsstycken som kan vara omöjliga att utföra manuellt. Programmeringen är relativt tidsödande. Detta medför att det ideala arbetsstycket tillverkas i långa serier och har många komplicerade korta svetsar.

#### Typiskt för MAC 2000 är:

M är ett helt nytt koncept framtaget av ESAB North America enbart för bågsvetsning i robot. Den är framtagen speciellt med tanke på korta serier och stort arbetsområde.

#### Karakteristiskt för M är:

- Lätt att programmera, sker enligt leda - lärprincipen. Detta går kortfattat till enligt följande (se fig 6.4).

#### Utrustning

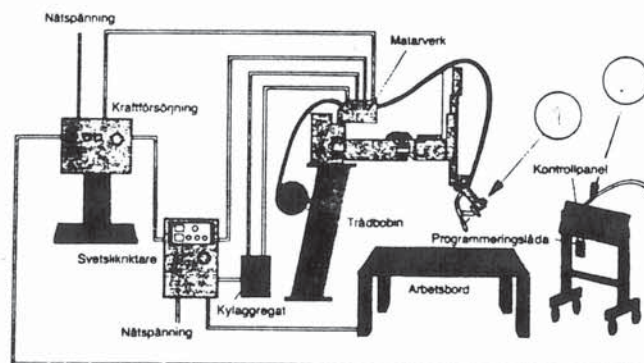


Fig 6.4 MAC 2000

- 1 Tag bort gasmunstycket (1) och sätt på inlärningsmunstycket.
  - 2 Tryck på lär (2) och led pistolen genom arbetscykeln. En svetsknapp på handtaget används för att skilja på svetsning och förflyttning.
  - 3 Tryck på stopp (2) och slå på svetsutrustningen.
  - 4 Anropa förprogrammerade svetsparametrar (2).
  - 5 Tryck på svetsa (2).
- M är som synes lätt att programmera då man i stort sett endast behöver ha grundläggande svetskunskaper.
  - M har stort arbetsområde (se fig 6.5).
  - M kan styra relästyrd kringutrustning, t ex speciella lägesställare och positioneringsutrustning.
  - Låg förflyttningshastighet
  - Klarar ej fogföljning.
  - Möjligt att spara program för svetsning av flera detaljer.
  - Svetsar med flera strängar programmeras på enkelt sätt.

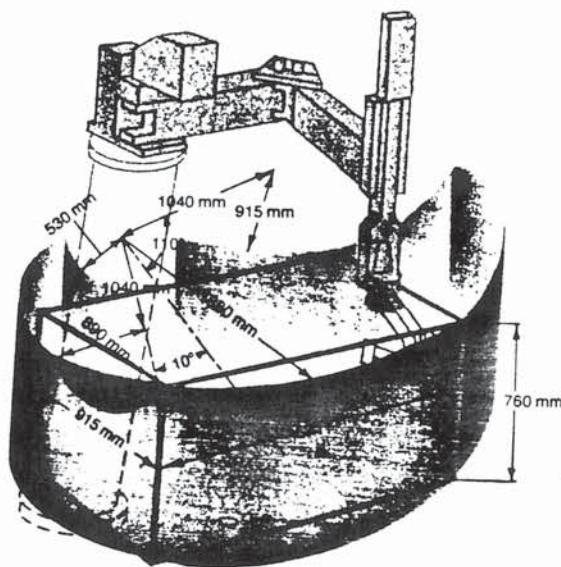


Fig 6.5 Arbetsområde MAC 2000



Kommentar till MAC 2000:

Vid egen provning upplevdes roboten som något besvärligt att leda längs fogen. För att kunna utnyttja programmet för körning av mer än den programmerade detaljen ställs lika höga krav på positionering av detalj och detaljnoggrannhet som vid användning av Irb 6/2 AW. Avvikelserna går ej heller att justera mha fogföljare/sökare. Detta medför att det är enkla objekt med grova svetsar som är fördelaktigast för robottypen. Programmeringstiden för en detalj anges till 15% av den totala svetscykeltiden. Det verkar ej troligt att man skall komma ned till denna siffra om ej objektet är av synnerligen god karaktär. För dessa kan möjligen en enkel fixtur användas.

En grov jämförelse av de olika alternativen kan göras i tabell 6.1:

Leverantör Modell	IRB 6	ESAB MAC 2000	TORSTEKNIK L 10 W	KEMPPI M 6060
Typ	Ledad arm	Horisontell ledad arm	Ledad arm	Ledad arm
Antal axlar	5-6	5	6	6
Drivsystem	DC	Stegmotor	DC	DC
Lastkapacitet	6 kg	-	10 kg	6 kg
Hastighet max	1,3 m/s	0,25 m/s	anges ej	anges ej
Programmering	Positionspr	Leda-lär	Positionspr	Positionspr
Antal samtidigt servostyrda axlar	9	5	8	6
Repeter- noggrannhet	+ 0,2	+ 0,3	+ 0,2	+ 0,2
Pendling	Ja	Ja	Ja	Ja

Tabell 6.1

## 6.2 OFF-LINEPROGRAMMERING

För högt utnyttjande av den maskinella utrustningen är det en fördel om programmeringen kan utföras off-line och sedan överförs till robotens styrsystem.

ASEA marknadsför nu det nya systemet, ASEA off-line Programming package. Totalt är 15 system levererade, dock inget för svetsning.

Programmeringsmetodik:

Programmet byggs upp med ordinarie kommandon på extra dator, exempelvis IBM PC/XT. Koordinaterna mot vilka roboten skall arbeta kan föras in på tre olika sätt; lära, manuellt och CAD.

Vid metoden lära ges koordinaterna namn vilka sedan definieras on-line genom att föra roboten till de olika positionerna.

Manuell inmatning förutsätter att man känner till de absoluta koordinaterna samt handledsvinkel och därmed direkt kan lägga in dessa i programmet.

CAD-metodiken innebär att man bygger upp en modell av objekt och ev robotcell och pss genererar koordinaterna. För att kunna utnyttja CAD-metodiken krävs givetvis också ett därtill anpassat CAD-system. Utveckling återstår och sker för närvarande hos ROB-CAD (Israel) och MAC-AUTO (USA).

Den manuella programmeringen har akilleshälen dålig absolut noggrannhet hos roboten. I dagsläget är alltså lärametodiken den som är aktuell. Lärametodiken kan kombineras med manuell programmering genom att man går inkrementellt via inmatade grundkoordinater, varvid ej alla punkter måste definieras genom lära.

## 6.3 KRINGUTRUSTNING

Till kringutrustning hör allt utom robot med styrsystem. Vi har valt att dela upp kringutrustningen i:

- \* Svetsutrustning; De intressanta delarna är här strömkälla, slangpaket, trådmatarverk och pistol.
- \* Positioneringsutrustning; såsom åkbanor, vriddon mm för förflyttning av roboten till rätt arbetsläge.
- \* Hanteringsutrustning; som innefattar exempelvis manipulatorer och paletter.
- \* Sensorfunktioner för lokalisering av objekt och/eller fogföljning.

### Svetsutrustningar

Irb 6/2 AW har två analoga utgångar för styrning av strömkälla och matarverk. Kravet är därför att det går att styra utrustningen med dessa. Analogsströmkällor finns anpassade speciellt för robotsvetsning. Exempel från ESAB är LAH 500 R och LAH 500.

Speciella krav på flexibilitet ställs på slangpaketet i samband med robotsvetsning beroende på installationer. Slangarna bör kunna böjas tillräckligt utan att veckas.

För säker trådmatning är maximal längd på trådledaren 4,5 m. Vid längre installationer bör ett seriematarverk anslutas. För klenare aluminiumtråd bör dragande pistol användas.

Svetspistolens uppgift är att överföra svetsström till elektroden och ge säkert grepp för styrning av elektroden. Strålningsvärme från ljusbåge och effektförluster i kontaktpunkter medför hög temperatur och termiskt slitage i närliggande komponenter. Gränsvärdet för acceptabel temperatur på kontaktröret är  $300^{\circ}\text{C}$ . Över denna temperatur kan kontaktsvårigheter med följande svetsfel uppstå.

Robotsvetsning medför hög bågtdsfaktor och ställer därmed höga krav på kylning. Olika kombinationer kan studeras i fig 6.6.

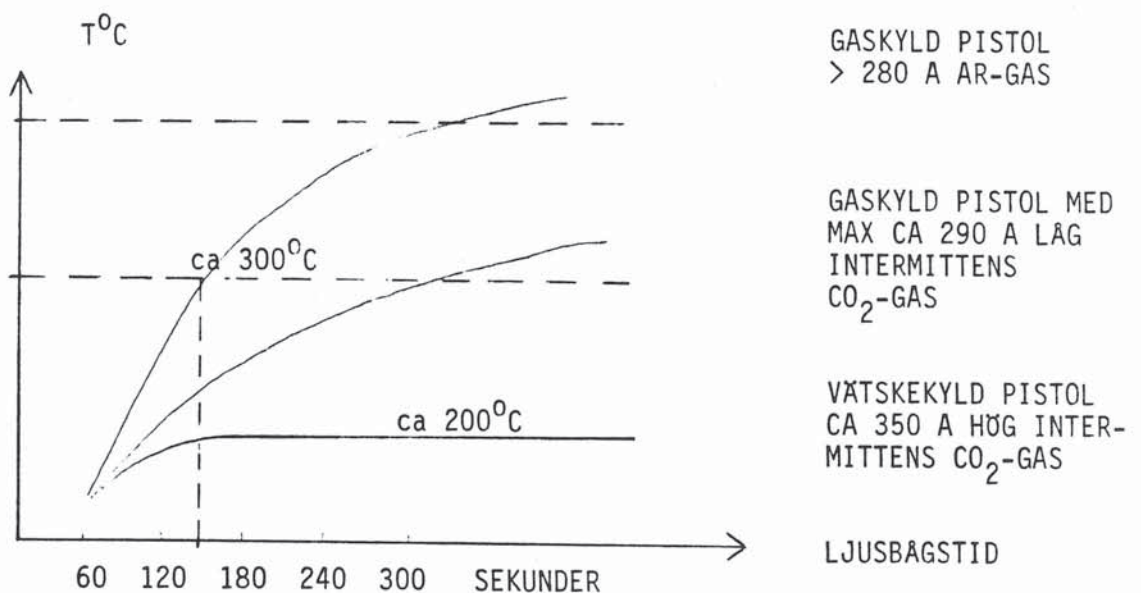


Fig 6.6 Kontraktrörets temperatur.



Den vätskekylda pistolen medför att temperaturen på kontaktröret kan hållas låg även vid höga svetsströmmar och rekommenderas därför.

Vid behov av olika tråddiametrar eller olika trådtyper är det lämpligt med två kompletta svetsutrustningar. I stället för den ordinarie hållaren används då gripklo för att hålla pistolen (tillämpning på detta finns hos ASEA Traction, Helsingborg). Svetspistolen bör monteras fjädrande då sannolikheten för kollision är stor vid såväl programmering som körning.

#### Positioneringsutrustning

Svetsning av större detaljer kräver större arbetsområden än robotens inbyggda. Beroende på robotens styrsystem väljer man mellan servostyrda (Irb 6/2 AW) och relästyrda indexerande (MAC 2000) anordningar för att flytta roboten till erforderligt arbetsläge.

Servostyrda:

IRBT 06S

Är beteckningen på ASEAs servodrivna åkenhet (fig 6.7 nedan).

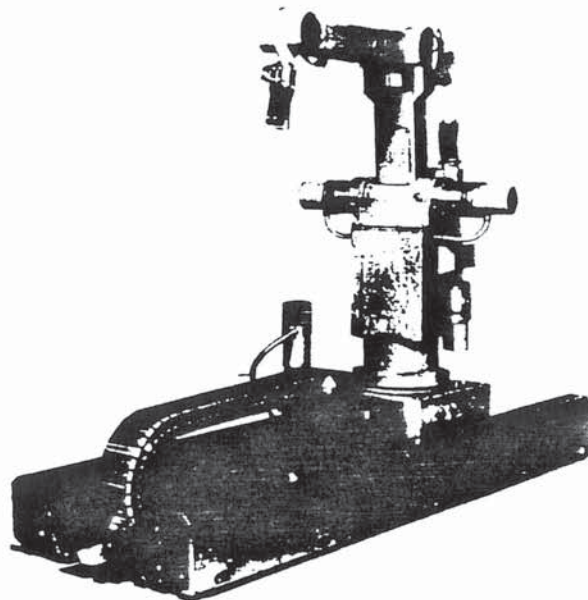


Fig 6.7 Servodrivnen åkenhet IRBT 06S



Denna kan utnyttjas för såväl hängande som stående montage av robot. För hängande byggs åkbanan samman med portal.

Några tekniska data redovisas nedan:

Aklängd	1,25 m, 2,25 m, 3,25 m i en-metersintervaller upp till 11,25 m.
Akhastighet	0,8 m/sek
Acceleration med IRB 6 + 30 kg	1,2 m/sek <sup>2</sup>
Repeter Noggrannhet: Upprepade stopp i en färdriktning mot samma punkt	± 0,05 mm
Max last, oberoende av golv eller takmontage	100 kg utöver robotens vikt

#### JACK-KNIFE

JACK-KNIFE är ett nytt servostyrt vriddonssystem speciellt anpassat för hängande Irb 6/2 AW-robot. Systemet är uppbyggt kring två servostyrda vriddon. Detta gör att det är möjligt att steglöst positionera roboten inom arbetsområdet (se fig 6.8).

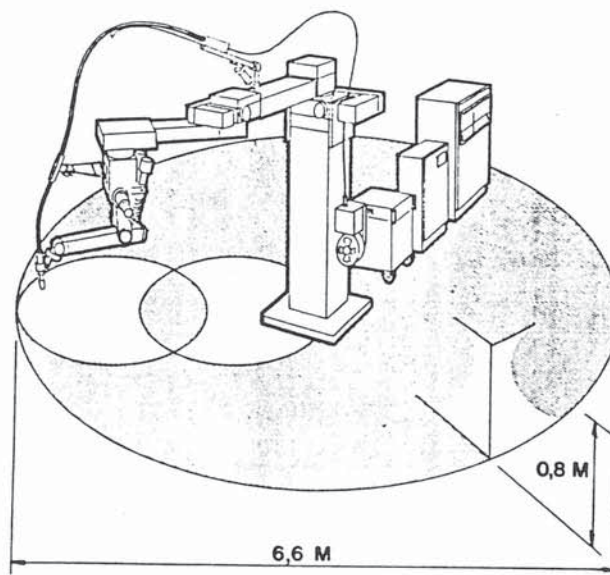


Fig 6.8 JACK-KNIFE

Systemet upptar alltså två av robotens nio möjliga servostyrda axlar. Man klarar alltså att även styra en Orbit om ej robotens 6:e axel används.

#### Tekniska data

Arbetsområde (med Irb 6/2 AW)	27 m <sup>3</sup>
Åkhastighet	3,3 m/s
Repeternoggrannhet	± 0,2 mm
Max last	6 kg utöver robotens vikt

Indexerande:

Indexerande åkbanor finns ej som standard inom ESAB's produktprogram. Dessa är dock tekniskt enkla i uppbyggnad. Exempel på uppbyggnad, se fig 6.9.

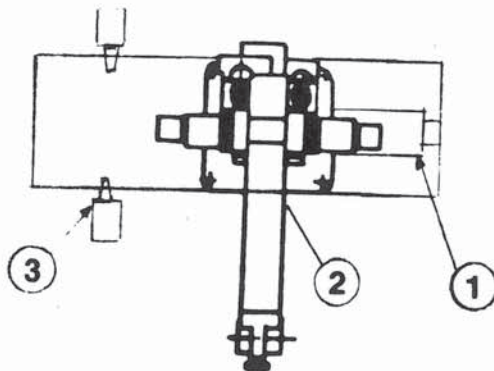


Fig 6.9 Exempel på indexerande åkbana

Den hydrauliska eller pneumatiska drivningen (1) förflyttar roboten (2) mellan önskade lägen. För exakt låsning används dubbar (3) vid den slutliga positioneringen. Samma princip går att använda för vertikal positionering.

För M är för närvarande en pelarrotation med en indexering av  $90^{\circ}$  intervall under utveckling. Roboten täcker då fyra olika arbetsplatser.

### Hanteringsutrustning

Den utrustning med vilken man för objektet in i stationen och positionerar det betecknar vi hanteringsutrustning. Vi behandlar kortfattat delarna i den logiska följd som ges av objektets arbetsgång. Transporten in i cellen kan ske automatiskt eller manuellt. För det automatiska alternativet används idag huvudsakligen två olika utrustningar:

- 1 Rullbana
- 2 Slingstyrd truck

För att automatiskt kunna hantera de olika objekten krävs en gemensam lastbärare, vilken kallas palett. Intransporten styrs av ett separat styrsystem som får signalen från robotens styrsystem. Kombinerat detta med automatiskt svetsprogramval finns möjlighet att köra PBB. Manuellt kan transporter ske med truck eller för hand, beroende på objektets storlek. Vid manuell laddning av stationen är det nästan en förutsättning att tvåstationsprincipen används för att uppnå högt utnyttjande av roboten. Häftas objektet på plats i stationen är tvåstationsprincipen en nödvändighet. Beroende på objektets storlek, åtkomlighet och krav på svetslägen kan manipulering krävas. Fördelaktiga svetslägen ger också möjlighet till högre svetshastighet vilket ger högre effektivitet.

Manipulatorerna kan liksom utrustningen för positionering delas in i servostyrda och indexerande.

### Servostyrda:

De mest avancerade manipulatorerna som finns tillgängliga har två servostyrda axlar. De yttre axlarna programmeras och styrs via robotens styrsystem. Det är endast Torsteknik och ESAB som har den tvåaxliga typen i sitt produktprogram. Kempis robotstyrsystem klarar bara en yttre servostyrd axel. Nedan ges några exempel på servostyrda manipulatorer. Då flera tillverkare och leverantörer har liknande anges detta.

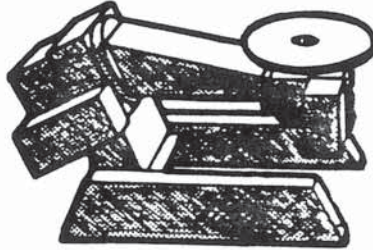


Fig 6.10 ORBIT 500

Tillverkare/leverantör	ESAB	KEMPPI	TORSTEKNIK
Manipulator	ORBIT 500	-	-
Antal servoaxlar	2 st	-	-
Max last	500 kg	-	-
Max tippmoment	2,2 kNm	-	-
Repeternoggrannhet	$\pm 0,1$ mm/500 mm radie	-	-

ORBIT 160B är en station uppbyggd kring en dubbel ORBIT av mindre typ. Stationen kan användas för mindre detaljer och fungerar enligt tvåstationsprincipen.

Tillverkare/leverantör	ESAB	KEMPPI	TORSTEKNIK
Manipulator	ORBIT 160B	-	-
Antal servoaxlar	2 st	-	-
Max last	160 kg	-	-
Max vridmoment	180 Nm	-	-
Repeternoggrannhet	$\pm 0,1$ mm/500 mm radie	-	-



Torsteknik marknadsför en egen typ av manipulator. Den är tvåaxlig men uppbyggd på ett annorlunda sätt.

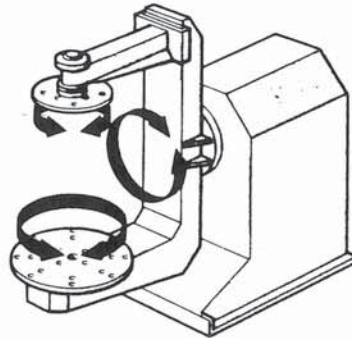


Fig 6.11 MT1-S2A-500

Tillverkare/leverantör	ESAB	KEMPII	TORSTEKNIK
Manipulator	-	-	MT1-S2A-500
Antal servoaxlar	-	-	2 st
Max last	-	-	500 kg
Max vridmoment	-	-	3100 resp 1100 Nm
Repeternoggrannhet	-	-	anges ej

Jämfört med ESAB's Orbit 500 har manipulatorn nackdelen att den begränsar objektets storlek. Detta bör ej vara större än  $\varnothing$  1600x1100 mm.

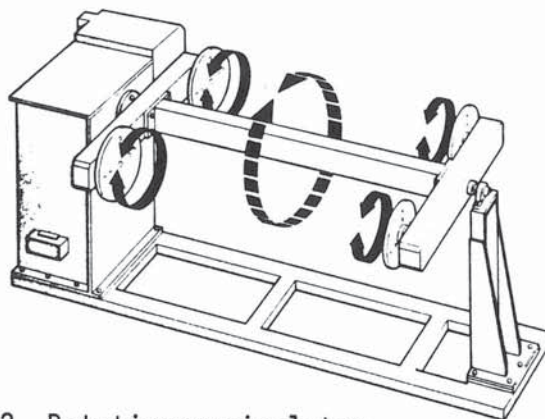


Fig 6.12 Rotationsmanipulator

Rotationsmanipulator enligt tvåstationsprincipen. Denna typen har bara en servostyrd axel och marknadsförs av de tre aktuella leverantörerna.

Tillverkare/leverantör	ESAB	KEMPPI	TORSTEKNIK
Namn	ORBIT 160R	AHP 150	RM2-150/300
Antal servoaxlar	1	0	1
Max last	160 kg	150 kg	150/300 kg
Max vridmoment/av objekt	100 Nm	anges ej	350 Nm
Repeternoggrannhet	+ 0,1 mm/ radie 500 mm	anges ej	anges ej

Enkelstationer av rotationstyp finns också och går att få för högre belastningar. Detta var några exempel. Om ej sökt variant finns så är utvecklingskostnaderna för ny ej alltför stora då byggstenarna t ex servostyrda vriddon finns tillgängliga.

Indexerande:

De indexerande lägesställarna är oftast specialanpassade för ett objekt. Enkel uppbyggnad gör att utrymme för egna varianter finns. Ett exempel på en mer standardbetonad indexerande manipulator är vridbordet nedan.

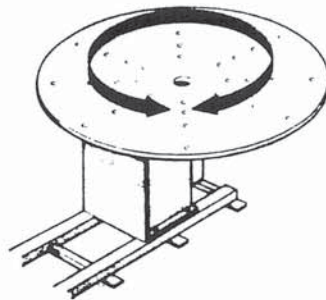


Fig 6.13 Indexerande vridbord.

Typen används mest för att öka antalet stationer och därmed utnyttjandet av roboten.

Tillverkare/leverantör	ESAB	KEMPPI	TORSTEKNIK
Namn	-	KRC-500	VMB 2000
Last	-	2 x 250 kg	2000 kg
Antal lägen	-	2 st	2-4 st

Då MAC 2000 endast klarar att styra kringutrustning av indexerande typ sker en anpassning i Finland av ESABs ordinarie manuelle lägesställare.

Utförande i princip likt nedanstående tvåaxliga manipulator med indexerande lägen.

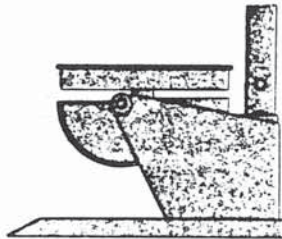


Fig 6.14 Lagesställare

Klarar laster från 150-2500 kg.



### Sensorfunktioner

Vid svetsning kan olika typer av adaptiva funktioner utnyttjas för att säkerställa en högre och jämnare svetskvalitet. Dessa funktioner kan grovt indelas i:

- fogsökning för svetsning
- fogföljning
- svetsprocesstyrning
- övervakning

I denna undersökning kommer vi att inrikta oss mot de två första av dessa funktioner. De olika arbetsprinciper som förekommer för adaptiva mätgivare är även styrande för vilka användningsområden som är aktuella. I tabell 6.2 nedan görs en uppdelning efter beröringsgivare och beröringsfria givare:

<u>Beröringsgivare</u>	Fogsökning	Fogföljning
Mekaniskt finger, hjul etc	X	X
Elektrisk kontakt	X	-
<u>Beröringsfria givare</u>		
Induktiv	X	X
Optisk	X	X
Svetsparametervariationer	-	X

Tabell 6.2 Mätgivartyper.

Fogsökning före svetsning går till så att sökning sker av start- och slutpunkt. För fullständig bestämning av dessa punkter krävs sökning i tre dimensioner. Fogens läge och utsträckning beräknas sedan mha dessa verkliga mätvärden och används för att styra svetspistolens rörelse från start- till slutpunkt.

Fogföljning däremot är en funktion som arbetar kontinuerligt under svetsprocessen. Den klarar därför att följa fogen trots avvikelser mellan start och slutpunkt.

## Fogsökare:

Vi börjar med att göra en inventering av de olika typer av fogsökare som finns på marknaden. Härvid inriktar vi oss främst mot de typer som ingår i ASEA's och ESAB's försäljningsprogram och övriga med liknande funktion berörs endast kortfattat.

## ASEA: Optocator

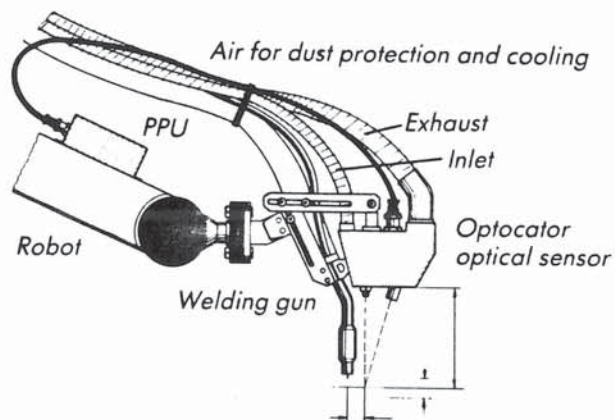


Fig 6.15 Optocator.

O. bygger på ett optiskt mätsystem (laser) som anpassats till ASEA's svetsrobotar. Givaren mäter avstånd och kan användas för att bestämma lägen hos:

- ytor (i höjdlid)
- kanter
- överlapps- och kälfogar
- stumfogar (med spalt)
- cirkulära detaljer

Genom att i styrsystemet programmera in plåttjockleken vid överlappsfogar, kan man även få fram spaltens storlek. Spaltstorlek kan också mätas i käl- och stumfogar. Några viktiga data för systemet är:

- söknoggrannhet  $< \pm 0,4$  mm
- söktid för sökning i 3 dimensioner är 25 s
- minsta rekommenderade godstjocklek 0,8 mm
- mätavstånd till fog  $170 \pm 16$  mm

Användningsområdet för systemet är främst tunnplåtssvetsning ned till 0,8 mm plåttjocklek. Lämpliga fogtyper är överlappsfog, kälffog och stumfog. Systemet kan integreras med de flesta förekommande svetsmetoder.

Praktisk provning av systemet har visat att vid fogsökning måste sökrörelsen ske med minst 10 mm/s för att ge säkra mätsignaler. Svetsresultaten vid nollspalt är goda, men vid stora spalter anses ett pendlingsmönster krävas för fullgott resultat.

Systemet har visat sig fungera väl för de tillämpningar det är avsett för, begränsande faktorer att ta hänsyn till är dock:

- givarens storlek som begränsar åtkomligheten
- specialbelagd metallbit krävs för att se var sökaren mäter
- oönskade reflektioner kan störa det optiska mätsystemet då t ex svetssprut och annat skräp kommer i vägen för laserstrålen.

ASEA: SmarTac

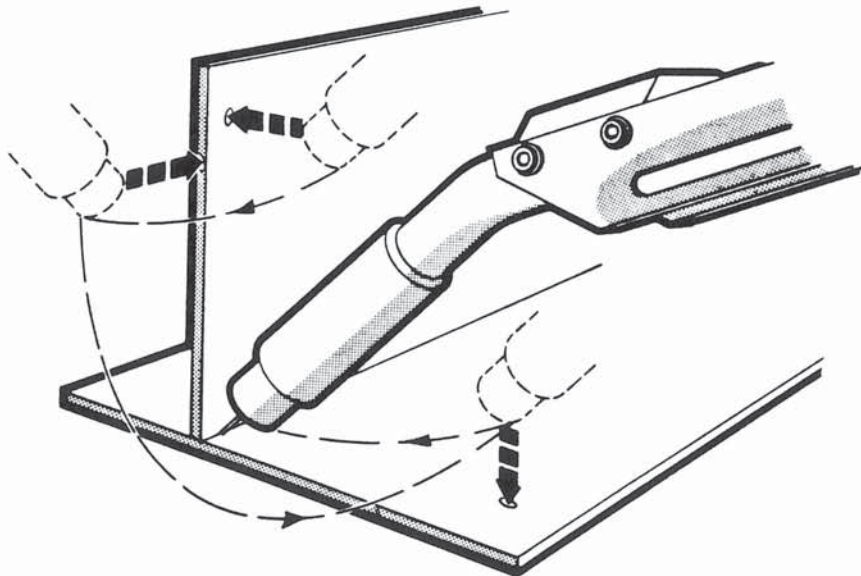


Fig 6.17 SmarTac



Systemet är baserat på en beröringsgivare i form av svetspistolens gaskåpa. I sökögönblicket läggs en elektrisk spänning på gaskåpan och vid kontakt sluts en mätkrets som därvid ger roboten uppgift om söklytans läge.

Ligger objektet fel i förhållande till robotprogrammet beräknas automatiskt skillnaden mellan önskad och verklig position, varefter programmet omedelbart justeras efter föremålets verkliga läge. Sökprocessen som avser att lokalisera en eller flera punkter är integrerad med robotens styrsystem och utförs alltså innan svetsningen påbörjas.

Viktiga data:

- söktid 3-5 s
- söknoggrannhet + 0,6 mm
- sökhastighet 20-50 mm/s

S är främst användbar för kälfogar och andra typer av fogar i tjockare plåt.

För att fogsökningen skall fungera tillfredsställande krävs ett mekaniskt sprutrensningsystem. Sprut på gasmunstycket leder nämligen ofelbart till fel i positioneringen.

S har enkel uppbyggnad och någon yttre extra utrustning krävs ej på svetsmunstycket, varför åtkomligheten heller inte blir lidande. Den sprutrensningsfunktion som systemet kräver påverkar naturligtvis båg-tidsfaktorn eftersom rensning måste ske med jämna mellanrum. Sökmetoden är relativt långsam.

Övriga fogsökare på marknaden:

Touch-sensor (Hitachi); Fogläge identifieras genom att svets Elektroden söker till den bringas i kontakt med arbetsstycket. Sökstop ges då i robotens styrsystem.

Induktiv fogsökare (Limat-Armco); Givarhuvud med 5 induktiva sensorer som ger sökstopp på visst avstånd. Bestämmer objektet 3D i rymden.

Induktiv fogsökare (Materialdata); Mha ett arrangemang av spolar söks fogläge induktivt.

## Fogföljare:

På marknaden finns en rad olika system för fogföljning med skilda arbetsprinciper. Flera av de leverantörer som saluför fogsökarsystem har även fogföljarsystem i sina produktprogram. Också denna presentation inriktas främst mot ASEAs och ESABs försäljningsprogram.

## ASEA: LaserTrak

## Dimensions

A = 220 mm  
 B = 132  
 C = 129  
 D = 30  
 E = 36  
 F = 20  
 G = 36  
 Ø = 112

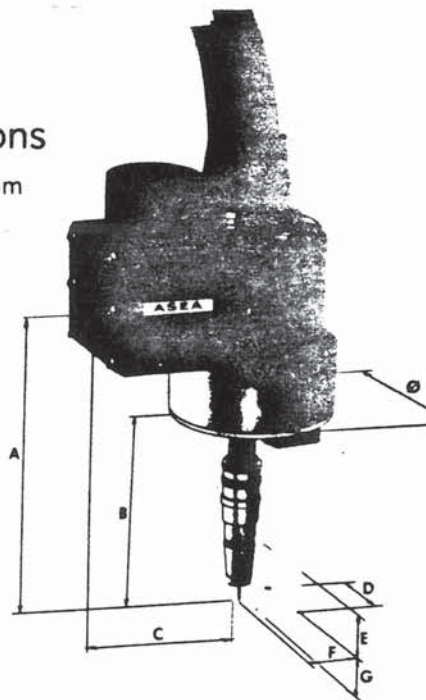


Fig 6.18 LaserTrak.

L är en optisk avståndsmätare som söker fogen mha laserstråle och speglar i mätdonet. Synligt laserljus utnyttjas för att underlätta programmeringen. Vid sökningen av fogen mäts mittläge och spaltbredd på fogen vilket ger roboten möjlighet att styra svetsprocessen på lämpligt sätt. Mät huvudet är uppbyggt som en cylinder monterad utanpå svetspistolen och roteras för att kontinuerligt ge nya mätvärden parallellt och vinkelrät mot fogen. Sensorn är skyddad genom ett hölje mot svetsmiljön och kyld med filtrerad tryckluft.

Följningen börjar med att fogläget lokaliserar varefter svetsningen kan börja och det verkliga fogläget kan följas. Härvid anpassas även svetsparametrarna map hur stor spaltbredd som föreligger.

De användningsområden L främst lämpar sig för är svetsning där åtkomligheten är relativt god, mått anges i fig 6.15). Lämpliga fogtyper är stum-, överlapps- och kälfgog. Som exempel på passande applikationer kan därför nämnas bilkarosser, chassier, maskinbyggnad och jordbruksmaskiner.

L är ännu så länge en ny företeelse på marknaden och hittills är erfarenheterna av komersiell drift mycket begränsade. Dock kan L ses som en utveckling av ASEA's Optocator, vilken har visat sig vara en väl fungerande fogsökare med tillämpning bl a inom bilindustrin.

ASEA: Weldguide

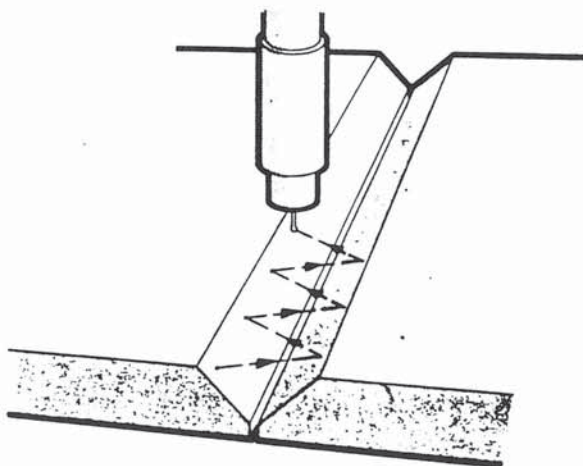


Fig 6.19 Weldguide.

W arbetar med ljusbågen som sensor och är även kompletterad med ett enkelt söksystem. Under svetsningen utför roboten en liten överlagrad pendlingsrörelse vinkelrätt mot svetsfogen. Data från ljusbågen mäts periodiskt och hela förloppet styrs från robotens dator. När svetsningen startar gör roboten först några inledande pendlingar varvid referensvärden för höjdhållningen mäts. Därefter kopplas fogföljningen automatiskt in. Vid sidohållningen jämförs strömmen i varje ändläge på pendlingen och så länge dessa är lika befinner sig ljusbågen mitt i fogen. Eventuella skillnader registreras av V/A sensorn som via en processenhet och robotens adaptiva system resulterar i de nödvändiga korrigeringarna av pistolläget. För enklare sökuppgifter kan elektrodspetsen användas som mätgivare. Mätnoggrannheten för systemet är  $\pm 0,4$  mm.



De vanligaste fogtyperna i form av köl-, U-, V- och överlappsfog (> 4 mm) kan följas. Lämpliga användningsområden är stålkonstruktioner med grövre svetsar och bredd minst 5 mm då pendling kräver bred svets. Klarar avvikelser på max 14° från ideallinjen.

Övriga fogföljare på marknaden:

ACCS-systemet (Hitachi); Pendling av ljusbågen tvärs fogriktningen.

Ljusbågsstyrd fogföljning (Materialdata); Induktiv sensor som ger fogläge.

Meta Torch (Meta Machines); Optisk fogföljare.

MF-1 (Torsteknik); Fogsökare av beröringsgivartyp. Ett mekaniskt finger går ner i fogen framför svetspistolens med bestämda tidsintervall för att styra svetspistolens rörelse. Max fogavvikelse  $\pm 5$  mm. Min höjd vid överlappsfog 1 mm.

PW 10 (Kemppi); Pendlande ljusbåge.

## 7 PROBLEMINVENTERING

Under den här rubriken söker vi att peka på de problem som blir synbara då man vill uppnå automatiserad svetsning med dagens objekt och teknik. Lösningar till problemen anges i anslutning till då dessa tas upp och i vissa fall kan de utläsas ur layoutförslagen.

### 7.1 BELÄGGNING

Beläggningsen utgörs av de detaljer som fanns lämpliga. Ytterligare beläggning kan skapas genom att föra in detaljer från detaljtillverkningen (4730 och 4330). Detaljerna har ej någon större potential om man ser till årssvetstid men några av de intressantaste anges i bilaga 6. Aluminiumdetaljerna har också en viss potential men ytterligare krav ställs då, bl a på extra svetsutrustning. Exempel på aluminiumdetaljer anges också i bilaga 6.

Bästa alternativet för att öka beläggningsen är dock troligtvis att sälja kapacitet till L-div. Något som talar för detta är att deras tillverkning ligger i samma lokal. De har också fler objekt som är lämpliga. Exempel som angavs var BLG-detaljer och Mättransformatorlådor.

I framtiden är det också möjligt att förbättrad teknik med bl a automatisk programmering och adaptiva robotar kan öppna möjligheter för automatisering även av småserieproduktion.

### 7.2 TOLERANSER HOS OBJEKT

De verkstadstoleranser som används idag är satta med tanke på objektens funktion och tillverkningens karaktär. Tillåten avvikelse är därför stor.

Uppskattningsvis är tillåten avvikelse i ämnestillverkningen för gas-skärning + 3,5-4,5 mm (basmått 500-2500 mm). Klippning + 3,5-4,5 mm (basmått 500-2500 mm). Till detta kommer sedan avvikelsen i ev bockningsmoment och häftsvetsmomentet. Sammanlagt medför detta att repetiviteten mellan objekten ej hamnar inom det område som är godkänt (se 4.3). Det finns två lösningsvägar för problemet:

- 1 Anpassa toleranserna till de krav som ställs.

Detta kräver förbättrad ämnestillverkning och exakta fixturer för häftning. Hänsyn måste också tas till värmedeformationer varför t ex extra häftning och omkonstruktioner kan bli aktuella.

- 2 Åstadkomma att roboten följer fogarna korrekt trots avvikelser. Alternativen för att klara detta är:
- A Införa adaptiv styrning av roboten mha sensorfunktioner.
  - B Programmera om roboten för varje detalj. Detta kräver att roboten är snabb att programmera. MAC 2000 är framtagen bl a med tanke på denna strategi.

Vad som talar för den senare lösningsvägen är att man direkt kan införa robotsvetsning och i princip ha samma förarbete fram till häftningen som idag.

#### Sensorbehov:

I det fall att fogen endast avviker i läge, dvs svetsen är förskjuten i någon riktning krävs endast fogsökning. Om däremot svetsen avviker från den linjära eller cirkulära linjen mellan start och slutpunkt krävs fogföljare.

#### Sensorbehov för flätkåpa:

På flätkåpan är det främst fogarna vid snitt A-A och snitt C-C (fig bilaga 5) som kräver fogföljning. Den vertikala fogen snitt B-B klaras av med fogsökare.

#### Sensorbehov för lindningskopplarlåda:

Huvuddelen av fogarna på lindningskopplarlådan är av rät karaktär med avvikelser endast i läge varför endast fogsökare torde vara nödvändigt.

Sammantaget ger detta att fogföljare är nödvändigt om man endast förlitar sig på sensorfunktion.

De möjligheter som är aktuella för fogföljningen är LaserTrak och MF-1. Weldguiden utesluts pga svetsarna endast har a-mått 2-4 mm.

I det fallet att endast sökning väljs så kan såväl Optocator som SmarTac vara aktuella.



### 7.3 OBJEKTENS UTFORMNING

Nedan pekar vi på de problem som är knutna till objektens utformning. Huvudsakligen ligger problemen på fogsidan (se fig bilaga 5).

Flätkåpan:

Fog vid snitt A-A är känslig för genombränning och samtidigt svår att få likformig. En omkonstruktion enligt fig 4.2, kap 4, är att föredra.

Stumfogen vid snitt B-B har en varierande spalt som är besvärlig. Denna konstrueras lämpligen om enligt fig 4.4, kap 4.

Fog markerad med (2), snitt C-C, görs gynnsammare enligt nedanstående fig 7.1.

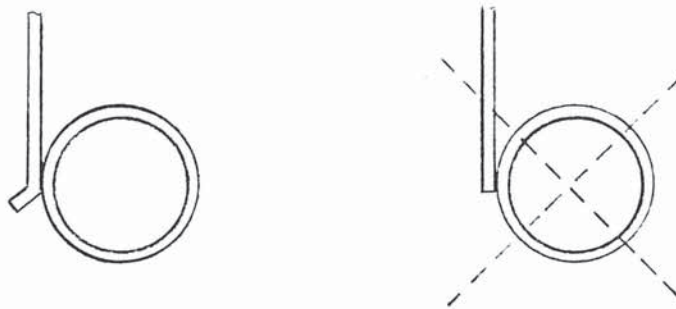


Fig 7.1 Konstruktionsförbättring

Åtkomligheten vid svetsning av locket (Fig 5.2) kan medföra att det blir nödvändigt att svetsa detta manuellt.

Lindningskopplarlådan:

Fog mellan tak och sidoplåt markerad med A, har varierande spalt utmed bockningen. Bockningen där bör elimineras, i annat fall torde manuell svetsning av fogen bli nödvändig.

#### 7.4 ARBETSOMRADE

I stationen skall de objekt som valdes ut under lämpliga detaljer svetsas.

Arbetsområdet och hanteringsutrustningen dimensioneras för att klara samtliga objekt.

Detta ställer följande krav:

- Arbetsområdet måste kunna inrymma en låda av storleken 1740 x 890 x 1430 mm.
- Hanteringsutrustningen skall klara en massa på 700 kg + eventuell lastbärare.

Arbetsområdet skapas av robot, positioneringsutrustning och hanteringsutrustning. Standardutrustning för att direkt skapa detta arbetsområde finns ej. Lösningstekniken blir därför den att man utgår från den tillgängliga tekniken och kompletterar med de axlar, rörelser etc som kan behövas.

Tillgänglig hanteringsutrustning för manipulering av objektet inne i stationen är begränsat till enaxligt servostyrda och indexerande manipulatorer. ESAB's Orbit 500 är tyvärr alltför svag. Vissa luckor finns i ESAB's sortiment när det gäller att klara denna typ av stora objekt i manipulator. Framtagning av lämplig utrustning borde dock ej bli alltför kostsam då grundkomponenter finns.

I layoutförslagen ges möjliga lösningsvägar på den totala lösningen.

## 7.5 SYSTEMKOMPATIBILITET

En komplett svetsrobotstation består av många ingående komponenter som skall samverka. Begränsningar finns på vilka olika sätt som denna samverkan kan ske. Vi redogör nedan för några av de begränsningar som kan komma att påverka vår tillämpning. Allmänt gäller att komplexiteten i stationen starkt påverkar priset.

Begränsningar i samband med Irb 6:

- Styrsystemet klarar av att styra totalt nio axlar. Beroende på om 5 eller 6 axlar används för robotrörelsen kan 4 eller 3 utnyttjas för yttre axlar. Dessa kan utnyttjas för synkron positionering av robot eller manipulering av objekt.
- LaserTrak går ej att använda i samband med synkron samkörning med yttre axlar. I stället får man indexera objektet till visst läge och sedan utföra svetsningen/fogföljningen. Detta problem existerar ej vid svetsning med Weldguide.

Begränsning hos MAC 2000:

- Roboten klarar ej av fogföljning eller styrning av yttre servo-styrda axlar.



## 8 LAYOUTFÖRSLAG

Nedanstående layoutförslag är konkreta förslag på hur en robotstation för svetsning av flätkåpor och lindningskopplarlådor kan byggas upp. Stationernas arbetsområde har utvecklats efter tvåstationsprincipen för att öka möjligheten till effektivt utnyttjande.

De är uppbyggda kring IRB 6 eller MAC 2000. Detta ger möjlighet till jämförelse av de båda robottypernas lämplighet för applikationen.

### 8.1 STATIONER BASERADE PÅ IRB 6

Stationerna baseras på ASEA/ESAB's hängande robot IRB G 6/2. Skillnaden mellan de olika stationerna ligger främst i olika val av positionerings- och hanteringsutrustning. LaserTrak används som fogföljare i samtliga stationer. Detta ställer kravet (enligt 7.5) att roboten ej samkörs synkront med yttre servostyrda axlar. De servostyrda axlarna används därför i princip som indexerande vid användning av fogföljaren. Man har då möjligheter att i en framtid köra synkront om utveckling av utrustning eller förbättring av objekten sker.

Station 1; IRB 6 6/2 AW med 3-axlig åkrörelse

## Teknisk beskrivning:

Roboten placeras hängande i en portal (se figur 8.1) med åkrörelse. Den ges därmed 3 yttre servostyrda axlar som styrs av robotens styrsystem. Det stora arbetsområdet medför att manipulering av arbetsstycket ej behöver ske.

Flätkåpan/lindningskopplarlådan häftas på speciell palett vid arbetsplats i anslutning till robotcellen. I och med att häftning sker på lastbäraren finns goda möjligheter att utarbeta lämpliga hjälpmedel för detta arbetsmoment. Därmed kan man förhoppningsvis undvika avvikelser på grund av dålig häftning.

Efter häftning förflyttas lådan/kåpan med truck till dockningsstationen (1) (figur 8.2). I ett senare skede kan hanteringen utföras med slingstyrd truck eller rullbana som då också kan fungera som buffert. Efter dockning sker färdigsvetsning. Program väljs av operatören. Paletten kan också förses med kodning för automatiskt programval.

Färdigsvetsning av objekt tar 0,9 - 1,5 h varvid operatören under tiden t ex kan häfta ny låda.

I nästa moment sker manuell slipning av svetsar samt komplettering med orderbundna detaljer. För att möjliggöra högt utnyttjande har stationsbredden ökats så att ytterligare en arbetsplats är möjlig. Där kan t ex svetsning av rotationssymmetriska detaljer ske. Om Orbit (2) (figur 8.2) placeras i cellen får ibland en åkrörelse kopplas ur systemet då detta klarar max 4 yttre servodrivna axlar.

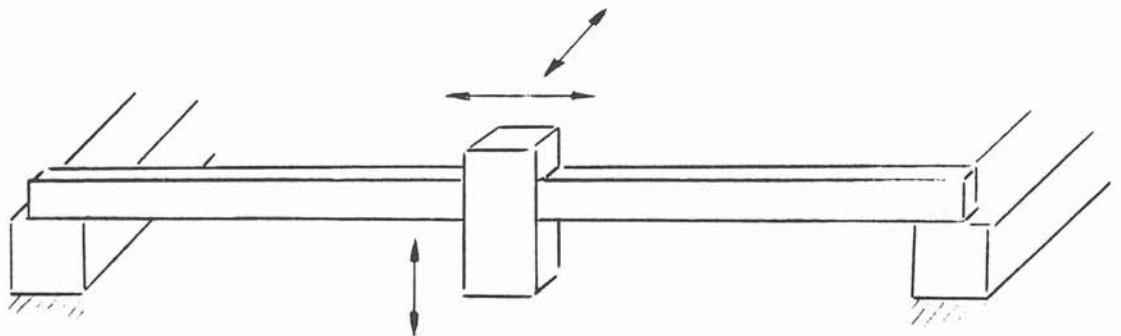


Fig 8.1 Portal.

Efter färdigsvetsning dockas paletten av på truck som kan köra genom stationen. Detta ger ett naturligt flöde då en annan truck kan komma direkt efter med nästa objekt.

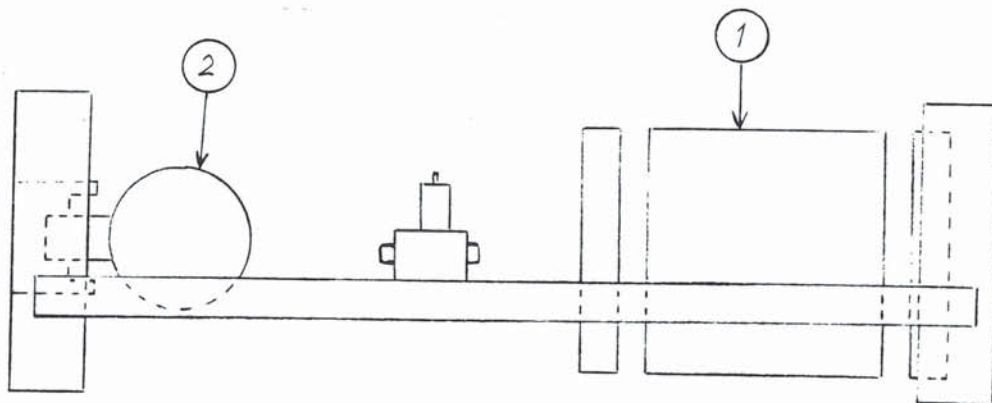


Fig 8.2 Station 1

Teknisk specifikation station 1:

Robot med svetsutrustning:

Pris

- |                          |            |
|--------------------------|------------|
| - Robot IRB G 6/2 AW     | 320 000:-- |
| - Svetsutrustning A33 HD | 60 000:--  |

Positioneringsutrustning:

Servostyrda rörelser:

- |   |              |
|---|--------------|
| - Akbanor för rörelse i axel 1, längd 2 m                           | 1 300 000:-- |
| - Akrörelse över balk i axel 2, längd 5,5 m                         |              |
| - Vertikal rörelse i axel 3, längd min 10 mm<br>(Se även figur 8.2) |              |

Arbetsområde:	<u>Pris</u>
- Volym 24 m <sup>3</sup> (axel 1)	
Dockningsutrustning:	100 000:-
- Enligt specifikation se bilaga 7	
- Lastbärare anpassad till dockningsstation	
Fogföljare:	
- LaserTrak	100 000:-
Summa	<u>1 880 000:-</u>

Station 2; IRB G 6/2 AW i JACK-KNIFE

## Teknisk beskrivning:

Roboten placeras hängande i JACK-KNIFE. För att uppnå tillräcklig vertikal rörelse byggs denna in i pelare till JACK-KNIFE. Rörelsen görs servostyrd och kan samköras med roboten.

Även här är arbetsområdet sådant att manipulering av objekt ej behöver ske. Identisk hanteringsutrustning och arbetsgång med station 1.

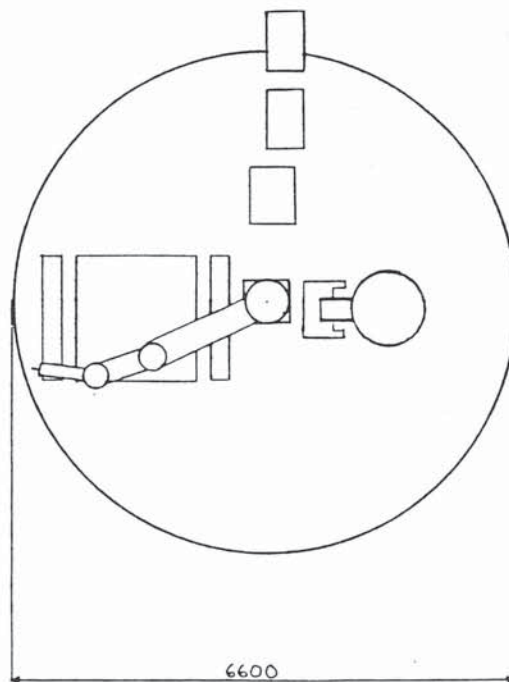


Fig 8.3 Station 2



## Teknisk specifikation station 2:

## Robot med svetsutrustning:

	<u>Pris</u>
- Robot IRB G 6/2 AW	320 000:--
- Svetsutrustning A33 HD	60 000:--

## Positioneringsutrustning:

- JACK-KNIFE MHA 160F	500 000:--
- Extra servostyrd vertikalrörelse 100 mm	200 000:--

## Arbetsområde:

- Volym 30 m<sup>3</sup>

## Dockningsutrustning:

- Enligt specifikation bilaga 7	100 000:--
- Lastbärare anpassad till dockningsstationen	

## Fogföljare:

- LaserTrak	100 000:--
-------------	------------

Summa	<hr/> 1 280 000:--
-------	--------------------

Station 3; IRB 6 6/2 AW med 1-axlig åkrörelse

## Teknisk beskrivning:

Roboten placeras hängande i portal med enkel åkrörelse (se fig 8.4). Genom att objekten placeras i en speciell typ av manipulator kallad vertikalställare krävs alltså endast 2 yttre axlar varav endast åkrörelsen bör vara servostyrd. En högre svets hastighet torde dock vara möjlig vid kombinationen servostyrd manipulator/flätkåpa då svetsningen kan ske kontinuerligt. Detta ställer dock kravet att fogföljning ej är nödvändig.

## Arbetsgång i stationen:

Häftning av kåpa/låda sker på specialpaletten varefter den transporteras med hjälp av truck till vertikalställare. Där dockas objekt i vertikalställare och svetsningen kan påbörjas. Lådan ändrar läge 4 ggr under hela svetsmomentet. Samma indexerande rörelse kan även användas för flätkåpa alternativt kontinuerlig svetsning utan fogföljare.

Objektet dockas sedan av på truck.

Möjligheten att införa ytterligare en arbetsplats t ex med Orbit finns också här.

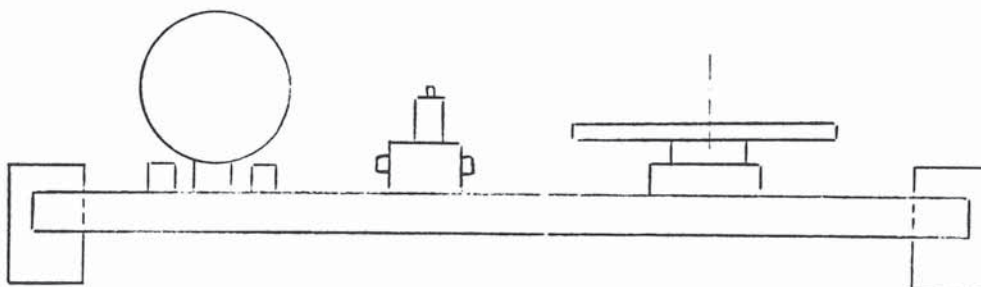


Fig 8.4 Station 3

Teknisk specifikation station 3:	<u>Pris</u>
Robot med svetsutrustning:	
- Robot IRB G 6/2 AW	320 000:-
- Svetsutrustning A33 HD	60 000:-
Positioneringsutrustning:	
- Servostyrd åkrörelse 5,5 m	500 000:-
Manipulator:	
- Vertikalställare enl bilaga 8	200 000:-
Arbetsområde:	
- Volym 11 m <sup>3</sup>	
Fogföljare:	
- LaserTrak	100 000:-
Summa	<u>1 180 000:-</u>

Station 4; IRB G 6/2 AW med 2-axlig åkrörelse

## Teknisk beskrivning:

Roboten placeras hängande i 2-axlig åkrörelse i portal. Vertikal och horisontell förflyttning ges med hjälp av servostyrda axlar (se fig 8.5). Objektet placeras i manipulator av typen horisontalställare (kan rotera objektet runt vertikalaxeln).

Arbetsgången i stationen blir i stort den samma som i station 3. Skillnaden ligger i att objektet roteras runt horisontalaxeln i stället för vertikalaxeln.

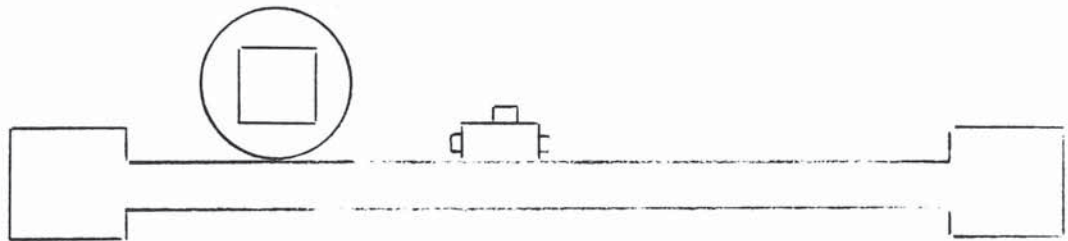


Fig 8.5 Station 4.

## Teknisk specifikation:

Pris

## Robot med svetsutrustning:

- Robot IRB G 6/2 AW 320 000:-
- Svetsutrustning A33 HD 60 000:-

## Positioneringsutrustning:

- Servostyrd åkrörelse axel 1, 5,5 m 500 000:-
- axel 2, 100 mm 100 000:-

## Manipulator:

- Horisontalställare enl bilaga 9 150 000:-

## Arbetsområde:

- Volym 11 m<sup>3</sup>

## Fogföljare:

- LaserTrak 100 000:-

Summa 1 230 000:-



## 8.2 STATIONER BASERADE PÅ MAC 2000

Stationerna är exempel på hur man kan bygga upp en svetsrobotsation baserad på MAC 2000.

Trots stort eget arbetsområde räcker detta ej. MAC 2000 kompletteras därför med indexerande positionerings- och hanteringsutrustning. Då MAC 2000 ej går att samköra med fogföljare krävs omprogrammering för varje objekt. Detta kan dock göras rationellt då svetsparametrarna går att lagra. Om man kan förbättra toleranserna så är det möjligt att svetsa utan omprogrammering.

### Station 5; MAC 2000 med 2-lägesindexerad åkrörelse

Teknisk beskrivning:

Svetsroboten MAC 2000 arbetar monterad i en tvålägesindexerad åkbanan. Åkbanan är monterad på portal. Detta åstadkommer att det horisontella arbetsområdet kan inrymma objekten (se fig 8.6). Problemet med höjden hos objektet avhjälpas genom att objektet kan förflyttas vertikalt i stationen.

Arbetsgång:

Det häftade objektet transporteras in i stationen och dockas. Operatören programmerar svetsar som nås från undre vertikalläget, varefter roboten svetsar dessa. Momentet upprepas sedan i det övre vertikalläget.

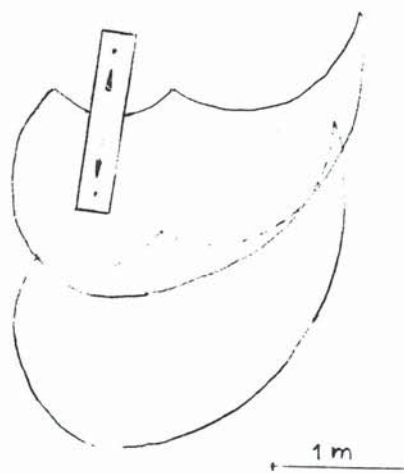


Fig 8.6 Station 5

Teknisk specifikation:	<u>Pris</u>
- ESAB MAC 2000 med anpassad svetsutrustning baserad på LAH 500	520 000:-
Positioneringsutrustning:	
- Indexerande åkrörelse 1,2 m (ej standard)	100 000:-
Dockningsutrustning:	
- Enligt bilaga 7 med extra vertikalläge	125 000:-
Arbetsområde:	
- Volym 4 m <sup>3</sup>	
Summa	<hr/> 745 000:-

Station 6; MAC 2000 med indexerande pelarrotation

Tvåstationsprincipen skapas här genom att MAC 2000 är vridbar till två indexerade lägen.

De aktuella objekten flätkåpor och lindningskopplarlådor svetsas på arbetsplats A (fig 8.7). Objekten dockas där tillsammans med paletten i vertikalställaren. I vertikalställaren indexeras objektet om 4 ggr med följd att samtliga svetsar hamnar inom robotens arbetsområde. Indexeringen under svetsningen kan ske automatiskt varför helsvetsning kan utföras i ett och samma moment.

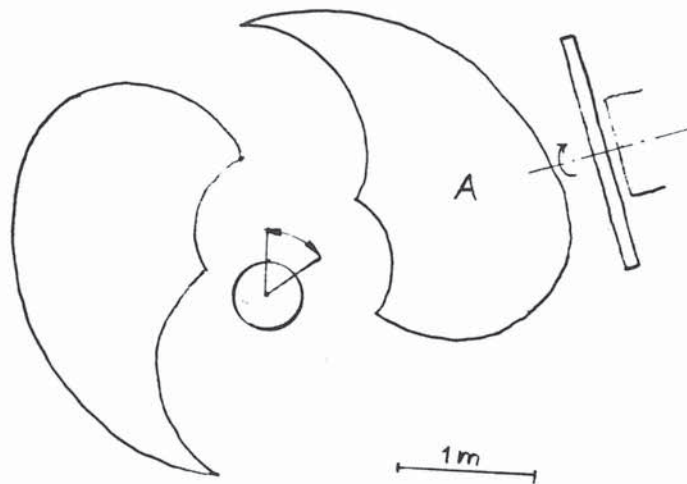


Fig 8.7 Station 6.

Teknisk beskrivning:	<u>Pris</u>
- ESAB MAC 2000 med svetsutrustning baserad på LAH 500	520 000:-
Positioneringsutrustning:	
- ESAB indexerande pelarrotation	100 000:-
Manipulator:	
- Vertikalställare enl bilaga 8	200 000:-
Arbetsområde:	
- Volym 4,4 m <sup>3</sup>	
Summa	<hr/> 820 000:-

## 9 LÖNSAMHET

För att kunna bedömma ett investeringsalternativs potential för lönsamhet bör en lönsamhetskalkyl göras. Denna kan göras enligt flera olika metoder och med olika grad av noggrannhet och tillförlitlighet. I vår bedömning av de olika robotstationsförslagen har vi valt att använda oss av pay-off-metoden. Detta är en mycket enkel form av lönsamhetsbedömning där man beräknar hur lång tid det tar att tjäna in det investerade beloppet. Genom att jämföra ett årligt inbetalningsöverskott med grundinvesteringen kan den s k pay-off-tiden tas fram. För beslut, vid en jämförelse mellan flera olika alternativ, är det förslag bäst som har kortast återbetalningstid. Ofta har man även en övre gräns för vilken maximal återbetalningstid som kan tolereras.

### Mall för beräkning av pay-off-tid

Här redovisas en mall för beräkning av pay-off-tid för de olika layoutförslagen. Två olika bedömningsgrunder används för varje förslag, dels en där endast beläggning med de framtagna produkterna tas med och dels en där man räknar med full beläggning av två skift. För stationer där Irb 6 ingår används en bågtdsfaktor på 75% och för MAC 2000-stationerna 50%. För manuellt svetsarbete räknas bågtdsfaktorn 30%. Stationerna kräver dessutom driftbemanning i form av 0,3 man för Irb 6 och 0,4 man för MAC 2000. Denna bemanning motiveras av de hanterings-, programmerings- och övervakningsuppgifter som kommer att uppstå. Variabler för beräkning av pay-off-tid redovisas nedan:

#### Intäkter:

Här redovisas de lönekostnader som bortfaller vid robotsvetsning jämfört med manuell svetsning. De 755 h bågtd som redovisas för de framtagna produkterna motsvarar med en bågtdsfaktor av 30% ca 2 500 h manuell svetstid. Detta i sin tur ger lönekostnader av ca 344000 kr/år (137:50 kr/h).

Med full beläggning (2 skift =  $2 \times 1\,825$  h/år) på Irb 6-stationerna bortfaller en manuell lönekostnad av ca 1 255 000 kr/år ( $9\,125 \times 137,5$ ) motsvarande 9 125 h ( $2 \times 1\,825 \times 0,75/0,30$ ) manuell svetstid per år. För MAC 2000-stationerna fås en manuell lönekostnad av 836 000 kr/år ( $6\,083 \times 137,5$ ) motsvarande 6 083 h ( $2 \times 1\,825 \times 0,50/0,30$ ) manuell svetstid per år.



**Kostnader:**

Som kostnader redovisas dels en grundinvestering i form av utrustning, installation och utbildning och dels kostnader för drift i form av personalkostnader.

Driftslönekostnad för Irb 6-stationerna vid beläggning med de framtagna produkterna blir ca 42 000 kr/år ( $0,3 \times 1\ 006 \times 137,5$ ) vilket motsvarar en drifttid av 1 006 h/år (755/0,75). För MAC 2000 blir motsvarande siffror 83 000 kr/år ( $0,4 \times 1\ 510 \times 137,5$ ) och 1 510 h/år (755/0,50).

Vid full beläggning (två skift) blir driftslönekostnaderna för Irb 6-stationerna ca 151 000 kr/år ( $0,3 \times 2 \times 1\ 825 \times 137,5$ ). Motsvarande siffra för MAC 2000 är ca 201 000 kr/år ( $0,4 \times 2 \times 1\ 825 \times 137,5$ ).

**Inbetalningsöverskott:**

Inbetalningsöverskott = intäkter - driftskostnader

**Investeringskostnad:**

Investeringskostnad = grundinvestering

**Pay-off-tid:**

$$\text{Pay-off-tid} = \frac{\text{Investeringskostnad}}{\text{Inbetalningsöverskott}}$$

**Kommentarer:**

- Igångkörnings- och utvecklingskostnader anses inkluderade i de prisuppgifter som ges för de olika stationskomponenterna.
- Friställd arbetskraft pga robotinstallation ger inga kostnadskonsekvenser enligt kalkymodellen.
- Restvärde anses osäkert och sätt därför till noll.
- Den beläggning som tillkommer förutom den från de framtagna produkterna anses ge samma intäkt som från dessa. Detta oberoende av uppdragsgivaren.
- Ingen hänsyn tas till kalkylräntan.

Sammanställning över pay-off-tider

Beläggning med framtaga produkter;	Station 1	2	3	4	5	6
Intäkter (kk/år)	344	344	344	344	344	344
Kostnader						
- grundinv (kk)	1895	1295	1195	1245	760	835
- driftskostn (kk/år)	42	42	42	42	83	83
Inbetaln.överskott (kk/år)	302	302	302	302	261	261
Pay-off-tid (år)	6,3	4,3	4,0	4,1	2,9	3,2
Fullbeläggning;	Station 1	2	3	4	5	6
Intäkter	1255	1255	1255	1255	840	840
Kostnader						
- grundinv	1895	1295	1195	1245	760	835
- driftskostn	151	151	151	151	201	201
Inbetaln.överskott	1104	1104	1104	1104	639	639
Pay-off-tid	1,7	1,2	1,1	1,1	1,2	1,3

## 10 BEDÖMNING AV LAYOUT FÖRSLAG

En väl genomförd bedömning karakteriseras av en grundlig genomgång av de faktorer som påverkar utfallet. Vi har valt metoden med profilschema. Profilschemat kan ses som en väl strukturerad checklista. De kriterier mot vilka man bedömer lösningarna grundar sig på kravspecifikation för robotcell (kap 3). Utfallet av bedömningen kommenteras och därefter sker urval.

### 10.1 BEDÖMNING

För att garantera en någorlunda rättvis jämförelse mellan stationerna beskrivs nedan de grunder enligt vilka poängsättningen skett.

Möjligheten att i framtiden höja tekniknivån i stationerna beskrivs av utvecklingspotentialen. Anpassningsbarhet till FMS, CAD/CAM och off-line-programmering är faktorer som spelar in:

<u>Kriterie</u>	<u>Gränser</u>	<u>Poäng</u>
Utvecklingspotential	mkt god	4
	relativt god	3
	måttlig	2
	ringa	1
Sannolikhet för teknisk framgång	>75%	4
	>50%	3
	>25%	2
	<25%	1
Utvecklingstid (1 man)	<6 mån	4
	<1 år	3
	<2 år	2
	>2 år	1
Bygger på känd teknik	100%	4
	>75%	3
	>50%	2
	<50%	1
Väntad kvalitetsuppfyllelse	100%	4
	<95%	3
	<90%	2
	<80%	1

Det senaste kriteriet är kritiskt varför förslaget bör ha minst 3 p för att gå vidare.

Ett mått på kapaciteten hos stationen är det antal svetsare som kan ersättas vid full beläggning/skift.

<u>Kriterie</u>	<u>Gränser</u>	<u>Poäng</u>
Kapacitet	3 st	4
	2 st	3
	1 st	2
	<1 st	1

Goda möjligheter för att öka kapaciteten till låg extra kostnad finns om stationen är lämplig för PBB.

<u>Kriterie</u>	<u>Gränser</u>	<u>Poäng</u>
Lämplighet för PBB	mkt god	4
	relativt god	3
	måttlig	2
	ringa	1

Ett stort arbetsområde medför större chans att objektet kan passas in i detta.

<u>Kriterie</u>	<u>Gränser</u>	<u>Poäng</u>
Arbetsområde	>15 m <sup>3</sup>	4
	>10 m <sup>3</sup>	3
	> 5 m <sup>3</sup>	2
	< 5 m <sup>3</sup>	1

Omställningsflexibiliteten är starkt beroende av hur tidskrävande programmeringen är. Detta kan anges i % av svetscykeltiden vid inprogrammering av nya detaljer.

<u>Kriterie</u>	<u>Gränser</u>	<u>Poäng</u>
Omställnings- flexibilitet	<25%	4
	<50%	3
	<75%	2
	>75%	1
Hanteringsutrust- ningens flexibilitet	mkt god	4
	relativt god	3
	måttlig	2
	ringa	1



Ett bra mått för den effektivitet man har i stationen är bågtdsfaktorns storlek.

<u>Kriterie</u>	<u>Gränser</u>	<u>Poäng</u>
Effektivitet	>80%	4
	>60%	3
	>40%	2
	<40%	1

Inlärningstiden för programmering är ett mått på svårigheten att programmera roboten.

<u>Kriterie</u>	<u>Gränser</u>	<u>Poäng</u>
Programmerings- vänlighet	<10 h	4
	<20 h	3
	<30 h	2
	>30 h	1

Komplexiteten i stationen bestämmer i hög grad användarvänligheten.

<u>Kriterie</u>	<u>Gränser</u>	<u>Poäng</u>
Användarvänlighet	låg	4
	måttlig	3
	hög	2
	mkt hög	1
Pay-off-tid	<3 år	4
	≈4 år	3
	≈5 år	2
	>5 år	1
Frikopplingsgrad	>75%	4
	>50%	3
	>25%	2
	<25%	1

Den faktor på vilken vi bedömer personsäkerheten är den hastighet med vilken roboten rör sig.

<u>Kriterie</u>	<u>Gränser</u>	<u>Poäng</u>
Personsäkerhet	<0,25 m/s	4
	<0,5 m/s	3
	<0,75 m/s	2
	>0,75 m/s	1



Dock finns flera faktorer att ta hänsyn till varför ej alltför stor vikt skall läggas till detta kriterie. Nedan följer nu den bedömning vi gjort av stationerna

#### Kommentarer till profilscheman:

Stora likheter finns inbördes mellan stationer baserade på Irb6 (I) respektive stationer baserade på MAC 2000(M). Vi jämför därför först enligt den indelningsgrunden. M har fördelen mindre komplex uppbyggnad än I och kräver därmed mindre utveckling. I är betydligt mer lämpad för en framtida utveckling än M. Samtliga stationer är framtagna med tanke på hög kvalitet och förväntas därför klara de högsta kraven. Kapaciteten är större hos I och större möjligheter finns också att anpassa I till PBB. Flexibiliteten kan delas upp i två delar, omställningsflexibiliteten för nya detaljer och möjligheterna att tekniskt klara av detaljerna i stationen. I tidigare delen vinner M och i den senare I. Effektiviteten är övervägande bättre för I än för M om stationerna arbetar med föreslagna objekt. Användarvänligheten hos M är större än hos I. Har man de antal operatörer utbildade som behövs minskar dock skillnaden. Frikopplingsgraden är bedömd med hänsyn till svetsning av de utvalda objekten. Operatören är starkare bunden i M. Personsäkerheten är högre i M med standardutförande men säkerhetsanordningar kan göra I likvärdig.

#### 10.2 VAL

De olika kriterierna har givetvis olika tyngd, beroende på vad man vill uppnå med stationen. Avsikten med robotiseringen kan ses som en åtgärd för att hålla tekniknivån hög och i framtiden kunna ge stark konkurrenskraft snarare än en kortsiktigt lönsam investering. Mycket talar då för stationerna baserade på Irb6, vilken kan kombineras med det senaste inom teknik. Vad som pekar mot Irb6 är förutom utvecklingspotential kriteriegrupperna kapacitet, flexibilitet, effektivitet och frikoppling.

Då återstår sedan att välja ut lämpligaste Irb6-stationen. Station 2, Irb6 i stora JACK-KNIFE rekommenderas. Detta på grundval av kriteriegrupperna teknik, kapacitet och flexibilitet. Den differens som finns inom pay-off-tid ligger inom felmarginalen. Stationerna kommenteras närmare under nästa avsnitt.

## Profilschema för stationer baserade på Irb6

	<u>Kriterie</u>	<u>Stn 1</u>	<u>Stn 2</u>	<u>Stn 3</u>	<u>Stn 4</u>
Teknik	Utvecklingspotential	④ 3 2 1	④ 3 2 1	④ 3 2 1	④ 3 2 1
	Slh för tekn framg	④ 3 2 1	④ 3 2 1	④ 3 2 1	④ 3 2 1
	Utvecklingstid	4 3 ② 1	④ 3 2 1	4 3 ② 1	4 ③ 2 1
	Bygger på känd teknik	④ 3 2 1	④ 3 2 1	④ 3 2 1	④ 3 2 1
Kvalitet	Väntad kvalitetsuppf	④ 3 2 1	④ 3 2 1	④ 3 2 1	④ 3 2 1
	Kapacitet	Kapacitet	4 ③ 2 1	4 ③ 2 1	4 ③ 2 1
Lämplighet för PBB		④ 3 2 1	④ 3 2 1	4 3 ② 1	4 3 ② 1
Arbetsområde		④ 3 2 1	④ 3 2 1	4 ③ 2 1	4 ③ 2 1
Flexibilitet	Omställn.flexibilitet	4 3 2 ①	4 3 2 ①	4 3 2 ①	4 3 2 ①
	Hanteringsflexibilitet	4 ③ 2 1	4 ③ 2 1	4 3 ② 1	4 3 ② 1
Effektivitet	Effektivitet	4 ③ 2 1	4 ③ 2 1	4 ③ 2 1	4 ③ 2 1
Användarvänlig- het	Progr.vänlighet	4 3 2 ①	4 3 2 ①	4 3 2 ①	4 3 2 ①
	Stn komplexitet	4 3 ② 1	4 3 ② 1	4 3 ② 1	4 3 ② 1
Lönsamhet	Pay-off-tid	4 3 2 ①	4 3 ② 1	4 ③ 2 1	4 3 ② 1
Frikoppling	Frikoppl.grad	④ 3 2 1	④ 3 2 1	④ 3 2 1	④ 3 2 1
Personsäkerhet	Personsäkerhet	4 3 2 ①	4 3 2 ①	4 3 2 ①	4 3 2 ①

## Profilschema för stationer baserade på MAC 2000

	<u>Kriterie</u>	<u>Stn 5</u>	<u>Stn 6</u>
Teknik	Utvecklingspotential	4 3 2 ①	4 3 2 ①
	Slh för tekn framg	④ 3 2 1	④ 3 2 1
	Utvecklingstid	4 ③ 2 1	4 ③ 2 1
	Bygger på känd teknik	④ 3 2 1	④ 3 2 1
Kvalitet	Väntad kvalitetsuppf	④ 3 2 1	④ 3 2 1
Kapacitet	Kapacitet	4 3 ② 1	4 3 ② 1
	Lämplighet för PBB	4 3 2 ①	4 3 2 ①
	Arbetsområde	4 3 2 ①	4 3 2 ①
Flexibilitet	Omställn.flexibilitet	④ 3 2 1	④ 3 2 1
	Hanteringsflexibilitet	4 3 ② 1	4 3 ② 1
Effektivitet	Effektivitet	4 3 ② 1	4 3 ② 1
Användarvänlig- het	Progr.vänlighet	4 ③ 2 1	④ 3 2 1
	Stn komplexitet	4 3 ② 1	4 ③ 2 1
Lönsamhet	Pay-off-tid	④ 3 2 1	4 ③ 2 1
Frikoppling	Frikoppl.grad	4 ③ 2 1	4 ③ 2 1
Personsäkerhet	Personsäkerhet	④ 3 2 1	④ 3 2 1



### 10.3 Vald station

Station 2 har fördelen gentemot de andra Irb6-stationerna att den ej kräver lika hög grad av utvecklingsarbete. Det är främst två punkter i stationen som kräver vidare utredning:

- 1 Vertikal servostyrd axel.  
Axlar av denna typ finns i andra tillämpningar. I vårt fall i kombination med JACK-KNIFE ställes dock särskilda krav m a p styvhet och noggrannhet.
- 2 Användning av LaserTrak.  
LaserTrak är en ny produkt och är ej fullständigt utprovad ännu. Det är därför osäkert huruvida den fungerar i kombination med JACK-KNIFE och vår typ av objekt.

I övrigt bygger stationen på känd tillämpad teknik.

Stationen har stort arbetsområde vilket medför att stationen är flexibel och lätt kan utnyttjas för andra objekt. Kombinerat stationerna med automatiskt objektbyte och programval finns möjlighet för PBB. Detta möjliggör höjd kapacitet till en låg kostnad.

## 11 KOMMENTARER OCH SLUTSATSER

Robotsvetsning i småserie/enstycketillverkning kräver en flexibilitet hos utrustningen som är svår att uppnå idag. Det är dock möjligt att man i framtiden kan reducera programmeringskostnad genom off-line programmering samt reducera behovet av fixturer genom adaptiv styrning av robot. ASEAs off-line Programming package och LaserTrak är steg framåt i utvecklingen.

MAC 2000 är framtagen för korta serier men begränsar sig till medelstora enkla objekt med grova svetsar. Förekomsten av sådana objekt är liten hos Z. Utnyttjandet av upprepning av program för serier hindras av dåliga toleranser då roboten ej kan köras adaptivt. Vid dåliga toleranser kan omprogrammering för varje objekt därför bli aktuell.

Det är småserietillverkning som karakteriserar Z. Detta återspeglas i tab 2.2. En standardisering i stället för kundanpassning skulle kunna förbättra möjligheterna för robotsvetsning.

Det finns få verkligt lämpliga objekt inom Z för traditionell robotisering. L-div har sin tillverkning i anslutning till Zs och har enligt uppgift lämpliga detaljer för robotisering. Det är därför lämpligt att stationen görs gemensam. De mest lämpliga detaljerna kan utgöra beläggning för Z i en delad station.

Detaljerna kräver stort arbetsområde och har stora måttavvikelser vilket medför att kraven på stationerna blir stora. Vissa fogar hos detaljerna bör förändras genom konstruktionsanpassning.

Adaptivitet hos roboten rekommenderas före total förbättring av toleranserna. Detta har sin grund i de korta serierna och storlekar hos detaljerna som medför höga fixturkostnader. En succesiv förbättring av toleranserna genom bl a förbättrad ämnestillverkning kan dock ge positiva effekter. Användning av fogföljare/sökare bör alltid minimeras då detta medför att roboten förlorar i effektivitet när dessa utnyttjas.

Slutsatsen är den att det är möjligt att införa robotsvetsning hos Z. Potentialen är dock låg, främst beroende på objektens seriestorlek och storlek.

En station som klarar de valda detaljerna och dess toleranser ligger troligen på gränsen till vad som idag är tekniskt möjligt. Vår station nr 2 kan ses som ett förslag på hur stationen kan byggas upp. Funktionen hos kombinationen JACK-KNIFE - LaserTrak är dock något oklar. Utvecklingsarbetets storlek är en osäkerhetsfaktor som starkt kan påverka länsamhetsbedömningen. Det är därför lämpligt att robotleverantören först lämnar offert på stationen. Förändringar i layouten kan tillåtas. Stationen bör dock vara uppbyggd enligt tvåstationsprincipen för möjlighet till högt utnyttjande. Detta är särskilt lämpligt då stationen avses att delas med L-divisionen.



Olika alternativ för robotsvetsning

	Grundbyggsten	IRB 6 6/2 AW	Pris
1	IRB med 3-axlig åkrörelse + dockningsstation		2,5-2,8 0,1 *)
			<hr/> 2,6-2,9
2	IRB monterad i Jack-Knife + extra vertikalaxel + dockningsstation		1,0 0,1 *) 0,1 *)
			<hr/> 1,2
3	IRB med 1-axlig åkrörelse + vertikalställare		1,5 0,2 *)
			<hr/> 1,7
4	IRB med 2-axlig åkrörelse + horisontalställare		2,4-2,7 0,2 *)
			<hr/> 2,5-2,8
	Grundbyggsten	MAC 2000	
1	MAC 2000 med 2-läges rotation + vertikalställare		0,59 *) 0,2 *)
			<hr/> 0,79
2	MAC 2000 med 2-läges åkrörelse samt indexerande lyftbord		0,69 *) 0,2 *)
			<hr/> 0,89

## LITTERATURREFERENSER

- Bolmsjö, G:       Robotsystem för småserietillverkning - bågsvetsning  
LTH 1986
- Brundin, F:       Svetsteknik, LTH 1978
- Lundström, H:     Maskiner och komponenter för gasmetallbågsvetsning,  
KEMPPI 1986
- SRF:               Framgångsrik automatisering, Liber 1984
- IVF 80625:         Fogföljare för mekaniserad svetsning
- 1   IVF 84612:        Svetskvalitet vid automatiserad svetsning
- 2   IVF 82615:        Att konstruera för mekaniserad svetsning
- 3   IVF 79626:        Svetsmetodernas och fogberedningsmetodernas inverkan vid  
mekaniserad svetsning
- 4   IVF 84623:        Robotiserad svetsning - möjligheter och problem
- IVF 84615:         Mätgivare för svetsautomatisering
- IVF 84618:         Industriroboten -fem industritillämpningar
- IVF 85606:         Fixturer för flexibel automatiserad montering
- IVF 85621:         Robotiserad svetsning och mätgivare för  
svetsautomatisering

Till	Från	Datum	Reg.	Sida
	Utfärdare, tfn-nr			1 Forts-sida 2

TOLERANSER VID OLIKA TILLVERKNINGSOPERATIONER

Tillverkningsoperation				
Art	Detaljuppgifter			Tolerans
Arborrning	Diameter			H12
	Övrigt			Serie K
Borrning	Diameter	- 80		H13
		(80)-		H15
	Håldjup			Se tabell 3
	Övrigt	D = - 10		Serie Ka
		D = (10)-80		Serie La
D = (80)-		Serie M		
Bockning	Bockvinkel			Se tabell 4
	Övrigt 1)Se blad 2	Ämnes- tjocklek - 3	Bockn längd	- 50 Serie L
			(50)-	Serie M
	Ämnes- tjocklek (3) -	Bockn längd	- 50	Serie L
			(50)-180	Serie M
(180)-			Serie N	
Fräsning				Serie K
Gasskärning	Maskinell	Ämnes- tjocklek	- 50	Serie M
			(50) -	Serie P
Gängning	M, UNC, UNF			A2003 3028
	Gängdjup			Basmått = min.mått
Hyvling				Serie K
Kapning	Största sektionmått		- 100	Serie M
			(100) -	Serie N
Klippning	Diameter	Invändigt		H13
		Utvändigt		Ja13
	Övrigt	Ämnes- tjocklek	- 3	Serie L
			(3) - 6	Serie M
			(6) -	Serie N
Stansning	Diameter	Invändig		H12
		Utvändig		Ja12
	Övrigt			Serie L
Svarvning	Diameter	Invändig		H12
		Utvändig		Ja12
	Övrigt			Serie K
Sågning i bordsåg				Serie K

**ASEA**

Till	Från	Datum	Reg.	Sida
	Utfärdare, tfn-nr			2
				Forts-sida
				-

**TOLERANSER VID OLIKA TILLVERKNINGSOPERATIONER**

Basmått i mm	Gränsmått i mm ±						
	Serie						
	K	Ka	L	La	M	N	P
-10	0,25	0,4	0,4	0,6	0,6	1	1,5
(10)-50	0,35	0,4	0,5	0,6	0,9	1,5	2
(50)-180	0,45	0,45	0,7	0,7	1,2	2	3
(180)-500	0,6	0,6	1	1	1,5	2,5	4
(500)-1250	0,8	0,8	1,3	1,3	2	3,5	5
(1250)-2500	1,0	1,0	1,7	1,7	2,5	4,5	7
(2500)-4000	1,5	1,5	2,2	2,2	3,5	6	9
(4000)-6300	2	2	3	3	4,5	8	12
(6300)-10000	2,5	2,5	4	4	6	10	15

Tredimensionella konstruktioner, tabell 6, (ex expansionskärn och transformatorlådor).

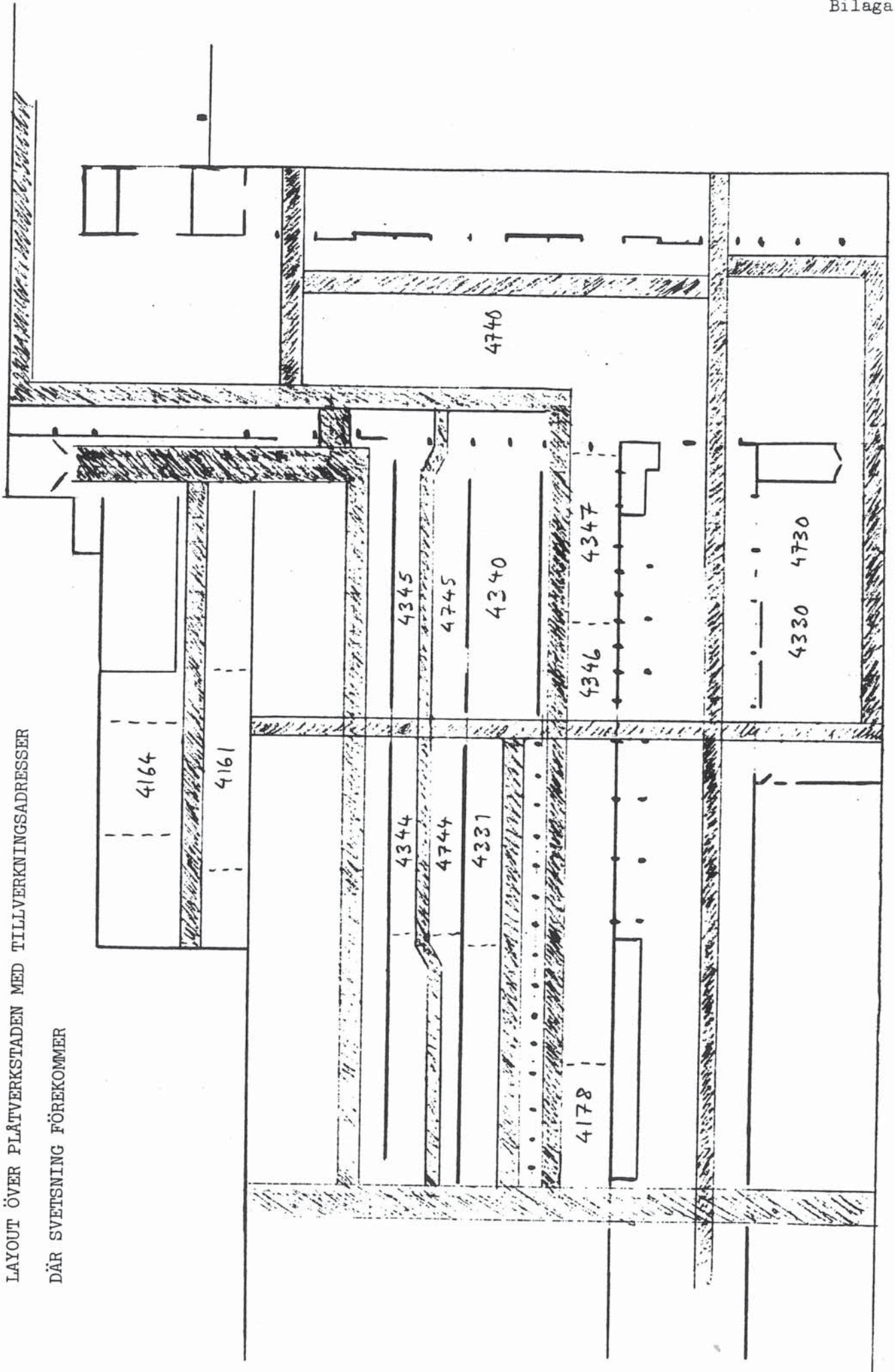
Tabell 6

Måttområde	Måttnoggrannhet
- 400	± 4
( 400) - 800	± 5
( 800) - 2500	± 7
(2500) - 4000	± 9
(4000) - 8000	± 12
(8000) -	± 14



LAYOUT ÖVER PLÅTVERKSTADEN MED TILLVERKNINGSADRESSER

DÄR SVETSNING FÖREKOMMER





1986-06-10

BILAGA 3  
R ZIP 86-06  
Sida 1

## SVETSBERÄKNINGAR FÖR FLÄKTKAPA

### Beräkning av svetslängder

Svetslägen enligt markeringar på ritning 4683065:

a-mått 2 mm: 23504 mm

stumpfog 3 mm: 3449 mm

fyllnadssvets: 4329 mm

Detta ger totalt 31282 mm.

### Beräkning av bågtid

Med en svetshastighet på ca 450 mm/min, varierande beroende på plåt-tjocklek och fogtyp, blir den totala bågtiden 67,13 min. För årsvolymen enligt prognos 500 kåpor/år blir årsbågtiden 560 h. Detta motsvarar en årssvetstid av 746 h med bågtidsfaktorn 75%.

## SVETSBERÄKNINGAR FÖR LINDNINGSKOPPLARLADOR

Beräkning av svetslängden

I tabell 1 redovisas de resultat som erhöles vid summeringen av de olika fogtypernas längd. Medräknat är endast de svetsar som ingår i grundtypen.

Foglängden	a-mått		bågtid
	2 mm	4 mm	
5485 154-G,H	11800	930	6 min
5485 154-K,L	10000	930	39 min
5485 154-E	13940	930	53 min
5485 154-Y	16230	930	61 min

Tabell 1.

Beräkning av bågtid

Med svetshastigheterna

283 mm/min för a-mått 3 mm

och

266 mm/min för a-mått 4 mm

fås bågtiderna se tabell.

Årsbågtiden beror på antalet och typ av lådor som produceras under året. Prognosen från försäljning och inkommande order ger vid handen att inga större förändringar är att räkna med gällande antal och fördelning.

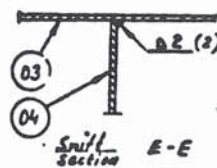
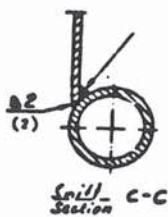
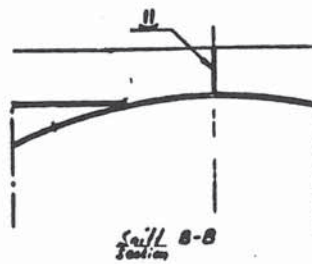
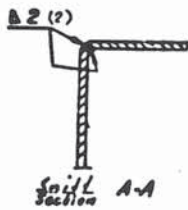
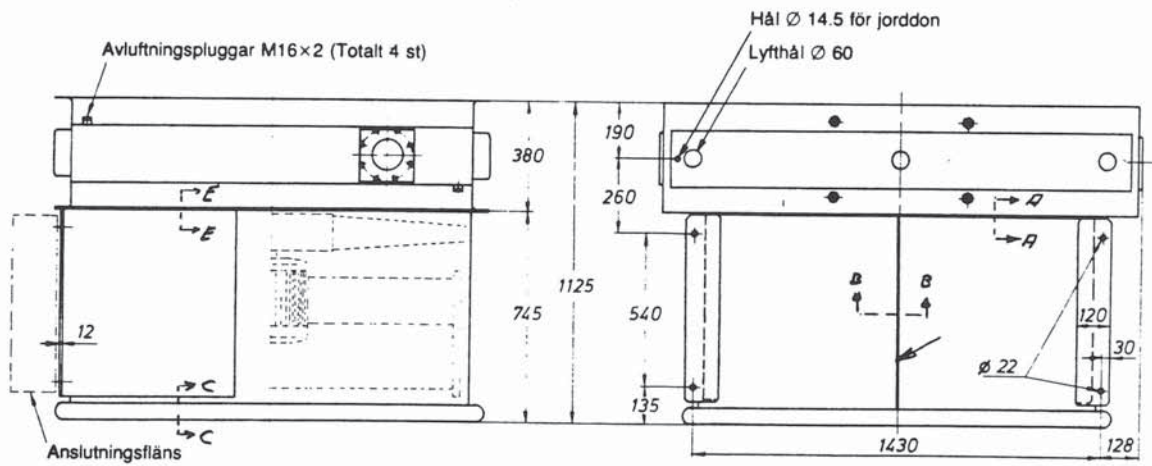
	Prognos antal (st)	Årsbåg- tid (h)
G,H	121	92
K,L	0	0
E	93	82
Y	20	20
totalt		194 h

Tabell 2.

Den totala årsbågtiden blir alltså 194 och med en bågtidsfaktor på 75% blir årssvetstiden 259 h.

Till	Från	Datum	Reg.	Sida
	Utfärdare, tfn-nr			Forts-sida

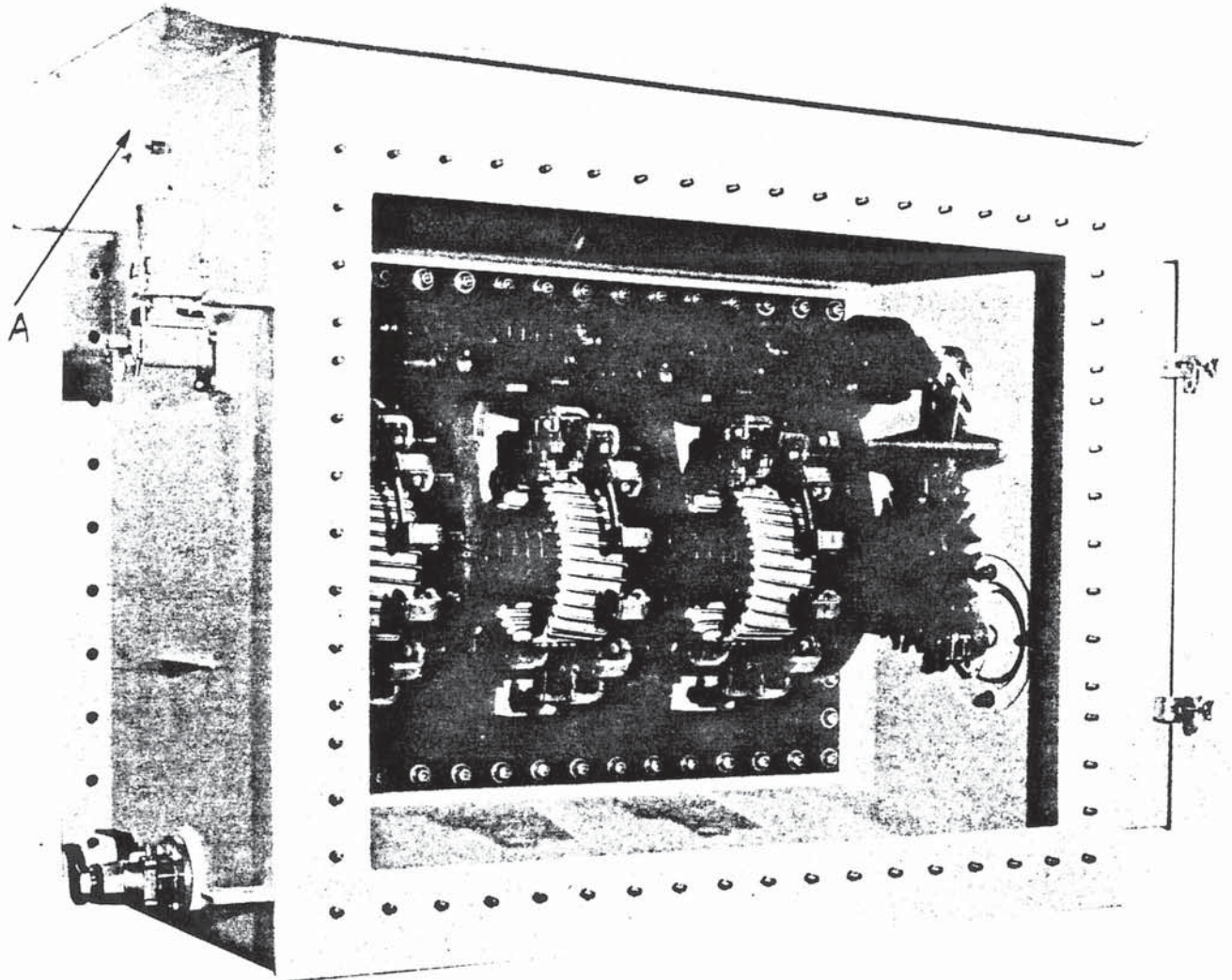
**FLÄKTKÅPA**



**ASEA**

Till	Från	Datum	Reg.	Sida
	Utfärdare, tfn-nr			Forts-sida

LINDNINGSKOPPLARLÅDA TYP UZE





## INTRESSANTA DETALJER I AVSNITT 4330, 4730 OCH 4178

Avsnitt	Benämning	Detaljnummer
4330	Låda	2158 761-AH
	Gaffel	4675 027-A
4730	Mellanfläns	2526 716-L
	Dubbelfläns	2538 715-B
	Trallram	4675 028-D
4178	Toppkär1	2744 322-BR
		"- -DA
		"- -AK
		"- -DB
		"- -CA
		"- -CB
		"- -BA
	"- -BB	
	Flexibla förb	2632 975-A
		"- -C
		"- -E
	Bult	2743 643-AF
		"- -AE
		"- -AD
	Flänsförlängning	2745 308-G
		"- -H
		"- -K
"- -L		
2745 317-G		
"- -H		
"- -K		
"- -L		



## TEKNISK BESKRIVNING AV DOCKNINGSTATION

Dockningsstationen figur 1 är avsedd att snabbt fixera palett (1) med objekt (2) i fast läge. De koniska dubbarna (3) styrs pneumatiskt och låser paletten exakt gentemot sidobalkarna (4). Dockningsstationen kan också kompletteras med ytterligare höjdläge (5).

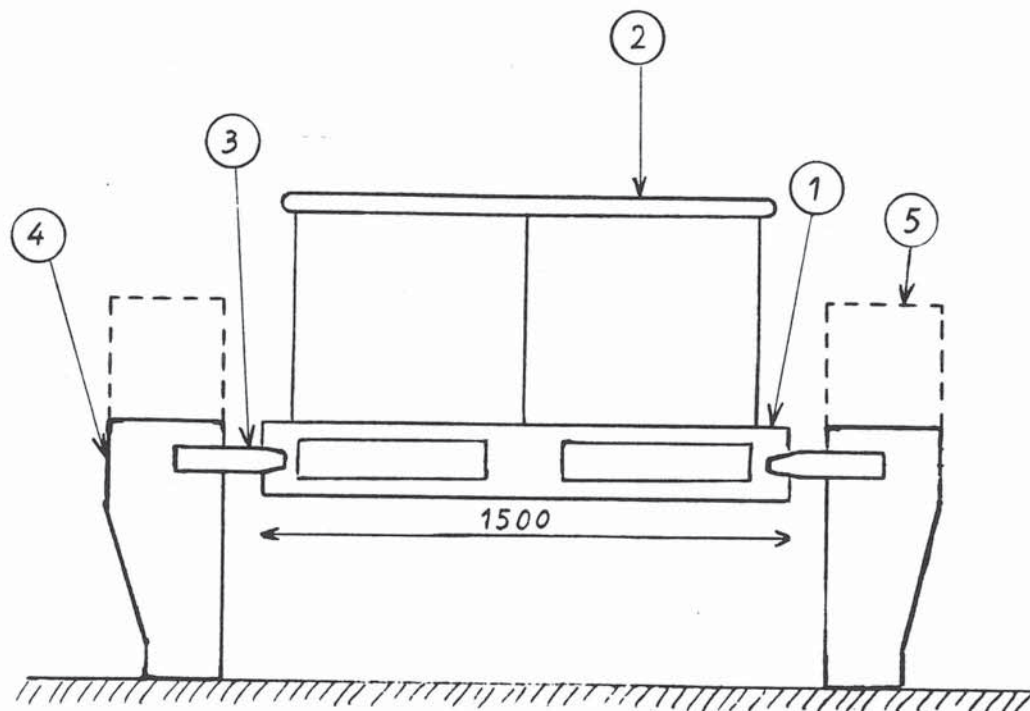


Fig 1 Dockningsstation.

Teknisk specifikation:

Palett:

- Mått 1500 x 1800 x 100
- Vikt 200 kg

Sidobalkar:

- Enl fig 1 skall klara en belastning av 900 kg

Dubbar:

- Pneumatiskt eller hydrauliskt styrda, två lägen.

## VERTIKALSTÄLLARE

För att klara av samtliga svetslägen på objekten krävs fyra indexerande lägen. För rotationssymmetriska detaljer är det en fördel om axeln kan servostyras och man därmed kan erhålla en kontinuerlig svets. De lösningar som finns idag i denna storleksklass för att rotera objektet kring horisontalaxeln är av typen Head/tailstock (se fig 6.12). Nackdelen med den är att man ej kan nå in i objektet längs rotationsaxeln.

Vertikalställaren (fig 1) som vi beskriver är en skiss på teknisk lösning.

En finess för snabbt objektbyte i stationen är den speciella lastbäraren/paletten (1) som dockas direkt i vertikalställaren via en splinesförsedd axel.

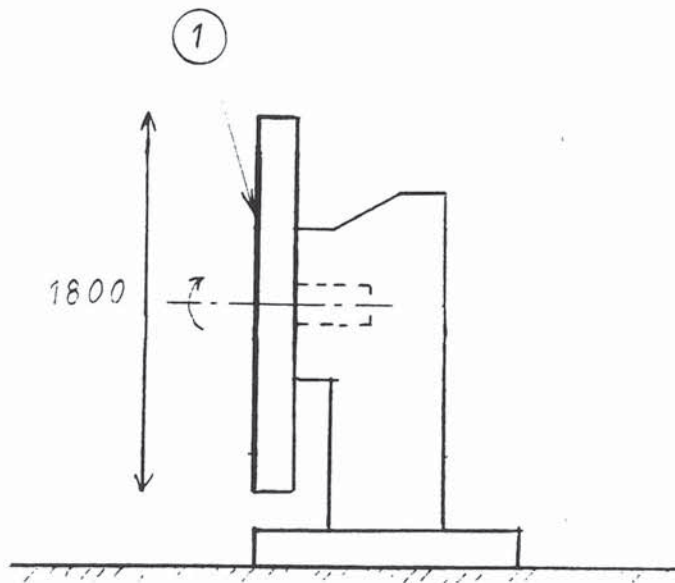


Fig 1 Vertikalställare.

1986-06-10

BILAGA 8  
R ZIP 86-06  
Sida 2

## VERTIKALSTÄLLARE

### Teknisk specifikation:

Axlar: 1 indexerande/servostyrd axel

Last: 900 kg

Tippmoment: 7 kNm (axel 1)

Vridmoment: 2 kNm (axel 2)

1986-06-10

BILAGA 9

R ZIP 86-06

Sida 1

## HORISONTALSTÄLLARE

Horisontalställaren roterar objektet runt vertikalaxeln. För tillämpningar krävs fyra indexerande lägen. Ett exempel på typen är Torstekniks VMB 2000 (se även kap 6). I det fallet att man vill svetsa kontinuerligt krävs dock ett servostyrt. Vi förelår också att paletten/skivan dockas med splinesförsedd axel pss som i vertikalställaren. För att uppfylla dessa två önskemål krävs en viss utveckling.

### Teknisk specifikation:

Typ: 1 indexerande/servostyrd axel  
Last: 900 kg  
Vridmoment: 2 kNm