

Dokument: SASAK-RAP-SV-AKS-0025-02

# **Økonomiske beslutningsværktøjer ved valg af svejse- og produktionsproces**

SASAK  
Projekt 3 - Svejsning

Steen Ussing

FORCE Instituttet, maj 2001

## **Indledning**

Denne rapport behandler en række økonomiske aspekter ved svejsning af aluminium. Ligeledes er nogle alment gældende beregningsværktøjer beskrevet. I forbindelse med valg af svejsemetode kan man foretage nøgne økonomiske kalkulationer forbundet med selve processen, men virkeligheden er ofte mere kompleks på grund af andre bindinger som processens muligheder for at levere den ønskede kvalitet, uddannelse og videnniveau i virksomheden, osv. Derfor er nogle af disse mere "bløde" aspekter også berørt i det følgende.

## Indhold

1. Generelle betragtninger ved valg af proces.....	4
2. Investeringsbehov for alternative svejseprocesser .....	7
3. Faktorer af betydning for omkostninger og besparelser .....	8
3.1 Faste omkostninger:.....	8
3.2 Variable omkostninger:.....	8
3.3 Startomkostninger .....	9
4. Udskiftningstærskel .....	10

## 1. GENERELLE BETRAGTNINGER VED VALG AF PROCES

Valg af hensigtsmæssig svejsemetode kan gøres ud fra økonomiske betragtninger som:

- **Svejsehastighed** (mand-timer, evt. maskintimer)
- **Behov for fugeforberedelse** (mand-timer, evt. maskintimer)  
*Herunder hører også betragtninger om tolerancekrav for svejsefuger – af hensyn til processen*
- **Evt. behov for efterbearbejdning** (mand-timer, evt. maskintimer)  
En relativt langsom proces
- **Afskrivning og forrentning af udstyr** (svejseudstyr og evt. mekanisering / robotisering)  
*Visse processer såsom plasma, laser og Friction Stir er ikke egnet til manuel svejsning, og vil kræve mekanisering / robotisering.*
- **Øvrige udgifter til produktionsudstyr** (vedligehold, reservedele, evt. licensafgifter)
- Eventuelle **omkostninger til uddannelse og certificering** af svejsere.
- Eventuelle **omkostninger til procedureprøvning**  
*Svejsprocedureprøvning kan være et krav fra klassifikationsselskab, myndigheder eller kunde. En eftervisning af, at man får de resultater, man ønsker kan også være dikteret af almindelig sund fornuft.*

Andre faktorer vil dog også spille ind:

- **Kan processen levere den nødvendige kvalitet** både geometrisk og metallurgisk?  
*Under geometrisk kvalitet hører dels svejsefejl som revner og porer dels overfladebeskaffenhed. Nogle gange gør det ikke noget, at en svejseproces er relativt langsom, hvis den til gengæld med stor sikkerhed leverer den ønskede geometriske kvalitet. Det er eksempelvis nemmere at undgå porer ved TIG-svejsning end ved MIG-svejsning.  
Ved metallurgisk kvalitet forstås materialeegenskaber såsom typisk styrke.*
- Mestrer virksomheden processen, og er det **nemt eller svært at skaffe medarbejdere** med den nødvendige kompetance?

## Oversigt over fordele og ulemper ved alternative svejseprocesser til aluminium

Proces	Fordele	Ulemper
<b>TIG</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Billigt udstyr</b></li> <li>▪ <b>Billige reservedelspriser</b></li> <li>▪ Meget fleksibel proces, især <b>velegnet til manuel svejsning</b></li> <li>▪ Mange er uddannede indenfor TIG svejsning</li> <li>▪ Mange uddannelsessteder</li> <li>▪ God svejsekvalitet kan udføres</li> <li>▪ Ufølsom over for varierende tolerancer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Dårlig produktivitet</b></li> <li>▪ <b>Typisk mindre velegnet til automatsvejsning</b> på grund af mere usikker tænding end f.eks. plasma, relativt stor følsomhed overfor elektrodeafstand til emnet og slid på wolframelektrode.</li> <li>▪ Store deformationer</li> <li>▪ Forstyrrelser fra højfrekvens</li> </ul>
<b>Plasma</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Høj svejsehastighed</b></li> <li>▪ <b>Velegnet til automat- og robotsvejsning</b></li> <li>▪ <b>Lille forbrug af tilsatsmaterialer</b></li> <li>▪ God svejsekvalitet</li> <li>▪ Visuelt flot, jævn forside og roside</li> <li>▪ Velegnet til stumpsømme, herunder samlinger af plader</li> <li>▪ Velegnet til svejsning af roterende emner, herunder rør og beholdere</li> <li>▪ Velegnet til udvendige hjørnesømme</li> <li>▪ Små deformationer af emner</li> <li>▪ Driftsikker pga. pilot- og plasmalysbue</li> <li>▪ Få forstyrrelser fra højfrekvens</li> <li>▪ Få gener ved dårlig trådkvalitet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Som hovedregel uegnet til manuel svejsning</b></li> <li>▪ <b>Dyrere udstyr end for TIG-svejsning</b></li> <li>▪ <b>Dyre reservedele til brændere</b></li> <li>▪ Relativt snævre tolerancer for svejsefuger</li> <li>▪ Kræver uddannelse af svejseoperatør</li> <li>▪ p.t. ingen "standard"-uddannelser</li> <li>▪ Begrænset know-how hos leverandører</li> <li>▪ Stor brænder kan være et adkomstmæssigt problem</li> <li>▪ Ikke velegnet til håndsvejsning</li> <li>▪ Start/stop problematik v. keyhole svejsning (slope-up og slope-down af strøm og gasser)</li> <li>▪ Ikke mange referencer</li> </ul>
<b>MIG</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Billigt udstyr</b></li> <li>▪ <b>Stor produktivitet</b></li> <li>▪ <b>Mulighed for høj svejsehastighed</b></li> <li>▪ <b>Velegnet til automat- og robotsvejsning</b></li> <li>▪ <b>Velegnet til manuel svejsning</b></li> <li>▪ <b>Billige reservedele</b></li> <li>▪ Velegnet til svejsning af kantsømme</li> <li>▪ Velegnet til meget store godstykker</li> <li>▪ Mange uddannelsessteder</li> <li>▪ Tåler store spaltevariationer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Stort forbrug af tilsatsmateriale</b></li> <li>▪ Generelt dårlig svejsekvalitet (porer, start-stop)</li> <li>▪ Risiko for mange produktionsstop pga. dårlig trådtransport</li> <li>▪ Meget følsom over for dårlig trådkvalitet</li> <li>▪ Generelt dårlig finish i forhold til TIG og plasma</li> <li>▪ Ofte meget avancerede strømkilder</li> <li>▪ Store deformationer</li> </ul>

Proces	Fordele	Ulemper
<b>Friction Stir</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Intet forbrug af tilsatsmateriale</b></li> <li>▪ God svejsekvalitet (ingen porer og revner)</li> <li>▪ Plan rodside "usynlig" efter maling</li> <li>▪ Efterhånden god produktivitet</li> <li>▪ Ingen deformationer</li> <li>▪ Lille varmpåvirkning</li> <li>▪ Gode mekaniske egenskaber</li> <li>▪ Arbejdsmiljø: Ingen svejserøg, UV-lys eller ozon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Temmelig kostbart produktionsudstyr</b></li> <li>▪ <b>Licensafgifter</b></li> <li>▪ Fortrinsvis begrænset til stumpsømme i plader og profiler</li> <li>▪ Start/stop problematik</li> </ul>
<b>Laser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Høje svejsehastigheder</b></li> <li>▪ Meget små svejsedeformationer</li> <li>▪ Meget smal varmpåvirket zone</li> <li>▪ Automatiseret proces</li> <li>▪ Meget lille tilsatsmaterialeforbrug</li> <li>▪ "Ren" proces, ingen svejserøg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Kostbart udstyr</b></li> <li>▪ Snævre spaltetolerancer</li> <li>▪ Ofte poreproblemer (især Mg-holdige legeringer)</li> <li>▪ Sømoverflader kan udvise et "ru", lidt ujævnt udseende</li> </ul>

I forbindelse med overvejelser omkring mekaniseret / robotiseret svejsning kan nedenstående tabel give en indikation af hvilket omfang processen egner sig til automatisering:

Proces	Egnethed til	
	Manuel svejsning	Automatiseret svejsning
TIG	XXX	XX
Plasma	X (små tykk.)	XXX
MIG	XXX	XXX
Friction Stir	0	XXX
Laser	0	XXX

0 = Ej muligt  
X = Muligt med forbehold  
XX = Egnede, men ikke altid optimalt  
XXX = Velegnet

## 2. INVESTERINGSBEHOV FOR ALTERNATIVE SVEJSEPROCESSER

For strømkilder kan nedenstående, vejledende prisniveauer opstilles. I forbindelse med automatiseringsopgaver skal der yderligere påregnes investeringer i fiksturer og føring eller robot.

- TIG** De billigste A/C TIG-strømkilder koster fra ca. 20.000 kroner, men er typisk begrænset til max. 160-180 amper. Et anlæg til max. 250 ampere koster typisk 30-35.000 kroner. Alle disse mindre anlæg leveres uden vandkøling. Til industrielt brug må der typisk regnes med en investering på **50-70.000 kr.** alt inklusive (håndbrænder og reduktionsventil, og normalt med vandkøling).
- MIG** De billigste svejsemaskiner kan fås fra ca. 4.000 kroner – til hobbybrug. Til industriel brug må der påregnes med en investering på **50-100.000 kr.** (enkeltråd, synergisk puls). For tandem-anlæg skal der typisk regnes med en investering i størrelsesorden **250.000 kr.**
- Plasma** De billigste AC 250 ampere anlæg koster typisk ca. 125.000 kr. Et anlæg bestående af en 4-500 ampere AC/DC strømkilde, plasmaforsats (evt. indbygget), brænder, koldtrådstilførsel samt separat køleenhed koster omkring **150-200.000 kr.** Anlæg op til 700 ampere findes kommercielt.
- Friction Stir** Listepriiser starter typisk ved godt **1 million kr.** for et mindre anlæg, som kan svejse aluminium fra 1,5 til 6 mm tykkelse. Det kan dog ikke afvises, at ”hjemmelavede” løsninger baseret på eksempelvis en konverteret CNC fræsemaskine kan realiseres noget billigere. Store anlæg, som kan sammensvejse paneler i store længder, vil hurtigt koste et to-cifret millionbeløb.
- LASER** **CO2-lasere:** Typisk regnes der med **knapt ½ mio. kr. per kW** for selve laseren. Hertil kommer håndteringsudstyr (fra simpelt rundbord til større 5-aksede installationer, til håndtering af emnerne). **YAG-lasere:** Typisk regnes der med **godt ½ mio. kr. per kW.** I dette beløb indgår fiberoptik til transmission af laserlyset, men ikke håndteringsudstyr. Som en groft vejledende tommelfingerregel behøves 1 kW lasereffekt per millimeter svejsedybde.
- Robotter** Priser starter typisk ved et par hundrede tusinde kroner for en mindre robot, som kan håndtere en lysbuesvejsepistol. Til gengæld er der forståeligt nok ikke nogen egentlig øvre grænse for, hvor kostbar en robotinstallation kan laves.
- Føringer** En langføring til samling af plader koster fra ca. **100.000 kr.** (svejsning af ca. 1 meter).

De ovennævnte prisindikationer var gældende på redigeringstidspunktet, i 2001.

### 3. FAKTORER AF BETYDNING FOR OMKOSTNINGER OG BESPARELSER

Det er væsentligt at identificere de faktorer, som medfører omkostninger ved indførelse af processer, som kræver større investeringer, eller automatiseret / robotiseret svejsning.

Følgende faktorer kan betragtes som typiske og væsentlige, omend ikke altid lette at kvantificere:

#### 3.1 Faste omkostninger:

- **Afskrivning** af udstyr ( slid / teknologisk forældelse )

Udstyr:

- Svejsestrømkilde / maskine
- Fremføringsenhed (føring, robot el.lign.)
- Evt. fiksturer, manipulatorer, fugefølgeudstyr
- Særligt fugeforberedelsesværktøj ( f.eks. spåntagende fugeforberedelse ved svejsning af stumpsømme på grund af tolerancekrav – kan være nødvendigt ved eksempelvis lasersvejsning).

#### 3.2 Variable omkostninger:

- **Vedligeholdelse** af udstyr
- **Forbrugsmaterialer** (Tilsatsmaterialer, beskyttelsesgas, m.m.). Ved sammenstilling af forskellige produktionsmetoder, som betinger forskellige design og/eller materiale-godstykkelser, skal råmaterialer som plader, profiler m.m. ligeledes medtages i beregningerne.

Priser på **tilsatsmaterialer** varierer voldsomt fra leverandør til leverandør, afhænger af individuelle rabataftaler og i øvrigt naturligvis af legeringstype. Listepriiser ligger typisk på godt 100 kr. per kilo aluminium-svejsetråd til MIG- eller TIG-svejsning (priser i 2001).

- **Lønøkonomkostninger** ( mandtimeforbrug pr. produceret enhed )

I forbindelse med vurderingen af lønomkostninger ved indførelse af en mere avanceret produktionsmetode kan det være hensigtsmæssigt at vurdere opmærksomheden følgende faktorer:

- **Besparelse i timeforbrug ved opsvejsning** af emne – altså den direkte svejsetid. Her er det naturligvis ikke nok at se på selve lysbuetiden alene. Der skal også tages højde for *intermitensen*, som i øvrigt kan være yderst variabel afhængigt af opgavetype og svejserens rutine og motivation.  
Som *vejledende* udgangspunkt kan man forsøge sig med følgende værdier:

- Generel, manuel svejsning (MIG og TIG), gode forhold: 25-30%
- Mekaniseret svejsning: ca. 50%
- Vanskeligt tilgængelige svejseopgaver, knæ, lapper o.l.: 15%

NB: Det er forfatterens erfaring, at nogle medarbejdere (og virksomheder) for præcist det samme arbejde vil kunne præstere en intermitens, som er dobbelt så høj som andres. De mest markant høje intermitenser har forfatteren oplevet ved en kombination af god tilrettelæggelse af arbejdet, velkvalificerede medarbejdere og et aflønningssystem, som muliggør en mærkbar, direkte personlig gevinst, når produktiviteten øges. Forskellene er mest mærkbare, når man står overfor nye, komplicerede opgaver, mens de er mindre ved rutinearbejder.

*Lysbuetid = Svejste længde divideret med Svejsehastigheden*

*Svejsetid = Lysbuetid divideret med Intermitens*

Svejsetiden kan naturligvis også findes ved at sammenstykke alle de enkelte operationer og pauser, som sammen med lysbuetiden danner den totale tid, svejseren er om at præstere et stykke arbejde.

- Evt. meromkostning til **fugetildannelse** ( f.eks. med bedre tolerancer ) og øvrig forberedelse før svejsning ( f.eks. tid til opsætning af backing for stumpsømme ).
- Evt. mindre **efterbearbejdning**, herunder f.eks.:
- Mindre **slibearbejde** ( fjernelse af svejseprøjt og / eller overvulst ).
- Mindre **rettearbejde** (Friction Stir svejsning og i nogen grad ved plasmavejsning).
- Evt. besparelser ved mindre **sygefravær** på grund af mindre fysisk belastende arbejdesprocesser ( overgang fra manuel svejsning under ergonomisk dårlige forhold, fjernelse af svejseren / operatøren fra røg / ozon-kilde ).
- Kortere **gennemløbstid** for produkt, dvs. likviditetsgevinst, mindre **renteudgifter**.

### 3.3 Startomkostninger

Omkostningerne forbundet med indførelsen af en produktionsteknikker hører med til den totale investering, og skal derfor medtages, når de økonomiske analyser foretages. Følgende omkostninger ved indførelse af mekaniseret svejsning blev identificeret under projektet:

- Udgifter til **konstruktionsændringer**
- Udgifter til **forsøgsproduktion**:
  - Fremstilling af prototype
  - Forsøg med alternative konstruktive løsningsmuligheder

Evt. forsøg med alternative svejseprocesser ( f.eks. rørtråd eller puls-MIG med massiv tråd )

#### Generering af svejsedata til løbende produktion

- **Omskoling af personale** (skal mestre svejseproces samt lære at betjene og evt. vedligeholde udstyr ).
- Udgifter i forbindelse med **indkøring** (lavere produktivitet i starten, mens operatøren bliver fortrolig med den nye produktionsform. Tidsforbrug og andre udgifter i forbindelse med eliminering af de småproblemer, som næppe kan undgås i startfasen).
- **Forhøjede reparationsomkostninger i start** i forbindelse med indkøring af ny proces.

## 4. UDSKIFTNINGSTÆRSKEL

Indførelse af mere ”s sofistikeret” svejsning såsom Friktion Stir, lasersvejsning eller blot robotiseret lysbuesvejsning betyder typisk større faste og til gengæld mindre variable omkostninger. Derfor kan det være interessant at vide, hvor stor produktionen skal være, før en investering i det mere avancerede udstyr er rentabel. Punktet ”A” på fig. 1 kan eksempelvis illustrere overgang fra en manuel lysbuesvejsning til en lidt mere avanceret metode. ”B” kan markere mekaniseret svejsning med dyrere udstyr, men mindre eller intet tilsatsmateriale (såsom eksempelvis laser eller Friction Stir).

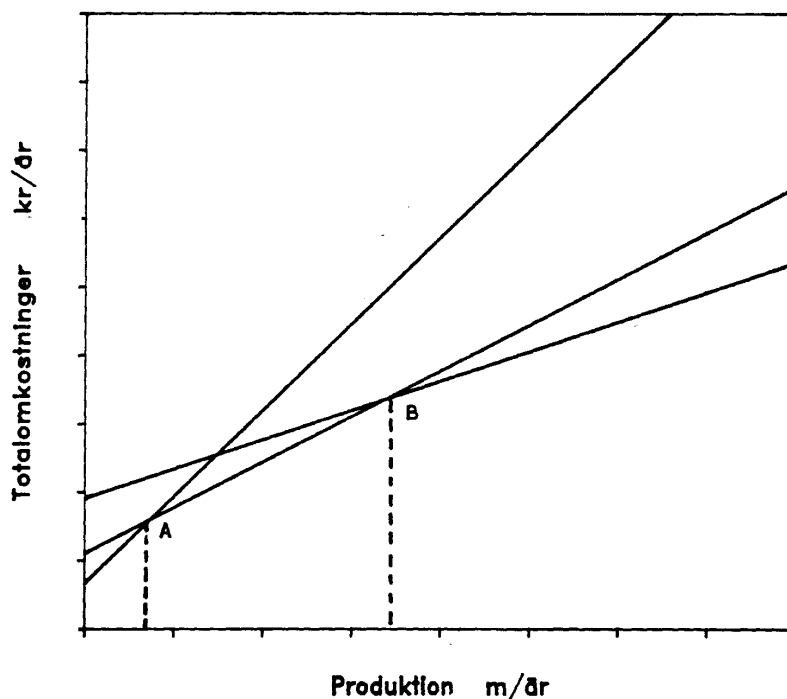


Fig. 1. Eksempel på årlige totalomkostninger som funktion af produceret mængde.

Udskiftningstærsklen for den produktionsmængde, hvorved det lønner sig at skifte fra en produktionsmetode til en anden kan findes ved hjælp af formlen

$$\frac{FO_2 - FO_1}{VO_1 - VO_2}, \text{ hvor}$$

$FO_1$  = Faste omkostninger for metode 1

$FO_2$  = Faste omkostninger for metode 2

$VO_1$  = Variable omkostninger for metode 1

$VO_2$  = Variable omkostninger for metode 2

Til de faste omkostninger regnes:

- Afskrivning og forrentning af produktionsudstyr
- Afskrivning og forrentning af startomkostninger
- Husleje

Til de variable omkostninger regnes:

- Arbejds løn
- Forbrugsmaterialer (tilsatsmaterialer, beskyttelsesgas, backing m.m.)

Kravet til en given minimumsforrentning af den investerede kapital kan der tages højde for ved fastlæggelsen af det regningsmæssige renteniveau under de faste omkostninger.