

*Svetsade konstruktioner har normalt sett bättre utmattningssegenskaper i opåverkat grundmaterial än i dess svetsförband. Vid konstantamplitudsbelastning bygger beräkningsmodeller på att utmattningshållfastheten i svetsförband är oberoende av stålets statiska hållfasthet. Detta gäller när antalet cykler är relativt högt.*

En global undersökning av flera industrisegment som är stora stålförbrukare (tunga fordon, mekanisk utrustning, processindustri, stålbyggnad, järnväg etc.), visade att den *svetsrelaterade kostnaden* varierade mellan 5 till 15 % av produktkostnaden. Den var högst inom segmentet Stålbyggnad.

## **Svetsrelaterad kostnad**

Med svetsrelaterad kostnad avses här alla kostnader som på något sätt har anknytning till själva svetsningen. Det kan vara; inköp och hantering av plåtar, kapning, skärning, riktning, fogberedning, förvärmning, kontroll under och efter svetsningen, rutiner för att hantera avvikelser, reparationer av svetsdefekter, kontroll-dokumentation osv. Med *svetskostnad* avses kostnaden för att svetsa en viss svets. Det är svaret på frågan "vad kostar en meter svets?" och uttrycks ofta i kr/m. *Svetskostnaden* är således en av flera kostnader som ingår den *svetsrelaterade kostnaden*.

Även om den svetsrelaterade kostnaden kan ses som en mindre del av totala projektkostnaden, så kan svetsningen och alla aktiviteterna kring denna ses som nyckelteknologier (som t ex fogberedning, kontroll osv) om de påverkar projekttiden. Segment inom vilket svetsningen ses som en nyckelteknologi är t ex pipelinebyggande och varvsindustrin. Inom stålbyggnad kan svetsningen var en nyckelteknologi, men behöver inte vara det. Det beror på konstruktionen, valda material, samt hur man väljer att producera och montera.

Ett par saker som har betydelse för projektet nomin är t ex följande;

- Konstruktions- och produktionsunderlag. Ritningar, svetsplaner, kontrollplaner, montageplaner, lyft etc. Är konstruktionen "tillverknings- och montagevänlig"?
- Tillsyn vid svetsning. Hos tillverkaren ska det finnas en svetssakkunnig som har kompetens att utföra tillsyn av den beställda produkten (s.k. svetsansvarig).
- Kvalificering. På vilket sätt och enl. vilka regler ska svetsare, operatörer, kontrollanter och svetsprocedurer kvalificeras?
- Kontroll. Metoder, omfattning och acceptanskrav. Kontroll före, under och efter svetsning. Kan svetsförbanden kontrolleras på ett rationellt sätt? Kan man säkerställa full inträngning?
- Acceptanskrav. Anges för alla i produkten ingående svetsar, gärna med differentiering av svetsklass beroende på risknivå och dimensioneringskrav ("hög svetsklass" kostar). Referens till lämplig nivå i SS-EN ISO 5817:2014 (Kvalitetsnivåer för svetsar).
- Dokumentation. Omfattningen av kvalitetsrapporter, möten och protokoll. Är spårbarheten säkerställd?
- Avvikelser och ev. reparationer. Hantering, bedömningskriterier, rapportering och dokumentation.

## **Tillverkningsflöde vid svetsning**

Bild 1 visar ett tänkt tillverkningsflöde vid svetsning. Den är schematiskt eftersom inte alla aktiviteter som ingår i produktionskedjan finns med (t ex produktionsplanering, inköp, produktionskvalificering, transporter, borring, riktning, blåstring, målning osv). Cykeltiden har sin mening vid serietillverkning, d.v.s. då man kan slå ut ställtiden på antalet tillverkade enheter.



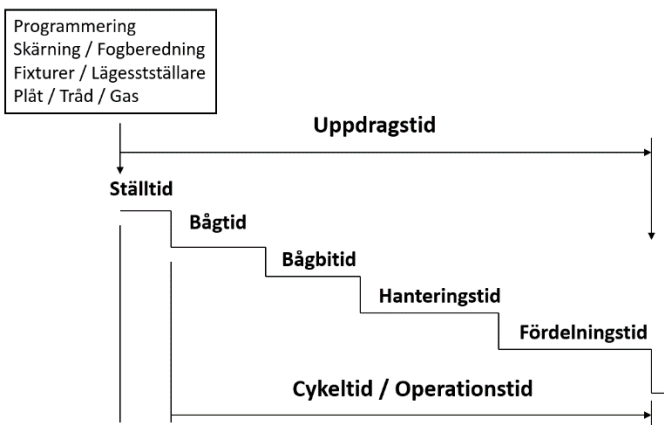


Bild 1. Schematiskt tillverkningsflöde vid svetsande produktion. Stenbacka.

**Uppdragstiden** är den tid som det tar att genomföra ett visst svetsarbete och innehåller ställtid och cykeltid/operationstid. *Ställtiden* innefattar alla aktiviteter som krävs för att sätta igång det nya svetsarbetet. I operationstiden eller cykeltiden ingår också *bågtid*, *bågbitid*, *hanteringstid* och *fördelningstid*.

**Bågtiden** är den tid då ljusbågen är tänd (brinner). Med kännedom om svetsfogens geometri (av konstruktören vald foggeometri) och svetsprocessen kan den beräknas. Det finns även tabellvärden i handböcker och erfarenhetsvärlden från olika leverantörer. *Bågbitid* (eller tilläggstid) är summan av alla tider som t ex åtgår för slagning, slipning, elektrobyten, byte av gasflaska, rengöring av gaskåpa, och som är betingade av vald svetsprocess. Bågbitiden kan variera kraftigt mellan olika svetsmetoder och valda mekaniseringslösningar.

**Hanteringstid** är tiden för att hantera objektet som t ex förflyttning av olika delar, passning, montering, uppspänning i fixturer, häftsvetsning, kontrollmätning, delkontroll etc. Denna tid är mera beroende av konstruktionens design (t ex av hur konstruktören har valt att olika delar byggs samman till en färdig enhet) och av hur verksamheten är organiserad hos tillverkaren, samt tillverkarens resurser för att rationalisera

svetsarbetet (t ex användningen av lägesställare för att svetsa i sk "bästa läge"). *Fördelningstid* är tid som inte direkt kan hänföras till aktuellt svetsarbete, men som ofta tas med som ett procentuellt påslag (det kan vara tid som är kopplat till en gemensam verksamhet hos tillverkaren och som belastar flera projekt).

Ett exempel på tidfördelning vid svetsningen av stora plåtar visas i Bild 2. Som framgår av detta exempel är bågtiden (svetstiden) bara liten del av hela uppdragstiden (4 procent i detta fall). Förberedelse för svetsningen är betydligt större (dvs. moment 1 + 2), nämligen 61 procent av totala tiden. Den är dels betingad av objektet (konstruktionens design och storlek) och dels av verkstadens resurser, planering och layout. Förhållandet: svetsstid/cykeltid, kallas för *bågtidsfaktor* (anges i procent) och anger den tid som ljusbågen "brinner".

I procent av total tid		
1.	lordningsställande av arbetsplats och maskiner	12 %
2.	Samling, häftning, förlängningsplåtar, clips	49 %
3.	Bågtid vid svetsning av ena sidan	2 %
4.	Bågbitider vid moment 3	10 %
5.	Bågtid vid svetsning av andra sidan	2 %
6.	Bågbitider vid moment 5	10 %
7.	Eftersvetsning och putsning	4 %
8.	Spilltider	11 %

Bild 2. Tidfördelning vid pulverbågs svetsning av stora plåtar. För att svetsa samman plåtarna var man tvungen att vända på dessa. Gunnert.

### Svetskostnaden

Svetskostnaden (kr/m) kan uppskattas enl. följande approximativa formel:

$$k = mw * TLM / [I * Bf]$$

mw svetsgodsvikt per meter [kg/m]

TLM timkostnad för operatör + maskin/utrustning [kr/h]

I insvetstal [kg/h]

Bf Bågtidsfaktor [%]

För att sänka svetskostnaden kan man minska svetsgodsvikten (den är proportionell mot foga-rean), öka svetsmetodens insvetstal (process-optimering) och/eller öka bågtdsfaktorn (ordning & reda i verkstan och/eller på montage-platsen). Beroende på svetsmetod kan insvets-talet variera inom vida gränser (från ca 0,5 till mer än 25 kg/h). Även bågtdsfaktorn Bf kan variera kraftigt enl. följande:

- Helmekaniserad svetsning, robotstat-ioner och serieproduktion: > 60 – 80 procent.
- Långa raka svetsar, t ex längd- eller rundskarvar i tryckkärl: < 50 procent.
- Medellånga svetsar, t ex stutsar, flän-sar, stödplattor etc.: < 35 procent.
- Korta svetsar och/eller begränsad åt-komlighet: < 20 procent.
- Montagesvetsning på byggarbetsplats 5 – 15 procent.

I en praktisk situation kan det vara intressant att titta närmare på momenten 1 och 2 i Bild 2, dvs. iordningsställande av arbetsplats och ma-skiner, samling, häftning, förlängningsplåtar och clips. Kan man göra detta på ett rationel-lare sätt? Är detta betingat av konstruktionens design och/eller av tillverkarens verkstadskap-acitet, tillverkningsflöde, montageplats osv?

Om det finns en etablerad Lean-kultur hos be-ställare och producent, så finns det också ett engagemang för att diskutera dessa frågor på ett konstruktivt sätt. Individerna i organisation-erna är inriktade på att utmana och ifrågasätta ”befintliga lösningar/arbetssätt” för att reducera ev. ”slöseri”. Man kan sammanfatta detta med; ”sök den svaga punkten i tillverkningsflödet”. För en svetsverkstad kan man börja med att se över verkstadens planering, organisation och utrustning, arbetsflödet, svetsarnas kompetens och tekniska kunnande, kontroll före, efter och under arbetet osv.

### Tips för att sänka svetskostnaden

Vill man sänka svetskostnaden så bör man börja på konstruktionsstadiet. Konstruktören har en nyckelroll i detta sammanhang. Det finns många krav som en konstruktion/produkt måste uppfylla, inte minst de som är kopplade till normer, regler, funktion och drift. Men det finns också krav på det som vi kallar för ”till-verkningsvänlighet” och ”monterbarhet”. De är starkt kopplade till hur konstruktören har tänkt sig att konstruktionen ska kunna färdigställas och hur flödet sker i de olika tillverkningsste-gen. Vad kan då konstruktören göra för att sänka svetskostnaden? Den övergripande strate-gin går ut på att minska mängden (vikten) svetsgods. Det kan verka trivialt, men är egent-ligen inte det. Här följer några tips.

- Reducera antalet svetsförband. Använd optimala bredd/längd-förhållanden på ingående detaljer och plåtar. Om möj-ligt, lägg svetsarna i lågt belastade om-råden av konstruktionen (lägre svets-klass).
- Använd gärna förböckade detaljer så att antalet delar som ska svetsats in i den färdiga produkten eller konstruktionen reduceras.
- Använd ”prefab” från underleverantörer för att reducera antalet svetsförband vid ev. montage.
- Välj ½ V-fog hellre än kälffog när det gäller T-förband. Men se upp med ”in-trängningen”.
- Välj X-fog hellre än V-fog när det gäller stumsvetsförband i något grövre gods. En ytterligare kostnadsänkning får man när man väljer ½ X-fog.
- Utnyttja ”inträngningen” vid dimension-eringen av kälsvetsförband. Notera att 10 % minskning av a-måttet leder till 20 % reduktion av svetskostnaden. Se även Bild 3 nedan.
- Bättre med dubbel kälsvets än enkel i ett T-förband. Då kan man också svetsa båda sidor samtidigt. Samtidigt reduce-ras svetsdeformationerna.



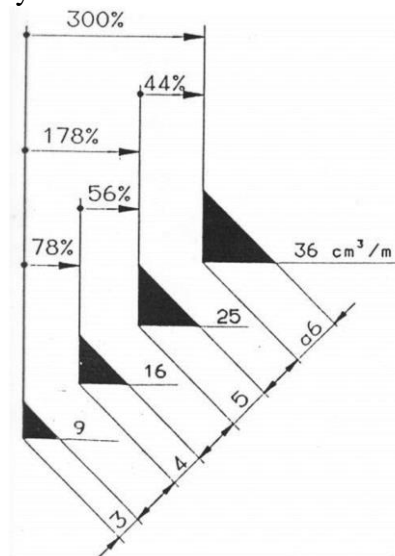
- Välj inte för hög svetsklass. Det kan bli dyrt (mera komplicerad kontroll) och leda till meningslösa reklamationer, vilket vanligtvis inte ökar konstruktionens säkerhet.
- Se till att vald leverantör/verkstad använder ”optimala” skärmetoder vid fogberedning och tillverkning av ingående detaljer. Det ger ”rätt” fogvolym, minskar onödigt passningsarbete och leder till snabbare montering och/eller montage.
- Om möjligt välj stål med högre hållfasthet. Det kan leda till kostnadsreduktioner i flera led, inte bara till en sänkning av svetskostnaden.

Vid produktion- och/eller montagesvetsning ligger fokus på att reducera bågbitid och hanteringstid, vilket medför att man ökar bågtidsfaktorn. Det kan man göra genom att se över följande moment.

- Tillverkningsflödet (minska transport- och väntetider) – logisk tillverkningsföljd för stora och små detaljer osv.
- Organisation på svetsarens arbetsplats.
- Information och motivation till berörda, spec. till svetsarna.
- Åtkomlighet för svetsning?
- Kan man svetsa i bästa ”läge” (helst svetsläge PA eller PB)?
- Skadlig eller kapacitetshämmande inverkan från omgivningen.
- Användningen av hjälpmedel – lyftdon, lägesställare etc.
- Mekanisering så långt det går och är rimligt.
- Svetsdeformationerna (förbocka, förspänn, svetsa efter en genomtänkt svetsplan, använd en metod som ger mindre deformationer).
- Metodbetingade avbrott och efterbearbetningar (fjärreglering av svetsparametrar, underlätta slaggbortagningen,

minska andelen svetssprut och dess vidhäftning, använd central gasförsörjning).

- Förekomsten av störtider (tillräcklig kapacitet i svetsmaskinen, förebyggande underhåll, regelbunden maskinöversyn, beakta kvaliteten hos ingående produkter och tjänster).
- Undvik ändringar/tillägg. Det kan bli dyrt.



*Bild 3. a-måttets inverkan på fogarean för en idealiserad kälsvets. När a-måttet ökar från 4 till 5 mm så ökar fogarean med 56 %. Överslagsmässigt ökat svetskostnaden lika mycket. Fogarean ökar kvadratisk med a-måttet. Det gör också svetsgodsvikten. Nölle.*

#### Referenser

1. Global Study on MI Industry Segments. Metra Martech, London 2006. Linde Gas.
2. Weman, K, Karlebo Svetshandbok, Liber, 2013.
3. Stenbacka, N, Svetsekonomi och produktivitet. Svetskommissionen, 2009.
4. Nölle, P, Was kostet der Meter Schweißnaht? Der Praktiker 4-2015.
5. GSI SLV, Wirtschaftlichkeit II, SFI / IWE 4.08-2.

#### Författare:

Nils Stenbacka, Professor & IWE, Stenbacka Consulting