

DANSK METALLURGISK SELSKABS VINTERMØDE

DEN 13-14 JANUAR 1969.

Foredrag nr. 3

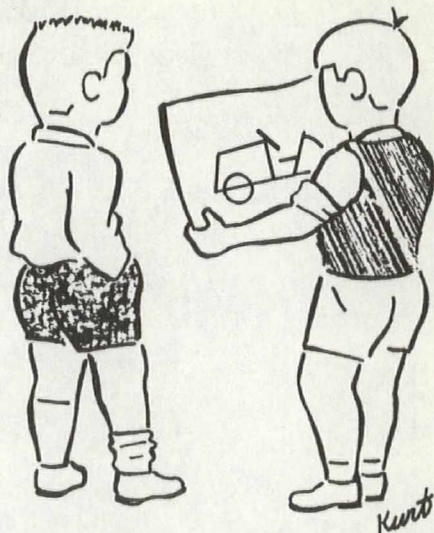
Stål til større svejste konstruktioner

Erik Rasmussen  
Svejsecentralen

Akademiet for de tekniske Videnskaber

Hvis De kaster et groft overblik over vor lille klode, kan iagttages at næsten alle større bærende konstruktioner udføres som jernbeton- eller svejste stålkonstruktioner; blandt undtagelserne er f.eks. fly.

Årsagen til ståls absolutte overlegenhed over andre metaller inden for dette område er antydnet i det følgende skema, hvor stålet er stillet overfor en af sine nærmeste konkurrenter, her aluminium med ca. 2.5 % Mg.



Ska' vi lave den af guld, papmaché, plastik, stål, egetræ - eller ska' vi lerklode den?

Materiale	Materialekonstanter				Pris	Værdital		
	Flyde- spænding	Træk- styrke	Vægt- fylde	Elastici- tetskoef- ficient		A	B	C
	$\sigma_s$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_t$ kp/mm <sup>2</sup>	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>	E kp/mm <sup>2</sup>	kr/kg	$\frac{P \cdot \rho}{\sigma_s}$	$\frac{P \cdot \rho}{\sqrt{E}}$	$\frac{P \cdot \rho}{\sqrt[3]{E}}$
Stål: St. 37	24	37	7.8	$2,0 \cdot 10^4$	0.75	2.4	4.1	4.6
Aluminium 57S-1/4H	15 <sup>a)</sup>	20 <sup>a)</sup>	2.8	$0,72 \cdot 10^4$	7.0	13	23	22

a) Udglødes ved svejsning.

De anførte værdital A, B og C er udregnet for henholdsvis trækstænger (flydning), Euler-søjler (stabilitet) og pladefelter (udbuling). Ved beregning af prisen for disse konstruktionselementer indgår en del materialeafhængige størrelser (som længde; størrelse af ydre kræfter) multipliceret med de nævnte materialeafhængige værdital, der således er proportionale med priserne for konstruktionselementerne.

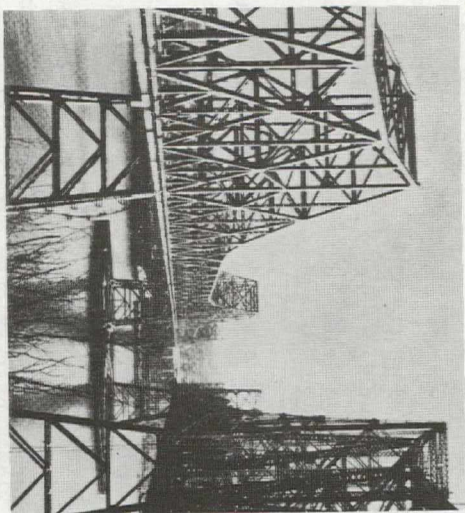
Værdierne for stål er her så tiltrækkende for konstruktøren, at han oftest tager stålets elendige korrosionsbestandighed med heraf følgende udgifter til maling og vedligeholdelse samt den specielle sprøbrudsrisiko med i købet.

Medvirkende hertil er også, at stål er mange gange billigere at bearbejde og svejse pr. enhed end et hvilket som helst andet metal, og væsentligt er endvidere, at metoder til montage-svejsning af bærende dele stort set ikke er udviklet for andet end stål.

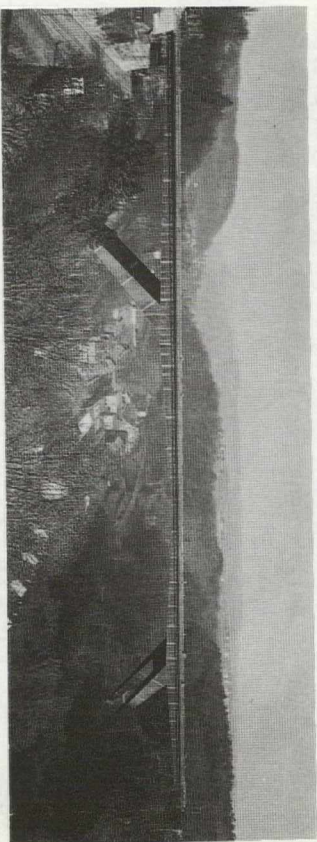
Selv om der bruges specielle eller stærke stål til få subtile konstruktioner, må man dog sige, at de fleste broer, kraner, skibe, lagertanke, store værkstedshaller o.s.v. idag fremstilles af stål med nogenlunde samme styrke som for f.eks. 40 år siden.

Alligevel har udviklingen været ekstrem. Man er gået fra nitning til svejsning, konstruktøren fra gitterkonstruktioner til monolitiske pladekonstruktioner. Stålværkerne har udviklet svejselige stål, og svejseteknologerne har udviklet driftsikre, produktive svejsemetoder. Sammenfattet kan man således på dette store felt lige netop nu sige, at inden for disse stærkt gensidigt afhængige områder, er den urolige pionertid overstået, og ligheden mellem konstruktionerne før og nu er oftest forsvundet.

Dette er vist på fotografierne på næste side, hvor man dels ser to amerikanske broer af gammeldags type, og en moderne bro fra Luxemborg.



3-14



22

Ser vi på stålvalget til disse konstruktioner, deler dette sig naturligt op i to områder, styrke og kvalitet. Tager man stålprisen i forhold til flydespændingen, kommer man til, at St 50-typen med trækstyrke over  $50 \text{ kp/cm}^2$  og flydespænding ca.  $35 \text{ kp/mm}^2$  er fordelagtigst. Brugen af et sådant stål i forhold til St 37 betyder endvidere nedsat svejsevolumen, nedsat vægt ved intern transport m.m.

Imidlertid er det ikke altid stålets flydespænding, der er dimensionsgivende. For bjælker og trykstænger er det ofte henholdsvis nedbøjningen og faren for udbøjning, der er afgørende. Den egenskab ved stålet, der har betydning her, er elasticitetskoefficienten, der som bekendt er ens for alle stål, hvorfor det billige St 37 kommer til værdighed igen, her specielt for lange bjælker og stænger, jævnfør tidligere skema.

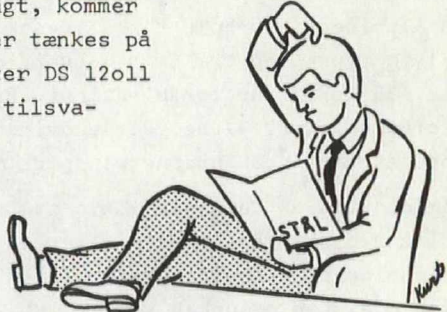
Til store trykbeholdere, lagertanke o.s.v. er anvendelsen af St 50 selvskreven og benyttes i stor udstrækning, det samme gælder til de nyere orthotrope-pladekonstruktioner. Således er f.eks. brodækket og de underliggende forstærkninger på den kommende Lillebæltsbro alle af St 52.3-typen.

Anvendelse af de endnu stærkere stål er relativ sjælden. Eksempler her er f.eks. specielle beholdere inden for transportområdet, dele i kraner m.m. Årsagen hertil er, at disse stål kun er økonomiske at benytte, hvor bevægeligheden eller egenvægten er af så stor betydning, at dette berettiger den lidt højere fremstillingspris.

I det af Madsen, Nissen og Gimsing udarbejdede, præmierede projekt til Storebæltsbroen, er der således regnet med anvendelse af stål med op mod  $70 \text{ kp/mm}^2$  flydespænding i de kasseformede svejste hoveddragere. Dette er betinget af den meget store spændvidde på 400 m, hvoraf øjensynligt følger, at en væsentlig faktor er, at broen skal kunne bære sig selv.

## Kvalitet.

Når stålets styrke er fastlagt, kommer man til valg af kvalitet. Her tænkes på valg mellem A, B, C og D efter DS 12011 for konstruktionsstål eller tilsvarende Gütegruppe 1, 2 eller 3 efter DIN 17100. Dette valg har i hele svejsningens historie været lidt af et problem, men efterhånden er der dukket flere systemer frem, og Bieretts system skal antydes her. Han siger, der er 7 hovedfaktorer, der er afgørende for, hvilken stålkvalitet, der skal vælges.



Hvilket stål skal jeg vælge? Kasse-kølejern, fodstål, varmpresmetrikjern, hesterivetandstål, øljern, plovbomstål.

### BIERETT INDFLYDELSSEFAKTORER

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| a. Konstruktionstype           | d. Indvirkning af temperatur           |
| b. Skadeomfang                 | e. Kolddeformationer                   |
| c. Materialets udnyttelsesgrad | f. Påvirkningens art (træk eller tryk) |
|                                | g. Materialetykkelse.                  |

Disse faktorer vurderer han een efter een for til slut at nå til stålkvaliteten for det enkelte konstruktionselement. De første tre faktorer vurderes hver til et værdital, som multipliceres, hvorefter han kommer til KSA-faktoren, hvormed han går ind i efterfølgende skema.

Trækpåvirkning	Temperaturområde				Godstykkelser										
	1	2	3	4	mm 8 12 16 20 25 30 35 40 45 50										
	Laveste driftstemperatur				Aldningsbestand, specialstål										
K. S. (A)	$\geq 15^\circ$ til $-10^\circ$				$-10^\circ$ til $-30^\circ$										I
			2,0		1,4		1R				3RR				II
	2,0		1,4		1,0		eller		2R						III
	1,4		1,0		0,7		1U		2U						IV
	0,5		0,7		0,5										V
	0,5		0,7		0,5										VI
Trækpåvirkning og kolddeformation		Mindre kolddeformation				0 5 10 16 20 25 30 35 mm									
		$R: t \geq 19 \quad \delta \leq 2,5\%$													
Trykpåvirkning		Stærkere kolddeformation				0 10 20 30 mm									
		$R: t \geq 10 \quad \delta \leq 5\%$													
Trykpåvirkning						mm 15 20 30 40 50 60 mm									
						1U eller 2U 2R 3RR									

Den teoretiske begrundelse for dette system samt et stort antal gennemvurderede eksempler finder man i "Katalog zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweisste Stahlbauten", Deutscher Verlag für Schweisstechnik, Düsseldorf 1962.

I de kommende Danske Normer for Stålkonstruktioner, må man forvente, at der kommer regler for valg af stålqualität, som er afledt af Bierett's system.

Hvis man ser på de stål, der anvendes til svejsning af husbygningskonstruktioner, broer, kedler, skibe o.s.v. på den ene side og til svejsning af landbrugsmaskiner, entreprenørmateriel som traktorer, gravemaskiner og til dels kraner på den anden side, møder man tilsyneladende et paradoks. Man synes, at sidstnævnte gruppe omfatter stærkt dynamisk eller stødpåvirkede konstruktioner. Ikke desto mindre vil en nærmere granskning vise, at der i de bærende dele i disse maskiner ofte indgår en del maskinstål eller såkaldte ikke eller vanskeligt svejselige stål med fra ca. 0.3 til 0.6 % kulstof, eller tilsvarende.

For den første gruppe husbygningskonstruktioner, kedler m.m. gælder derimod oftest meget strenge krav til stålenes svejse-lighed f.eks. et max. krav til stålets kulstofindhold på ca. 0.2 %, krav til lave S, P, N-indhold og meget mere.

Årsagen til denne forskel i materialevalg for disse to områder synes ikke altid at være præget af den strengeste logik, men en del af forklaringen findes dog i følgende.

Omfanget af krav fra myndighedernes side m.m. er vidt forskellige for de to grupper.

Når man skal bygge en bro, er det et hovedsynspunkt, at man, i princippet i hvert fald, ikke vil vælge et stål, som medfører en selv meget lille risiko (f.eks. 1 o/oo) for senere beskadigelse af broen (f.eks. på grund af sprødbud). Endvidere er fremstillingen af en større bro en 1 stk.'s jobordreforretning, hvor mulighederne for udvikling og forsøg, for at finde frem til det billigste anvendelige materiale, er ret begrænsede.

For f.eks. gravemaskiner af i dag er situationen en helt anden. Her er der ofte tale om serieproduktion baseret på mange års gode og dårlige erfaringer fra tidligere typer og praktiske langtidsforsøg hos kunderne; parret med kravet om et konkurrencedygtigt produkt. Der kan da også gøre sig det synspunkt gældende, at det kan være rimeligt at kvaliteten er således, at en lille procentdel går i stykker. Dette kan være rimeligt her, når der ikke er risiko for følgeskader på personer eller ejendom; dette i modsætning til forholdene for broer og kedler m.m.

Med hensyn til valget af de tilsatsmaterialer (svejseelektroder), der bruges til at svejse de førnævnte stål sammen med, kan anføres følgende:

Man møder straks en hel del svejseteknologiske krav af betydning, som dog ikke skal omtales her. Hovedsynspunktet med hensyn til materialetekniske krav til svejsesømmen er, at den skal kunne opfylde mindst de samme krav, som er stillet til stålet. I DS 317 for Svejseelektroder, og flere andre landes standarder, er dette synspunkt principielt fulgt, og man ser hvorledes, der er opstillet direkte og indirekte funktionskrav til svejsesømmens flydespænding, forlængelse, slagstyrke, hydrogenindhold, homogenitet m.m. Her er specielt slagstyrkekravet til debat for tiden, idet dette i stor udstrækning begrænser eller forhindrer anvendelsen af de mest produktive svejsemetoder, hvilket er af stor økonomisk betydning ved svejsning af f.eks. et stort skib. På grund af den specielle mikrostruktur i svejsesømmen og de svejsespændinger, der findes i og omkring svejsningen, tyder mange forsøg endvidere på, at svejsesømmens slagstyrke i de fleste tilfælde er uden betydning for sprøbrudsrisikoen for konstruktionen. Til dette siger de ansvarlige for de store konstruktioner:

Ja, dette ser ud til at være rigtigt; men vi tør ikke i dag slække på slagstyrkekravet. Tænk lige på, at det koster mindst 50.000 kr. hver dag et stort tankskib skal ligge i dok for reparation, og hvad siger samfundet, hvis man må lukke en Storebæltsbro en uge.