

Kompendium / Høgskolen i Gjøvik, 2012 nr. 3

Styrkeberegning: sveiseforbindelser - statisk

Henning Johansen

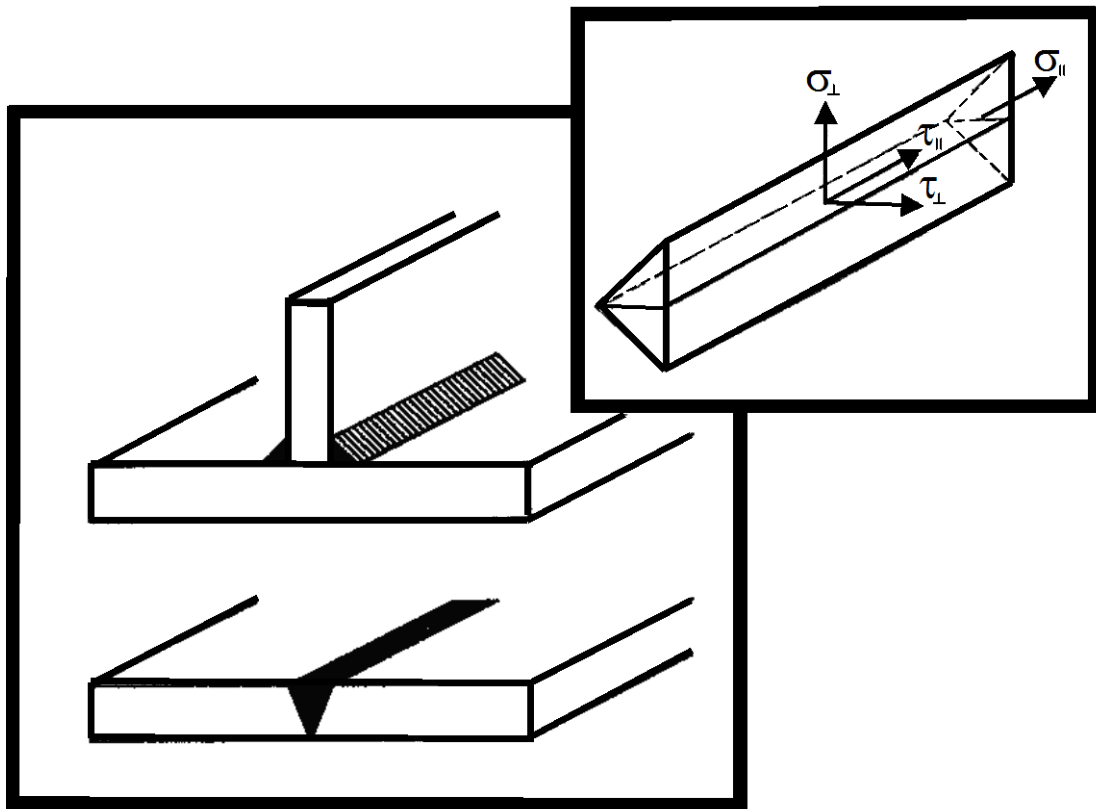


Gjøvik 2012

ISSN: 1503-3708

Styrkeberegning

Sveiseforbindelser - statistisk



| | side: | |
|----|---|----|
| 0 | INNHOLD | 2 |
| 1 | INNLEDNING | 3 |
| 2 | ANVENDTE SVEISEMETODER | 4 |
| 3 | SVEISEANGIVELSER PÅ TEGNINGER | 7 |
| 4 | RIKTIG FUGETYPE | 9 |
| 5 | SPENNINGSFORDELING I SVEISEFORBINDELSER | 11 |
| 6 | SVEISESPENNINGER | 12 |
| 7 | SVEISBARHET OG SVEISESIKKERHET | 13 |
| 8 | PÅLITELIGHETSKLASSER | 15 |
| 9 | KRAV TIL UTFØRELSE OG MATERIALER | 16 |
| | 9.1 Krav til utførelse | 16 |
| | 9.2 Krav til materiale | 17 |
| | 9.3 Slagseighet | 18 |
| 10 | ELASTISKE BEREGNINGSMETODER | 20 |
| 11 | SVEISTE KONSTRUKSJONER GENERELT | 23 |
| 12 | BUTTSVEIS | 24 |
| | 12.1 Buttsveis generelt | 24 |
| | 12.2 Buttskjøt og T-skjøt | 25 |
| 13 | KILSVEIS | 26 |
| | 13.1 Kilsveis generelt | 27 |
| | 13.2 Kilsveis etter maksimal elastisk spenningstilstand, NS3472 | 27 |
| | 13.3 Sveisesømmens geometri | 28 |
| | 13.4 Utforming av kilsveiser | 29 |
| 14 | SVEISEFORBINDELSER UTSATT FOR STREKK / TRYKK | 30 |
| 15 | SVEISEFORBINDELSER UTSATT FOR BØYNING | 34 |
| 16 | SVEISEFORBINDELSER UTSATT FOR VRIDNING | 37 |
| 17 | REFERANSER | 38 |
| 18 | VEDLEGG | 39 |
| | 18.1 Øvingsoppgaver | 39 |
| | 18.2 Fasit til øvingsoppgaver | 46 |

1 INNLEDNING

Dette kompendium er beregnet for personer som er fortrolig med grunnleggende mekanikk og som ønsker å få en grunnleggende innføring i sammenføring av sveiste konstruksjoner. Det er skrevet ut i fra en serie med forelesninger på høghskolenivå. Det er lagt stor vekt på gode illustrasjoner. En mer omfattende skriftlig dokumentasjon på de forskjellige deler av fagstoffet finnes i flere lærebøker og i Norsk Standard.

Som mål har dette kompendium å gi en innføring i hvordan beregne sveiste konstruksjoner i stål som er utsatt for statiske belastninger. Det er lagt vekt på at beregningsprinsippene skal følge Norsk Standard.

Den første delen gir en generell innføring i de mest anvendte sveisemetodene, hvordan angi sveiser på en konstruksjonstegning og hvordan velge riktig sveisefuge.

Det er videre vist eksempler på hvordan ytre på kjenninger forårsaker forskjellig spenningsfordeling i kritiske snitt i forskjellige typer forbindelser. Et kapittel om de spenningene som opptrer p.g.a. selve sveiseprosessen er også med.

Videre følger hva vi mener med sveisbarhet, sveisesikkerhet og hvordan vi definerer pålitelighetsklasser. Krav til utførelse og materialer i følge Norsk Standard er angitt i eget kapittel.

Beregningsprinsippene i dette kompendium følger elastiske beregningsmetoder, hvor bruddgrense- og bruksgrensetilstanden er definert.

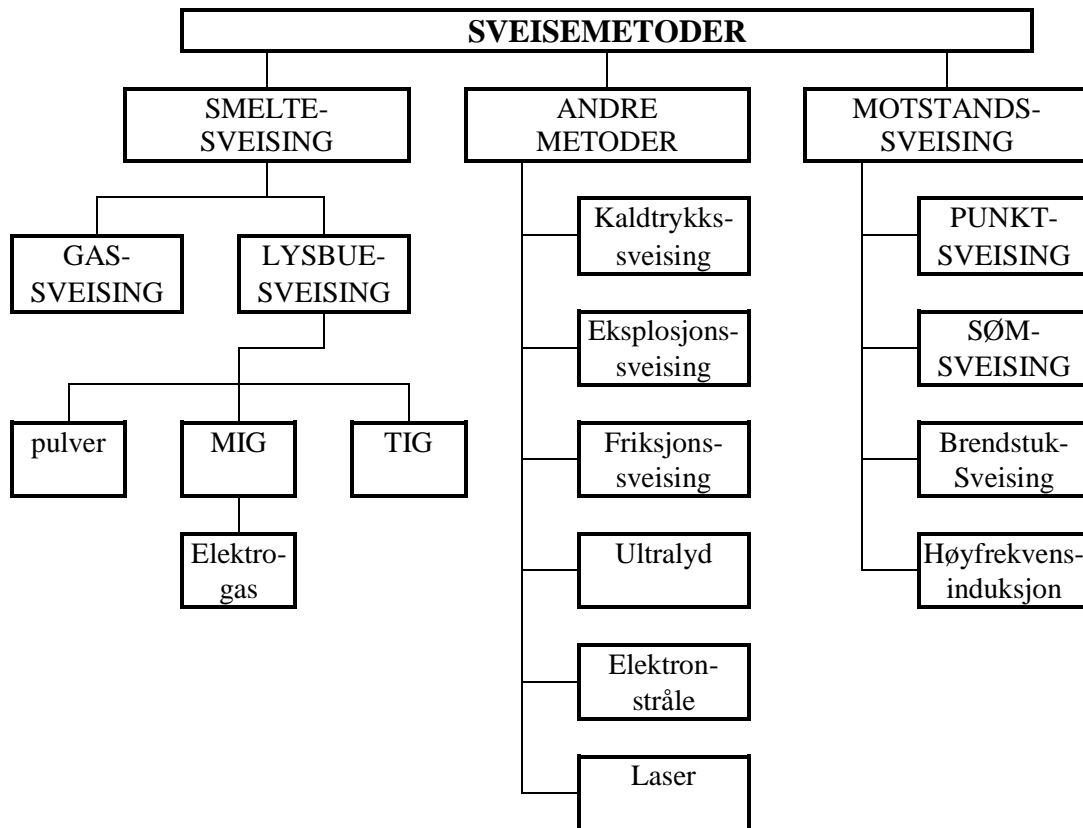
Selve beregningsdelen er delt i hvordan beregne buttsveis og hvordan beregne kilsveis. Det er gitt utfyllende eksempler på beregning av sveiste konstruksjonsdetaljer utsatt for strekk- og trykkbelastning, bøyning og vridning. Disse beregningseksempelene følger Norsk Standard.

Til slutt finner du et sett med oppgaver som kan gi deg bedre forståelse og øvelse i teorien presentert.

Forfatter av dette kompendium har tidligere jobbet i flere år ved Teknologisk Institutt, avd. Materialteknologi. Han har jobbet mye med sveiseteknologi, bl.a. kurs i beregning av sveiste konstruksjoner for sveiseteknisk personell. Han har også jobbet med oppdrag og prosjekter for implementering av ny teknologi i sveiserelatert næringsliv.

2 ANVENDTE SVEISEMETODER

Figuren under viser de vanlige sveisemetodene.



Figur 2.1
Sveisemetoder generelt.

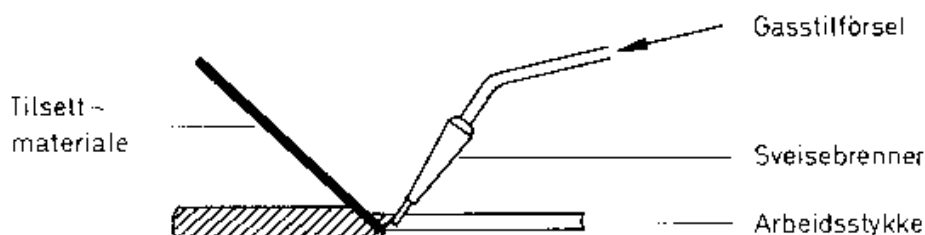
De vanligst brukte sveisemetodene er:

a) Gassveising:

Gassveising er den eldste av sveisemetodene. Sveisevarmen dannes vanligvis ved at acetylen forbrenner med oksygen. Gassene tilføres en sveisebrenner, se Figur neste side, hvor de forbrenner i en flamme som bør være nøytral eller ha et lite acetylenoverskudd for å motvirke oksidering av smeltebadet.

Sveisingen kan foregå som oppsmelting av grunnmaterialet, eller det tilsettes materiale inn i sveiseflammen i form av stavelektroder. For å løse opp oksidene på elektroden og grunnmaterialet, og for å beskytte smelten mot oksygen fra atmosfæren og fra flammen, dekkes elektroden og grunnmaterialet med et flussmiddel før sveisingen.

Metoden benyttes ikke så mye i dag. Metodene TIG (Tungsten Inert Gas) og MIG (Metal Inert Gas) har i stor grad tatt over. Utstyret er billig og kan benyttes ved sveising av stål og aluminium. Metoden benyttes mest til reparasjonsveising.



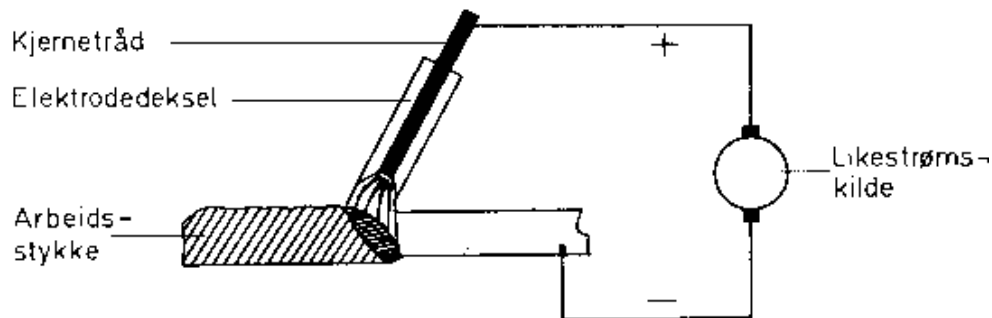
Figur 2.2
Prinsipp for gassveising.

b) Buesveising med dekkede elektroder:

Når en lysbue dannes mellom en elektrode og arbeidsstykket, smelter begge deler og danner en sveiseforbindelse, se Figuren under.

Elektroden består av en kjernetråd av grunnmaterialet med et dekke av flussmiddel. Dekket har til oppgave å fjerne oksid og å stabilisere lysbuen. Det er hygroskopisk, så elektrodene må lagres tørt.

Metoden gir porer, dårlig innbrenning og flussmiddelrester som for gassveising. MIG-metoden (Metal Inert Gas) benyttes derfor ofte i stedet. Metoden brukes ofte til reparasjon-sveising. Utstyret er billig, og likeretteren kan også benyttes for sveising av både stål og aluminium.



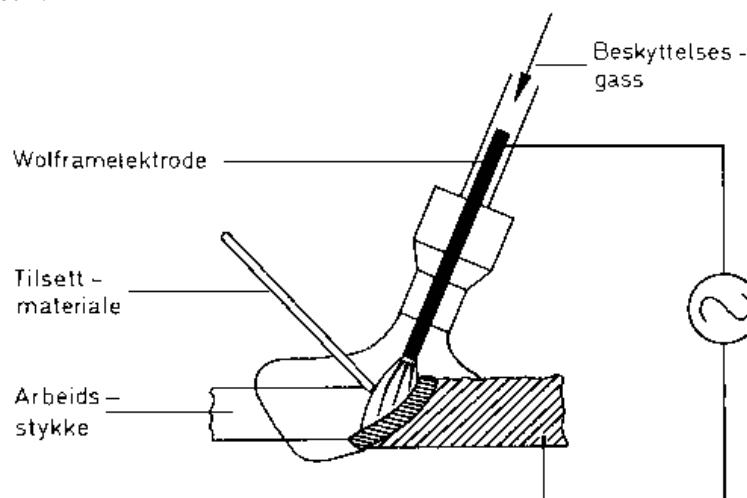
Figur2.3

Prinsipp for buesveising med dekkede elektroder.

c) TIG (Tungsten Inert Gas):

Denne metoden er vist i Figuren under. Her tilføres sveisevarmen ved en lysbue mellom en ikke-smeltende wolfram- (tungsten) elektrode og arbeidsstykket. Sveisingen kan foregå med eller uten tilsettmateriale. Ved bruk av tilsettmateriale, føres dette inn i lysbuen hvor det smelter. For å beskytte smelten mot luft (hydrogen, oksygen, nitrogen), strømmer det en beskyttelsesgass av argon, helium (inert gas) eller en blanding igjennom munnstykket og over smeltebadet.

TIG-sveising med bruk av vekselstrøm er mest vanlig. Dette for ikke å smelte elektroden. Metoden gir god kvalitet i sveis utført i alle sveisestillinger og ved bruk av alle typer fuger. Den er velegnet for både manuell- og maskinell sveising. Metoden er mest fordelaktig ved materialtykkelser fra 0,7 – 4mm. God rotinnbrenning gjør at metoden nyttes mye der hvor det er mulig bare å komme til fra bare en side, for eksempel på rør, og til forbindelser med komplisert geometri.



Figur2.4

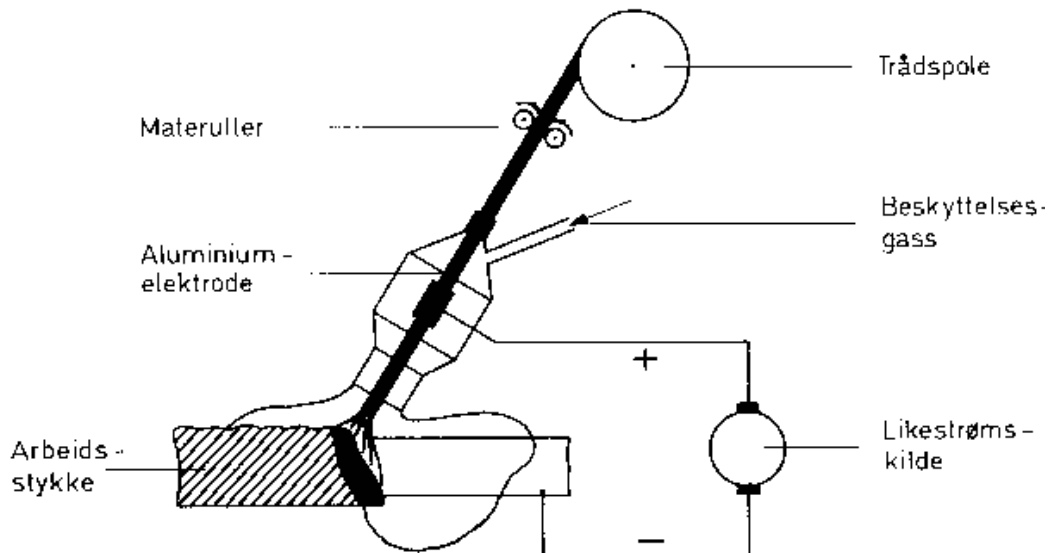
Prinsipp for TIG-sveising.

d) **MIG** (Metal Inert Gas):

Ved MIG-sveising mates en elektrodetråd fra en spole gjennom munnstykket. Denne smelter i lysbuen som dannes mellom elektrodetråden og arbeidsstykket og overføres til sveisefugen. Beskyttelsesgas tilføres gjennom sveisepistolen på samme måte som for TIG-sveising. Se Figuren under. Ved MIG-sveising benyttes likestrøm og elektroden holdes positiv. Elektroden, sveisetråden, blir derved den varmeste polen. Dette gir også oppbrytning av oksidbelegget, oksidrensing på arbeidsstykket. Vanligvis benyttes argon som beskyttelsesgass, men en blanding av 70% helium og 30% argon gir bedre innbrenning i arbeidsstykket.

Vanlig elektrodediaameter er 0,8 – 4mm. For hver elektrode finnes det en grensestrømstyrke der materialoverføringen fra elektroden til arbeidsstykket går fra store enkeltdråper som kortslutter elektroden mot arbeidsstykket, til en mengde smådråper som overføres som en dusj. Vi snakker om henholdsvis kortbuesveising og spraybuesveising. Metoden brukes særlig på materialer fra ca. 3mm og oppover. Sveisehastigheten er høy, for materialtykkelser i området 4 – 20mm ligger den på 35 - 70cm/min. For konvensjonell MIG ved horisontalsveising er avsettytelsen opptil 5kg/time. For vertikalsveising er den maksimalt 3kg/time.

MIG- og TIG-metodene er i dag de sveisemetodene som brukes mest for stål og aluminium.



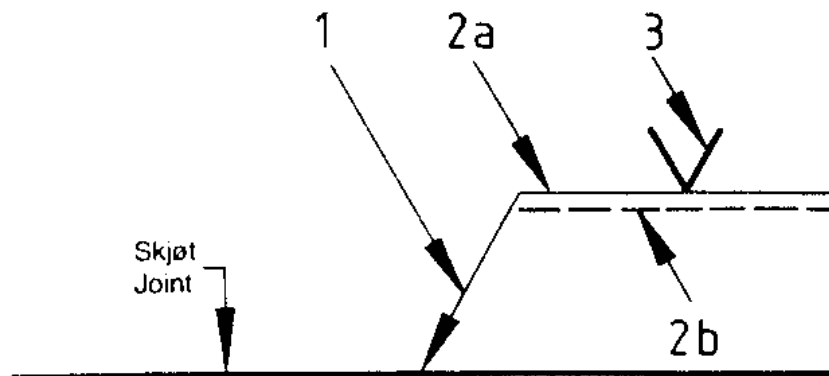
Figur2.5
Prinsipp for MIG-sveising.

3 SVEISEANGIVELSER PÅ TEGNINGER

Både sveisefuger og sveiser angis på tegningene med symboler.

Alle angivelsene skal være lette å lese, og må være entydige. Hvis symbolene ikke oppfyller disse kravene, må sveisen tegnes ut og målsettes i større skala.

Norsk Standard, NS 1421, viser hvordan sveiser skal angis med symboler på tegninger.



Figur 3.1

System for sammensetning av sveisesymboler.

I figuren er:

- 1 pillinje
- 2 henvisningslinjer:
 - 2a referanselinje (hellinje)
 - 2b identifiseringslinje (stiplet linje)
- 3 sveisesymbol

Symbol for sveis på motsatt side skal angis på den stiplede linjen, 2b.

På tegninger som utføres etter NS, skal den stiplede linjen tegnes under den heltrukne linjen, 2a.


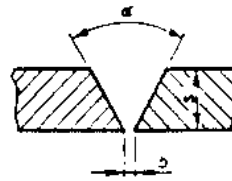

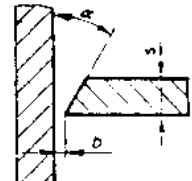

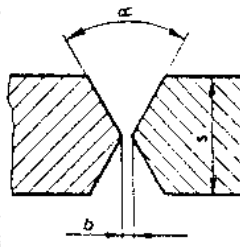
Eksepler på bruk av grunnsymboler etter NS 1421:

| Nr. No | Navn Symbol (Nummer som i tabell 1) Designation Symbol (Numbers refer to table 1) | Illustrasjon Illustration | Tegnel Representation | | Symbolangivelse Symbolization | | | |
|-----------|--|------------------------------|--------------------------|---|----------------------------------|---|---|-------------|
| | | | A | E | enten either | A | E | eller or |
| 5 | Buffsveis V-fuge Single-V butt weld | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 20 | Klissveis Fillet weld | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Tabell 3.1
Bruk av grunnsymboler ved angivelse av sveiser.

4 RIKTIG FUGETYPE

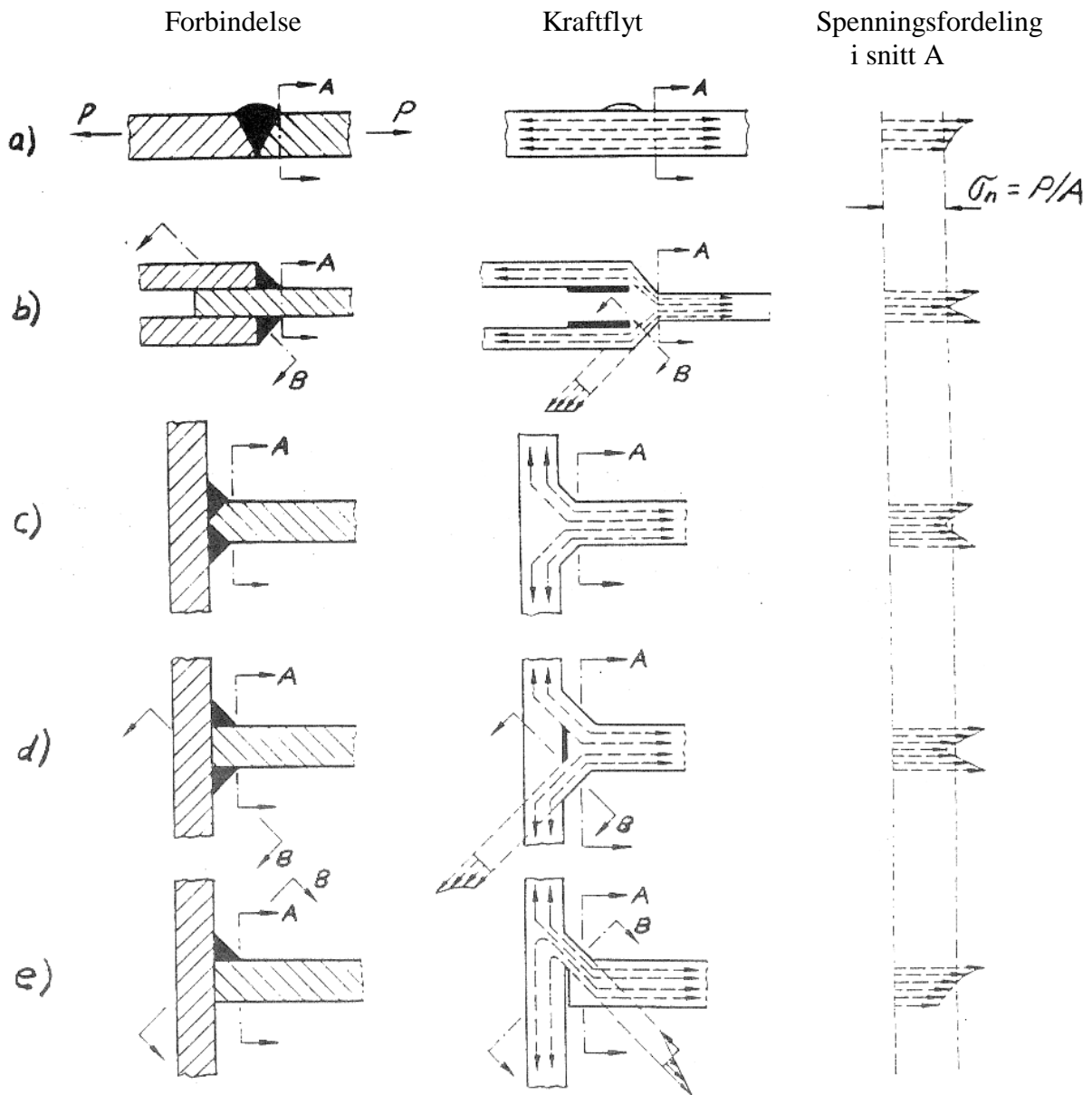
NS 472 foreskriver fugeformer for konstruksjonsstål og NS 473 for aluminium. I standardene er det angitt fugebetegnelse, symbol, fugeform, sveisemetode, fugemål, sveisestilling og det er gitt noen kommentarer. Tabellen under viser et utdrag av NS 472.

| Fugebetegnelse | Symbol | Fugeform | Sveisemetode | Fugemål mm | Kommentarer |
|----------------|---|---|--|--|--|
| V-fuge |  |  | Manuell buesveising Alle stillinger | $s = 4-25$ $b = 0-3$ $\alpha = 50-60^\circ$ | Primært beregnet for oppfuring og ettersveising fra rotsiden. Hvor sveising må utføres fra én side, må største rotåpning benyttes. |
| | | | CO ₂ -sveising Alle stillinger | $s = 4-12$ $b = 0-3$ $\alpha = 40-50^\circ$ | |
| | | | Rørtrådsveising Side-inn og horisontal stilling | $s = 6-25$ $b = 0-3$ $\alpha = 40-50^\circ$ | Ved største rotåpning kan minste fugevinkel benyttes. |
| | | | Pulverbuesveising Horisontal stilling | | Kan brukes til fylling når 6 mm bunnstreng er sveist med en annen metode. Bare for godstykkelser over 15 mm. |
| | | | Gass- og TIG-sveising Alle stillinger | $s = 3-12$ $b = 2-3$ $\alpha = 50-60^\circ$ | Benyttes ved sveising av rør og for å oppnå bunnstreng av høy kvalitet. |
| Halv V-fuge |  |  | Manuell buesveising Alle stillinger | $s = 4-25$ $b = 2-5$ $\alpha = 45-50^\circ$ | Primært beregnet for oppfuring og ettersveising fra rotsiden. Hvor sveising må utføres fra én side, må det benyttes største rotåpning. |
| | | | CO ₂ -sveising Alle stillinger | $s = 4-12$ $b = 0-3$ $\alpha = 40-45^\circ$ | |
| | | | Rørtrådsveising Horisontal stilling | $s = 6-25$ $b = 0-3$ $\alpha = 40-45^\circ$ | |
| | | | Pulverbuesveising Horisontal stilling | | Kan brukes til fylling når 6 mm bunnstreng er sveist med en annen metode. Bare for godstykkelser over 15 mm. |
| X-fuge |  |  | Manuell buesveising Alle stillinger | $s = 20-50$ $b = 2-5$ $\alpha = 50-60^\circ$ | Største åpning benyttes for side-inn og horisontal stilling. |
| | | | Rørtrådsveising Horisontal stilling | $s = 20-50$ $b = 2-4$ $\alpha = 40-50^\circ$ | Det er viktig å sørge for god rotåpning slik at oppfuring, som lett gir en ugunstig fugeform, kan unngås. |
| | | | Pulverbuesveising Horisontal stilling | | Kan brukes til fylling når 6-8 mm bunnstreng er sveist med en annen metode. Bare for godstykkelser over 20 mm. |

Tabell 4.1
Fugeformer for konstruksjonsstål etter NS 472.

5 SPENNINGSFORDELING I SVEISEFORBINDELSER

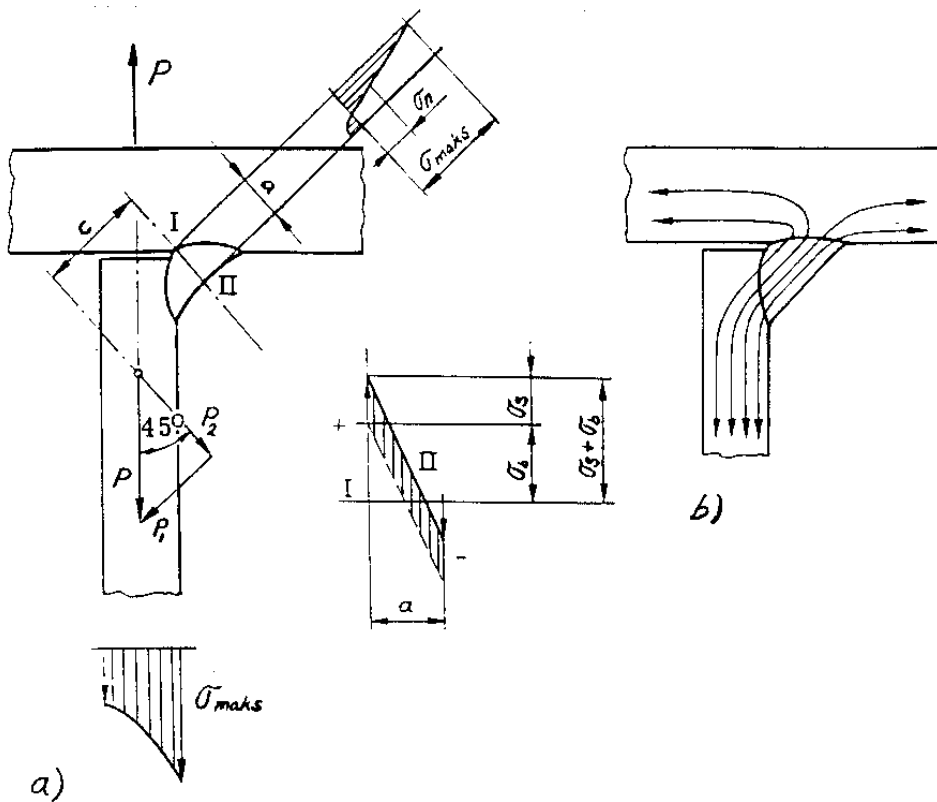
Figuren under viser hvordan kraftstrømmen går i noen sveiseforbindelser. På denne måten kan vi danne oss et bilde av spenningsforløpet ved å tegne inn tenkte kraftlinjer på samme måte som vi gjør ved behandling av væskers strømning.



Figur 5.1

Kraft- og spenningsfordeling i forskjellige sveiseforbindelser.

Figurene under viser spenningsfordeling og kraftlinjer i sveiseforbindelser.

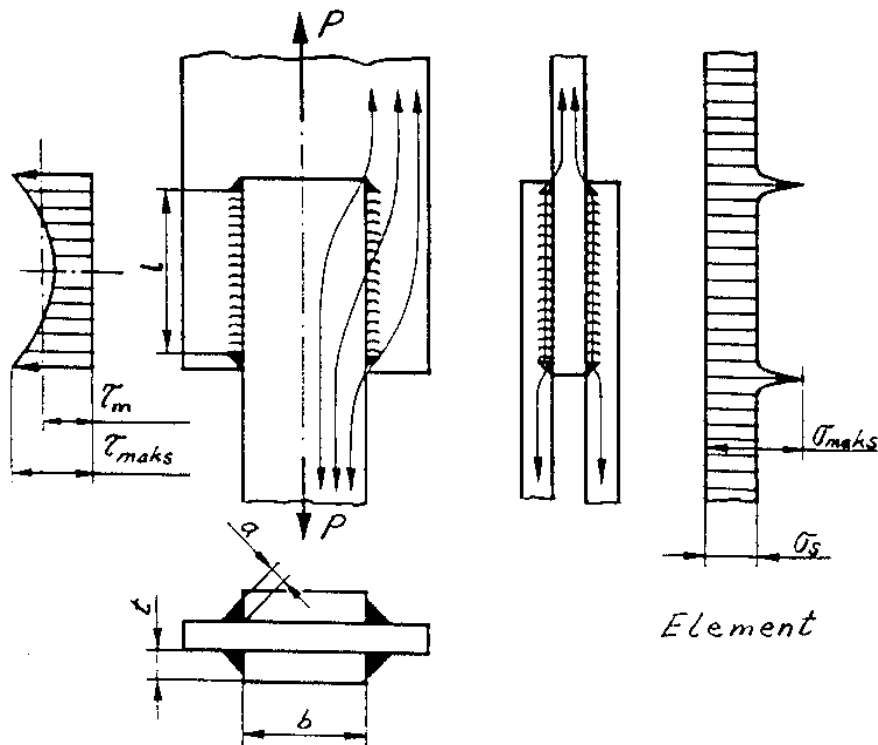


Figur 5.2

Kilsveis.

a) spenningsfordelingen - σ_s = strekkspenning og σ_b = bøyespenning

b) kraftlinjer

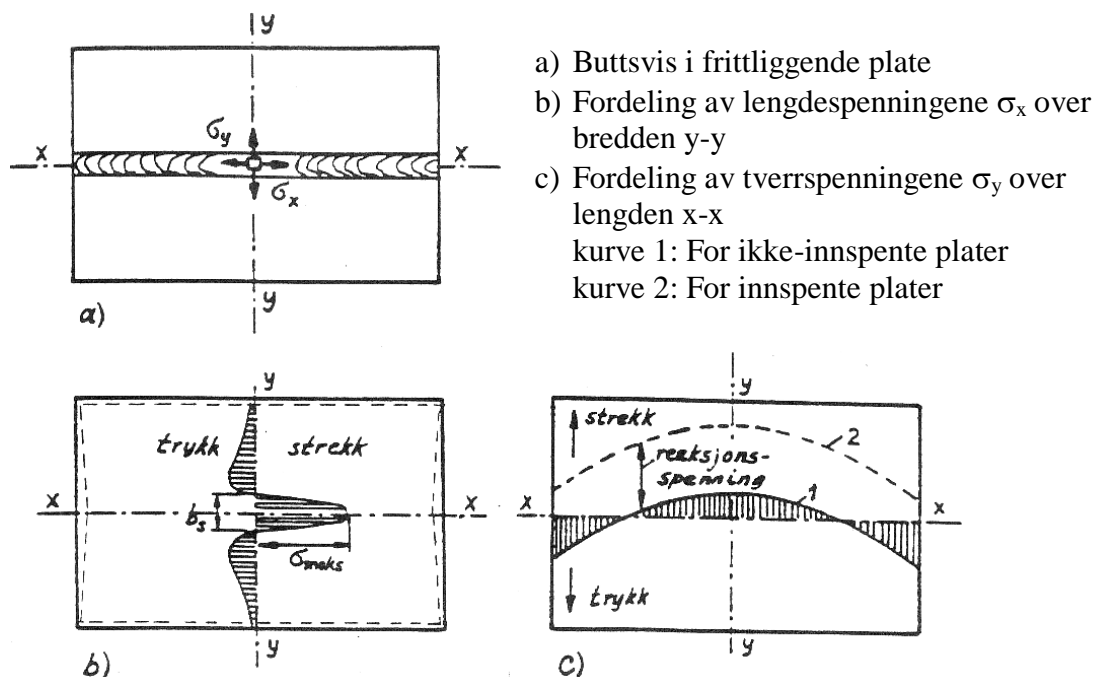


Figur 5.3

Spenningsfordeling og kraftlinjer langs kilsveiser.

6 SVEISESPENNINGER

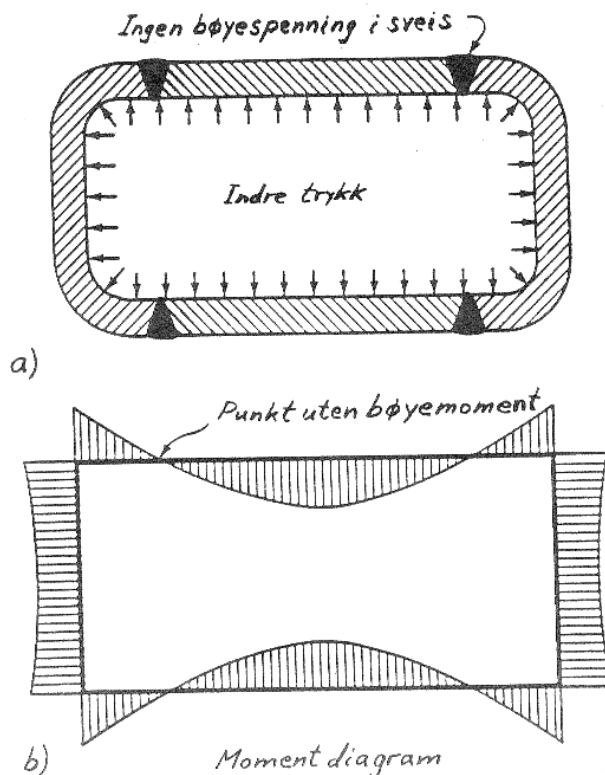
Etter sveising vil det opptre restspenninger i konstruksjonsdetaljen. Figuren under viser restspenninger etter buttsveis mellom to ikke innspente plater.



Figur 6.1

Typisk fordeling av restspenninger i ikke-innsente buttsviste plater.

Det er viktig å tenke på hvor sveisene plasseres i en konstruksjon. Plasser sveisene der hvor spenningene er lave, hvis mulig.



Figur 6.2

Plassering av sveiser i dampbeholder med jevnt fordelt indre trykk.

7 SVEISBARHET OG SVEISESIKKERHET

At et materiale er *godt sveisbart*, vil si at det kan sveises med vanlige metoder og tilsettmaterialer på en enkel måte uten spesielle ekstra tiltak for å oppnå et tilfredsstillende resultat.

Med tilfredsstillende resultat mener man at sveisen skal være uten sveisefeil av betydning, og at sveisen, både selve sveisemetallet og den varmpåvirkete sone av grunnmaterialet skal ha egenskaper som er minst like gode som grunnmaterialet.

Generell sveisbarhet vil aldri kunne garanteres fordi sveisbarheten er avhengig av:

- Grunnmaterialets egenskaper
- Anvendt sveisemetode
- Materialdimensjoner
- Sveisebetingelser
- Konstruksjonsutforming
- Aktuelle driftsforhold for den sveiste konstruksjonen

Da sveisbarhet således bare sier noe om grunnmaterialet, er det hensiktsmessig å innføre et annet begrep, nemlig *sveisesikkerhet*, som skal omfatte hele den sveiste konstruksjonen.

Sveisesikkerheten gir uttrykk for den driftssikkerhet en sveiset stålkonstruksjon har. De alvorligste defekter eller feil som en sveiseoperasjon kan føre til i sveisen eller i den tilgrensende varmpåvirkede sone, og som kan tilbakeføres til grunnmaterialets egenskaper er:

- Varmsprekker
- Kaldsprekker
- Inneslutninger
- Forringelse av grunnmaterialets egenskaper i overgangssonen

Sveisesikkerhetsbegrepet skjelner mellom tre typer feil:

1. Mindre, opprinnelige sprekker

Alle sveiste konstruksjoner har feil.

Mindre rotfeil, kratersprekker, kantsår osv. kan alle være årsak til at det oppstår sprekker etter en viss driftstid. Disse sprekkenes kan i alminnelighet lett repareres.

2. Utmattingsprekker

Tretthetsbrudd i sveiste forbindelser er alminnelige ved utmattingspåkjennte konstruksjoner.

Særlig opptrer disse sprekkenes når omgivelsene har en korrosiv karakter.

Disse bruddene skriver seg fra de samme sveisefeil som nevnt foran.

De to nevnte feil er mindre farlige hvis de enten stopper eller utvikles langsomt. Hvis sprekker dannes i et område hvor spenningene er relativt store, innebærer de en potensiell fare for at de kan utløse et restbrudd som sprøbrudd, hvis temperaturen synker under konstruksjonens omslagstemperatur.

3. Sprøbrudd

Brudd av denne typen er de **mest alvorlige** brudd i sveiste konstruksjoner.

Forenklet sagt, er forutsetningene for at et sprøbrudd kan oppstå følgende:

- fleraksiale spenninger
- begynnelsessprekk
- sprøtt materiale

Fleraksiale spenninger og små sprekker vil det alltid være i enhver konstruksjon. Dette gjelder spesielt sveiste konstruksjoner.

Den viktigste variabelen blir da sprøtt materiale. De fleste lands standarder prøver å løse dette med krav til valg av materialkvalitetsgrupper eller pålitelighetsklasser.

8 PÅLITELIGHETSKLASSER

- Pålitelighetsklasser fastsettes i samsvar med NS 3490 i forhold til mulige konsekvenser for brudd eller funksjonssvikt av en konstruksjon eller konstruksjonsdel.
- Pålitelighetsklassene brukes hovedsakelig for å differensiere krav til kontroll av prosjektering, grunnforhold, materialer, tilstand og vedlikehold for forskjellige konstruksjonstyper og for å differensiere kravene til omfanget av kontroll under utførelse og bruk.
- Pålitelighetsklassene er gitt av tabellen under:

| Pålitelighetsklasse | Konsekvens ved sammenbrudd | |
|---------------------|----------------------------|--|
| 1 | Liten | Mindre garasjer og lagerskur i en etasje, båtnaust, brygger for sport og fritid. Også kalt sikkerhetsklasse 1. |
| 2 | Middels | Bygninger i høyst to etasjer, master, tårn, siloer og skorsteiner utenom tettbebyggelse, mindre kaier og havneanlegg, driftsbygninger i landbruket, hytter der skredfare opptrer under bruk, påhengsvegger, havbruksanlegg. Også kalt sikkerhetsklasse 2. |
| 3 | Stor | Broer, større kaier og havneanlegg, store tribuner og store forsamlingslokaler, bolig-, kontor- og administrasjonsbygg med mer enn to etasjer, industrianlegg, master, tårn, siloer og skorsteiner ved tettbebyggelse. Også kalt sikkerhetsklasse 3. |
| 4 | Særlig stor | Varmekraftverk, dammer med risiko for store flomskader, stor industrianlegg med risiko for eksplosjoner o.l., hovedkonstruksjoner i installasjoner til havs. Også kalt sikkerhetsklasse 4. |

Tabell 8.1
Pålitelighetsklasser.

Konstruksjonsdeler som ikke inngår i hovedbæresystemet av en konstruksjon, kan ha lavere pålitelighetsklasse enn hovedbæresystemet.

9 KRAV TIL UTFØRELSE OG MATERIALER

9.1 Krav til utførelse.

Avhengig av konstruksjonens eller konstruksjonsdelens pålitelighetsklasse, er krav til prosjekteringskontroll og utførelseskontroll klassifisert etter tabellen under:

| Pålitelighetsklasse | Kontrollklasse for prosjektering og utførelse | | |
|---------------------|---|--------|-------------------|
| | Begrenset | Normal | Utvidet |
| 1 | x | | |
| 2 | | x | |
| 3 | | | x |
| 4 | | | Skal spesifiseres |

Tabell 9.1
Krav til prosjekt- og utførelseskontroll.

9.2 Krav til materialer.

Grunnmaterialer og forbindelsesmidler skal for eksempel tilfredsstille kravene i Norsk Standard.

De nominelle verdiene for flytespenning, f_y , og strekkfasthet, f_u er gitt i tabellen under for de vanligste konstruksjonsstål.

| Stålsort | $t \leq 40 \text{ mm}$ | | $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}^{6)}$ | |
|---------------------------|------------------------|-------|---|-------------------|
| | f_y | f_u | f_y | f_u |
| NS-EN 10025 ¹⁾ | | | | |
| NS-EN 10210-1 | | | | |
| NS-EN 10219-1 | | | | |
| S235 | 235 | 360 | 215 | 340 |
| S275 | 275 | 430 | 255 | 410 |
| S355 | 355 | 510 | 335 | 490 |
| NS-EN 10113 ²⁾ | | | | |
| S275 N/NL | 275 | 390 | 235 | 370 |
| S355 N/NL | 355 | 490 | 335 | 470 |
| S420 N/NL | 420 | 540 | 390 | 520 |
| S460 N/NL | 460 | 570 | 430 | 550 |
| S275 M/ML | 275 | 380 | 255 ⁴⁾ | 360 ⁴⁾ |
| S355 M/ML | 355 | 470 | 335 ⁴⁾ | 450 ⁴⁾ |
| S420 M/ML | 420 | 520 | 390 ⁴⁾ | 500 ⁴⁾ |
| S460 M/ML | 460 | 550 | 430 ⁴⁾ | 530 ⁴⁾ |
| NS-EN 10137 ³⁾ | | | | |
| S460 Q/QL/QL1 | 460 | 570 | 440 | 550 |
| NS-EN 10155 ⁵⁾ | | | | |
| S235 W | 235 | 360 | 215 | 340 |
| S355 W | 355 | 510 | 335 | 490 |

1) Vanlig konstruksjonsstål.
 2) Finkornstål.
 3) Seigherdingsstål.
 4) Gjelder for plater med $40 \text{ mm} < t \leq 63 \text{ mm}$.
 5) Rusttrege stål.
 6) For $t > 80 \text{ mm}$ kan verdiene fra produktstandarden legges til grunn.

Tabell 9.2
Nominelle fasthetsverdier.

Materialene skal tilfredsstille følgende krav (ved plastisk analyse):

a) forholdet $\frac{f_u}{f_y} \geq 1,2$

b) bruddforlengelsen $\delta_5 \geq 15\%$

c) tøyning ϵ_u som svarer til f_u skal tilfredsstille $\epsilon_u \geq 15\epsilon_y$

Hvor ϵ_y er tøyningen som svarer til f_y

9.3 Slagseighet.

Materialet skal ha tilstrekkelig slagseighet, slik at sprøbrudd ikke opptrer ved konstruksjonens laveste driftstemperatur i løpet av dens dimensjonerende brukstid.

Dette kravet er oppfylt dersom platetykkelsen ikke overskrider verdiene i de påfølgende tabeller.

For pålitelighetsklasse 1 og 2:

| Stålsort | | Laveste driftstemperatur | | | | | |
|------------------------------|------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Standard | Betegnelse | 0 °C | -10 °C | -20 °C | -30 °C | -40 °C | -50 °C |
| NS-EN 10025 | S235JR | 45 | 30 | 25 | 16 | - | - |
| | S235J0 | >100 | >100 | >100 | 100 | 45 | 25 |
| | S235J2 | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 | 75 |
| | S275JR | 45 | 30 | 20 | - | - | - |
| | S275J0 | >100 | >100 | 100 | 75 | 40 | 30 |
| | S275J2 | >100 | >100 | >100 | >100 | 100 | 75 |
| | S355JR | 40 | 20 | - | - | - | - |
| | S355J0 | >100 | >100 | 75 | 45 | 35 | 25 |
| | S355J2 | >100 | >100 | >100 | >100 | 75 | 45 |
| S355K2 | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 | 100 | |
| NS-EN 10113 | S275N/M | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 | 100 |
| | S275NL/ML | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 |
| | S355N/M | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 | 100 |
| | S355NL/ML | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 |
| | S420N/M | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 | 80 |
| | S420NL/ML | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 | 95 |
| | S460N/M | >100 | >100 | >100 | >100 | 100 | 75 |
| S460NL/ML | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 | 90 | |
| NS-EN ¹⁾ 10137 | S460Q | >100 | >100 | 100 | 75 | 45 | 35 |
| | S460QL | >100 | >100 | >100 | >100 | 100 | 75 |
| | S460QL1 | >100 | >100 | >100 | >100 | >100 | 90 |
| | | 1) Seigherdingsstål (Q-stål) | | | | | |

Tabell 9.3
Maksimal tykkelse (mm) for ulike stålsorter i
pålitelighetsklasse 1 og 2.

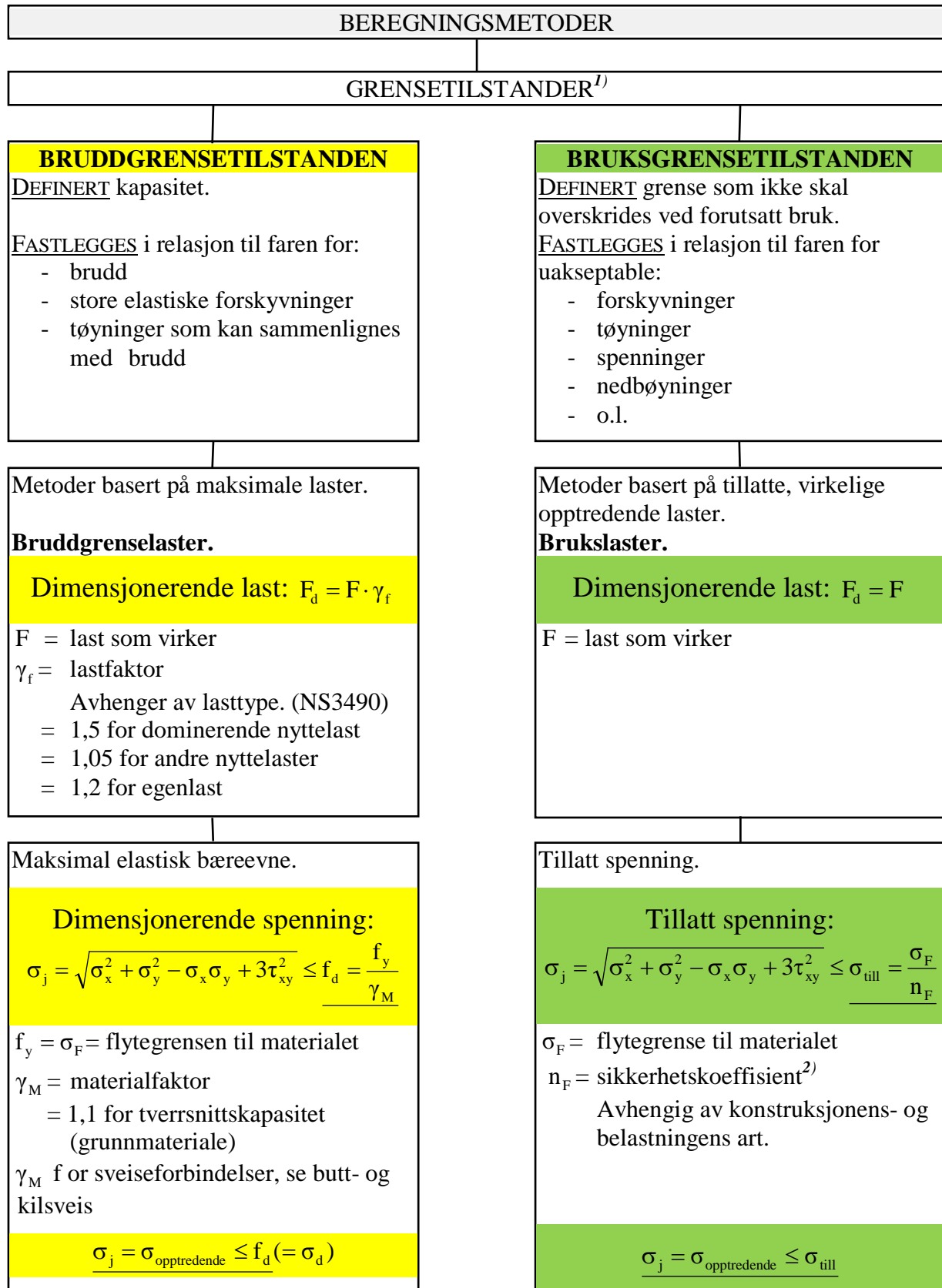
For pålitelighetsklasse 3:

| Stålsort | | Laveste driftstemperatur θ ¹⁾ | | | | | |
|------------------------------|-------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Standard | Betegneelse | 0 °C | -10 °C | -20 °C | -30 °C | -40 °C | -50 °C |
| NS-EN 10025 | S235JR | 25 | 16 | - | - | - | - |
| | S235J0 | >100 | 80 | 45 | 30 | 20 | 16 |
| | S235J2 | >100 | >100 | >100 | 45 | 35 | 25 |
| | S275JR | 20 | - | - | - | - | - |
| | S275J0 | >100 | 75 | 40 | 25 | 20 | - |
| | S275J2 | >100 | >100 | 100 | 40 | 30 | 20 |
| | S355JR | 16 | - | - | - | - | - |
| | S355J0 | 75 | 55 | 35 | 20 | 16 | - |
| NS-EN 10113 | S355J2 | >100 | 100 | 75 | 35 | 25 | 16 |
| | S355K2 | >100 | >100 | >100 | 75 | 40 | 20 |
| | S275N/M | >100 | >100 | >100 | 100 | 45 | 25 |
| | S275NL/ML | >100 | >100 | >100 | >100 | 100 | 90 |
| | S355N/M | >100 | >100 | >100 | 75 | 40 | 20 |
| | S355NL/ML | >100 | >100 | >100 | >100 | 75 | 40 |
| | S420N/M | >100 | >100 | >100 | 45 | 35 | 25 |
| | S420NL/ML | >100 | >100 | >100 | 100 | 45 | 30 |
| NS-EN ²⁾ 10137 | S460N/M | >100 | >100 | 100 | 40 | 30 | 20 |
| | S460NL/ML | >100 | >100 | >100 | 75 | 40 | 30 |
| | S460Q | >100 | 100 | 40 | 20 | - | - |
| NS-EN ²⁾ 10137 | S460QL | >100 | >100 | 100 | 40 | 30 | 20 |
| | S460QL1 | >100 | >100 | >100 | 75 | 40 | 30 |
| | | 1) For konstruksjoner som er i tmatningsbelastet, skal maksimal tykkelse velges etter verdier for minste driftstemperatur – 20 °C. Angivelsen > 100 i tabellen betyr at tykkelsen kan være større enn 100 mm og at en egen vurdering er nødvendig for å fastsette grensen. | | | | | |
| | | 2) Seigherdingsstål (Q-stål) | | | | | |

Tabell 9.4
Maksimal tykkelse (mm) for ulike stålsorter i
pålitelighetsklasse 3.

10 ELASTISKE BEREGNINGSMETODER

- Forutsetter at konstruksjonen er i elastisk tilstand.



¹⁾ Grensetilstander, se neste side

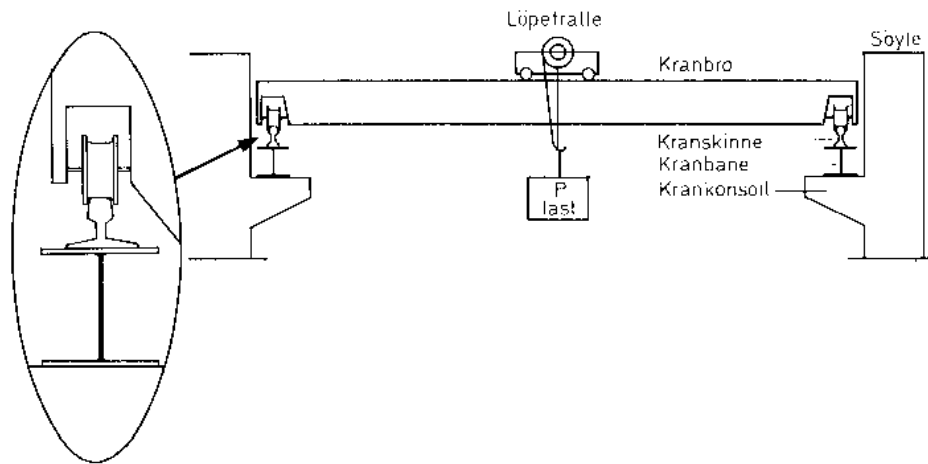
²⁾ Størrelsen på sikkerhetskoeffisient N_F , se side 22

En konstruksjon beregnes etter 2 omstendigheter, **GRENSETILSTANDER**:

1) **LASTOMSTENDIGHETENE**

Belastning eller påkjenning. Denne er gitt igjennom konstruksjonens hensikt.

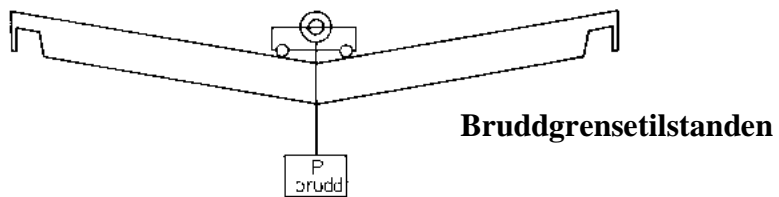
Eksempel, Kranbro hvor last er egenvekt og kranlast.



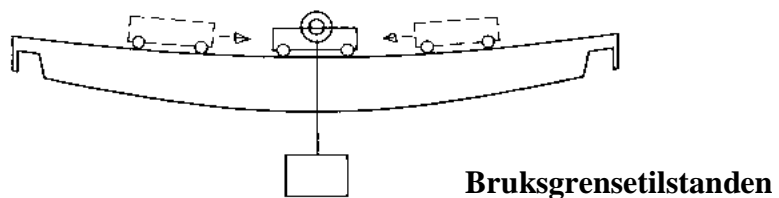
2) **HVA KONSTRUKSJONEN TÅLER**

Hvordan den kan oppføre seg før den ikke lenger kan sies å fylle sin funksjon.

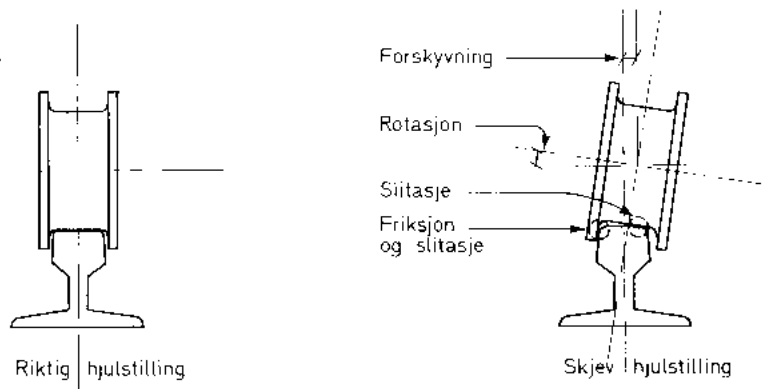
- a) Kranlasten blir så stor at kranen bryter sammen.



- b) Ved noe mindre last bøyer kranbroen seg så mye at løpekatten ikke kjører ordentlig på den, men søker mot midten på broen.



- c) Når kranbroen bøyer seg ned, forandrer kranen sporvidde. Kransene på kranhjulene ligger da mot skinnene og gjør at kranen går for tregt.



Figur 10.1 Grensetilstander.

a) Brudd.

b) Driftsteknisk uheldig deformasjon.

c) Slitasjemessig og driftsmessig uønsket deformasjon.

STØRRELSEN PÅ SIKKERHETSKOEFFISIENT n_F :

Denne må avgjøres i hvert enkelt tilfelle:

- Som absolutt laveste verdi må vi regne $n_F = 1,5$.
Det forutsetter at stålet er gjennom valset og gjennom smidd, og at det er glødd. Vi må også være sikre på at det ikke er gjort feilaktige forenklinger og antakelser ved beregningen.
- Vanlig brukte verdier $n_F = 2,0 - 2,5$
For øvrig vil sikkerhetsgraden avhenge av konstruksjonens art og belastningens art.

Konstruksjonens art:

Hvis det er fare for skade på personell ved eventult brudd i konstruksjonen, må vi øke sikkerhetskoeffisienten.

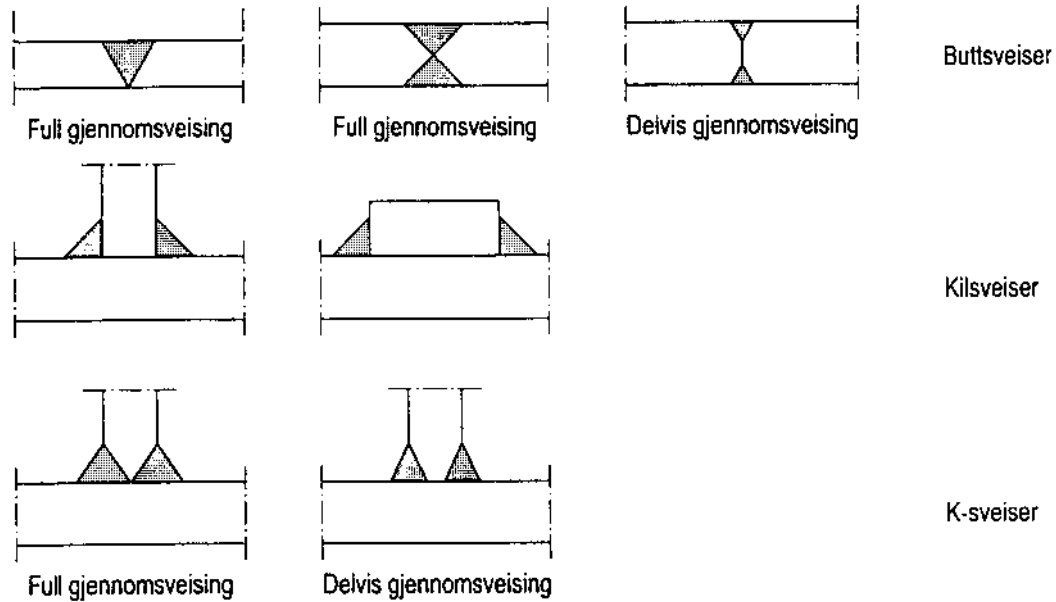
Belastningens art:

De laveste verdiene for sikkerhetskoeffisienten gjelder bare for rolig virkende belastning.

11 SVEISTE KONSTRUKSJONER GENERELT

Som lastbærende sveiser benyttes:

- Buttsveiser (med full eller delvis gjennomsvøising)
- Kilsveiser
- K-sveiser (med full eller delvis gjennomsvøising)



Figur 11.1
Buttsveiser, kilsveiser og K-sveiser.

12 BUTTSVEIS

12.1 Buttsveis generelt

GENERELT:

kapasiteten av en buttsveis med full gjennomsveising
=
kapasiteten av den svakeste av de platene som inngår i forbindelsen

Sveisens kapasitet påvises ved spenningene:

$$\sigma_{\text{opptr.}} = \sigma_j = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq \sigma_{\text{dim.}} = f_d = \frac{f_y}{\gamma_M}$$

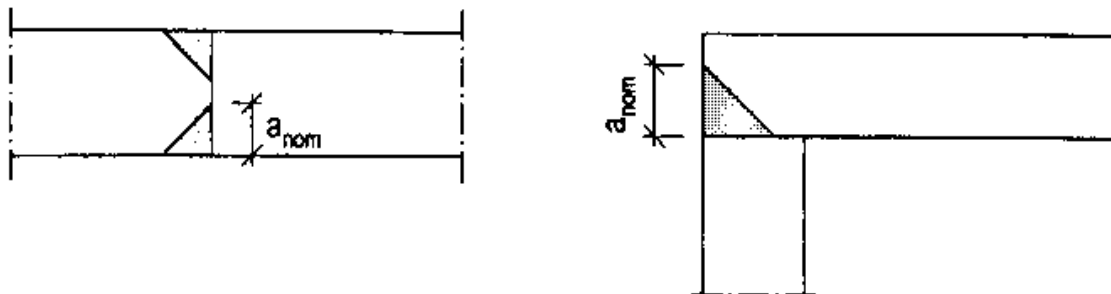
hvor : $f_y = \sigma_F$ = flytegrensen for forbindelsens svakeste del

γ_M = 1,1 som for tverrsnittskapasitet grunnmateriale

Det forutsettes at det benyttes en elektrode som gir et sveiseavsett som har en flytespenning og bruddfasthet som ikke underskrider grunnmaterialets verdier.

Buttsveiser med delvis innsveising dimensjoneres som kilsveiser.

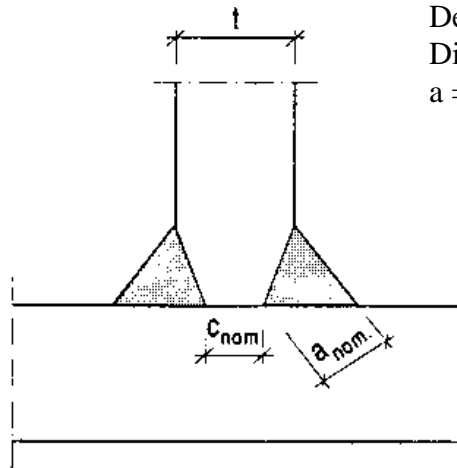
a-målet settes til: $a = a_{\text{nom.}} \cdot 2\text{mm}$



Figur 12.1
Buttsveiser med delvis gjennomsveising.

K-sveiser (T-buttsveiser) som består av delvis gjennomsviste buttsveiser forsterket med kilsveiser, kan dimensjoneres som buttsveis med full gjennomsvising.

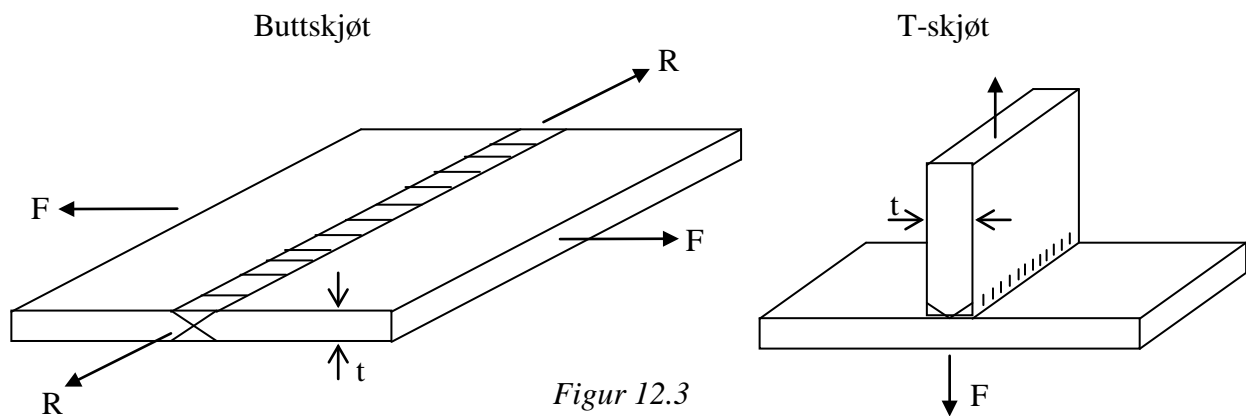
Dette forutsetter totalt : $a_{nom.} \geq t_{steg}$
 og
 det usveiste gap : $c_{nom.} \leq 0,2 \cdot t$
 $c_{nom.} = 3\text{mm}$ maksimum



Dersom disse forutsetningene ikke er tilstede;
 Dimensjonering som for kilsveis med
 $a = a_{nom.} - 2\text{mm}$.

Figur 12.2
 Fuger for K-sveiser (T-buttsveiser).

12.2 Buttskjøt og T-skjøt



Figur 12.3
 Buttskjøt og T-skjøt.

Normalspenning : $\sigma = \frac{F}{A_s} = \frac{F}{t \cdot l}$

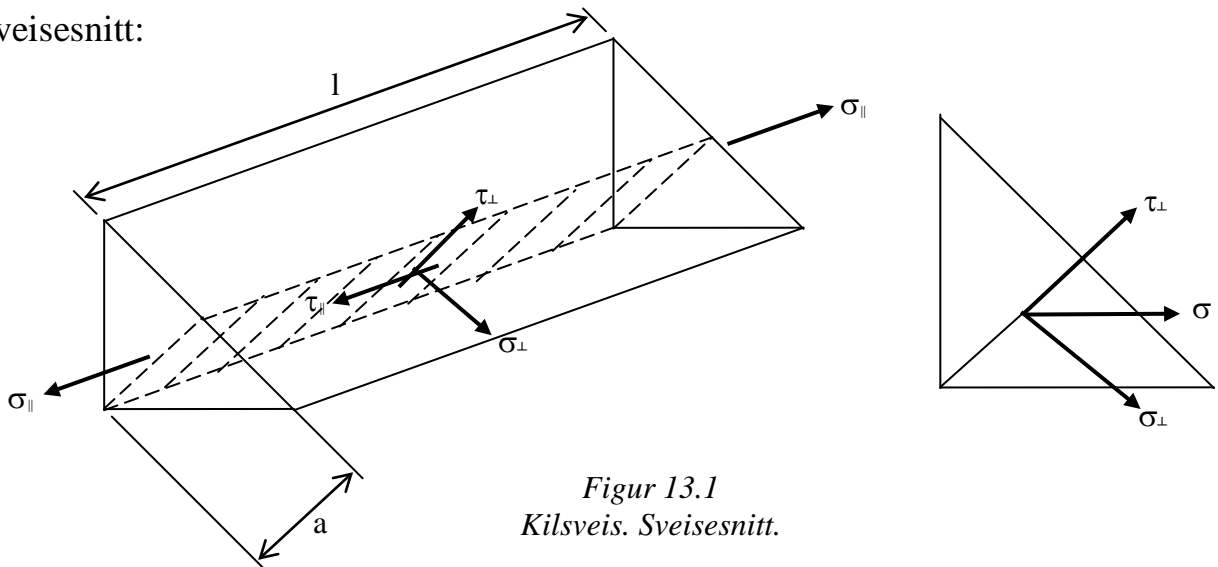
Skjærspenning : $\tau = \frac{R}{A_s} = \frac{R}{t \cdot l}$

hvor A_s = sveisetverrsnitt
 l = lengde
 t = tykkelse sveis / plate

13 KILSVEIS

13.1 Kilsveis generelt

Sveisesnitt:

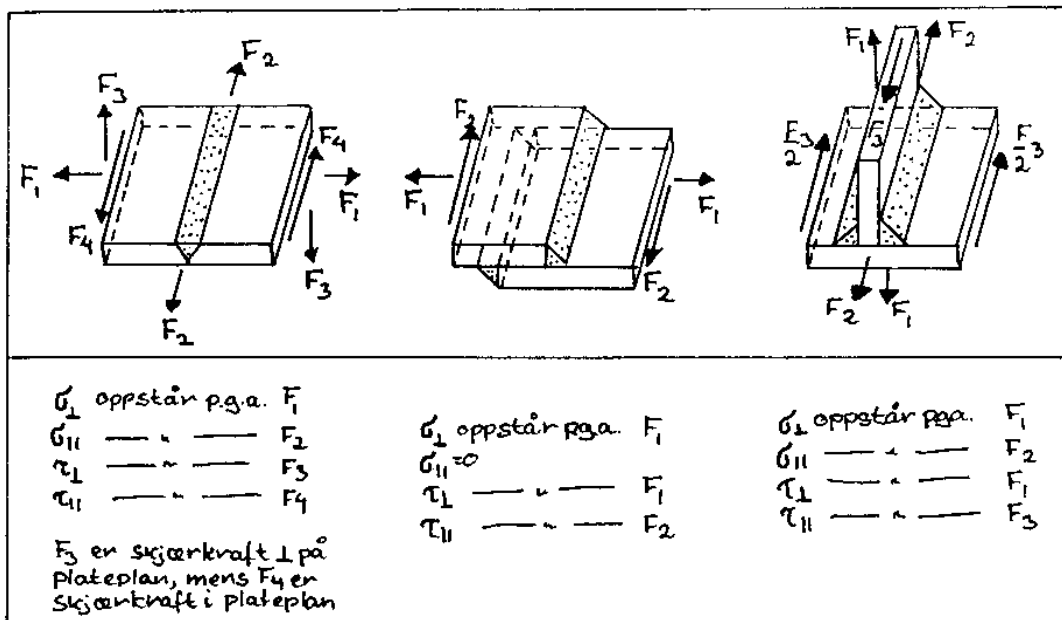


Figur 13.1
Kilsveis. Sveisesnitt.

Spenningskomponenter:

- | | | |
|------------------|------------------------|--|
| Normalspenninger | : σ_{\perp} | $\left\{ \begin{array}{l} \perp - \text{ normalt p\aa sveiseretningen} \\ \parallel - \text{ parallell med lengderetningen} \end{array} \right.$ |
| | : σ_{\parallel} | |
| Skjerspenninger | : τ_{\perp} | |
| | : τ_{\parallel} | |

Spenningsene antas jevnt fordelt over sveisens rotm\aa, a-m\aa.



Figur 13.2
Laster og resulterende spenningskomponenter.

Jevnf\aaende spenning (generelt) etter deviasjonshypotesen:

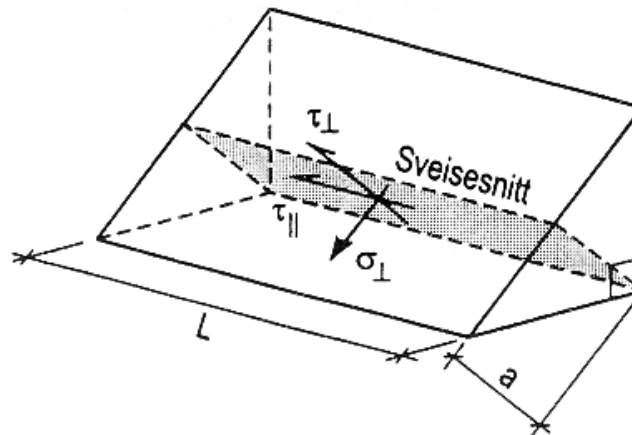
$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp} \cdot \sigma_{\parallel} + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \quad \left(\sigma_j = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \right)$$

13.2 Kilsveis etter maksimal elastisk spenningstilstand (bruddgrensetilstanden).

Kapasitet:

Sveisens kapasitet pr. lengdeenhet kan beregnes etter metode a) eller b):

Metode a) Spenningskomponentene på basis av opptrædende krefter pr. sveisens lengdeenhet og følgende spenningskomponenter defineres etter figuren under:



Figur 13.3

Spenningskomponenter i kilsveisen. σ_{\parallel} er ubetydelig og settes lik 0.

Spenningene antas jevnt fordelt over sveisens rotmål, a-mål.

Sveisens kapasitet påvises ved spenningene:

$$\textcircled{1} \quad \sigma_{\text{opptr.}} = \sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \sigma_{\text{dim.}} = \frac{f_u}{\gamma_M \cdot \beta_W} \quad (\sigma_{\parallel} \text{ er ubetydelig og settes lik } 0)$$

og

$$\textcircled{2} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_M}$$

hvor : $f_u = \sigma_B$ = bruddfastheten for forbindelsens svakeste del

β_W = korrelasjonsfaktor avhengig av grunnmaterialets nominelle bruddfasthet etter tabellen under.

γ_M = materialfaktor = 1,25 for sveiste forbindelser.

Tar hensyn til evt. kapasitetsreduksjon forårsaket av korrosjon eller mekanisk nedbrytning.

| Ståltipe | Bruddfasthet f_u (σ_B) [N/mm ²] | Korrelassjonsfaktor β_W |
|----------|--|-------------------------------|
| S 235 | 360 | 0,8 |
| S 275 | 430 | 0,85 |
| S 355 | 510 | 0,9 |
| S 420 | 520 | 1,0 |
| S 460 | 550 | 1,0 |

Tabell 13.1

Bruddfasthet f_u og korrelasjonsfaktor β_W .

Metode b) Sveisens kapasitet pr. lengdeenhet, uavhengig av kraftens retning i forhold til sveisens orientering:

$$F_{w,d} = f_{w,d} \cdot a [\text{N/mm}]$$

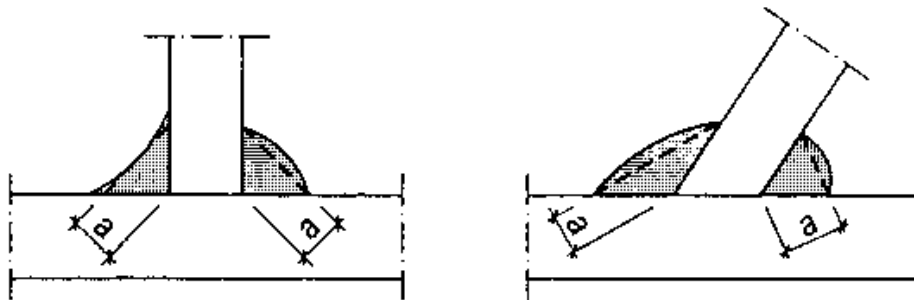
hvor a = sveisens a (rot) -mål

Sveisens dimensjonerende skjærspenning:

$$f_{w,d} = \tau_d = \frac{\sigma_d}{\sqrt{3}} = \frac{f_u}{\gamma_M \cdot \beta_w} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (\text{Se eksempel 4 side 33})$$

13.3 Sveisesømmens geometri

kilsveisens nominelle a -mål, a_{nom} , settes lik høyden av den største trekant som kan innskriveres i kilsveisens tverrsnitt.



Figur 13.4

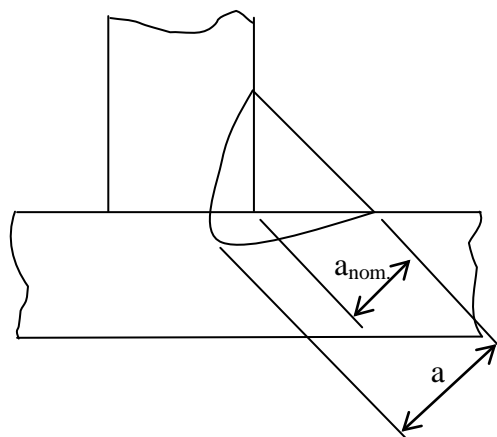
Definisjon av a -mål for kilsveiser.

generelt:

$$a_{\text{min.}} = 3\text{mm}$$

ved automatisk pulversveising: $a = 1.2 \cdot a_{\text{nom.}}$ for $a \leq 10\text{mm}$

$$a = a_{\text{nom.}} + 2\text{mm} \quad \text{for } a > 10\text{mm}$$



Figur 13.5

Automatisk pulversveising gir ekstra innsveising.

Sveisens lengde ved lastoverføring skal være $l \geq 40\text{mm}$
 eller $l \geq 6 \cdot a$

13.4 Utforming av kilsveis

Kilsveis skal:

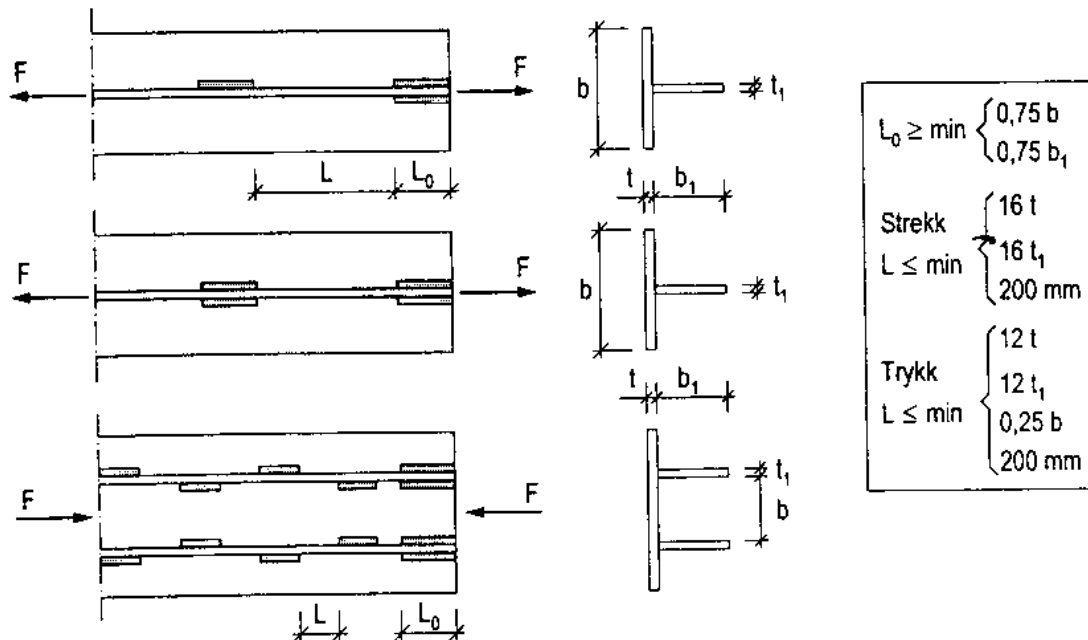
- normalt utføres med fugevinkel $60^{\circ} - 120^{\circ}$
- skal ikke avsluttes på hjørnet av de sammenføyde komponenter, men føres rundt hjørnet i en lengde av $2 \cdot a$

Avbrutte kilsveis:

- Gapet L_1 skal ikke overskride minste av følgende verdier:

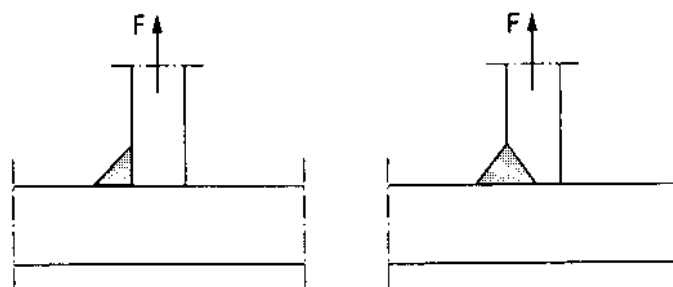
$$L_1 \leq \min. \begin{cases} - 200\text{mm} \\ - 12 \cdot t_{\text{tynnest}} \text{ ved TRYKK} \\ - 16 \cdot t_{\text{tynnest}} \text{ ved STREKK} \\ - 25\% \text{ av stiveravstanden for stivere som er forbundet til plate påkjent i trykk eller skjær} \end{cases}$$

- Skal avsluttes med 2-sidig sveis med lengde $L_0 \geq 0,75 \cdot t_{\text{smalest}}$
- Skal ikke brukes i konstruksjoner i korrosivt miljø eller utmattingspåkjennte konstruksjoner



Figur 13.6
Avbrutte kilsveiser.

En enkel kil- eller K-sveis skal ikke benyttes i en usymmetrisk forbindelse der det på grunn av lastens eksentrisitet oppstår et moment om sveisens rot.

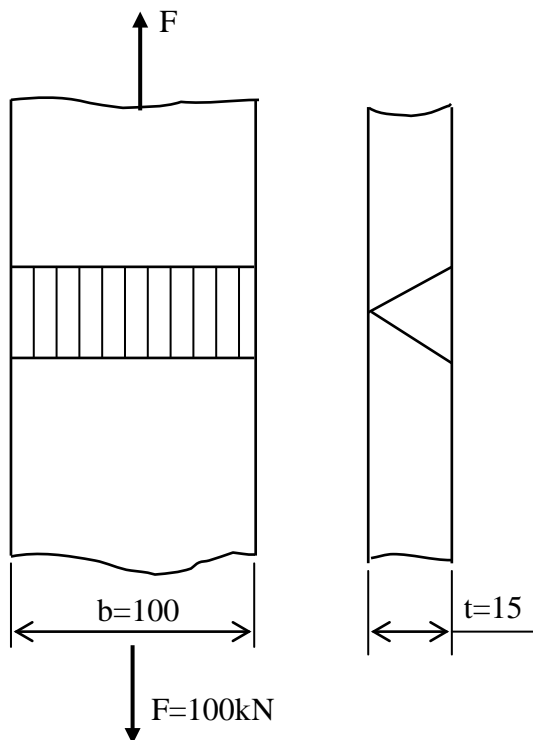


Figur 13.7
Ugunstige ensidige kil- og K-sveiser.

Slike sveiser kan for eksempel benyttes ved sveising rundt periferien av et hulprofil uten at eksentrisitet oppstår.

14 SVEISEFORBINDELSER UTSATT FOR STREKK / TRYKK

Eksempel 1 Buttsveis med full gjennomsvøising



Figur 14.1

Buttsveis med full gjennomsvøising.

Gitt:

- materiale S235 (St37)
- $\gamma_f = 1,5$
- $\gamma_M = 1,1$

KONTROLLER SVEISEN!

Løsning:

Opptredende normalspenning:

$$\sigma_{\text{opptr.}} = \frac{F \cdot \gamma_f}{t \cdot b} = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 1,5}{15 \cdot 100}$$

$$\sigma_{\text{opptr.}} = 100 \text{ N/mm}^2$$

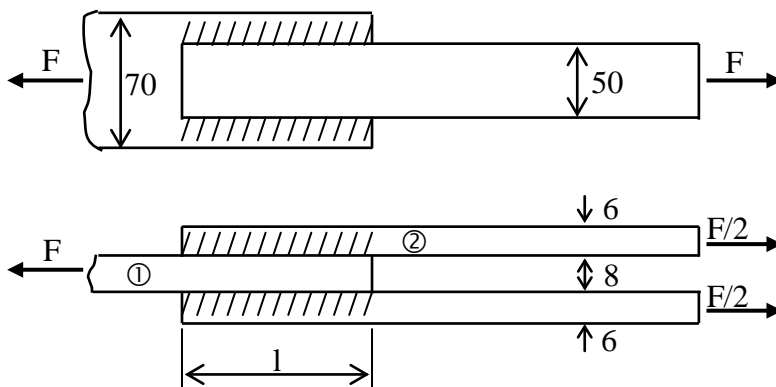
Dimensjonerende normalspenning:

$$\sigma_d = f_d = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{235}{1,1} = 213,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{opptr.}} \leq \sigma_d$$

$$100 < 213,6 \quad \text{OK!}$$

Eksempel 2 Kilsveis, langsgående



Figur 14.2

Langsgående kilsveis.

Gitt:

- manuell buesveising
- materiale S355
- $\gamma_{Msv} = 1,25$ $\gamma_{Mst} = 1,1$
- $\gamma_f = 1,5$
- sveisen er like sterke som stengene

BESTEM: Lengde l

Stenger:

$$\sigma = \frac{F \cdot \gamma_f}{A} \quad A = ? \quad A_1 = 70 \cdot 8 = 560 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{minst, dimensjonerende}$$

$$A_2 = 2 \cdot 50 \cdot 6 = 600 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{F \cdot \gamma_f}{A_1}$$

$$\text{setter } \sigma = \sigma_d = \frac{f_y}{\gamma_{M_{st}}}$$

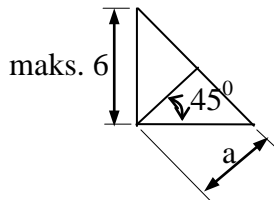
$$\frac{F \cdot \gamma_f}{A_1} = \frac{f_y}{\gamma_{M_{st}}}$$

$$\Rightarrow F = \frac{A_1 \cdot f_y}{\gamma_f \cdot \gamma_{M_{st}}} = \frac{560 \cdot 355}{1,5 \cdot 1,1} = 120480 \text{ N} \quad \text{①}$$

Sveis:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3\tau_{\parallel}^2}$$

$$\sigma_j = \sqrt{3} \frac{F \cdot \gamma_f}{4A_s} = \sqrt{3} \frac{F \cdot \gamma_f}{4al}$$



$$a_{\text{maks.}} = 6 \cdot \sin 45^\circ = 4,25 \text{ mm}$$

velger a = 4 mm

$$\sigma_j = \sigma_{\text{opptr.}} \leq \sigma_d = \frac{f_u}{\gamma_{M_{sv}} \cdot \beta_w}$$

$$\text{setter } \sigma_{\text{opptr.}} = \sigma_d$$

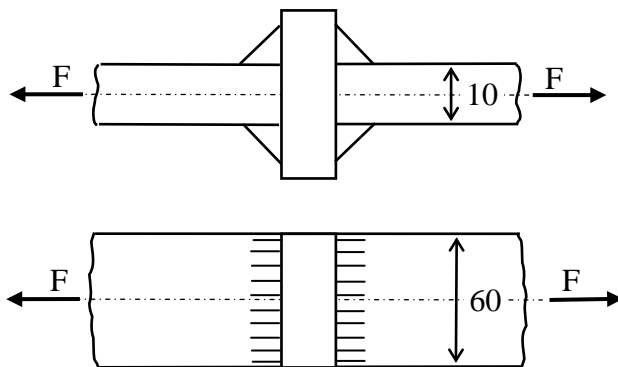
$$\sqrt{3} \frac{F \cdot \gamma_f}{4al} = \frac{f_u}{\gamma_{M_{sv}} \cdot \beta_w}$$

$$\Rightarrow F = \frac{4al \cdot f_u}{\sqrt{3} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_{M_{sv}} \cdot \beta_w} \quad \text{②}$$

$$\Rightarrow l = \frac{\sqrt{3} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_{M_{sv}} \cdot \beta_w \cdot F}{4a \cdot f_u} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,5 \cdot 1,25 \cdot 0,9 \cdot 120480}{4 \cdot 4 \cdot 510} = 43,2 \text{ mm}$$

Velger l = 50 mm

Eksempel 3 Kilsveis, tversgående



Figur 14.3
Tversgående kilsveis.

Gitt:

- sveisene er like sterke som stengene
- det sveises med manuell buesveising
- materiale er S235
- γ_M -stengene = 1,1
- γ_M -sveisene = 1,25

BESTEM:

- a) Sveisens a-mål
- b) Kraften F

Stenger:

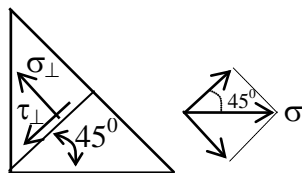
$$\sigma = \sigma_{\text{opptr.}} = \sigma_o = \frac{\gamma_f \cdot F}{A}$$

setter: Opptreddende spenning = dimensjonerende spenning, $\sigma_o = \sigma_d = f_d$

$$\frac{\gamma_f \cdot F}{A} = \frac{f_y}{\gamma_M}$$

$$\Rightarrow F = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_f \cdot \gamma_M} = \frac{60 \cdot 10 \cdot 235}{1,5 \cdot 1,1} = 85.455 \text{ N} \approx 85,4 \text{ kN}$$

Sveis:



$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp}$ når vinkel = 45^0 (vanligvis)

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sin 45^0 \cdot \sigma = \frac{1}{2} \sqrt{2} \cdot \sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{2}}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\gamma_f \cdot F}{2 \cdot A_s}$$

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2} = \sqrt{4\sigma_{\perp}^2} = 2\sigma_{\perp} = 2 \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\gamma_f \cdot F}{2 \cdot A_s}$$

$$\sigma_j = \frac{\gamma_f \cdot F}{\sqrt{2} \cdot A_s} = \sigma_{\text{opptr.}} = \sigma_o$$

Setter: Opptreddende spenning = dimensjonerende spenning, $\sigma_o = \sigma_d = f_d$

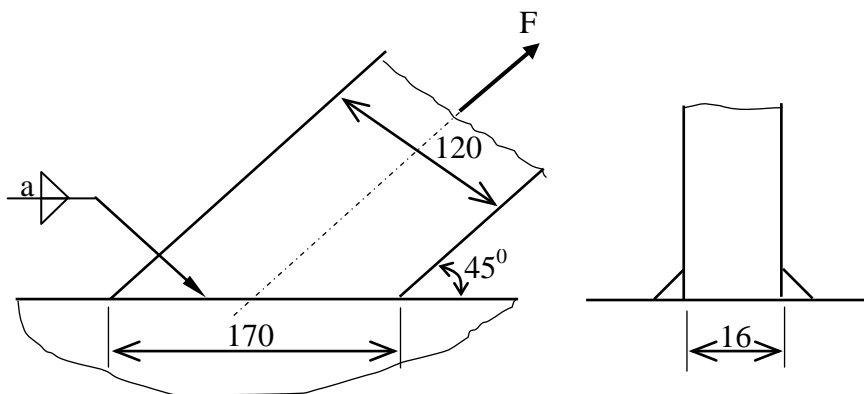
$$\frac{\gamma_f \cdot F}{\sqrt{2} \cdot A_s} = \frac{f_u}{\gamma_M \cdot \beta_w}$$

$$\Rightarrow \underline{A_s} = \frac{\gamma_M \cdot \beta_w \cdot \gamma_f \cdot F}{\sqrt{2} \cdot f_u} = \frac{1,25 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 85,4 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 360} = \underline{251,6 \text{ mm}^2}$$

$$\Rightarrow \underline{a} = \frac{A_s}{L} = \frac{251,6}{60} = \underline{4,2 \text{ mm}}$$

Velger $a = 5 \text{ mm}$

Eksempel 4 Kilsveis, belastet i en skrå retning



Figur 14.4

Kilsveis belastet i en skrå retning.

Gitt:

- manuell buesveising
- materiale S355
- $F = 150 \text{ kN}$
- $\gamma_M = 1,25$ $\gamma_f = 1,5$

BESTEM:

Sveisens a-mål

Sveisens kapasitet pr. lengdeenhet kan beregnes uavhengig av kraftens retning i forhold til sveisens orientering.

$$F_{W,d} = f_{W,d} \cdot a \quad [\text{N/mm}]$$

Sveisens dimensjonerende skjærspenning:

$$\underline{f_{W,d}} = \tau_d = \frac{f_u}{\gamma_M \cdot \beta_w} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{510}{1,25 \cdot 0,9} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = \underline{261,7 \text{ N/mm}^2}$$

$$F_{W,d} = \frac{\gamma_f \cdot F}{l_{sv}} = f_{W,d} \cdot a$$

$$\Rightarrow \underline{a} = \frac{\gamma_f \cdot F}{l_{sv} \cdot f_{W,d}} = \frac{1,5 \cdot 150 \cdot 10^3}{2 \cdot 170 \cdot 261,7} = \underline{2,5 \text{ mm}}$$

Velger $a = 3 \text{ mm}$

15 SVEISEFORBINDELSER UTSATT FOR BØYNING

Eksempel 5 Bjelke sveist fast i en vegg med kilsveis. (Se figur under.)

$$\text{Bøyenspenning: } \sigma_b = \frac{M_b}{I_{x_{\text{sveis}}}} \cdot y$$

hvor:

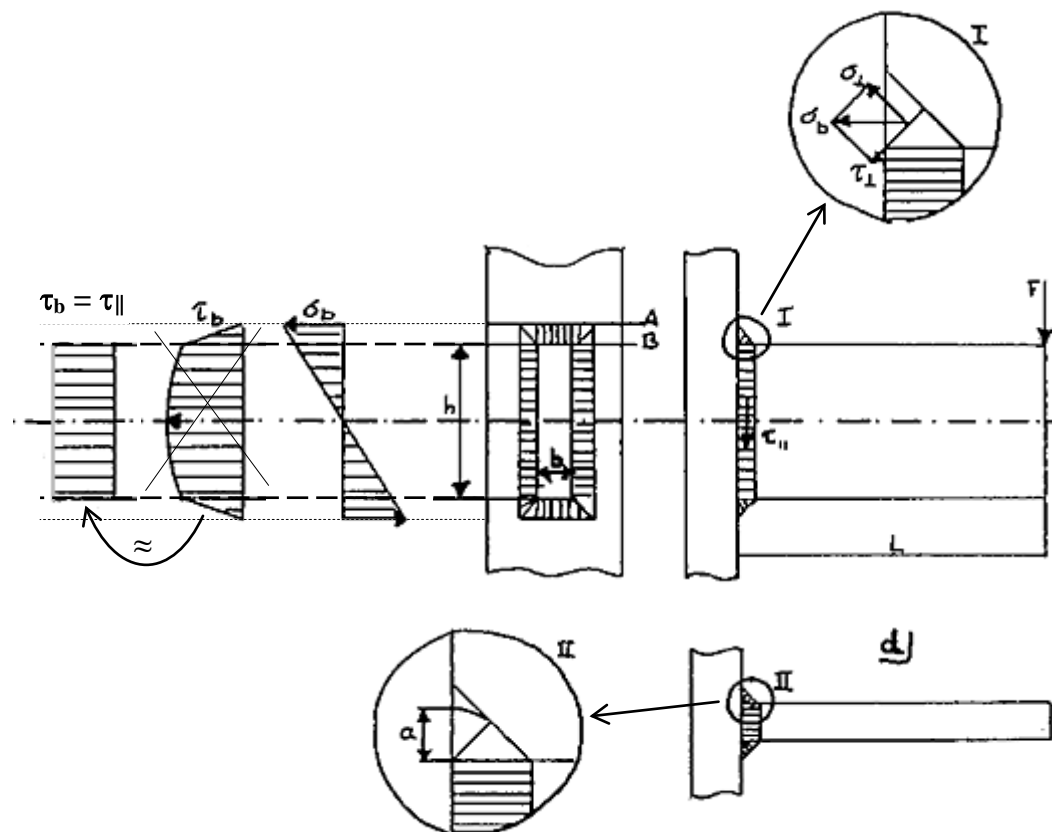
M_b = bøyemoment
 I_x = flate treghetsmoment
 y = avstand

$$\text{Skjærspenning p.g.a. bøyning: } \tau_b = \frac{T \cdot S}{I_{x_{\text{sveis}}} \cdot b_s}$$

hvor:

T = skjærkraft
 S = statisk moment av flaten utenfor beregningsplanet
 b = bredden av beregningsplanet

Fordelingen av spenningene σ_b og τ_b vises til venstre i figuren under.



Figur 15.1
 Bjelke sveist fast i vegg med kilsveis.

Figuren viser at skjærspenningen τ_b blir omtrent like stor over hele høyden h og at den er liten i overkant og underkant. Vi kan derfor forenkle beregningene ved å anta at hele skjærkraften tas opp av den vertikale sveisen og at den fordeler seg jevnt over h . Belastningen F ligger parallelt med skjærkraften T , så den tilsvarer:

$$\tau_{II} = \frac{F}{2 \cdot a \cdot h} \quad (\text{se figuren})$$

τ_b er vanligvis liten. Unntak er for veldig korte bjelker, da blir σ_b (M_b) liten og τ_b blir stor i forhold. Da bør vi beregne τ_b etter gitte ligning.

Gitt:

- $F = 6.250\text{N}$
- $b = 10\text{mm}$ $h = 100\text{mm}$ $L = 300\text{mm}$ $a = 4\text{mm}$
- materiale S235
- manuell buesveising

} Kontroller flattstål og sveis.

FLATTSTÅL:

$$\underline{M_b} = \gamma_f \cdot F \cdot L = 1,5 \cdot 6250 \cdot 300 = 2813 \cdot 10^3 \text{Nmm}$$

$$\underline{I_x} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{10 \cdot 100^3}{12} = 833 \cdot 10^3 \text{mm}^4$$

$$\underline{\sigma_{b_{\text{maks.}}}} = \frac{M_b}{I_x} \cdot \frac{h}{2} = \frac{2813 \cdot 10^3}{833 \cdot 10^3} \cdot \frac{100}{2} = 168,9 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{\gamma_f \cdot F}{b \cdot h} = \frac{1,5 \cdot 6250}{10 \cdot 100} = 9,4 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{b_{\text{maks.}}}^2 + 3\tau^2} = \sqrt{168,9^2 + 3 \cdot 9,4^2} = 169,7 \text{N/mm}^2$$

Opptredende spenning \leq dimensjonerende spenning

$$\sigma_{\text{opptr.}} = \sigma_j \leq \underline{f_d} = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{235}{1,1} = 213,6 \text{N/mm}^2$$

$$169,7 < 213,6 \quad \underline{\text{OK!}}$$

SVEIS:

Vi må kontrollere snitt A og B i figuren.

$$\underline{I_{x_{\text{sveis}}}} = \frac{1}{12} [(b + 2a)(h + 2a)^3 - b \cdot h^3]$$

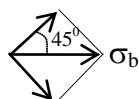
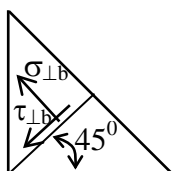
$$\underline{I_{x_{\text{sveis}}}} = \frac{1}{12} [(10 + 2 \cdot 4)(100 + 2 \cdot 4)^3 - 10 \cdot 100^3] = 1056 \cdot 10^3 \text{mm}^4$$

Snitt A:

$$\underline{\sigma_{b_A}} = \frac{M_b}{I_{x_{\text{sveis}}}} \cdot \left(\frac{h}{2} + a \right) = \frac{2813 \cdot 10^3}{1056 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{100}{2} + 4 \right) = 143,8 \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2}$$



$$\underline{\sigma_{\perp b}} = \tau_{\perp b} = \sigma_b \cdot \sin 45^\circ = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}}$$

$$\sigma_j = \sqrt{4 \cdot \tau_{\perp b}^2} = 2 \cdot \sigma_{\perp b} = \frac{2}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_b = \sqrt{2} \cdot \sigma_b$$

$$\underline{\sigma_{jA}} = \sqrt{2} \cdot 143,8 = \underline{203,6 \text{ N/mm}^2}$$

Snitt B:

$$\underline{\sigma_{bA}} = \frac{M_b}{I_{x_{sveis}}} \cdot \left(\frac{h}{2}\right) = \frac{2813 \cdot 10^3}{1056 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{100}{2}\right) = \underline{133,2 \text{ N/mm}^2}$$

$$\underline{\sigma_{\perp b}} = \tau_{\perp b} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{133,2}{\sqrt{2}} = \underline{94,2 \text{ N/mm}^2}$$

$$\underline{\tau_{II}} = \frac{\gamma_f \cdot F}{2 \cdot a \cdot h} = \frac{1,5 \cdot 6250}{2 \cdot 4 \cdot 100} = \underline{11,7 \text{ N/mm}^2}$$

$$\underline{\sigma_{jB}} = \sqrt{\sigma_{\perp b}^2 + \tau_{\perp b}^2 + 3\tau_{II}^2} = \sqrt{4 \cdot 94,2^2 + 3 \cdot 11,7^2} = \underline{189,4 \text{ N/mm}^2}$$

Kontroll:

$$\textcircled{1} \quad \sigma_{j_{\text{maks.}}} = \sigma_{jA} = \sigma_{\text{opptr.}} \leq \sigma_d = \frac{f_u}{\gamma_M \cdot \beta_w}$$

$$\underline{203,6} \leq \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = \underline{360} \quad \underline{\text{OK!}}$$

og

$$\textcircled{2} \quad \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{bA}}{\sqrt{2}} \leq \frac{f_u}{\gamma_M}$$

$$\frac{143,8}{\sqrt{2}} = \underline{101,7} \leq \frac{360}{1,25} = \underline{288} \quad \underline{\text{OK!}}$$

16 SVEISEFORBINDELSER UTSATT FOR VRIDNING

- Forbindelser med sirkulære tverrsnitt:

$$\text{Vrispenning: } \tau_v = \frac{M_v}{I_{p\text{sveis}}} \cdot r$$

hvor:

M_v = vrimoment

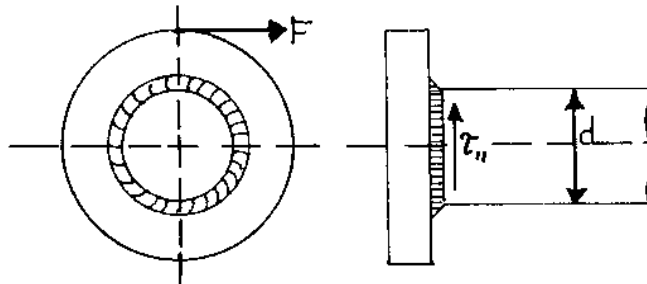
I_p = polart flate treghetsmoment

r = radius, avstand til beregningspunkt

$$I_{p\text{sveis}} = \frac{\pi}{32} [(d + 2a)^4 - d^4]$$

Forenkling:

$$I_{p\text{sveis}} \approx \frac{\pi d^3}{4} \cdot a \quad \text{gyldig når } d \gg a$$



Figur 16.1

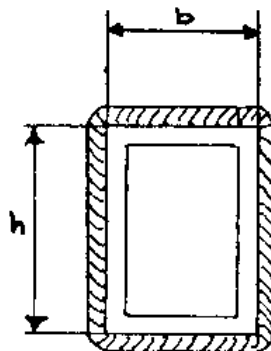
Ringformet kilsveis utsatt for vridning.

Ved innfesting av "kasseprofiler", anvendes:

$$\text{Bredts formel: } \tau_v = \frac{M_v}{2A_o \cdot a}$$

Hvor:

A_o = Areal innskrevet av sveisens rot uavhengig av kasseprofilens form.



Figur 16.2

Rektangulært tverrsnitt. $A_o = b \cdot h$ i Bredts formel.

Eksempel:

Rektangulært tverrsnitt

$$\tau_v = \frac{M_v}{2bh \cdot a} \quad \text{gyldig når } 0,5 \leq \frac{h}{b} \leq 2$$

17 REFERANSER

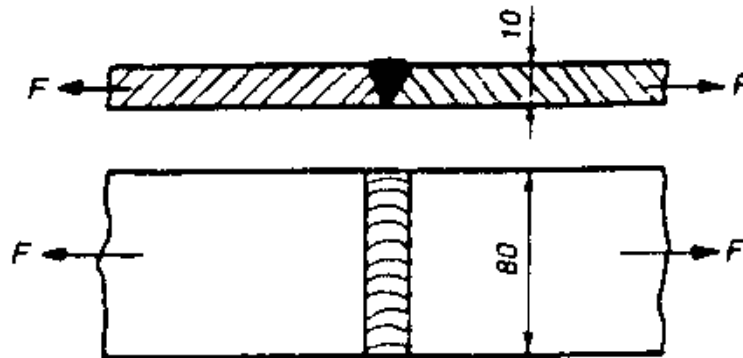
- 1 Dahlvig, Christensen, Strømsnes (1991). *Konstruksjonselementer*. Yrkesopplæring ans. ISBN 82-585-0700-1
- 2 Henning Johansen (1989). *Beregning av sveiste konstruksjoner*. Teknologisk Institutt. ISBN 82-567-0418-7
- 3 Henning Johansen (1989). *Konstruktiv utforming av sveiste konstruksjoner*. Teknologisk Institutt.
- 4 Sverre E. Kindem (1991). *Mekanikk 1. Statikk og fasthetslære*. Yrkesopplæring i.s. ISBN 82-585-0282-4
- 5 Espen J. Thrane (1978). *Aluminium-konstruksjoner*. Universitets-forlaget. ISBN 82-00-25968-4
- 6 Standard Norge (2001). *NS3472 Prosjektering av stålkonstruksjoner. Beregnings- og konstruksjonsregler*.
- 7 Standard Norge (1991). *NS3490 Prosjektering av konstruksjoner. Krav til pålitelighet*.

18 VEDLEGG

18.1 Øvingsoppgaver

OPPGAVE 1

To plater med mål som vist i figuren under, sveises sammen med V-fuge.



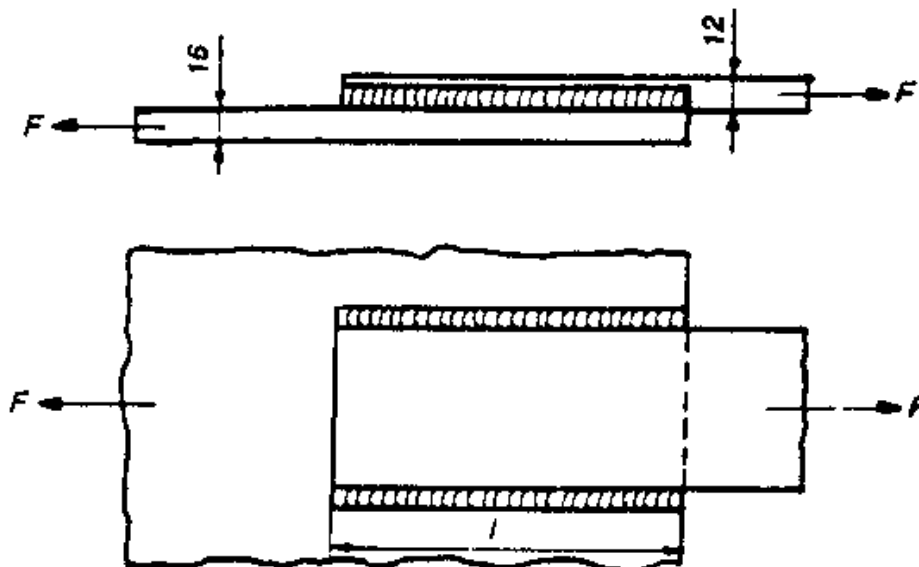
Figur O1
Plateskjøt med V-fuge. Mål i mm.

Strekraften $F = 60.000$ N, platematerialet er S235JR, materialkoeffisienten settes lik 1,1 og lastkoeffisienten lik 1,5.

- Bestem spenningen i sveisen.
- Hvor stor er utnyttelsesgraden av sveisen?

OPPGAVE 2

Figuren under viser en overlappskjøt utført med to kilsveiser.



Figur O2
Overlappskjøt med kilsveis. Mål i mm.

Strekraften $F = 100.000$ N og platematerialet er S275.

- Dimensjoner sveisene på figuren.
- Hvor stor må bredden på flattstålet være?

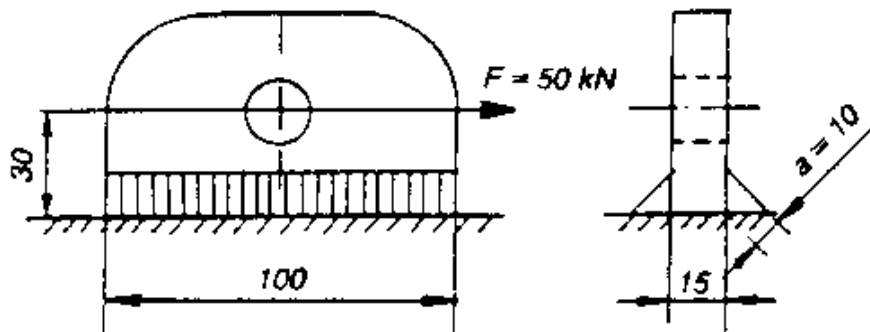
OPPGAVE 3

En rørformet torsjonsaksel med diameter $\varnothing 60/50\text{mm}$ er skjøtt med en buttsveis. Materialet i akselen er S355.

a) Hvor stort vrilmoment kan overføres?

OPPGAVE 4

Et løfteøre av 15mm plate, som vist i figuren under, er sveist fast på langsiden med kilsveis.

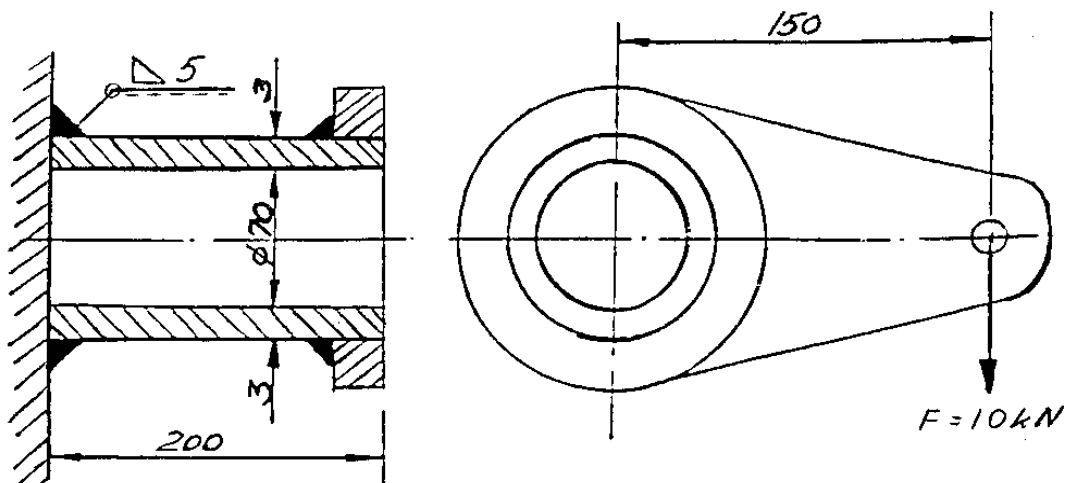


Figur 04
Løfteøre. Mål i mm.

a) Beregn jevnførende spenning i sveisen.

OPPGAVE 5

Figuren under viser et rørstykke som er 200mm langt og påsveist en arm på 150mm. Røret er festet til en vegg med kilsveis, a-mål lik 5mm, og belastes med en rolig virkende kraft $F = 10.000\text{N}$. Materiale er S355.



Figur 05
Rørstykke. Mål mm.

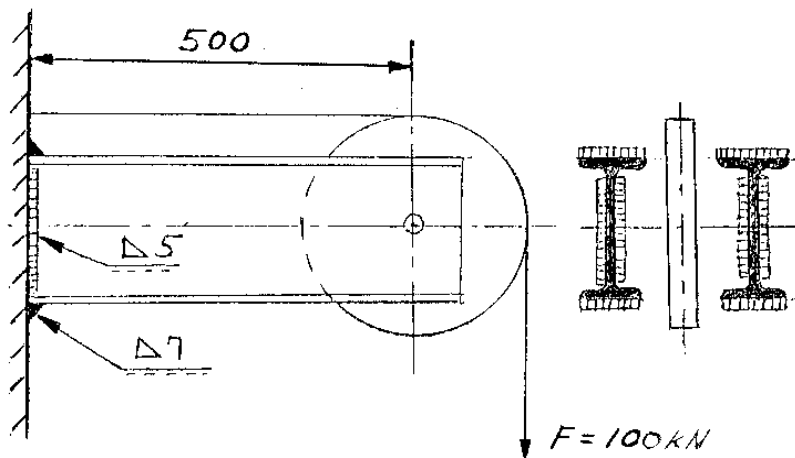
a) Kontroller sveisen.

OPPGAVE 7

Figuren under viser en snor som er belastet med en kraft $F = 100\text{kN}$.

Snora løper over en trinse og er festet i veggen. Trinsen er lagret på to stk. I-200 bjelker.

I-bjolkene er sveist til veggen som vist i figuren.



Figur
Trinse lagret på to I-bjelker. Mål i mm.

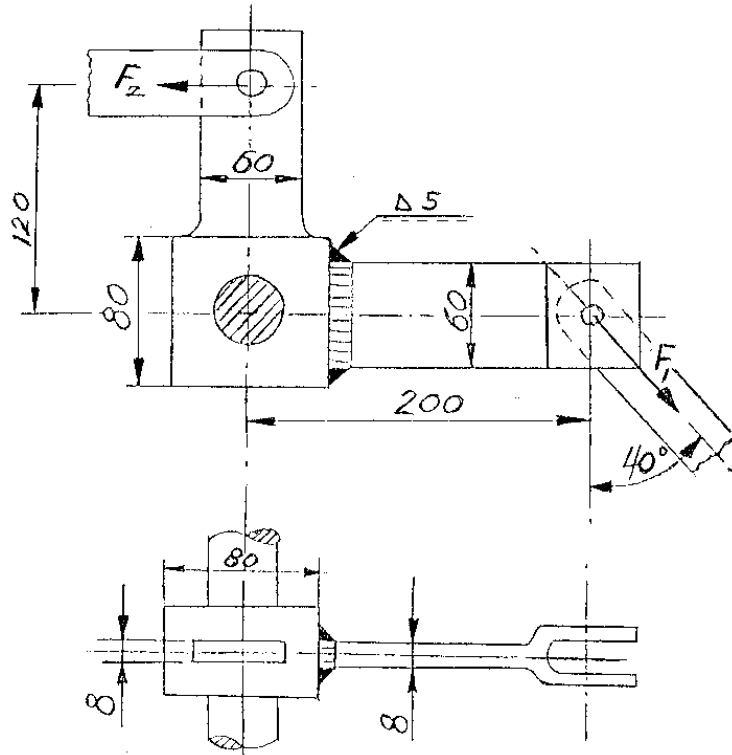
Materialet i bjolkene er S275.

a) Kontroller sveisen.

OPPGAVE 8

Figuren under viser en vinkelarm av materiale S355.

Vinkelarmen er festet til en aksel som utsettes for en påkjenning (stangkraft) $F_1 = 2,5\text{kN}$ (som gir stangkraften $F_2 = 3,2\text{kN}$). Sveisen er utført som en kilsveis med a-mål på 5mm.



Figur 08
Vinkelarm. Mål i mm.

a) Kontroller sveisen.

OPPGAVE 9

Figuren under viser en konsoll bestående av en HE 160B bjelke.

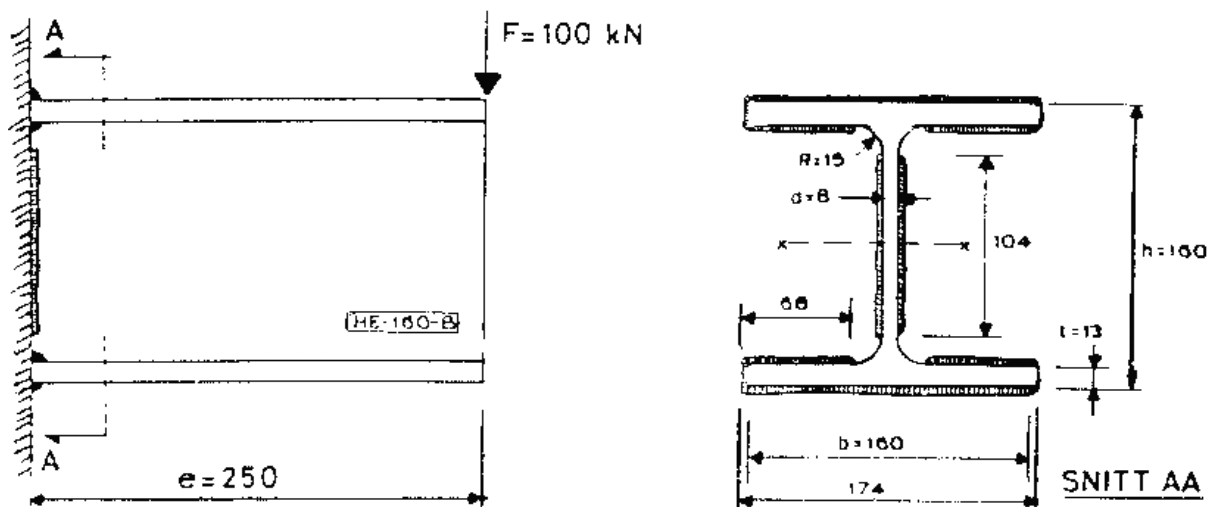
Bjelken er belastet med $F = 100\text{kN}$ (bruddgrensetilstanden, $F_d = 100\text{kN}$) i avstand $e = 250\text{mm}$ fra innfestingen.

Konsollen sveises med kilsveis (manuell sveising). (Vanligvis sveises det rundt hele profilet.)

Materialfasthet $f_y (\sigma_F) = 235\text{N/mm}^2$.

Rundt flensene velges kilsveis med $a = 7\text{mm}$.

Langs livplate velges kilsveis med $a = 5\text{mm}$.



Figur O9
Konsoll.

a) Kontrollerer kilsveisen.

OPPGAVE 10

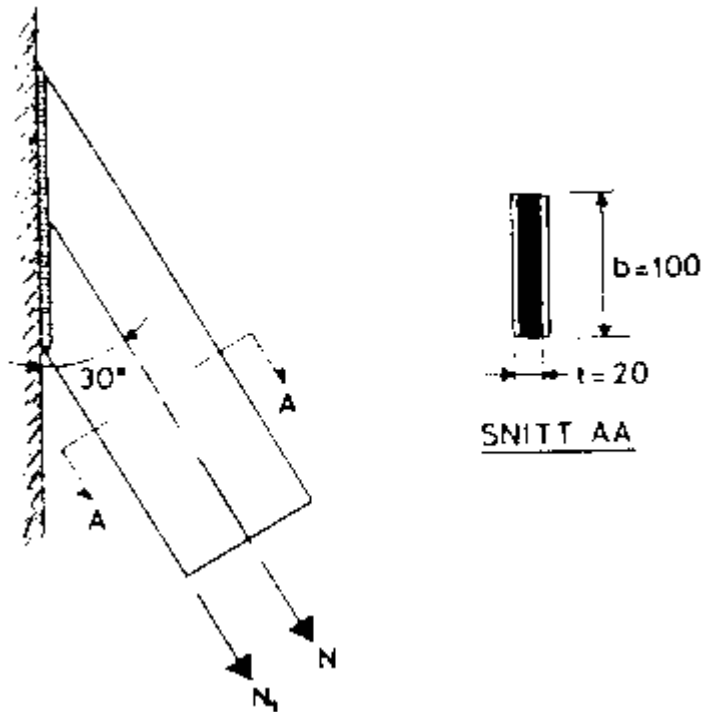
Figuren under viser et flattstål, 20 x 100mm, som er festet til en vegg med tosidig kilsveis.

Materialfasthet $f_y (\sigma_F) = 235\text{N/mm}^2$.

Sveisemetode benyttet er manuell buesveising.

Bruddgrenselasten (F_d) er:

- I) Kraften $N = 150\text{kN}$ (Se figur) og virker sentrisk i flattstålet.
 - Ia) Kontroller grunnmaterialet
 - Ib) Beregn kilsveisens a-mål (etter NS, kilsveisens kapasitet - metode b)
 - Ic) Kontroller sveisen (etter NS, kilsveisens kapasitet - metode a)
- II) Kraften $N_1 = 75\text{kN}$ (Se figur) og virker i underkant av flattstålet, og a-målet er 5mm.
 - IIa) Kontroller grunnmaterialet
 - IIb) Kontroller kilsveisen



Figur O10

Flattstål sveist til en stiv vegg. Mål i mm.

18.2 Fasit til øvingsoppgaver

OPPGAVE 1

- a) Bestem spenningen i sveisen.

Spenningen i sveisen = opptredende spenning: $\sigma_o = 112,5 \text{ N/mm}^2$

- b) Hvor stor er utnyttelsesgraden av sveisen?

Utnyttelsesgraden av sveisen: $\alpha = 53\%$

OPPGAVE 2

- a) Dimensjoner sveisene på figuren.

velger $a = 8 \text{ mm}$

Velger $l = 45 \text{ mm}$

- b) Hvor stor må bredden på flattstålet være?

Velger $b = 50 \text{ mm}$

OPPGAVE 3

- a) Hvor stort vrilmoment kan overføres?

Vrilmomentet: $M_v = 2.733 \text{ Nm}$

OPPGAVE 4

- a) Beregn jevnførende spenning i sveisen.

Opptredende spenning = jevnførende spenning: $\sigma_o = \sigma_j = 115,1 \text{ N/mm}^2$

OPPGAVE 5

- a) Kontroller sveisen.

Opptredende spenning = jevnførende spenning: $\sigma_j = 191,7 \text{ N/mm}^2$

Kontroll: \Rightarrow OK!

OPPGAVE 6

- a) Gjør passende antagelser om lastoverføring, og beregn jevnførende spenning i sveisen i punktene A, B og C.

pkt. A) $\sigma_{jA} = 178,0 \text{ N/mm}^2$

pkt. B) $\sigma_{jB} = 133,4 \text{ N/mm}^2$

pkt. C) $\sigma_{jC} = 244,9 \text{ N/mm}^2$

OPPGAVE 7

- a) Kontroller sveisen.

Jevnførende spenning: $\sigma_{jA} = 350,4 \text{ N/mm}^2$ og $\sigma_{jB} = 302,3 \text{ N/mm}^2$

Kontroll: \Rightarrow OK!

OPPGAVE 8

- a) Kontroller sveisen.

Jevnførende spenning: $\sigma_{jA} = 65,6 \text{ N/mm}^2$ og $\sigma_{jB} = 57,2 \text{ N/mm}^2$

Kontroll: \Rightarrow OK!

OPPGAVE 9

a) Kontroller kilsveisen.

Jevnførende spenning: $\underline{\sigma_{jA} = 180,2\text{N/mm}^2}$ og $\underline{\sigma_{jB} = 272,1\text{N/mm}^2}$ Kontroll: \Rightarrow OK!

OPPGAVE 10

I) $N=150\text{kN}$:

Ia) Kontroller grunnmaterialet.

Normalspenning: $\underline{\sigma_{\text{oppr.}} = 112,5\text{N/mm}^2}$ Kontroll: \Rightarrow OK!

Ib) Beregn kilsveisens a-mål etter metode b) NS.

 $a = 3\text{mm}$

Ic) Kontroller kilsveisens a-mål etter metode a) NS.

 $\underline{\sigma_j = 311,0\text{N/mm}^2}$ Kontroll: \Rightarrow OK!II) $N_1=75\text{kN}$:

IIa) Kontroller grunnmaterialet.

 $\underline{\sigma_{\text{maks.}} = 225,2\text{N/mm}^2}$ Kontroll: \Rightarrow IKKE OK!IIb) Kontroller sveisen, $a=5\text{mm}$.Jevnførende spenning: $\underline{\sigma_j = 180,4\text{N/mm}^2}$ Kontroll: \Rightarrow OK!