

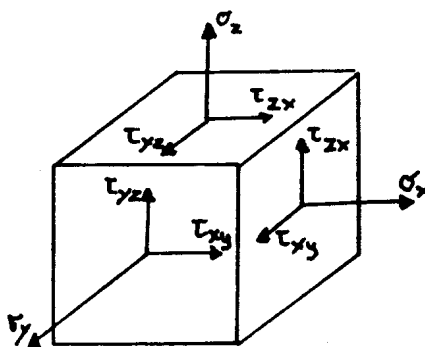
1.8 Statiske beregningsmetoder for sveiste konstruksjoner

Statiske beregninger av aluminium konstruksjoner beregnes i bruddgrensetilstanden etter bl.a. Norsk Standard.

8.1 Spenningsteori

Flere beregningsstandarder baserer seg på deviasjonshypotesen. I sin fullstendige form gir den en omfangsrik formel:

$$\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_x\sigma_z + 3\tau_{xy}^2 + 3\tau_{xz}^2 + 3\tau_{yz}^2 = \sigma_j^2 \quad (1.8.1)$$



Figur 1.8.1
Terningformet utsnitt av materialet. (16)

Ligning (1.8.1) angir en 3-dimensjonal spenningstilstand med 3 normalspenninger σ_x , σ_y og σ_z , og 3 skjærspenninger τ_{xy} , τ_{xz} og τ_{yz} .

σ_j = jevnførende spenning
= en *tenkt normalspenning* som tilsvareer effekten av normalspenningene og skjærspenningene. Denne spenningen måles mot materialets tillatte spenning.

I sveisesnittet forutsetter vi at det opptrer 4 forskjellige spenningskomponenter. Med 4 spenningskomponenter reduseres ligning (7.1.8.1) til:

$$\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2 + 3\tau_{yz}^2 = \sigma_j^2 \quad (1.8.2)$$

De 4 forskjellige spenningskomponentene som opptrer i sveisesnittet betegnes ofte σ_{\perp} , σ_{\parallel} , τ_{\perp} og τ_{\parallel} , hvor:

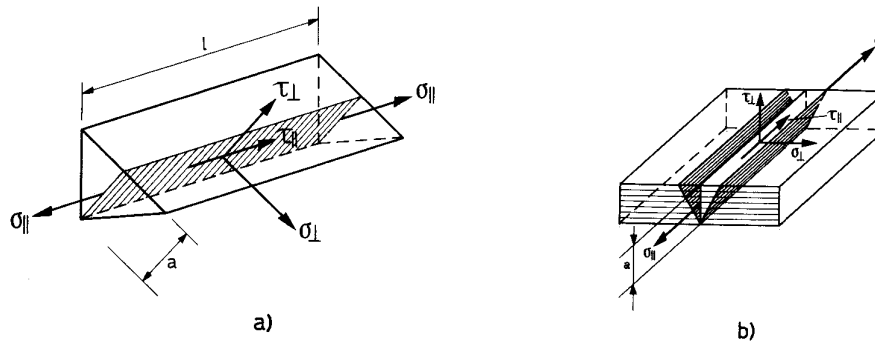
σ_{\perp} = normalspenning rett vinkel på sveisesnittet og sveisens lengderetning

σ_{\parallel} = normalspenning parallell med sveisesnittet og med sveisens lengderetning

τ_{\perp} = skjærspenning rett vinkel på sveisens lengderetning og parallell med sveisesnittet

τ_{\parallel} = skjærspenning parallell med lengderetning og med sveisesnittet

Disse komponentene er vist i Figur 1.8.2a) og b).



Figur 1.8.2
Spenningskomponenter i sveisesnittet. a) kilsveis, b) buttsveis. (1)

I Figur 1.8.2 er:

a = sveisens rotmål eller a-mål.

For kilsveis angis a-målet som høyden i den største trekant som kan innskrides i kilsveisens tverrsnitt.

l = sveisens lengde.

Spenningskomponentene regnes jevnt fordelt over sveisesnittet

$$A_s = a_e \cdot l_e$$

Hvor a_e = effektivt a-(rot-)mål på sveisen.

a_e angis i standardene avhengig av størrelse på a-målet og sveisemetode.

l_e = effektiv lengde = $l - 2a$

Med de nye betegnelsene for spenningskomponentene, kan vi skrive ligning (1.8.2) som:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp} \cdot \sigma_{\parallel} + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \alpha \cdot \sigma_d \leq \frac{\sigma_{0,2}}{\gamma_m} \quad (1.8.3)$$

(Etter Norsk Standard, NS 3471)

Hvor:

α = utnyttelsesfaktor. Kommer inn i forbindelse med kontroll.

Ved vanlig dimensjonering settes $\alpha = 1,0$.

σ_d = dimensjonerende spenning = $\sigma_{0,2}/n_F$

$\sigma_{0,2}$ = materialets flytegrense (0,2% flytegrense)

n_F = flytesikkerhet.

Sikkerhetsfaktor ("usikkerhetsfaktor") mot flyting som avgjøres i hvert enkelt tilfelle, en erfaringsverdi. Typiske verdier 1,0 - 2,5.

γ_m = materialkoeffisient.

Verdier fra 0,95 - 1,44 (etter NS3471).

Ved beregning av kilsveiser faller σ_{\parallel} bort, og ligning (1.8.3) forenkles til

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \alpha \cdot \sigma_d \leq \frac{\sigma_{0,2}}{\gamma_m} \quad (1.8.4)$$

8.2 Spenningskomponenter

Ved beregning av sveiste forbindelser, skal de enkelte spenningskomponentene beregnes for selve sveisesnittet og for grunnmaterialet like ved siden av sveisen. Det er da forutsatt at det ikke uten videre er klart på forhånd om sveisen eller grunnmaterialet vil få størst belastning.

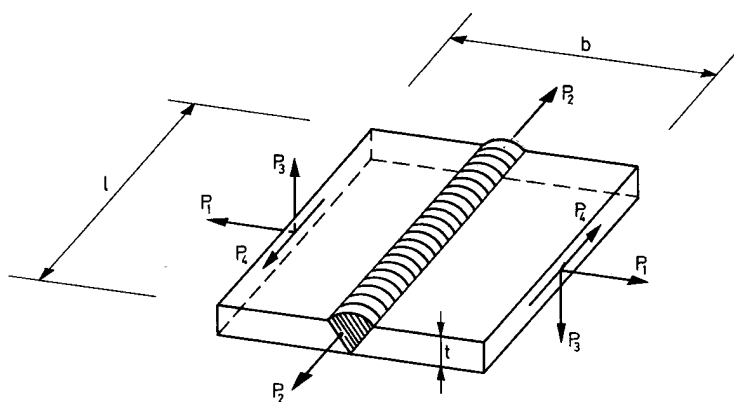
Ved buttsveiser og K-sveiser bør det vanligvis kontrolleres i et snitt i grunnmaterialet.

Ved kilsveiser vil selve sveisesnittet være avgjørende.

Beregninger av de enkelte spenningskomponentene vil nå bli vist ved hjelp av eksempler.

EKSEMPEL 1

Buttsveist plate belastet i 3 retninger med P_1 , P_2 og P_3 . Vi forutsetter at $l = l_e$



Figur 1.8.3
Buttsveist plate utsatt for kreftene P_1 , P_2 , P_3 og P_4 . (1)

Spenningskomponentene i ligning (1.8.3) blir:

$$\sigma_{\perp} = P_1 \cdot \gamma_f / (t \cdot l)$$

$$\sigma_{\parallel} = P_2 \cdot \gamma_f / (b \cdot t) \quad P_1 \text{ og } P_2 \text{ er normalkrefter}$$

$$\tau_{\perp} = P_3 \cdot \gamma_f / (t \cdot l)$$

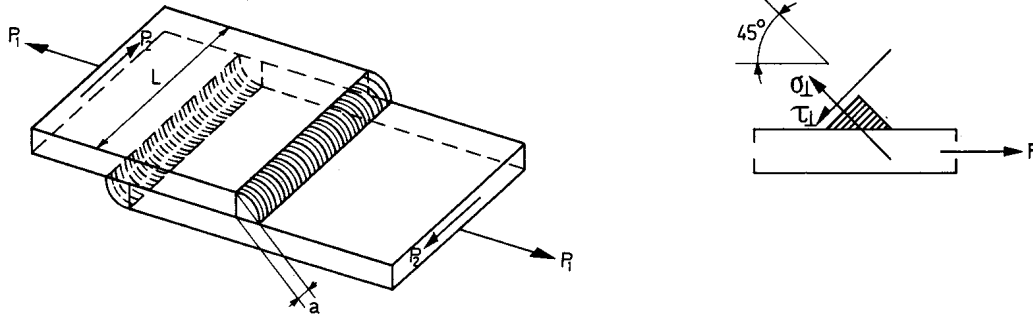
$$\tau_{\parallel} = P_4 \cdot \gamma_f / (t \cdot l) \quad P_3 \text{ og } P_4 \text{ er skjærkrefter}$$

Hvor γ_f = lastkoeffisient
Verdier 1,1 – 1,4 (etter NS3471).

Her blir a-målet = platetykkelsen t

EKSEMPEL 2

2 plater skjøtt med 2 kilsveiser og belastet i 2 retninger med P_1 og P_2 . Vi forutsetter at $l = l_e$ og $a = a_e$.



Figur 1.8.4 2

Plater skjøtt med 2 kilsveiser og utsatt for kreftene P_1 og P_2 . (1)

Spenningskomponentene i ligning (1.8.4) blir:

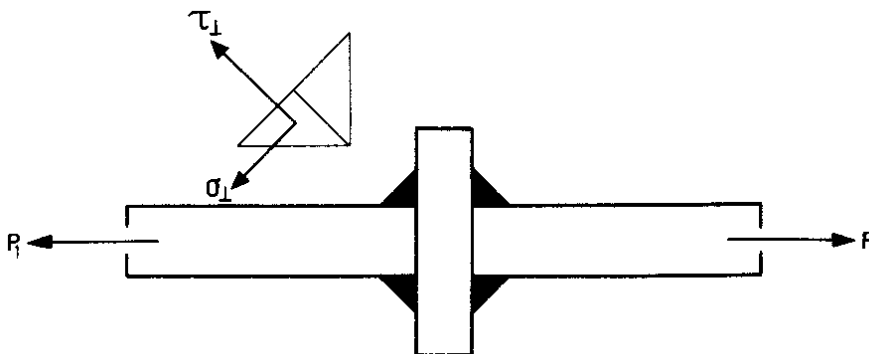
$$\sigma_{\perp} = \frac{P_1 \cdot \gamma_f}{a \cdot \sin 45^\circ \cdot l} = \frac{P_1 \cdot \gamma_f}{2\sqrt{2} \cdot a \cdot l}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{P_1 \cdot \gamma_f}{a \cdot \cos 45^\circ \cdot l} = \frac{P_1 \cdot \gamma_f}{2\sqrt{2} \cdot a \cdot l} = \sigma_{\perp}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{P_2 \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot l} \quad P_2 \text{ er skjærkraft}$$

EKSEMPEL 3

T-skjøtt med kilsveiser og belastet i 1 retning med P_1 . Vi forutsetter at $l = l_e$ og $a = a_e$.



Figur 1.8.5

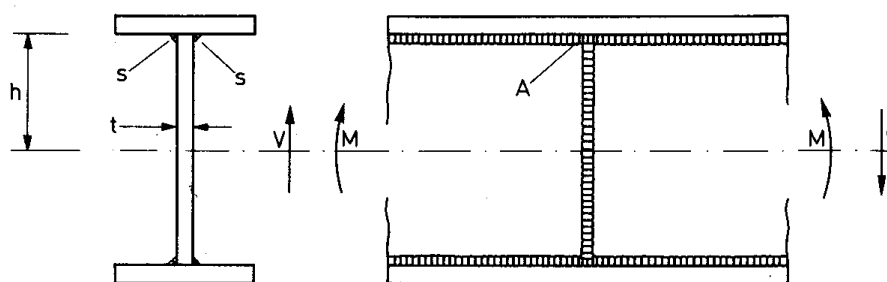
T-skjøtt med kilsveiser utsatt for kraften P_1 . (1)

Spenningskomponentene i ligning (1.7.4) blir:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{P_1 \cdot \gamma_f}{2\sqrt{2} \cdot a \cdot l}$$

EKSEMPEL 4

Bjelke med kilsveiser mellom livplate og flens utsatt for bøyemoment. Vi forutsetter at $a = a_e$.



Figur 1.8.6

Bjelke med kilsveiser mellom livplate og flens utsatt for bøyemoment. (1)

a) For kilsveiser mellom livplate og sveis:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0$$

$$\sigma_{\parallel} = \frac{M}{I_{sveis}} \cdot h$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V \cdot \gamma_f \cdot S}{I_{sveis} \cdot 2a}$$

Hvor:

M = bøyemoment

I_{sveis} = treghetsmoment til sveis (mm^4)

V = skjærkraft

S = statisk moment av tverrsnittflaten over snitt s-s i forhold til nøytralaksen

b) For Buttsveis i livplate:

Punkt A, se Figur 1.8.5, er dimensjonerende.

$$\sigma_{\perp} = \frac{M}{I_{sveis}} \cdot h$$

$$\tau_{\perp} = 0$$

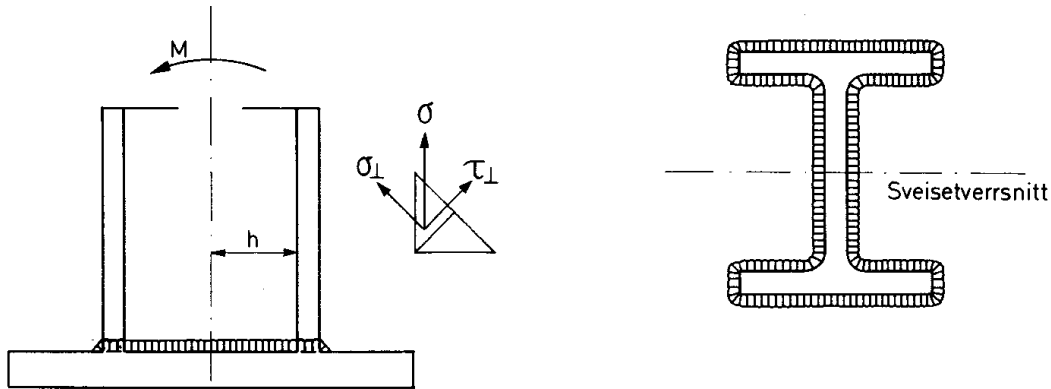
$$\sigma_{\parallel} = 0$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V \cdot \gamma_f \cdot S}{I_{sveis} \cdot t}$$

S har tilnærmet samme verdi som ved beregning av kilsveis.

EKSEMPEL 5

I-profil sveist på plate med kilsveis og utsatt for bøyemoment. Vi forutsetter at $a = a_e$.



Figur 8.7

I-profil sveist på blate med kilsveis og utsatt for bøyemoment. (1)

Spenningskomponentene i ligning (1.8.4) blir:

Punkt øverst i kilsveisen, i avstand $h+2a$ fra nøytralaksen, er dimensjonerende.

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{M \cdot (h + 2a)}{I_{sveis} \cdot 2\sqrt{2}}$$

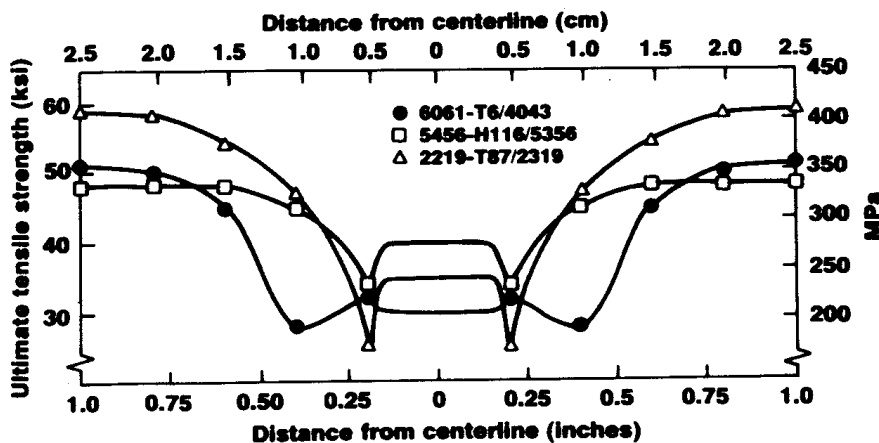
$$\tau_{\parallel} = 0$$

8.3 Beregning av sveiser med varmpåvirket svekket grunnmateriale

De fleste aluminiumlegeringer leveres i tilstand hardbearbeidet eller varmebehandlet (innherdet og utherdet). På denne måten har legeringene oppnådd en fasthetsøkning. Denne fasthetsøkningen kan gå tapt ved sveising i en sone omkring sveisen, varmpåvirket sone. Størrelsen på denne sonen hvor det har oppstått en fasthetsreduksjon vil variere noe med sveisemetode, grunnmaterialets legering og tilstand, materialtykkelse og antall sveiselarver.

TIG-metoden benyttet på tre forskjellige grunnmateriale / tilsettmateriale kombinasjoner:

grunnmateriale	tilsettmateriale
AA2219-T87 (AlCu6Mn)	AA2319
AA6061-T6 (AlMg1SiCu)	AA4043(AlSi5)
AA5456-H116 (AlMg5Mn1)	AA5356(AlMg5Cr)



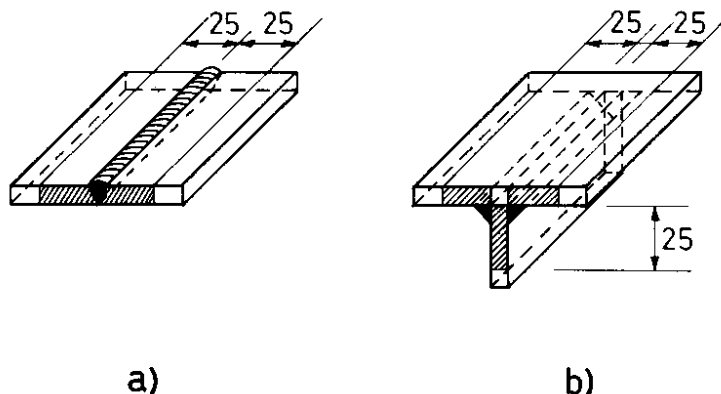
Figur 1.8.8

Fasthetsprofil over varmepåvirket sone i sveis. (6)

Platetykkelse er 3,2mm. Kurvene viser tilnæringsverdier fremkommet ved å ta hardhetsmålinger, HRE (Hardhet Rockwell E), og å regne disse verdiene om til materialfasthet ved bruk av den empiriske formelen utledet for aluminium legeringer.

$$UTS \text{ (Ultimate Tensile Strength)} = 10,66 - 19,42 \ln(1-(HRE/109))$$

I beregninger av sveiste konstruksjoner gjør vi en forenkling, vi antar en varmepåvirket sone på 25mm (1") ut fra enkeltveisens midtlinje. Dette gjelder for MIG- og TIG-sveising. For andre sveisemetoder skal bredden fastsettes ved forsøk eller dokumenteres på tilfredsstillende måte.



Figur 1.8.9

Størrelsen på den varmepåvirkede sone ved MIG- og TIG-sveising . (1)

a) Buttsveis, b) Kilsveis

I den varmepåvirkede sonen er materialfastheten redusert:

$$\sigma_{BV} = \beta \cdot \sigma_B \tag{1.8.5}$$

hvor σ_B = strekkfastheten (bruddfastheten) for ikke varmepåvirket materiale

β = reduksjonsfaktor

β er angitt for noen legeringer i tabell 1.8.1. Disse verdiene tilsvarer de angitte verdier i norsk standard (NS 3472). For andre legeringer og tilstander gjelder at hvis β ikke kan dokumenteres ved forsøk eller annen tilfredsstillende måte, skal fastheten for 0,2-tilstanden anvendes.

grunnmateriale (ISO)	tilstand (AA)	merknad	β
Al 99,7	H14		0,75
Al-Mn1	H14		0,7
	H18		0,5
Al-Mg1	H14		0,7
Al-Mg2	H14		0,8
Al-Mg2,5	H18, H24		0,7
	H26, H36		0,7
Al-Mg4,5Mn	H32		0,8
Al-Si1Mg	T6		0,7
Al-MgSi	T6		0,7
Al-Zn4,5Mg1	T6		0,7
		minst 30 døgn kaldutherdet	0,8
Al-Zn5Mg1Zr	T6	varmutherdet	0,9
Al-Zn5,5Mg1Zr	T6	30 døgn kaldutherdet	0,75
		Varmutherdet	0,83

ISO – International Standard Organisation

AA – Aluminium Association

Tabell 1.8.1
Reduksjonsfaktor β .

Dimensjonerende fasthet i den varmpåvirkede sonen blir:

$$\sigma_d = \frac{0,7 \cdot \sigma_{BV}}{\gamma_m} = \frac{0,7 \cdot \beta \cdot \sigma_B}{\gamma_m} \quad (1.8.6)$$

eller:

$$\sigma_d = \frac{\sigma_{0,2}(\text{ikke varmpåvirket grunnmateriale})}{\gamma_m} \quad (1.8.7)$$

Karakteristisk materialfasthet settes lik garantert = 0,2%-grense, men ikke høyere enn 80% av garantert strekkfasthet σ_B .

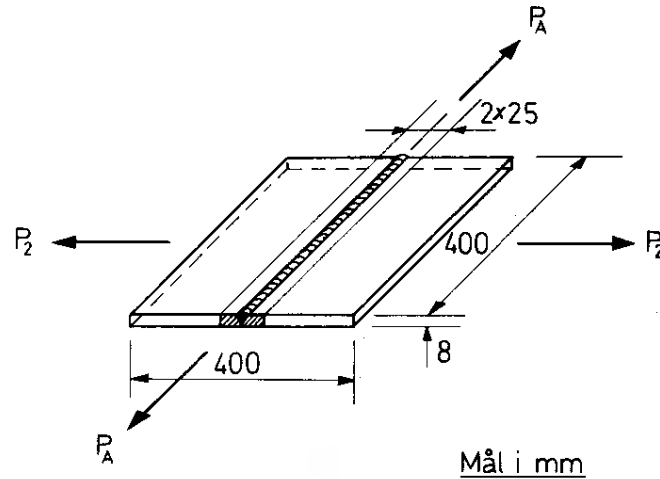
Den minste verdien av (1.8.6) og (1.8.7) er avgjørende.

Dimesjonerende skjærspenning for den varmpåvirkede sonen blir:

$$\tau_d = \frac{\sigma_d}{\sqrt{3}} \quad (1.8.8)$$

EKSEMPEL 6

En buttsveis i en 8mm plate, materiale Al-Mg2 levert i tilstand H14, er sveist med TIG-metoden. Platene er utsatt for krefter normalt på, P_2 , og sveisens lengderetning, P_A . Beregn fastheten i lengde- og tverretningen. Vi antar at $\gamma_m = 1,2$.



Figur 1.8.10

Buttsveis i en 8mm plate utsatt for krefter normalt på, og sveisens lengderetning. (1)

Al-Mg2 har som fasthetsverdier i tilstand H14:

$$\begin{aligned}\sigma_{0,2} &= 110 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_B &= 180 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Fra Tabell 1.8.1 blir $\beta = 0,8$

For upåvirket grunnmateriale blir:

$$\underline{\sigma}_d = \frac{\sigma_{0,2}}{\gamma_m} = \frac{110}{1,2} = 92 \text{ N/mm}^2$$

For varmeåvirket grunnmateriale blir:

$$\underline{\sigma}_d = \frac{0,7 \cdot 0,8 \cdot 180}{1,2} = 84 \text{ N/mm}^2$$

Normalt på sveisens lengderetning blir sveisesnittet avgjørende:

$$P_2 \leq 84 \cdot 400 \cdot 8 = 270000 \text{ N}$$

I sveisens lengderetning:

$$P_1 \leq 84 \cdot 400 \cdot 8 + 92 \cdot (400 - 2 \cdot 25) \cdot 8$$

$$P_1 \leq 33600 + 258000 = 291600 \text{ N}$$

Bæreevnen i lengderetningen settes lik summen av bæreevnen i varmepåvirket sone og bæreevnen for ikke-varmepåvirket sone.

Dette kan i uheldigste fall medføre flyting i den bløtteste sonen.