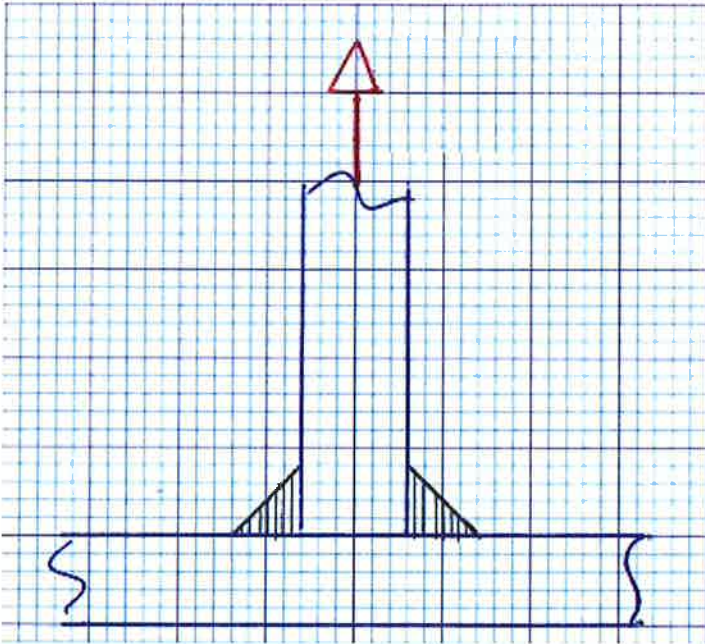


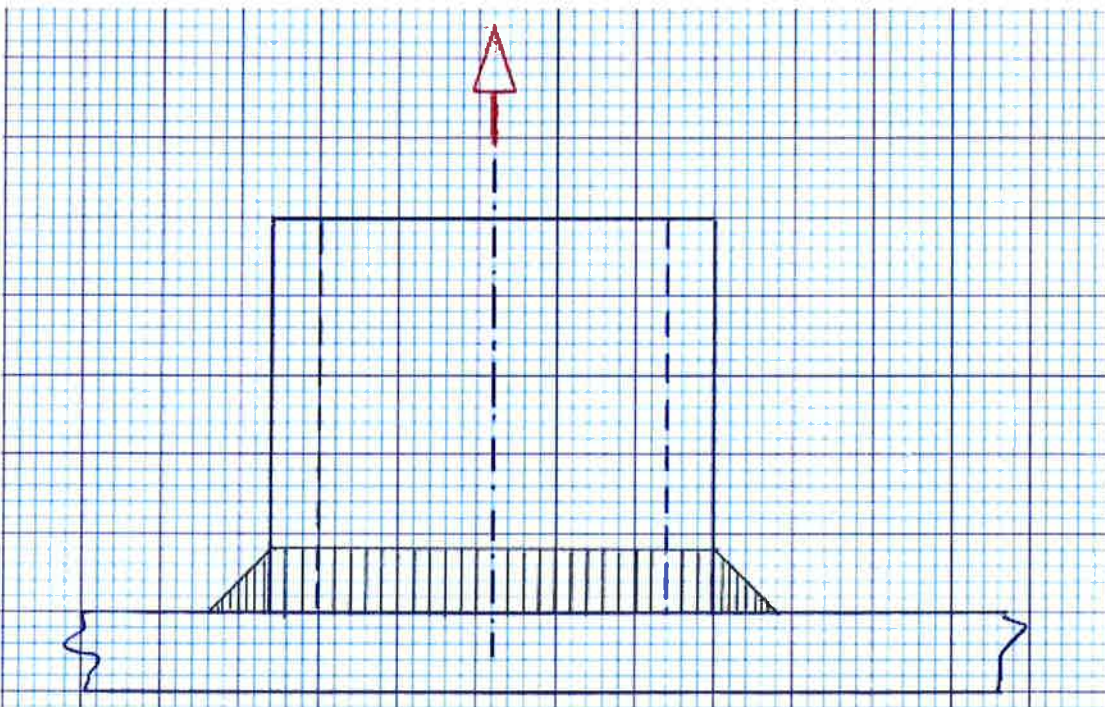
**Bepaling van de
equivalente keelhoogte
van één- en tweezijdig
gelaste verbindingen
voor toepassing onder EN1090**

1. Opstelling

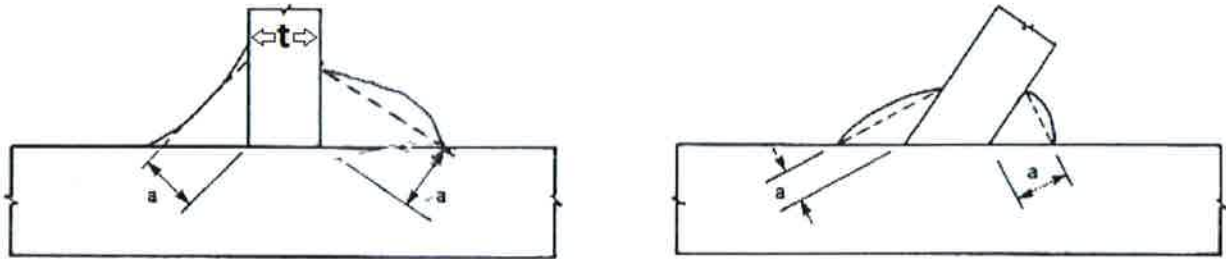
1.1. **Situatie 1: symmetrisch gelaste T-verbinding**



1.2. **Situatie 2: éézijdig rondom gelaste kokerverbinding**



1.3. Definitie: Keelhoogte



De keelhoogte is de hoogte van de grootste (gelijk- of ongelijkbenige) driehoek die kan ingeschreven worden tussen de hechtvlakken en het oppervlak van de las, gemeten loodrecht op de zijde van deze driehoek die correspondeert met de buitenkant van de las (EN 1993-1-8:2005 § 4.5.2).

2. Probleemstelling

Wat is, voor de gevallen zoals beschreven onder § 1.1 (symmetrisch gelaste T-verbinding) en 1.2 (éénzijdig rondom gelaste kokerverbinding), de minimale waarde voor de keelhoogte (a) zodanig dat bij een maximale waarde van de optredende kracht eerst de aftakking plastisch vervormt vooraleer de las zelf faalt?

Deze waarde (a) dient in functie van de gebruikte plaatdikte uitgedrukt te worden.

3. Gegevens

3.1. Basisformules Eurocode

| | | |
|---|----------------------------|-----|
| $\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1.0$ | NBN EN 1993-1-1:2005 (6.5) | (1) |
| $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$ | NBN EN 1993-1-8:2005 (4.1) | (2) |
| $\sigma_{\perp} \leq 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$ | NBN EN 1993-1-8:2005 (4.1) | (3) |

3.2. Warmgewalst constructiestaal volgens EN10025-2

| | f_y (MPa) | f_u (MPa) | β_w | $k^{(2)}$ |
|--|-------------|-------------|-----------|-----------|
| EN 10025-2: Hot rolled products of structural steels – 2. Technical delivery conditions for non-alloy structural steels | | | | |
| S235 ⁽¹⁾ | 235 | 360 | 0.80 | 0.46 |
| S275 ⁽¹⁾ | 275 | 430 | 0.85 | 0.48 |
| S355 ⁽¹⁾ | 355 | 510 | 0.90 | 0.55 |
| S450 ⁽¹⁾ | 440 | 550 | (1.00) | 0.71 |
| (1): thickness ≤ 40 mm (2): factor, bepaald volgens formule (17) van dit document BRON: NBN EN 1993-1-1:2005 Table 3.1 (f_y en f_u) BRON: NBN EN 1993-1-8:2005 Table 4.1 (β_w) | | | | |

3.3. Warmgewalst constructiestaal volgens EN10025-3

| | f_y (MPa) | f_u (MPa) | β_w | $k^{(2)}$ |
|--|-------------|-------------|-----------|-----------|
| EN 10025-3: Hot rolled products of structural steels – 3. Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steels | | | | |
| S275 N/NL ⁽¹⁾ | 275 | 390 | 0.85 | 0.53 |
| S355 N/NL ⁽¹⁾ | 355 | 490 | 0.90 | 0.58 |
| S420 N/NL ⁽¹⁾ | 420 | 520 | 1.00 | 0.71 |
| S460 N/NL ⁽¹⁾ | 460 | 540 | 1.00 | 0.75 |
| (1): thickness ≤ 40 mm (2): factor, bepaald volgens formule (17) van dit document BRON: NBN EN 1993-1-1:2005 Table 3.1 (f_y en f_u) BRON: NBN EN 1993-1-8:2005 Table 4.1 (β_w) | | | | |

3.4. Warmgewalst constructiestaal volgens EN10025-4

| | f_y (MPa) | f_u (MPa) | β_w | $k^{(2)}$ |
|--|-------------|-------------|-----------|-----------|
| EN 10025-4: Hot rolled products of structural steels – 4. Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels | | | | |
| S275 M/ML ⁽¹⁾ | 275 | 370 | 0.85 | 0.56 |
| S355 M/ML ⁽¹⁾ | 355 | 470 | 0.90 | 0.60 |
| S420 M/ML ⁽¹⁾ | 420 | 520 | 1.00 | 0.71 |
| S460 M/ML ⁽¹⁾ | 460 | 540 | 1.00 | 0.75 |
| (1): thickness ≤ 40 mm (2): factor, bepaald volgens formule (17) van dit document BRON: NBN EN 1993-1-1:2005 Table 3.1 (f_y en f_u) BRON: NBN EN 1993-1-8:2005 Table 4.1 (β_w) | | | | |

3.5. Warmgewalst constructiestaal volgens EN10025-6

| | f_y (MPa) | f_u (MPa) | β_w | $k^{(2)}$ |
|--|-------------|-------------|-----------|-----------|
| EN 10025-5: Hot rolled products of structural steels – 6. Technical delivery conditions for flat products of high yield strength structural steels in the quenched and tempered condition | | | | |
| S460 Q/QL/QL1 ⁽¹⁾ | 460 | 570 | 1.00 | 0.71 |
| (1): thickness ≤ 40 mm (2): factor, bepaald volgens formule (17) van dit document BRON: NBN EN 1993-1-1:2005 Table 3.1 (f_y en f_u) BRON: NBN EN 1993-1-8:2005 Table 4.1 (β_w) | | | | |

3.6. Buisprofielen volgens EN10210-1

| | f_y (MPa) | f_u (MPa) | β_w | $k^{(2)}$ |
|--|-------------|-------------|-----------|-----------|
| EN 10210-1: Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels – 1. Technical delivery conditions | | | | |
| S235 H⁽¹⁾ | 235 | 360 | 0.80 | 0.46 |
| S275 H⁽¹⁾ | 275 | 430 | 0.85 | 0.48 |
| S275 NH/NLH⁽¹⁾ | 275 | 390 | 0.85 | 0.53 |
| S355 H⁽¹⁾ | 355 | 510 | 0.90 | 0.55 |
| S355 NH/NLH⁽¹⁾ | 355 | 490 | 0.90 | 0.58 |
| S420 NH/NLH⁽¹⁾ | 420 | 540 | - | |
| S460 NH/NLH⁽¹⁾ | 460 | 560 | 1.00 | 0.66 |
| (1): thickness \leq 40 mm (2): factor, bepaald volgens formule (17) van dit document BRON: NBN EN 1993-1-1:2005 Table 3.1 (f_y en f_u) BRON: NBN EN 1993-1-8:2005 Table 4.1 (β_w) | | | | |

3.7. Buisprofielen volgens EN10219-1

| | f_y (MPa) | f_u (MPa) | β_w | $k^{(2)}$ |
|--|-------------|-------------|-----------|-----------|
| EN 10210-1: Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels – 1. Technical delivery conditions | | | | |
| S235 H⁽¹⁾ | 235 | 360 | 0.80 | 0.46 |
| S275 H⁽¹⁾ | 275 | 430 | 0.85 | 0.48 |
| S275 NH/NLH⁽¹⁾ | 275 | 370 | 0.85 | 0.56 |
| S275 MH/MLH⁽¹⁾ | 275 | 360 | 0.85 | 0.57 |
| S355 H⁽¹⁾ | 355 | 510 | 0.90 | 0.55 |
| S355 NH/NLH⁽¹⁾ | 355 | 470 | 0.90 | 0.60 |
| S355 MH/MLH⁽¹⁾ | 355 | 470 | 0.90 | 0.60 |
| S420 MH/MLH⁽¹⁾ | 420 | 500 | 1.00 | 0.74 |
| S460 NH/NLH⁽¹⁾ | 460 | 550 | 1.00 | 0.74 |
| S460 MH/MLH⁽¹⁾ | 460 | 530 | 1.00 | 0.77 |
| (1): thickness \leq 40 mm (2): factor, bepaald volgens formule (17) van dit document BRON: NBN EN 1993-1-1:2005 Table 3.1 (f_y en f_u) BRON: NBN EN 1993-1-8:2005 Table 4.1 (β_w) | | | | |

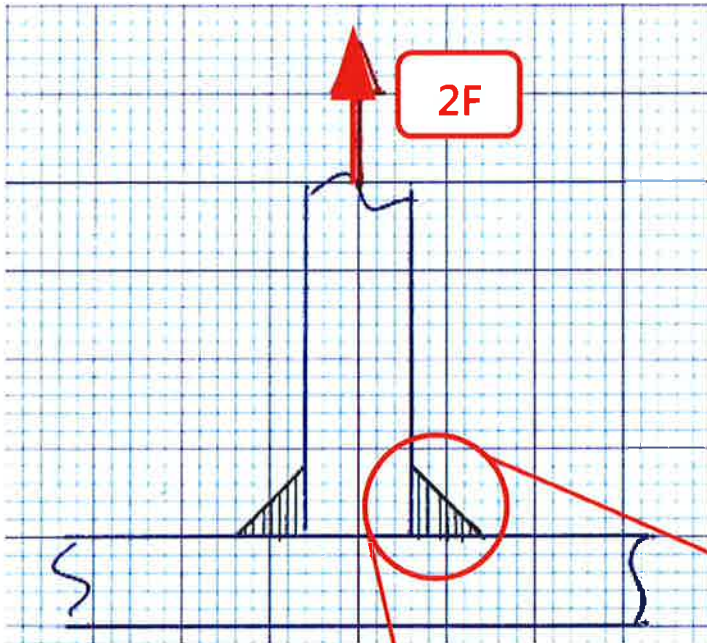
3.8. Roestvast staal volgens EN10088

| Type RVS | Soort | Productvorm | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|
| | | Koudgewalste strip | | Warmgewalste strip | | Warmgewalste plaat | | Massieve staven, stangen en profielen | |
| | | Nominale dikte t | | | | | | | |
| | | $t \leq 6$ mm | | $t \leq 12$ mm | | $t \leq 75$ mm | | $t \leq 250$ mm | |
| | | f_y | f_u | f_y | f_u | f_y | f_u | f_y | f_u |
| | | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa |
| Ferritisch RVS | 1.4003 | 280 | 450 | 280 | 450 | 250 ⁽³⁾ | 450 ⁽³⁾ | 260 ⁽⁴⁾ | 450 ⁽⁴⁾ |
| | 1.4016 | 260 | 450 | 240 | 450 | 240 ⁽³⁾ | 430 ⁽³⁾ | 240 ⁽⁴⁾ | 400 ⁽⁴⁾ |
| | 1.4512 | 210 | 380 | 210 | 380 | - | - | - | - |
| Austenitisch RVS | 1.4306 | | | | | | | 180 | 460 |
| | 1.4307 | 220 | 520 | 200 | 520 | 200 | 500 | 175 | 450 |
| | 1.4541 | | | | | | | 190 | |
| | 1.4301 | 230 | 540 | 210 | | 210 | | | 500 |
| | 1.4401 | | | | | | | 200 | |
| | 1.4404 | | 530 | | 530 | | | | |
| | 1.4539 | 240 | | 220 | | 220 | 520 | 230 | 530 |
| | 1.4571 | | 540 | | 540 | | | | |
| | 1.4432 | | | | | | | 200 | 500 |
| | 1.4435 | | 550 | | 550 | | | | |
| | 1.4311 | 290 | | 270 | | 270 | 550 | 270 | 550 |
| | 1.4406 | 300 | | 280 | 580 | 280 | 580 | | |
| | 1.4439 | 290 | 580 | 270 | 580 | 270 | 580 | 280 | 580 |
| | 1.4529 | 300 | | 300 | | 300 | 650 | | |
| 1.4547 | 320 | 650 | 300 | 650 | 300 | 650 | 300 | 650 | |
| 1.4318 | 350 | | 330 | | 330 | 630 | - | - | |
| Austenitisch-ferritisch RVS | 1.4362 | 420 | 600 | 400 | 600 | 400 | 630 | 400 ⁽²⁾ | 600 ⁽²⁾ |
| | 1.4462 | 480 | 660 | 460 | 660 | 460 | 640 | 450 | 650 |

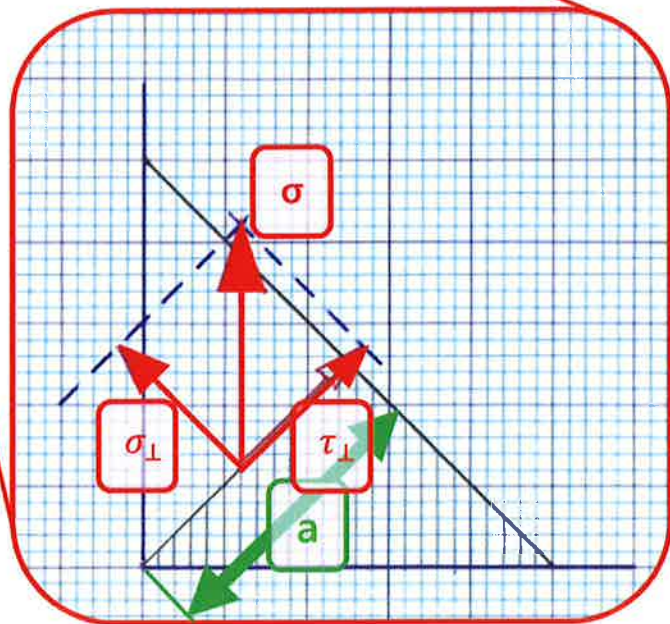
(1): De in deze tabel vermelde nominale waarden van f_y en f_u mogen in het ontwerp en de berekening zijn gebruikt zonder speciaal rekening te houden met anisotropie of effecten van versterking.
(2): $t \leq 160$ mm
(3): $t \leq 25$ mm
(4): $t \leq 100$ mm
BRON: NBN EN 1993-1-4:2006 Table 2.1

4. Uitwerking

4.1. symmetrisch gelaste T-verbinding



Wegens symmetrie is de spanning " σ " op de las gelijk aan de helft van de totale kracht over de keeldoorsnede van de las, ofwel $\sigma = \frac{F}{a l}$



| | | |
|---|---|------|
| $N_{Ed} = 2 F$ | Rekenwaarde van de normaalkracht op de aftakking | (4) |
| $N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{t l f_y}{\gamma_{M0}}$ | Rekenwaarde van de weerstand tegen trek van de aftakking | (5) |
| $F \leq \frac{t l f_y}{2 \gamma_{M0}}$ | Volgt uit (1); (4); (5) | (6) |
| $F_{max} = \frac{t l f_y}{2 \gamma_{M0}}$ | Maximale waarde van (6) | (7) |
| $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{F_{max}}{a l}$ | Zie figuur onder § 4.1, berekend met de maximale waarde van F | (8) |
| $\tau_{\parallel} = 0$ | Gegeven: er treedt uitsluitend een normaalkracht op | (9) |
| $\gamma_{M0} = 1.00$ | Partiële factor voor de weerstand van dwarsdoorsneden van constructiestaal voor gebouwen NBN EN 1993-1-1:2005 § 6.1 | (10) |
| RVS: $\gamma_{M0} = 1.10$ | NBN EN 1993-1-4:2006 § 5.1 (2) | (11) |
| RVS: $\beta_W = 1.00$ | NBN EN 1993-1-4:2006 §6.3 (1) | (12) |
| $\gamma_{M2} = 1.25$ | Partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van lassen NBN EN 1993-1-8:2005 Table 2.1 NBN EN 1993-1-4:2006 § 5.1 (2) | (13) |
| $\sqrt{2} \frac{F_{max}}{a l} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}}$ | Volgt uit (2); (8); (9) | (14) |
| $a \geq \sqrt{2} \frac{F_{max} \beta_W \gamma_{M2}}{l f_u}$ | Volgt uit (14) | (15) |
| $a \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\beta_W \gamma_{M2} f_y}{\gamma_{M0} f_u} t$ of $a \geq k t$ | Definitieve eis voor keelhoogte, volgend uit (7) en (15) | (16) |
| $k = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\beta_W \gamma_{M2} f_y}{\gamma_{M0} f_u}$ | k-waarde | (17) |

4.2. k-factor volgens formule (17) bepaald voor enkele courante RVS materialen

| | | β_w | γ_{M0} | γ_{M2} | f_y | f_u | k | |
|------------------|--------------------------|-------------|---------------|---------------|-------|-------|------|------|
| EN10025-2 | S235 | 0.80 | 1.00 | 1.25 | 235 | 360 | 0.46 | |
| | S275 | 0.85 | 1.00 | 1.25 | 275 | 430 | 0.48 | |
| | S355 | 0.90 | 1.00 | 1.25 | 355 | 510 | 0.55 | |
| | S450 | 1.00 | 1.00 | 1.25 | 440 | 550 | 0.71 | |
| EN10088-1 | 1.4301 (304) | KoudW strip | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 230 | 540 | 0.34 |
| | | WarmW strip | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 210 | 520 | 0.32 |
| | | WarmW plaat | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 210 | 520 | 0.32 |
| | | Profielen | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 190 | 500 | 0.31 |
| | 1.407 (304L) | KoudW strip | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 220 | 520 | 0.34 |
| | | WarmW strip | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 200 | 520 | 0.31 |
| | | WarmW plaat | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 200 | 500 | 0.32 |
| | | Profielen | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 175 | 450 | 0.31 |
| | 1.4401 (316) | KoudW strip | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 240 | 530 | 0.36 |
| | | WarmW strip | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 220 | 530 | 0.33 |
| | | WarmW plaat | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 220 | 520 | 0.34 |
| | | Profielen | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 200 | 500 | 0.32 |
| | 1.4404 (316L) | KoudW strip | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 240 | 530 | 0.36 |
| | | WarmW strip | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 220 | 530 | 0.33 |
| | | WarmW plaat | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 220 | 520 | 0.34 |
| | | Profielen | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 200 | 500 | 0.32 |

Aangezien de factor k voor deze soorten roestvast staal tussen de waarden 0.31 en 0.36 ligt, nemen we als algemene waarde $k = 0.36$, zodanig dat deze standaardregel kan toegepast worden voor al deze soorten roestvast staal. Bemerk het verschil tussen constructiestaal en roestvast staal (voor constructiestaal: k start op 0.46 en dit loopt op tot 0.77 voor de hogere kwaliteiten, en 0.31 tot 0.36 voor deze soorten roestvast staal).

4.3. Standaardregel voor tweezijdig gelaste T-verbindingen

Voor tweezijdig symmetrische gelaste T-verbindingen met de laslengte even groot als de plaatlengte kan een keelhoogte volgens de volgende tabel worden toegepast:

| Plaatdikte | S235/S275 | S355 | 304(L) / 316(L) |
|--|------------|-----------|----------------------------------|
| | EN 10025-2 | EN10025-2 | EN10088-1 |
| | k = 0.48 | k = 0.55 | k = 0.36 |
| (alle waarden in mm) | | | |
| 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 3 | 3 | 3 |
| 5 | 3 | 3 | 3 |
| 6 | 3 | 4 | 3 |
| 8 | 4 | 5 | 3 |
| 10 | 5 | 6 | 4 |
| 12 | 6 | 7 | 5 |
| 15 | 8 | 9 | 6 |
| 20 | 10 | 12 | 8 |
| 25 | 12 | 14 | 10 |
| Voorwaarden om deze tabel toe te kunnen passen: | | | |
| – tweezijdig symmetrische gelaste T-verbinding | | | |
| – Het basismateriaal (warmgewalst constructiestaal) is conform de normen, vermeld in de hoofding van deze tabel. | | | |
| – Het basismateriaal (roestvast staal) is <u>uitsluitend</u> het RVS met werkstofnummer 1.4301; 1.4307; 1.4401 en 1.4404 | | | |
| – De aftakking wordt belast door een kracht met <u>uitsluitend</u> een axiale component. | | | |
| – De plaatdikte van de aftakking is maximaal 40 mm voor constructiestaal. | | | |
| – De plaatdikte van de aftakking is conform de tabel in § 3.8 voor roestvast staal. | | | |
| – De basisstructuur van waarop afgetakt wordt is voldoende sterk om de kracht die er door de aftakking wordt op uitgeoefend op te nemen. | | | |
| – Het materiaal van de basisstructuur is van minstens dezelfde kwaliteit als de aftakking. | | | EN1993-1-8:2005 § 4.5.3.2 (6) |
| – Formule (3) is geldig. | | | EN1993-1-8:2005 § 4.5.3.2 (6) |

4.4. Standaardregel voor éénzijdig, volledig rondom gelaste koker- en buisprofielen

Voor éénzijdig, volledig rondom gelaste koker- en buisprofielen kan een keelhoogte volgens de volgende tabel worden toegepast.

Hier is de keelhoogte bepaald door de las zo te dimensioneren dat deze minstens dezelfde weerstand tegen trek kan bieden als de samenstellende delen van de aftakking. De lokale excentriciteiten mogen niet in rekening zijn gebracht indien een las is gebruikt als onderdeel van een groep van lassen langs de omtrek van een buisprofiel voor constructiedoeleinden. NBN EN 1993-1-8:2005 § 4.12 (3)

| Plaatdikte | S235 | S275 | S355 | RVS |
|---|------------|------------|------------|-------------------------------|
| | EN 10210-1 | EN 10210-1 | EN 10210-1 | EN10088-1 |
| | k = 0.46 | k = 0.57 | k = 0.60 | k = 0.36 |
| (alle waarden in mm) | | | | |
| 3 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| 4 | 4 | 5 | 5 | 3 |
| 5 | 5 | 6 | 6 | 4 |
| 6 | 6 | 7 | 8 | 5 |
| 8 | 8 | 10 | 10 | 6 |
| 10 | 10 | 12 | 12 | 8 |
| 12 | 12 | 14 | 15 | 9 |
| 15 | 15 | 18 | 18 | 11 |
| 20 | 20 | 23 | 24 | 15 |
| 25 | 24 | 29 | 30 | 19 |
| Voorwaarden om deze tabel toe te kunnen passen: | | | | |
| – éénzijdig, volledig rondom gelaste koker- en buisprofielen | | | | |
| – Het basismateriaal (<u>warmgewalste buisprofielen</u> van constructiestaal) is conform de normen, vermeld in de hoofding van deze tabel. | | | | |
| – Het basismateriaal (roestvast staal volgens EN10088-1) is <u>uitsluitend</u> het RVS met werkstofnummer 1.4301; 1.4307; 1.4401 en 1.4404 | | | | |
| – De aftakking wordt belast door een kracht met <u>uitsluitend</u> een axiale component. | | | | |
| – De plaatdikte van de aftakking is maximaal 40 mm voor constructiestaal. | | | | |
| – De plaatdikte van de aftakking is conform de tabel in § 3.8 voor roestvast staal. | | | | |
| – De basisstructuur van waarop afgetakt wordt is voldoende sterk om de kracht die er door de aftakking wordt op uitgeoefend op te nemen. | | | | |
| – Het materiaal van de basisstructuur is van minstens dezelfde kwaliteit als de aftakking. | | | | EN1993-1-8:2005 § 4.5.3.2 (6) |
| – Formule (3) is geldig. | | | | EN1993-1-8:2005 § 4.5.3.2 (6) |

In alle andere gevallen of bij andere materialen dan in bovenstaande tabellen dient de VLC of een extern studiebureau de correcte keelhoogte te berekenen en aan te duiden op de plannen of op een andere onmiskenbare manier te documenteren.