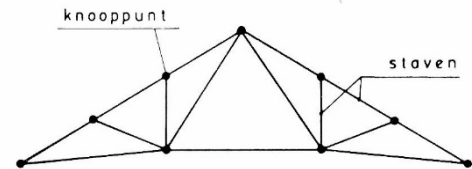


Verbindingen in staalconstructies

Veel staalconstructies zijn opgebouwd uit een z.g. vakwerk van staven, zoals afgebeeld in fig. 1. Met uitzondering van de nulstaven, onbelaste staven moet elke staaf in het vakwerk een zuivere trek- of een zuivere drukkracht opnemen.

Figuur 1



Knooppunten en systeemlijnen

Op een punt waar staven samenkomen, ook wel knooppunt genoemd werken een aantal krachten waarvan de richting overeenkomt met die van de staven.

De schematische staven in fig. 1 zijn de werklijnen van de staafkrachten. Deze worden wel de systeemlijnen genoemd.

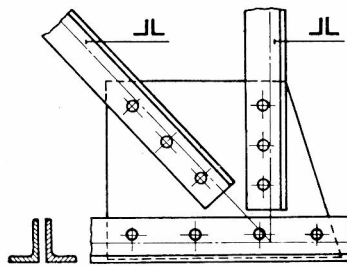
Ieder knooppunt in een staalconstructie moet in evenwicht zijn.

M.a.w. de resultante van de krachten, welke op een knooppunt werken, moet nul zijn. Als dit niet het geval is, dan is het knooppunt niet meer in evenwicht wat tot deformatie van de constructie kan leiden.

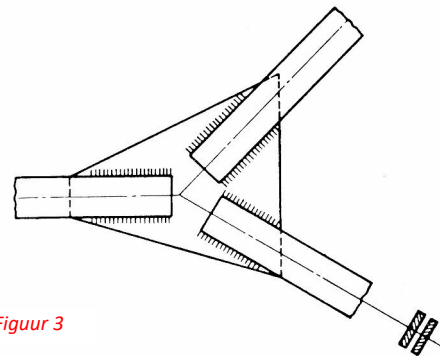
Verskillende uitvoeringsvormen van knooppunten

Een verbinding van staven in een knooppunt kan door klinken, bouten of lassen tot stand worden gebracht, zoals aangegeven in de fig. 2 t/m 5.

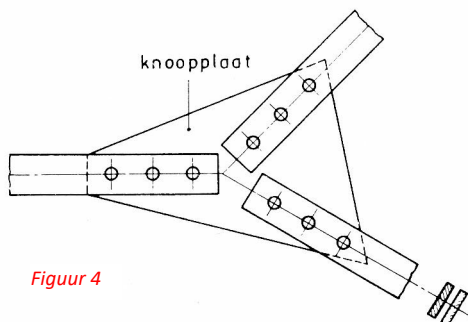
Klinkverbindingen worden bijna niet meer toegepast



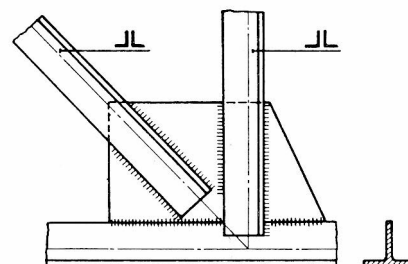
Figuur 2



Figuur 3



Figuur 4



Figuur 5

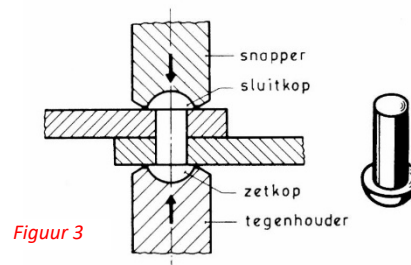
Knooppuntverbindingen

Het klinken

Als verbindend element bij knooppuntverbindingen, worden klinknagels tegenwoordig bijna niet meer toegepast.

De klinknagels zijn gemaakt van een weke en taaie staalsoort en voorzien van een z.g. zetkop.

Tegen deze zetkop wordt bij het klinken een tegenhouder geplaatst, zoals te zijn is in fig. 1.

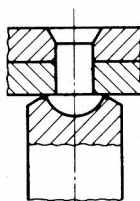


Figuur 3

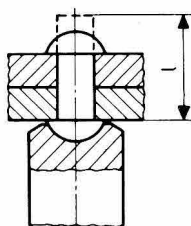
Klinknageltypen en afmetingen

De in bestaande constructies meest voorkomende klinknageltypen voor staalconstructies zijn afgebeeld in tabel 1.

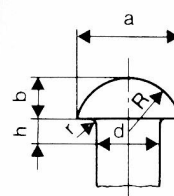
In gevallen, waar glad klinkwerk gewenst is, wordt gebruik gemaakt van klinknagels met verzonken kop, zoals afgebeeld in fig. 2. De benodigde steellengte l , fig. 3 wordt meestal bepaald door het klinken van een proefnagel.



Figuur 4



Figuur 3



Tabel 1

Maten in mm										
d	d ₁	d ₂	d ₃	h	r	Type A				
						a	b	R		
6	6,3	5,8		5	0,4	11	4,5	5,8		
8	8,3	7,8		5	0,4	14	5,5	7,2		
10	10,3	9,8		5	0,4	17	6,5	8,8		
13	13,3	12,8	12,2	5	0,6	21	8	10,9		
16	16,3	15,8	15,2	5	0,8	25	9,5	13,0		
19	19,4	18,8	18,1	5	0,8	30	11	15,7		
22	22,4	21,8	21,1	5	1	35	13	18,5		
25	25,5	24,8	24,0	5	1	40	15	20,8		
28	28,5	27,7	26,7	5	1	45	17	23,4		
31	31,5	30,7	29,7	5	1,6	50	19	25,9		

Uitgangspunten van bout- en klinkverbindingen:

Bij een goed uitgevoerde verbinding wordt de belasting overgebracht door wrijving tussen de staven en schetsplaat. De berekeningen en ontwerp principes houden rekening met onvolkomendheden door aan te nemen dat de belasting volledig gedragen moet kunnen worden door de bouten of klinknagels in de verbinding, zonder rekening te houden met de wrijving.

Steek-en randafstanden

De rechte afstand van hart gat tot hart gat, wordt de steek genoemd. Deze wordt aangeduid met t , zie fig. 4

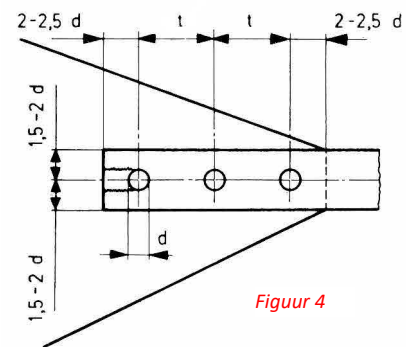
In normale gevallen wordt de steek ongeveer gelijk aan 3,5 maal de diameter van het bout gat d genomen, $t = 3,5d$. De afstand hart gat tot staafeinde wordt normaal ca. $2d$ genomen, zie fig. 4. Als deze afstand te klein worden genomen, dan bestaat de mogelijkheid dat de staaf op de in fig. 4 aangegeven plaats wordt afgeschoven.

De afstand hart gat tot zijkant strip neemt wordt meestal $1,5d - 2d$ genomen

De minimumsteek mag niet kleiner zijn dan $3d$.

Wordt de steek te groot gekozen, dan zullen de te verbinden delen niet over de gehele steeklengte voldoende tegen elkaar worden gedrukt. Tussen de te verbinden delen kan dan vocht dringen, wat ernstige corrosie kan veroorzaken. Om deze reden wordt zelden een steek groter dan $6d$ toegepast

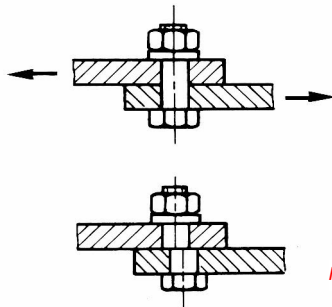
Maten van steek en randafstand worden bij staalconstructies altijd afgerond op 5 mm of een veelvoud daarvan.



Figuur 4

Enkelsnedige boutverbindingen

De verbinding van fig. 5 is enkelsnedig, slechts één boudoorsnede moet weerstand bieden aan de afschuivende kracht. Een groot bezwaar van een enkelsnedige verbinding is, dat de verbinding op buigen wordt belast, zoals aangegeven in fig. 6 Bij zware belastingen wordt deze verbinding dan ook niet toegepast



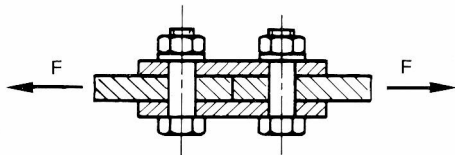
Figuur 5



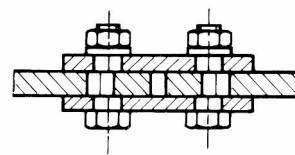
Figuur 6

Dubbelsnedige boutverbindingen

De een dubbelsnedige verbinding van fig. 7 heeft dit bezwaar niet. Bovendien bieden hier per bout twee doorsneden weerstand aan de afschuivende kracht.

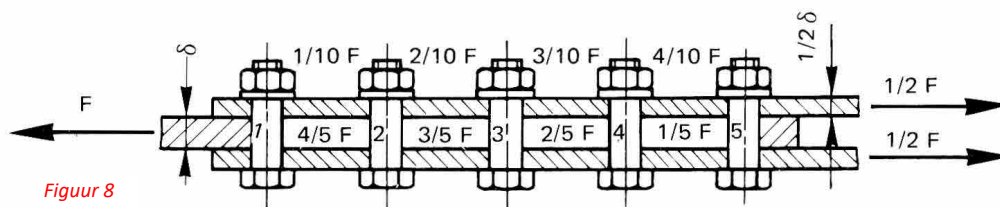


Figuur 7



Krachtverdeling over de bouten

Bij berekening van boutverbindingen nemen we aan, dat iedere bout een even grote belasting opneemt. Gaan we er voorlopig van uit dat dit juist is en wordt verder aangenomen dat alle te verbinden delen dezelfde breedte hebben, dan zien we dat in fig. 8 tussen de bouten 1 en 2, door de achtereenvolgende belastingen $2 \cdot \frac{1}{10} F$ en $\frac{4}{5} F$, de twee buitenste delen veel minder rekken dan het binnenste. Ook tussen de bouten 2 en 3 rekken de twee buitenste delen minder dan het binnenste. Tussen de bouten 3 en 4 rekken de buitenste delen echter meer dan het binnenste. Hetzelfde geldt in nog veel sterkere mate voor het gedeelte tussen de bouten 4 en 5.



Figuur 8

Alle bouten zouden even zwaar belast worden als tussen ieder stel bouten de rek van buiten en binnen strippen dezelfde zou zijn. Uit het voorgaande blijkt het dat dit niet het geval is, en vooral de uiterste bouten 1 en 5 aanzienlijk zwaarder worden belast dan de overige bouten.

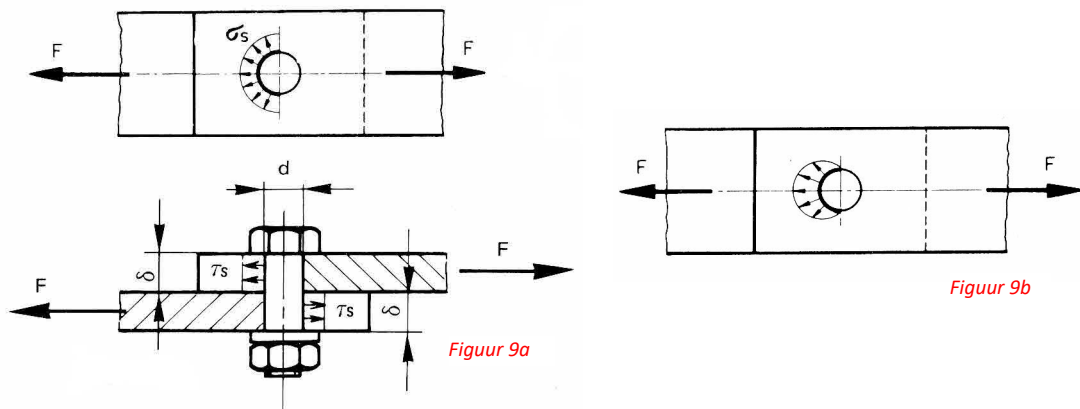
Hoe minder bouten achter elkaar worden geplaatst, hoe beter zal de totaalbelasting over de bouten verdeeld worden. In de regel worden er dan ook niet meer dan vijf bouten achter elkaar geplaatst.

Berekening van knooppuntbouten op stuijk

Behalve dat boutverbindingen op trek en afschuiven moeten worden berekend, moet er bovendien een stuijkberekening worden uitgevoerd. De kracht F in fig. 9a moet door de boutsteel worden overgebracht op de gatwand van de strip.

In fig. 9a is aangenomen dat deze kracht gelijkmatig over het halve manteloppervlak is verdeeld. De kracht die iedere mm^2 van dit oppervlak moet opnemen, wordt de optredende stuijkspanning genoemd. De optredende stuijkspanning wordt aangeduid met σ_s .

In werkelijkheid is de maximaal optredende stuijkspanning echter veel hoger.



Figuur 9b geeft dan ook een beter beeld van het verloop van de stuijkspanningen dan fig. 9a. Gemakshalve wordt echter aangenomen dat de stuijkspanningen het in fig. 9a aangegeven verloop hebben.

In fig. 10 is de helft van een gatmantel getekend, die in fig. 9a de kracht F moet opnemen. Laten we op deze mantelhelft, waarin geen bodem zit, σ_s werken, dan wordt deze hierdoor weggedrukt. Brengen we in de mantelhelft een bodem aan, zie fig. 11 dan werkt ook hierop σ_s en blijft het geheel in rust. Hier uit volgt dat de resulterende kracht F op de bodem gelijk is aan de resulterende kracht F op de mantelhelft.

We kunnen dus schrijven dat:

$$F = \sigma_s \cdot d \cdot \delta$$

$d \cdot \delta$ is het oppervlak van de mantelprojectie in mm^2

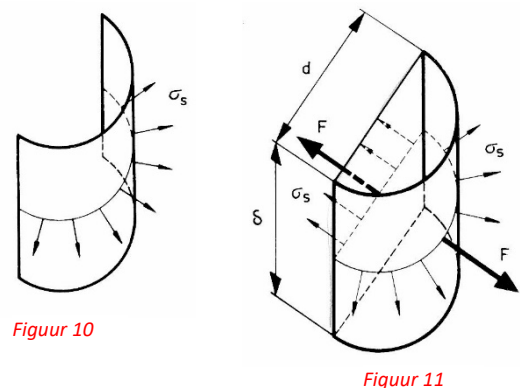
Hieruit volgt dat:

$$F = \sigma_s \cdot A$$

Voor de optredende stuijkspanning vinden we dan:

$$\sigma_s = \frac{F}{A}$$

δ = de mantel hoogte



Toelaatbare spanningen in staalconstructies

Voor staalconstructies met klinknagels of met bouten kiezen we voor de volgende toelaatbare materiaalspanningen:

Zie ook:

<https://www.werktuigbouw.nl/sub15.htm>

$\bar{\sigma}_t = 140 \text{ N/mm}^2$ voor profielen van S235 (Fe 360).

$\bar{\tau}_d = 0,8 \cdot \bar{\sigma}_t = 0,8 \cdot 140 = 112 \text{ N/mm}^2$ voor klinknagels of bouten.

$\sigma_s = 2 \cdot \bar{\sigma}_t = 2 \cdot 140 = 280 \text{ N/mm}^2$ tussen S235 (Fe 360) en klinknagels en bouten.

Uitgangspunt is dus de toelaatbare trekspanning in staven en knoopplaten. Aan bouten of klinknagels wordt de eis gesteld dat daarvoor minstens dezelfde toelaatbare trekspanning geldt.

Voorbeeld 1

Geg.: De verbinding, zoals afgebeeld in fig. 12.

De verbinding wordt tot stand gebracht met 1 bout, $F = 20 \text{ kN}$.

- Gevr.: a. De boutdiameter.
b. De stripafmetingen b en δ .

- Opl.: a. De boutdiameter.

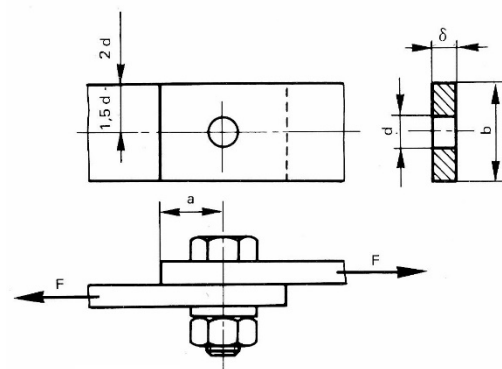
$$\bar{\tau}_d = \frac{F}{A} \Rightarrow$$

$$112 = \frac{20 \cdot 10^3}{A} \Rightarrow$$

$$112 = \frac{20 \cdot 10^3}{\frac{1}{4} \pi d_1^2} \Rightarrow$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{20 \cdot 10^3 \cdot 4}{112 \cdot \pi}} \Rightarrow$$

$$d_1 = \underline{15,1 \text{ mm}}$$



Figuur 12

Neem voor de bout M 16. In fig. 12 wordt een pasbout toegepast, waardoor de kerndiameter van de pasbout niet zo van belang is. De steeldiameter van de pasbout wordt 1 mm groter genomen dan de boutmaat, waardoor de steelmaat van de pasbout 17 mm is.

- b. De stripafmetingen b en δ .

De gat diameters in de strippen zijn 17mm.

De minimumstripbreedte is: $2 \cdot 1,5 \cdot 17 = 51 \text{ mm}$.

De maximumstripbreedte is: $2 \cdot 2 \cdot 17 = 68 \text{ mm}$.

Er wordt gekozen voor een stripbreedte van 65mm.

Berekening van δ op trek.

$$\bar{\sigma}_t = \frac{F}{A} \text{ en } A = (b - d)\delta \Rightarrow$$

$$(b - d)\delta = \frac{F}{\bar{\sigma}_t} \Rightarrow$$

$$\delta = \frac{F}{\bar{\sigma}_t \cdot (b - d)} \Rightarrow$$

$$\delta = \frac{20 \cdot 10^3}{140 \cdot (65 - 17)} \Rightarrow$$

$$\delta = \underline{\underline{2,98\text{mm}}} = \underline{\underline{3\text{mm}}}$$

Berekening van δ op stuik.

$$\bar{\sigma}_s = \frac{F}{A} \text{ en } A = d \cdot \delta \Rightarrow$$

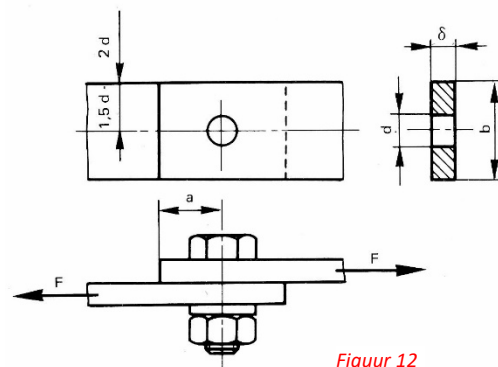
$$d \cdot \delta = \frac{F}{\bar{\sigma}_s} \Rightarrow$$

$$\delta = \frac{F}{\bar{\sigma}_s \cdot d} \Rightarrow$$

$$\delta = \frac{20 \cdot 10^3}{280 \cdot 17} \Rightarrow$$

$$\delta = \underline{\underline{4,2\text{mm}}} = \underline{\underline{5\text{mm}}}$$

δ voor de stuik is bepalend = 5mm



Figuur 12

Voorbeeld 2

Geg.: In het knooppunt van fig. 13 komen drie staven samen $F_1 = 130kN$.

De staven zijn uitgevoerd als dubbel plat. Materiaal Fe 360.

- Gevr.: a. De staafkrachten F_2 en F_3 grafisch te bepalen.
b. De staafkrachten F_2 en F_3 berekenen.
c. De bout diameter.
d. Het aantal bouten in de staven 2 en 3.
e. De staafafmetingen.
f. De knoopplaatdikte.

- Opl. a. De staafkrachten F_2 en F_3 grafisch te bepalen.

Neem een krachtschaal aan,

bv. $1cm \underline{\underline{10kN}}$

Verbind de krachten F_1, F_2 en F_3 met de kopstaart methode, zie fig. 14.

Meet de krachten op en vermenigvuldig deze met de krachtschaal.

$F_2 = 95kN$.

$F_3 = 117kN$.

- b. De staafkrachten F_2 en F_3 berekenen.

Volgens fig. 15 geldt:

$$\boxed{1} \quad \frac{1}{2}F_2 + \frac{1}{2}F_3\sqrt{2} = 130kN \text{ en}$$

$$\boxed{2} \quad \frac{1}{2}F_2\sqrt{3} = \frac{1}{2}F_3\sqrt{2} \text{ of } \frac{1}{2}F_2\sqrt{3} - \frac{1}{2}F_3\sqrt{2} = 0$$

Bij de optelling van vergelijking 1 en 2 geeft:

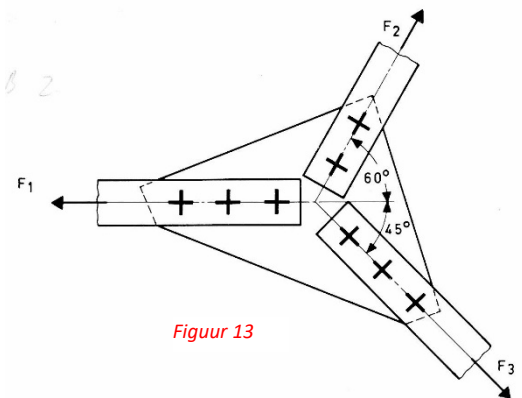
$$\boxed{1} \quad \frac{1}{2}F_2 + \frac{1}{2}F_3\sqrt{2} = 130$$

$$\boxed{2} \quad \frac{1}{2}F_2\sqrt{3} - \frac{1}{2}F_3\sqrt{2} = 0 \quad +$$

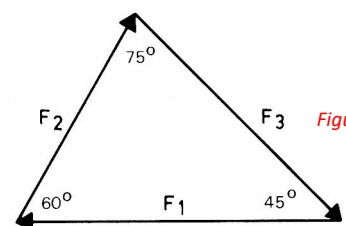
$$\frac{1}{2}F_2 + \frac{1}{2}F_2\sqrt{3} = 130 \Rightarrow$$

$$F_2 = \frac{130}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{3}} \Rightarrow$$

$$F_2 = \underline{\underline{95,2kN}}$$

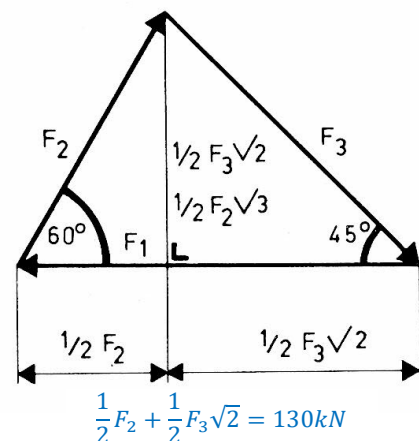


Figuur 13



Figuur 14

$F_1 = 130kN$



Figuur 15

F_3 invullen in vergelijking 1.

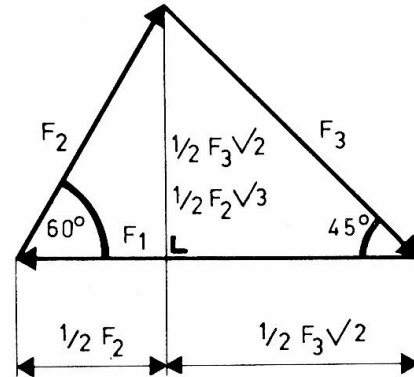
$$\frac{1}{2} F_2 + \frac{1}{2} F_3 \sqrt{2} = 130 \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2} \cdot 95,2 + \frac{1}{2} F_3 \sqrt{2} = 130 \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2} F_3 \sqrt{2} = 130 - \frac{1}{2} \cdot 95,2 \Rightarrow$$

$$F_3 = \frac{\left(130 - \frac{1}{2} \cdot 95,2\right) 2}{\sqrt{2}} \Rightarrow$$

$$F_3 = \underline{\underline{116,5 \text{ kN}}}$$



Figuur 15

Bij toepassing van de sinusregel, zie fig. 14 geldt:

$$\frac{F_1}{\sin 75^\circ} = \frac{F_2}{\sin 45^\circ} = \frac{F_3}{\sin 60^\circ}$$

$$\frac{F_1}{\sin 75^\circ} = \frac{F_2}{\sin 45^\circ} \Rightarrow$$

$$\frac{130}{\sin 75^\circ} = \frac{F_2}{\sin 45^\circ} \Rightarrow$$

$$F_2 = \frac{130 \cdot \sin 45^\circ}{\sin 75^\circ} \Rightarrow$$

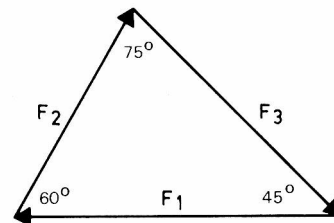
$$F_2 = \underline{\underline{95,2 \text{ kN}}}$$

$$\frac{F_1}{\sin 75^\circ} = \frac{F_3}{\sin 60^\circ} \Rightarrow$$

$$\frac{130}{\sin 75^\circ} = \frac{F_3}{\sin 60^\circ} \Rightarrow$$

$$F_3 = \frac{130 \cdot \sin 60^\circ}{\sin 75^\circ} \Rightarrow$$

$$F_3 = \underline{\underline{116,6 \text{ kN}}}$$



Figuur 14

c. De bout diameter.

Staaf 1

De bouten worden dubbelsnedig op afschuiving belast.

$$\bar{\tau}_d = \frac{F_1}{A_1} \Rightarrow$$

$$A_1 = \frac{F_1}{\bar{\tau}_d} \Rightarrow$$

$$A_1 = \frac{130 \cdot 10^3}{112} \Rightarrow$$

$$A_1 = \underline{1160,7 \text{ mm}^2} \quad \textit{Totaal benodigde boutdoorsnede}$$

In staaf 1 worden 3 bouten toegepast.

$$A = \frac{1160,7}{3} \Rightarrow$$

$$A = \underline{387 \text{ mm}^2} \quad \textit{Benodigde doorsnede per bout}$$

De bouten worden dubbelsnedig afgeschoven

$$A = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 \Rightarrow$$

$$387 = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 \Rightarrow$$

$$d = \sqrt{\frac{387 \cdot 4}{2\pi}} \Rightarrow$$

$$d = \underline{\underline{15,7 \text{ mm}}}$$

Er wordt gekozen voor M16 bouten, met een steeldiameter van 17mm.

Voor staaf 2 en 3 worden de zelfde bouten toegepast, M16 met een steeldiameter van 17mm.

- d. Het aantal bouten in de staven 2 en 3.

Staaf 2

$$A_2 = \frac{F_2}{\tau_d} \Rightarrow$$

$$A_2 = \frac{95,2 \cdot 10^3}{112} \Rightarrow$$

$$A_2 = \underline{850\text{mm}^2} \quad \text{Totaal benodigde boutdoorsnede}$$

$$A = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 \Rightarrow$$

$$A = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 17^2 \Rightarrow$$

$$A = \underline{454\text{mm}^2} \quad \text{Beschikbare doorsnede per bout}$$

$$\frac{850}{454} = \underline{\underline{1,87}} = \underline{\underline{2}} \quad \text{In staaf 2 zijn 2 bouten nodig}$$

Staaf 3

$$A_3 = \frac{F_3}{\tau_d} \Rightarrow$$

$$A_3 = \frac{116,5 \cdot 10^3}{112} \Rightarrow$$

$$A_3 = \underline{1040\text{mm}^2} \quad \text{Totaal benodigde boutdoorsnede}$$

$$A = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 \Rightarrow$$

$$A = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 17^2 \Rightarrow$$

$$A = \underline{454\text{mm}^2} \quad \text{Beschikbare doorsnede per bout}$$

$$\frac{1040}{454} = \underline{\underline{2,3}} = \underline{\underline{3}} \quad \text{In staaf 3 zijn 3 bouten nodig}$$

e. De staafafmetingen.

Staaf 1

Maximumstrijbreedte: $2 \cdot 2 \cdot d = 2 \cdot 2 \cdot 17 = 68mm$.

Minimumstrijbreedte: $2 \cdot 1,5 \cdot d = 2 \cdot 1,5 \cdot 17 = 51mm$.

Er wordt gekozen voor een strijbreedte van $65mm$.

Deze strijbreedte wordt om praktische redenen ook voor de staven 2 en 3 genomen.

Staaf 1 is het zwakst over de in fig. 16 aangegeven doorsnede.

De staaf heeft hier een doorsnede van:

$$A_1 = 2(65 - 17)\delta \Rightarrow$$

$$A_1 = \underline{96 \cdot \delta}$$

De benodigde staafdoorsnede is:

$$\bar{\sigma}_t = \frac{F_1}{A_1} \Rightarrow$$

$$A_1 = \frac{130 \cdot 10^3}{140} \Rightarrow$$

$$A_1 = \underline{929mm^2}$$

De benodigde strijdikte δ :

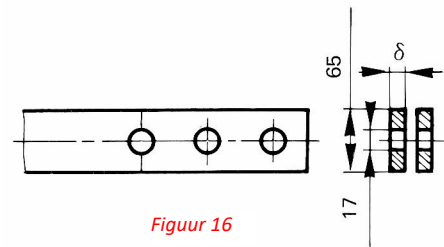
$$A_1 = 2(65 - 17)\delta \Rightarrow$$

$$929 = 2(65 - 17)\delta \Rightarrow$$

$$\delta = \frac{929}{2(65 - 17)} \Rightarrow$$

$$\delta = \underline{\underline{9,8mm}} = \underline{\underline{10mm}}$$

Er wordt voor staaf 1, dubbel plat $65 \times 10mm$ gekozen.



Figuur 16

Controle stuikspanning:

Beschikbare oppervlak van de bouten is: $2 \cdot 17 \cdot 10 = \underline{340mm^2}$

Totaal beschikbare oppervlak $A_1 = 3 \cdot 340 = \underline{1020mm^2}$

$$\sigma_s = \frac{F}{A} \Rightarrow$$

$$\sigma_s = \frac{130 \cdot 10^3}{1020} \Rightarrow$$

$$\sigma_s = \underline{127,5N/mm^2} \quad \text{voldoet } 127,5 < 280$$

Staaf 2

Staaf 2 is het zwakst over de in fig. 17 aangegeven doorsnede.

De staaf heeft hier een doorsnede van:

$$A_2 = 2(65 - 17)\delta \Rightarrow$$

$$A_2 = \underline{96 \cdot \delta}$$

De benodigde staafdoorsnede is:

$$\bar{\sigma}_t = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow$$

$$A_2 = \frac{95,2 \cdot 10^3}{140} \Rightarrow$$

$$A_2 = \underline{680mm^2}$$

De benodigde stripdikte δ :

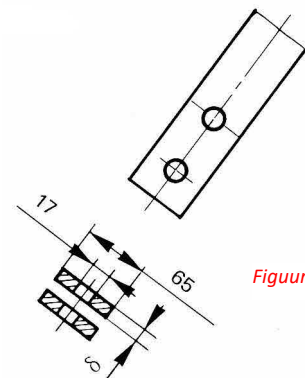
$$A_2 = 2(65 - 17)\delta \Rightarrow$$

$$680 = 2(65 - 17)\delta \Rightarrow$$

$$\delta = \frac{680}{2(65 - 17)} \Rightarrow$$

$$\delta = \underline{7,1mm} = \underline{8mm}$$

Er wordt voor staaf 2, dubbel plat 65x8mm gekozen.



Figuur 17

Controle stuikspanning:

Beschikbare oppervlak van de bouten is: $2 \cdot 17 \cdot 8 = \underline{272mm^2}$

Totaal beschikbare oppervlak $A_2 = 2 \cdot 272 = \underline{544mm^2}$

$$\sigma_s = \frac{F}{A} \Rightarrow$$

$$\sigma_s = \frac{95,2 \cdot 10^3}{544} \Rightarrow$$

$$\sigma_s = \underline{\underline{175N/mm^2}} \quad \text{voldoet } 175 < 280$$

Staaf 3

Staaf 3 is het zwakst over de in fig. 18 aangegeven doorsnede.

De staaf heeft hier een doorsnede van:

$$A_3 = 2(65 - 17)\delta \Rightarrow$$

$$A_3 = \underline{96 \cdot \delta}$$

De benodigde staafdoorsnede is:

$$\bar{\sigma}_t = \frac{F_3}{A_3} \Rightarrow$$

$$A_3 = \frac{116,5 \cdot 10^3}{140} \Rightarrow$$

$$A_3 = \underline{832,1mm^2}$$

De benodigde stripdikte δ :

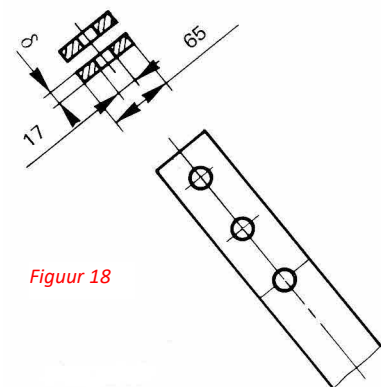
$$A_3 = 2(65 - 17)\delta \Rightarrow$$

$$680 = 2(65 - 17)\delta \Rightarrow$$

$$\delta = \frac{832,1}{2(65 - 17)} \Rightarrow$$

$$\delta = \underline{\underline{8,7mm}} = \underline{\underline{9mm}}$$

Er wordt voor staaf 3, dubbel plat 65x9mm gekozen.



Figuur 18

Controle stuikspanning:

Beschikbare oppervlak van de bouten is: $2 \cdot 17 \cdot 9 = \underline{306mm^2}$

Totaal beschikbare oppervlak $A_3 = 3 \cdot 306 = 918mm^2$

$$\sigma_s = \frac{F}{A} \Rightarrow$$

$$\sigma_s = \frac{116,5 \cdot 10^3}{918} \Rightarrow$$

$$\sigma_s = \underline{\underline{127N/mm^2}} \quad \text{voldoet } 127 < 280$$

f. De knoopplaatdikte.

Berekening van de knoopplaat op stuik, zie fig. 19.

Benodigde oppervlak bij staaf 1:

$$\sigma_s = \frac{F_1}{A_1} \Rightarrow$$

$$A_1 = \frac{130 \cdot 10^3}{280} \Rightarrow$$

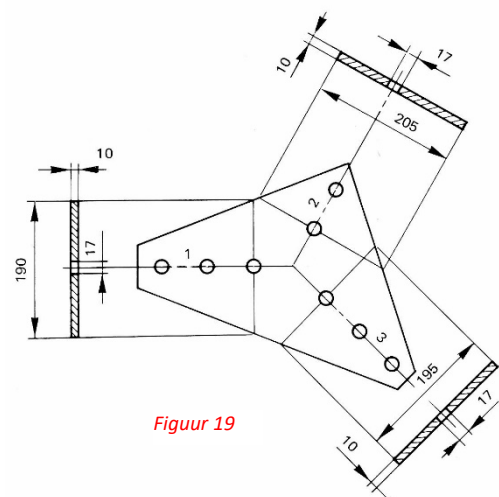
$$A_1 = \underline{\underline{464,3mm^2}}$$

$$A_1 = 3 \cdot 17 \cdot \delta_1 = 51 \cdot \delta_1 \Rightarrow$$

$$51 = 3 \cdot 17 \cdot \delta_1 \Rightarrow$$

$$\delta_1 = \frac{51}{3 \cdot 17} \Rightarrow$$

$$\delta_1 = \underline{\underline{9,12mm}}$$



Figuur 19

Benodigde oppervlak bij staaf 2:

$$\sigma_s = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow$$

$$A_2 = \frac{95,2 \cdot 10^3}{280} \Rightarrow$$

$$A_2 = \underline{340mm^2}$$

$$A_2 = 2 \cdot 17 \cdot \delta_2 = 34 \cdot \delta_2 \Rightarrow$$

$$51 = 2 \cdot 17 \cdot \delta_2 \Rightarrow$$

$$\delta_2 = \frac{340}{2 \cdot 17} \Rightarrow$$

$$\delta_2 = \underline{10mm}$$

Benodigde oppervlak bij staaf 3:

$$\sigma_s = \frac{F_3}{A_3} \Rightarrow$$

$$A_3 = \frac{116,5 \cdot 10^3}{280} \Rightarrow$$

$$A_3 = \underline{416,1mm^2}$$

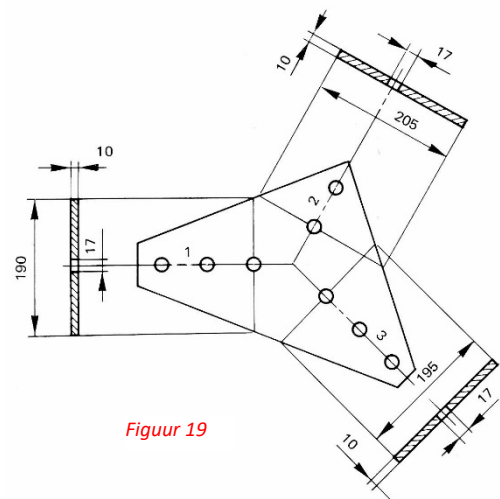
$$A_3 = 3 \cdot 17 \cdot \delta_3 = 51 \cdot \delta_3 \Rightarrow$$

$$51 = 3 \cdot 17 \cdot \delta_3 \Rightarrow$$

$$\delta_3 = \frac{416,1}{3 \cdot 17} \Rightarrow$$

$$\delta_3 = \underline{8,2mm}$$

De grootste waarde van δ is bepalend, de knoopplaatdikte is $10mm$.



Figuur 19

Controle optredende trekspanningen in knoopplaat, zie fig. 19

Staaf 1.

Maximaal beschikbare doorsnede:

$$A_1 = (190 - 17)10 = \underline{1730mm^2}$$

$$\bar{\sigma}_{t1} = \frac{F_1}{A_1} \Rightarrow$$

$$\bar{\sigma}_{t1} = \frac{130 \cdot 10^3}{1730} \Rightarrow$$

$$\bar{\sigma}_{t1} = \underline{\underline{75,2N/mm^2}}$$

Staaf 2.

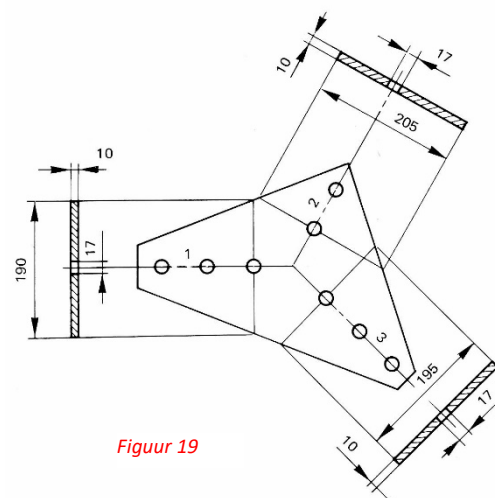
Maximaal beschikbare doorsnede:

$$A_2 = (205 - 17)10 = \underline{1880mm^2}$$

$$\bar{\sigma}_{t2} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow$$

$$\bar{\sigma}_{t2} = \frac{95,2 \cdot 10^3}{1880} \Rightarrow$$

$$\bar{\sigma}_{t2} = \underline{\underline{50,6N/mm^2}}$$



Figuur 19

Staaf 3.

Maximaal beschikbare doorsnede:

$$A_3 = (195 - 17)10 = \underline{1780mm^2}$$

$$\bar{\sigma}_{t3} = \frac{F_3}{A_3} \Rightarrow$$

$$\bar{\sigma}_{t3} = \frac{116,5 \cdot 10^3}{1780} \Rightarrow$$

$$\bar{\sigma}_{t3} = \underline{\underline{65,4N/mm^2}}$$

Voordeel van hoekstaal als staafmateriaal

Een nadeel van dubbel plat of strip, als staven in staalconstructies is dat deze geen drukbelastingen kunnen opnemen. Bij een drukbelasting zullen de staven knikken. Een profiel dat dit nadeel niet heeft, en dat dan ook veel toepassing vindt, is gelijkzijdig en ongelijkzijdig hoekstaal

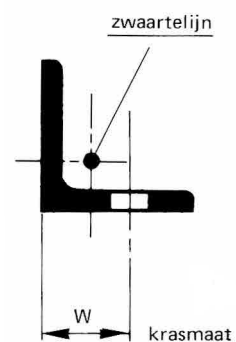
Plaatsingsmoeilijkheden bij gebruik van hoekstaal

Een moeilijkheid van gelijkzijdig en ongelijkzijdig hoekstaal is, dat bij deze profielen de bouten niet kunnen worden aangebracht op de zwaartelij van het profiel, zie fig. 20. Als gevolg hiervan worden profiel en bouten extra belast.

aantal bouten of nagels	φ
2	1,2
3	1,1
4	1,07

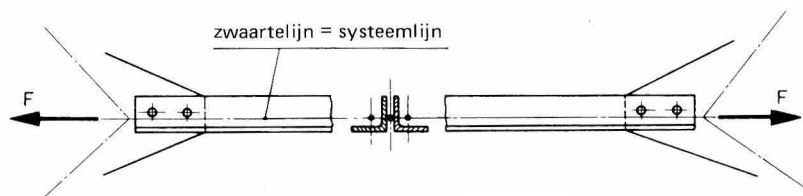
Tabel 1

Figuur 20



In fig. 21 is het hoekstaal zodanig aan de knooppunten bevestigd, dat de zwaartelij van het dubbele profiel samenvalt met de systeemlijn van het vakwerk. Deze plaatsing is de meest gunstige en vindt overwegend toepassing. Alleen tussen de bouten treedt buiging op, terwijl ook de bouten een grotere belasting moeten opnemen.

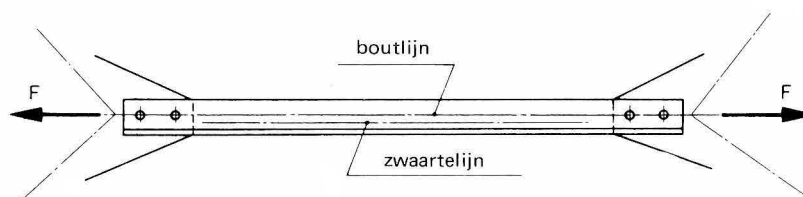
In dat geval rekenen we met de totale boutbelasting $\varphi \cdot F$, zie tabel 1.



Figuur 21

In fig. 22 is het hoekstaal zodanig aan de knooppunten bevestigd, dat de systeemlijn van het vakwerk samenvalt met de boutlijn, terwijl de zwaartelij van de profielen hiernaast valt.

Een constructie met dergelijke profielen is alleen toelaatbaar bij licht belaste staven en omdat de hoekstalen over de gehele lengte worden belast op buigen.

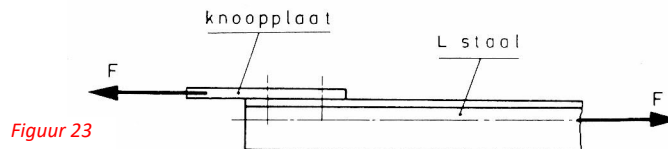


Figuur 22

Bij toepassing van staven met enkel hoekstaal worden zowel hoekstaal als knoopplaat op buigen belast, zie fig. 23.

Alleen bij geringe staafbelasting is de constructie van fig. 23 toelaatbaar.

Bij grotere belastingen wordt dan ook dubbel hoekstaal toegepast, gelijkzijdig of ongelijkzijdig.



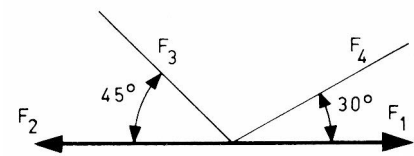
Voorbeeld 3

Geg.: Op het knooppunt werken krachten, zoals aangegeven in fig. 24,

$$F_1 = 70kN \text{ en } F_2 = 220kN.$$

$$\bar{\sigma}_t = 140N/mm^2, \bar{\tau}_d = 112N/mm^2 \text{ en } \bar{\sigma}_s = 280N/mm^2.$$

- Gevr.:
- De staafkrachten F_3 en F_4 grafisch te bepalen.
 - De staafkrachten F_3 en F_4 berekenen.
 - Bepaal van alle staven de profiel afmetingen, als deze uitgevoerd worden als gelijkzijdig dubbel hoekstaal.
Staaf 1 en 2 uitvoeren als een geheel.
 - Bereken het aantal 4.6 bouten, in alle staven, als deze belast worden op afschuiving.
 - Controleer door berekening, in alle staven de stuikspanning tussen hoekstaal en bouten.
 - Bereken de knoopplaatdikte.



- Opl.:
- De staafkrachten F_3 en F_4 grafisch te bepalen.

Neem een krachtenschaal aan,

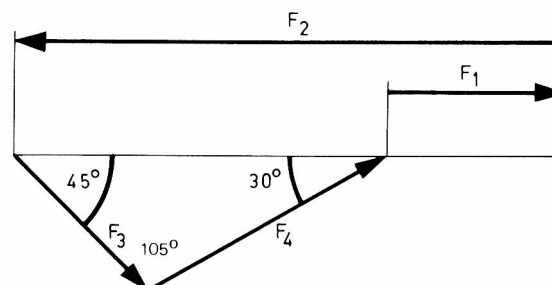
bv. $1cm \underline{\underline{A}} 10kN$

Verbind de krachten F_3 en F_4 met de kopstaart methode, zie fig. 25.

Meet de krachten op en vermenigvuldig deze met de krachtenschaal.

$$F_3 = 78kN.$$

$$F_4 = 110kN.$$



- b. De staafkrachten F_3 en F_4 berekenen.

Volgens fig. 26 geldt:

$$\boxed{1} \quad \frac{1}{2} F_3 \sqrt{2} + \frac{1}{2} F_4 \sqrt{3} = 150 \text{ kN en}$$

$$\boxed{2} \quad \frac{1}{2} F_3 \sqrt{2} = \frac{1}{2} F_4 \text{ of } \frac{1}{2} F_3 \sqrt{2} - \frac{1}{2} F_4 = 0$$

Bij aftrekking van de vergelijking 1 en 2 geeft:

$$\boxed{1} \quad \frac{1}{2} F_3 \sqrt{2} + \frac{1}{2} F_4 \sqrt{3} = 150$$

$$\boxed{2} \quad \frac{1}{2} F_3 \sqrt{2} - \frac{1}{2} F_4 = 0$$

$$\frac{1}{2} F_4 \sqrt{3} + \frac{1}{2} F_4 = 150 \Rightarrow$$

$$F_4 = \frac{150}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{3}} \Rightarrow$$

$$F_4 = \underline{\underline{109,8 \text{ kN}}}$$

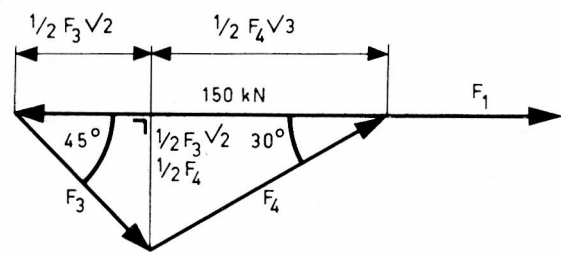
F_3 invullen in vergelijking $\boxed{2}$.

$$\frac{1}{2} F_3 \sqrt{2} = \frac{1}{2} F_4 \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2} F_3 \sqrt{2} = \frac{1}{2} \cdot 109,8 \Rightarrow$$

$$F_3 = \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 109,8\right) 2}{\sqrt{2}} \Rightarrow$$

$$F_3 = \underline{\underline{77,6 \text{ kN}}}$$



Figuur 26

Bij toepassing van de sinusregel, zie fig. 14 geldt:

$$\frac{F_2 - F_1}{\sin 75^\circ} = \frac{F_4}{\sin 45^\circ} = \frac{F_3}{\sin 30^\circ}$$

$$\frac{F_2 - F_1}{\sin 75^\circ} = \frac{F_4}{\sin 45^\circ} \Rightarrow$$

$$\frac{150}{\sin 75^\circ} = \frac{F_4}{\sin 45^\circ} \Rightarrow$$

$$F_4 = \frac{150 \cdot \sin 45^\circ}{\sin 75^\circ} \Rightarrow$$

$$F_4 = \underline{\underline{109,81 \text{ kN}}}$$

$$\frac{F_4}{\sin 45^\circ} = \frac{F_3}{\sin 30^\circ} \Rightarrow$$

$$\frac{109,81}{\sin 45^\circ} = \frac{F_3}{\sin 30^\circ} \Rightarrow$$

$$F_3 = \frac{109,81 \cdot \sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} \Rightarrow$$

$$F_3 = \underline{\underline{77,65 \text{ kN}}}$$

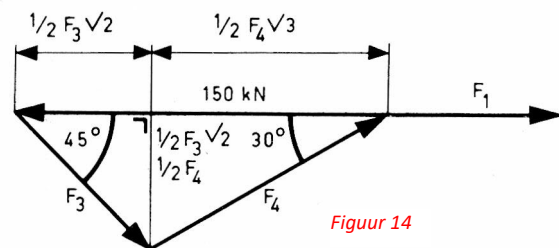
OF

$$\frac{F_2 - F_1}{\sin 75^\circ} = \frac{F_3}{\sin 30^\circ} \Rightarrow$$

$$\frac{150}{\sin 75^\circ} = \frac{F_3}{\sin 30^\circ} \Rightarrow$$

$$F_3 = \frac{150 \cdot \sin 30^\circ}{\sin 75^\circ} \Rightarrow$$

$$F_3 = \underline{\underline{77,65 \text{ kN}}}$$



Figuur 14

- c. Bepaal van alle staven de profiel afmetingen, als deze uitgevoerd worden als gelijkzijdig dubbel hoekstaal.
Staaf 1 en 2 uitvoeren als een geheel.

Staaf 1-2

Benodigde staafdoorsnede:

$$\bar{\sigma}_t = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow$$

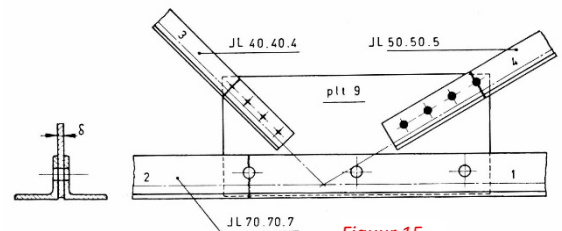
$$A_2 = \frac{220 \cdot 10^3}{140} \Rightarrow$$

$$A_2 = \underline{571,4 \text{ mm}^2}$$

$$A_{2 \text{ per hoekstaal}} = \frac{571,4}{2} = \underline{285,7 \text{ mm}^2}$$

Elk van de hoekstalen wordt ter plaatse van de gevaarlijke doorsnede verzwakt door een boutgat, zie fig. 15.

In de profiel tabellen vinden we voor gelijkzijdig hoekstaal 70x70x7 een verzwakte doorsnede van 793mm².
Staaf 1-2 wordt uitgevoerd als gelijkzijdig dubbel hoekstaal 70x70x7, met een boutgat diameter van 21mm. De profielen worden bevestigd met bouten M20.



Staaf 3

Staaf 3 wordt op druk belast, en er aangenomen dat er geen knikgevaar optreedt.

Benodigde staafdoorsnede:

$$\bar{\sigma}_t = \frac{F_3}{A_3} \Rightarrow$$

$$A_3 = \frac{77,65 \cdot 10^3}{140} \Rightarrow$$

$$A_3 = \underline{554,6 \text{ mm}^2}$$

$$A_{3 \text{ per hoekstaal}} = \frac{554,6}{2} = \underline{277,3 \text{ mm}^2}$$

Staaft 3 wordt uitgevoerd als gelijkzijdig dubbel hoekstaal 40x40x4, met een boutgat diameter van 11mm.

Omdat de pasbouten M10, welke hier gebruikt worden de gaten opvult mag hier met de volle staafdoorsnede gerekend worden. $A_{3\text{ tabel}} = 308\text{mm}^2$.

Staaft 4

Benodigde staafdoorsnede:

$$\bar{\sigma}_t = \frac{F_4}{A_4} \Rightarrow$$

$$A_4 = \frac{109,81 \cdot 10^3}{140} \Rightarrow$$

$$A_4 = \underline{784,6\text{mm}^2}$$

$$A_{4\text{ per hoekstaal}} = \frac{784,6}{2} = \underline{\underline{392,2\text{mm}^2}}$$

Staaft 4 wordt uitgevoerd als gelijkzijdig dubbel hoekstaal 50x50x5, met een boutgat diameter van 13mm. De bouten zijn M12.

- d. Bereken het aantal 4.6 bouten, in alle staven, als deze belast worden op afschuiving

Staaft 1-2.

Staaft 1 en 2 zijn als één geheel uitgevoerd, waarbij krachten F_1 en F_2 elkaar gedeeltelijk opheffen.

De bouten moeten dus weerstand bieden aan een kracht van:
 $220 - 70 = 150\text{kN}$.

Benodigde boutsteeldoorsnede:

$$\bar{\tau}_d = \frac{F_2 - F_1}{A_{1-2}} \Rightarrow$$

$$A_{1-2} = \frac{220 \cdot 10^3 - 70 \cdot 10^3}{112} \Rightarrow$$

$$A_{1-2} = \underline{\underline{1339,3\text{mm}^2}}$$

Beschikbare doorsnede per bout:

$$A = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 \Rightarrow$$

$$A = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 20^2 \Rightarrow$$

$$A = \underline{628,3 \text{ mm}^2}$$

Benodigd aantal bouten:

$$n = \frac{1339,3}{628,3} = 2,13 \text{ Neem voor } \varphi = 1,2 \text{ tabel 1 blz. 16}$$

$$n = 2,13 \cdot 1,2 = 2,56 \text{ afgerond } \underline{\underline{3}} \text{ bouten}$$

Staaf 3

Benodigde boutsteeldoorsnede:

$$\bar{\tau}_d = \frac{F_3}{A_3} \Rightarrow$$

$$A_3 = \frac{77,65 \cdot 10^3}{112} \Rightarrow$$

$$A_3 = \underline{693,3 \text{ mm}^2}$$

Beschikbare doorsnede per bout:

$$A = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 \Rightarrow$$

$$A = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 11^2 \Rightarrow$$

$$A = \underline{190,1 \text{ mm}^2}$$

Benodigd aantal bouten:

$$n = \frac{693,3}{190,1} = 3,65 \text{ Neem voor } \varphi = 1,1 \text{ tabel 1 blz. 16}$$

$$n = 3,65 \cdot 1,1 = 4,02 \text{ afgerond } \underline{\underline{4}} \text{ bouten}$$

Staaf 4

Benodigde boutsteeldoorsnede:

$$\bar{\tau}_d = \frac{F_d}{A_d} \Rightarrow$$

$$A_d = \frac{109,8 \cdot 10^3}{112} \Rightarrow$$

$$A_d = \underline{980,4 \text{ mm}^2}$$

Beschikbare doorsnede per bout:

$$A = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 \Rightarrow$$

$$A = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 12^2 \Rightarrow$$

$$A = \underline{226,2 \text{ mm}^2}$$

Benodigd aantal bouten:

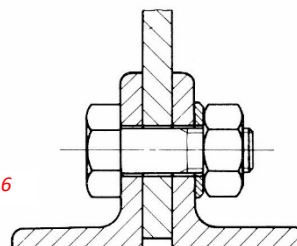
$$n = \frac{980,4}{226,2} = 4,33 \quad \text{Neem voor } \varphi = 1,1 \quad \text{tabel 1 blz. 16}$$

$$n = 4,33 \cdot 1,1 = 4,77$$

Echter bij toepassing van pasbouten met een steeldiameter van 13mm kan worden volstaan met 4 bouten.

- e. Controleer door berekening, in alle staven de stuikspanning tussen hoekstaal en bouten.

Hoewel de bouten, met uitzondering van drukstaaf 3, 1 mm speling hebben in de gaten, verwaarlozen we dit en rekenen we met de diameter van de boutsteel, zie fig. 16.



Figuur 16

Staaft 1-2

Beschikbare oppervlak:

$$A_{1-2} = 3 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 7 \Rightarrow$$

$$A_{1-2} = 840 \text{ mm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{s1-2} = \frac{F_2 - F_1}{A_{1-2}} \Rightarrow$$

$$\bar{\sigma}_{s1-2} = \frac{220 \cdot 10^3 - 70 \cdot 10^3}{840} \Rightarrow$$

$$\bar{\sigma}_{s1-2} = \underline{\underline{178,6 \text{ N/mm}^2}}$$

Staaft 3

Beschikbare oppervlak:

$$A_3 = 4 \cdot 2 \cdot 11 \cdot 4 \Rightarrow$$

$$A_3 = 352 \text{ mm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{s3} = \frac{F_3}{A_3} \Rightarrow$$

$$\bar{\sigma}_{s3} = \frac{77,65 \cdot 10^3}{352} \Rightarrow$$

$$\bar{\sigma}_{s3} = \underline{\underline{220,5 \text{ N/mm}^2}}$$

Staaft 4

Beschikbare oppervlak:

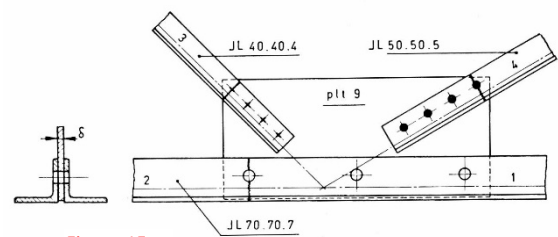
$$A_4 = 4 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 5 \Rightarrow$$

$$A_4 = 480 \text{ mm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{s4} = \frac{F_4}{A_4} \Rightarrow$$

$$\bar{\sigma}_{s4} = \frac{109,81 \cdot 10^3}{480} \Rightarrow$$

$$\bar{\sigma}_{s4} = \underline{\underline{228,8 \text{ N/mm}^2}}$$



Figuur 15

f. De knoopplaatdikte.

Benodigd oppervlak:

Staat 1-2

$$\bar{\sigma}_{s1-2} = \frac{F_2 - F_1}{A_{1-2}} \Rightarrow$$

$$A_{1-2} = \frac{150 \cdot 10^3}{280} \Rightarrow$$

$$A_{1-2} = \underline{535,7 \text{ mm}^2}$$

$$A_{1-2} = 3 \cdot 20 \cdot \delta \Rightarrow$$

$$\delta = \frac{535,6}{3 \cdot 20} \Rightarrow$$

$$\delta = \underline{\underline{8,93 \text{ mm}}}$$

Benodigd oppervlak:

Staat 3

$$\bar{\sigma}_{s3} = \frac{F_3}{A_3} \Rightarrow$$

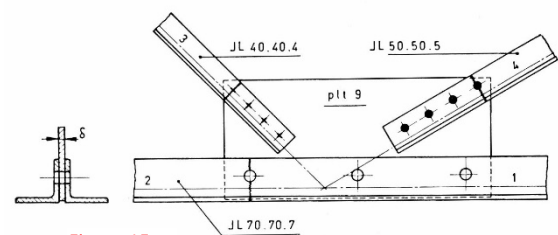
$$A_3 = \frac{77,65 \cdot 10^3}{280} \Rightarrow$$

$$A_3 = \underline{288,3 \text{ mm}^2}$$

$$A_{1-2} = 4 \cdot 11 \cdot \delta \Rightarrow$$

$$\delta = \frac{288,3}{4 \cdot 11} \Rightarrow$$

$$\delta = \underline{\underline{6,6 \text{ mm}}}$$



Figuur 15

Benodigd oppervlak:

Staaf 4

$$\bar{\sigma}_{s4} = \frac{F_4}{A_4} \Rightarrow$$

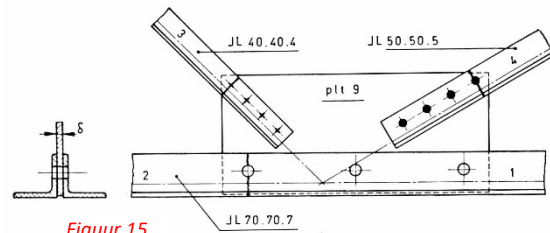
$$A_4 = \frac{109,8 \cdot 10^3}{280} \Rightarrow$$

$$A_4 = \underline{392,1 \text{ mm}^2}$$

$$A_{1-2} = 4 \cdot 13 \cdot \delta \Rightarrow$$

$$\delta = \frac{392,1}{4 \cdot 13} \Rightarrow$$

$$\delta = \underline{\underline{7,5 \text{ mm}}}$$

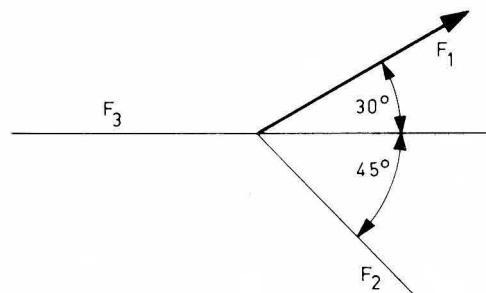


Figuur 15

Opgaven

1. Geg.: In een knooppunt als onderstaand fig. 17 werken de kracht $F_1 = 90 \text{ kN}$. Als staafmateriaal wordt dubbelplat toegepast, materiaal S235 ($Fe360$). $\bar{\tau}_d = 112 \text{ N/mm}^2$ en $\bar{\sigma}_s = 280 \text{ N/mm}^2$.

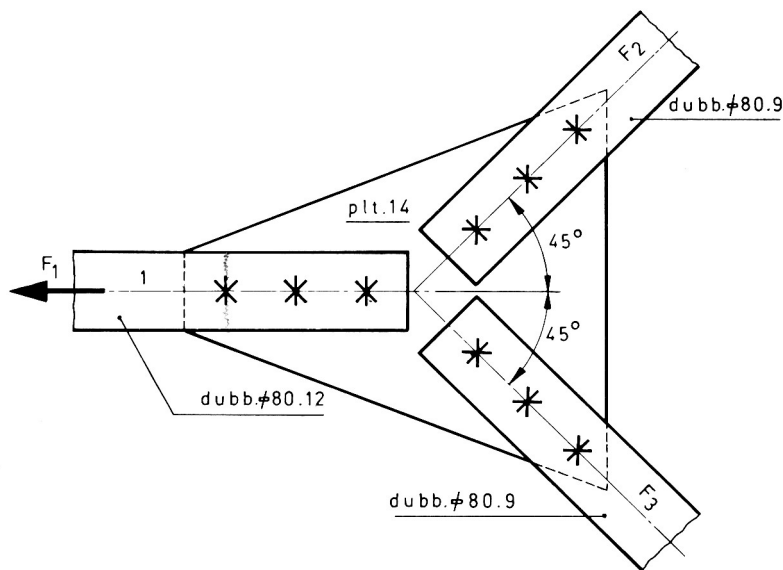
- Gevr.: a. Bereken de staafkrachten F_2 en F_3 .
 b. De boutdiameter van staaf 1, als deze met twee pasbouten wordt bevestigd.
 c. Het aantal pasbouten in de staven 2 en 3.
 d. De afmetingen van het te gebruiken dubbelplat.
 e. De optredende stuikspanning tussen de pasbouten en de staven.
 f. De knoopplaatdikte, berekenen op stuik.
 g. De optredende trekspanning in de drie gevaarlijke doorsnede van de knoopplaat.



Figuur 17

2. Geg.: De staven in het onderstaande fig.18 zijn bevestigd met pasbouten M20.
Diameter gaten 21mm.

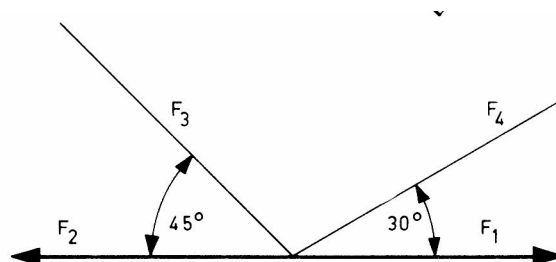
- Gevr.: a. De staafkrachten F_2 en F_3 als $F_1 = 200kN$.
b. De maximaal optredende trekspanning in de staven 1,2 en 3.
c. De optredende schuifspanning in de boutstelen van elk der staven
d. De optredende stuikspanning tussen de boutstelen en de staven 1,2 en 3.
e. De optredende stuikspanning tussen boutstelen en knoopplaat.



Figuur 18

3. Geg.: Op een knooppunt werken krachten volgens onderstaand fig.19.
 $F_1 = 120kN$ en $F_3 = 300kN$.
Het staafmateriaal wat wordt gebruikt is dubbel gelijkzijdig hoekstaal S235 (Fe360).

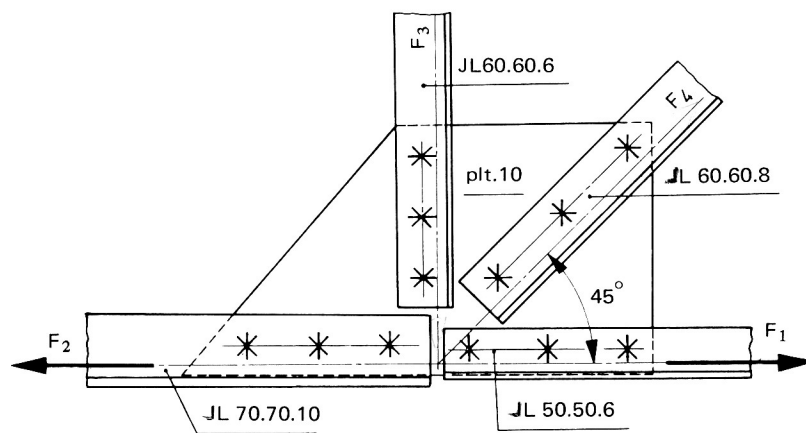
- Gevr.: a. Bereken F_3 en F_4 .
b. Bereken de profielafmetingen, staaf, staaf 1 en 2 een geheel.
c. Bereken het aantal bouten in elk van de profielen.
d. De optredende stuikspanning tussen de bouten en profielen.
e. De knoopplaatdikte, op stuik.



Figuur 19

4. Geg.: De staven van de knoopplaat in het onderstaand fig. 20 zijn bevestigd met bouten.
 Staaf 1-gatdiameter 13 mm, pasbouten bouten M12.
 Staaf 2-gatdiameter 21 mm, pasbouten bouten M20.
 Staaf 3-gatdiameter 17 mm, pasbouten bouten M16.
 Staaf 4-gatdiameter 17 mm, pasbouten bouten M16.

- Gevr.: a. De krachten F_3 en F_4 te berekenen als $F_1 = 130\text{ kN}$ en $F_2 = 280\text{ kN}$.
 b. De maximaal optredende trekspanning in de staven 1, 2 en 4.
 c. De maximumdrukspanning in staaf 3.
 d. De optredende schuifspanning in de bouten van iedere staaf.
 e. De optredende stuikspanning tussen de bouten en elk der staven.
 f. De stuikspanning tussen bouten en knoopplaat.
 g. Welke conclusies zijn te trekken uit de veelal te hoge spanningen?



Figuur 20