

BOUWWERKEN in BUISCONSTRUCTIE.

I

INLEIDING.

Het is algemeen bekend dat reeds voor duizenden jaren belangrijke bouwwerken werden uitgevoerd, die niet alleen als uiting van kunstzin maar vooral ook om de daarbij overwonnen bouwtechnische moeilijkheden onze bewondering afdwingen en het stellig bewijs leveren, dat in alle tijden mannen leefden, die, ook zonder eenige theoretische kennis en alleen gesteund door een sterk ontwikkeld voorstellingsvermogen, schijnbaar onoverkomelijke bezwaren wisten te overwinnen en allen daardoor bijdroegen tot de bevordering van de nog in wording zijnde bouwtechniek.

Voor ruim twee duizend jaar begon ook de theorie, in zeer eenvoudigen vorm nog, eenigszins bekend te worden en kon men reeds de reacties van balken bepalen, die, in verschillenden vorm en uitvoering in hoofdzaak voor het overspannen van openingen werden toegepast. In de 16e eeuw werd door Stevin en Galilei de grondslag gelegd van de statica en de vastheidsleer, terwijl Navier in de 19e eeuw deze theorieën verder ontwikkelde en Culmann het eerste werk schreef over grafische statiek. Ook werd in de 16e eeuw reeds geschreven over bruggen in uitvoering als vakwerk, bestaande uit driehoeken.

Tot in het einde der 18e eeuw namen steen en hout de voornaamste plaats in bij alle bouwwerken en werd vrijwel alleen voor verankeringen en verbindingen ijzer gebruikt, dat voor belangrijke deelen nog niet in aanmerking kwam. Smeaton bracht toen op dit gebied het eerst ijzer in toepassing, echter gegoten ijzer, en Polonceau gebruikte dat materiaal voor bruggen-bouw, terwijl ook von Reichenbach bruggen ontwierp voor uitvoering in gegoten ijzer. Beiden, Polonceau en von Reichenbach kozen daarbij voor de belangrijkste deelen de buisvorm, Polonceau met ovale en von Reichenbach met ronde doorsnede. Ongeveer in den zelfden tijd

werden de eerste walsprofielen gemaakt waarvan toen nog geen belangrijke hoeveelheden werden geleverd.

Later nam door de uitvindingen van Bessemer en Thomas het vervaardigen van walsprofielen in vloeijzer, inmiddels in Duitschland genormaliseerd, grooten omvang aan en werd het gegoten ijzer verdrongen, wijl dat laatste tegen trek en buiging slechts geringen weerstand bezat en tevens, door mogelijke onzichtbare gietfouten, minder betrouwbaar was. Daar echter geen buizen gemaakt konden worden van vloeijzer, geschikt als constructie - element te worden gebruikt, geraakte de buisvorm op den achtergrond en werden algemeen walsprofielen als hoek-, T-, balk- en U-ijzer met stripfen en knoopplaten voor constructiewerken toegepast.

De buis is echter steeds erkend de staafvorm bij uitnemendheid te zijn voor alle vakwerken. Toen echter de naadlooze getrokken buizen in den handel kwamen, was algemeene toepassing daarvan nog niet mogelijk, wijl voor onderlinge verbinding der buizen niet veel anders bekend was dan fittings en flensstukken, welke verbindingsmiddelen te kostbaar waren en niet bijzonder geschikt voor het overbrengen van groote krachten.

Zoodoende bleef het vervaardigen van belangrijke vakwerken uit buizen nog behooren tot het rijk der wenschen, tot dat eindelijk een buisverbinding werd geconstrueerd, die het gebruik van buizen voor vakwerken mogelijk maakt, zoowel met het oog op goede kracht overbrenging als op kosten van aanmaak.

Deze vinding werd vast gelegd in het Nederlandsch octrooi No.9128 en de latere belangrijke verbetering in het Nederlandsch octrooi No.32151.

VAKWERKEN in BUISCONSTRUCTIE.

UITVOERING volgens NED. OCTROOI №. 9128.

Het maken van een vakwerk bestaat eigenlijk in hoofdzaak in het construeeren van de knooppunten. Zoodra dus de knooppuntsvorming is mogelijk gemaakt, kan de gekozen staafvorm, in dit geval de buis, worden toegepast.

Een knooppunt in bovengenoemd octrooi werd op volgende wijze gevormd. De uiteinden der buizen werden met een ingelascht versterkingsstuk tot een rond blad (zie figuur 1) geperst en voorzien, eenerzijds van een groef, anderzijds van een nok. Vervolgens werden b.v. de bovenrandstaven van een spant verbonden als in figuur 2, door van de eene staaf de nok te leggen in de groef van de andere staaf. De binnenzijde van de geperste bladen lag daarbij in het hart der buizen, zoodat deze centrisch belast werden door de doorgaande staafkracht. De aan te sluiten diagonalen werden dan aan de buitenzijde bevestigd, terwijl het geheele gewricht werd samengehouden door een doorgaanden bout.

Hierbij treedt echter in het blad van de staven een nevenspanning op, terwijl door het feit dat de diagonalen niet met de randstaven in een gemeenschappelijk vlak liggen, het geheel eenigszins wordt gewrongen.

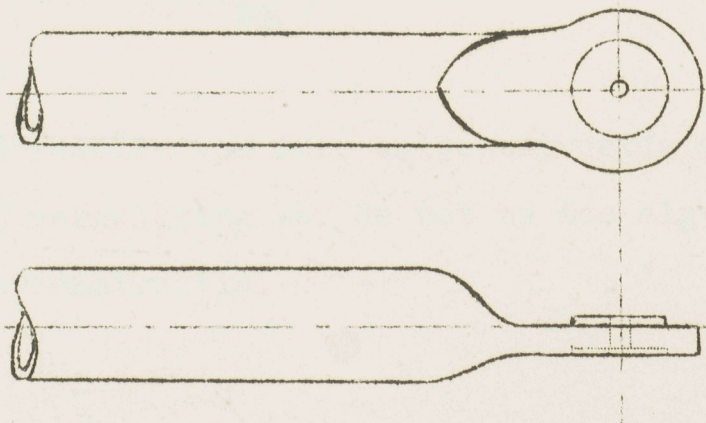


Fig. 1.

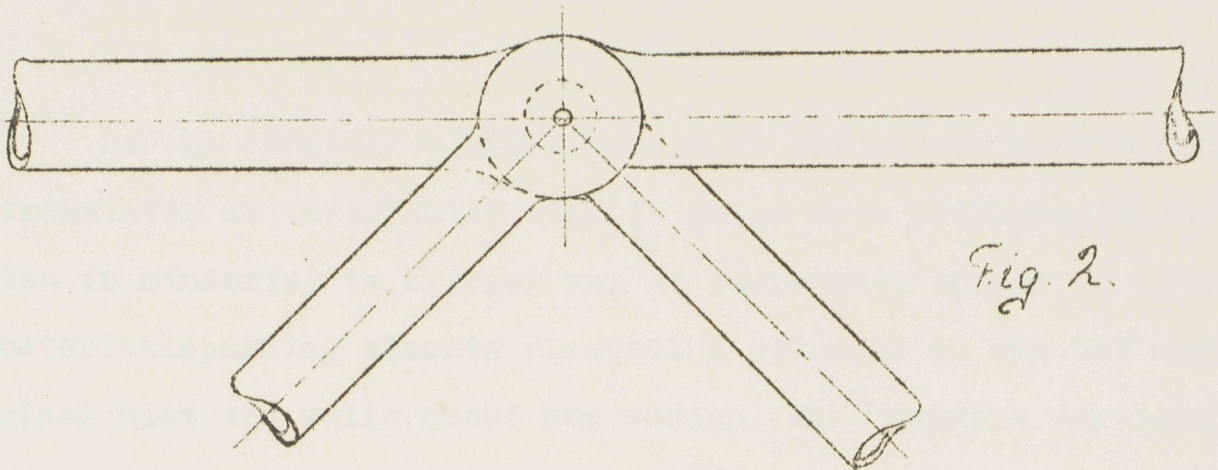
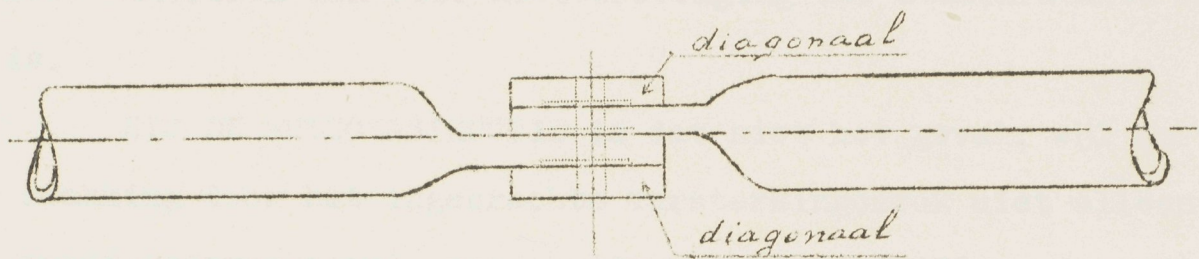


Fig. 2.



De oplegging van de gordingen geschiedde door het plaatsen van een stoeltje op het gewricht (zie figuur 3).

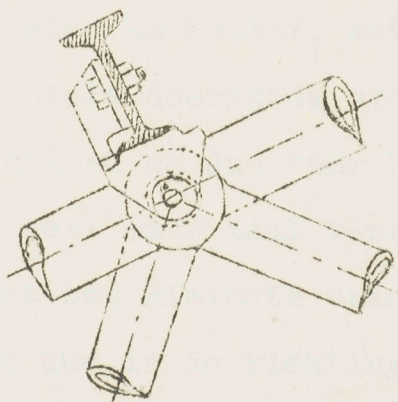


Fig. 3.

De voordeelen van deze buisconstructie vallen terstond in het oog bij vergelijking met de tot nu toe algemeen toegepaste profielijzerconstructie.

VERGELIJKING met PROFIELIJZERCONSTRUCTIE

HET GEWICHT.

BIJ DE PROFIELIJZERCONSTRUCTIE is het steeds noodig voor trekstaven de verzwakking door de gaten voor klinknagels en bouten in mindering te brengen van de doorsnede, zoodat de maximale materiaalspanning slechts plaatselijk optreedt en dus het materiaal niet ten volle benut kan worden. Elk vakwerk vereischt dus meer materiaal dan voor de overbrenging der staafkrachten noodig is.

BIJ DE BUISCONSTRUCTIE is dat niet het geval, wijl de verzwakking door het ingebrachte versterkingsstuk niet alleen wordt gecompenseerd, maar zelfs verre overtroffen. Onnoodig gewicht komt dus hierbij niet in het vakwerk. Bij groote overspanningen heeft dit bovendien nog het niet te onderschatten voordeel, dat daardoor de staafkrachten door eigengewicht ook weer geringer worden.

BIJ DE PROFIELIJZERCONSTRUCTIE zullen de drukstaven bij solide uitvoering moeten bestaan uit minstens twee enkelstaven, op bepaalde afstanden gekoppeld. Hierdoor ontstaat dus steeds een z.g. samengestelde knikstaaf, waarvan de knikzekerheid door het feit, dat de totale doorsnede niet een geheel is, zeer ongunstig wordt beïnvloed en dus voor het bereiken van een bevredigende zekerheid veel materiaal vereischt wordt. Daarbij komt nog, dat steeds met het kleinste traagheidsmoment rekening moet worden gehouden en dus in de richting van het grootste traagheidsmoment het materiaal niet geheel kan worden benut.

BIJ DE BUISCONSTRUCTIE heeft de drukstaaf de gunstigste materiaalverdeeling en naar alle richtingen evengroot traagheidsmoment. Bovendien komen z.g. samengestelde knikstaven niet voor.

Zelfs bij evengroote maximale materiaalspanning en gelijke knikzekerheid bij beide constructies heeft de buisconstructie reeds een geringer eigengewicht. Daar echter het materiaal der buizen hogere vastheidscijfers heeft (zie bij de berekening van Buisconstructies) ontstaat een zeer belangrijk gewichtsverschil.

In de meeste gevallen is het gewicht van profielijzerconstructies 50- 75% hooger dan dat van buisconstructies.

De Heer A.L.v.d. Sluys Veer, kapitein der Genie te Bandoeng, schreef 14 Augustus 1925 hierover in de Waterstaats-Ingenieur en berekende een spant met 12 meter overspanning, daarbij komende tot een gewicht van circa 4.5 Kg. per M2 bedekt oppervlak. Hij vergelijkt dat o.a. met het gewicht door Alfred Gregor opgegeven in Der Praktische Eisenhochbau van 8-10 Kg. per M2 bedekt oppervlak voor spanten van 10-15 meter overspanning (Franz Boerner geeft daarvoor in Statische Tabellen 20-25 Kg. per M2).

De Heer P.W.Scharroo, kapitein der Genie te Amersfoort, schrijft in Het Bouwbedrijf van Mei 1926 eveneens, dat het eigen gewicht van buisconstructies zeer gering is.

DE MONTAGE.

Bij de Profielijzerconstructie vereischt de montage van een vakwerk een montage-plan, waarop voor alle onderdeelen duidelijke merken moeten zijn aangegeven, welke ook op de constructiedeelen moeten zijn aangebracht. Daarbij valt het op, dat zelfs bij normale constructies zeer veel verschillende constructiedeelen voorkomen en zelfs oogenschijnlijk gelijke staven talrijke verschillen hebben b.v. in het aantal en de grootte der gaten, de plaatsing der gaten en eventueele afsnijdingen en meestal ook nog z.g. links en rechts zijn.

BIJ DE BUISCONSTRUCTIE zijn alle staven met gelijke afmetingen ook in alle opzichten gelijk en kunnen dus door verwisseling daarvan geen moeilijkheden of storingen ontstaan. Ook is links en rechts ^{bij} deze staven uitgesloten.

BIJ DE PROFIELIJZERCONSTRUCTIE worden de staven onderling verbonden door, vooral bij groote constructies, groote aantallen klinknagels of bouten.

BIJ DE BUISCONSTRUCTIE is, zooals figuur 1 aantoont het aantal bouten bijzonder gering.

BIJ DE PROFIELIJZERCONSTRUCTIE vereischt dus de montage geschoolde arbeiders voor het lezen der ingewikkelde montage-en

werkteekeningen en eventueel klinken, terwijl

BIJ DE BUISCONSTRUCTIE voor de montage ongeschoolde arbeiders kunnen worden gebruikt en bovendien een geringer aantal, door de groote uniformiteit der onderdeelen en de grootere handelbaarheid daarvan, wat vooral voor afgelegen plaatsen van zeer groot belang is.

BIJ DE PROFIELIJZERCONSTRUCTIE kan de onderlinge verbinding aan betrouwbaarheid belangrijk inboeten door slecht klinkwerk of ^{bij} klink- en boutverbinding beide, door het te veel opruimen der gaten.

BIJ DE BUISCONSTRUCTIE is, als de nok in de overeenkomstige groef is gelegd, de verbinding geheel tot stand gebracht en kan deze door niets meer worden geschaad, waardoor de goede overbrenging der krachten altijd zeker is.

De montage van een werk in buisconstructie zal dus niet alleen goedkooper zijn door het gebruik van meest ongeschoolde krachten, ook nog in geringer aantal, maar vooreen groot deel ook door den korteren duur der geheele montage.

HET TRANSPORT.

A. In het binnenland.

BIJ DE PROFIELIJZERCONSTRUCTIE wordt vaak, om de kosten der montage te verminderen, overgegaan tot het verzenden van vakwerken, gedeeltelijk in elkaar geklonken. De nadeelen daarvan zijn de volgende:

1e. Het opladen der vakwerkdeelen kan aan de fabriek zelf vrij gemakkelijk geschieden door kranen en dergelijke en is vervorming en beschadiging wel te voorkomen. In veel gevallen ^{aligt} echter het montageterrein niet aan spoorweg of vaarwater en moet het ijzerwerk worden overgeladen op plaatsen, waar daartoe meestal de juiste hulpmiddelen, zooals aan de fabriek, niet aanwezig zijn, waardoor het overladen zonder vervorming of beschadiging reeds moeilijk, maar voor het constructiewerk bedenkelijk wordt

door het feit, dat het overladen dan meestal geschieden moet door personen, die aan het verplaatsen van vakwerken niet gewend zijn. Het zenden van daartoe geschikte arbeiders brengt hoge kosten mede.

2e. Het verplaatsen der groote vakwerkstukken, die door gaans zeer zwaar en onhandelbaar zijn, op het montageterrein zelf vereischt bijzondere maatregelen en de aanwezigheid van veel hulpkrachten.

3e. Het aan elkaar leggen der zware vakwerkstukken, zoo, dat de gaten der verschillende verbindingen overeenkomen, vereischt eveneens de aanwezigheid van een vrij groot aantal hulpkrachten.

4e. Vervorming, tijdens het vervoer der vakwerkdeelen, is moeilijk op het montageterrein te herstellen.

BIJ DE BUISCONSTRUCTIE worden alle onderdeelen los verzonden, zoodat het laden, overladen en lossen, zoowel als het verplaatsen der deelen op het montageterrein geen bezwaren met zich brengen en door de groote handelbaarheid der deelen geen gevaar voor beschadiging of vervorming behoeft te worden gevreesd.

Ook voor het in elkaar leggen der vakwerken op het montageterrein zijn slechts weinig arbeiders noodig, terwijl ook met eenvoudige hulpmiddelen kan worden volstaan.

B. Over zee.

BIJ DE PROFIELIJZERCONSTRUCTIE worden voor transport over zee meestal de staven gebundeld en worden deze op het montageterrein verbonden door bouten, waarbij het echter dikwijls noodig is vele staven na het transport z.g. na te richten, door het verbuigen tijdens het in- en uitladen.

BIJ DE BUISCONSTRUCTIE worden eveneens voor het transport over zee de staven gebundeld, doch de buizen zijn door het feit, dat het traagheidsmoment naar alle richtingen gelijk is, veel minder kwetsbaar dan b.v. hoekijzers.

Hierbij speelt vooral het geringe gewicht der buisconstructies een rol en zijn de vrachtkosten veel lager dan bij profielijzerconstructies. Ook bij het vervoer naar afgelegen terreinen

in Indië, waarheen vaak alles door koelies moet worden gedragen, heeft de buisconstructie groot voordeel.

DE FUNDATIE.

Het geringe gewicht der buisconstructies heeft ook gunstigen invloed op de kosten der fundaties, welke bij bouwwerken waarin het eigengewicht een groote rol speelt, belangrijk lager zullen zijn dan bij toepassing van profielijzerconstructies.

HET DEMONTEEREN EN VERPLAATSEN.

Verliest algemeen een profielijzerconstructie veel aan waarde door het demonteeren en worden vele staven daardoor zelfs onbruikbaar door het sloopen der klinknagels, een buisconstructie wordt daarentegen even gemakkelijk gedemonteerd als opgesteld en waardevermindering of onbruikbaar worden van onderdeelen is daarbij uitgesloten.

Een buisconstructie leent zich dus ook bijzonder goed voor vakwerken die verplaatst moeten kunnen worden, door het geringe aantal benodigde arbeiders en de feitelijke onmogelijkheid fouten te maken bij de wederopstelling. Men moet nl. niet uit het oog verliezen dat bij demontage de merken van profielijzerconstructies meestal zullen zijn verdwenen b.v. door overschilderen. Bij buisconstructies zijn lengte en dikte van de staven voldoende voor het onderscheiden (zie ook bij MONTAGE).

DE NEVENSPANNINGEN.

BIJ DE PROFIELIJZERCONSTRUCTIE komen in alle staven nevenspanningen voor. Ten eerste door de stijve knooppunten en ten tweede in belangrijke mate door de aansluitingen der staven aan de knooppunten. Het is nl. ondoenlijk een hoekijzer zoo te bevestigen, dat de staafkracht zuiver centrisch op de staaf werkt, omdat het vlak, waarin de klinknagels of bouten zouden worden afgeschoven, steeds aan de buitenzijde en tamelijk ver van de lengteas der staaf ligt, ook bij toepassing van een z.g. samengestelde staaf uit twee evengroote profielen, zal toch elke enkelstaaf in denzelfden toestand verkeeren. De momenten, die daardoor ontstaan, werken door de geheele staaf en veroorzaken dus overal

nevenspanningen.

BIJ DE BUISCONSTRUCTIE uitgevoerd volgens Ned. Octrooi N^o 9128, werkt alleen een moment in het blad, wijl daarvoorbij de staaf zuiver centrisch is belast. Hier treden dus alleen in het blad nevenspanningen op (zie verder hierover bij VAKWERKEN in BUISCONSTRUCTIE volgens Ned. Octrooi N^o.32151).

DE KOSTEN.

Bij het vergelijken van den prijs van buisconstructies met dien van profielijzerconstructies moet niet zoozeer de prijs van het constructiewerk alleen worden vergeleken, maar de totale prijs met inbegrip van alle bijkomende zaken, zooals transport, montage en fundaties.

Het blijkt dan dat bij buisconstructies

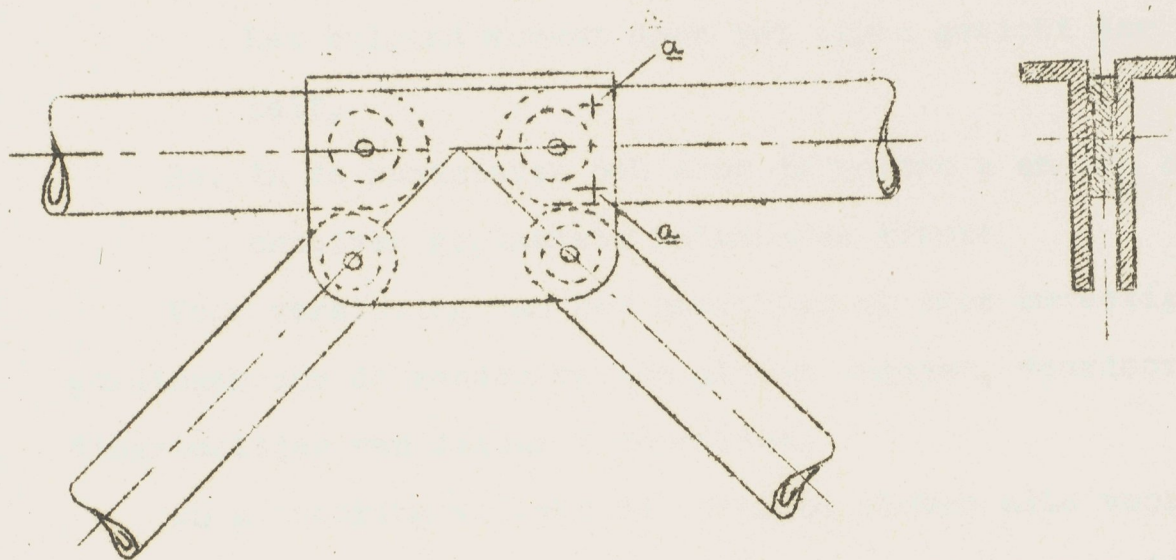
- 1e. het transport goedkooper is,
- 2e. de montage goedkooper is,
- 3e. de fundatie goedkooper is, dan bij profielijzerconstructie

De kosten van de buisconstructies zelf zullen onder normale omstandigheden d.w.z. als niet met verlies of met steun van subsidies wordt gewerkt, ook lager zijn dan van profielijzerconstructies.

VAKWERKEN in BUISCONSTRUCTIE.

UITVOERING volgens Ned. Octrooi N^o 32151.

Tot het vormen van een knooppunt worden de buiseinden met ingelascht versterkingsstuk, geperst tot een blad met een vorm zooals aangegeven in figuur 4. In afwijking van de uitvoering volgens octrooi N^o 9128 wordt thans het blad aan beide zijden voorzien van een groef.



De bladen der te verbinden staven worden nu dicht bij elkaar gebracht en de zoo gevormde bladengroep wordt tusschen twee platen, die elk van overeenkomstige nokken zijn voorzien, geklemd. Wijl hierbij de bladen in het hart van de staven worden gehouden en aan beide zijden worden bevestigd; zijn de staven nu zuiver centriscb belast en liggen tevens alle staven in één vlak.

Hierdoor zijn de nevenspanningen in de bladen, zooals genoemd bij II, voorkomen en is het daarbij genoemde wringen van het vakwerk uitgesloten.

Om de platen niet in labiel evenwicht te doen verkeeren worden de bouten a nog aangebracht. Immers, in het geval dat een belastende kracht niet zuiver door het gemeenschappelijke snijpunt der staafassen gaat, en dus een moment ten opzichte van dat punt zou geven, zou geen der aansluitende staven in

staat zijn het knooppunt in evenwicht te houden, wijl, door het feit, dat de hefboomsarmen van de staafkrachten tot dat punt gelijk nul zijn, daartoe een oneindig groote kracht noodig zou zijn.

De nevenspanningen zijn hierdoor tot een buitengewoon geringe grootte terug gebracht en kunnen strikt genomen alleen worden veroorzaakt:

1e. in de vulstaven, als de staaf niet verticaal is, door het buigend moment door het eigen gewicht der staaf zelf,

2e. In de randstaven ook door de bouten a en een eventueel onzuiver geplaatste belastende kracht.

Voor verstijving van het knooppunt en voor bevestiging der gordingen zijn de randen van de platen omgezet, waardoor de gordingstoeltjes van figuur 3 vervallen.

Bij uitvoering volgens dit octrooi blijven alle voordeelen, genoemd onder III, tenvolle bestaan en wordt de vergelijking der nevenspanningen voor deze constructie nog belangrijk gunstiger.

Hierbij is het tevens zeer eenvoudig geworden constructie-deelen, in andere vlakken gelegen, op te leggen of aan te sluiten.

DE BEREKENING VAN BUISCONSTRUCTIES

A. De staaf en het buiseinde.

Fig. 5.

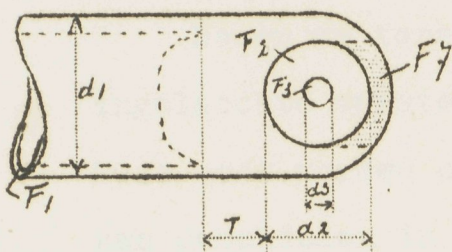


Fig. 6.

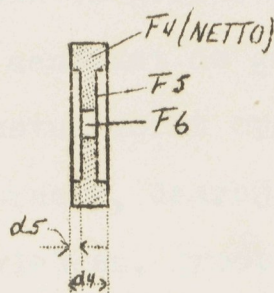
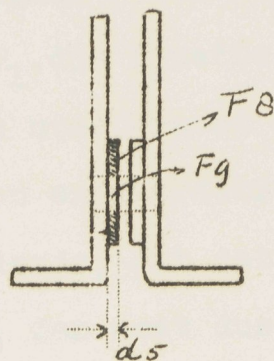


Fig. 7.



Noemen we de normale doorsnede van de buis F_1 en de spanning, in het materiaal toe te laten σ_t , dan is de grootste kracht, die door de staaf kan worden opgenomen $F_1 \sigma_t$ (zie fig. 5).

De nokken worden door het overbrengen van deze kracht van knooppunt op staaf, belast op afschuiving in 2 vlakken F_2 vermindert met F_3 (zie fig. 5) en op lijfdruk in 2 vlakken F_8 vermindert met F_9 (zie fig. 7). Noemen we de toe te laten schuifspanning σ_s en de geoorloofde lijfdrukspanning σ_L en stellen we, dat de schuifspanning σ_s gelijk mag zijn aan σ_t en de lijfdrukspanning aan $2 \cdot \sigma_t$, dan is dus $\sigma_s = \frac{\sigma_L}{2}$.

Dan moet ook het totale vlak voor afschuiving F_s gelijk zijn aan of groter zijn dan de buisdoorsnede F_1 , het totale vlak voor lijfdruk F_L moet met 2 vermenigvuldigd, gelijk zijn aan of groter zijn dan F_1 , dus $F_s = 2(F_2 - F_3) \geq F_1$ en $2 \cdot F_L = 2 \cdot 2(F_8 - F_9) \geq F_1$.

Verder zal, in geval een staaf op trek belast is, het stuk in figuur 5 aangeduid door F_7 gevaar lopen, afgeschoven te worden. Nemen we aan, dat het af te schuiven stuk aan elke zijde van het blad gelijk is aan een vierde deel eener ring, waarvan de buitendiameter gelijk is aan d_1 en de binnendiameter aan d_2 , dan is het berekende oppervlak kleiner dan het vlak, dat voor afschuiving in aanmerking genomen kan worden. Laten we ook in deze vlakken een schuifspanning toe gelijk aan σ_t en noemen we beide vlak-

ken samen F_7 , dan moet dus F_7 gelijk zijn aan of groter zijn dan F_1 , dus $F_7 \geq F_1$.

Vervolgens moet de geheele staafkracht kunnen worden overgebracht door de doorsnede F_4 netto (zie figuur 6) en moet dus ook F_4 netto gelijk zijn aan of groter dan F_1 , dus $F_4 \text{ netto} \geq F_1$.

Nemen we tenslotte aan, dat de geheele staafkracht door het ingelaschte versterkingsstuk wordt opgenomen en daardoor op de buis moet worden overgebracht, daarbij stellende, dat dat alleen kan geschieden in twee vlakken, groot $d_1 \cdot T$, dan moet dus $2 \cdot d_1 \cdot T$ gelijk zijn aan of groter dan F_1 , dus $2 \cdot d_1 \cdot T \geq F_1$ of $T \geq$

$$\frac{F_1}{2 \cdot d_1} .$$

In het bovenstaande is:

d_1 = de buitendiameter van de buis.

d_2 = de diameter van groeven en nokken.

d_3 = de diameter van den doorgaanden bout.

d_4 = de dikte van het blad.

d_5 = de diepte van de groeven en de hoogte van de nokken.

F_1 = de normale buisdoorsnede

$$F_2 = \frac{\sqrt{d_2^2}}{4}$$

$$F_3 = \frac{\sqrt{d_3^2}}{4}$$

$$F_4 \text{ netto} = d_1 \cdot d_4 - 2 \cdot d_2 \cdot d_5 - d_3 (d_4 - 2d_5) = d_1 \cdot d_4 - F_5 - F_6$$

$$F_5 = 2 \cdot d_2 \cdot d_5$$

$$F_6 = d_3 (d_4 - 2d_5)$$

$$F_7 = 2 \cdot \left[\frac{\sqrt{d_1^2}}{4} - \frac{\sqrt{d_2^2}}{4} \right] = \frac{\sqrt{d_1^2}}{8} - \frac{\sqrt{d_2^2}}{8} = \frac{\sqrt{d_1^2 - d_2^2}}{8}$$

$$F_8 = \frac{F_5}{2}$$

$$F_9 = d_3 \cdot d_5.$$

In de tabel van de normale buiseinden zijn de waarden voor d_1 tot en met d_5 , F_1 tot en met F_7 , $2 \cdot F_1$, F_8 en T opgenomen.

Nemen we als voorbeeld uit de tabel een buis met 2" diameter dan is volgens die tabel

$$d_1 = 5.08 \text{ cm } d_2 = 3.5 \text{ cm } d_3 = \frac{5''}{8} = 1.6 \text{ cm } d_4 = 2 \text{ cm}$$

$$d_5 = 0.6 \text{ cm en } F_1 = 3.79 \text{ cm}^2.$$

$$F_2 \text{ is dan } \frac{\sqrt{d_2^2}}{4} = 0.7854 \cdot 3.5^2 = 9.62 \text{ cm}^2.$$

$$F_3 = \frac{\sqrt{d_3^2}}{4} = 0.7854 \cdot 1.6^2 = 2 \text{ cm}^2.$$

$$F_5 = 2 \cdot d_2 \cdot d_5 = 2 \cdot 3.5 \cdot 0.6 = 4.2 \text{ cm}^2$$

$$F_6 = d_3(d_4 - 2d_5) = 1.6(2 - 2 \cdot 0.6) = 1.6 \cdot 0.8 = 1.28 \text{ cm}^2.$$

$$F_{4\text{netto}} = d_1 \cdot d_4 - F_5 - F_6 = 5.08 \cdot 2 - 4.2 - 1.28 = 4.68 \text{ cm}^2.$$

dus groter dan $F_1 = 3.79 \text{ cm}^2$.

$$F_7 = \frac{\sqrt{d_1^2}}{8} (d_1^2 - d_2^2) = 0.3927 (5.08^2 - 3.5^2) = 5.3 \text{ cm}^2.$$

dus groter dan $F_1 = 3.79 \text{ cm}^2$.

$$2 \cdot F_L = 2 \cdot 2(F_8 - F_9) = 4 \left(\frac{F_5}{2} - d_3 \cdot d_5 \right) = 4 \left(\frac{4.2}{2} - 1.6 \cdot 0.6 \right) = 4.56 \text{ cm}^2$$

dus groter dan $F_1 = 3.79 \text{ cm}^2$.

$$F_S = 2(F_2 - F_3) = 2(9.62 - 2) = 15.24 \text{ cm}^2.$$

dus groter dan $F_1 = 3.79 \text{ cm}^2$.

$$T = \frac{F_1}{2 \cdot d_1} = \frac{3.79}{2 \cdot 5.08} = 0.373 \text{ cm}^2, \text{ voorgeschreven is } T_{\text{minimum}} = 2 \text{ cm}.$$

$$2 \cdot T \cdot d_1 = 2 \cdot 2 \cdot 5.08 = 20.32 \text{ cm}^2 \text{ dus groter dan } F_1 = 3.79 \text{ cm}^2.$$

Is dus in verband met op te nemen staafkracht en toe te laten materiaalspanning de buisdiameter gekozen, dan is door het normale buiseinde de gewenschte aansluiting van de staaf gelijktijdig bepaald en is doorvoering van de gegevens der statische berekening in de aansluitingen verzekerd, zonder dat daarvan nog eenige berekening behoeft te worden opgezet.

Bij het uitwerken van vakwerken bespaart dit den constructeur veel arbeid en is het maken van fouten daarin, zooals bij het bepalen van klinknagels of bouten, enkelsnedig of dubbelsnedig, uitgesloten.

B. Vergelijking van de spanningen in de buiseinden.

Noemen we de maximale materiaalspanning in de normale doorsnede van de buis S_t en de schuifspanning in de nokken S_{sn} dan is

$$\frac{S_t}{S_{sn}} = \frac{F_s}{F_l} = a_1$$

De kleinste waarde voor a_1 is tabel 3 is 2.82 (bij 1½" buis) dus is de schuifspanning in de nokken hoogstens gelijk aan $S_{sn(max)} = \frac{S_t}{2.82} = 0.355 S_t$ of 35.5 % van de spanning in de normale doorsnede.

Noemen we de lijfdrukspanning in de nokken S_L dan is

$$\frac{2S_t}{S_L} = \frac{2F_l}{F_l} = a_2$$

De kleinste waarde voor a_2 in tabel 3 is 1.06 (Bij 1½" buis) dus is de lijfdrukspanning in de nokken hoogstens gelijk aan $S_L(max) = \frac{2S_t}{1.06} = 1.89 S_t$ of 189 % van de spanning in de normale doorsnede.

Noemen we de schuifspanning in vlak 7 S_{s7} dan is

$$\frac{S_t}{S_{s7}} = \frac{F_7}{F_l} = a_3$$

De kleinste waarde voor a_3 in tabel 3 is 1.28 (bij 1½" buis) dus is de schuifspanning in de vlakken F_7 hoogstens gelijk aan $S_{s7(max)} = \frac{S_t}{1.28} = 0.782 S_t$ of 78,2% van de spanning in de normale doorsnede.

Noemen we de spanning in F_4 netto S_4 dan is

$$\frac{S_t}{S_4} = \frac{F_4 \text{ netto}}{F_l} = a_4$$

De kleinste waarde voor a_4 in tabel 3 is 1,01 (bij 12" buis met wanddikte 25 mm) dus is de spanning in vlak F_4 netto hoogstens gelijk aan $S_4(max) = \frac{S_t}{1.01} = 0.99 S_t$ of 99% van de spanning in de normale doorsnede.

Noemen we tenslotte de schuifspanning in de lasch, ter breedte van T_{min} S_{st} dan is

$$\frac{S_t}{S_{st}} = \frac{2 \cdot d_1 \cdot T}{F_l} = a_5$$

De kleinste waarde voor a_5 in tabel 3 is 2.14 (bij 12" buis met wanddikte 22.5 mm) dus is de spanning in de lasch hoogstens

gelijk aan $S_{st} \text{ (max)} = \frac{S_t}{2.14} = 0.467 S_t$ of 46.7% van de spanning in de normale doorsnede.

Wijl echter het laschoppervlak belangrijk grooter is dan 2.d1.T en bovendien door de lasch slechts een deel der totale staafkracht wordt overgebracht, is de spanning $S_{sn} \text{ (max)}$ nog veel lager dan 46,7% van S_t .

TABEL 3.

Buis diam:	$a_1 = \frac{F_3}{F_1}$	$a_2 = \frac{2F_1}{F_1}$	$a_3 = \frac{F_7}{F_1}$	$a_4 = \frac{F_{4netto}}{F_1}$	$a_5 = \frac{2.d1.T}{F_1}$
1 $\frac{1}{2}$ "	2.82	1.335	1.28	1.405	6
2"	4.02	1.2	1.4	1.236	5.36
2 $\frac{1}{2}$ "	4.88	1.22	1.375	1.055	3.46
3"	6.31	1.355	1.58	1.08	4.42
3 $\frac{1}{2}$ "	7.13	1.34	1.66	1.478	4.06
4"	6.34	1.13	1.85	1.3	3.98
4 $\frac{1}{2}$ "	7.42	1.185	2.08	1.3	3.51
5"	7.95	1.14	2.04	1.22	3.28
5 $\frac{1}{2}$ "	7.94	1.355	1.95	1.22	2.83
6"	8.82	1.39	2.1	1.22	2.82
6 $\frac{1}{2}$ "	8.92	1.35	2.47	1.25	2.81
7"	9.78	1.38	2.56	1.25	2.81
7 $\frac{1}{2}$ "	8.76	1.16	2.22	1.027	2.44
8"	8.85	1.13	2.35	1.05	2.38
8 $\frac{1}{2}$ "	8.02	1.17	2.21	1.2	2.52
9"	8.64	1.19	2.3	1.2	2.52
9 $\frac{1}{2}$ "	9.25	1.21	2.31	1.3	2.51
10"	9.85	1.225	2.49	1.2	2.51
10 $\frac{1}{2}$ "	9.74	1.155	2.33	1.11	2.34
11"	8.84	1.06	2.45	1.05	2.61
11 $\frac{1}{2}$ "	9.70	1.07	2.34	1.06	2.61
12"	10.05	1.085	2.64	1.055	2.61
12"/10	13.22	1.1	3.46	1.26	2.63
12"/12.5	13.90	1.23	3.42	1.43	2.65
12"/15	11.66	1.29	2.87	1.21	2.23
12"/17.5	10.12	1.12	2.49	1.055	2.31
12"/20	8.94	1.32	2.2	1.24	2.39
12"/22.5	8	1.18	1.97	1.11	2.14
12"/25	7.27	1.07	1.79	1.01	2.22

Om te contrôleeren of het ingelaschte versterkingsstuk werkelijk een geheel met de buis is geworden, zijn verschillende proeven genomen, o.a. door de Testing Works and Chemical Laboratories van R. Stanger te London en door de Mannesmann-Röhren-Werke te Düsseldorf-Rath.

Bij de Testing Works and Chemical Laboratories van R. Stanger werd een buis met 2" diameter, met ingelaschte versterkingsstukken getrokken, waarbij de breuk plaats vond in de normale doorsnede van de buis, bij een trekkracht van 24.97 tons (25369.52 Kg) (zie bijlage 1).

Bij de Mannesmann-Röhren-Werke werden twee buizen met 2" diameter verbonden door een nok en een groef, getrokken. De nok werd bij deze proef afgeschoven bij een trekkracht groot 17500 Kg (zie bijlage II)

In beide gevallen bleek de inlassching van de versterkingsstukken afdoende te zijn.

Aangezien de buiten-zijden van het blad worden gevormd uit den oorspronkelijken wand van het buiseinde, wordt dus niet de geheele staafkracht overgebracht door den lasch en dient het versterkingsstuk in hoofdzaak ter vervanging van de oorspronkelijke buiswandstukken, die door het fraisen der groeven zijn verloren gegaan.

Door het werken met een op de juiste temperatuur afgestelden gloeioven en het periodiek controleeren der resultaten, wordt een geheel betrouwbare aansluiting verkregen.

C. DE KNOOPPLATEN.

Der verbinding der staven bij een knooppunt wordt steeds tot stand gebracht door het aan weerszijden aanbrengen van platen. Deze platen zijn voorzien van nokken, die, in de groeven der staafeinden gelegd, de staafkrachten op de platen overbrengen. Bovendien zijn de platen steeds voorzien van een omgezetten rand, welke het mogelijk maakt, constructie-deelen in andere vlakken gelegen, op te leggen of aan te sluiten (zie figuur 8).

figuur 8.

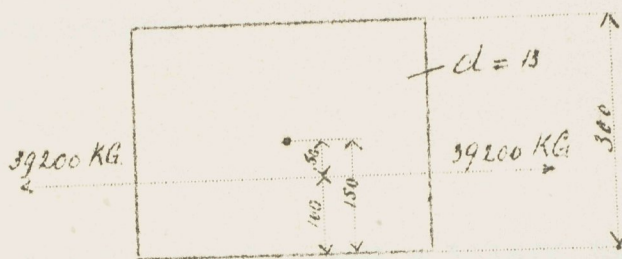
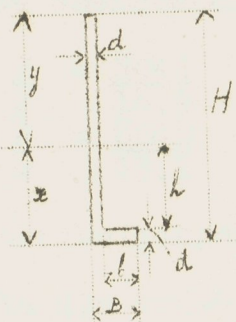


Fig 9.

Een groot voordeel van dezen omgezetten rand is ook, dat de buigspanningen in de gevaarlijke doorsnede van de platen, gering worden door het feit, dat het zwaarte-punt door de aanwezigheid van den rand naar die zijde verplaatst wordt, zoodat het moment van de over te brengen staafkracht slechts klein is.

De zwaartepuntsafstand x is met invoering der letters van fig. 8 gelijk aan:

$$x = \frac{d \cdot H \cdot \left(\frac{H}{2}\right) + b \cdot d \cdot \frac{d}{2}}{d \cdot H + b \cdot d} = \frac{\frac{d \cdot H^2}{2} + \frac{b \cdot d^2}{2}}{d \cdot H + b \cdot d} = \frac{d H^2 + b d^2}{2(dH + bd)} =$$

$$\frac{dH \left(\frac{b \cdot d}{H} + H \right)}{2 dH \left(\frac{b}{H} + 1 \right)} = \frac{\frac{bd}{H} + H}{2 \left(\frac{b}{H} + 1 \right)} = \frac{b \cdot d + H^2}{2(b + H)}$$

Het traagheidsmoment van de twee platen tezamen is met invoering van de letters van fig. 8 gelijk aan

$$J = 2 \left(\frac{B \cdot x^3}{3} - \frac{b \cdot h^3}{3} + \frac{d \cdot y^3}{3} \right)$$

Als voorbeeld berekenen wij de materiaalspanningen in de knoopplaat No. 12 van het hoofdspant der uitgevoerde vliegtuigenloods te Soesterberg (zie fig. 9)

De over te brengen kracht is daarbij + 39200 Kg. en deze

werkt op een afstand van 10 cm vanaf den omgezetten rand.

Bij deze platen is $H = 30$ cm. $b = 6 - 1,3 = 4,7$ cm. $d = 1,3$ cm., $h = 11,8$ cm en $B = 6$ cm.

De doorsnede $F = 2d (H + b) = 2 \cdot 1,3 (30 + 4,7) = 90,2$ cm²

De zwaartepuntsafstand is

$$x = \frac{b \cdot d + H^2}{2(b + H)} = \frac{4,7 \cdot 1,3 + 30^2}{2(4,7 + 30)} = \frac{906,1}{2 \cdot 34,7} = 13,1 \text{ cm}$$

Het traagheidsmoment is:

$$J = 2 \left(\frac{B \cdot x^3}{3} - \frac{b \cdot h^3}{3} + \frac{d \cdot y^3}{3} \right) = 2 \left(\frac{6 \cdot 13,1^3}{3} - \frac{4,7 \cdot 11,8^3}{3} + \frac{1,3 \cdot 16,9^3}{3} \right) = 8040 \text{ cm}^4.$$

De weerstandsmomenten zijn daarbij

$$W_1 = \frac{J}{y} = \frac{8040}{16,9} = 476 \text{ cm}^3.$$
$$W_2 = \frac{J}{x} = \frac{8040}{13,1} = 614 \text{ cm}^3.$$

Het buigingsmoment $M = 39200$, $(13,1 - 10) = 121400$ Kg.

In den vrijen rand is dan de materiaalspanning gelijk

$$T_1 = \frac{P}{F} - \frac{M}{W_1} = + \frac{39200}{90,2} - \frac{121400}{476} = +435 - 255 = +180 \text{ Kg/cm}^2$$

In den omgezetten rand is de materiaalspanning gelijk T_2

$$T_2 = \frac{P}{F} + \frac{M}{W_2} = + \frac{39200}{90,2} + \frac{121400}{614} = +435 + 198 = +633 \text{ Kg/cm}^2$$

Ingeval de omgezette rand niet zou zijn aangebracht zou het weerstandsmoment voor beide randen gelijk zijn aan

$$W = 2(1,3 \cdot 30^2) = 390 \text{ cm}^3.$$

de doorsnede F aan $2 \cdot 1,3 \cdot 30 = 78$ cm².

het moment van $39200 (15-10) = 196000$ Kg/cm.

De grootste materiaalspanning zou dan zijn gelijk aan

$$T \times \frac{P}{F} + \frac{M}{W} = \frac{39200}{78} + \frac{196000}{390} = +503 + 503 = +1006 \text{ Kg/cm}^2$$

Door het weglaten van den rand zou in dit geval de materiaalspanning dus

$$100 \cdot \frac{1006 - 633}{633} = 100 \cdot \frac{373}{633} = 59\% \text{ hooger zijn geworden.}$$

Waar voor het werk, waarbij deze platen zijn toegepast, een materiaalspanning van 1200 Kg/cm^2 was toegestaan, zou dus de

dikte belangrijk geringer genomen kunnen zijn zonder dat in de platen gevaarlijke spanningen zouden zijn opgetreden.

Het is hierbij mogelijk, de platen zulke afmetingen te geven, dat de richtingslijn van de over te brengen staafkracht juist door het zwaartepunt van de gevaarlijke plaatdoorsnede gaat.

De afstand x kan dan gemakkelijk door probeeren op de gewenschte grootte worden gebracht. Wordt nl. in de formule

$$x = \frac{b \cdot d + H^2}{2(b + H)}$$

de waarde van b groter gemaakt, dan wordt x kleiner: wordt H groter gemaakt dan wordt x groter.

De invloed van H is daarbij belangrijk groter dan die van b .

Het is echter niet noodzakelijk, dat het zwaartepunt op de richtingslijn van de over te brengen staafkracht ligt. Wel verdient het de voorkeur te zorgen, dat de richtingslijn van bedoelde kracht binnen de kern van de gevaarlijke plaatdoorsnede blijft, waardoor de materiaalspanningen in die doorsnede wel verschillend van grootte kunnen worden, doch soortgelijk blijven (of trek of druk) en z.g. spanningswisseling bij rustende belasting uitgesloten is.

d. VASTHEIDSCIJFERS.

De buizen worden vervaardigd uit materiaal, dat aan hoge eisen voldoet en de verschillende waarden hiervoor zijn de volgende:

Elasticiteitsmodul	2240.000 Kg/cm ²
Elasticiteitsgrens	2.400 Kg/cm ²
Proportionaliteitsgrens	2500 - 5.000 Kg/cm ²
Trekvastheid	4500 - 7.000 Kg/cm ²

Tetmajer stelt als geldigheidsgrens voor de knikformule van Euler, de slankheid $x = 90$.

De knikspanning is volgens Euler

$$T_k = \frac{\sqrt{2}^2 E J}{P l^2} = \sqrt{2}^2 E \left(\frac{i}{L}\right)^2 = \frac{\sqrt{2}^2 E}{x^2}$$

Bij een slankheid $x = 90$ is dus de knikspanning $T_k = \frac{\sqrt{2}^2 \cdot 2240000}{90^2} = 2730 \text{ Kg/cm}^2$ wat goed overeenkomt met bovenstaande opgave voor de proportionaliteitsgrens.

De knikzekerheid is dus volgens Euler

$$Z = \frac{\sqrt{2}^2 E J}{P l^2}$$

volgens Tetmajer

$$Z = \frac{F(3350 - 6,2 x)}{P}$$

Het benodigde traagheidsmoment is volgens Euler voor
5-voudige zekerheid $2.23 PL^2$ (p in t, L in M)
voor 4-voudige zekerheid $1.79 PL^2$ (p in t, L in M)
voor 3-voudige zekerheid $1.34 PL^2$ (p in t, L in M)
waarbij $\sqrt{2}^2$ is gerekend gelijk 10.

In de tabellen 4, 5, 6 en 7 zijn de kniklasten van 1 tot 9 M.

Het gebruik van deze tabellen is zeer eenvoudig.

Moet men b.v. het profiel zoeken voor een 3 Meter lange staaf, die een belasting van 12000 Kg. met 4-voudige zekerheid

moet kunnen houden, dan zoekt men dus een buis met een kniklast van $4.12.000 = 48000$ Kg. bij een kniklengte van 3 M. Men vindt dan door tabel 4 een buis $5\frac{1}{2}$ " diameter met een kniklast van 56500 Kg.

De buis 5" diameter heeft een kniklast van 45500 Kg. en zou dus geen 4-voudige zekerheid bieden waarom de naast hoogere diameter wordt gekozer.