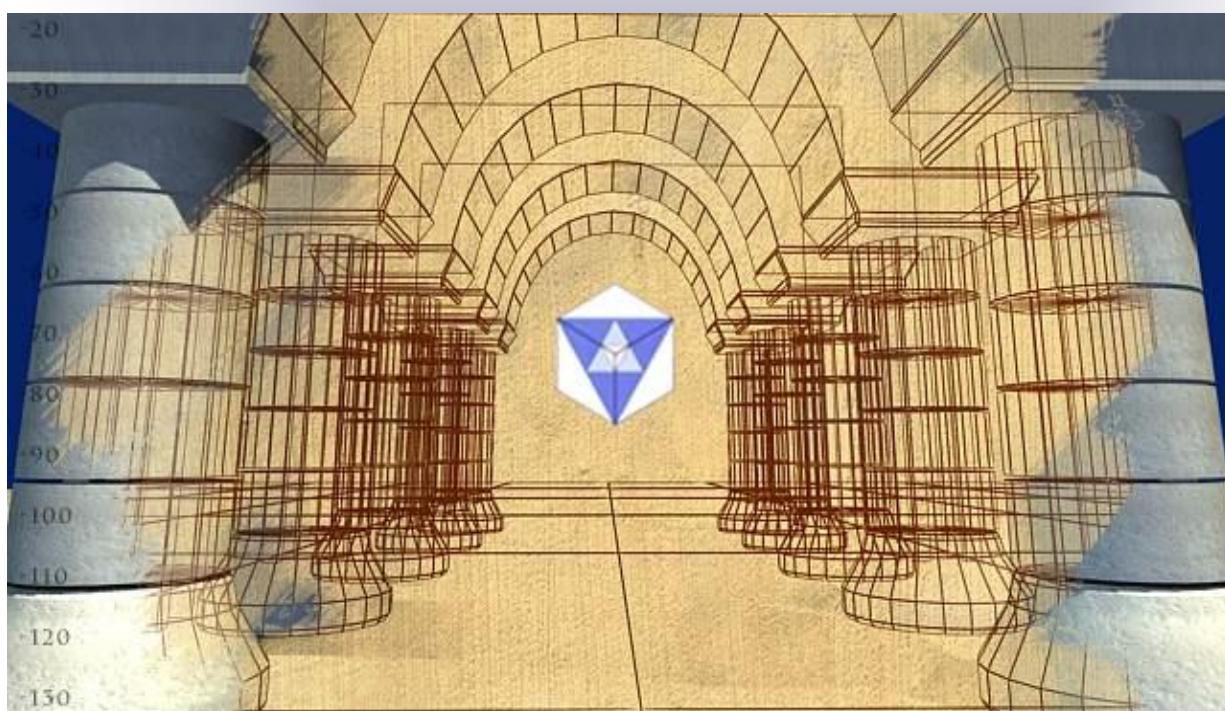


KLEMCONSTRUCTIES OP PALEN



STUBECO STUDIECEL A1 2/2

Datum: Maart 2014 + rev. April 2018
Status: definitief

Aan het oorspronkelijke rapport hebben meegewerkt:

G.A. Brandt
J.J. Blok
H.P. Houtman, Voorzitter
E.A. Zwaanswijk
L. Zwetheul

R.W.S Directie Bruggen
Ballast Nedam Groep
Bredero Bouw
Rijksdienst IJsselmeerpolders
van Hattum en Blankenvoort

Het rapport is herzien en geüpdatet door

L. Verboom
ing. A.J. Jeurdink

ERA Contour B.V.
Heijmans Civiel B.V.

November 2013

Rev. April 2018: Eenheden van het aandraaimoment aangepast in tabellen p.69+70 : KNm moet Nm zijn

De Studievereniging Uitvoering Betonconstructies (Stubeco) en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het verwerken van de in deze publicatie vervatte gegevens.

Nochtans moet niet de mogelijkheid worden uitgesloten dat er zich toch onjuistheden in deze publicatie kunnen bevinden. Degene die van deze publicatie gebruik maakt, aanvaardt daarvan het risico. De Stubeco sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

Gehele of gedeeltelijke overname van de inhoud is alleen toegestaan met schriftelijke toestemming van het Stubeco-bestuur.

*Deze publicatie is verkrijgbaar bij:
Stubeco, Büchnerweg 3, Postbus 411, 2800 AK Gouda
tel.nr. (0182) 53 92 33, fax (0182) 53 75 10
e-mail: info@stubeco.nl - website: www.stubeco.nl*

Inhoudsopgave

1	Opdracht	5
2	Inleiding	6
3	Handleiding voor de toepassing van paalklemmen	8
3.1	Materialen	8
3.2	Aanbrengen / wegnemen	10
4	Voorbeelden met toelaatbare belasting	11
5	Basisinformatie voor het berekenen en uitvoeren van paalklemmen.	22
5.1	De veiligheid coëfficiënt.	22
5.2	Aanbrengen van de voorspankracht	24
5.3	Het vulhout	27
5.4	Berekening van het staalprofiel	28
5.5	De paalklem in de totale constructie	29
6	Studiewerk	32
6.1	Inventarisatie van reeds bestaande gegevens.	32
6.2	Conclusie	34
7	Eerste proevenserie	35
7.1	Inleiding	35
7.2	Werkwijze bij de proeven	35
7.3	Proefserie no.1; Klossen □ 155 x 55.	37
7.4	Proevenserie nr. 3; Klossen □ 155 x 55 mm	39
7.5	Proefserie no.4 Klossen / 155 x 55 mm	40
7.6	Overzicht en resultaten	41
7.6.1	Inleiding.	41
7.6.2	Tabel no.6	42
7.6.3	Tabel no.7	44
7.6.4	Conclusies	44
8	Tweede proevenserie	45
8.1	Inleiding	45
8.2	Werkwijze bij de proeven	46
8.3	Proeven 5 t/m 9	50
8.4	Proefserie 9.	55
8.5	Evaluatie proeven 5 t/m 9.	56
8.5.1	Vlakedruk hout	56
8.5.2	Aandraaikoppel bouten	57
8.5.3	Conclusies	58
9	Aanbevelingen voor aanvullend onderzoek voor een volgende cel	59
10	Literatuurlijst (oorspronkelijke rapport)	60

11	Bijlagen	62
11.1	Bijlage 1	63
11.2	Bijlage 2	64
11.3	Bijlage 3	65
11.4	Bijlage 4	66
11.5	Bijlage 5	67

Voorwoord

Onderliggend document is in 2013 door Stubeco herzien en geüpdatet.

Als basis geldt het oorspronkelijke rapport, welke in 1984 is gepubliceerd.

Door genoemde personen is het rapport beoordeeld en gerelateerd aan de huidige stand van voorschriften en techniek.

Na een studie is gebleken dat er inhoudelijk geen aanpassingen aan, dan wel aanvullingen op het in het verleden verrichte studiewerk gedaan moesten worden.

Een compliment voor de oorspronkelijke commissie.

De update heeft dan ook voornamelijk bestaan uit:

- Het digitaliseren van het oorspronkelijke rapport.
Waar mogelijk zijn grafieken vanuit de toegepaste rekensheets gegenereerd.
Verder zijn enkele grafieken voor de leesbaarheid “nagetekend”.
De af te lezen waarden zijn tevens in rekentabellen (bijlage 5) opgenomen.
- De in het oorspronkelijk rapport getoonde foto's, waarbij door de toenmalig beschikbare techniek kwaliteitsverlies is ontstaan, zijn ten dele gescand.
De kwaliteit is dus niet optimaal.
Waar foto's onleesbaar waren, zijn deze verwijderd, dan wel vervangen door kleurenfoto's.
Deze laatste geven dus een impressie weer en behoren niet tot het oorspronkelijke rapport.
- De gebruikte eenheden en notaties zijn aangepast, aan de - ten tijde van de update - vigerende normen.
- Met betrekking tot de gebruikte formule om het aandraaimoment van de momentsleutel te bepalen (zie paragrafen 5.1 en 5.2), zijn in de huidige tijd ook andere bronnen beschikbaar.
Bijvoorbeeld:
 - NEN-EN 1092-2; art 8.5
 - NEN-EN 1993-1-8 art. 3.9
 - Werktuigbouwkundig gerelateerde documentatie
 - E.d.
-

1 Opdracht

Het vaststellen van het toelaatbare verticale draagvermogen van diverse soorten klemconstructies op heipalen.

Tevens het ontwerpen van een berekeningsmethode en een uitvoeringshandleiding.



2 Inleiding

De studiecél 12 is omstreeks februari 1976 begonnen met haar werkzaamheden, waarbij de cel 7 leden telde.

Drie daarvan zijn na korte tijd afgefallen, terwijl de heer Brandt later is toegetreden.

Eerst is begonnen informatie en cijfermateriaal te verkrijgen, zowel uit literatuur als via de bouwbedrijven.

Het bleek alras dat geen literatuur over dit onderwerp voorhanden was, terwijl de informatie van diverse bouwbedrijven zich beperkte tot:

"we doen het meestal zo, en als je twijfelt gebruik dan een klem meer".

Al met al blijkt uit de praktijk dat veel wordt toegepast UNP 160 en 200 met vurenhouten vulling om de paal gespannen met 2 of 4 draadstangen. De gehanteerde toelaatbare belasting bleek echter zodanig te variëren, dat hieraan geen richtlijn ontleend kon worden.

Gegeven het bovenstaande werd een proevenserie opgezet die in eerste instantie ten doel had de wrijvingscoëfficiënt tussen hout en beton vast te stellen.

In tweede instantie zouden dan diverse soorten klemmen worden beproefd.

Hierbij werd gedacht aan combinaties van:

- verschillende houtsoorten voor de vulling
- diverse profielen voor de klem
- diverse bout kwaliteiten
- betonnen en stalen -palen
- vierkante en ronde palen.

Dit proevenprogramma bleek te veelomvattend en te duur, mede gezien het beperkte toepassingsgebied van de onderhavige constructies.

Door onduidelijkheid t.a.v. de subsidiëring van het proevenprogramma heeft het werk een tijd stil gestaan.

Later is een beperkt proevenprogramma uitgevoerd omvattende:

- vaststellen wrijvingscoëfficiënt d.m.v. proeven op kleine schaal met blokjes hout 15x15 cm op een vierkante betonpaal:
 - 39 proeven met vurenhout
 - 20 proeven met beukenhout
 - 5 proeven met azobé

- testen van paal klemmen op ware grootte

8 proeven met UNP200, vurenhouten vulling en 4 draadstangen op een vierkante betonpaal

5 proeven met UNP160, vurenhouten vulling en 2 draadstangen op een vierkante betonpaal.

Hierbij is ook de doorbuiging van de staalprofielen gemeten.

Gebleken is dat de wrijvingscoëfficiënt met een vrij grote mate van nauwkeurigheid kan worden vastgesteld. Het verband tussen aandraaimoment van de bouten (momentsleutel) en werkelijke spankracht in de bouten blijkt echter heel wat minder duidelijk te zijn. Dit is dan ook de reden dat in de handleiding een aantal eisen worden gesteld, zodat de variatiemogelijkheden worden beperkt.

Het verslag bevat o.a. een volledig verslag van de genomen proeven, een hierop gebaseerde berekeningsmethode en een handleiding voor het berekenen en aanbrengen van de klemmen.



3 Handleiding voor de toepassing van paalklemmen

3.1 Materialen

A. KLEM

- Het UNP-staal dient recht en vlak te zijn, sterke roestvorming die de sterkte beïnvloedt is niet toelaatbaar.
- Volgplaten van voldoende sterkte om de buiging van het lijf te voorkomen.



Foto 1 Buiging zonder volgplaat

- Draadstangen dienen onbeschadigd, vrij van roest en vuil en licht ingevet te zijn, evenals de moeren en volgringen.
NB: voor 4.6 bouten normale sluitringen, voor 8.8 en 10.9 bouten HV sluitringen gebruiken.
- Het vurenhout dient vlak en van goede kwaliteit te zijn: fijndradig, vrij van grote kwasten en scheuren, buiten het hart gezaagd en vrij van spint.
De houten vulling dient het staal profiel geheel te vullen en goed tegen de flenzen aan te sluiten. Zie foto 2, zo dus niet.

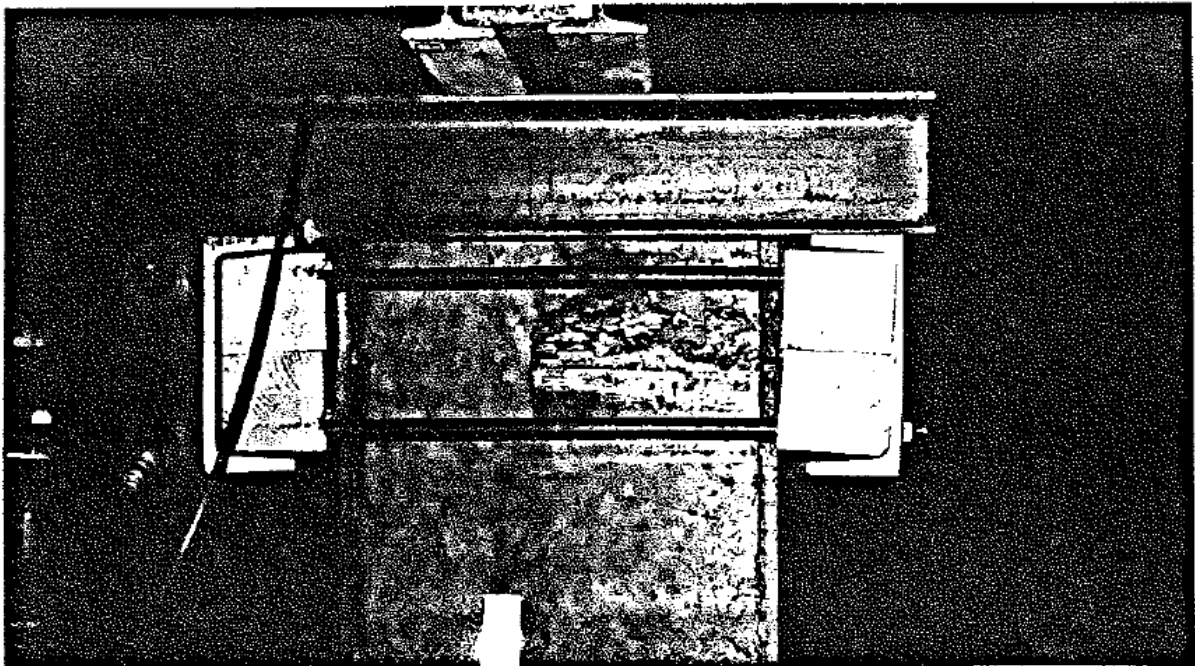


Foto 2; Zo dus niet

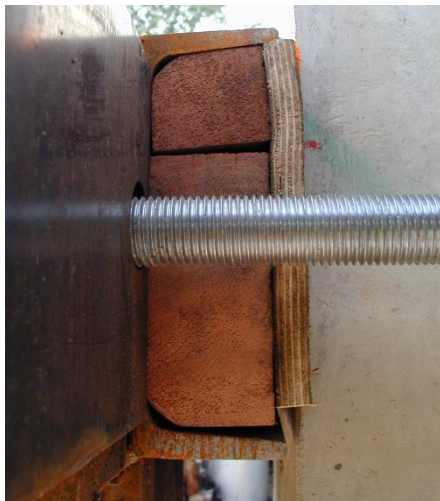


Foto 2A: Foto behoort niet tot oorspronkelijk rapport

De lengte bij voorkeur groter dan de h.o.h. afstand van de bouten, bijv. beide kanten 100 mm

De hartzijde van het hout dient tegen het lijf van het profiel te liggen.

- Het hout bij voorkeur winddroog.
- De plaats van de boutgaten zodanig kiezen dat de draadstangen ca. 10 mm vrij zijn van het beton. Gaten boren (niet snijden) ca. 3 mm groter dan de draadstang diameter.

B. BETONPAAL:

Het raakvlak tussen houtvulling en beton dient schoon, vetvrij en vrij van aangroei te zijn

C. GEREEDSCHAP:

De te gebruiken momentsleutels dienen geijkt te worden.

Dit geldt ook voor eventueel toe te passen boutkrachtmeters of drukdozen.

3.2 Aanbrengen / wegnemen

A. MAATVOERING

- Hoogtematen met menie o.i.d. op de paal aangeven.
Omdat het gewicht van de paalklem over het algemeen vrij groot is, verdient het aanbeveling een lichte hulpklem aan te brengen en op de juiste hoogte af te stellen. Daarbij bedenke men dat dit vaak gebeurt vanuit een wiebelend bootje.

Dit kan zijn: 2 stuks badding 59 x 156 mm met 2 draadstangen M16.

B. PAALKLEM:

- De paalklem aanbrengen en voorlopig vastzetten.
- De draad stangen dienen altijd horizontaal te lopen, het U-profiel bij voorkeur ook.
- De draadstangen aanspannen m.b.v. een momentsleutel. Hierbij opletten dat het verschil in aanspankracht tussen de bouten onderling niet te groot wordt gedurende de gehele aanspancyclus.
Dit kan bereikt worden door de momentsleutel op een aantal tussenwaarden in te stellen, alvorens de definitieve spanning wordt aangebracht.
Bijvoorbeeld:
 - alle bouten op 10% spannen (handvast)
 - alle bouten op 60% spannen
 - alle bouten op 100% spannen

Zodra het definitieve aandraaimoment benaderd wordt, mag het aandraaien niet meer worden onderbroken tot het vereiste koppel bereikt is.

C. STORTEN:

Direct voor het storten dienen alle draadstangen nagetrokken te worden, bij afwijkingen dient de juiste voorspankracht weer aangebracht te worden.

D. WEGNEMEN:

- Indien in de ondersteuningsconstructie geen voorzieningen voor het laten zakken zijn opgenomen, kan als volgt worden gehandeld:
- Een hulpklem aanbrengen ca. 20 à 25 mm onder de paalklem.
NB; let op, Het draagvermogen van de hulpklem moet voldoende zijn voor het gewicht van de ondersteuningsconstructie.
- De spanstangen van de paalklem worden voorzichtig zodanig los gedraaid tot de constructie gaat schuiven tot op de hulpklem.
- De ondersteuningsconstructie kan dan weggenomen worden.
- Indien wel voorzieningen voor het laten zakken zijn opgenomen kan als volgt worden gehandeld:
- Ondersteuningsconstructie lossen en wegnemen.
- Hulpklem aanbrengen.
- Paalklem wegnemen; bouten losdraaien of doorbranden.

4 Voorbeelden met toelaatbare belasting

Veiligheidsfactor:

De gedetailleerde berekeningen (zie bijlage 5) zijn gebaseerd op een veiligheidsfactor $V=2$.

De eerste grafiek geeft hiervan een samenvatting (blz. 13).

Hierbij is vereist dat van tenminste een per 40 draadstangen de voorspankracht wordt gecontroleerd m.b.v. een drukdoos of een boutkrachtmeter. (zie 4.1, blz. 20). Indien de bovengenoemde controle niet wordt toegepast dient met een veiligheidsfactor $V=2,5$ gerekend te worden.

De tweede grafiek (blz. 14) geeft hiervan de samenvatting. Boutkrachten en diameters zijn hierbij gelijk aan die voor $V=2$, zodat de berekeningen hiervoor gehanteerd kunnen worden. (zie grafieken voor resp. 4.6, 8.8 en 10.9 bouten, blz. 15, 16 en 17).

Aandraaikoppel:

Dit mag niet hoger worden aangehouden dan de grafiek aangeeft om overmatige vervormingen van het hout en het staalprofiel te voorkomen.

Contactspanning:

Als contactspanning tussen hout en beton is aangehouden $2,5 \text{ N/rnm}^2$, behalve in die gevallen waarbij de stijfheid van het toegepaste profiel het noodzakelijk maakt deze spanning te verminderen. Een overzicht van deze veranderingen is gegeven in de grafiek blz. 19.

Combineren van paalklemmen:

Het is mogelijk het draagvermogen per paal te vergroten door meerdere paalklemmen boven elkaar toe te passen.

Deze dienen dan kruiselings op elkaar geplaatst te worden (zie blz.12). Het is hierbij een absolute noodzaak dat de klemmen in verticale richting volledig op elkaar aansluiten, zodat het gehele pakket als een geheel werkt.

Ten gevolge van kleine zettingsverschillen, ontstaan door het niet vlak op elkaar dragen van de staalprofielen ten gevolge van onvermijdelijke vormafwijkingen van de profielen zoals bramen, ezelsoren e.d., welke

- ondanks een goede uitvoering- toch optreden, wordt geadviseerd het totale draagvermogen als volgt te reduceren:

enkele klem:	draagvermogen 100	=100%
twee klemmen	draagvermogen $100 + 80$	=180%
drie klemmen	draagvermogen $100 + 80 + 60$	=240%
vier klemmen	draagvermogen $100 + 80 + 60 + 40$	=280%

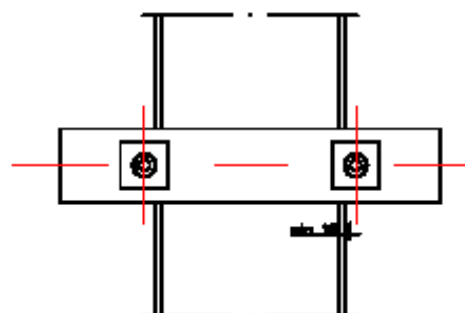
Volgplaten:

Indien in een profiel 4 bouten worden toegepast (UNP 200 t/m 300) dient de volg plaat van elk paar bouten uit één stuk te bestaan. Dit om vervorming in het lijf t.g.v. het indrukken van de zijanten van losse volgplaten te voorkomen.

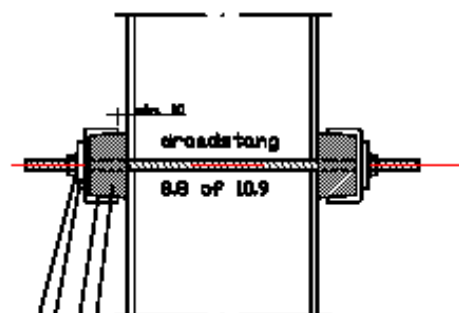
Aandraaien met momentsleutel



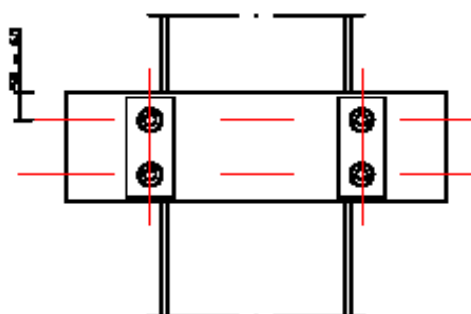
Beter is het om volgplaten toe te passen



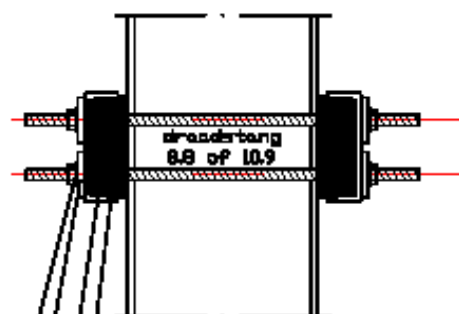
paalklem bestaande
uit UNP 160 of 180



vuren houten vulling
profiel UNP 160 of 180
volgplaat 100x100x12
volgtring QHV, voor 8.8 of 10.9 draadstang

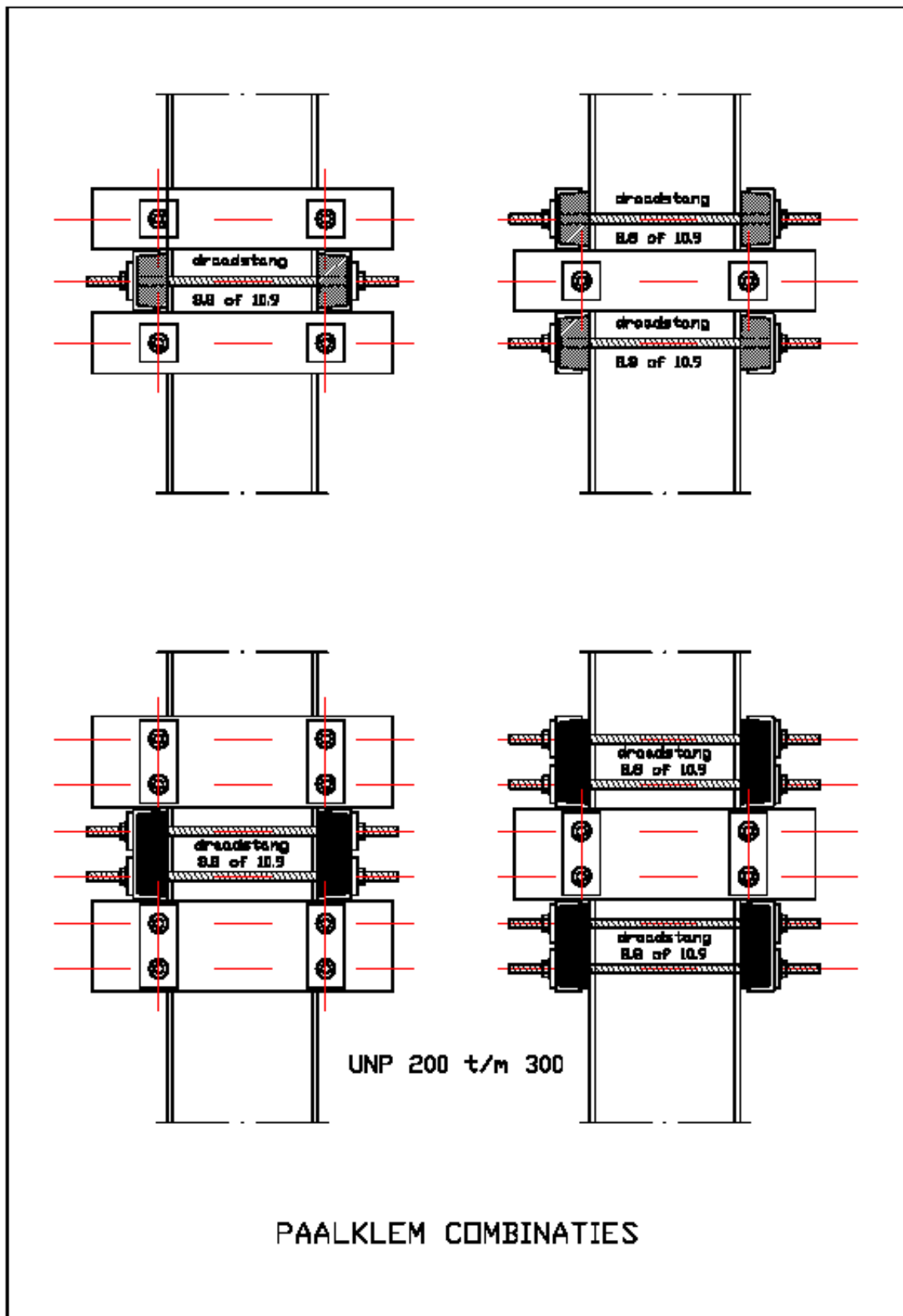


paalklem bestaande
uit UNP 200 t/m 300



vuren houten vulling
profiel UNP 200 t/m 300
volgplaat 100x15
volgtring QHV, voor 8.8 of 10.9 draadstang

ENKELVOUDIGE PAALKLEMMEN



Afreesvoorbeeld grafieken A t/m E.

Afleesvoorbeeld grafieken A t/m E:

Gegeven:

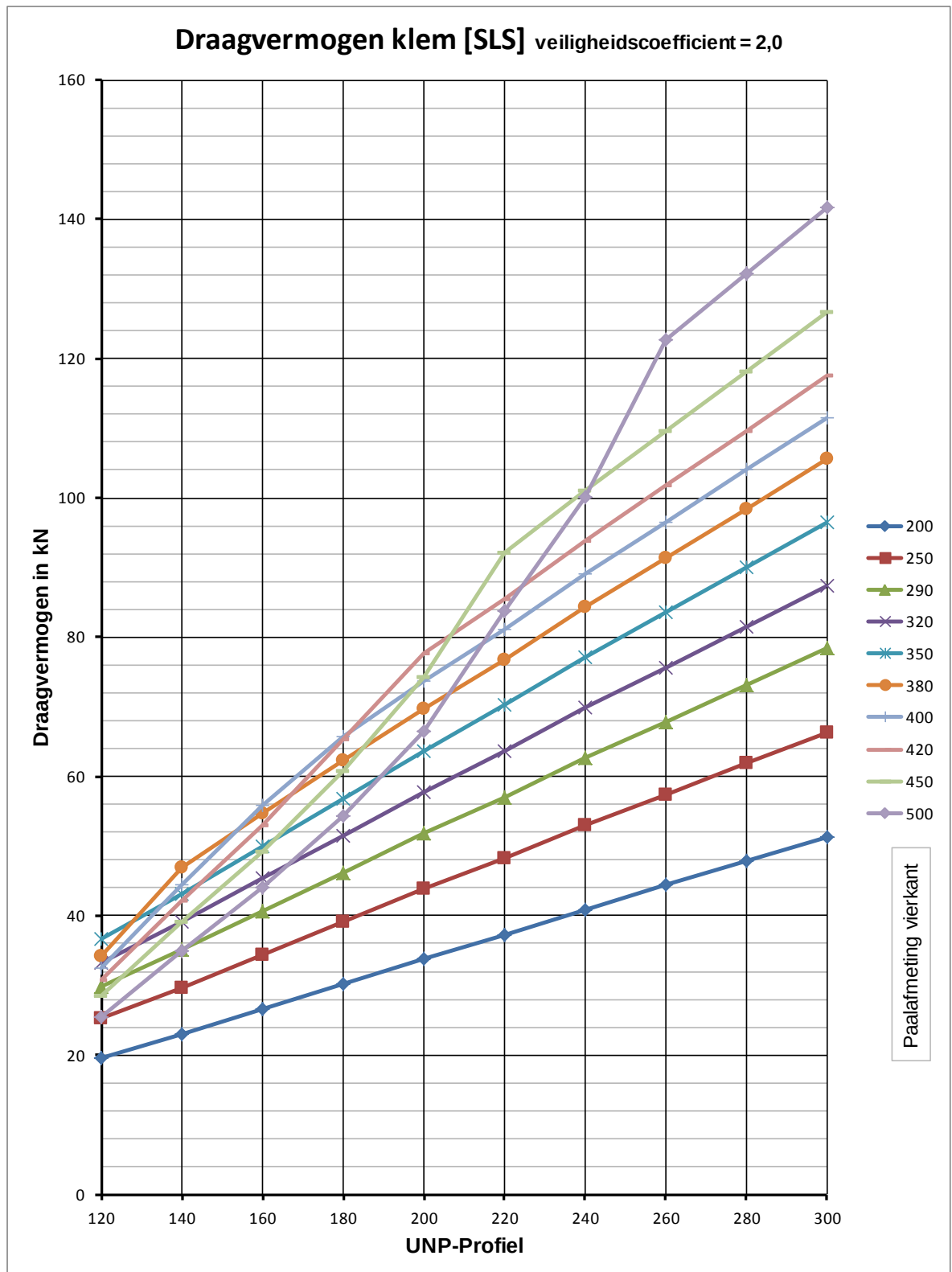
- paalafmeting 400 x 400 mm
- (centrische) belasting op paalklem 70 kN
- boutkrachtmeter wordt niet gebruikt
- boutkwaliteit 4.6

Oplossing:

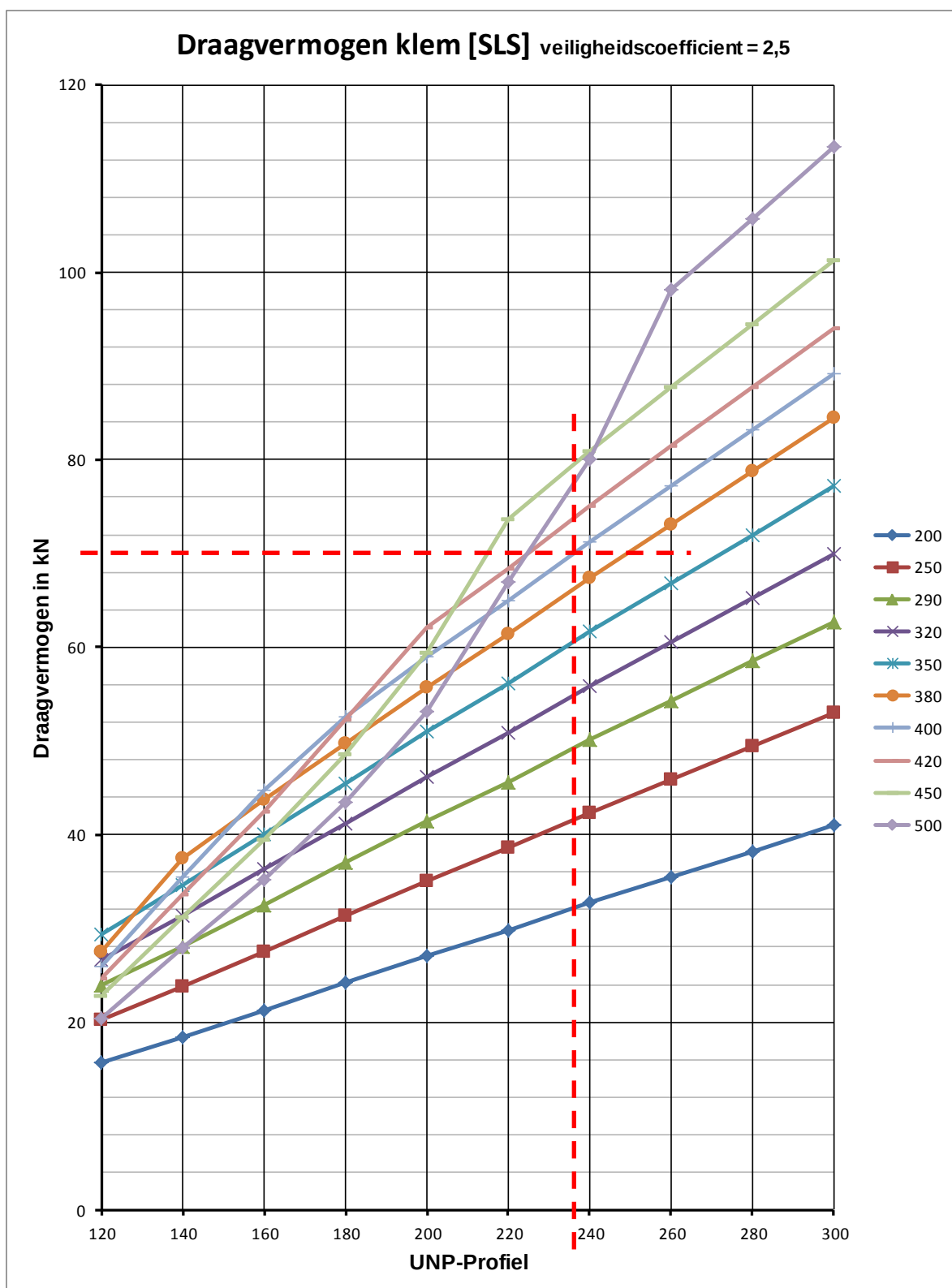
- neem grafiek B blz. 16 ($V = 2,5$) voor keuze UNP-profiel
- volg de horizontale lijn vanaf 70 kN naar rechts tot deze de schuine lijn $\square$ 400 kruist.
- ga vanaf dit kruispunt naar beneden, dit komt uit tussen 220 en 240. Hiervoor kiezen wij dus een profiel UNP 240.
- neem grafiek blz. 16 (boutkwaliteit 4.6) voor keuze diameter en aandraaimoment.
- volg de verticale lijn vanaf UNP 240 tot deze de schuine lijn $\square$ 400 kruist.
- ga vanaf dit kruispunt horizontaal naar links en rechts en lees af (van links naar rechts):
- boutkracht 50,7 kN
- bout M22
- aandraaimoment 200 Nm

Aangezien het hier een grensgeval betreft kan ook gekozen worden voor:

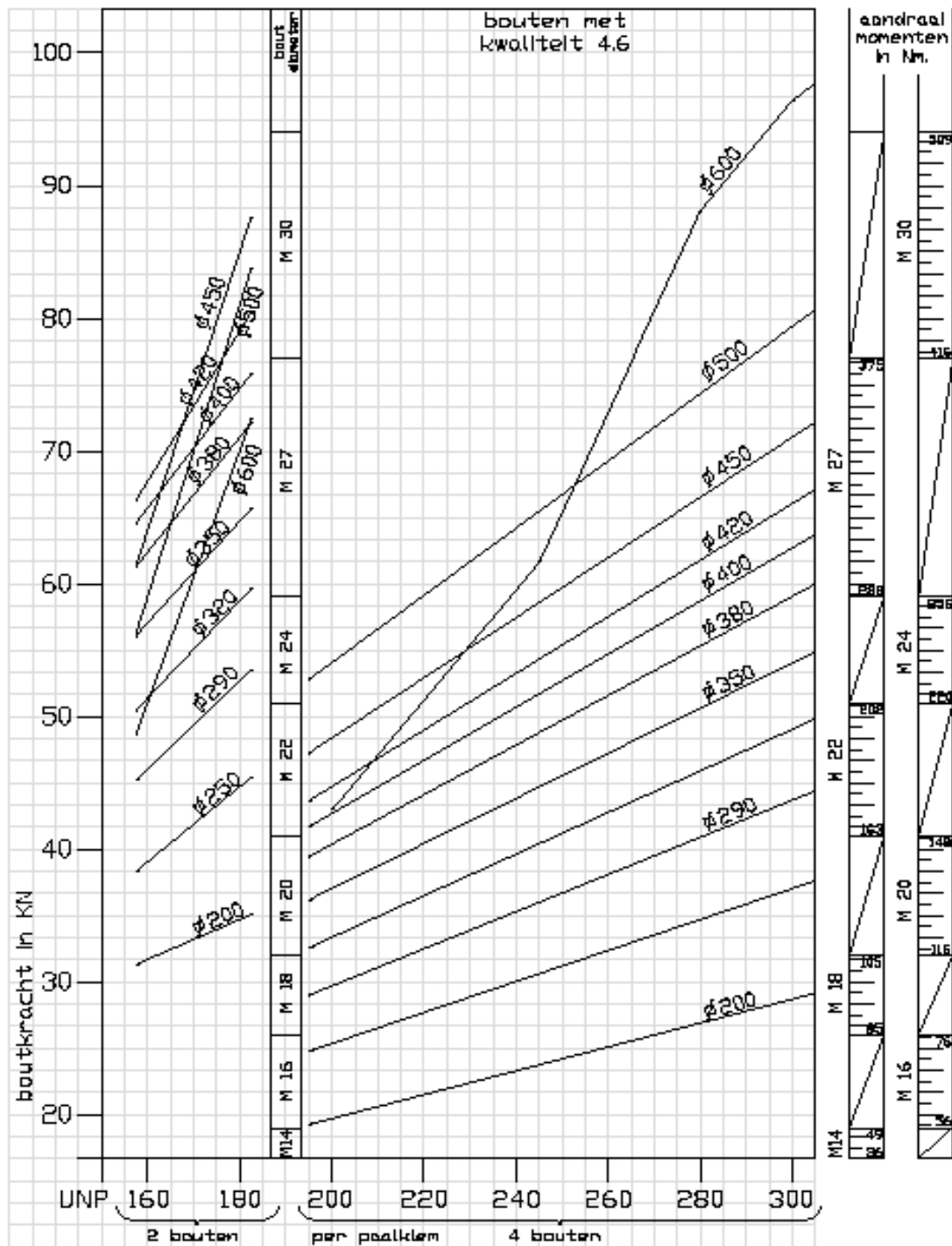
- bout M24
- aandraaimoment 217 Nm.



Grafiek A



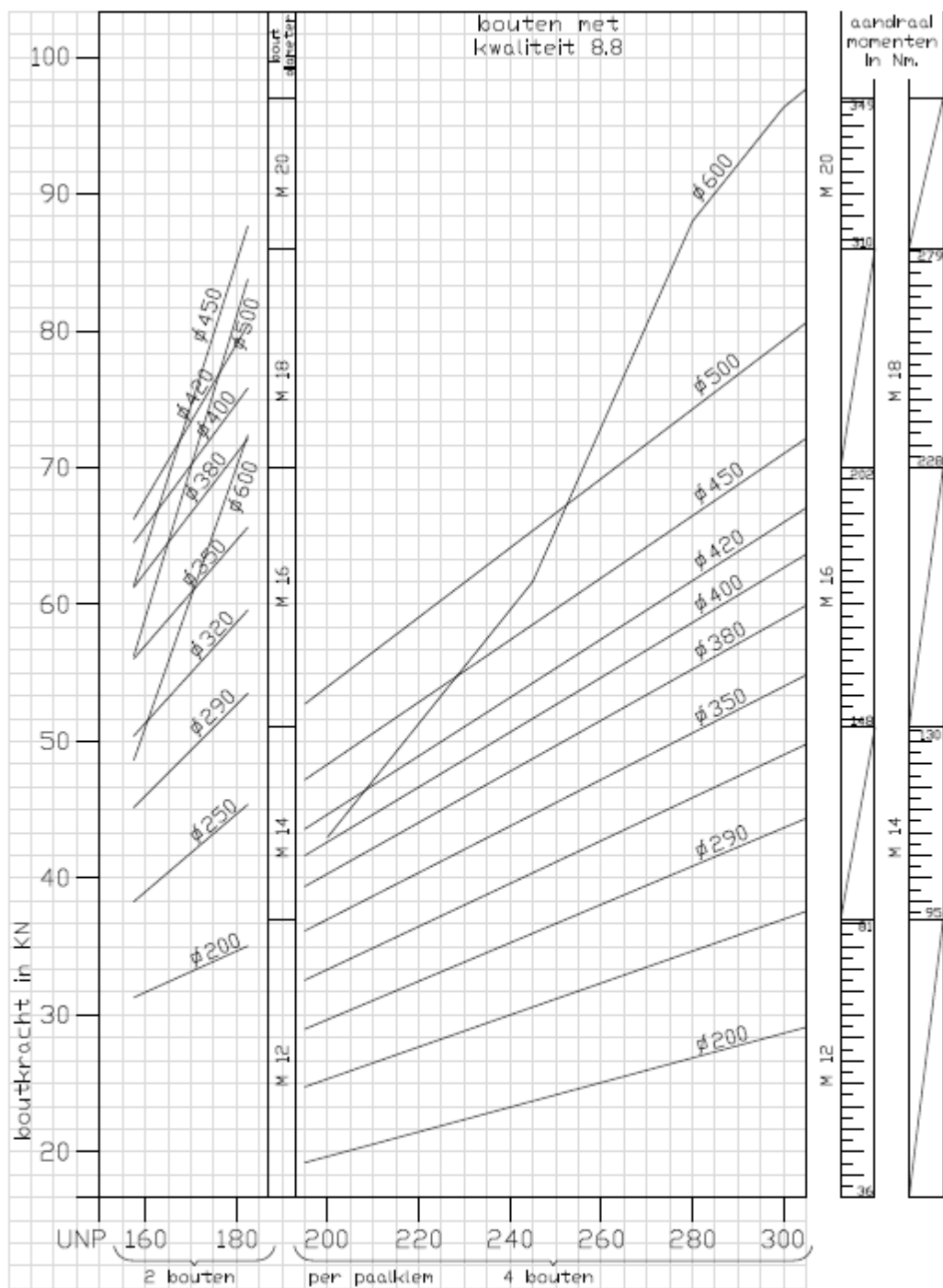
Grafiek B



Let op: de in de grafiek aangegeven waarden voor boutspanning, resp. aandraalmoment voor een gegeven constructie mogen in geen geval overschreden worden.

Dit i.v.m. het bezwijken van de houtvulling en de te hoge doorbuiging in het staalprofiel.

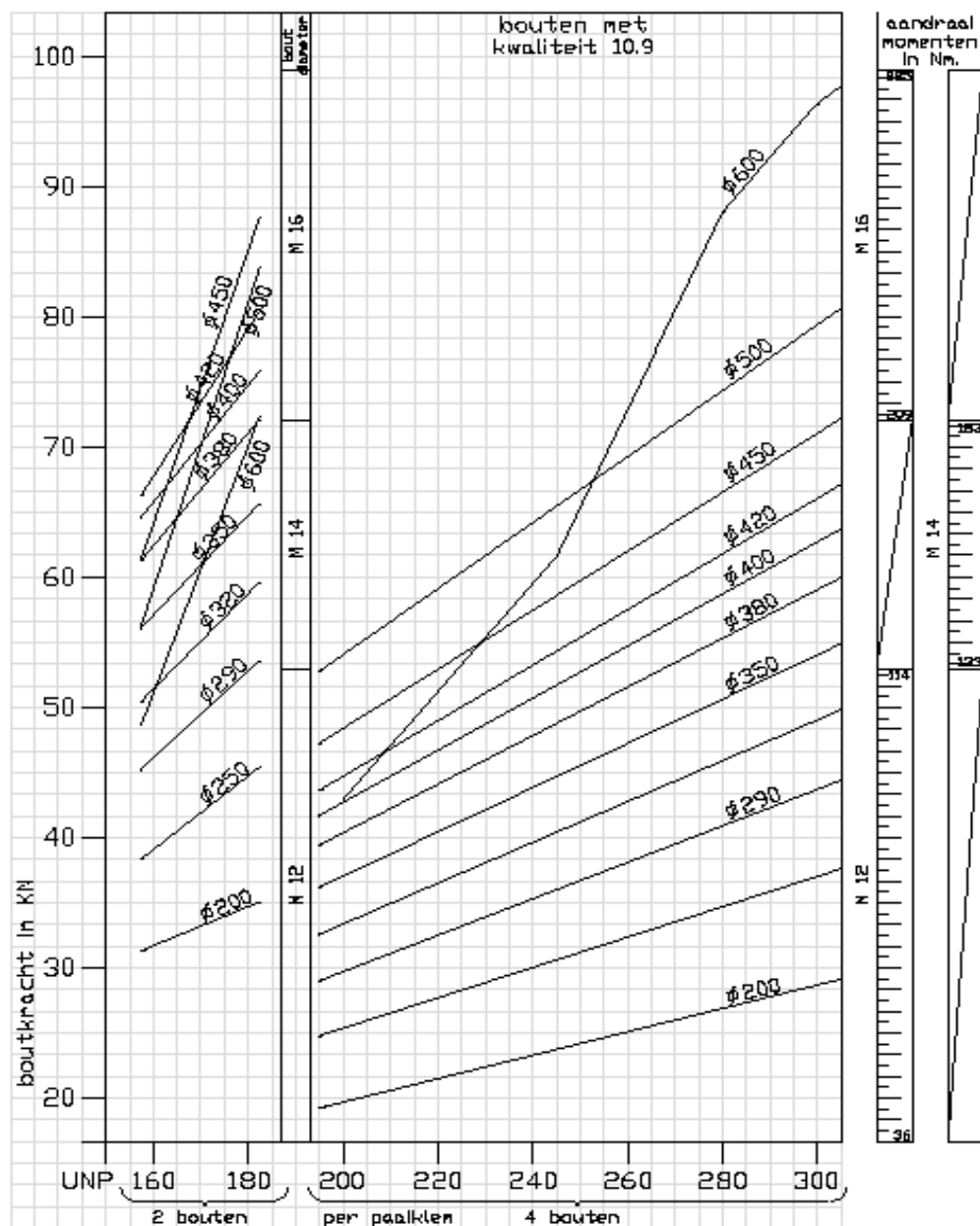
Afbeelding: UNP 240 ► F bout = 51 KN ► Aandraalkoppel = 200 Nm voor M22 ofwel 215 Nm voor M24



Let op: de in de grafiek aangegeven waarden voor boutspanning, resp. aandraaimoment voor een gegeven constructie mogen in geen geval overschreden worden.

Dit i.v.m. het bezwijken van de houtvulling en de te hoge doorbuiging in het staalprofiel.

Afbeelding: UNP 240 ► F bout = 51 KN ► Aandraaikoppel = 200 Nm voor M22 ofwel 215 Nm voor M24

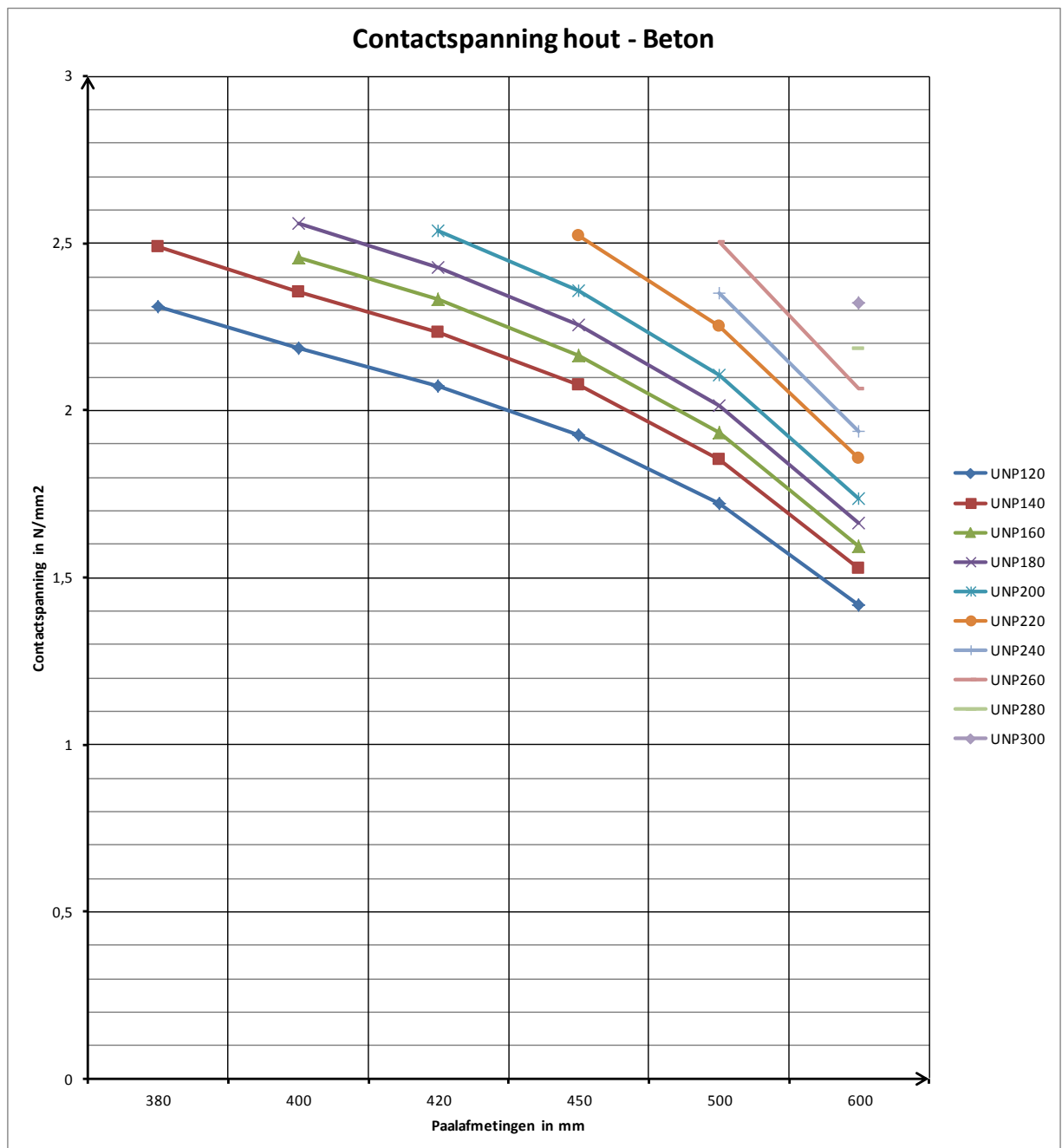


Let op: de in de grafiek aangegeven waarden voor boutspanning, resp. aandraalmoment voor een gegeven constructie mogen in geen geval overschreden worden.

Dit i.v.m. het bezwijken van de houtvulling en de te hoge doorbuiging in het staalprofiel.

Afreesvoorbeeld: UNP 240 $\rightarrow$ F bout = 51 kN $\rightarrow$ Aandraalkoppel = 200 Nm voor M22 ofwel 215 Nm voor M24

E



Deze grafiek geeft de houtspanning aan voor de bredere palen.
 Bij deze grotere overspanningen kunnen de UNP-profielen de volle houtdruk van 2,5 N/mm² niet meer opnemen en worden maatgevend.
 (Bij plastische berekening; zie 11.3, Bijlage 3)

5 Basisinformatie voor het berekenen en uitvoeren van paalklemmen.

5.1 De veiligheid coëfficiënt.

De uitvoering van een klemconstructie is geheel gericht op het voorkomen van het glijden van de constructie langs de betonpaal.

Hiertoe dient er voldoende wrijving tussen betonpaal en klemconstructie te zijn.

Deze wrijving wordt bepaald door:

- a. wrijvingscoëfficiënt tussen beton en klemconstructie.
- b. klemkracht.

Naast deze twee voornaamste factoren bestaan er nog een aantal oorzaken waardoor de kwaliteit van een klemconstructie kan worden beïnvloed.

Deze oorzaken zijn echter steeds weer direct of indirect van invloed op de wrijving of klemkracht tussen betonpaal en klemconstructie.

De klemconstructie bestaat over het algemeen uit staalprofielen, met een houten vulling, ter weerszijden van de betonnen paal, die onderling door een aan te spannen draadstang met elkaar worden verbonden.

Uit een aantal proefnemingen is de wrijvingscoëfficiënt met redelijke nauwkeurigheid voor de verschillende houtvullingen bepaald.

Voor een houtvulling bestaande uit vuren of beukenhout, wordt een wrijvingscoëfficiënt van 0,45 aangehouden.

Bij gebruik van azobé dient een wrijvingscoëfficiënt van 0,35 aangehouden te worden. Zie punt 8.5.3.

Bij een bepaalde aanspankracht kan nu met de formule:

$$F_w = f * F_v$$

waarin:

F_w = wrijvingskracht

f = wrijvingscoëfficiënt

F_v = spankracht

de maximale wrijvingskracht aan weerszijden van de betonnen paal worden berekend.

Echter schuilen er in de bovengenoemde factoren nog een aantal onzekerheden die het invoeren van een veiligheidscoëfficiënt nodig maken, zodat de formule overgaat in:

$$F_w = (f * F_v) / v$$

Bij de bepaling van een veiligheidscoëfficiënt zijn de volgende praktische afwijkingen van de aangenomen theoretische waarden van invloed:

1. afwijking van wrijvingscoëfficiënt
2. afwijking van de aangenomen belastingen, bijv.: de volumieke massa van beton, afwijking van veranderlijke belasting en eigen gewicht ondersteuningsconstructie
3. afwijking van voorspankracht
4. dynamische factor

Ad 1) De afwijking van de wrijvingscoëfficiënt kan een voorspankracht vereisen die

$$\frac{\text{aangehouden wrijvingscoëfficiënt}}{\text{Min. gevonden waarde}} = \frac{0,45}{0,43} = 1,05 \text{ x groter is dan de berekende.}$$

Ad 2) De afwijking van de volumieke massa van beton t.o.v. de aangenomen waarde kan een voorspankracht vereisen die een factor

$$\frac{2,55}{2,50} = 1,02 \text{ groter is}$$

Voor afwijking van de belasting, o.a. ten gevolge van toevallige excentriciteiten bij ongelijke belasting tijdens het storten is een belasting factor van 1,3 aan te houden.

Ad 3) Onnauwkeurigheid is ook te verwachten bij de vaststelling van de voorspankracht. Alhoewel dit over het algemeen met een ogenschijnlijk nauwkeurige momentsleutel wordt uitgevoerd, bestaan er een groot aantal onzekerheden in de opgewekte voorspankracht.

Zo vermelden de Voorlopige Richtlijnen voor het Ontwerpen en de Uitvoering van verbinding met Voorspanbouten in staalconstructie (concept van Normcommissie 104) (*is gedateerd en tijdens de actualisering zijn geen bronnen gevonden over dit onderwerp*) dat de kracht waarmee de momentsleutel moet worden aangedraaid in grote mate wordt bepaald door het soort draad waaruit de draadstang wordt vervaardigd, de wrijving tussen moer en bout en van de wrijving tussen moer en onderleg ring.

De invloed van deze factor en wordt uitgedrukt in de coëfficiënt k in de formule:

$$M_a = k * d * F_v$$

waarin

M_a	=	aandraaimoment
d	=	buitenmiddellijn van de draad
F_v	=	voorspankracht

De waarde van k ligt tussen 0,15 en 0,21 en is bij de berekende aandraaimomenten aangehouden op 0,18 (afwijking 0,18 : 0,15 = 1,20).

Verder kan een onzorgvuldig geijkte momentsleutel afwijkingen vertonen, alsmede de wijze waarop het aandraaimoment wordt aangebracht.

Voor de totale afwijking van de theoretische voorspankracht wordt aangehouden 1,30.

Voor een dynamische factor wordt 1,25 aangehouden.

De te hanteren veiligheidscoëfficiënt voor de bepaling van de toelaatbare belasting op een klemconstructie kan als volgt worden benaderd:

$$v = \frac{\text{aangehouden } f}{\text{min.gevonden waarde } f} * \frac{\text{max.v.g.beton}}{\text{gem.v.g.beton}} * \frac{\text{max.n.b.}}{\text{theor. n.b.}} * i * d$$

d = dynamische factor

i = invloedafwijking theoretische voorspankracht

$$v = \frac{0,45}{0,43} * \frac{2,55}{2,50} * 1,30 * 1,30 * 1,25 = 2,25$$

Als veiligheidscoëfficiënt wordt voorgesteld een factor **V=2,5** t.o.v. de optredende belasting.

Indien echter kan worden aangetoond, dat de aangebrachte voorspankracht de berekende waarde benadert, kan een reductie van de veiligheidscoëfficiënt worden toegepast.

Hiertoe dient te worden gesteld, dat de gebruikte momentsleutel met een zgn. boutkrachtmeter moet worden geijkt. Deze ijking dient minstens 1 x per 40 verbindingen te geschieden. Ongeacht het aantal verbindingen dient dit minstens driemaal per werk uitgevoerd te worden. Aldus kan de veiligheidscoëfficiënt worden gereduceerd tot **V=2,0** t.o.v. de optredende belasting.

5.2 Aanbrengen van de voorspankracht

De benodigde klemkracht wordt middels voorspanning in de constructie gebracht. De voorspanning wordt opgewekt door draadstangen met een bepaalde kracht aan te draaien.

Belangrijk is om de opgewekte voorspankracht te kennen, teneinde er zeker van te zijn dat de vereiste minimum afschuifkracht ook werkelijk door de constructie kan worden opgenomen. De meest praktische methode is het toepassen van de draadstangen met een metrische draad. Bij dit type draadstang is, mits de draadstang met moeren en onderleggingen op de juiste wijze zijn ingevet, de voorspankracht bij een bepaalde aandraaikracht met een redelijke nauwkeurigheid vooraf te bepalen.

Door toepassing van draadstangen met een hogere treksterkte is de voorspankracht op te voeren.

Het gedrag van andere dan standaard metrische draad is onvoldoende bekend, zoals bijv. snelspanners of Gewindestabe.

Ook moet er op worden gewezen, dat deze de Dywidagstaven zeer gevoelig zijn voor lasspetters.

Het gebruik hiervan wordt dan ook afgeraden.

Het aanbrengen van de benodigde aandraaikracht gebeurt over het algemeen met sleutels, welke het uitgeoefende moment aangeven, of m.b.v. sleutels of moeraanzetters (pneumatisch of elektrisch), die bij een vooraf ingesteld moment uitschakelen of doorslippen.

In onderstaande tabel volgt een overzicht van de aandraaimomenten en voorspankrachten voor draadstangen met de mechanische eigenschappen volgens de klassen 4.6, 8.8 en 10.9.

Let op: niet de max. kracht c.q. aandraaikoppel aanhouden uit deze tabel maar die waarde aanhouden die de grafieken uit hoofdstuk 3 aangeven.

Waarden voor voorspankrachten en aandraaimomenten afgeleid van de tabel uit de richtlijnen voorspanbouten.

Gebruikte formule:

$$M_A = k \cdot d \cdot F_V$$

M_A	[kNm]	Aandraaimoment		
d	[mm]	Buitendiameter draad		
F_V	[kN]	Voorspankracht	(70% van $F_{t,Rd}$)	$F_{t,Rd}$ uit NEN-EN 1993-1-8
k	[-]	Invloedsfactor wrijvingscomponenten		
k	=	0,18	Zie toelichting rapport	

Boutaanduiding	Spanningsdoorsnede A_s [mm ²]	Aandraaimoment M_A			Voorspankracht F_V		
		Boutklasse			Boutklasse		
		4.6	8.8	10.9	4.6	8.8	10.9
M12	83	0,036	0,073	0,091	16,8	33,6	42,0
M14	115	0,058	0,117	0,146	23,2	46,4	58,0
M16	155	0,090	0,180	0,225	31,3	62,5	78,1
M18	192	0,125	0,251	0,314	38,7	77,4	96,8
M20	242	0,176	0,352	0,440	48,8	97,7	122,1
M22	303	0,242	0,480	0,600	61,1	121,2	151,5
M24	349	0,304	0,608	0,760	70,3	140,7	175,8
M27	455	0,446	0,892	1,115	91,8	183,5	229,4
M30	555	0,604	1,209	1,511	111,9	223,9	279,8

De berekende voorspankrachten berusten op een aantal uitvoeringseisen, waaraan een verbinding met voorspandraadstangen moet voldoen.

Zo dienen bij de draadstangen moeren te worden gebruikt van overeenkomstige kwaliteit.

Altijd moeten ringen worden toegepast tussen moer en staalprofiel, behorend bij de toegepaste staalkwaliteit.

Voor de kwaliteiten 8.8 en 10.9 zijn dit zgn. HV ringen.

Hiermede wordt voorkomen dat de moeren in het staalprofiel gaan vreten, waardoor de wrijving tussen moer en staalprofiel dermate groot wordt dat de momentsleutel te hoge waarden aangeeft, terwijl de op te wekken voorspankracht nog niet is bereikt.

Bij de toepassing en uitvoering van klem constructies met draadstangen dient overeenkomstig gehandeld te worden als vermeld in hoofdstuk 5.7 van de "Voorlopige Richtlijnen voor het Ontwerpen en de Uitvoering van Verbindingen met Voorspanbouten in Staalconstructies", het concept van Normkommissie 104.

Zo is bij het aandraaien van de bouten, volgens de methode van een vooraf vastgesteld aandraaimoment, noodzakelijk dat draadstangen gebruikt worden zoals door de fabriek geleverd, dus licht ingevet en **zonder vuil, zand of roest**.

Ook mogen zij geen zichtbare beschadigingen vertonen.

Verder mag de tijd tussen voor- en afmonteren van de draadstangen niet zo lang zijn, dat in deze periode de wrijfingswaarde van de moer over de draadstang zich door weersinvloeden gaat wijzigen.

Bij het aanspannen draait men eerst alle bouten handvast aan vervolgens met een aandraaimoment gelijk aan 60% van het vooraf vastgestelde aandraaimoment. Daarna worden achtereenvolgens alle draadstangen volledig voorgespannen. Zodra men tijdens het aandraaien van de moer het benodigde aandraaimoment nadert, mag het aandraaien niet meer onderbroken worden, maar moet men doordraaien totdat de sleutel het benodigde moment aangeeft (dit in verband met het grote verschil in wrijving tijdens rust en tijdens beweging).

Verder verdient het aanbeveling bij het aandraaien van de draadstangen steeds van dezelfde momentsleutel gebruik te maken.

Bij het bepalen van het benodigde moment of bij het afstellen van moeraanzetters worden boutkrachtmeters toegepast.

Van elke partij draadstangen moet een representatieve steekproef genomen worden.

Bij het gebruik van boutkrachtmeters dient aan de zijde waar het vastdraaien van de bout plaatsvindt een vlakke sluitring volgens NEN 5513 aangebracht te zijn.

Verder moet erop gelet worden (b.v. door het aanbrengen van een merkstreepje) dat tijdens het aandraaien, deze ring niet met de moer meedraait.

Andere methoden van aanspannen van draadstangen, zoals:

a. het aandraaien van de moer over een bepaalde hoek

of

b. eerst aandraaien van de moer tot een bepaald moment wordt bereikt en het daarna verder aandraaien van de moer over een zekere hoek, kunnen niet worden toegepast, omdat deze methoden vervormingen van de aan te spannen constructiedelen niet toestaan, terwijl de houten vulklossen een grote vervorming geven.

5.3 Het vulhout

De te klemmen constructie bestaat over het algemeen uit een staalprofiel met een houten vulling. Zowel staalprofiel als houten vulling mogen noch bij het aanspannen, noch tijdens gebruik, bezwijken.

Bij het aanspannen mag de gemiddelde oplegdruk van het hout niet dermate groot worden, dat de houtvezel op bepaalde plaatsen bezwijkt.

Bij te grote drukspanning bezwijkt de houtvezel. De voorspankracht neemt dan niet meer noemenswaardig toe. Indien voorspankracht niet meer toeneemt, neemt de afschuifkracht ook niet meer toe. (Zie hoofdstuk 8.5.1.)

Bij een maximum gemiddelde houtdruk, loodrecht op de vezel van $\sigma_{R,ka,r,\perp} = 2,5 \text{ N/mm}^2$, gelijkmatig verdeeld over het volle oppervlak, zal bij naaldhout de inknijping niet problematisch zijn. Voor hardhout is geen waarde voor een max. gemiddelde houtdruk loodrecht op de vezel opgenomen.

De toepassing van hardhout en het benutten van haar grotere toelaatbare drukspanning zal leiden tot een zwaarder staalprofiel, hetgeen niet relevant is voor dit type klemconstructie. Eventueel zijn de waarden, zoals vermeld in de NEN-EN 1995 / NEN-EN 338 aan te houden.

De houten vulklossen dienen winddroog te worden aangebracht.

Nat aangebrachte klossen zullen bij uitdrogen krimpen, waardoor de voorspanning vermindert en de klemconstructie niet meer toereikend zou kunnen zijn om de benodigde krachten op te nemen.

Het vulhout moet bij voorkeur passend in de staalprofielen worden gemaakt om de vervorming in verticale richting niet te groot te laten worden.

Het vulhout moet tegen het lijf en bovenste flens van het staalprofiel dragen.

Het gebruik van vulhout met grote kwasten of scheuren dient te worden vermeden, omdat deze de wrijvingscoëfficiënt verlagen.

Het vulhout mag uit meerdere delen bestaan, mits de onderlinge delen met een watervaste lijm worden samengevoegd

Is dit niet het geval, dan dient het vulhout uit één stuk te bestaan. *.(Bijv. zie foto 2A).*

Het vulhout moet buiten het hart zijn gezaagd. Het moet vlak zijn en mag geen spint bevatten.

Het gebruik van kops naaldhout is niet toegestaan: de vulklossen kunnen gaan splijten en worden weinig samengedrukt bij het aanbrengen van de voorspankracht.

Alvorens de klemconstructie aan te brengen dienen de betonpalen te worden ontdaan van olie, vette of andere ongerechtigeden, door oplosmiddelen, stralen of boucharderen.

5.4 Berekening van het staalprofiel

Normaal gesproken moet het UNP-profiel worden uitgerekend op buiging en op sterkte om de y-as. De uitkomsten van deze berekeningen geven waarden aan, die blijkens de beproevingen ver kunnen worden overschreden.

Wanneer we met het vol plastische moment van het U-profiel rekenen, komen we tot bruikbare waarden.

Het vol plastisch moment wil zeggen:

- die toestand, waarbij het volledige profiel de vloeigrens bereikt en dus nog net niet volledig bezwijkt.

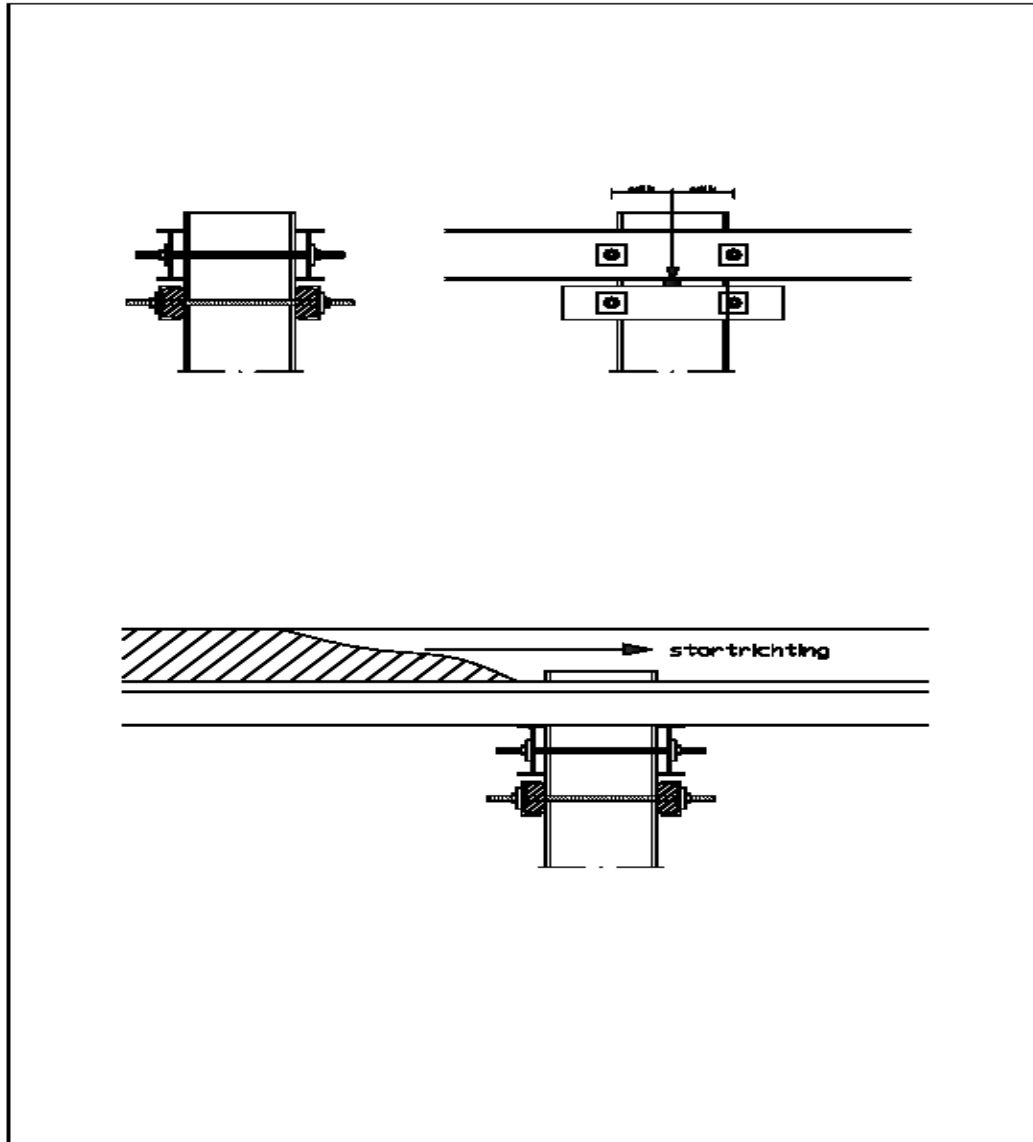
In de bijlage treft u de berekeningen aan, die de basis vormen voor de grafieken uit hoofdstuk 3.2.

Bij deze berekening is de doorbuigingsberekening niet meegenomen evenmin als het gunstig werkende effect van het verplaatsen van de belasting naar het steunpunt door het inknijpen van het hout.

5.5 De paalklem in de totale constructie

De belastingen op de klemconstructie dienen centrisch ingeleid te worden, zodat het volledige oppervlak wordt benut.

Hiertoe kan eventueel van een centreerstrip gebruik worden gemaakt:



Ongelijke belastingen aan voor- en achterzijde van de paal zijn alleen toegestaan, als de maximum belaste zijde de optredende belasting geheel kan dragen, met inachtneming van de toelaatbare wrijvingscoëfficiënt.

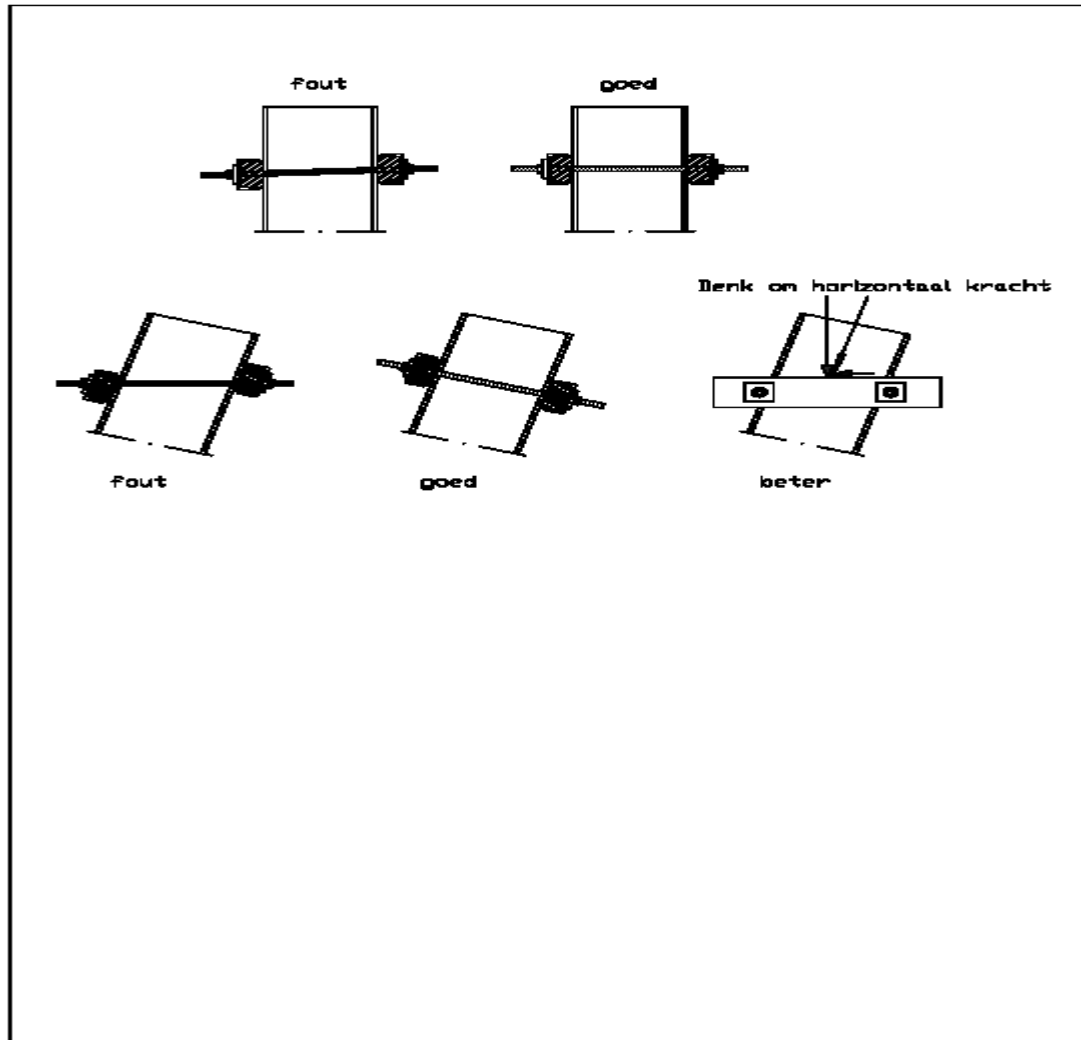
Dit kan o.a. voorkomen tijdens het storten van een vloer of dek:

De fundatie paal dient dan wel onderzocht te worden of zij in staat is het daardoor optredende buigend moment op te kunnen nemen.

Om de draagkracht te verhogen kunnen meerdere klemconstructies boven elkaar worden geplaatst.

Men dient zich er dan van te verzekeren, dat de bovenste klemconstructie **volledig** op de ondergelegen constructie draagt.

Bij het aanbrengen van de klem constructie dient erop te worden gelet, dat de draadstangen loodrecht op de paal gespannen worden:



Het gebruikte staalprofiel in de klemconstructie moet in staat zijn de voorspankrachten uit de draadstangen gelijkmatig op het vulhout over te brengen.

Over het algemeen zullen hier UNP-profielen voor worden toegepast.

Bij gebruik van een UNP-profiel, hoger dan 180 mm, worden twee draadstangen boven elkaar toegepast, tenzij het lijf van het profiel op een of andere wijze wordt versterkt of gesteund.

Een en ander volgt uit sterkte- en stijfheidsberekeningen van het toe te passen profiel.

Vlak voor het storten van de betonconstructie is het aan te bevelen de klemconstructie nat te maken, om er zeker van te zijn dat de vulklossen door uitdrogen niet krimpen.
Verder dienen voor het storten alle draadstangen te worden nagetrokken en gecontroleerd.

Ten overvloede zij opgemerkt, dat de betonpaal te allen tijde moet worden gebouchardeerd indien de kans bestaat dat de paal vet wordt of blijft.

Dit komt voor in havenmonden, waar zich vaak olie op het water bevindt en in getijdewater, waarbij vaak schelp- en alg afzetting plaatsvindt.

6 Studiewerk

6.1 Inventarisatie van reeds bestaande gegevens.

Na het nodige zoekwerk werden door de leden van de studiecél de volgende gegevens bij elkaar gebracht:

1. Een rapport van Rijkswaterstaat:

Een onderzoek naar de wrijvingsfactor bij verschuiven van beton over beton onder normaalkracht al dan niet met een tussenlaag.

Daarin stonden de volgende resultaten:

<u>Materiaal vulling:</u>	<u>Vlaktedruk:</u>	<u>Wrijvingsfactor</u>
Hardboard 4 mm	4 N/mm ²	0.58
Zachtboard 16 mm	3.5 N/mm ²	0.65
Asfaltpapier	3.8 N/mm ²	0.57
Lucht	1.3 N/mm ²	0.23

2. Proefbelasting (Ballast Nedam) Paalklem:

Paal: 400 x 400 mm

Materiaal: beton

Klemafmeting: 2 x INP 200

Vulling: vurenhout 65 x 160 mm

Bouten: 2x M24 handelskwaliteit

Klemkracht: niet bekend.

Schuifkracht: > 150 kN.

Toelaatbaar geachte belasting: 100 kN

2a. Idem, 2 kruislings boven elkaar aangebracht:

Schuifkracht: > 250 kN

Toelaatbaar geachte belasting: 160 kN

3. Proefbelasting (Volker Stevin) Paalklem:

Paal: Ø 600

Materiaal: beton

Klemafmeting: 2 x UNP 300

Vulling: vurenhout 240 x 280 mm (raakvlak < 25%)

Bouten: 4 x 5/4" handelskwaliteit.

Aandraaikoppel : ± 75 Kgm

Schuifkracht: 200 kN

Toelaatbare belasting: onvoldoende, vulklossen spleten.

3a. Idem met langshout:

Schuifkracht: 310 kN

Toelaatbare belasting: 160 kN (benodigd).

3b. Als 3a echter met bouten 4 x 1" ; kwaliteit hoogwaardig:

Schuifkracht: 350 kN

Toelaatbare belasting: 160 kN (benodigd).

4. Proefbelasting (Bredero bouw) paalklem:

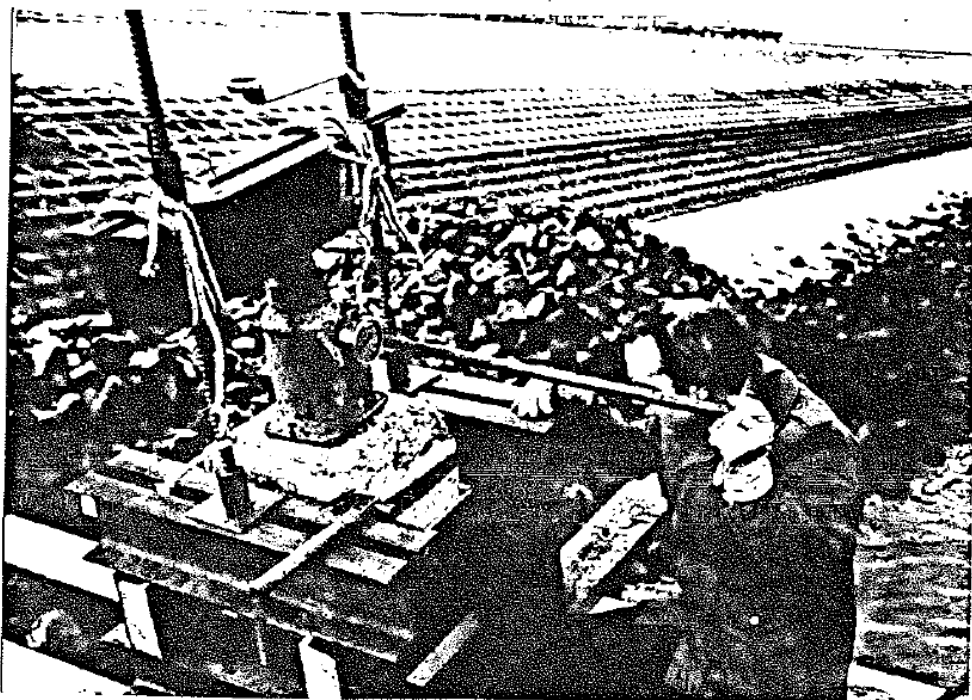


Foto 3

Paal: 400 x 400 mm²

Materiaal: Beton.

Klemafmeting: 2 x UNP 200.

Vulling: Vurenhout.

Bouten: 4 stuks M20 kwal.8.8

Aandraaikoppel : a) 125 Nm b) 250 Nm c) 350Nm

Schuifkracht : 125 kN 180 kN 210 kN

Toel.bel : 57 kN bij 250 Nm benodigd



4a. Als boven maar als duurproef

Aandraaikoppel : 250 Nm

bewaard daarna

na 3 dagen

Schuifkracht: 180 kN

hout 3 dagen onder water

aandraaikoppel 250 Nm

Schuifkracht: 180 kN

Foto 3A; Behoort niet tot oorspronkelijk rapport

6.2 Conclusie

Deze inventarisatie leverde een aantal interessante gegevens op die echter voor een min of meer wetenschappelijke verwerking niet geschikt zijn.

De 4e proefbelasting suggereert een wrijvingsfactor die omgekeerd evenredig is met de vlaktedruk.

7 Eerste proevenserie

7.1 Inleiding

Om tot een verantwoorde berekening van een paal klem te komen besloot de studiecél een eerste aantal proevenseries te starten om de wrijvingsfactor van hout op beton te bepalen.

Als eerste voor vurenhout, het naar onze informatie meest voor paalklemmen gebruikte.

Als tweede beukenhout, zijnde een hardhout soort die zeer vast is en redelijk goed verkrijgbaar.

Als derde Azobé, omdat dat op veel waterbouwkundige werken, waar de paal klemmen eestal worden toegepast, verwerkt wordt.

De aan te houden vlaktedruk werd tijdens de proeven naar bevinding bepaald, zij het, dat we van tevoren afspraken deze in stappen uit te voeren, zodanig, dat een duidelijk beeld van het verloop van de wrijvingscoëfficiënt zou ontstaan.

7.2 Werkwijze bij de proeven

De proefopstelling is afgebeeld op tek. no. 23 (blz. 36).

Voor de proefklossen werd de afmeting 155 x 155 x 55 mm gekozen omdat deze zeker makkelijk verkrijgbaar was en een redelijke overeenstemming had met de afmetingen in de praktijk. Tevens werd soms de vochtigheidsgraad van het hout bepaald.

De tekening toont de klos (1) op de betonpaal (4). Op de klos een dikke drukverdeelplaat met daarop een oliedruk vijzel (2).

Het geheel opgesteld in een spanraam (10) om de krachten over te brengen.

De oliedrukvijzel (2) werd bediend door een elektrische pomp die een vooraf ingestelde kracht in stand hield, gestuurd door oliedrukdoos (3).

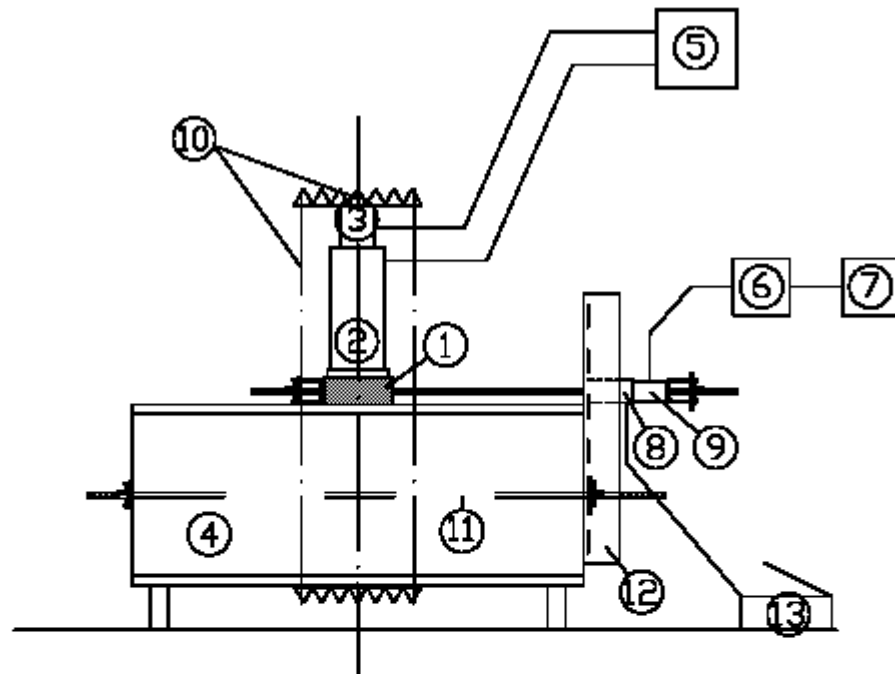
Als de ingestelde normaalkracht was bereikt werd d.m.v. een handpomp de olievijzel (8) op spanning gebracht tot dat de houten klos volledig verschoof.

Daarbij werd de spanning continu geregistreerd door de combinatie elektronica (6) en schrijver (7).

Was het blok volledig verschoven dan werd de gehele procedure herhaald, waarbij de normaalkracht opgevoerd werd tot de volgende stap, enz.

De blokken zijn soms verwisseld soms niet.

Dat herkent u in de tabel aan het bloknummer.



- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. houtblok 155 x 59 | 8. ollevijzel a 100kn
handbediend |
| 2. ollevijzel a 500kn | 9. drukdoos |
| 3. drukdoos electronisch | 10. klemraam |
| 4. stuk betonpaal $\varnothing$ 500
bekiste zijde boven | 11. dywldagstaaf $\varnothing$ 15.1mm |
| 5. ollepomp gestuurd door 3
instelbaar op vaste waarde | 12. UNP 160 profiel |
| 6. omvormer hydrauliek_electra | 13. ollepomp t.b.v. 8 |
| 7. schrijver voor registratie
van de schulfweerstand | |

Tekening 23; Opstelling van de proef 1 t/m 4

7.3 Proefserie no.1; Klossen □ 155 x 55.

Zie ook tekening 23.

Proef No.	$\sigma_{R,kar.\perp}$ N/mm ²	Wrijf- factor	Klos no.	Hout- soort	
1	1,0	0,53	1	Vuren	
2	1,0	0,5	1	„	*
3	1,67	0,6	2	„	
4	3,0	0,44	3	„	
5	4,0	0,49	4	„	
6	1,0	0,48	5	„	
7	1,0	0,49	6	„	
8	2,0	0,48	7	„	
9	2,0	0,44	7	„	
10	3,0	0,43	8	„	
11	3,0	0,43	8	„	
12	3,0	0,44	9	„	**
13	3,0	0,44	9	„	

Opmerkingen:

* als enige in deze serie met de vezel // schuifrichting.

** deze weer op een vers beton oppervlak.

6.3 –Proevenserie nr. 2; Klossen □ 155 x 55 mm Zie ook tek. 23

Proef no.	$\sigma_{R,kar.\perp}$ N/mm ²	Wrijf-factor	Klos no.	Inknijping	Houtsoort
1	4,0	0,48	1	niet opgemeten	Vuren
2	4,0	0,49	2	"	"
3	5,0	0,52	3	"	"
4	5,0	0,40	4	"	" *
5	5,0	0,44	5	"	" **
6	6,0	-,--	6	>18 mm (=33%)	" ***
7	5,0	0,58	7	niet opgemeten	"
8	5,0	0,47	8	1 mm	Beuken
9	6,0	0,47	8	niet opgemeten	"
10	7,0	0,49	8	"	"
11	8,0	0,47	8	"	"
12	8,0	0,50	9	"	"
13	9,0	0,48	9	"	"
14	8,0	0,44	10	"	Azobé II
15	10,0	0,44	11	0,0 mm	"
16	10,0	0,43	12	±0,5 mm	"
17	12,0	0,39	13	niet opgemeten	"
18	13,0	>0,36	14	"	"

*** het blok bezwijkt tot 2x toe, de vlakdruk neemt niet meer toe boven 6 N/mm².

* blok met grote kwast.

** blok met twee kleine kwasten.

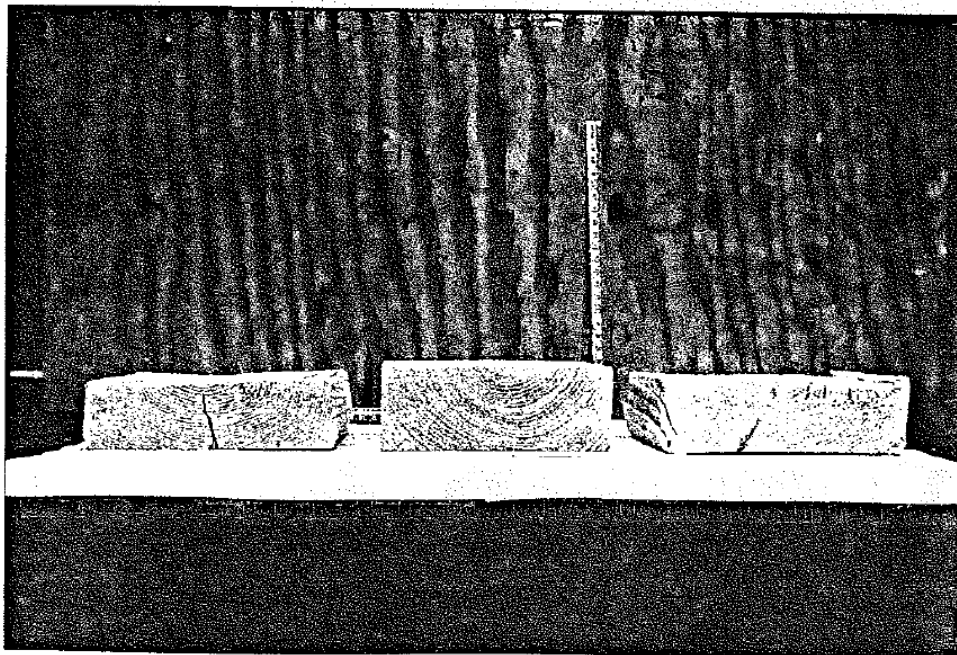


Foto 4; Het duidelijke verschil tussen klossen voor en na beproeving

7.4 Proevenserie nr. 3; Klossen □ 155 x 55 mm

Zie ook tek. 23.

Proef no.	$\sigma_{R, kar, \perp}$ N/mm ²	Wrijf- faktor	Klos no.	Vocht %	inknijping in mm		houtsoort
					voor schuiven	na schuiven	
1	2,0	0,78	1	13			Vuren
2	4,0	0,66	1				"
3	2,0	0,80	2				"
4	4,0	0,63	2				"
5	5,0	0,58	2				"
6	2,0	0,76	3	13			"
7	5,0	0,57	3		8	13	"
8	5,0	0,55	4		2	6	"
9	6,0	0,42	5				Beuken
10	8,0	0,36	5				"
11	8,0	0,45	5				"
12	8,0	0,46	6				"
13	10,0	0,44	6	11	1		"
14	12,0	0,42	6		2,5		"
15	17,3	-,--	6		9,5		"

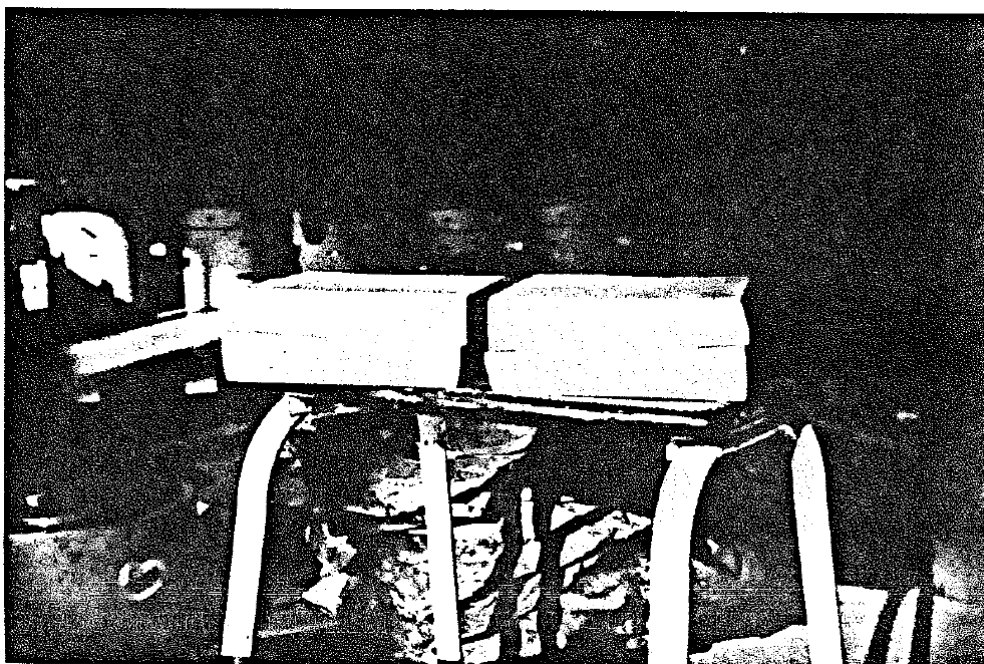


Foto 5; Enkele monsters waren te dun en werden daarna met twee op elkaar beproefd. Dit leidde tot blijkbaar zeer ongelijkmatige vervormingen.

Opmerking: Onduidelijke oorspronkelijke foto.

7.5 Proefserie no.4 Klossen / 155 x 55 mm

Zie ook tek. 23.

Proef No.	$\sigma_{R,kar.\perp}$ N/rnm2	Wrijf-factor	klos no.	Vocht %	Vezel richt.	Inkrimping in mm voor sch. na sch.	Hout-Soort
1	2.0	0,75	1	22		0,05	Vuren
2	4.0	0,69	1	22		1,8 2,2	„
3	2.0	0,67	2	23		0,15	„
4	4.0	0,58	2	23		1,6 2,0	„
5	2.0	0,65	3				„
6	4.0	0,57	3				„
7	2.0	0,70	4		*		„
8	4.0	0,59	4		*		„
9	2.0	0,63	5		*		„
10	4.0	0,61	5		*		„
11	6.4	0,66	6	11			Beuken
12	10.7	0,50	6	11			„
13	12.8	0,52	6	11			„
14	6.4	0,59	7	11	*		„
15	10.7	0,55	7	11	*		„
16	12.8	0,54	7	11	*		„
17	6.4	0,51	8	11	*		„
18	10.7	0,52	8				„

* Bij deze krachten was de vezel richting // aan de schuifrichting.
Bij de overige $\perp$

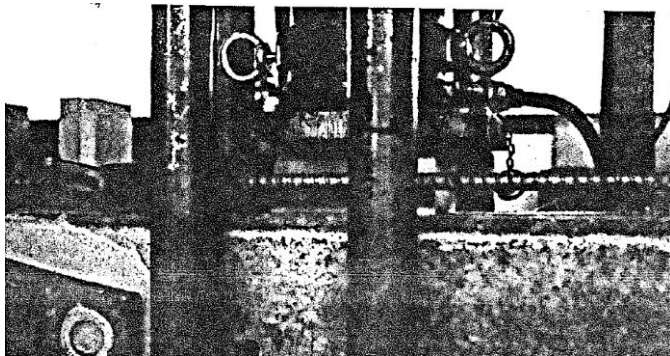


Foto 6; Dit detail toont duidelijk de vervorming van het hout

Opmerking: Onduidelijke oorspronkelijke foto.

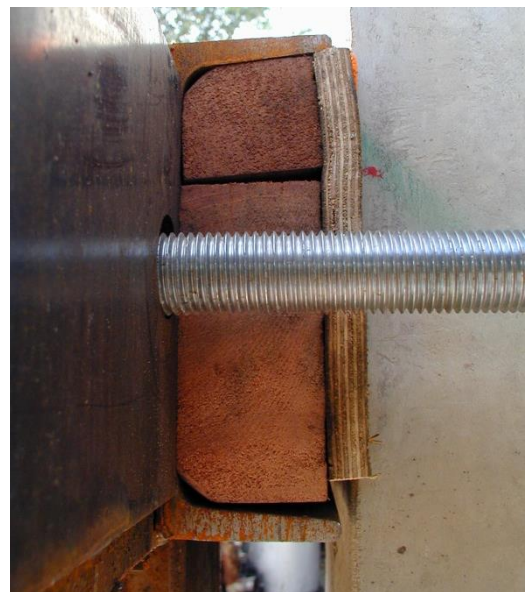


Foto 6A; Behoort niet tot oorspronkelijk rapport

7.6 Overzicht en resultaten

7.6.1 Inleiding.

De punten 8.2 en 8.3 geven een rapportage van een aantal schuifproeven.

De uitkomsten van de 3e en 4e proef zijn onverklaarbaar veel hoger dan die van de 1ste en 2e proef. Daarmee wordt rekening gehouden in punt.8.5.3

Om wat overzicht in de resultaten te geven zijn deze in tabel 6 samengebracht gesorteerd naar:

1e. houtsoort

2e. vlaktedruk

Vervolgens zijn daarvan de gemiddelden berekend. Deze vindt u in tabel no.7 en de conclusies onder punt 8.5.3.

7.6.2 Tabel no.6

De proefresultaten van de series 1 t/m 4 gesorteerd naar $\sigma_{R,kar,\perp}$ per houtsoort.

Vurenhout

Proef- no.	no.	$\sigma_{R,kar,\perp}$ N/mm ²	factor	opmerkingen ,
1	1	1,0	0,53	gemiddeld 0,50 minimum 0,48
	2	1,0	0,50*	
	6	1,0	0,48	
	7	1,0	0,49	
1	8	2,0	0,48	gemiddeld 0,67 minimum 0,44
	9	2,0	0,44	
3	1	2,0	0,78	
	3	2,0	0,80	
	6	2,0	0,76	
4	1	2,0	0,75	
	3	2,0	0,67	
	5	2,0	0,65	
	7	2,0	0,70*	
	9	2,0	0,63*	
1	4	3,0	0,44	gemiddeld 0,436 minimum 0,43
	10	3,0	0,43	
	11	3,0	0,43	
	12	3,0	0,44	
	13	3,0	0,44	
1	5	4,0	0,49	gemiddeld 0,58 minimum 0,48
2	1	4,0	0,48	
	2	4,0	0,49	
3	2	4,0	0,66	
	4	4,0	0,63	
4	2	4,0	0,69	
	4	4,0	0,58	
	6	4,0	0,57	
	8	4,0	0,59*	
	10	4,0	0,61*	
2	3	5,0	0,52	blok met grote kwast 2 kleine kwasten
	4	5,0	0,40	
	5	5,0	0,44	
	7	5,0	0,58	
	8	5,0	0,57	
3	5	5,0	0,58	gemiddeld 0,52 minimum 0,44
	7	5,0	0,57	
	8	5,0	0,55	
2	6	6,0		blok bezwijkt tot 2x toe. 18 mm indrukking (33%)

7.6.2 Tabel no. 6 (vervolg)

Beuken

Proef- no.	no.	$\sigma_{R,kar.\perp}$ N/mm ²	factor	opmerkingen ,
2	9	6,0	0,47	
3	9	6,0	0,42	
4	11	6,4	0,66	gemiddeld 0,54 minimum 0,42
	14	6,4	0,59*	
	17	6,4	0,51*	
2	11	8,0	0,47	
	12	8,0	0,50	
3	10	8,0	0,36	gemiddeld 0,45 minimum 0,36
	11	8,0	0,45	
	12	8,0	0,46	
3	13	10,0	0,44	
4	12	10,7	0,50	
	15	10,7	0,55*	
	18	10,7	0,52	
4	14	12,0	0,42	
	13	12,8	0,52	
	16	12,8	0,54*	

Azobé

2	14	8,0	0,44
2	15	10,0	0,44
	16	10,0	0,43
2	17	12,0	0,39
	18	13,0	0,36

* deze proeven met de vezel richting // aan de schuifrichting. De overige $\perp$

7.6.3 Tabel no.7

De gemiddelde en de minimale waarden voor de wrijvingscoëfficiënt, bepaald per groep gelijk $\sigma_{R,kar,\perp}$ uit tabel 6.

Houtsoort	druk $\perp$ N/mm ²	min. wrijffactor	gemiddelde	proef aantal
Vuren	1,0	0,48	0,50	4
	2,0	0,44	0,67	10
	3,0	0,43	0,44	5
	4,0	0,48	0,58	10
	5,0	0,44	0,52	7
	6,0	niet gemeten i .v.m. bezwijken blok		
Beuken	6,0	0,42	0,53	5
	8,0	0,36	0,45	5
	10,0	0,44	0,50	4
	12,0	0,42	0,49	3
Azobé	8,0	0,44	1	2
	10,0	0,43	0,44	
	12,0	0,39	1	
	13,0	0,36	1	

Opmerking:

De waarde van 6 N/mm² bleek voor vurenhout, dat niet opgesloten is, de bezwijkbelasting te zijn.

7.6.4 Conclusies

1. Voor vurenhout blijkt de wrijvingsfactor redelijk constant.
0,45 is een goede rekenwaarde met een minimale kans van onderschrijding.
2. Voor beukenhout ligt de wrijvingscoëfficiënt op hetzelfde niveau.
Met dit verschil dat de toegestane druk $\perp$ vezel veel hoger is.
3. Bij Azobé ligt de wrijvingscoëfficiënt iets lager en daarvoor is de rekenwaarde op 0,35 te stellen. Daarbij hoort weer een hogere toegestane druk / vezel zodat de totale bereikbare schuifkracht bij dezelfde houtafmeting hoger is dan vurenhout maar ongeveer gelijk aan die van beukenhout.
4. De juiste aan te houden waarde voor de toegestane vlaktedruk vindt u in hoofdstuk 8.
5. Uit de proeven is niet gebleken dat het vochtigheidsgehalte effect heeft op de wrijvingsfactor .

8 Tweede proevenserie

8.1 Inleiding

Uit tabel no.7 blijkt dat de wrijvingsfactor geen duidelijke relatie heeft met de $\sigma_{R,kar,\perp}$.

Terwijl de resultaten van de proef no.4 uit de inventarisatie van reeds bekende proeven hiervoor duidelijk suggereren dat de wrijvingsfactor afneemt bij het stijgen van de $\sigma_{R,kar,\perp}$.

Door deze beide feiten rees de gedachte dat mogelijk de vervorming van het UNP profiel een verschil in $\sigma_{R,kar,\perp}$ in het hout zou veroorzaken waardoor een belangrijk deel boven de bezwijkbelasting komt en het totaal resultaat beïnvloedt.

Wat mogelijk de verklaring kan leveren voor de sterk wijzigende wrijvingsfactor bij de beproeving no.4 uit de inventarisatie pt.6.1.

Om die reden is dan ook bij de volgende proeven met een complete klemconstructie de doorbuiging van het UNP profiel nauwlettend gadeslagen en opgemeten.

De vervolgprouven zijn uitsluitend met vurenhout gedaan om de volgende redenen:

- vurenhout werd tot nu toe het meest toegepast
- vurenhout is goedkoop en eenvoudig overal verkrijgbaar.
- de geringe sterkte van de veelal gebruikte UNP profielen lenen zich niet voor het gebruik van sterkere houtsoorten omdat de vervorming in het profiel dan veel te groot wordt.

De vraag rijst waarom dan geen andere sterkere profielen.

Wel om bij deze eerste studie naar paal klemmen zo veel mogelijk bij de praktijk aan te sluiten heeft de studiecél zich beperkt tot het gebruik van standaard UNP profielen.

De volgende proevenseries bestonden uit het beproeven van volledige Klemconstructies.

De proefopstellingen vindt u afgebeeld op tek. no. 24 en 25 (blz. 48 c.q. 49).

8.2 Werkwijze bij de proeven

Op tekening 24 is de proefopstelling weergegeven voor de proevenseries 5, 7 en 8~ nl. die met UNP 200. Omschrijving van de proeven.

Als funderingspaal (1) diende een paal kop die al in het laboratorium aanwezig was.

In het kopvlak van deze paal kop was een trekstang (2) gelijmd van ruim voldoende sterkte die erg goed van pas kwam.

De paal klem (3 t/m 5) werd op de paal gemonteerd. Deze klem bestond voor deze proeven uit 2 UNP 200 profielen (3) met vurenhouten vul klossen (4) van 100 mm dik en 4 draadeinden M20 kwaliteit 8.8.

De klemkracht werd aangebracht m.b.v. een momentsleutel (6) en de werkelijke boutkracht werd gecontroleerd d.m.v. een drukdoos (7).

De schuifkracht werd aangebracht m.b.v. een holle hydraulische vijzel (8) met een losse handpomp. De vijzel was over de in de paal gelijmde trekstang geplaatst.

De schuifkracht werd d.m.v. een stapeling van balkjes (9) overgebracht op de paal klem.

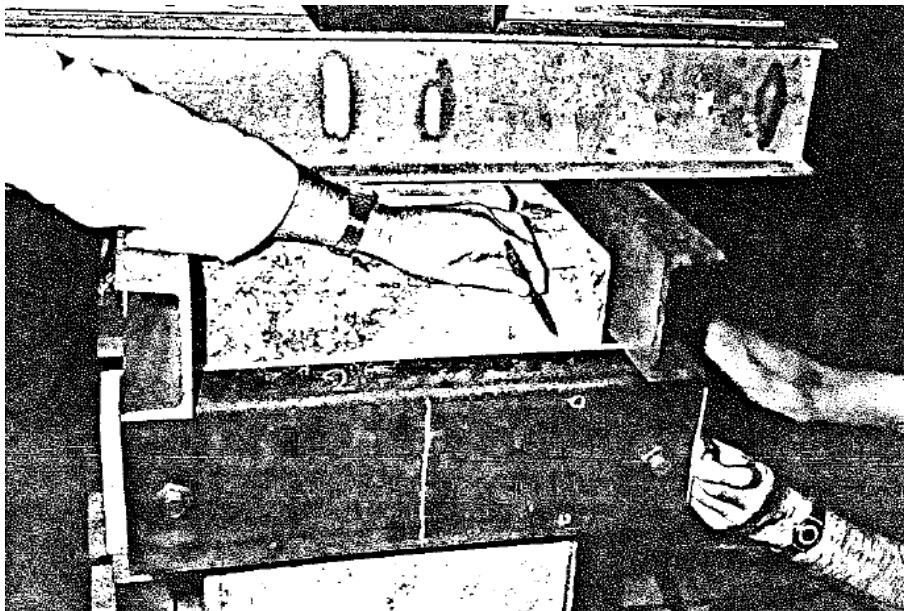
De schuifkrachtgrootte werd ingesteld met behulp van de manometer van de pomp en gecontroleerd m.b.v. een drukdoos (10).

Werkvolgorde:

1. De aanklemkracht werd op de gewenste waarde ingesteld (momentsleutel).
2. De boutkracht werd afgelezen en genoteerd,
3. De kromming van de UNP werd gemeten en genoteerd.
4. De schuifkracht werd verhoogd tot en met het verschuiven van de klemconstructie.
5. De maximale schuifkracht werd voortdurend gecontroleerd m.b.v. de drukdoos achter de holle vijzel.

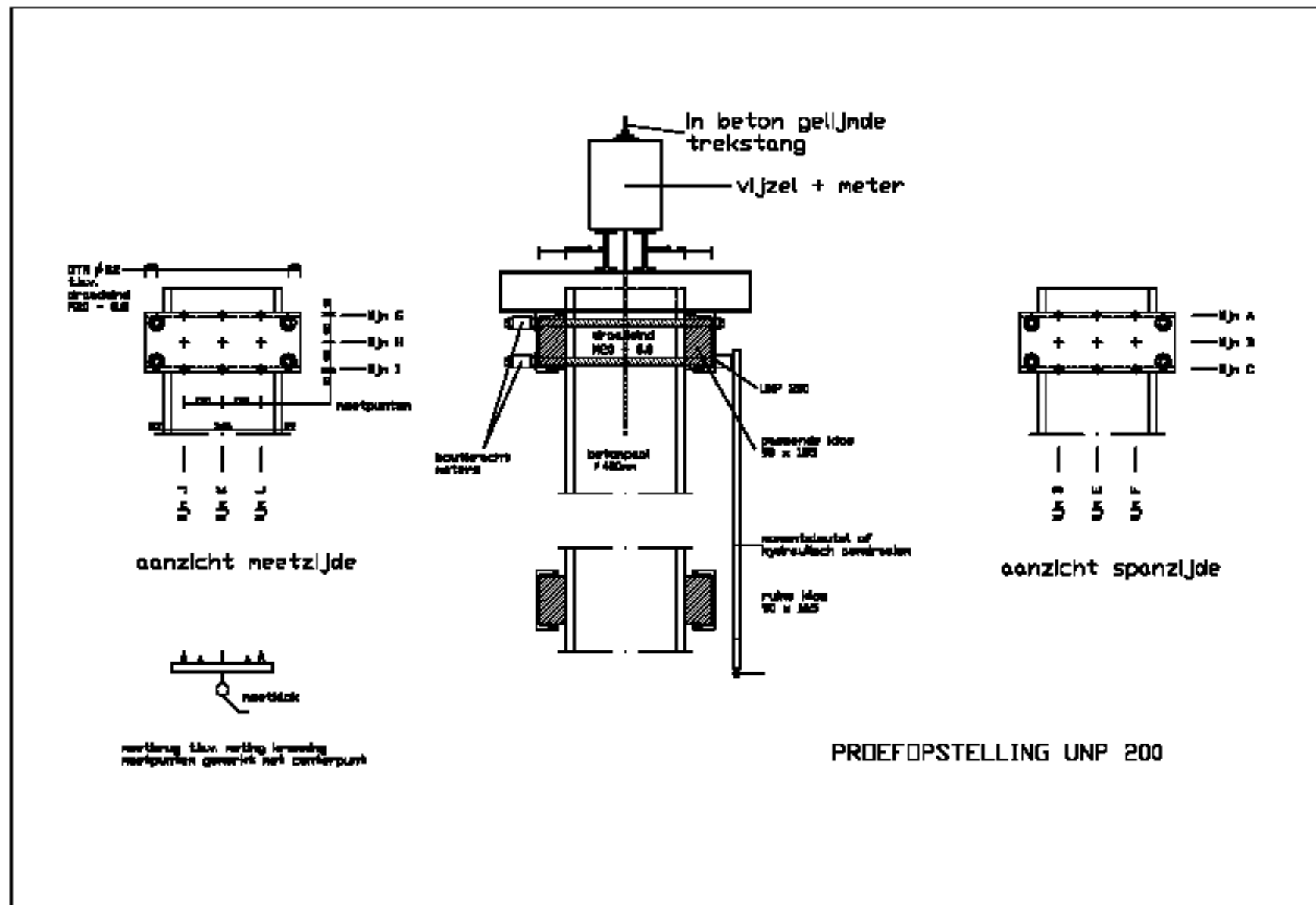
De in de tabellen gegeven waarden zijn allen berekend naar de op de meters afgelezen boutkrachten. Deze meters bezitten een nauwkeurigheid van + 5% dus een voor dit doel grote nauwkeurigheid.

De verticale verplaatsing van de klem alvorens volledig te verschuiven bedroeg meestal vele millimeters maar de meting daarvan gaf onvoldoende houvast om in deze rapportage mee te kunnen nemen.



Opmerking: Onduidelijke oorspronkelijke foto's.

Overzicht van de proefopstelling volgens tekening 25



Tekening 24: Proefopstelling tbv proeven 5, 7 en 8

8.3 Proeven 5 t/m 9

Proefserie 5. Voor proefopstelling zie fig.24 (blz. 49).

Alle proeven met dezelfde klem, met een en dezelfde passende vuren vulling, uit dubbel UNP 200 + 4 bouten M20 - 8.8.

Druk N/mm ²	kromming x 0,01 mm lijn A B C D E F							Mmm	normaal- kracht KN	Fschuif KN-	wrijf- faktor
2,0	19	42	22	21	54	14	90	3	248,4	144	0,58
Na versch.	16	37	18	21	57	12	87	3	195,4		
3,0	24	48	27	53	79	23	124	3,5	372,6		
na 15 min.									355,4*		
								gespannen naar	372,6	181	0,49
Na versch.	22	46	22	57	83	27	122	3,8			
4,0	38	62	42	78	99	34	169	4,0	496,8	213	0,43
Na versch.	32	58	36	81	99	40	159	4,5	360,3		
± 5,0	53	135	132	93	109	48	272	5,5	621	217	0.35**

Maximaal $\frac{A+C}{2} \times 1.76 + E =$ 

1,76 staat voor het verschil van meetplaats naar paal rand gerekend dat het profiel ± in een cirkel vervormd.

Commentaar:

* het hout zet kennelijk na verloop van tijd onder hoge belasting.

** de wrijvingsfactor loopt kennelijk sterk terug omdat de bezwijkbelasting wordt overschreden.

8.3 Proefserie 6.

Voor proefopstelling zie figuur 25.

Alle proeven met dezelfde klem uit 2 x UNP 160 + 2 bouten M20-8.8 met een en dezelfde passende vuren vulling.

Druk N/mm2	Wrijf- factor	Kromming x 0,01 mm							verplaatsing x 0,1 mm			Normaal	Aandraai	F		
		lijn	A	B	C	D	E ^a	F ^a	G ^a	H ^a	I ^a	J	kracht KN	Koppel Nm	schuif	
0,73			9	8	12	9							73.4	70		
1,59			21	21	23	21	20	20	20	20	5	0	159	140	89.8	0.56
1,86			16	27	23	26	23	23	15	15	10	0	185.6	180	108	0.58
1,99			18	27	28	29	28	33	15	15			198.6	250 ^b		
2,32			36	37	34	37	45	55			20	5	232.2	±700 ^c	146.5	0.63
3,16			32	51	46	69	43	43	35	20	70	10	292 ^d	400 ^e	157.6	0.54
Zie foto's no. 7 + 8																

Opmerkingen:

a) Deze waarden geven de kromming van het profieleinde aan t.g.v. de boutkracht dus de bolle zijde laar het hout toe.

b) Bij deze instelling gaf de momentsleutel te veel afwijking. Hierna werden de waarden m.b.v. meetapparatuur ingesteld i.p.v. achteraf gecontroleerd zoals bij de waarden 1 t/m 180Nm

c) Dit moment was zelfs nodig om in bout 2 de benodigde boutkracht te brengen.

d) Dit was de eindwaarde want t.p.v. bout no.1 bezweek het hout.

De momentsleutel gaf onjuiste uitkomsten o.a. door het ontbreken van hardstalen onderleggingen. (Zie foto no. 9)

e) Voor het opnieuw aanspannen van de bouten zijn er eerst zware volgplaten onder de moeren gelegd.

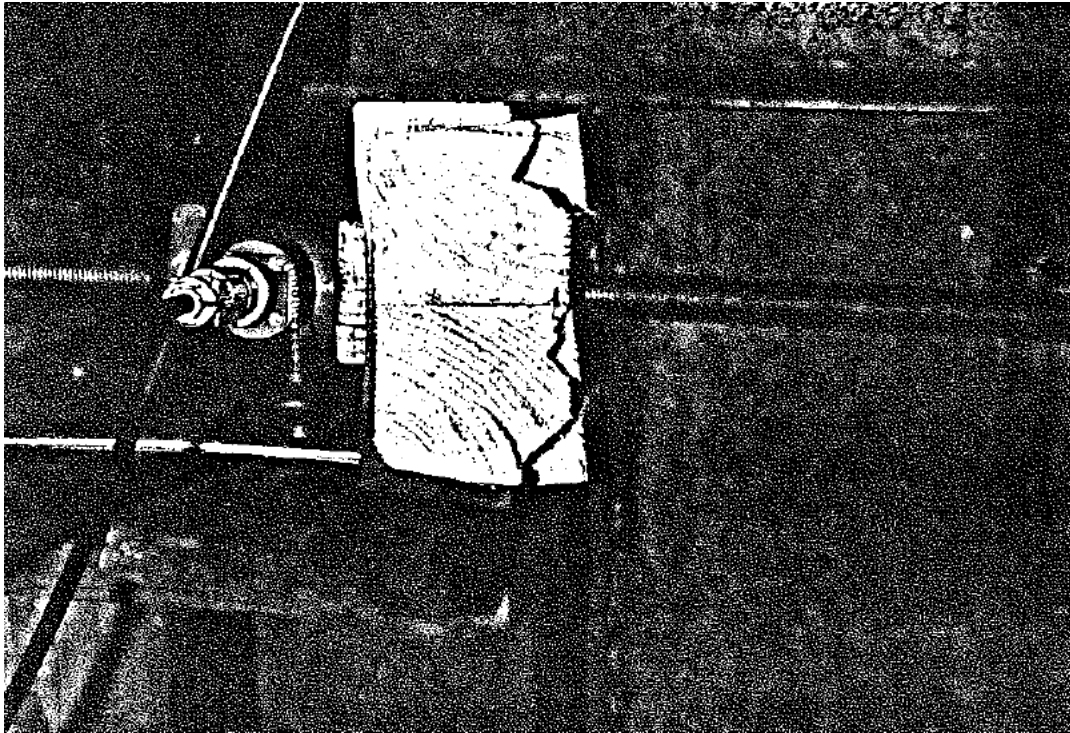


Foto 7



Foto 8

8.3 Proefserie 7.

Voor proefopstelling zie figuur 24.

Alle proeven zijn genomen met een klem uit twee UNP 200 profielen met 4 bouten M20-8.8 en een passende vuren vulling.

Druk N/mm ²	Kromming x 0,01 mm lijn	A	B	C	D	E	F	G	H	I		Normaal kracht KN	Aandraai koppel Nm	F schui f/ KN	Wrijf- fak tor
3,0		58	64	31	4	31	20	85	71	33	109	468	350		
4,0		54	64	30	0	30	21	82	71	45	104	492		160	0,33b)

$$\text{Max. } (A+C)0,88 + E$$

a) De momentsleutel gaf dermate grote afwijkingen dat bij een ingesteld koppel van 350 Nm een bout 73 KN trekkracht verkreeg tegen een tweede slechts 48 KN.

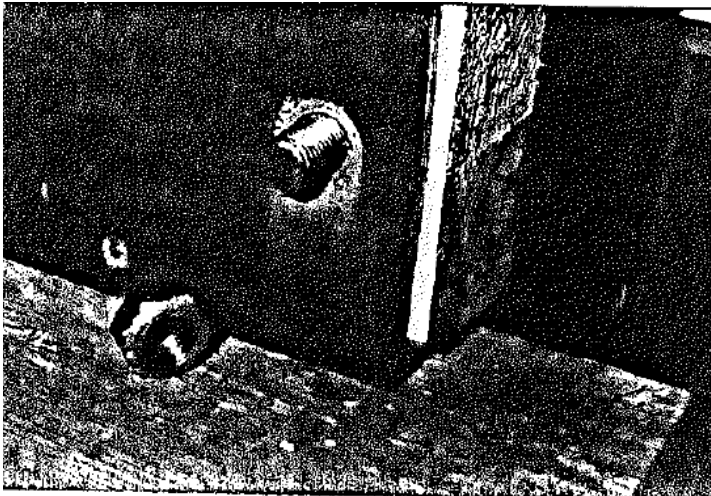
Daarop hebben wij getracht de boutkrachten iets te nivelleren zonder te ontspannen, samen tot een totaal waarde van 492 kN.

Daarbij leverde het hout t.p.v. een bout zo weinig weerstand dat de bout niet verder kwam dan 50 kN.

Commentaar:

b) deze lage wrijvingsfactor is waarschijnlijk veroorzaakt door een te hoge vlaktedruk ofwel bezwijken van het hout.

(Zie foto no. 9)



Opmerking: Onduidelijke oorspronkelijke foto.

8.3 Proefserie 8.

Voor proefopstelling zie fig. 24.

Alle proeven met dezelfde klem uit 2 x UNP 200 + 4 bouten M20-8.8 met een en dezelfde zuiver vuren vulling.

Druk N/mm2 KN	Wrijf- lijn faktor	Kromming x 0,01 mm												X 0,1 mm		Normaal-	Schuif-	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	I	M	N	kracht KN	kracht	
2,0	0,47 0,45	24	23	15	48	47	20	15	33	10	56	88	93	81	- 3	-3,5	228	108
3,0 *		17	28	22	102	95	67	22	44	21	106	144	143	129	-13,5	-3,5	344**	137

Zie 'foto's no. 10 (ontbreekt) + 11

$$\text{Max. } \frac{A + C}{2} \times 1,76 + E =$$

Opmerkingen:

* Bij de voortzetting van de proef is de vijzel voor de schuifkracht in tegenstelling met de eerdere proeven niet afgelaten.

** Deze waarde was na het schuiven teruggelopen naar 304 kN.

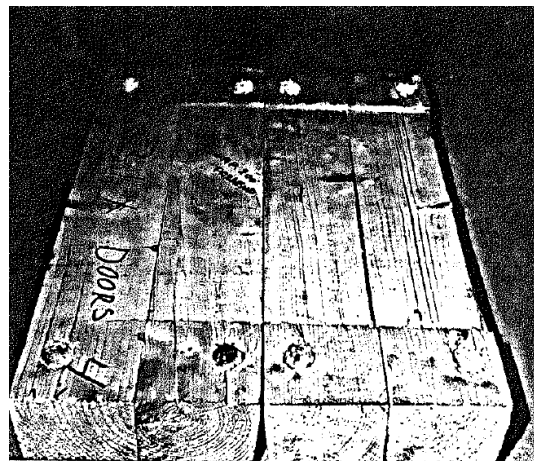


Foto no. 11 Opmerking: Onduidelijke oorspronkelijke foto.

8.4 Proefserie 9.

Voor proefopstelling zie figuur 25. Met volgplaten' 60'x 10 mm.

Alle proeven met dezelfde klem 2 x UNP 160 + 2 bouten M20-8.8 en dezelfde passende vulling.

Druk N/mm2	Kromming x 0,01 mm				Normaal kracht KN	F schuif/KN -	Wrijf- faktor	
	lijn	A	B	C				D
1,92					173	91,3	0,53	
2,52		30	30	31	33	226	99,5	0,44
1,96		27	24	25	26	176	84,0	0,48
2,85		35	35	34	26	256	112,6	0,44
2,32						208*		
1,75						157**		

Opmerkingen:

** resterende boutkracht na 20 uur.

* resterende boutkracht na verschuiven.

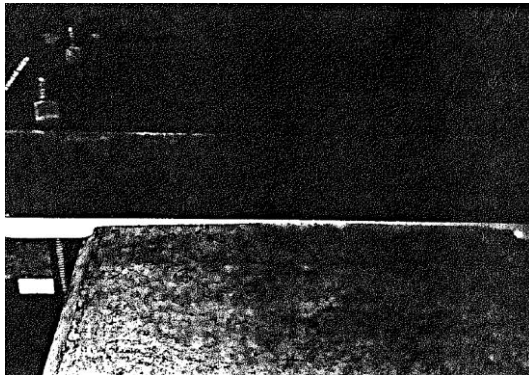


Foto 12 Opmerking: Onduidelijke oorspronkelijke foto.

8.5 Evaluatie proeven 5 t/m 9.

8.5.1 Vlaktedruk hout

Proef no. 5 geeft een duidelijk beeld van de kromming van het UNP profiel samen met de totale inknijsing en het teruglopen van de wrijvingsfactor bij het stijgen van de druk $\perp$

Na enkele berekeningen blijkt dat over een steeds groter deel van het drukoppervlak de bezwijkwaarde van 6 N/mm² wordt bereikt, n.l. als volgt:

bij	2 N/mm ²	max = 4,02 N/mm ²	W = 0,58	100%
„	3 N/mm ²	4% van het oppervlak overschrijdt 6 Nmm ²	W = 0,49	84%
„	4 N/mm ²	30% „ „ „ „ „ „	W = 0,43	74%
„	5 N/mm ²	75% „ „ „ „ „ „	W = 0,35	60%

Men zou kunnen stellen: of hout nu bezwijkt of niet, de normaal kracht blijft gehandhaafd. Maar bovengenoemde berekeningen en uitkomsten geven aan dat de wrijvingsweerstand sterk afneemt boven de 6 N/mm².

Proef no. 6 geeft duidelijk aan dat hout volkomen bezwijkt boven een bepaalde spanning, zie waarde N bij 3,16 N/mm². N= normaalkracht.

Proef no. 7: voor deze proef geldt hetzelfde, zie: eerste voetnoot.

Proef no. 8 gaf geen nieuw beeld.

Proef no. 9 geeft aan dat het verschuiven een sterk ontregelende invloed heeft op het hout. De totale houtkracht zakt direct en ook na 20 uur is de houtkracht weer afgenomen. Anders gezegd is het hout verder in elkaar geperst.

8.5.2 Aandraaikoppel bouten

Uit het verslag van de proeven blijkt dat het aandraaien van de bouten met de momentsleutel op problemen stuitte. Het benodigde koppel bleek bijna in alle gevallen hoger dan het volgens berekening benodigde koppel.

Deze berekening werd gedaan met de formule uit de voorlopige richtlijnen.

Voor het ontwerpen en de uitvoering van verbindingen met voorspanbouten in staalconstructies.

$$M_A \text{ [Nm]} = K \times d \text{ [mm]} \times F_v \text{ [kN]}$$

M_A = aandraai koppel

K = factor voor de wrijvingshoek in combinatie met de helling van de schroefdraad.

F_v = de voorspankracht.

In **figuur 26** staan de waarden van aandraai koppel uitgezet tegen de bereikte voorspankracht en met de bijbehorende oplegdruk onder de moer.

Daaruit blijkt dat bij kleine krachten de berekende waarden goed gevolgd worden.

Maar zo gauw de oplegdruk boven de 140 à 150 N/mm² komt, neemt het aandraaikoppel buiten verhouding veel toe.

Daaruit blijkt de waarheid van het advies uit de voorlopige richtlijnen bij voorspanbouten ook hoogwaardige volgelingen te gebruiken om de krachten uit de bouten te spreiden naar de dragende constructie.

8.5.3 Conclusies

Vlaktedruk

Uit punt 7.4.1 blijkt dat voor de juiste waarde van de vlaktedruk maximaal de in de TGB (*is oorspronkelijke bron*) aangegeven waarde van 2,5 N/mm² kan worden aangehouden om verrassingen te voorkomen. Zoals het teruglopen van de wrijvingsfactor bij het plaatselijk overschrijden van de bezwijkspanning van 6,0 N/mm².

Wanneer een klemconstructie geheel of gedeeltelijk verschoven is, is zeker de toelaatbare belasting afgenomen en de kans van doorglijden bij verder belasten zeer groot.

Wrijvingsfactor

'De wrijvingsfactor voor vurenhout blijft ook na de proeven 5 t/m 9, wel rekening houdend met de hiervoor genoemde max. oplegdruk, gehandhaafd op 'de waarden genoemd in punt 6.4.3 evenals die voor beuken en Azobé, nl.

Vurenhout 0,45

Beukenhout 0,45

Azobé 0,35

Aandraai koppel

Het aandraai koppel laat zich goed berekenen als wij inderdaad in de praktijk ook de bij de berekening behorende omstandigheden creëren.

Staal profiel UNP

Uit de doorbuigingsmetingen blijkt, dat dit profiel sterk vervormt.

De studiecél heeft getracht met medewerking van enkele rekenmeesters en een computer via een elementenprogramma het spanningsverloop in het staal profiel te bepalen.

Deze pogingen zijn gestrand op de plastische vervorming van het profiel.

Bij handmatige benadering bleek het profiel bij een houtdrukspanning van 2,5 N/mm² al op diverse plaatsen te vloeien. De computerberekening gaf bij een houtdrukspanning van 0,6 N/mm² al een overschrijden van de vloeigrens in het staal in de boutzone.

Daarom heeft de studiecél de rapportage afgemaakt zonder de zuivere theoretische achtergronden van de berekening geheel uit te diepen - zie ook hfdst. 9.

9 Aanbevelingen voor aanvullend onderzoek voor een volgende cel

1. Uit punt 8.5.3 bleek al, dat de studiecél er in deze korte tijdspanne niet in geslaagd is het juiste krachtenverloop in het staalprofiel te achterhalen.
Dus dit is een eerste punt voor een volgende cel:

Hoe is het krachtenverloop in het UNP-profiel?

en:

Hoe moet het berekend worden?

2. Om de gevonden berekening of de in dit rapport gehanteerde eenvoudige berekening te toetsen aan de praktijk met een groter nauwkeurigheid dan de proeven in dit rapport kunnen leveren, verdient het aanbeveling een proevenserie op te zetten in aantal afgestemd op de juiste nauwkeurigheid:

een uitgebreide proevenserie op ware grootte.

3. De traditionele paal klem kan waarschijnlijk vervangen worden door een sterker model, met andere woorden:

Het ontwikkelen van een nieuw model paal klem.

4. Ronde palen zijn door de studiecél nog niet bestudeerd.

Het berekenen c.q. beproeven van paalklemmen op ronde palen.

5. Ook stalen palen met of zonder coating zijn buiten het studiewerk van deze cel gebleven.

Paal klemmen op stalen palen met of zonder coating.

6. Het toepassen van alternatieve methoden, zoals lijmen, wrijvingsfolie en dergelijke is wel geconstateerd, maar niet bestudeerd.

Het onderzoeken van andere krachtoverdrachtsmethoden.

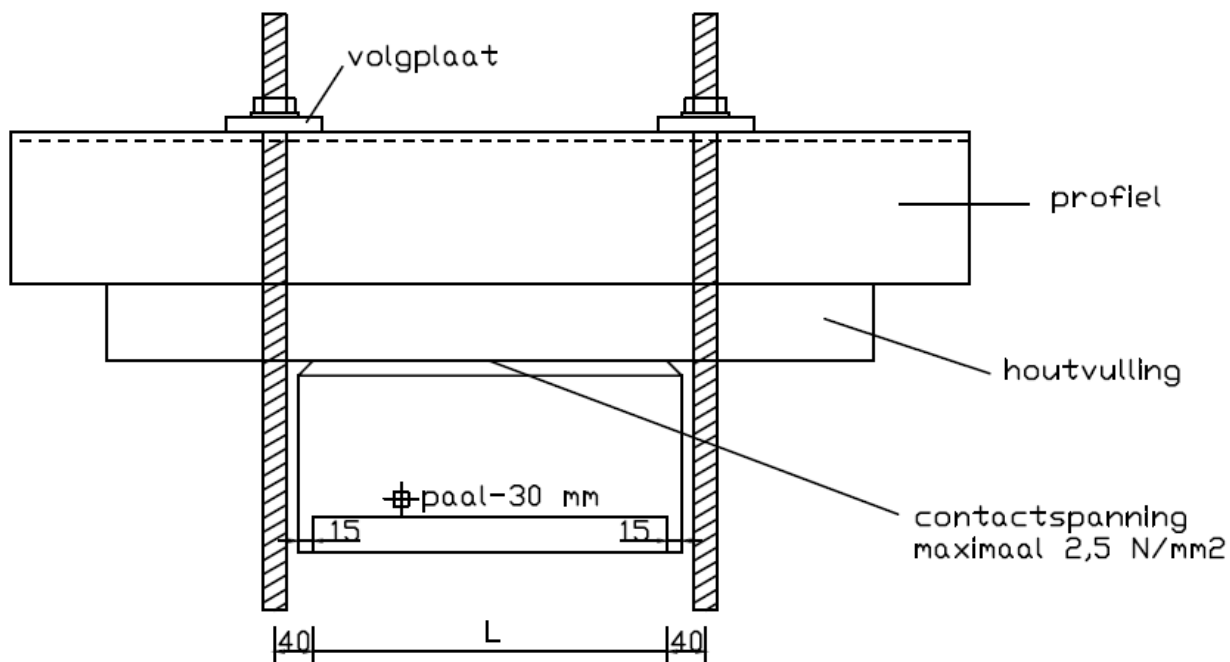
10 Literatuurlijst (oorspronkelijke rapport)

1. T.G.B. staal 1972 (EC hout)
2. T.G.B. Hout 1982 (EC staal/bouten)
3. Richtlijnen voor het ontwerpen en de uitvoering van verbindingen met voorspanbouten in staalconstructies.
(concept van normkommissie 104)
(zie ook het voorwoord)
4. Handboek Bekistingen van Stubeco.
5. **Update**; Vigerende normen ten tijde van de update van het rapport:
 - NEN-EN 1990 Grondslagen van het constructief ontwerp, 1990+A1+A1/C1:2011 + NB:2011;
 - NEN-EN 1991-1-1 Belastingen, Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen, 1991-1-1+C1:2011 + NB:2011;
 - NEN-EN 1991-1-7 Belastingen, Belastingen tijdens uitvoering, 1991-1-6+C1: 2008
 - NEN-EN 1993-1-1 Staalconstructies, Algemene regels en regels voor gebouwen, 1993-1-1+C2:2011 + NB:2011;
 - NEN-EN 1993-1-5 Staalconstructies, Constructieve plaatvelden: 1993-1-5+C1: 2011 + NB:2011
 - NEN-EN 1993-1-8 Staalconstructies, Ontwerp en berekening van verbindingen, 1993-1-8+C2:2011 + NB:2011;
 - NEN-EN 1995-1-1 Houtconstructies, Algemene regels en regels voor gebouwen, 1995-1-1+C1+A1:2011 + NB:2011

11 Bijlagen

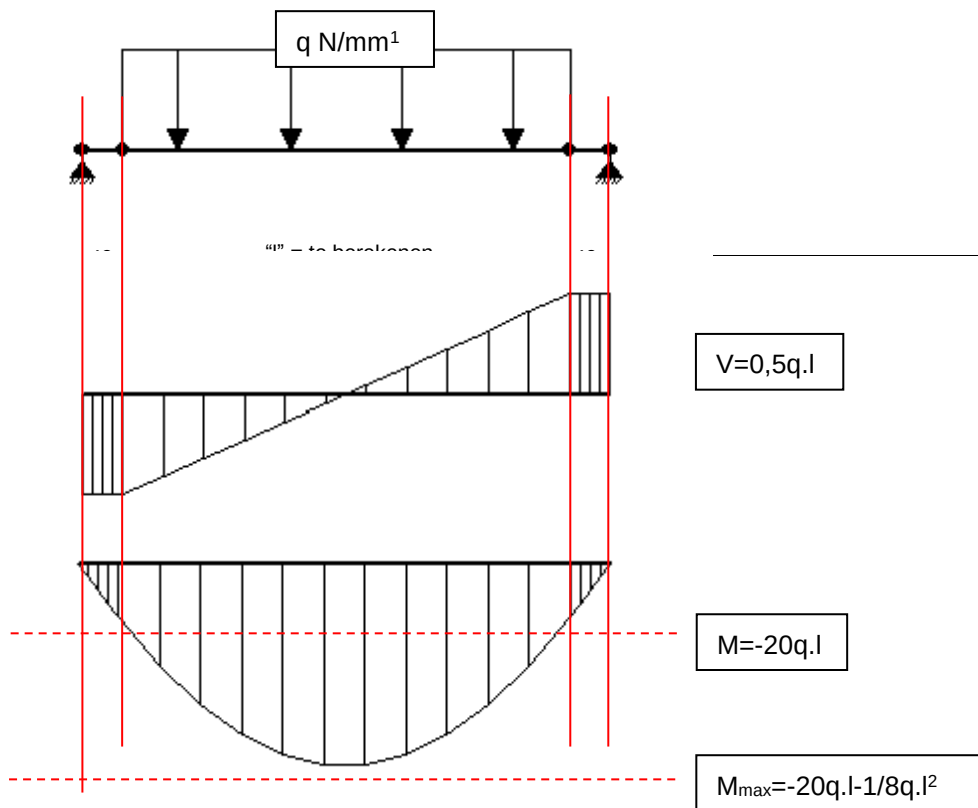
11.1 Bijlage 1

Toelichting op bepaling contactlengten en/of contactspanning in langsrichting van de profielen:



Als "L" t.g.v. een grote aan paal te groot gaat worden, zal de toelaatbare contactspanning afnemen. De bovengrens wordt bepaald door de dwarsrichting en is dus moeilijk vast te stellen.
(Zie vorige berekening maart '84)
Opmerking: Bron onbekend.

11.2 Bijlage 2



Door de effectieve breedte van het contactvlak gelijk te stellen aan de effectieve hoogte van het UNP profiel (= hoogte tussen de flenzen), kan bij een maximum gestelde contactspanning van $2,5 \text{ N/mm}^2$ de belasting q per mm^1 bepaald worden.

Hiermee zijn de volgende variabelen bepaald:

$M_{pl} / \text{el.}$ in Nmm ;

q in Nmm^2 ;

In bovenstaande vergelijking van $M_{\max}$ is dus " l " op te lossen.

Zie onderstaande tabellen:

Uitgangspunten:

Karakteristieke oplegdruk max.

2,5 [N/mm²]

Plastische berekening

Profiel	W _{pl} [mm ³]	f _y [N/mm ²]	M _{pl} [Nmm]	b eff. [mm]	q [N/mm ¹]	l [mm]	Paal fictief [mm]
UNP120	21200	235	4982000	102	255,0	323,4	353,4
UNP140	28300	235	6650500	120	300,0	348,7	378,7
UNP160	35200	235	8272000	139	347,5	363,7	393,7
UNP180	42900	235	10081500	158	395,0	378,9	408,9
UNP200	51800	235	12173000	177	442,5	395,9	425,9
UNP220	64100	235	15063500	195	487,5	423,6	453,6
UNP240	75700	235	17789500	214	535,0	441,9	471,9
UNP260	91600	235	21526000	232	580,0	470,7	500,7
UNP280	109000	235	25615000	250	625,0	498,2	528,2
UNP300	130000	235	30550000	268	670,0	529,2	559,2

“l” is de maximale lengte voor het betreffende UNP-profiel, waarbij de contactspanning maximaal 2,5 N/mm² bedraagt.

11.3 Bijlage 3

Optredende (gemiddelde) contactspanning: Bij plastische beschouwing UNP profielen

Paal Vierkant		UNP120	UNP140	UNP160	UNP180	UNP200	UNP220	UNP240	UNP260	UNP280	UNP300
	b eff.	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
200		4,8	5,1	5,3	5,6	5,8	6,2	6,5	6,9	7,3	7,8
250		3,7	4,0	4,1	4,3	4,5	4,8	5,0	5,3	5,7	6,0
290		3,1	3,4	3,5	3,6	3,8	4,1	4,2	4,5	4,8	5,1
320		2,8	3,0	3,1	3,3	3,4	3,7	3,8	4,1	4,3	4,6
350		2,5	2,7	2,8	3,0	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1
380		2,3	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8
400		2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,0	3,2	3,4	3,6
420		2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	3,0	3,2	3,4
450		1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,2
500		1,7	1,9	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8
600		1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3

11.4 Bijlage 4

Uitgangspunten:

Karakteristieke oplegdruk max. $2,5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

Elastische berekening

Profiel	W_{el} [mm ³]	f_y [N/mm ²]	M_{el} [Nmm]	b eff. [mm]	q [N/mm ¹]	l [mm]	Paal fictief [mm]
UNP120	11060	235	2599100	102	255,0	216,5	246,5
UNP140	14730	235	3461550	120	300,0	234,2	264,2
UNP160	18260	235	4291100	139	347,5	244,3	274,3
UNP180	22390	235	5261650	158	395,0	256,1	286,1
UNP200	26950	235	6333250	177	442,5	267,7	297,7
UNP220	33500	235	7872500	195	487,5	288,2	318,2
UNP240	39500	235	9282500	214	535,0	301,1	331,1
UNP260	47900	235	11256500	232	580,0	322,1	352,1
UNP280	57200	235	13442000	250	625,0	342,4	372,4
UNP300	67600	235	15886000	268	670,0	362,8	392,8

“l” is de maximale lengte voor het betreffende UNP-profiel, waarbij de contactspanning maximaal $2,5 \text{ N/mm}^2$ bedraagt.

Optredende (gemiddelde) contactspanning: Bij elastische beschouwing UNP profielen

Paal vierkant:	UNP										
		120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
	b eff.	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
200		3,2	3,4	3,6	3,8	3,9	4,2	4,4	4,7	5,0	5,3
250		2,5	2,7	2,8	2,9	3,0	3,3	3,4	3,7	3,9	4,1
290		2,1	2,3	2,3	2,5	2,6	2,8	2,9	3,1	3,3	3,5
320		1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,8	3,0	3,1
350		1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8
380		1,5	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6
400		1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5
420		1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3
450		1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2
500		1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
600		0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6

11.5 Bijlage 5

Berekening paalklemmen bij een veiligheid "V" van: 2,0 en 2,5
Op basis van het plastische moment van de UNP's.

Voorbeeldberekening voor een paal 400x400 mm². "L" = 400 – (2x15) = 370 mm.

Uitgangspunten

Contactspanning: Max. 2,5 N/mm² Gereduceerd
 Wrijvingsfactor: 0,45 [-]
 Paalafmeting:
 l 400 mm
 b 400 mm

		UNP120	UNP140	UNP160	UNP180	UNP200	UNP220	UNP240	UNP260	UNP280	UNP300
Contactvlak hout:											
l	[mm]	323	349	364	370	370	370	370	370	370	370
b	[mm]	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
A (Dubbelzijdig)	[mm ²]	65965,1	83677,6	101097,6	116920	130980	144300	158360	171680	185000	198320
Contactspanning:	[N/mm ²]	2,18	2,36	2,46	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Klemkracht	[N]	144124	197127	248413,4	292300	327450	360750	395900	429200	462500	495800
Aantal bouten	[St]	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Boutkracht	[kN]	36,0	49,3	62,1	73,1	40,9	45,1	49,5	53,7	57,8	62,0
Veiligheidsfactor:	2,0										
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	32	44	56	66	74	81	89	97	104	112
Veiligheidsfactor:	2,5										
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	26	35	45	53	59	65	71	77	83	89
Boutkeuze:		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Klasse 4.6		18	22	24	27	20	20	22	22	22	24
Klasse 8.8		14	16	16	18	14	14	16	16	16	16
Klasse 10.9		12	14	16	16	12	14	14	14	14	16

NEN-EN 1993-1-8

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{1,25}$$

Kwaliteit 4.6

$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2$

Kwaliteit 8.8

$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$

M	A-spanning	Trekkracht $F_{t,Rd}$	70%
mm	mm2	kN	kN
10	57	16,5	11,5
12	83	24,0	16,8
14	115	33,1	23,2
16	155	44,7	31,3
18	192	55,3	38,7
20	242	69,8	48,8
22	303	87,3	61,1
24	349	100,5	70,3
27	455	131,1	91,8
30	555	159,9	111,9
33	688	198,0	138,6
36	809	233,1	163,2

M	A-spanning	Trekkracht $F_{t,Rd}$	70%
mm	mm2	kN	kN
10	57	33,0	23,1
12	83	48,0	33,6
14	115	66,2	46,4
16	155	89,3	62,5
18	192	110,6	77,4
20	242	139,5	97,7
22	301	173,1	121,2
24	349	200,9	140,7
27	455	262,2	183,5
30	555	319,8	223,9
33	688	396,0	277,2
36	809	466,1	326,3

Kwaliteit 10.9

$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$

M	A-spanning	Trekkracht $F_{t,Rd}$	70%
mm	mm2	kN	kN
10	57	41,2	28,9
12	83	60,0	42,0
14	115	82,8	58,0
16	155	111,6	78,1
18	192	138,2	96,8
20	242	174,4	122,1
22	301	216,4	151,5
24	349	251,2	175,8
27	455	327,8	229,4
30	555	399,7	279,8
33	688	495,0	346,5
36	809	582,7	407,9

Uitwerking palen 200x200 t/m 350x350 mm².

Uitgangspunten

Contactspanning: Max.

Wrijvingsfactor:

Veiligheidsfactor: 2,0

Veiligheidsfactor: 2,5

2,5 N/mm² Gereduceerd
0,45 [-]

Paalafmeting:	200	UNP120	UNP140	UNP160	UNP180	UNP200	UNP220	UNP240	UNP260	UNP280	UNP300
Contactvlak hout:											
l	[mm]	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
b	[mm]	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
A (Dubbelzijdig)	[mm ²]	34680	40800	47260	53720	60180	66300	72760	78880	85000	91120
Contactspanning:	[N/mm ²]	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Klemkracht	[N]	86700	102000	118150	134300	150450	165750	181900	197200	212500	227800
Aantal bouten	[St]	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Boutkracht	[kN]	21,7	25,5	29,5	33,6	38,8	44,8	50,8	56,8	62,8	68,8
Boutkeuze [8.8]	[M]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Aandraaimoment	Nm - kNm	46,8	55,1	63,8	72,5	81,2	90,0	98,7	107,5	116,2	125,0
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	20	23	27	30	34	37	41	44	48	51
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	16	18	21	24	27	30	33	35	38	41

Paalafmeting:	250	UNP120	UNP140	UNP160	UNP180	UNP200	UNP220	UNP240	UNP260	UNP280	UNP300
Contactvlak hout:											
l	[mm]	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
b	[mm]	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
A (Dubbelzijdig)	[mm ²]	44880	52800	61160	69520	77880	85800	94160	102080	110000	117920
Contactspanning:	[N/mm ²]	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Klemkracht	[N]	112200	132000	152900	173800	194700	214500	235400	255200	275000	294800
Aantal bouten	[St]	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Boutkracht	[kN]	28,1	33,0	38,2	43,5	49,0	54,3	59,7	65,0	70,3	75,6
Boutkeuze [8.8]	[M]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Aandraaimoment	Nm - kNm	60,6	71,3	82,1	93,0	104,0	115,0	126,0	137,0	148,0	159,0
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	25	30	34	39	44	48	53	57	62	66
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	20	24	28	31	35	39	42	46	50	53

Paalafmeting:	290	UNP120	UNP140	UNP160	UNP180	UNP200	UNP220	UNP240	UNP260	UNP280	UNP300
Contactvlak hout:											
l	[mm]	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
b	[mm]	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
A (Dubbelzijdig)	[mm ²]	53040	62400	72280	82160	92040	101400	111280	120640	130000	139360
Contactspanning:	[N/mm ²]	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Klemkracht	[N]	132600	156000	180700	205400	230100	253500	278200	301600	325000	348400
Aantal bouten	[St]	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Boutkracht	[kN]	33,2	39,0	45,2	51,4	58,0	64,3	70,7	77,0	83,3	89,6
Boutkeuze [8.8]	[M]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Aandraaimoment	Nm - kNm	71,6	84,3	97,1	110,0	123,0	136,0	149,0	162,0	175,0	188,0
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	30	35	41	46	52	57	63	68	73	78
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	24	28	33	37	41	46	50	54	59	63

Paalafmeting:	320	UNP120	UNP140	UNP160	UNP180	UNP200	UNP220	UNP240	UNP260	UNP280	UNP300
Contactvlak hout:											
l	[mm]	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290
b	[mm]	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
A (Dubbelzijdig)	[mm ²]	59160	69600	80620	91640	102660	113100	124120	134560	145000	155440
Contactspanning:	[N/mm ²]	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Klemkracht	[N]	147900	174000	201550	229100	256650	282750	310300	336400	362500	388600
Aantal bouten	[St]	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Boutkracht	[kN]	37,0	43,5	50,4	57,3	64,3	71,3	78,3	85,3	92,3	99,3
Boutkeuze [8.8]	[M]	16	16	16	16	12	12	12	12	12	12
Aandraaimoment	Nm - kNm	106,5	125,3	144,1	163,0	181,8	200,6	219,4	238,2	257,0	275,8
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	33	39	45	52	58	64	70	76	82	87
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	27	31	36	41	46	51	56	61	65	70

Paalafmeting:	350	UNP120	UNP140	UNP160	UNP180	UNP200	UNP220	UNP240	UNP260	UNP280	UNP300
Contactvlak hout:											
l	[mm]	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320
b	[mm]	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
A (Dubbelzijdig)	[mm ²]	65280	76800	88960	101120	113280	124800	136960	148480	160000	171520
Contactspanning:	[N/mm ²]	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Klemkracht	[kN]	163200	192000	222400	252800	283200	312000	342400	371200	400000	428800
Aantal bouten	[St]	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Boutkracht	[N]	40,8	48,0	55,6	63,2	70,8	78,4	86,0	93,6	101,2	108,8
Boutkeuze [8.8]	[M]	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Aandraaimoment	Nm - kNm	117,5	138,2	160,1	182,0	204,0	226,0	248,0	270,0	292,0	314,0
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	37	43	50	57	64	70	77	84	90	96
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	29	35	40	46	51	56	62	67	72	77

Uitwerking palen 380x380 t/m 500x500 mm².

Uitgangspunten

Contactspanning: Max.

Wrijvingsfactor:

Veiligheidsfactor: 2,0

Veiligheidsfactor: 2,5

2,5 N/mm² Gereduceerd

0,45 [-]

Paalafmeting:	380	UNP120	UNP140	UNP160	UNP180	UNP200	UNP220	UNP240	UNP260	UNP280	UNP300
Contactvlak hout:											
l	[mm]	323	349	350	350	350	350	350	350	350	350
b	[mm]	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
A (Dubbelzijdig)	[mm ²]	65965,1238	83677,636	97300	110600	123900	136500	149800	162400	175000	187600
Contactspanning:	[N/mm ²]	2,31	2,49	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>
Klemkracht	[N]	152359,859	208391,27	243250	276500	309750	341250	374500	406000	437500	469000
Aantal bouten	[St]	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Boutkracht	[kN]	38,1	52,1	60,8	69,1	38,7	42,7	46,8	50,8	54,7	58,6
Boutkeuze [8.8]	[M]	16	16	16	20	16	16	16	16	16	16
Aandraaimoment	Nm (kNm)	109,7	150,0	175,1	248,9	111,5	122,9	134,8	146,2	157,5	168,8
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	34	47	55	62	70	77	84	91	98	106
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	27	38	44	50	56	61	67	73	79	84

Paalafmeting:	400	UNP120	UNP140	UNP160	UNP180	UNP200	UNP220	UNP240	UNP260	UNP280	UNP300
Contactvlak hout:											
l	[mm]	323	349	364	370	370	370	370	370	370	370
b	[mm]	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
A (Dubbelzijdig)	[mm ²]	65965,1238	83677,636	101097,6	116920	130980	144300	158360	171680	185000	198320
Contactspanning:	[N/mm ²]	2,18	2,36	2,46	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>
Klemkracht	[N]	144124	197127	248413	292300	327450	360750	395900	429200	462500	495800
Aantal bouten	[St]	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Boutkracht	[kN]	36,0	49,3	62,1	73,1	40,9	45,1	49,5	53,7	57,8	62,0
Boutkeuze [8.8]	[M]	16	16	16	20	16	16	16	16	16	16
Aandraaimoment	Nm (kNm)	103,8	141,9	178,9	263,1	117,9	129,9	142,5	154,5	166,5	178,5
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	32	44	56	66	74	81	89	97	104	112
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	26	35	45	53	59	65	71	77	83	89

Paalafmeting:	420	UNP120	UNP140	UNP160	UNP180	UNP200	UNP220	UNP240	UNP260	UNP280	UNP300
Contactvlak hout:											
l	[mm]	323	349	364	379	390	390	390	390	390	390
b	[mm]	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
A (Dubbelzijdig)	[mm ²]	65965,1238	83677,636	101097,6	119730	138060	152100	166920	180960	195000	209040
Contactspanning:	[N/mm ²]	2,07	2,23	2,33	2,43	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>
Klemkracht	[N]	136733	187017,81	235674,3	290800	345150	380250	417300	452400	487500	522600
Aantal bouten	[St]	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Boutkracht	[kN]	34,2	46,8	58,9	72,7	43,1	47,5	52,2	56,6	60,9	65,3
Boutkeuze [8.8]	[M]	16	16	16	20	16	16	16	16	16	20
Aandraaimoment	Nm (kNm)	98,4	134,7	169,7	261,7	124,3	136,9	150,2	162,9	175,5	235,2
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	31	42	53	65	78	86	94	102	110	118
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	25	34	42	52	62	68	75	81	88	94

Paalafmeting:	450	UNP120	UNP140	UNP160	UNP180	UNP200	UNP220	UNP240	UNP260	UNP280	UNP300
Contactvlak hout:											
l	[mm]	323	349	364	379	396	420	420	420	420	420
b	[mm]	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
A (Dubbelzijdig)	[mm ²]	65965,1238	83677,636	101097,6	119730	140147,1	163800	179760	194880	210000	225120
Contactspanning:	[N/mm ²]	1,92	2,08	2,16	2,26	2,36	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>
Klemkracht	[N]	126967	173659	218840	270029	330260	409500	449400	487200	525000	562800
Aantal bouten	[St]	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Boutkracht	[kN]	31,7	43,4	54,7	67,5	41,3	51,2	56,2	60,9	65,6	70,4
Boutkeuze [8.8]	[M]	12	16	16	20	16	16	16	16	20	20
Aandraaimoment	Nm (kNm)	68,6	125,0	157,6	243,0	118,9	147,4	161,8	175,4	236,3	253,3
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	29	39	49	61	74	92	101	110	118	127
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	23	31	39	49	59	74	81	88	95	101

Paalafmeting:	500	UNP120	UNP140	UNP160	UNP180	UNP200	UNP220	UNP240	UNP260	UNP280	UNP300
Contactvlak hout:											
l	[mm]	323	349	364	379	396	424	442	470	470	470
b	[mm]	102	120	139	158	177	195	214	232	250	268
A (Dubbelzijdig)	[mm ²]	65965,1238	83677,636	101097,6	119730	140147,1	165197,4	189146,2	218080	235000	251920
Contactspanning:	[N/mm ²]	1,72	1,85	1,93	2,02	2,11	2,25	2,35	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>	<u>2,50</u>
Klemkracht	[N]	113459	155185	195559,5	241302,1	295125,9	372206,5	444624,5	545200	587500	629800
Aantal bouten	[St]	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Boutkracht	[kN]	28,4	38,8	48,9	60,3	36,9	46,5	55,6	68,2	73,4	78,7
Boutkeuze [8.8]	[M]	12	16	16	16	16	16	16	20	20	20
Aandraaimoment	Nm (kNm)	61,3	111,7	140,8	173,7	106,2	134,0	160,1	245,3	264,4	283,4
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	26	35	44	54	66	84	100	123	132	142
Netto Draagvermogen [SLS]	[kN]	20	28	35	43	53	67	80	98	106	113