

## TIEN JAREN ONDERZOEK OP LASGEBIED IN COMMISSIE XV-NVL-TNO

De op het in 1936 te Berlijn gehouden congres van de „International Association for Bridge and Structural Engineering” door Prof. Ir. N. C. KIST geleverde waardevolle bijdrage over de berekening van lasverbindingen was een van de eerste Nederlandse stappen op de weg volgens welke het verdere onderzoek betreffende deze, toen moderne, wijze van verbindingstechniek voor staalconstructies zich in snel tempo zou ontwikkelen.

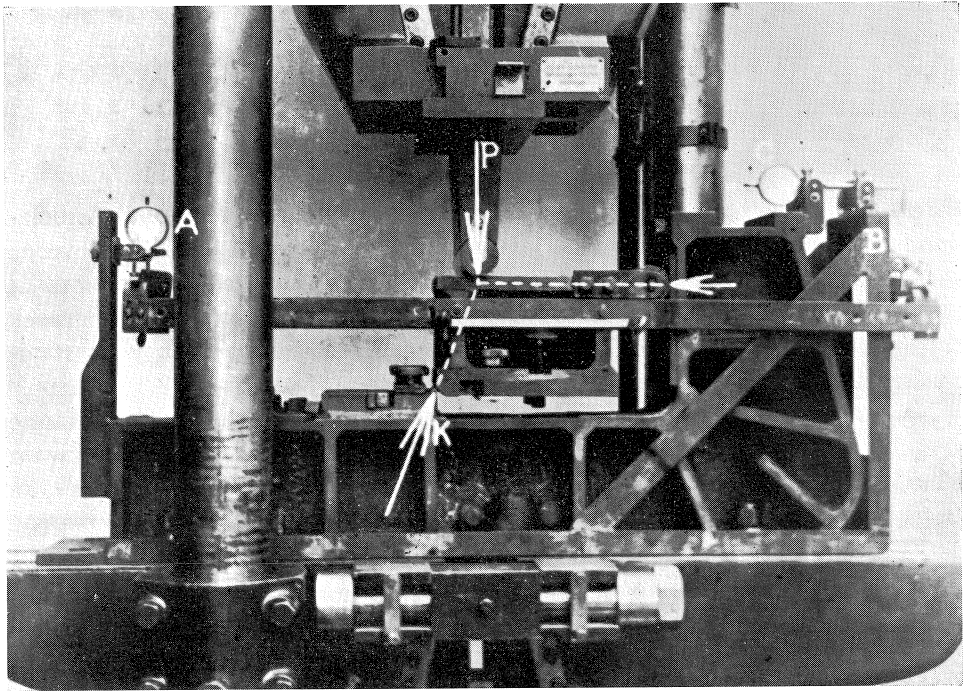
Nadien, en met name na de Tweede Wereldoorlog, breidde ook hier te lande dergelijk onderzoek zich in de diepte en in de breedte uit; al vrij spoedig kwam men hierbij tot het inzicht dat de bekende formule van HUBER-HENCKY, te weten  $\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ , zonder meer geen goed criterium vormt voor het bepalen van de sterkte van kophoeklassen. Met name bleek dat de schuifspanning  $\tau$  in de keeldoorsnede van de las aanmerkelijk hoger zou kunnen zijn dan volgens deze formule.

Het  $\sigma$ - $\tau$ -diagram van de bezwijkspanning is blijkbaar niet de ellips van HUBER-HENCKY, doch een peervormige figuur met aanzienlijk hogere drukspanning wanneer  $\tau = 0$ , en een hogere *schuif*spanning wanneer  $\sigma = 0$ .

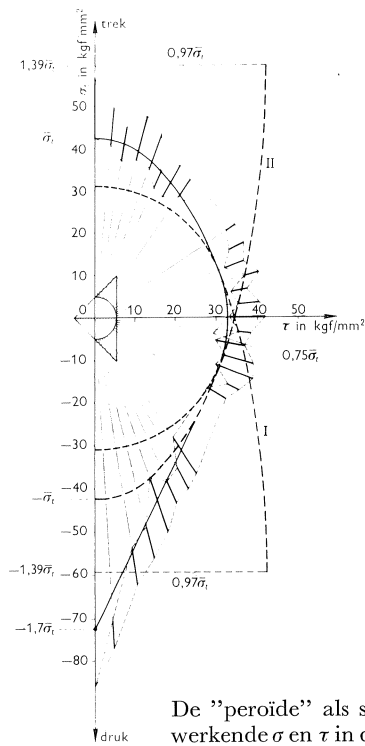
Deze figuur, door professor VREEDENBURGH „peroïde” gedoopt, werd door de Nederlandse Normalisatiecommissie 36 als grondslag voor het berekenen van statisch belaste kophoeklassen in de voorschriften opgenomen, zij het dan dat de mathematisch bezwaarlijk uit te drukken peroïde benaderend werd vervangen door een ellips, gekenmerkt door de formule  $\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 1,8\tau^2}$  benevens één singulier punt, de spits van de peroïde op de negatieve  $\sigma$ -as (zie huidige NEN 1062-VI).

De nieuwe inzichten bleven niet binnen de landsgrenzen; door professor VREEDENBURGH als gedelegeerde voor Nederland in Commissie XV van het International Institute of Welding (IIW) werden zij met overtuiging naar voren gebracht. Aansluitend hierop werd op de ISO-vergadering te Brussel op 25 november 1954 besloten als bezwijkcriterium aan te nemen de „Dutch formula”.

De profnemingen waarop de formule steunde waren echter beperkt in aantal geweest en verschillende vragen stonden nog open, welke om verdere proeven vroegen. Om deze ter hand te kunnen nemen, hetgeen het Centraal Normalisatie-Bureau (CNB) uiteraard niet rechtstreeks kon doen, is einde 1954 geïnstalleerd de Commissie XV-NVL-TNO als parallelcommissie van Commissie XV-IIW: „Fundamentals of Design and Fabrication for Welding”. Commissie 36 van het CNB werd in haar geheel in eerstgenoemde commissie opgenomen.



Belastingproef op kophoeklassen uit de beginperiode



De "perioide" als spanningscriterium voor samenwerkende  $\sigma$  en  $\tau$  in de keeldoorsnede van een hoekklas

Onder het bezielende voorzitterschap van professor VREEDENBURGH heeft deze commissie zich in Nederland ontwikkeld tot een college van deskundigen, dat de stuwkracht leverde en nog levert voor het vele onderzoekingswerk dat op lasgebied nog te doen stond, niet het minst door de research-laboratoria Stevin (T.H.) en IBBC (TNO).

De vragen welke in 1954 openstonden ten aanzien van de sterkte van gelaste verbindingen (zoals: de invloed van  $\tau_{//}$  en van  $\sigma_{//}$ ) en waarover duidelijke controverses in het IIW bestonden, leidden weer tot andere vragen, waardoor nieuwe problemen opdoemden. Een van de belangrijkste problemen in dit kader was dat van de transpositie van het grondcriterium op de normale constructie; met andere woorden, als men de eigenschappen van de lasnaad kent, hoe zijn dan verbindingen met meer dan één lasnaad te berekenen? Dit is bepaald niet zo eenvoudig als het lijkt, en wel wegens de nog steeds vrijwel onbekende spanningsverdeling, waaromtrent allerlei aannamen dan wel gissingen in het geding komen. Voor het berekenen van „de sterkte” van gewone gelaste verbindingen biedt deze situatie geen bruikbaar houvast. Bij statische belasting wordt, zoals de ervaring leert, veel van dit gebrek aan exacte kennis gecompenseerd door het vloeien; bij dynamisch belaste verbindingen is een verdieping van de kennis daarentegen onvoorwaardelijk nodig.

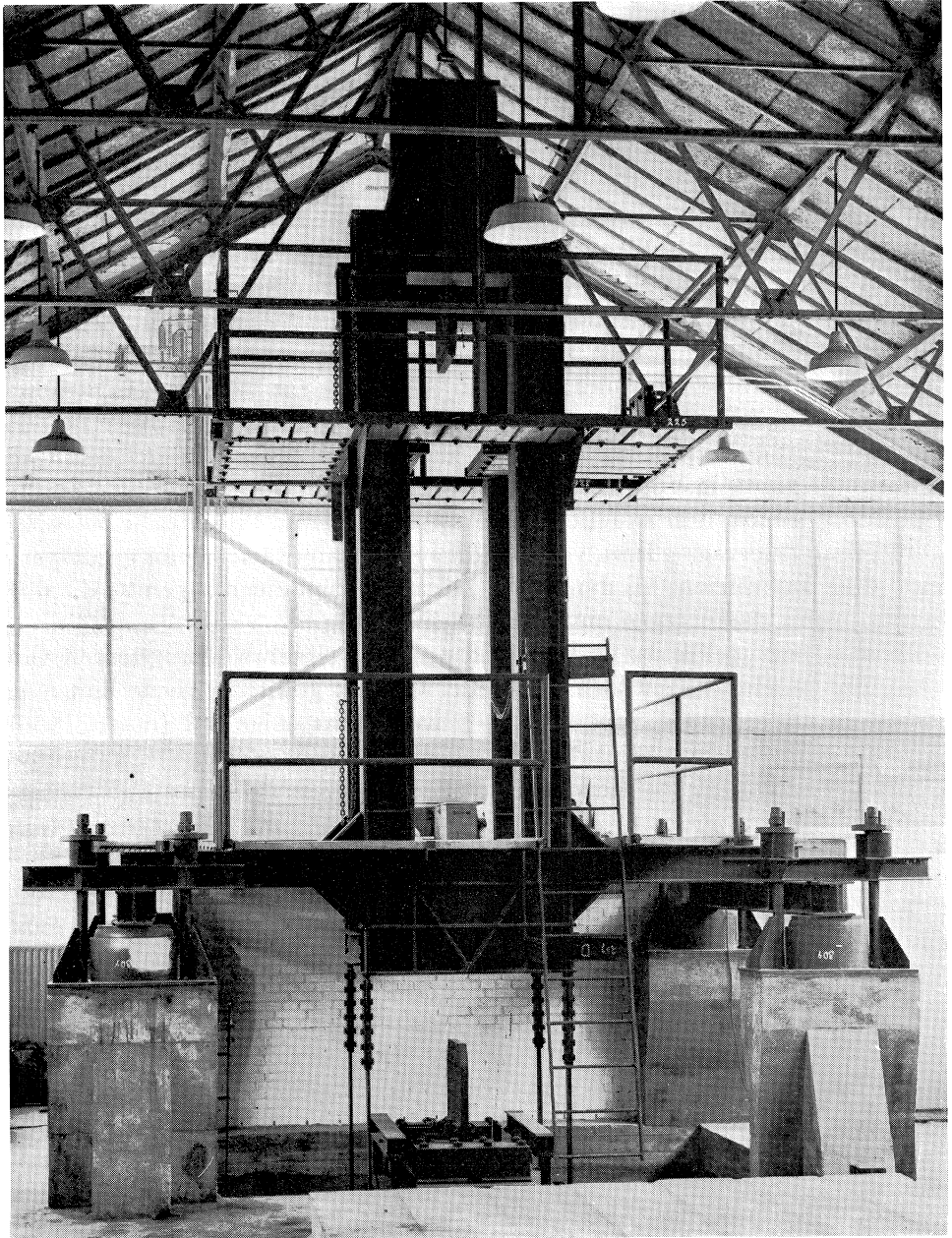
Aldus is begrijpelijk dat in korte tijd een zeer uitgebreid programma van wenselijke proefnemingen zich aftekende. Om dit geheel in goede banen te leiden, en om sneller te kunnen werken werden na enige tijd (maart 1956) drie internationale IIW-werkgroepen ingesteld:

- XV-A behandelt de berekening en de proeven van *statisch* belaste verbindingen;
- XV-B doet hetzelfde met betrekking tot *dynamisch* belaste verbindingen;
- XV-C stelt richtlijnen op voor het verantwoord construeren van lasverbindingen zoals die courant voorkomen. Uit hetgeen deze werkgroep naar voren brengt resulteren vele van de problemen welke door werkgroep XV-A resp. -B worden aangevat.

In het internationale IIW-verband aanvaardde Nederland, d.w.z. Commissie XV-NVL-TNO de taak om de statisch belaste verbindingen voor een zeer groot deel te onderzoeken.

Al spoedig bleek dat de proevenseries, om verantwoorde conclusies te kunnen trekken, ook grote proefstukken zouden moeten bevatten, zo groot, dat een zeer zware trekbank hiervoor onmisbaar was. Want zelfs al zou kunnen worden volstaan met proefstukken op verkleinde schaal, het blijft nodig om de correlatie met de ware grootte telkens te verifiëren. Het schaaleffect kan soms parten spelen en zou dan tot ontoelaatbare extrapolaties voeren.

Na uitvoerige studie werd door TNO-IBBC besloten om een 400 tf trekbank te doen bouwen. Deze werd ontworpen door een werkgroep onder leiding van professor VAN DOUWEN. In 1959 kwam deze bank gereed, waarnaar zo verlangend door Commissie XV was uitgezien.



De 400 tf trekbank bij TNO-IBBC

Ondertussen had men toch niet stilgezeten: in de jaren 1956–1959 werden reeksen proeven uitgevoerd, zowel in het Stevin- als in het IBBC-laboratorium, in zeer nauwe samenwerking, om voor de „zware” proeven een goede basis te verkrijgen. Eén van de primair bestudeerde aspecten was de mogelijke invloed van het vaak grote verschil in vloeigrens tussen lasmateriaal en basismateriaal op de sterkte van de lasverbinding. Hierop was reeds gewezen in vergaderingen van het IIW, het laatst bij de jaarvergadering te Madrid in 1956.

Op grond van theoretische beschouwingen van professor VREEDENBURGH (maart 1957) zijn bij verschillen in vloeigrens van plaat- en lasmateriaal meer-assige spanningstoestanden in de overgang van plaat op las te verwachten, die duidelijk afwijken van een isotrope toestand. Hoe echter deze toestanden de uiteindelijke breeksterkte beïnvloeden zou moeten blijken uit hierop afgestemd laboratoriumonderzoek.

Systematische proeven werden dan ook verricht met plaatmateriaal en lasmateriaal met extreem lage resp. hoge vloeigrens. Zelfs bij dit geforceerde grote verschil in vloeigrenzen was de uitslag, dat bij statische belasting *geen* invloed kon worden geconstateerd. Op grond hiervan kon nu in de verdere proeven althans deze soort variabele buiten beschouwing blijven. Professor VREEDENBURGH nam dit negatieve resultaat sportief op met de voor hem zo kenmerkende uitspraak: „Het experiment heeft altijd gelijk.”

In 1958 werd een reeks proeven uitgevoerd op *balk-kolomverbindingen*, rondom hoekgelast. Deze proeven kregen voorrang omdat het een zeer veel voorkomende lasconstructie is, waarover juist de meningen vrij sterk verdeeld lagen, hóe de sterkteberekening der verbinding diende te geschieden.

Als resultaat bleek – niet geheel onverwacht – dat de kophoeklassen van de flenzen der balken een bijzonder groot deel van de dwarskrachtbelasting tezamen met de belasting van het buigende moment in de aansluiting opnemen. Bij belasting tot breuk is dan de bijdrage van de lijfflazen en de binnenlazen van de flens geringer dan hun inherente sterkte: zij zijn onderbelast gebleven.

Hier dus weer het verschijnsel dat bij een niet gelijkmatige spanningsverdeling in een verbinding breuk kan optreden vóórdát alle delen gezamenlijk de bezwijkspanning hebben bereikt. Men kan tevens concluderen dat daar, waar de vloeideformaties worden geremd (zoals in kophoeklassen) niet op volledige plastificatie kan worden gerekend.

Een tweede resultaat was het inzicht, dat het aandeel van de flenslazen in de overbrenging van de dwarskracht niet evenredig is met de breedte van de flenzen. De verklaring berust op het feit dat de brede flenzen – dwars belast – relatief slap en naar hun randen toe aldus minder werkzaam zijn.

Tevens kon uit deze proeven worden geconcludeerd dat de sterkte van balk-kolomverbindingen bij lasafmetingen kleiner dan de gebruikelijke reeds gelijk aan die van de balk is. De voorschriften door Commissie 36 (CNB) opgesteld zijn dan ook aan de veilige kant (zie huidige NEN 1062-VI).

De resultaten werden in juni 1958 gerapporteerd ter jaarvergadering van het IIW te Wenen, waar zij met grote waardering werden ontvangen. Deze gold niet in de laatste plaats de voortvarendheid waarmee in Nederland de reeksen proeven waren verricht en de gedegen wijze waarop hun uitkomsten waren opgesteld met gebruikmaking van de middelen die de mathematische statistiek te bieden heeft.

Begin 1959 werd door Werkgroep XV-A voorgesteld een onderzoek te doen naar de invloed van de *excentriciteit van een flanklasaansluiting*. Flankklassen op zuivere afschuiving belast waren reeds uitvoerig onderzocht in Duitsland, België en Frankrijk, speciaal met het oogmerk de eventuele invloed van  $\sigma_{//}$  hierbij na te gaan, zoals b.v. bij gelaste plaatstalen I-liggers optreedt. Gebleken was dat – ook alweer bij statische belasting – de  $\sigma_{//}$ -component in het spanningsbeeld een te verwaarlozen invloed heeft en als secundaire spanning niet in de berekening behoeft te worden betrokken.

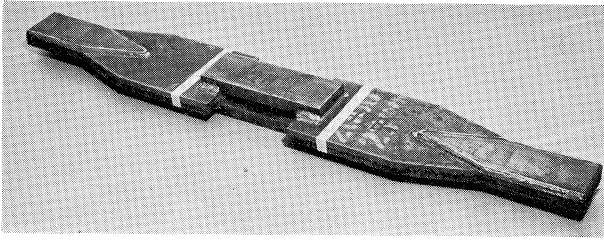
In praktische uitvoeringen komt echter herhaaldelijk *excentriciteit in kracht-overdracht* voor, zoals bij de aansluiting van vakwerkstaven aan een knoopplaat. Een reeks van proeven werd in het Stevin-laboratorium verricht, met extreem grote en extreem kleine excentriciteiten, verschillende lengten van lasnaden en verschillende elektroden.

Het resultaat, hoewel niet opzienbarend, was toch bevredigend: de bekende formule  $\sigma_e = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 1,8(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)}$  bleek zonder meer van toepassing als de *halve* waarde van de excentriciteit mede wordt in rekening gebracht en voorts de gebruikelijke lineaire spanningsverdeling voor het aldus bepaalde excentriciteitsmoment wordt aangehouden. Tevens volgden hieruit regels, voor welke gevallen van geringe excentriciteit deze laatste in de praktijk verwaarloosd mag worden.

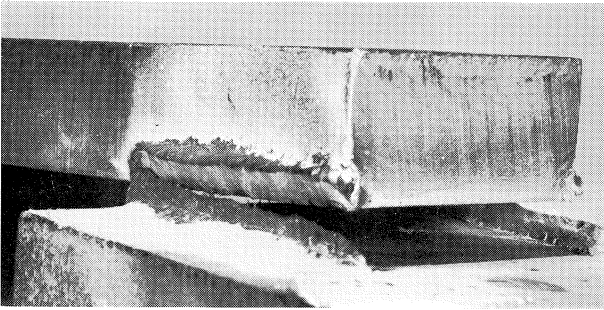
Belangrijk zijn voorts geweest de gelijktijdige proeven *op verschillende schaal*, de ene tweemaal zo groot als de andere. Daaruit kon als conclusie worden getrokken dat onder zekere omstandigheden bij statische belastingproeven schaalvergroting (of -verkleining) zonder bezwaar geoorloofd is. In andere omstandigheden is dit niet het geval, doch er is een duidelijke correlatie gevonden tussen de uitkomsten van de proefnemingen op verschillende schaal, onafhankelijk van factoren als elektrodesoort, inbranddiepte, lasser, e.d.

Het belang van de conclusies uit deze onderzoeken is moeilijk te onderschatten, daar aldus een middel is geboden om drastisch te besparen op aantal en grootte van proefstukken: het grootste deel van het aantal proefnemingen kan dan met kleine proefstukken worden verricht of naar grotere geëxtrapoleerd.

Inmiddels (1959) was de zware trekbank van 400 tf capaciteit voor IBBC gereedgekomen om de grote proefstukken te verwerken, die toch nog altijd nodig zijn.



Een van de talrijke lasproefstukken uit de „internationale proevenserie”



Detail van bovenstaand proefstuk na bezwijken van de flanklassen

De geldigheid van proeven in het ene land verricht werd vaak betwijfeld door een ander land, mede op grond van verschillen in basismateriaal, elektroden, lasmethoden, enz.

Om dit probleem te klaren werd door Nederland een zgn. „*internationale proevenserie*” voorgesteld, een serie waarin op statistische basis een zo groot mogelijk aantal landen statistisch identieke proefstukken zou onderzoeken. Voor deze internationale IIW-serie van statisch belaste verbindingen werd door Nederland een programma van indeling en theoretische uitwerking opgesteld, waarin Ir. LIGTENBERG en medewerkers een zeer belangrijk aandeel hadden. Door Commissie XV aan de IIW-vergadering voorgelegd, werd het plan direct aanvaard; verscheidene landen zegden spontaan hun medewerking toe.

Einde 1962 waren alle Nederlandse proeven van deze serie voltooid en de resultaten verwerkt, waarmee Nederland, i.c. Commissie XV en de samenwerkende laboratoria Stevin en IBBC zich op lofwaardig snelle en efficiënte wijze van hun taak hadden gekweten.

Ook de statistische verwerking van de uitkomsten der buitenlandse proevenseries werd aan Nederland opgedragen, wel een bewijs voor het gezag dat Commissie XV-NVL-TNO op internationaal terrein had verworven.

In 1964 kwamen de resultaten van 8 buitenlandse proevenseries binnen. Er werd een overzicht van samengesteld en uitgewerkt tot een lijvig rapport, dat een waardige bekroning mag heten van tien jaren werk van Commissie XV-NVL-TNO op het gebied van lasresearch onder professor VREEDENBURGH's voorzitterschap.

R.J.S.