

# DE INVLOED VAN DE KRUIP OP GELIJMDE HOUTEN BOGEN

*Op boogconstructies voor daken kunnen behalve het eigen gewicht ook wind- en sneeuwbelastingen werken. Zoals reeds in voorgaande publikaties is opgemerkt, zal een beginexcentriciteit tussen boogas en druklijn in de loop van de tijd als gevolg van de kruip toenemen. Voor de berekening van de invloed van de kruip kan het eigen gewicht uiteraard gerangschikt worden onder een lang durende belasting. De kruip ten gevolge van de kort durende windbelastingen kan verwaarloosd worden. De invloed van een sneeuwbelasting is moeilijk te bepalen. Getracht wordt deze invloed op redelijke wijze te benaderen. Tenslotte worden enkele voorlopige resultaten van kruipproeven genoemd.*

Wordt een aan twee zijden scharnierend opgelegde staaf excentrisch gedrukt, waarbij de initiale excentriciteit van de staafas ten opzichte van de druklijn sinusvormig verloopt en in het midden  $v_0$  bedraagt, dan zal, als gevolg van de elastische vervormingen door de belasting de excentriciteit toenemen tot:

$$v_{el} = \frac{n}{n-1} v_0$$

waarin:

$$n = \frac{\text{knikkracht}}{\text{optredende kracht}} = \frac{P_k}{P}$$

Bij een lang durende belasting kan deze excentriciteit, tengevolge van de kruip van het materiaal, belangrijk toenemen. In de I.B.C.-mededelingen 3 (1955) no. 3 is voor beton voor de uiteindelijke excentriciteit gegeven de formule:

$$v_{\max} = \frac{n}{n-1} v_0 e^{\frac{m}{n-1}} = \gamma v_0 \dots \dots \dots (1)$$

Deze formule is gebaseerd op het volgende:

Voor een materiaal, onderworpen aan een constante, blijvende, normaalspanning  $\sigma$ , zal een vormveranderingsgrootte  $\varepsilon$  in de loop van de tijd veranderen volgens het verband:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + f(t),$$

waarin  $\varepsilon_0 = \frac{\sigma}{E_0}$  de ogenblikkelijke waarde na het aanbrengen van de belasting voorstelt en  $f(t)$  de vormverandering tengevolge van de kruip is. Aangenomen wordt, dat na zekere tijd deze laatste vervorming evenredig is met de spanning en dus ook met  $\varepsilon_0$ , zodat kan worden geschreven:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 [1 + \varphi(t)]$$

Voor  $t \rightarrow \infty$  nadert  $\varphi(t)$  tot een bepaalde waarde  $m$ , de kruipmaat genaamd.

Aangenomen is voorts, dat indien een spanning  $\sigma$  niet op het tijdstip  $t=0$  wordt aangebracht, doch op een later tijdstip  $t=t_1$ , het verloop van de daarna optredende kruip tengevolge van deze spanning te bepalen is door alle ordinaten van de  $\varphi(t)$ -kromme te verminderen met de waarde  $\varphi_{t=t_1}$ . De kruip, voorafgaande aan het tijdstip  $t=t_1$  heeft men a.h.w. gemist.

Uiteraard nemen de buigende momenten in de staaf evenredig toe met de excentriciteit. Deze vermeerdering kan zo groot worden, dat op den duur bezwijken van de constructie optreedt. In de genoemde literatuur werd dit verschijnsel reeds beschreven. In een artikel in „Bouw” van 12 april 1958, gewijd aan de berekening van gelijkmede, houten, cirkelvormige of parabolische bogen, werd eveneens op dit gevaar gewezen. Door het ontbreken van voldoende gegevens over de kruip van hout kon de invloed hiervan slechts zeer globaal – tussen ruime grenzen – worden ingesloten. Dit werd voor een deel veroorzaakt door de omstandigheid, dat het niet bekend was, in welke mate door een sneeuwbelasting kruip zou optreden. Wat betreft de belastingduur is een sneeuwbelasting gelegen tussen een kort durende belasting, zoals b.v. een windbelasting, waarbij de kruip verwaarloosbaar klein is, en een lang durende belasting, zoals b.v. het eigen gewicht, waarbij de kruip volledig tot ontwikkeling komt.

Als voorbeeld kunnen de beide volgende extreme gevallen worden gegeven:

- a. De over de gehele boog gelijkmatig verdeelde sneeuwbelasting, eenvoudigheidshalve gelijkgesteld aan de belasting door eigen gewicht, wordt tegelijkertijd met het eigen gewicht aangebracht en zo lang gehandhaafd tot de kruip is uitgewerkt. Bij een knikveiligheid van  $n=3$  ten opzichte van eigen gewicht + sneeuw zal bij het aanbrengen van de totale belasting, bij een beginexcentriciteit in onbelaste toestand  $v_0$  tussen boogas en druklijn, de excentriciteit elastisch toenemen tot:

$$v_{el} = \frac{n}{n-1} v_0 = 1,50 v_0.$$

Op den duur zal de excentriciteit tengevolge van de kruip, voor een aangenomen kruipmaat  $m=3$ , volgens formule (1) aangroeien tot:

$$v_{\max} = \frac{n}{n-1} v_0 e^{\frac{m}{n-1}} = 6,72 v_0.$$

- b. De sneeuwbelasting, weer gelijkgesteld aan de belasting door eigen gewicht, wordt beschouwd als een kort durende belasting, welke eerst wordt aangebracht als de kruip door het eigen gewicht is uitgewerkt. Bedraagt de knikveiligheid ten opzichte van eigen gewicht + sneeuw weer  $n=3$ , dan is de knikveiligheid ten opzichte van eigen gewicht  $n_1=6$ . De beginexcentriciteit in onbelaste toestand  $v_0$  zal ten gevolge van belastingen door eigen gewicht toenemen tot:

$$v_{el} = \frac{n_1}{n_1-1} v_0 = 1,20 v_0.$$

Nadat de kruip ( $m=3$ ) tengevolge van belasten door eigen gewicht is uitgewerkt, is de excentriciteit toegenomen tot:

$$v' = \frac{n_1}{n_1-1} v_0 e^{\frac{m}{n_1-1}} = 2,19 v_0.$$

Thans wordt de sneeuwbelasting aangebracht. Hiertoe wordt de boog eerst ontlast gedacht, zodat nog een excentriciteit tengevolge van de kruip door het eigen gewicht resteert:

$$v'' = \frac{n_1-1}{n_1} v' = v_0 e^{\frac{m}{n_1-1}} = \frac{n_1-1}{n_1} 2,19 v_0.$$

Deze excentriciteit zal door het aanbrengen van de belasting door eigen gewicht+sneeuw elastisch toenemen tot:

$$v_{\max} = \frac{n}{n-1} v'' = \frac{n}{n-1} v_0 e^{\frac{m}{n_1-1}} = \frac{n}{n-1} \frac{n_1-1}{n_1} 2,19 v_0 = 2,74 v_0 \quad (2)$$

Uit het bovenstaande volgt, dat de uiteindelijke excentriciteit, naar gelang de sneeuwbelasting kort dan wel lang durend wordt beschouwd, in dit geval is gelegen tussen de grenzen  $2,74 v_0$  en  $6,72 v_0$ .

Zou de reeds genoemde onderstelling inzake het verloop van de kruip, indien de belasting op een later tijdstip wordt aangebracht, ook voor hout gelden, dan zou een na langere tijd optredende sneeuwbelasting vrijwel geen effect meer hebben en zou het onder b. behandelde geval worden benaderd. Het vermoeden bestaat, dat bij hout de invloed van de sneeuwbelasting groter is dan hieruit zou volgen, omdat het tijdstip van belasten van minder invloed is op de optredende kruip dan bij b.v. beton, waarvoor de vermelde formules zijn afgeleid. In onderstaande berekeningsmethode is getracht een zeker cumulatief effect van de sneeuwbelasting bij hout in rekening te brengen.

Stelt men de levensduur van een boog op 50 jaar en neemt men verder aan, dat gemiddeld per jaar gedurende 5 dagen de boog met sneeuw is belast, dan heeft de constructie in totaal 250 dagen een sneeuwbelasting te dragen. Aangenomen wordt nu, dat de boog vanaf het tijdstip  $t=0$  tot  $t_1=250$  dagen wordt belast met eigen gewicht+sneeuw, terwijl in de daarop volgende periode van  $t_1=250$  dagen tot  $t_2=50$  jaar de kruip alleen nog maar toeneemt als gevolg van het eigen gewicht.

Voor de berekening van de maximale excentriciteit is het nu nodig de waarde van de kruip na 250 dagen,  $\varphi(250)$ , en de kruipmaat  $m$  te kennen. Wordt voor hout als voorbeeld aangenomen een kruipmaat  $m=3$  en een waarde van  $\varphi(t)$  voor  $t=250$  dagen gelijk aan 1, dan geldt voor de berekende boog het volgende:

Een excentriciteit in onbelaste toestand  $v_0$  is na elastische vervorming ten gevolge van eigen gewicht+sneeuw vermeerderd tot:

$$v_{el} = \frac{n}{n-1} v_0 = 1,50 v_0$$

Deze excentriciteit is na 250 dagen belasten door eigen gewicht+sneeuw tengevolge van de kruip aangegroeid tot:

$$\frac{n}{n-1} v_0 e^{\frac{\varphi(250)}{n-1}} = 2,47 v_0$$

Na ontlasten van sneeuw+eigen gewicht resteert na 250 dagen nog een excentriciteit van:

$$v' = v_0 e^{\frac{\varphi(250)}{n-1}} = \frac{n-1}{n} 2,47 v_0.$$

Wordt het eigen gewicht weer aangebracht, dan is:

$$\frac{n_1}{n_1-1} v' = \frac{n_1}{n_1-1} v_0 e^{\frac{\varphi(250)}{n-1}} = \frac{n_1}{n_1-1} \frac{n-1}{n} 2,47 v_0 = 1,98 v_0.$$

Door het eigen gewicht is deze excentriciteit na 50 jaar ten gevolge van de kruip aangegroeid tot:

$$1,98 v_0 e^{\frac{m-\varphi(250)}{n_1-1}} = 2,95 v_0,$$

als wordt aangenomen, dat na 50 jaar  $\varphi(t)$  de waarde van de kruipmaat  $m$  heeft bereikt. Wordt thans de boog weer belast door sneeuw, dan is de excentriciteit:

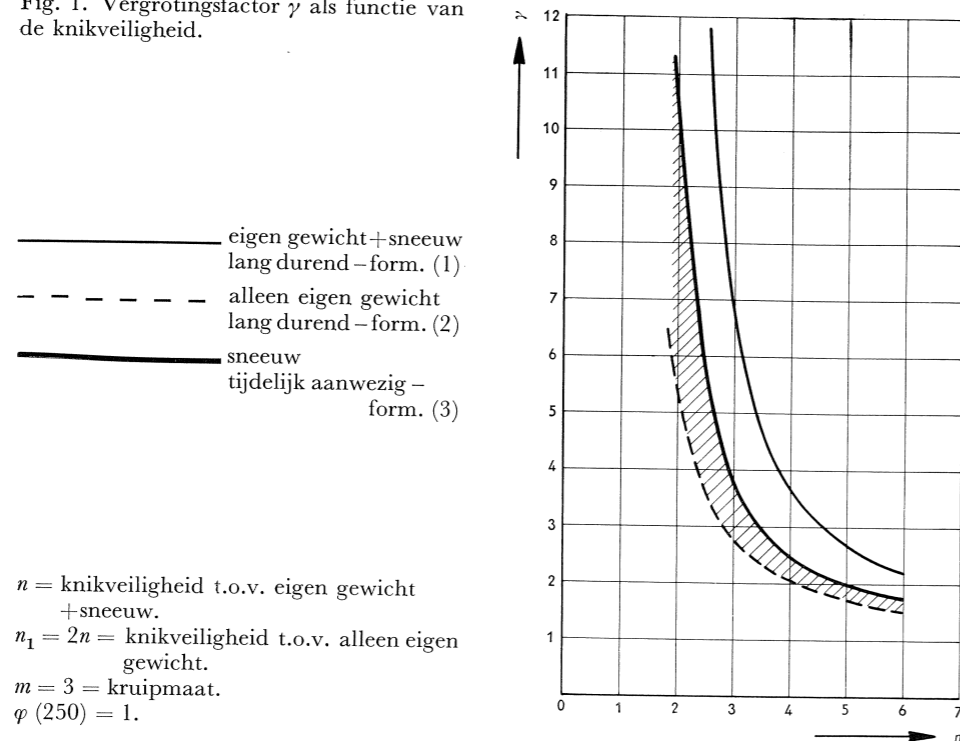
$$v_{\max} = \frac{n_1-1}{n_1} \frac{n}{n-1} 2,95 v_0 = 3,69 v_0$$

Bij bovenstaande onderstellingen geldt de algemene formule voor de te verwachten maximale excentriciteit:

$$v_{\max} = \frac{n}{n-1} v_0 e^{\frac{\varphi(250)}{n-1} + \frac{m-\varphi(250)}{n_1-1}} \dots \dots \dots (3)$$

Uit het gegeven getallenvoorbeeld blijkt duidelijk, dat de invloed van een sneeuwbelasting op de kruip belangrijk kleiner kan zijn dan zou volgen uit een berekening, waarbij de sneeuwbelasting als een lang durende belasting wordt opgevat. Zijn dus de waarden van  $m$  en  $\varphi(250)$  bekend, dan kan de vergrotingsfactor  $\gamma$  tussen nauwere grenzen worden ingesloten.

Fig. 1. Vergrotingsfactor  $\gamma$  als functie van de knikveiligheid.



In fig. 1 is voor  $m = 3$ ,  $\varphi(250) = 1$  en  $n_1 = 2n$  voor diverse waarden van  $n$  de waarde van de vergrotingsfactor  $\gamma$ , bepaald met formule (3), grafisch uitgezet. Ter vergelijking zijn ook de waarden van  $\gamma$  gegeven voor het geval de kruip t.g.v. de sneeuwbelasting wordt verwaarloosd - formule (2) - en voor het geval een sneeuwbelasting opgevat wordt als een lang durende belasting - formule (1). Het lijkt aannemelijk, dat de werkelijke vergrotingsfactor zal zijn gelegen in het gearceerde gebied, begrensd door de lijnen voor de formules (2) en (3).

Bij een knikveiligheid  $n$ , betrokken op het eigen gewicht + sneeuw en gelegen tussen 4 en 6, zal dus in het beschouwde geval moeten worden gerekend op globaal een verdubbeling van de beginexcentriciteit, behorend bij de onbelaste toestand. Bij een knikveiligheid van 3 zal deze beginexcentriciteit toenemen tot globaal het 3,5-voudige. Bij kleiner wordende knikveiligheden neemt de vergrotingsfactor relatief snel toe.

Ten einde een beter inzicht te verkrijgen in de grootte en in het verloop van de kruip zijn door het Instituut T.N.O. voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies, in samenwerking met het Houtinstituut T.N.O., enkele oriënterende kruipproeven opgezet. Drie gelijkde, houten, balken, met een overspanning van ca. 6 m en een dwarsdoorsnede van  $7 \times 19 \text{ cm}^2$ , vervaardigd uit ca. 2,4 cm

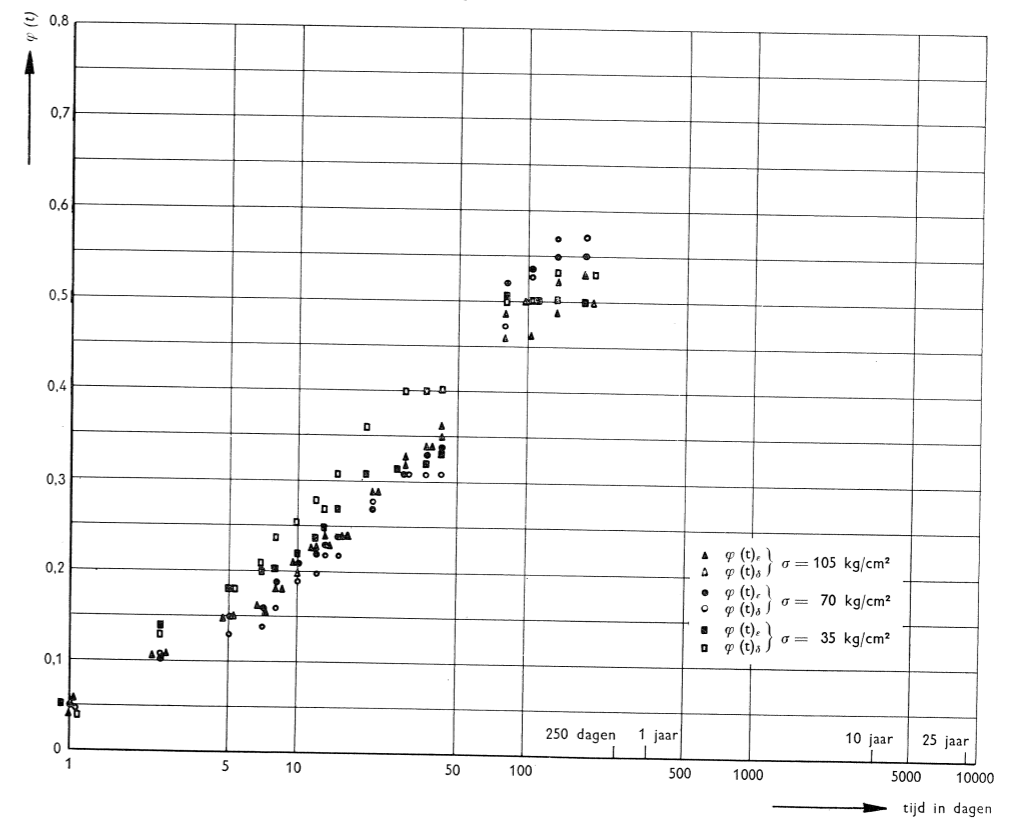
dikke planken van Russisch vurehout met een groeiringbreedte kleiner dan 1 mm, zijn op buiging belast door twee constante puntlasten (vierpuntsbuigproef). De grootte van de puntlasten is zodanig gekozen, dat de maximale buigspanningen in de drie balken respectievelijk zijn 35, 70 en 105  $\text{kg/cm}^2$ . De kwaliteit van het toegepaste hout is zodanig, dat het volgens de Technische Grondslagen voor Bouwvoorschriften (T.G.B. 1955) gerangschikt kan worden in de klasse „zorgvuldig gesorteerd hout”, waarin buigspanningen van 105  $\text{kg/cm}^2$  mogen worden toegelaten (zie art. 36). Het vochtgehalte van het hout bedraagt 16-17%. Het lijmen is uitgevoerd met behulp van koud verhardende ureum-formaldehydelijm.

Op geregelde tijdstippen worden gemeten:

- de doorbuigingen  $\delta$  in het midden van de overspanning;
- de specifieke lengteveranderingen  $\varepsilon$ , zowel aan de onderzijde als aan de bovenzijde van de balken.

In fig. 2 zijn de resultaten van de kruipproeven, voorzover op het ogenblik beschikbaar, uitgezet. Op de verticale as is aangegeven de waarde van de kruipfunctie  $\varphi(t)$  voor de doorbuigingen  $\delta$  en voor de rekken  $\varepsilon$ . De laatste zijn

Fig. 2. Kruip  $\varphi(t)$  als functie van de tijd.



gemiddelden van de onder- en bovenzijde van de balken. In horizontale richting is, op een logaritmische schaalverdeling, de tijd uitgezet. De balken werden belast op 11-4-'58. De laatste waarneming voor het ter perse gaan van dit artikel is verricht op 4-10-'58. De elasticiteitsmodulus, bepaald uit de elastische vervorming, opgetreden bij het belasten, bedraagt gemiddeld 117000 kg/cm<sup>2</sup>.

Uit de proefresultaten blijkt, dat de kruip vrijwel evenredig is met de spanning, gezien het geringe verschil in de waarden van  $\varphi(t)$  voor de drie balken. Bij een belasting van ca. 100 dagen bedraagt voor de beproefde balken de vervorming tengevolge van de kruip ongeveer de helft van de elastische vervorming:  $\varphi(t) \leq 0,5$  voor  $t = 100$  dagen. Uit fig. 2 blijkt, na een kleine extrapolatie, dat voor de onderzochte balken de waarde van  $\varphi(t)$  voor  $t = 250$  dagen waarschijnlijk de waarde van 0,6 niet zal overschrijden. De waarde van de kruipmaat kan nog niet worden bepaald uit deze, in het beginstadium verkerende, proeven.

Uiteraard kunnen aan deze eerste proeven geen algemene conclusies worden verbonden. Het onderzoek wordt in samenwerking met het Stevin-laboratorium van de Technische Hogeschool te Delft voortgezet en uitgebreid, met het doel een beter inzicht te krijgen in de verschillende factoren, die het gedrag van houten, gelijkde, constructies onder een lang durende belasting bepalen. Voor een juiste beoordeling van deze constructies is het nodig gegevens te verzamelen over b.v. de invloeden van de houtsoort, het vochtgehalte, de belastingwijze en de verlijming op de kruipfunctie.

#### **Influence of creep on glued laminated wooden arches**

Arched structures for roofs are not only loaded by their own weight, but also by wind and snow. As was mentioned already in preceding publications, an initial eccentricity between arch axis and center of pressure will increase in the course of time as a result of creep.

For the calculation of this influence of creep, the weight of the structures themselves can be classified from its nature as a permanent load. Creep as a result of momentary wind loads can be neglected. The influence of a snowload is hard to define. It is tried to approach this influence in a reasonable way. Finally some provisional results of creep tests are stated.

## ONDERZOEK NAAR HET DRAAGVERMOGEN VAN RINGDEUVELVERBINDINGEN

*Bij het construeren van houten vakwerken worden vele soorten verbindingsmiddelen toegepast voor het overbrengen der krachten. De gegevens over het draagvermogen van deze verbindingsmiddelen zijn van buitenlandse oorsprong en vertonen dikwijls tegenstrijdigheden. Voor de zgn. ringdeuwels is een onderzoek uitgevoerd om na te gaan in hoeverre de in de Verenigde Staten gebruikte gegevens ook in Nederland toegepast kunnen worden.*

*Nadat de opzet van het proevenschema is uiteengezet, wordt besproken op welke wijze de verschillen in sterkte als gevolg van variaties in afmetingen van de verbindingen tot uitdrukking kunnen worden gebracht in een systeem met puntenwaardering, waarbij zonder rekenwerk de sterkte van een bepaalde verbinding kan worden afgelezen uit een aantal grafieken.*

### **1 Redenen van het onderzoek**

#### *1.1 Inleiding*

Tegenover de bekende, minder gunstige eigenschappen van hout staat een aantal wellicht minder opvallende kenmerken, die maken, dat in bepaalde gevallen hout juist het aangewezen constructiemateriaal is, ook voor dragende functies.

Dank zij de uitgebreide onderzoekingen in vele landen en de aandacht, die aan de resultaten daarvan wordt besteed, heeft hout het verloren terrein herwonnen en neemt het een volwaardige plaats in naast de constructiematerialen staal en gewapend beton. Dit is in de eerste plaats te danken aan de grotere mate, waarin de toegepaste mechanica ook voor het ontwerpen van houtconstructies wordt gebruikt. Het gevolg hiervan is, dat de door de overlevering bekende constructievormen meer en meer worden verdrongen door modernere, waarbij het hout op economischer wijze wordt gebruikt.

Een constructievorm, die statisch zeer duidelijk is en reeds lang wordt toegepast, is het vakwerkspant. De grote moeilijkheid, die zich bij uitvoering in hout voordoet, is steeds gelegen in de ontmoetingspunten van de verschillende staven: de knooppunten. Hier moeten de krachten van de ene naar de andere staaf worden overgebracht. Om dit te bewerkstelligen wordt een groot aantal verbindingsmiddelen toegepast, zoals draadnagels, bouten, kramplaten en vele vormen van deuvels. In het algemeen geldt voor deze verbindingsmiddelen als ideaal, dat zij bij een minimum aan contactvlak van de te verbinden staven zo groot mogelijke krachten kunnen overbrengen, waarbij de vervormingen minimaal zijn. Anderzijds dient een al te grote starheid ten opzichte van verdraaien te worden vermeden om secundaire spanningen te voorkomen.

Een groot aantal van deze verbindingsmiddelen is ontworpen en onderzocht.