

## Bamboe

**Citation for published version (APA):**

Janssen, J. J. A. (1978). *Bamboe*. Technische Hogeschool Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1978

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

## 1. Inleiding.

Dit verhaal over bamboe is heel aanvechtbaar; zal ik, een blanke uit een rijk land, aan ontwikkelingslanden aanbevelen om in bamboe te bouwen, terwijl zij heel goed weten dat wij voor ons zelf alles bouwen in staal en voorgespannen beton?

Waarom gunnen wij hen die mooie materialen niet? Een fraai staaltje neo-kolonialisme.

Verder: Als je over bamboe praat, dan praat je meteen over aangepaste technologie (A.T.). Daar hoef je in ontwikkelingslanden helemaal niet meer mee aan te komen, en terecht. In de praktijk betekent A.T. dat een goedwillende blanke ergens uit de lucht komt vallen, en in een dorpje een windmolen in elkaar zet.

Na drie weken stapt de man weer in zijn comfortabel vliegtuig, en na weer drie weken valt de windmolen van ellende in elkaar.

Dit is niet overdreven, dit is normaal. Er zijn nog veel meer bezwaren tegen A.T.

Lees wat de Nigeriaanse econoom Ademola Banjo schrijft: (citaat uit International Development Review Focus 1976, no. 3, p.4):

- 1) If people must learn new technologies, they might as well learn the most modern and effective ones since the intellectual effort is much the same.
- 2) The cost of a particular plant installation with older technology might be lower, but because of lower productivity, the actual cost per unit produced may be higher.
- 3) Increased employment can only be obtained with increased productivity, which would lower costs and promote consumption and the ability to compete in export markets.
- 4) With obsolete or second-hand equipment, maintenance costs are higher, and operation often requires a higher level of skill in the labour force than modern plants. Spare parts may be unavailable and would have to be specially made at a high cost.
- 5) Dislocations are inevitable in development regardless of the techniques employed. They should be dealt with by appropriate social policies. Many communities are prepared to pay the price of social disruption to improve their living standards as rapidly as possible through advanced technologie.

Persoonlijk heb ik ook de ervaring dat studenten graag studeren op een A.T.-onderwerp, ook al omdat het dan voor mij vaak moeilijker is om hen te betrappen op onvoldoende niveau.

Ook in dat opzicht zijn staal en beton harder!

Als ik dan toch doorga met bamboe dan is dat omdat ik geloof in "self-reliance", omdat ik er aan door wil werken tot ik kwaliteit lever, en omdat ik mij gesteund voel door resolutie 2036 van de Verenigde Naties:

"measures to develop a building material industry utilizing local raw materials to the maximum".  
(zitting XX van de Algemene Vergadering).

## 2. Bamboe als tropisch bouw materiaal.

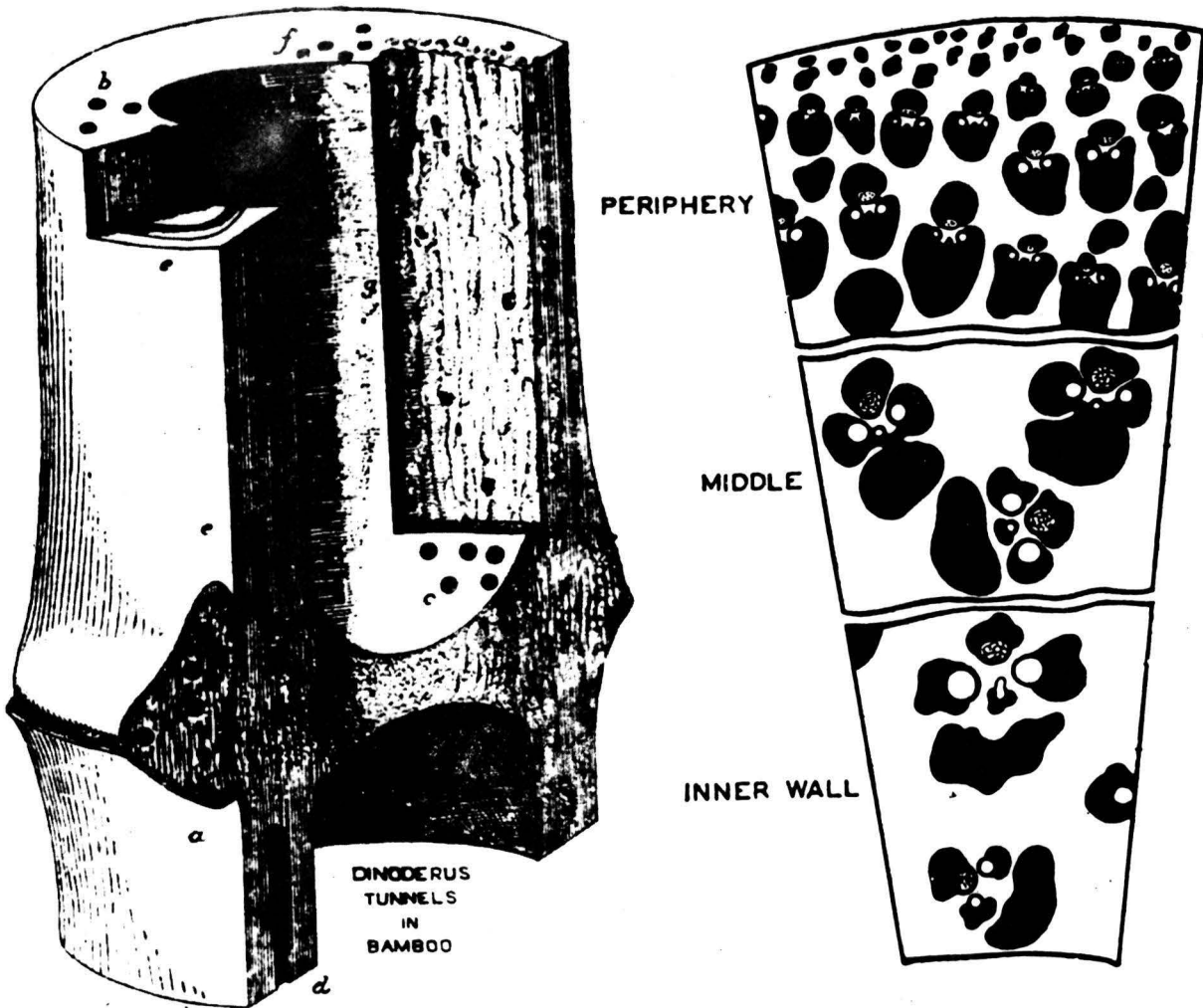
Waar komt bamboe voor?

Allereerst in Zuid-Oost-Azie: China, Japan, India, Indo-China, Indonesia. Dan in mindere mate Zuid-Amerika en tenslotte nog wat in Zuid-Oost-Afrika: Somalie, Tanzania, Mozambique. Er zijn meer dan 550 botanische soorten beschreven. Net als bij hout heeft elke soort bamboe zijn eigen mechanische en fysische eigenschappen, een hele rijkdom aan mogelijkheden.

Belangrijke eigenschappen:

- 1) Bamboe raakt nooit op, het groeit alsmaar bij, en tijdens de groei reguleert het het klimaat.
- 2) Bamboe is een vorm van zonne-energie.
- 3) Het is een prima middel tegen erosie, als klimaat, vochtgehalte en grond er geschikt voor zijn.
- 4) Het groeit snel, soms een meter per dag.  
Als men om de drie jaar oogst, dan is een opbrengst per hectare mogelijk van 3000 tot 15000 stammen, dat is 7,5 ton droog gewicht. Andere bronnen geven opbrengsten van 7,5 ton per hectare per jaar in Japan, of 5 ton per hectare per drie jaar in India.
- 5) Een vergelijking van de opbrengst van bamboe en hout is aantrekkelijk, maar moeilijk. Bamboe is hol, en hout is massief. Bamboe oogst je om de paar jaar, hout om de 30 à 40 jaar. De prijs per gewicht is verschillend. Een berekening in Japan wijst uit, dat bamboe elk jaar \$ 115 oplevert per acre (=4000 m<sup>2</sup>), en een normale Japanse houtsoort levert na 40 jaren \$ 7000 op. De bamboe heeft dan 40 x 115 = slechts \$ 4600 opgebracht, maar welke boerencoöperatie kan 40 jaar wachten?  
Tot slot: in India zegt men: "Bamboo is the poor man's timber" en dit zegt genoeg.

Bamboe is een grassoort, voor ons gevoel een beetje fors. Net als als bij stro en riet is het een holle buis met schotten op regelmatige afstand. Diameter tot 30 cm, meestal 8 - 15 cm; schot-afstand ("internodes") tot 100 cm, meestal 50 cm.

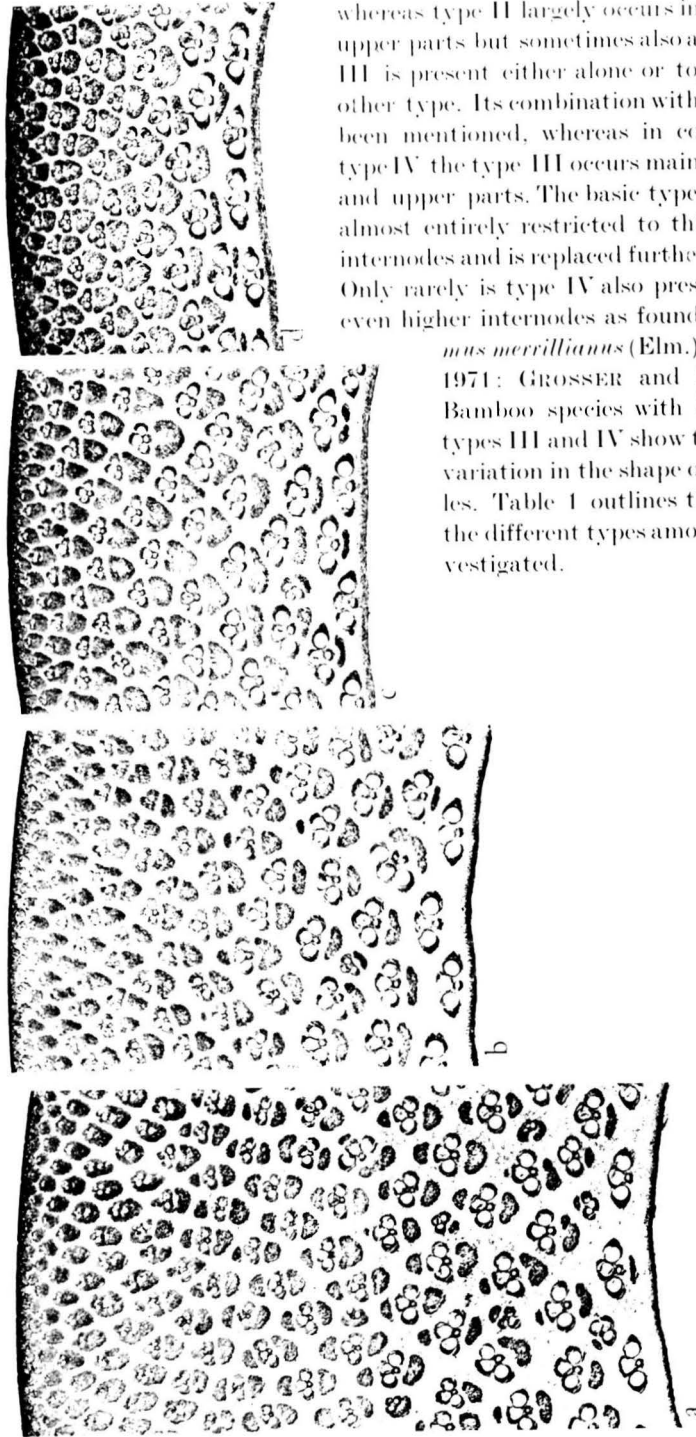


Op het linker plaatje is een doorsnede van een bamboestaaf te zien met een knoop of schot (Engels: "node"), en schade door "bubuk" (= houtworm in bamboe).

Op het rechterplaatje de verdeling van vaten over de wanddikte. Het buitenste deel van de wand is sterker en taaier dan het binnenste. Een buis kan men niet mooier ontwerpen! Van beneden naar boven toe neemt het aandeel vaatweefsel af (omdat er minder sapstroom nodig is), en dus neemt de gemiddelde E toe. Een bamboestam is enigszins conisch (bv. voet 12 cm, top 9 cm) maar de afnemende I wordt aardig gecompenseerd door de toenemende E.

Bovenstaande plaatjes zijn ontleend aan het uitstekende boek "Bamboo", editor Narayanamurty and Dinesh Mohan, United Nations 1972.

Hierna twee bladzijden afbeeldingen, ontleend aan Grosser en Liese.



whereas type II largely occurs in the middle and upper parts but sometimes also at the base. Type III is present either alone or together with another type. Its combination with type II has just been mentioned, whereas in combination with type IV the type III occurs mainly in the middle and upper parts. The basic type IV, however, is almost entirely restricted to thick-walled basal internodes and is replaced further up by type III. Only rarely is type IV also present in middle or even higher internodes as found in *Dendrocalamus merrillianus* (Elm.) Elm. [GROSSER 1971; GROSSER and ZAMUCO 1971]. Bamboo species with combinations of types III and IV show the most obvious variation in the shape of vascular bundles. Table 1 outlines the occurrence of the different types among the genera investigated.

Fig. 15. series of sectors through culm wall — *Oryzomatolobos nigropunctatus*: (a) 6th internode, (b) 10th internode, (c) 14th internode, (d) 18th internode. (8X)



Fig. 16. Nodal region and diaphragm (7.5x)

can also be seen. Within the diaphragm an intensive fusion and re-separation of conducting cells occur.

In the culm-wall of the nodes the fibre strands and lateral sclerenchyma sheaths of the metaxylem vessels are almost completely lost, whilst the size of the two polar sclerenchyma sheaths increases considerably. The sclerenchyma sheath of the phloem is generally larger than that of the protoxylem. The ring vessels of the

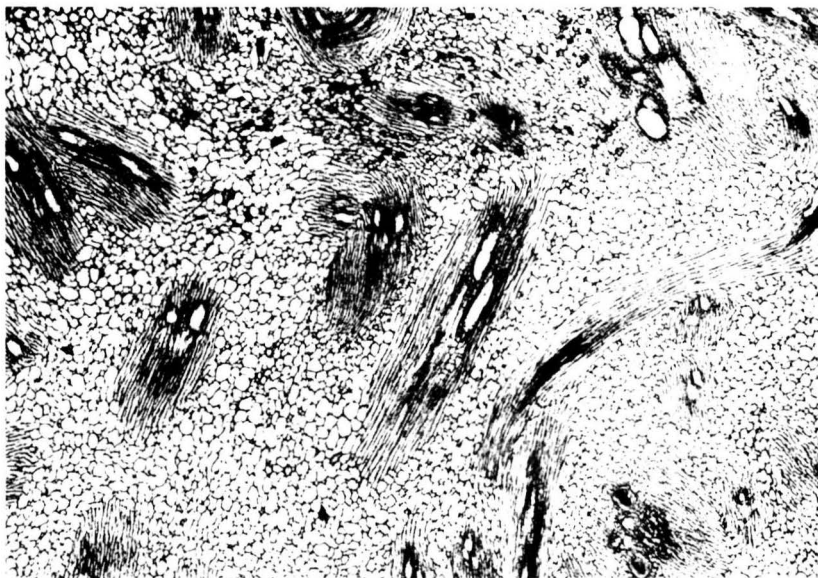


Fig. 17. Diaphragm region showing interwoven, complex vascular bundle arrangement (22x)

### 3. Mechanisch bezwijken.

Bij overbelasting bezwijkt bamboe niet doordat vezels kapot gaan door overschrijden van trek- of druksterkte. Bamboe bezwijkt doordat er geen mergstralen zijn die een dwarsverband tussen de vezels geven. Door langsschuifspanning en/of dwarscontractie splijten de vezels uit-een. Een buisvormige doorsnede valt uit elkaar in vier of zes stukken. Na wegnemen van de overbelasting "klijkt" de bamboe weer terug in de oorspronkelijke buisvorm.

Een Japans spreekwoord zegt:

"Bij aardbeving moet je naar een bamboebos gaan".

Bamboe heeft immers geen massa, en een grote buigstijfheid!

Overigens: het ontbreken van mergstralen mag dan een nadeel zijn voor konstrukties, het is een groot voordeel voor de bamboeverwerkende industrie.

### 4. Brand.

Omdat bamboe hol is en tamelijk dunwandig (6-10 mm), brandt het als een hel. Dit is het grote nadeel, vooral ook omdat een aardbeving gevolgd wordt door brand (omgevallen vuurpotten enz.).

### 5. Duurzaamheid en conserveren.

Bamboe wordt aangetast door schimmels en door beestjes ("bubuk"). Op dit gebied is nog erg veel onderzoek nodig. Allereerst naar de verschillende natuurlijke duurzaamheid van de vele bamboesoorten, en vervolgens naar conserveringsmiddelen, liefst niet gebaseerd op chemische stoffen uit rijke landen.

Conserveren is het inbrengen van een of ander gif, bv. koper-chroom-arseen-verbindingen. Mathur heeft dit in India duidelijk beschreven. Een uittreksel:

#### **Dipping Method**

**First method:** The leaves and branches from the bamboos are removed and the bamboos are cut into required lengths. These are then dipped into the solution for treatment. This method of treatment, however, takes considerable time.

**Second method:** Freshly cut bamboos with branches and leaves are so dipped in the solution that their leaves remain in contact with air. *As in sketch (a)*. From the transpiration of moisture from the leaves and branches, which remain in the air, the chemical solution is drawn up into the bamboos culms. It normally takes about two days for the treatment but this time depends upon the length of bamboos, their species, and the climatic conditions.

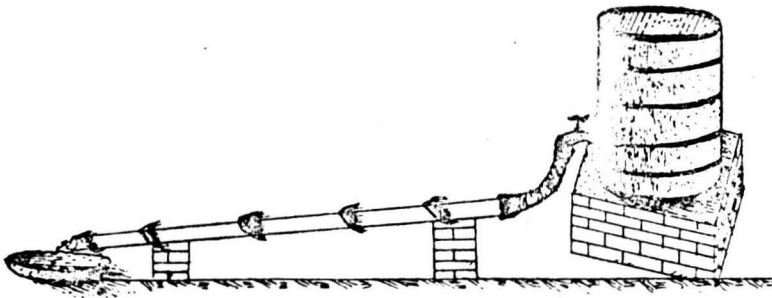


(a) Treatment by dipping bamboos with leaves

From the changing colour of the leaves, the progress of treatment is observed. After a little practice it can be easily seen when to stop the treatment.

#### Boucherie Process

Freshly cut bamboos with leaves and branches are connected by means of tubes to the drum containing chemical solution. As in sketch (b). The bamboos are placed at a slight inclination and the drum containing the solution is kept at a higher level so that the solution could flow quickly from the reservoir and may pass through from one end of the bamboo to the other. Shortly after allowing the solution to flow through at the lower end of the bamboos, some solution starts dripping. At first the dripping contains sap which is contained in the bamboos. As such this should be allowed to flow out and go waste. After some time the preservative solution starts coming out slowly from the lower end of the bamboos. This is observed by watching the colour of the solution coming out. The solution should be collected and this could be re-used for treatment after mixing in it the required chemicals for bringing the concentration of the solution to the required strength. When the colour of the solution coming from the lower end of the bamboo is the same as that of the original solution it should be understood that the treatment has completed.



(b) Treatment by Boucherie process

With the help of an air pump a slight pressure can be created in the drums containing the solution. This increases the rate of flow of chemical solution and thus reduces the time for the completion of the treatment process. In this manner the treatment can



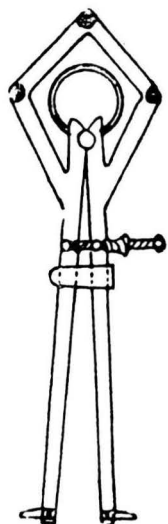
be done easily and in very much less time—within a few hours. Ordinarily, cycle or motor car pump could be used. It is necessary that the drums are made air-tight and are fitted with air valves, etc. *As in sketch (c).*

#### Treatment of Hollow Bamboos

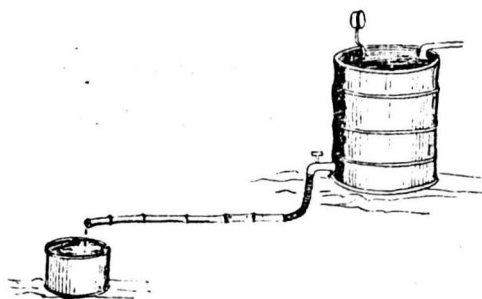
With the help of steel incisor, *as in sketch (d)*, the inner surface of the hollow bamboos is scratched so that more of solution could be absorbed by the bamboo. Then hollow bamboos are hung from the branch of a tree vertically and the top most nodes are filled with solution. First of all, the sap which is contained in the bamboo starts flowing out from the lower end. This is allowed to go waste. After some time, the chemical solution starts flowing out at the other end slowly. This should be collected and re-used after bringing its concentration to the required strength. It should be remembered that the nodes of bamboos should be filled again and again with solution and they should be full of solution always until the treatment is completed. *See sketch (e).*

#### Pressure Method

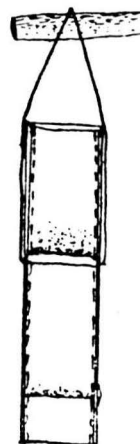
Pressure method of treatment of bamboos gives very good results but the apparatus generally required for carrying out the pressure treatment process is not easily available in rural areas. As such, this method of treatment is not described here.



(d) Steel incisor



(c) Treatment by Boucherie process using air pump



(e) Treatment of hollow bamboos

### **Duration of Treatment**

Although the time taken for treating bamboos depends on many factors, it has, however, been seen that generally it takes about five days' time to complete the treatment. It is often seen that 48 hours treatment is enough for ordinary work. When the treatment is done by Boucherie process with the help of air pump, it takes only a few hours time for the treatment.

From the colour of the solution flowing out at the lower end of the bamboos, it is found whether the treatment has been completed. When the colour of the solution coming out from the lower end of the bamboos is the same as that of the original solution, it should be understood that treatment has been completed. While this is so, the solution coming out from the bamboos should be allowed to flow for one or two hours more in order to make sure that the treatment has been completed.

After treatment, the bamboos should be dried so that the moisture content is about 10 to 15% and thereafter it should be used in construction. As far as possible dried bamboos should be protected before their use in construction from exposure to rain and dew.

### **Re-using of Solution**

It has already been pointed out that the first dripping of solution containing sap coming out from the lower end of the bamboo should be rejected. After this, the solution which comes out and which has the colour resembling that of the solution should not be allowed to go waste. This should be collected and after adding required quantities of chemicals, the solution of required concentration is again prepared. The degree of concentration of the solution is known from the determination of the specific gravity of the solution.

### **Expected Service Life of Treated Bamboos**

It is estimated that the expected service life of treated bamboos is about 15 to 20 years whereas that of untreated bamboos is around 2 to 3 years. From this it would be obvious that treatment of bamboos is very advantageous.

### **Cost of Treatment**

It has been estimated that the cost of treatment using either of the two compositions mentioned earlier works out to be the same. It is estimated that the average cost of the mixed ingredients per maund is about Rs. 60.

With the solution prepared from one seer of salts, six bamboos (6 cft of bamboos) can be treated when the bamboo length is 20 ft. and its diameter 3".

## 6. Diverse gebruiksmogelijkheden.

- Vlechtwerk, omvat een uitgebreide kleinschalige industrie. Producten: manden, matten, scheidingswanden, regenkleding, "grote-gaten-ondergoed".
- Voedsel. De verse toppen van bamboespruiten zijn eetbaar, net als asperges.
- Papier. Bamboe bestaat voor 50 à 70% uit cellulose. In India wordt 25% van alle papier van bamboe gemaakt.
- Muziekinstrumenten.
- Waterleiding, nog veel onderzoek nodig. Conserveringsmiddelen voor bamboe zijn overigens of giftig, of oplosbaar, of beide.
- Wapening in beton, in plaats van staal. Treksterkte van bamboe is weinig minder dan van gewoon staal. Problemen: duurzaamheid van de bamboe, zwellen van de bamboe door het aanmaakwater van de beton, scheuren van de beton, en later weer krimpen van de bamboe en dus verlies van aanhechting. Is allemaal wel oplosbaar.
- Steigers, tot 20 verdiepingen hoog! Bij een typhoon is het gewoon dat stalen steigers wegwaaien en bamboe-steigers niet. Waarom? Verbindingen van bamboe absorberen energie, Gauss-kromme van bamboe is erg vlak.
- Verbindingen in houten spanten, als ringdeuvel, en houten timmerwerk als bamboe-nagel.
- En nog veel meer.

## 7. Woningbouw.

Eerst een overzicht van de voor- en nadelen, als beschreven door Mathur, New Delhi, 1964.

### **SOME ADVANTAGES OF BAMBOO HOUSES**

1. Bamboos are circular in shape and solid or hollow. As such bamboos can be easily cut into required size or split up with the help of simple tools. This helps in quick construction of houses.

2. At every joint in the bamboo there is a cross partition wall on account of which bamboos at their joints are very hard and do not bend or break easily. Bamboo houses are, therefore, strong.

3. The texture of bamboos is such that they possess a high tensile strength; they are elastic and as such seldom break.

4. The dimensions of bamboo—its length and thickness—are such that bamboos can be conveniently stored and easily used in construction. On account of this, construction of bamboo houses needs less skilled labour.

5. The surface of bamboos is hard and clean. The colour of bamboos is also pleasant. This gives a good appearance to bamboo houses.

6. Bamboos have neither bark nor any material which goes waste. Therefore, bamboo can be used readily as such for house construction. Even though treatment of bamboo is desirable.

7. Bamboos cost very little and in almost every part of our country bamboos of good quality are available at cheap rates. Bamboo houses are, therefore, cheap.

8. When treated bamboos are used for construction of houses and when such houses are maintained properly it is found that bamboo houses have sufficiently good life.

9. Bamboo houses are comfortable to live-in in hot and dry climates as they provide adequate protection from heat.

10. Bamboos are light in weight. As such bamboo houses suffer very little loss due to earthquake. If such houses fall down due to earthquake, these can be reconstructed very quickly and at little cost.

11. Temporary construction with bamboos can be made very quickly at low cost.

12. A variety of useful articles of every day use like tables, chairs, cots, mats, etc. and artistic objects for decoration can be prepared from bamboos. These are very useful for domestic use.

### **SOME DEFECTS OF BAMBOO HOUSES**

The houses constructed with bamboos have some defects which are due to the following :—

1. (a) Due to dampness the bamboo starts decaying and rotting very soon.

(b) Termites and borers attack bamboos and by eating it make it hollow. This shortens the life of bamboo structure and renders them dangerous sometimes. As such, houses constructed with untreated bamboos may not be very durable.

2. When bamboo is buried in the ground, it starts decaying very soon and is also eaten away by termites and insects. Therefore, bamboo should not be used in the construction of foundations for houses.

3. Bamboo catches fire very quickly and is burnt to ashes in no time. Bamboo houses, therefore, need fire protection treatment.

4. With the passage of time, the strength of bamboo decreases. This is responsible for short life of bamboo houses.

5. In case of even a small impact force, bamboos are likely to break and split up, and the houses are damaged.

6. Bamboos have joints at different places in its length. Therefore, walls made of bamboo do not have even surface.

7. Bamboos are not of equal length and thickness. This presents some difficulty in construction work.

8. Bamboos on drying shrink and consequently their volume changes. This has an ill-effect on construction done with bamboos.

Some of the defects of bamboos mentioned above can be removed to some extent by proper treatment before their use in construction. The service life of bamboo when treated is increased and the use of treated bamboos in construction results in more durable houses.

Baambrekend werk voor de woningbouw is in de dertiger jaren verricht door de Dienst Volksgezondheid in het toenmalige Batavia. De traditionele woningbouwdetails gaven ratten veel kans om te nestelen. De details van deze dienst echter maken dit onmogelijk, en zo werden op eenvoudige wijze de huizen veel gezonder. Een voorbeeld van zo'n detail staat op blz. 13, met hieronder de toelichting:

## 2. KANTGORDING

Deze constructie heeft betrekking op de overgang van een dakvlak van een zekere helling in een dekvlak met een flauwere helling. Bij de foutieve constructie zijn gevaarlijk de open holle oesoeks en plafondhangers, de tussenruimte van de dubbele bilikwand en de ligging van de eerste plafondhanger langs de kantgording in verband met het feit, dat een behoorlijke aansluiting daar niet goed mogelijk is. Ook het betrekkelijk ver buiten de stijl stekende uiteinde van de bintbalk geeft gelegenheid tot moeilijk te bemerken nesteling. Het horizontale bovenvlak van de kantgording is toelaatbaar mits de ruimte boven het plafond betreden kan worden, waardoor een overzicht van de kantgording mogelijk is.

Bij de verbetering moeten de open uiteinden van de holle oesoeks en plafondhangers met goed passende gespijkerde houten proppen worden gedicht. De dubbele bilikwand mag niet met een tussenruimte worden uitgevoerd. De beide lagen van de dubbele wand moeten over de gehele oppervlakte goed aan elkaar sluiten. Worden zij daartoe vastgehecht met latjes, dan mag de afstand tussen de latjes hoogstens 25 cm. bedragen. Op andere wijze vastgehecht mag de afstand van de hechtungen niet groter dan 15 cm. zijn. De eerste plafondhanger moet minstens 10 cm. van de kantgording verwijderd zijn, zodat verborgen houten tussen deze plafondhanger en de kantgording niet mogelijk zijn. Het plafond kan met een paar goed langs de kantgording aansluitende latjes vastgemaakt worden. De bovenzijde van de bintbalk mag niet meer dan 3 cm. buiten de stijl steken; bij verder uitsteken moet afschuining van het bovenvlak onder  $45^{\circ}$  plaats hebben. Is de ruimte boven het plafond niet toegankelijk, dan ware het bovenvlak van de kantgording af te schuinen onder  $35^{\circ}$ .

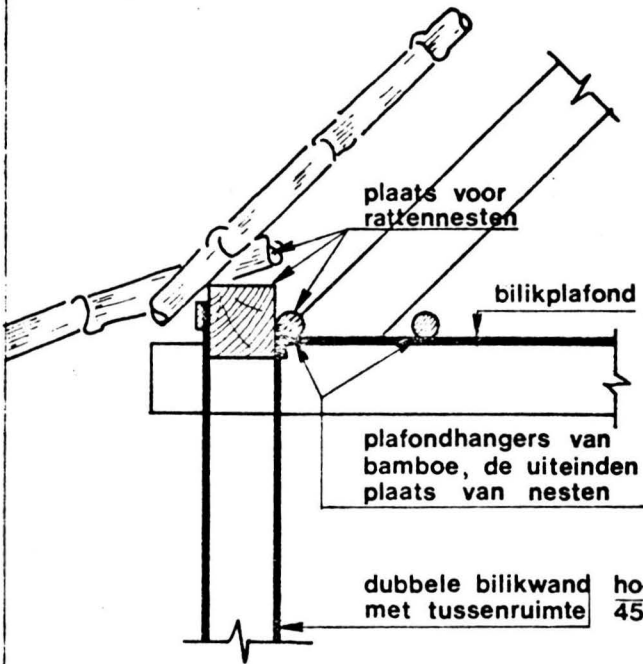
De beste beschrijving van bamboe-woningbouw vinden wij bij Castro, in Colombia.

Zij artikel hierover uit Bouw staat hierachter; Het is intussen ook in het spaans gepubliceerd. Dit is bevorderen van woningbouw met plaatselijke materialen en ambachten, op voorbeeldige wijze.

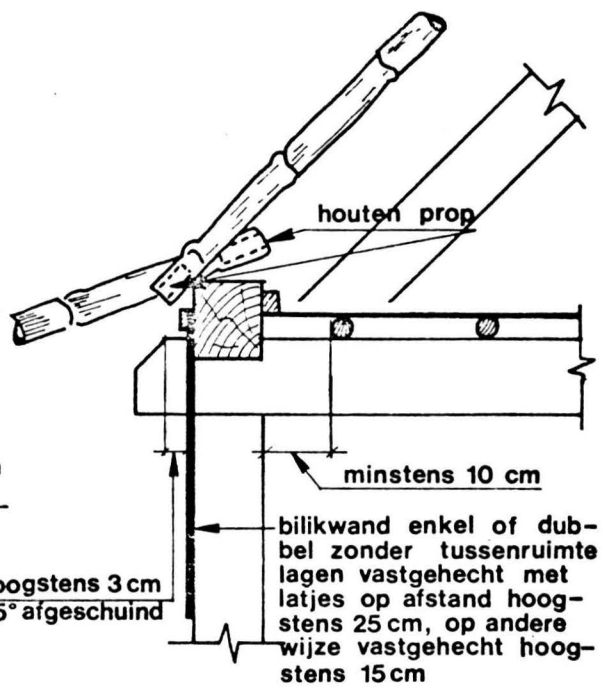
2

**KANTGORDING**

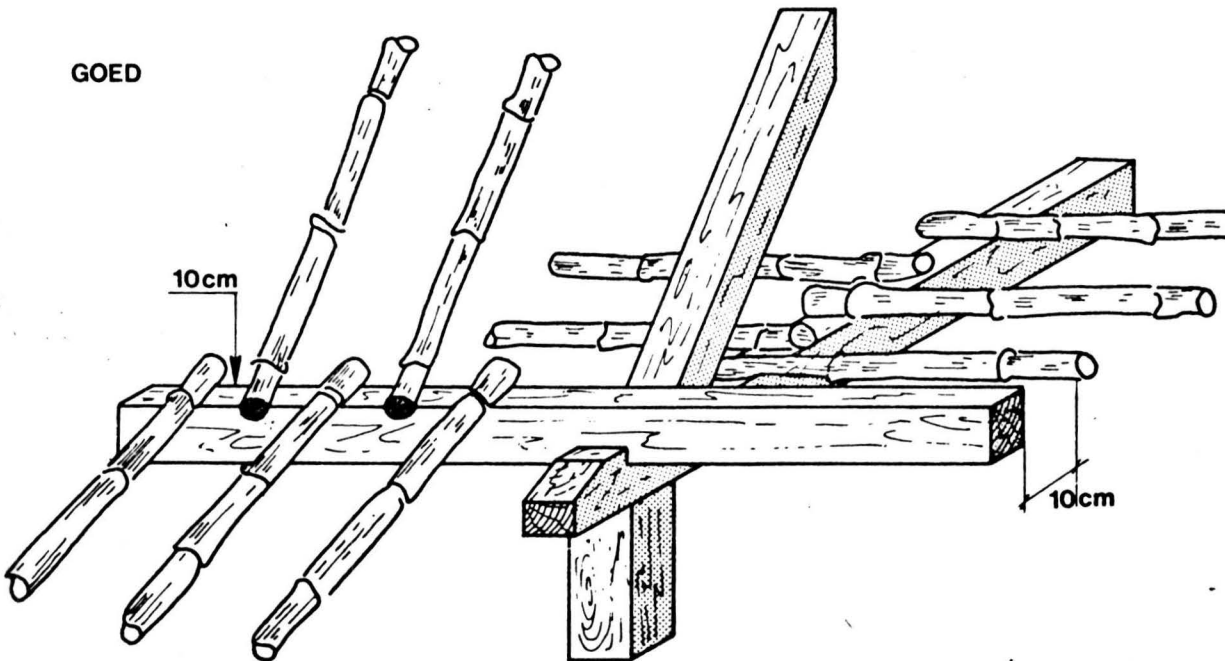
**FOUT**



**GOED**



**GOED**



# Bouwen in bamboe

Een oplossing van het woningprobleem in Columbia

door D. Castro, architect in Columbia

Schrijver van nevenstaand artikel is de heer D. Castro uit Columbia.

De heer Castro heeft in Bogota een architectenbureau en is docent aan de „School of architecture“, welke behoort tot de nationale universiteit aldaar.

De schrijver studeerde en werkte, na zijn opleiding tot architect, drie jaar in de Verenigde Staten.

Acht jaar geleden kreeg hij belangstelling voor bouwen in bamboe, dat in de provincie Caldas in Columbia veelvuldig voorkomt. Momenteel is hij een boek over dit onderwerp aan het voorbereiden, dat, niet in aanmerking genomen het hier afgedrukte artikel, op dit gebied de eerste publikatie ter wereld zal zijn.

De heer Castro was deelnemer aan de Internationale cursus in het bouwen, georganiseerd door het Bouwcentrum te Rotterdam. Tijdens zijn verblijf gedurende een half jaar in Nederland bestudeerde hij speciaal de in Nederland toegepaste methoden om stedenbouwkundige problemen op te lossen.

Een detail van de fundering. De draagpalen rusten slechts op één steun.



Columbia is de navel van het Amerikaanse continent en heeft grote mogelijkheden door zijn centrale ligging.

Het oprichten van een luchtvaartmaatschappij in 1920 betekende het begin van het ontwaken uit een lange, diepe slaap van vier eeuwen. Door luchttransport kunnen de inwoners van Columbia nu met elkaar in contact komen en kan het land zich beter ontwikkelen.

Columbia groeit echter met de kracht van een tropische plant en staat dan ook bloot aan alle gevaren die zulk een snelle groei bedreigen.

In dit land van contrasten treft men tezelfdertijd aan het transport per muilnier en vliegtuig, rijken en zeer armen, de bedrijvigheid van een indiaanse, die met haar handen een wollen deken weeft en machines die in een snel tempo goederen voortbrengen.

Koude, hoge bergstreken worden afgewisseld door uitgestrekte hete vlakten en de blijheid van de negers contrasteert met de somberheid van de Indianen.

Wonen, werken, opvoeden en zich ontspannen scheppen ook in Columbia urgente behoeften aan bouwwerken.

Het zoeken is naar wegen om snel en economisch te bouwen om het land in staat te stellen zich te ontwikkelen.

Zeer indrukwekkende bouwwerken verrijzen, doch de wezenlijke problemen op bouwgebied zijn hierdoor niet opgelost.

Het bouwen met het oog alleen gericht op het toerisme waardoor de gebouwen er eigenaardig en kleurrijk uitzien, vormt een belemmering voor de juiste oplossing.

Het komt dikwijls voor dat stedenbouwkundige beslissingen genomen worden zonder dat men heeft nagegaan welke problemen er hier zijn. Geen antwoord bijv. is dan gevonden op vragen als: waar eigenlijk moet worden gebouwd, voor wie, met welke materialen enz. enz. Ook vergeet men zich af te vragen welke toekomstige maatschappelijke veranderingen er zijn die consequenties kunnen hebben voor stedenbouwkundige oplossingen.

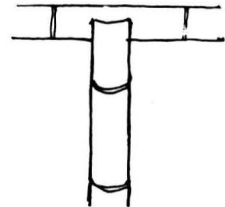
Dientengevolge komt het voor dat een zogenaamde oplossing verworpen wordt voordat de plannen zijn uitgevoerd of dat men tijdens de uitvoering van gedachten verandert. Een groot bedrag aan geld is dan reeds uitgegeven en dus verspild. Voor hetgeen door de stedenbouwkundigen van Rotterdam is gepresteerd heb ik grote bewondering.

De droevige omstandigheid van het verwoesten van de stad is gebruikt om een binnenstad te bouwen die voldoet aan de noodzakelijke behoeften van een moderne stad.

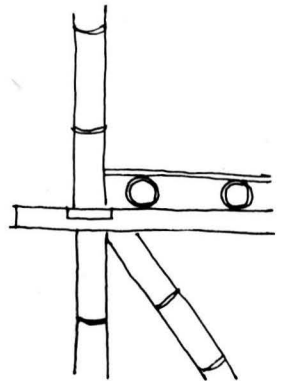
Men heeft het aangedurfd af te wijken van de traditionele paden.



Bovenaanzicht van de verbinding van twee stukken bamboe.

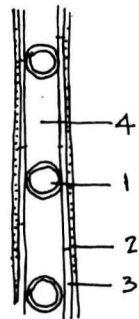


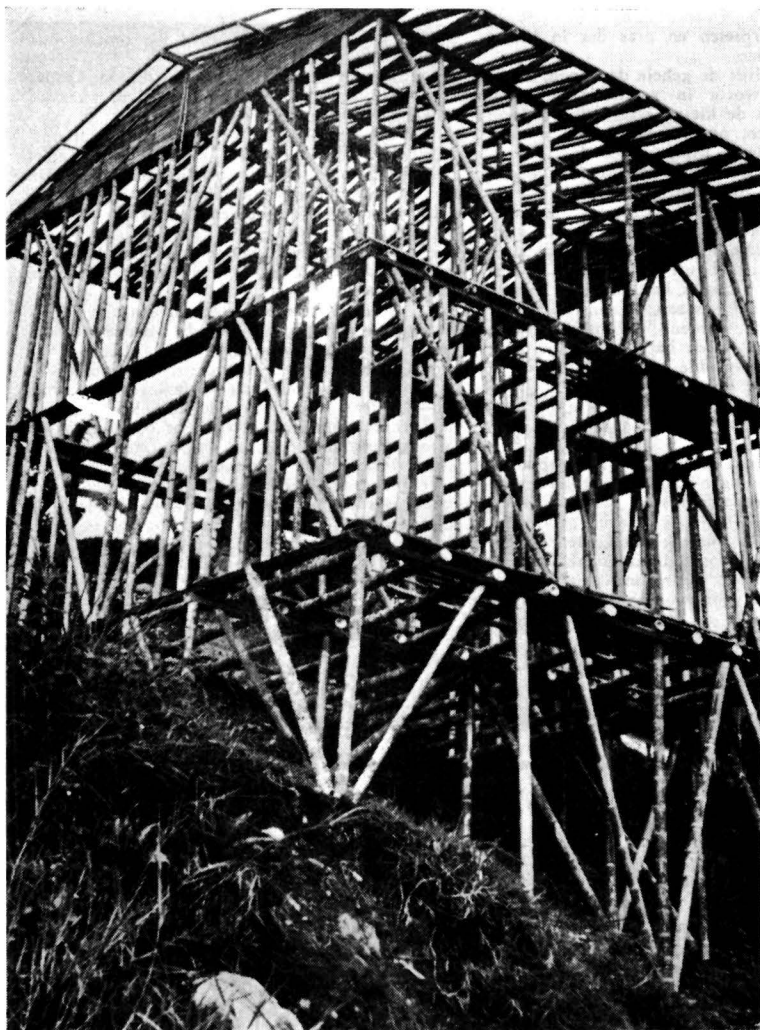
Voorraanzicht van de verbinding van twee stukken bamboe.



Hoekverbinding van vloer en wand.

Horizontale doorsnede van een bamboewand. 1. stijl; 2. pleisterwerk; 3. gespleten bamboe; 4. luchtruimte.



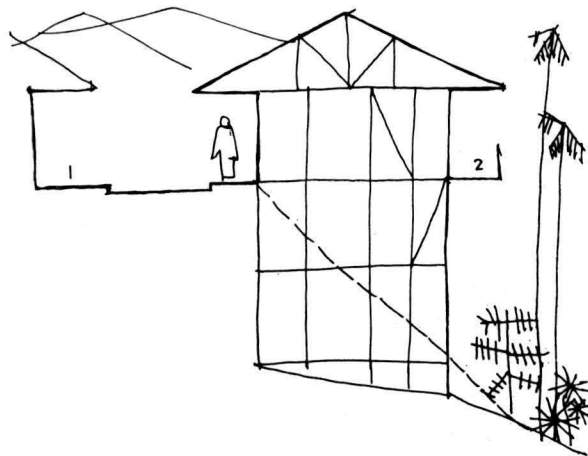


### Bouwmethode van Colombianen

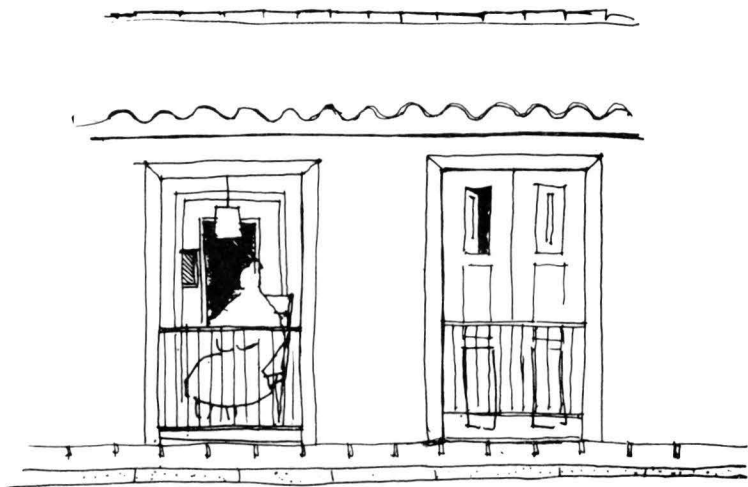
Wil men in Columbia het woningprobleem oplossen dan zal men de inheemse methoden waarmede huizen worden gebouwd niet mogen negeren. De aangeboren en overgeleverde methoden zal men dienen te bestuderen en, voorzover mogelijk, gewijzigd moeten toepassen. In verband hiermede wil ik iets meedelen over de inheemse wijze van het bouwen van woningen in bamboe door mensen die geen geld hebben om de hulp van deskundigen in te roepen en toch in een eigen huis willen wonen.

Op het platteland en in kleine steden van de provincie Caldas lossen middenstanders, die ongeschoold zijn, zelf hun woningproblemen op door huizen te bouwen, gemaakt van bamboe. De huizen, opgetrokken in bamboe hebben een gering gewicht en de fundering hoeft daarom niet diep en sterk te zijn. Bij gelijkvloerse huizen komt het voor dat voor iedere draagpaal slechts één steen als fundering dienst doet.

Het geraamte van een bamboehuis.  
De zgn. „balloon frame” constructie is hier duidelijk te zien.



Algemene doorsnede van een bamboehuis dat tegen een helling is gebouwd. 1. de straat; 2. het balkon.



De vensterdeur.



De verticale constructie wordt gevormd door bamboe-palen die 30 tot 50 centimeter uit elkaar staan en die diagonaal verbonden zijn eveneens door palen van bamboe. Dit dient om horizontaal gerichte krachten, o.a. de wind, op te nemen.

De constructie komt overeen met de „balloon-frame“-constructie die in de Verenigde Staten van Amerika vele jaren met succes is toegepast en haar naam dankt aan haar geringe gewicht. Door de soepelheid van de constructie is het huis in staat vormveranderingen elastisch op te nemen, waardoor verwoesting wordt voorkomen.

De vloeren worden vervaardigd van ander, minder buigzaam hout dan bamboe, tenzij de eigenaar dit te duur vindt, in welk geval hij gespleten bamboe gebruikt.

De kapconstructie, waarop Spaanse dakpannen komen te liggen, wordt gemaakt van dunne bamboe.

De wanden bestaan uit gespleten bamboe die, aan binnen- en buitenzijde aangebracht, een luchtkussen vormt, dat afdoende zorgt voor warmteisolatie en vochtwering.

O.a. worden hierdoor temperatuurwisselingen, die in Caldas veelvuldig voorkomen, binnenshuis geminiseerd.

Aan de buitenkant van de wanden wordt een mengsel aangebracht, dat bestaat uit aarde, mest

of paardenuitwerpselen en gras dat in kleine stukjes is gesneden.

De buitendeur blijft de gehele dag open, waardoor voorzien wordt in ventilatie en licht. 's Nachts blijven de kleine ramen, die zich in de deur bevinden, open, zodat ook dan voor voldoende ventilatie wordt gezorgd.

De daken steken over en beschermen afdoende tegen regen en zonneschijn. In straten waar deze huizen zich bevinden is het daardoor aantrekkelijk wandelen, doordat een soort „Lijnbaan“ ontstaat door de overhangende daken.

Een huis, opgetrokken uit bamboe die tijdens het bouwen goed droog is, kan ongeveer 25 jaar meegaan zonder dat iets aan de constructie etc. gedaan behoeft te worden. Wel meent de inheemse bevolking dat de bamboe gekapt moet worden bij een bepaalde stand van de maan om snel rotten te voorkomen.

#### Paalwoningen

Daar waar de huizen op hellingen zijn gebouwd ontstaan „paalwoningen“, die op ver boven de grond uitstekende palen rusten.

Worden de huizen op vlak gelegen grond gebouwd, dan nog steken de draagpalen enkele centimeters boven de grond uit om te voorkomen dat bij overvloedige regenval de woning te veel door vocht zou worden aangetast.

Door dit bouwen in de hoogte verkrijgt men

tevens een goed uitzicht over het omringende landschap.

Het bouwen in bamboe zoals dit in Caldas plaats vindt, heeft velerlei voordelen, waarvan enkele hieronder worden opgesomd.

Door het gebruik van hetzelfde materiaal ontstaat een geheel dat een eenheid is ondanks verscheidenheid in constructie en kleur. De fantasie van de bewoners kan zich uitleven in het verven van de huizen zonder de eenheid te verbreken.

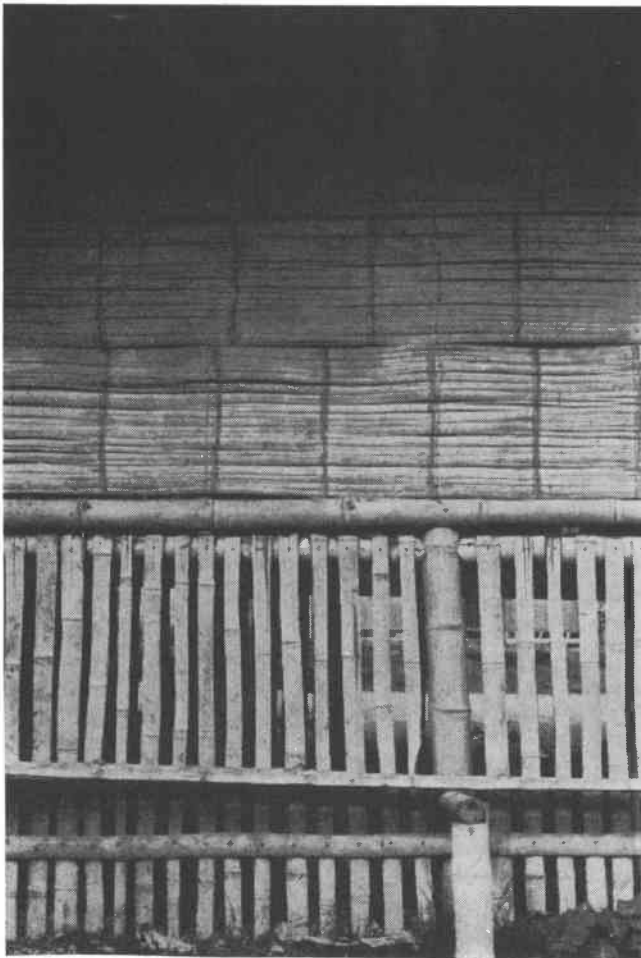
De geringe kosten in vergelijking met het bouwen in andere materialen vormen een ander groot voordeel.

Velen zijn daardoor in staat in een eigen huis te wonen. De geringe kosten worden veroorzaakt door de lage prijs van de bamboe en doordat de bewoners de huizen zelf bouwen.

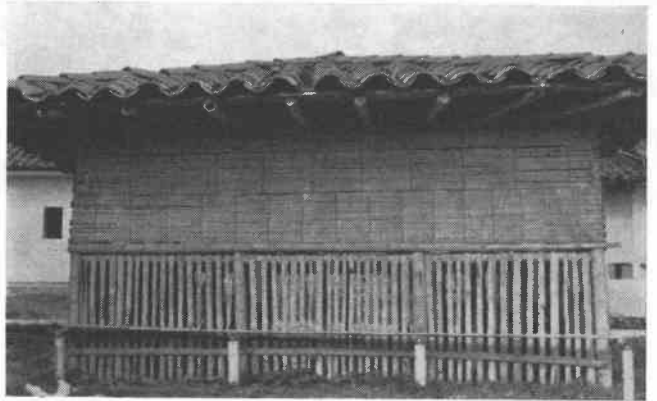
Een ander voordeel is de korte levensduur van 30—40 jaar, waardoor het huis kan worden afgeschreven in de tijd dat het ook werkelijk wordt bewoond. Immers, de huizen van baksteen hebben wel een levensduur van  $\pm$  100 jaar, maar dit is economisch nadelig. Een echtpaar gaat een nieuw huis bewonen zodra het getrouwd is. Er worden kinderen geboren die in het huis worden opgevoed en die na ongeveer 20 tot 25 jaar de ouders verlaten om zelf een gezin te stichten.

Na ongeveer 30 tot 40 jaar, als de ouders gestorven zijn, is het bamboehuis versleten, het-

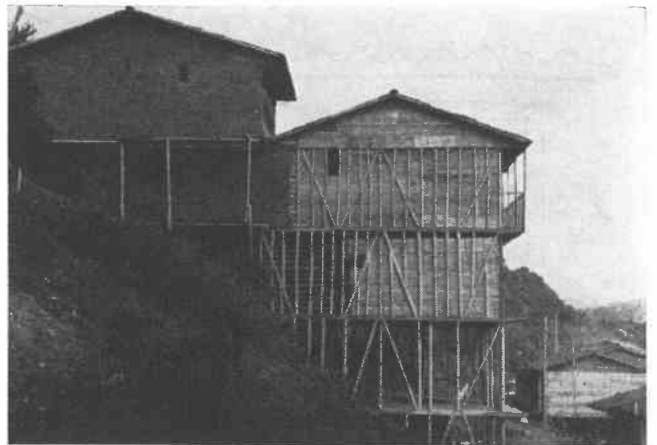
Een gedeelte van de wand die uit gespleten bamboe vervaardigd is.

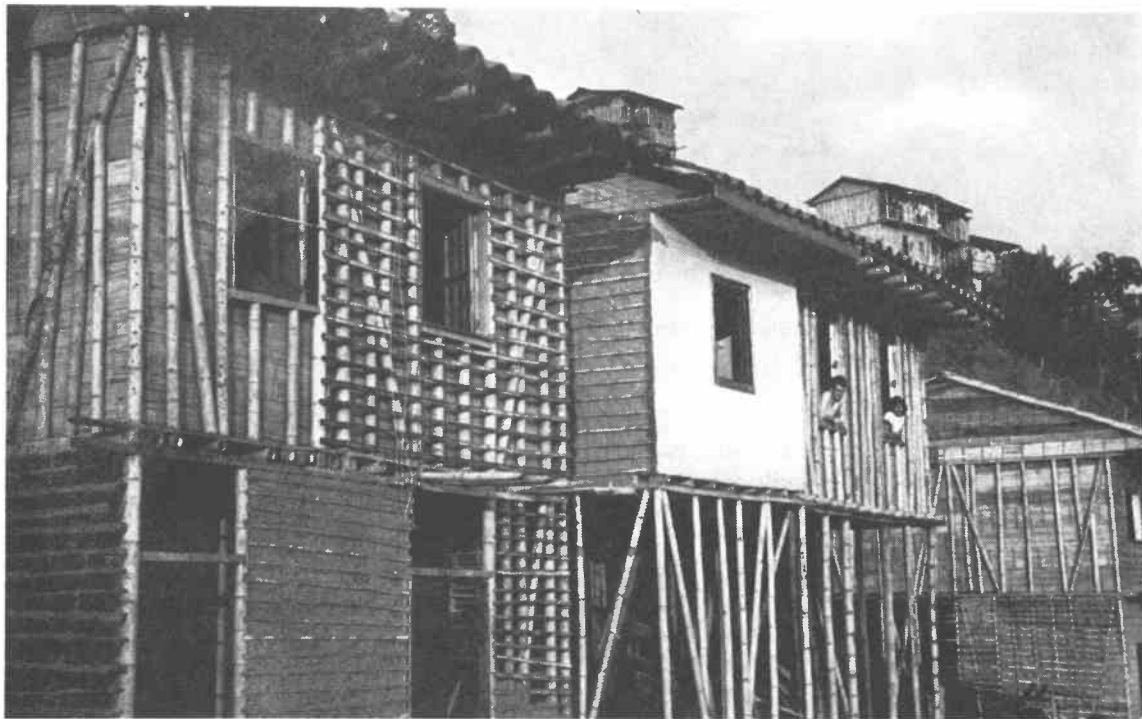


De dakconstructie, waarop Spaanse dakpannen zijn gelegd.



Onder: een tegen een steile helling aan gebouwd bamboehuis dat nog niet is afgebouwd.





De verschillende toepassingen van bamboe, alsmede enkele fasen van het bouwproces, ziet men op bovenstaande afbeelding van enige bamboehuizen.

geen een gelukkige omstandigheid is omdat de jongere mensen een moderne woning willen betrekken, die alle moderne voorzieningen bezit en niet een huis dat 40 jaar of meer oud is. In tegenstelling tot baksteenhuizen betalen de eigenaars dus een prijs die gebaseerd is op de werkelijke levensduur van het huis ( $\pm$  40 jaar) die overeenkomt met de tijd dat ze het huis bewonen. Bij baksteenhuizen loopt men het risico een woning, die 100 jaar meegaat, in 40 jaar te moeten afschrijven, omdat daarna de woning onaantrekkelijk is voor anderen. Met andere woorden: voorkomen moet worden dat een huis geen waarde meer heeft en toch technisch nog lang niet is versleten. Dit alles wil niet zeggen dat bamboehuizen ideaal en dat verbeteringen niet mogelijk zijn.

#### Deskundige voorlichting gewenst

Aan een goede ruimtelijke indeling wordt niets gedaan.

Er is een aaneenschakeling van woonvertrekken zonder dat tevoren is bedacht welke groepering de beste zou zijn. Zo komt het veel voor dat tussen huiskamer en slaapkamer van de kinderen zich het slaapvertrek van de ouders bevindt.

De middagrust van de ouders wordt ontijdig verstoord door de kinderen die heen en weer lopen tussen hun eigen kamer en de huiskamer. Ook aan verbetering van de verlichting, de ventilatie en de hygiënische omstandigheden is nog veel te doen.

Deskundige hulp bij ontwerp en uitvoering om te komen tot betere en goedkopere woningen is dan ook geen luxe. Wel is hier voorzichtigheid geboden.

Het toepassen van nieuwe methoden en het gebruiken van nieuwe materialen zonder degelijke studie van de consequenties die deze voor de inheemse bevolking hebben is uit den boze.

Het gebruiken bijv. van glas, waar zich slechts gaten bevonden kan de woning beter beschermen tegen temperatuurwisselingen. Echter: de openheid die de bamboehuizen hebben door de openingen die zich in de wanden en buitendeur

bevinden waardoor de huizen als het ware niet gescheiden zijn van de straat en waardoor sponstaan en intensief contact met buitenstaanders bevorderd wordt, gaat door het inbrengen van glas grotendeels verloren.

Ook zullen veranderingen geleidelijk moeten plaats vinden. De bevolking moet de gelegenheid krijgen zich aan te passen opdat verkeerd gebruik van het nieuwe wordt voorkomen.

Revolutionaire veranderingen kunnen de bewoners van het platteland in Columbia slechts van de regen, die er veelvuldig voorkomt, in de drup helpen.

Mijns inziens is het bouwen in bamboe met voorzichtige hulp van deskundigen een oplossing van het woningprobleem in grote delen van Columbia.

Dat de bevolking zelf een zo groot aandeel heeft in deze oplossing is een verheugend verschijnsel.

Hiermede wil niet beweerd zijn dat voor ieder land een soortgelijke oplossing als in Columbia moet worden gezocht.

Ook hier zal nauwkeurige bestudering van alle facetten van dit probleem in elk land afzonderlijk vereist zijn, waarbij men vooral de specifieke plaatselijke omstandigheden niet over het hoofd mag zien.

De straat is de plaats waar men elkaar ontmoet, tegen zon en regen beschermd door de overhangende daken.



## 8. Bruggen.

Bruggen van bamboe zijn al eeuwen lang gebouwd. Ze kunnen verdeeld worden in hangbruggen, schraagbruggen, boogbruggen en vakwerkbruggen.

Hangbruggen zijn vooral te vinden in China en in Zuid-Amerika, vooral in het Andes-gebergte. De bamboe wordt dan gespleten verwerkt, als lange vezel met grote treksterkte. Kabels van 100 of 200 meter zijn geen uitzondering.

De duurzaamheid van deze kabels valt in de praktijk erg mee, waarschijnlijk omdat men vooral de buitenkant verwerkt. Deze heeft namelijk een hogere treksterkte, maar is ook sterk silicum-houdend. Verder zijn deze kabels na regenval weer snel droog.

Boogbruggen, en wat daar op lijkt, zijn veel gebouwd in Indonesie. In reisverslagen uit het eind van de vorige eeuw vindt men er vele beschreven. Helaas is de kunde en ervaring op dit gebied grotendeels weggevaagd door Nederlands beheer met moderne bruggebouw.

Schraagbruggen zijn uit traditie veel gebouwd in Indonesie en Indo-China. In de tijd van de koloniale oorlogen was dit brugtype favoriet bij de Nederlandse en Franse genie.

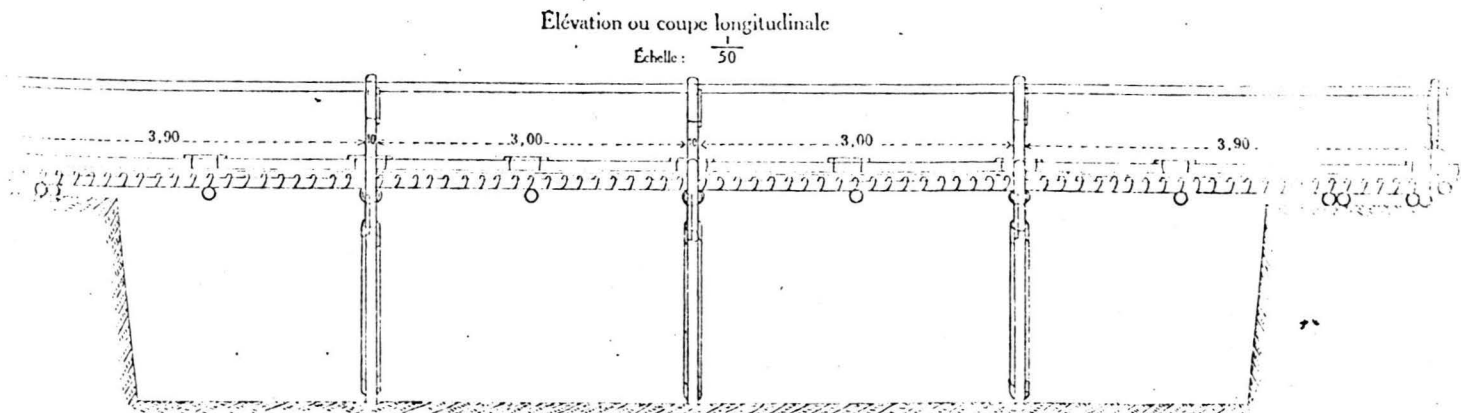
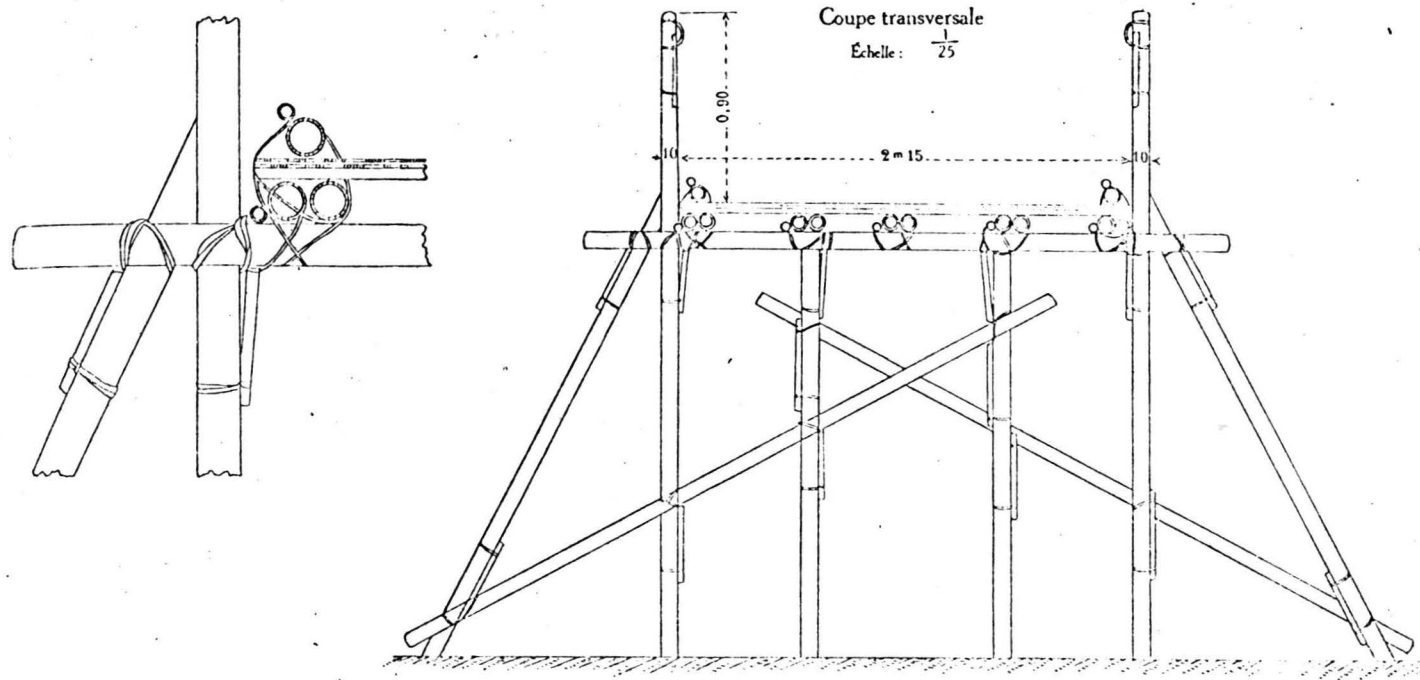
Zij hebben het traditionele brugtype vervolmaakt, de Nederlanders vooral wat betreft de montage, de Fransen wat betreft de sterkteberekening. In 1930 al publiceerde een Franse genie-officier, Trojani, de ontwerpen voor standaardbruggen op blz. 19 en 20, met daarbij zelfs (hier niet opgenomen) nomogrammen, gebaseerd op sterkteproeven en ervaring samen.

Vakwerkbruggen tenslotte zijn in de traditie niet veel gebouwd: de traditie wist vermoedelijk niet goed raad met de instabiliteit van de gedrukte bovenrand. (Daar hebben wij bij stalen vakwerkbruggen ook lang moeite mee gehad).

De Amerikaanse genie heeft er in 1937 op de Philippijnen goede vorderingen mee gemaakt, zie blz. 21 en 22.

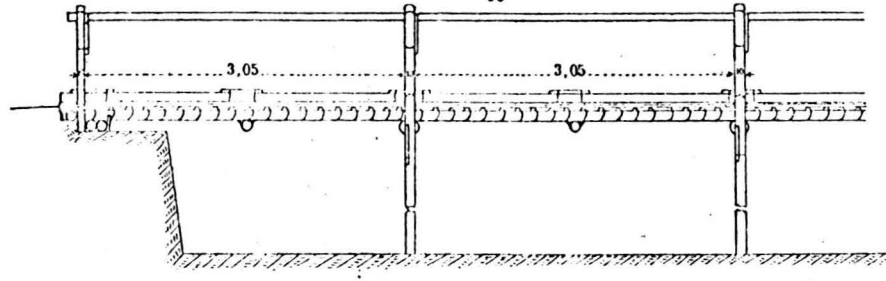
Voor alle waterbouwkundige toepassingen is het gunstig dat bamboestammen ingeheid kunnen worden.

# PONT DE PILOTS LÉGERS

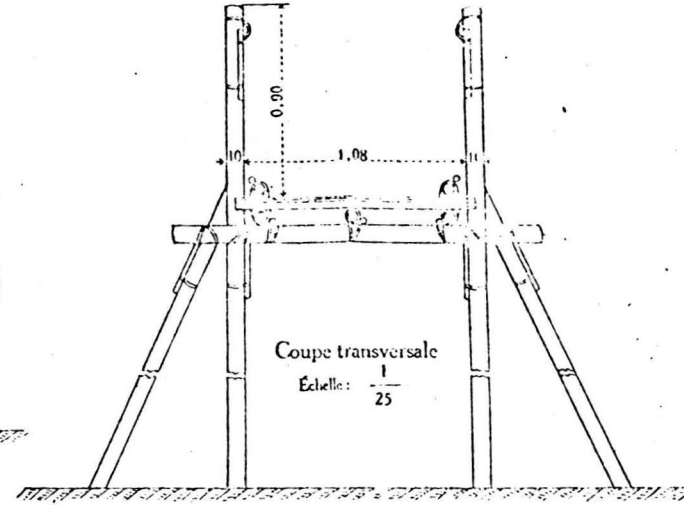


# Passerelle de petits pilots

Élévation ou coupe longitudinale  
Echelle:  $\frac{1}{50}$

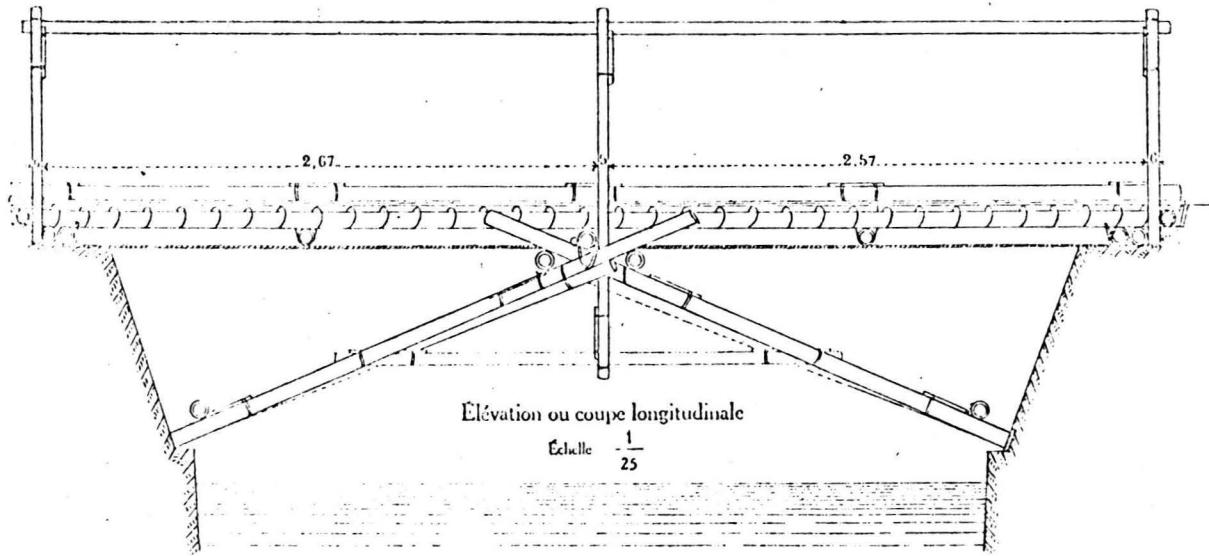


Coupe transversale  
Echelle:  $\frac{1}{25}$

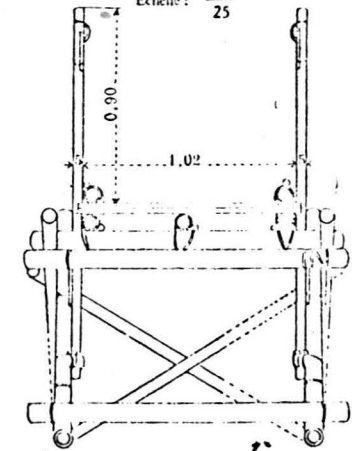


# Passerelle sur cadres arc-boutés

Élévation ou coupe longitudinale  
Echelle:  $\frac{1}{25}$



Coupe transversale  
Echelle:  $\frac{1}{25}$



# An Experimental Bamboo Truss

GEORGE KUMPE

First Lieutenant, Corps of Engineers

TO even the most casual visitor in the Philippine Islands, the universal use of bamboo for many varied purposes is an outstanding characteristic of the country. To a visiting engineer especially, bamboo has a particular fascination as an engineering material, for its properties of great length, durability, workability, straight grain, light weight, and high tensile strength permit its use in practically all types of construction. Specifically, the use of bamboo in bridges is prevalent throughout the Islands, but only in trestle bridges. As far as could be learned, there is no record of the construction of a bamboo truss bridge. To determine the possibility of erection and the feasibility of such a bridge, it was decided to test a full-size structure.

The task of erecting a bamboo truss bridge was assigned to Company C, 14th Engineers, Philippine Scouts, as a portion of its training. There were available four mornings of work for the construction and erection of the bridge. Cutting details, requiring 112 man-hours of work, previously obtained the necessary bamboo. Certain restrictions regarding cutting bamboo on the reservation resulted in improved quality of material and balanced the loss of time resulting from long hauls. The site of the bridge, a gully on

viously been proven satisfactory, it was decided to use bamboo road bearers with a floor system taken from the canvas-covered ponton equipage. The actual design of members was purely arbitrary. A rough analysis of the bridge under an assumed load of a pick-up truck (3,275 pounds) was used for determining the relative stresses. Since little information is available on the physical properties of bamboo, the design was empirical, based upon experience and opinion, and consisted only in assigning the number of pieces of bamboo to each member. The actual arrangement of pieces in the members was determined by the panel point construction, and was decided upon when the trusses were assembled.

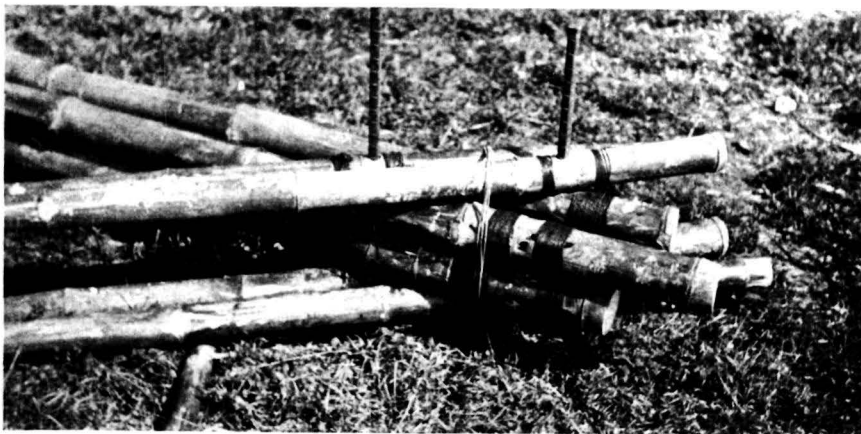
The construction of the trusses was a problem in joint design. It had been decided to use four pieces of bamboo in the lower chord and end posts, three pieces in the upper chord, and two pieces in the suspenders and diagonals. This resulted in a maximum of eleven pieces of bamboo, at the upper chord joints, so these points became the determining factor in the erection, and the other joints were assembled to match. In the actual type of joint there was small choice. Carefully framed butt joints, and fish plate joints were both considered, but variations in the size

of the members, and their eccentricity, together with a lack of suitable material for fish plates, prevented such construction; so pin connected joints were used. At first the native type of construction, with bamboo pins, was tried, but the pins were too weak for the load. Pins of 1/2-inch square reinforcing rods, 18 inches long, were next tried, and proved satisfactory.

The joints were originally designed as simple single-pin joints, but were impractical, since eleven pieces of bamboo would have made a joint over 4 feet wide. As finally designed, the upper chord was arranged with two pieces of bamboo above the remaining pair. The

bamboos of the other members entering the joint were arranged symmetrically about the upper chord members. Two pins were used, one for each pair of upper chord members, the pins also going through as many other pieces as was possible. The center bamboo of the end post was not secured to either pin, but was lashed to the outer members and also pinned to them by bamboo pins.

In assembling the joints, each pin hole was first drilled. The bamboo on each side of the hole was tightly wrapped with baling wire and marline to prevent splitting. The entire joint, after assembly, was then tightened and secured by the use of heavy wire and rack sticks. Splices on the lower chord were made in each end panel. The members overlapped about 5 feet, and were placed so that butts and tips al-



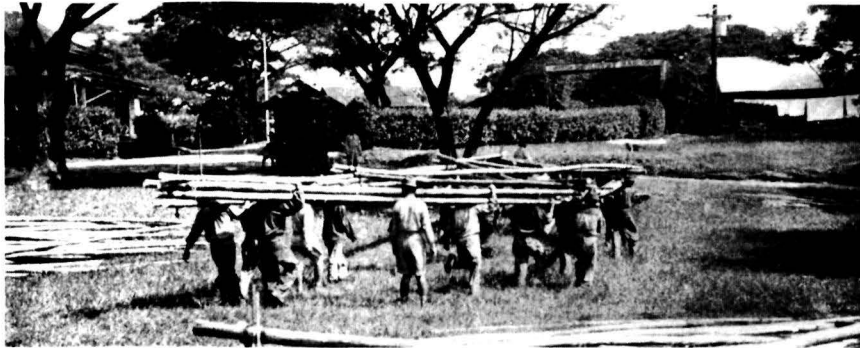
Lower Chord and End Posts

the reservation, was selected without regard to the usefulness of the structure, the actual abutments being far from ideal for any bridge construction. Since the structure was intended for purely experimental purposes, no attention was paid to approaches, retaining walls, or other problems attending traffic.

The design of the bridge was like Topsy, it just grew. The site chosen for the bridge required a 50-foot span. Since the construction was intended for training in truss bridge erection and terminology, a king-post truss was eliminated as being too simple for instruction purposes. These factors finally determined the structure as a 50-foot queen-post truss. Since the men were highly familiar with trestle bridges and ponton equipment, no special attention was given the flooring system. Bamboo having pre-

ternated. The actual connection was accomplished by tight lashings of wire and marline, with bamboo pins.

Erection was very simple. The individual trusses were assembled on level ground near the bridge site. The flexibility of the bamboo made joint assembly an easy process. After the trusses were completed they were carried by hand to the proper location. Two



Carrying the Truss to the Site

squads were used for moving each truss due more to their spring than their weight. Each truss weighed approximately 900 pounds.

Actual erection consisted of sliding a truss over the bridge site horizontally while bracing at panel points with bamboo posts extending to the ground. When the lower chord reached its proper position the truss was raised to its vertical position by means of lines and poles, a simple operation due to the light weight. No special seating was provided for the truss on the embankments, the width of the lower chords providing sufficient bearing. The two trusses were braced laterally by single bamboo poles between upper panel points.

The flooring system was that of the canvas-covered ponton equipage. The two abutment sills were placed over the ends of the truss lower chords and were further supported by bearing on earth. The two intermediate road bearers were originally made up of four pieces of bamboo first lashed together and then lashed on top of the lower chords next to the suspenders. These bearers were later replaced by narrow gauge railroad rails in the same position. Six balks were placed in each bay, and ordinary chess used for flooring. Side rails were lashed as in ponton bridge construction.

Tests of the bridge were made by loading the structure with a condemned escort wagon. The wagon was pulled back and forth across the bridge with various loadings and at various speeds. The bridge was not loaded to failure. The maximum load applied was the escort wagon, weighing about 1,500 pounds, carrying approximately 1 ton of rock.

The behavior of the bridge was most interesting to watch. As expected, the entire structure was very elastic. As the load was applied all the members, being eccentric themselves, and non-axially loaded

either in individual members or panel points, all bowed in the direction of their distortion. The initial loading resulted in crushing the bamboo road bearers at their bearing points on the trusses; so railroad rails were substituted. In all the tests the flooring showed the greatest deflections. As mentioned, the usual side rail lashings were used, but even so, the side rails separated as much as 5 inches from the flooring during maximum loading. From observation it seemed probable that if the bridge were loaded to destruction the barks would fail first, so to prevent useless breakage no excessive loads were tried.

Examinations of the various details of assembly were made during and after loading. The method of placing road bearers on the truss instead of suspending them resulted in crushing the upper two bamboos in the lower chord, but not sufficiently to cause serious results.

In several cases the steel pins had moved slightly and torn the bamboo members, but in no case, was the damage enough to render a member inactive. Even at the panel points, where some members were not directly pinned to the pin connections, there seemed to be a proper distribution of the loads. The pins themselves proved adequate. At the splices there was no indication of slipping, which the placing of pieces with alternate tips and butts rendered unlikely.

This experiment seems to prove the feasibility of bamboo truss bridge construction. With certain changes of design, chiefly the addition of balks to stiffen the flooring and the fastening of road bearers to the trusses by slings, it is felt that bridges can be constructed for any reasonable load. A bridge built entirely of bamboo, both trusses and floor system, also



The Bridge under a 3,500-pound Load

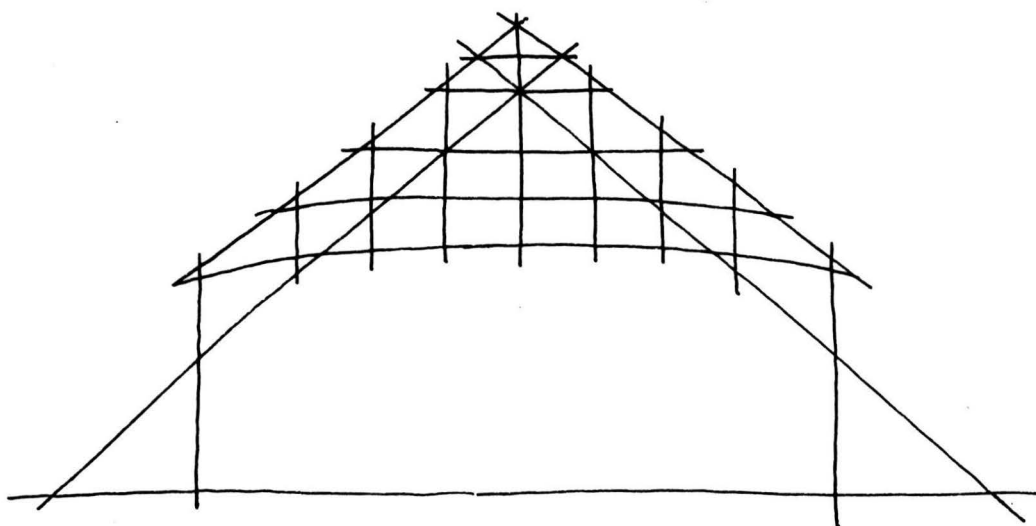
seems possible, but the combination of bamboo trusses, ponton flooring, and some metal road bearer, seems at present to be the most efficient use of available equipment and material.

This use of bamboo will probably not often be necessary, but it serves to illustrate one of the many ways in which it may be employed.

### 9. Vakwerken in loodsen e.d.

De Chinezen hebben oneindig veel loodsen gebouwd met vakwerken van bamboe.

Er zijn daar altijd veel aannemers geweest, gespecialiseerd in dit soort werk. De vorm is voor ons mechanica-gevoel wat wonderlijk:



De verklaring is deze. Zij bouwen een vakwerk van horizontale en verticale staven, omdat zij de verticale eerst neerzetten, dan de horizontale en schuine er aan vast binden, en dan het teveel aan vertikalen er onderuit zagen! De zeeg van de horizontalen wordt verkregen door vers gekapte groene bamboes krom te buigen en zo te wateren en te drogen.

Tijdens een veldtocht van het Britse leger in Shanghai in 1926 (om de blanken weer eens te beschermen) was er zelfs steun van de RAF nodig. Plaatselijke aannemers hebben toen voor de militaire vliegtuigen hangars gebouwd, met een vrije overspanning van 20 meter.

Grote vooruitgang is geboekt door Hidalgo en Castro in Colombia. Ik volsta hier met een enkel voorbeeld van hun werk, een overkapping voor een cirkelvormig vergadergebouw voor 400 personen, diameter 21m, vrij overspannen. Hierna de blz. 200....204 uit hun uitstekende boek "Bambu".



## BAMBU

### 3.1.6.3 Kioscos con anillo de tensión en concreto

El kiosco que se indica en estas fotografías fue construido en Cali, Colombia, en 1971. Tiene la característica de que tanto las columnas como el anillo de tensión, (en este caso reemplazado por la viga de amarre), como el cabezal; fueron construidos en concreto reforzado con varillas de acero. La estructura del techo está formada solamente por cabíos de bambú amarrados al anillo de tensión, también con varillas de acero; y asegurados en el extremo superior a un anillo metálico. Dada la rigidez de la estructura portante, se suprimieron, el rey y los tornapuntas; lo que sólo es posible hacer en kioscos construidos totalmente en bambú cuando la pendiente del techo es igual o mayor a 60 grados.

El ejemplo indicado, es muy interesante no sólo por ser la primera muestra de la evolución e influencia de nuestra arquitectura del bambú; sino también porque construcciones similares pueden hacerse empleando concreto reforzado con bambú.

Vista del alero y de la estructura de concreto del kiosco, formada por las columnas, la viga de amarre y una viga inferior equivalente al cabezal de bambú que sólo presta una función decorativa.

Fotografía del kiosco terminado en la cual se observan: la cubierta de hoja de palma, las columnas de concreto y el antepecho construido con prefabricados de concreto.



Vista interior del kiosco en la cual se observan: los cabíos del techo, la forma como se colocan las hojas de palma que sirven de cubierta y la viga de amarre sobre la cual se apoyan los extremos inferiores de los cabíos.



### 3.1.6.4 Kioscos con tensores

En 1962 se construyó en el Club Campestre de Palmira, Colombia, un gigantesco kiosco, diseñado por el autor, con un área cubierta de 320 metros cuadrados, sin apoyo central, con capacidad para 400 personas, que sería utilizado temporalmente, mientras se terminaban las instalaciones principales.

El kiosco es de forma cuadrada y a la vez poligonal, como puede apreciarse en los dibujos explicativos. Los lados del cuadrado son de 15 metros de longitud y la diagonal que corresponde al máximo diámetro es de 21.20 mts., de longitud.

Debido a su forma externa, no era posible colocar los anillos de tensión de bambú que normalmente se coloca en kioscos circulares, por lo tanto, fue necesario colocar en su lugar cables tensores de acero, que además de unir diagonalmente las columnas colocadas en el polígono interno, podían soportar el rey una vez que éste tendiera a descender debido a las presiones causadas por el viento sobre la cubierta, o por la pérdida de resistencia que se presenta con los años en el bambú, cuando éste no es debidamente tratado.

Dos días antes de la inauguración del kiosco hubo un vendaval tan fuerte que tumbó varios muros de ladrillo de otras construcciones que se estaban haciendo en el Club. La presión del viento sobre un lado del techo del kiosco fue tan tremenda que desplazó horizontalmente el extremo inferior del rey, aproximadamente un metro, pero no lo tumbó. Por medio de palancas de bambú se obligó al rey a volver a su posición original, después de lo cual se revisaron todas las uniones encontrándose que no habían sufrido daño alguno. Ese día, por qué no decirlo, se inició la veneración que hoy siente el autor por este maravilloso material.

En la actualidad el kiosco lleva de construido 11 años; su estado general es satisfactorio, aunque ya comienza a mostrar algún deterioro en algunos bambúes, lo que hará necesaria su reconstrucción completa en poco tiempo, pues no es posible su reparación parcial.

Es importante anotar que los bambúes empleados en la construcción, sólo fueron tratados por aplicación externa de preservativos a excepción de las columnas a las cuales se les aplicó alquitrán en la zona inferior de la línea de tierra.

La fotografía muestra el kiosco construido en el Club Campestre de Palmira, en el cual se emplearon tensores de acero.



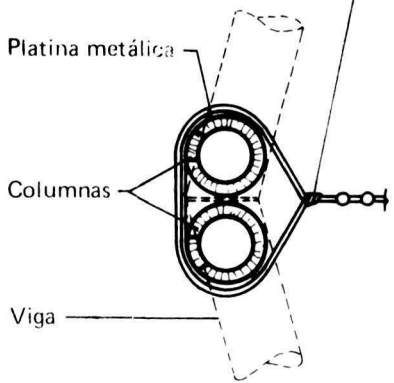
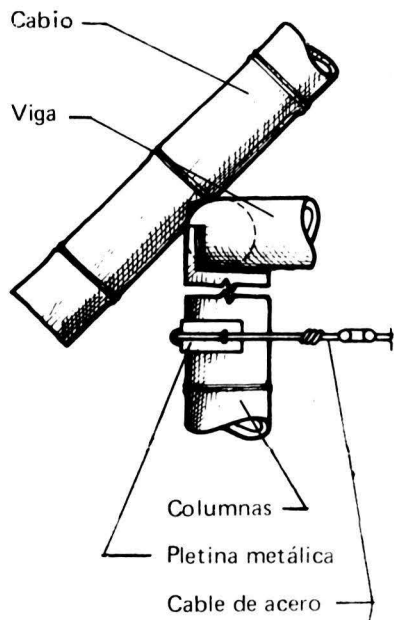
Periódicamente se le ha aplicado por aspersión un preservativo, tanto a los bambúes como a la hoja de palma del techo.

El sistema de construcción de este kiosco, es similar al de los kioscos circulares. Los cables tensores de acero deben colocarse en la forma como se indica en los detalles constructivos, empleando una pletina de acero entre el cable y las columnas de bambú para evitar que los cables trocen las columnas.

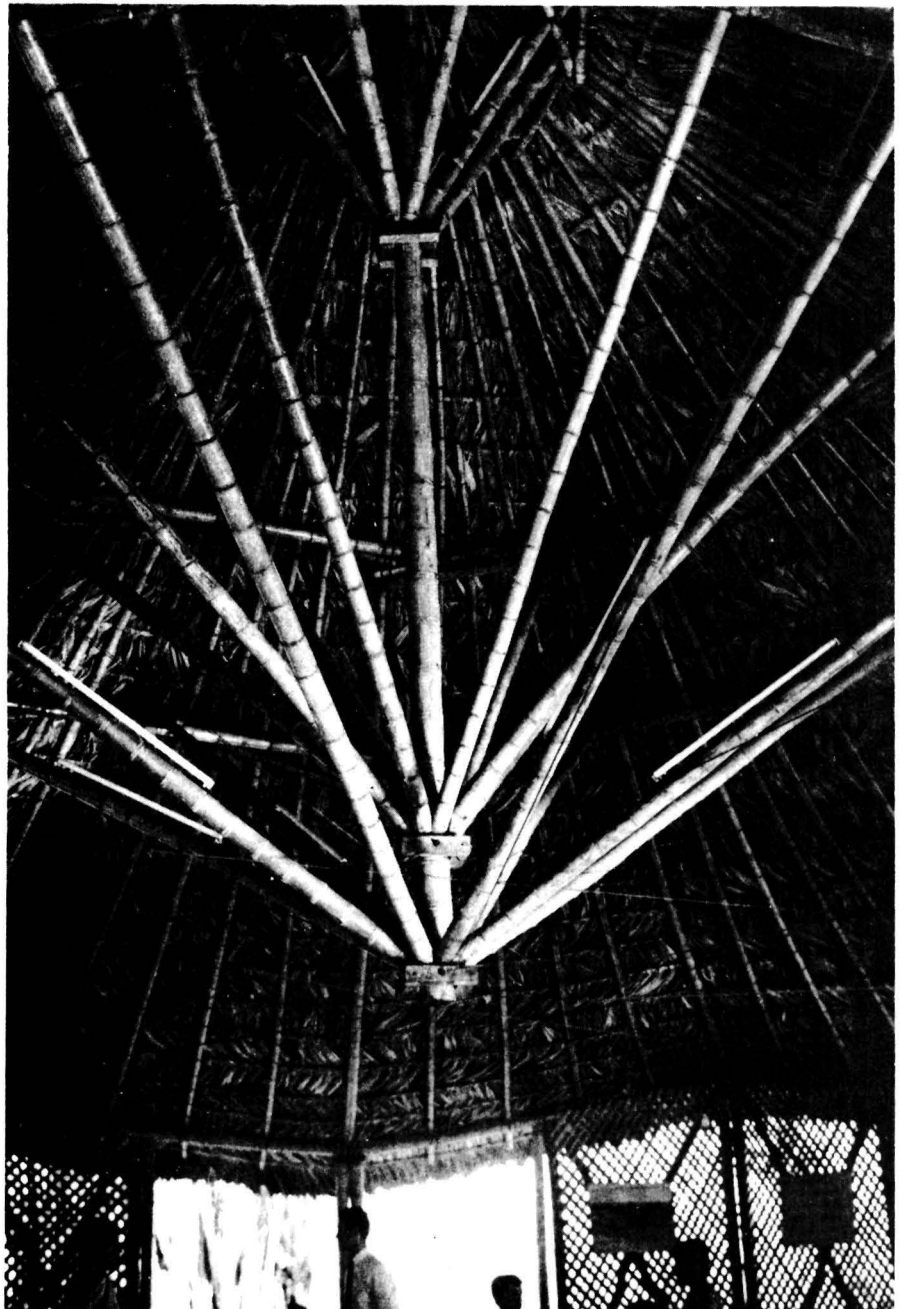
Vista interior del kiosco del Club Campestre de Palmira, en el cual se muestra la estructura de soporte interno de la cubierta, formada por el rey, tornapuntas y tensores de acero en remplazo del anillo de tensión.

3.1-A2 DETALLE DEL TENSOR

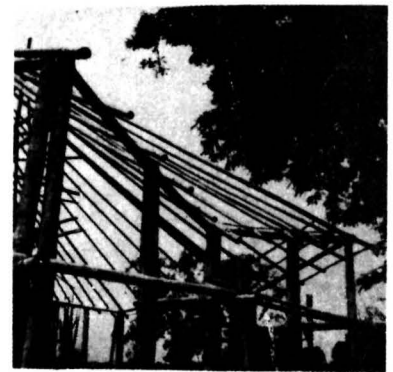
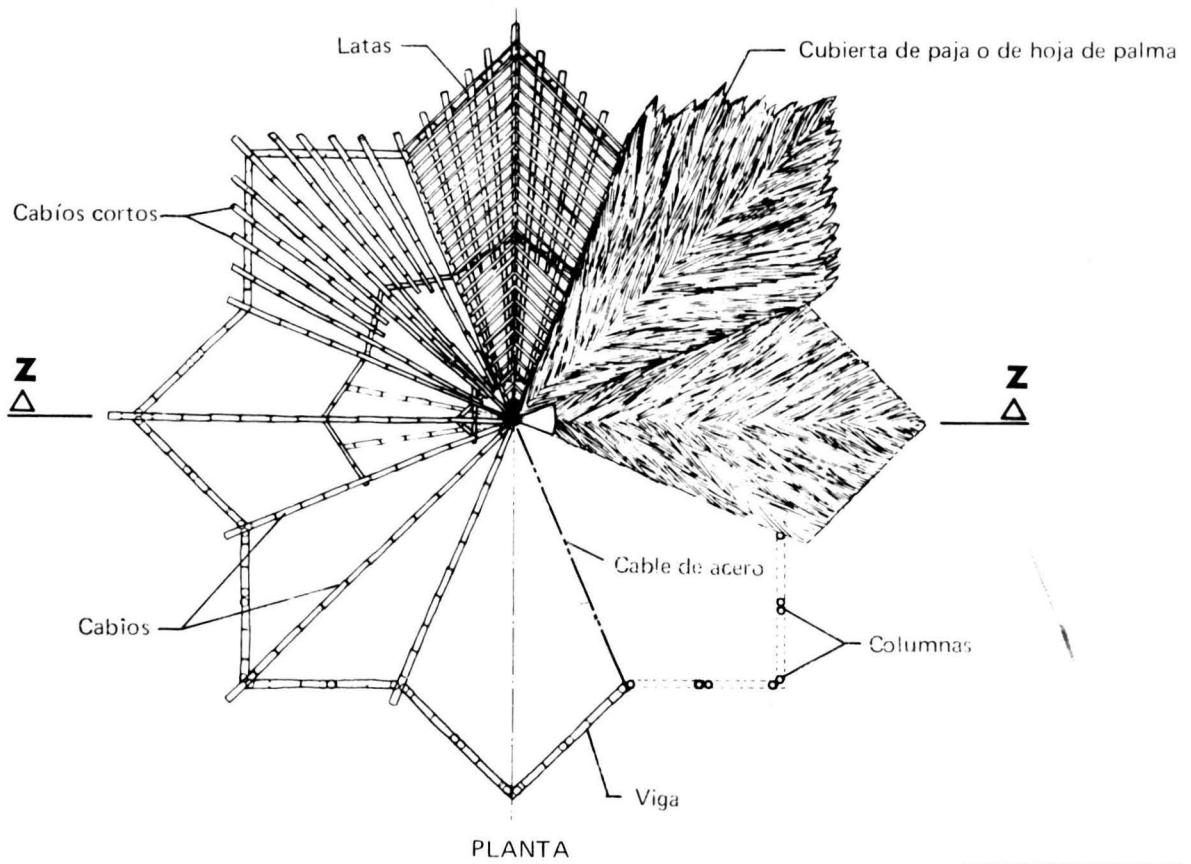
ALZADA



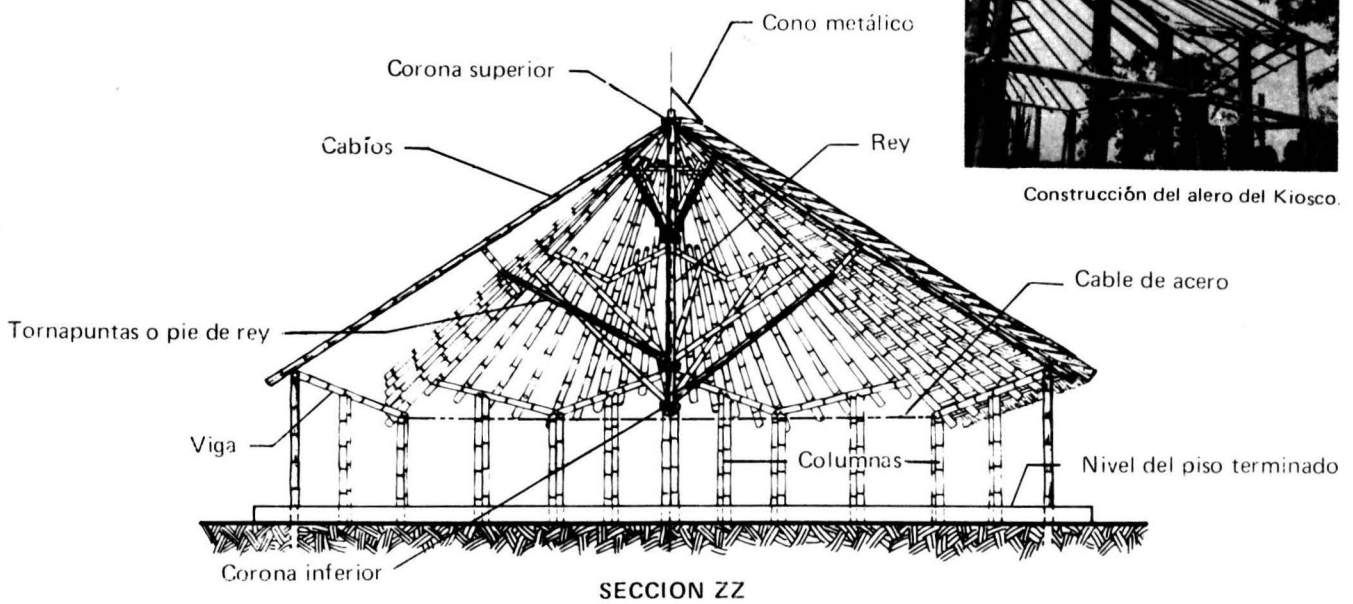
PLANTA



DETALLE 3.1-B - KIOSCO CON TENSORES

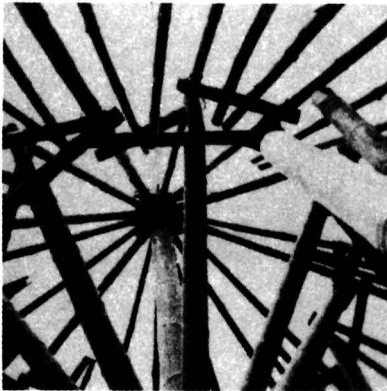


Construcción del alero del Kiosco.

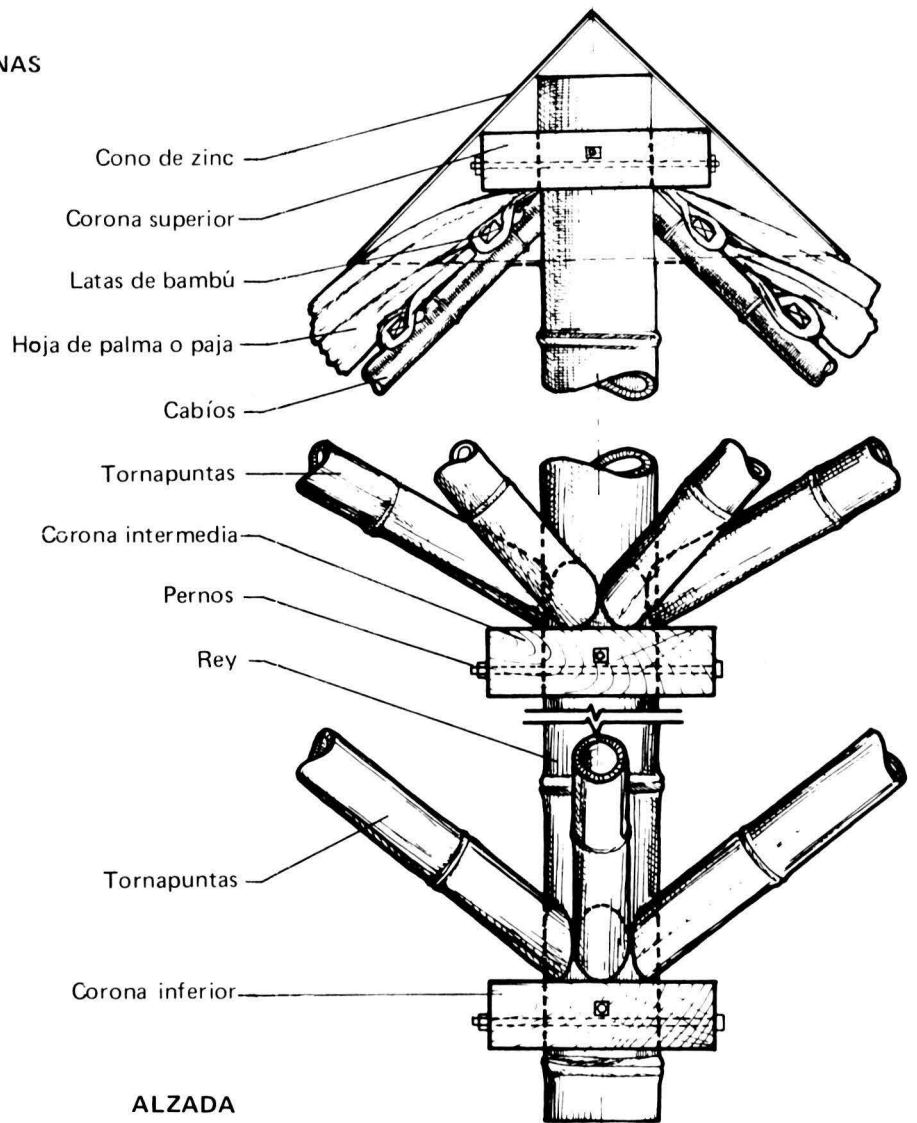


BAMBU

3.1-B1 - DETALLE DEL REY Y CORONAS

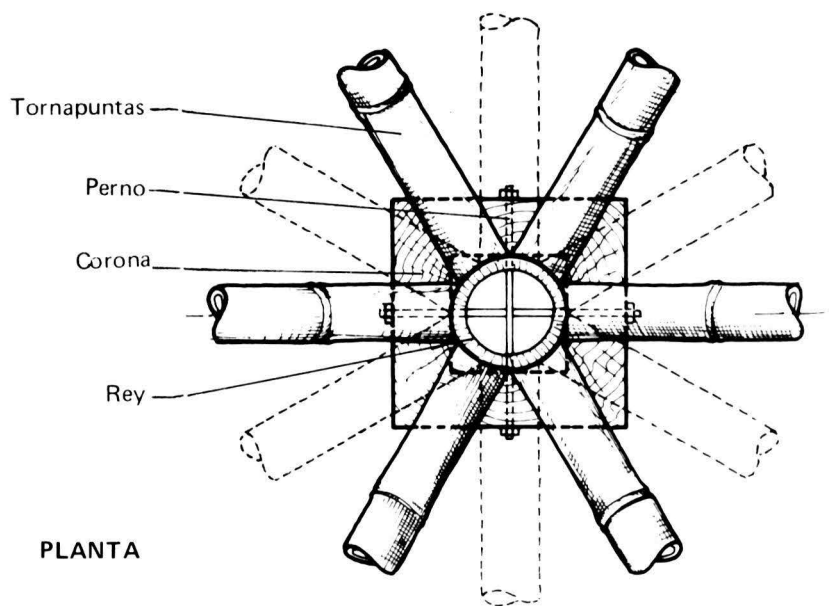


Vista inferior de la corona superior del rey que sirve de soporte a los cabíos.



ALZADA

Vista superior del rey y coronas intermedia e inferior



PLANTA

## 10. Onderzoek naar mechanische eigenschappen.

Wie de mechanische eigenschappen van bamboe wil onderzoeken, kan géén gebruik maken van alle kennis en ervaring met onderzoek op beton-staal-hout.

Onderzoek op bamboe is een ontdekkingsreis. Een simpel voorbeeld: we willen de schuifsterkte van bamboe bepalen, en we wapenen ons met de Amerikaanse ASTM- en de Duitse DIN-voorschriften voor deze proef op hout. Een schuifproef op hout is éénsnedig, maar bamboe is hol en die proef wordt dus tweesnedig. (een schuifproef op bamboe op één snede lukt helemaal niet: proefstuk laat zich niet centreren, en spat overall heen). Goed we doen dus een tweesnedige schuifproef op bamboe. Het proefstuk heeft een dunne en een dikke wand, bv. 6,5 en 6,8 mm wanddikte. Gewoonlijk zal de dunne wand eerst bezwijken. Wat is nu de bezwijkkracht: de helft van de totale kracht (symmetrie van krachten), of naar de verhouding 6,5 : 6,8 (dus volgens vervorming)? Een belangrijke bron van studie is de overeenkomst tussen bamboe en glasvezelpolyester. Beiden bestaan uit vezels met hoge treksterkte, gebed in betrekkelijk zacht materiaal. Veel onderzoek kan de toets van enige kritiek niet doorstaan. Een goed onderzoek is dat van Atrops geweest. Zijn verslag volgt hier.

## **Elastizität und Festigkeit von Bambusrohren**

Von Prof. Dr.-Ing. J. L. Atrops, University of the West Indies, St. Augustine, Trinidad

DK 691.12-462 : 620.172/173

### **1. Einleitung**

Von Massivholz ist bekannt, daß seine mechanischen Eigenschaften von Wachstumsverhältnissen, Standort, Alter, Schlagzeit, Feuchtigkeitsgrad usw. erheblich beeinflusst werden und daß selbst innerhalb eines Stammes merkliche Unterschiede auftreten können. Zudem sind Festigkeit und Elastizität parallel und senkrecht zur Faser sehr verschieden.

Erst recht sind große Streuungen der Tragfähigkeitswerte bei Bambus zu erwarten, bei dem eine natürliche aufgelöste Holzbauweise vorliegt in Form von Hohlzylindern mit horizontal aussteifenden Knotenscheiben. Die Tatsache jedoch, daß nicht nur eine erhebliche Anzahl der Hütten und Häuser in tropischen oder subtropischen Gebieten unter vornehmlicher Verwendung von Bambus errichtet werden (Stützen, Fachwerkstäbe, Deckenbalken, Wand- und Deckenflechtwerk, Fußböden), wobei die Empirie die Berechnung ersetzt, sondern daß man sich auch für Brücken, Türme, Baugerüste und Bootsmaste dieses vielseitig verwendbaren, billigen Baumaterials bedient, ließ eine nähere Untersuchung angezeigt erscheinen.

Fast 50 Bambusarten werden wegen ihres geringen Gewichts, ihrer leichten Bearbeitbarkeit und Verformbarkeit, wegen ihrer widerstandsfähigen Oberfläche, vor allem aber wegen ihrer großen Elastizität und ihrer hohen Festigkeit für tragende Bauteile benutzt. Allerdings müssen wie allgemein bei Bauholz Schutzmaßnahmen gegen Fäulnis, Pilzbefall und Insektenfraß getroffen werden. Während die meisten Bambusarten 5 cm bis 10 cm Durchmesser bei 8 bis 15 m Rohrlänge aufweisen, erreichen einige Sorten in Indien, Burma und Ceylon bis zu 30 m Höhe und bis zu 25 cm Durchmesser.

Die sich im karibischen Raum rapid entwickelnde Industrie und deren Suche nach billigen Baustoffen bzw. nach sinnvollen Baustoffkombinationen führte zu der Überlegung, den auf den Inseln vorkommenden, wild wachsenden Bambus, für dessen Verwendung hier noch keine Bauvorschriften bestehen, den verschiedenen Beanspruchungen (Zug, Druck, Abscheren, Biegung) zu unterwerfen. Über die bisher erhaltenen Ergebnisse wird berichtet.

### **2. Allgemeine Angaben**

Bei der Auswahl der trinidadischen Bambusrohre für die Versuchsserien wurde davon ausgegangen, daß aus konstruktiven Gründen solche mit möglichst gleichbleibendem Durchmesser wünschenswert sind. Diese Bedingung wird bis zu einer Länge von 5 bis 6 m erfüllt, einer Abmessung, die den üblicherweise verlangten Maximallängen entspricht. Im übrigen wurden weitgehend solche Versuchsabmessungen gewählt, die für Baukonstruktionen aus Bambus repräsentativ sind.

300 Versuchsstäbe wurden nach der Regenzeit am gleichen Tage etwa 10 cm hoch über dem Erdboden abgeschlagen und sechs Monate später, fast frei von Saft und anderer Feuchtigkeit, binnen einer Woche getestet, um möglichst gleichartige Ausgangsbedingungen für statische Versuche zu haben. Bambus, der während der Regenzeit geschlagen wird, enthält mehr Saft und wird leichter von Insekten angegriffen, insbesondere von Termiten. Durch häufiges Umlagern der stets im Schatten gelagerten Bambusrohre wurde für gleichmäßige Luftumspülung Sorge getragen.

Für die Versuchsdurchführung standen zur Verfügung: Eine Avery-100-t-Universalprüfmaschine, eine Avery-15 000-lb-Zug / Druckprüfmaschine und eine Amsler-20 000 lb-Universalprüfmaschine.

Für die Beurteilung der Versuchsergebnisse mag von Interesse sein, daß im Jahresdurchschnitt die Tagestemperaturen  $\max/\min = 31^\circ/24^\circ \text{C}$  und die relativen Luftfeuchtigkeiten  $82\%/60\%$  betragen.

### 3. Geometrische Größen und Gewichte

#### 3.1 Abmessungen

Die in Tabelle 1 angegebenen Größen (Bezeichnungen s. Abb. 1) wurden aus 62 Bambusrohren ermittelt, alle jeweils 4,87 m lang. Da der Rohrquerschnitt nicht immer völlig rotationssymmetrisch ist, wurden Durchmesser und

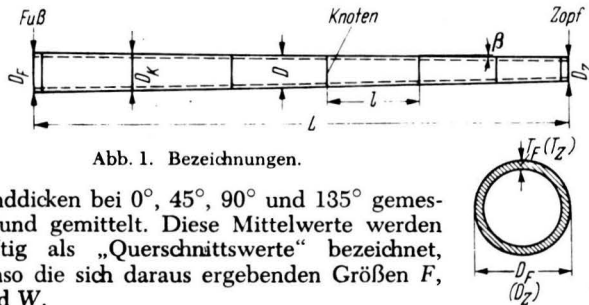


Abb. 1. Bezeichnungen.

Wanddicken bei  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  und  $135^\circ$  gemessen und gemittelt. Diese Mittelwerte werden künftig als „Querschnittswerte“ bezeichnet, ebenso die sich daraus ergebenden Größen  $F$ ,  $J$  und  $W$ .

#### 3.2 Gewichtsangaben

Da sich keine allgemein gültigen Beziehungen zwischen Wanddicken, Durchmesser, Knotenausbildung und Knotenabstand angeben lassen, stößt auch die Gewichtsangabe pro Längeneinheit auf Schwierigkeiten. Bei frisch geschlagenen Rohren mit mittleren Durchmessern zwischen 70 und 75 mm ergab sich ein Gewicht von 1,76 bis 2,38 kp/m; zwischen 75 und 80 mm betrug das Gewicht 2,14 bis 2,74 kp/m. Bei Rohrwanddicken zwischen 8,5 und 10 mm schwankt das Gewicht zwischen 1,94 und 2,57 kp/m.

Für Festigkeitsberechnungen genügt es, mit  $g = 2,5 \text{ kp/m}$  zu rechnen, zumal das Gewicht der Bambusstäbe durch Verlust an Feuchtigkeit erheblich vermindert wird.

An schmalen, kurzen, auf Rechteckquerschnitt geschnittenen Bambustreifen, die kein Knotenmaterial enthielten, wurde nach sechsmonatigem Lufttrocknen durch Wägen das Raumgewicht = Rohwichte von Bambus zu  $0,73 \text{ kp/dm}^3$  ermittelt, wobei der Feuchtigkeitsgehalt noch  $17,5\%$  betrug.

### 4. Feuchtigkeitsgehalt

Die Ermittlung des im Holz enthaltenen Wassers 6 Stunden nach dem Einschlagen erfolgte durch dessen Entfernung im elektrischen Trockenschrank. Die Proben waren 10 mm hohe, von den Bambusrohren geschnittene Kreisringe (Wanddicke 7–11 mm). Nach 24 Stunden Trocknung änderte sich das Gewicht nicht mehr.

Bedeutet  $G_F$  = Gewicht eines Holzstückes mit dem Feuchtigkeitsgehalt  $f$  und  $G_T$  = Gewicht dieser Holzprobe in völlig trockenem Zustand = Darrgewicht, so berechnet sich der Feuchtigkeitsgehalt zu

$$f = \frac{G_F - G_T}{G_T} \cdot 100\%$$

Der Feuchtigkeitsgehalt der von 30 verschiedenen Rohren genommenen Proben lag zwischen  $49,1\%$  und  $56,2\%$  bei einem Mittelwert von  $53,1\%$ .

Im ersten Monat nach dem Schlagen wurden durch tägliches Wiegen ganzer Bambusrohre die Gewichtsverluste infolge von Austrocknung verfolgt. Die Ergebnisse sind in

Tabelle 1. Geometrische Größen der Bambusrohre.

Größen	Fuß	Zopf
Außendurchmesser (mm)	$D_F$	$D_Z$
min	70,9	55,3
max	95,1	91,8
Durchschnitt	79,7	73,4
Wanddicken (mm)	$T_F$	$T_Z$
min	10,2	5,3
max	21,6	8,7
Durchschnitt	13,4	6,9
Durchmesserverhältnis $D_K/D$		
min	1,011	1,019
max	1,084	1,097
Durchschnitt	1,039	1,058
Knotenabstand $l$ (mm)		
min	262	338
max	373	448
Durchschnitt	311	396
Verhältnis $1/0,5 (D_K + D)$		
min	3,23	4,54
max	4,89	6,34
Durchschnitt	3,96	5,49
Verjüngung = Mantellinieenneigung $\tan \beta$		
min	1 : 7310	
max	1 : 447	
Durchschnitt	1 : 1506	

Abb. 2 (als Mittel aus 30 Rohren) aufgetragen. Der Feuchtigkeitsgehalt von 50 cm langen Bambusrohren, die teils einen, teils zwei Knoten enthielten, betrug  $18,1\%$  nach 6 Monaten.

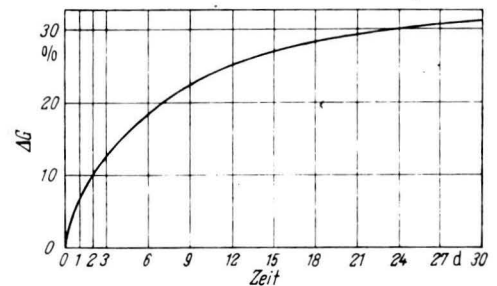


Abb. 2. Gewichtsverlust infolge Lufttrocknung.

Ferner wurde das u. a. für die Geometrie einer Konstruktion und deren Zusatzspannungen in den Verbindungen wichtige Schwindmaß einfach durch Längenmessung unmittelbar nach dem Schlagen und 6 Monate später an den 4,87 m langen Bambushölzern zu durchschnittlich  $2 \text{ mm/m} = 0,2\%$  bestimmt.

### 5. Scherfestigkeit

Vornehmlich für die Gestaltung der Bambusrohrverbindungen ist die Kenntnis des Scherwiderstandes notwendig. Auf die Prüfung einschrittiger Probekörper wurde verzichtet. Einmal ist es bei einem gekrümmten Scherkörper schwierig, geeignete Einspannvorrichtungen zu finden, die das durch die Exzentrizität der Scherkräfte bedingte Kippmoment völlig kompensieren. Außerdem kommt die einschrittige Verbindung in der Bambuspraxis kaum vor.

Vorversuche bestätigten die bereits bei anderen Holzarten gesammelten Erfahrungen, daß der Einfluß des Scherflächenabstandes gering ist, daß die Scherfestigkeit aber mit zunehmender Scherflächenlänge abnimmt.

In Anlehnung an DIN 52 187 wurden die Probekörper Typ A (Rohrsegment zweischrittig) und Typ B (ganzes

stabsstück vierschnittig) aus auch unter der Lupe rissfrei aus Bambus hergestellt. Die zwei bzw. für Typ B vier Vierkantstäbe 25 · 25 mm wurden auf der stählernen Bodenplatte dem jeweiligen Bambusdurchmesser D entsprechend radial angeordnet (s. Abb. 3).

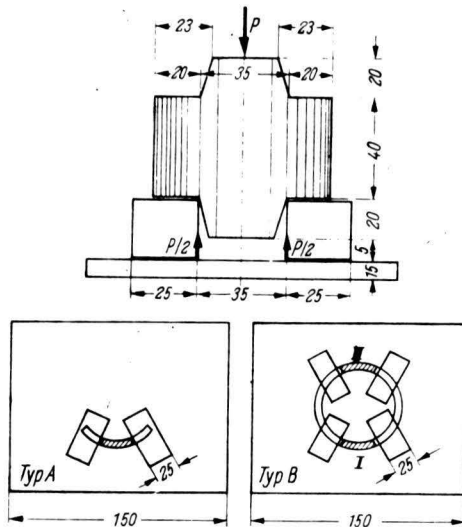


Abb. 3. Scherversuche.

Die Ergebnisse sind in Tab. 2 zusammengestellt, wobei die Scherspannungen sich zu

$$\tau_2 = P/2 \cdot H \cdot T \text{ bzw. } \tau_4 = P/4 \cdot H \cdot T$$

errechnen.

Tabelle 2. Scherfestigkeiten.

Typ A (32 Proben)	Scherfestigkeit kp/cm <sup>2</sup>
Max	231
Min	169
Mittel	198
<hr/>	
Typ B (32 Proben)	Scherfestigkeit kp/cm <sup>2</sup>
Max	222
Min	147
Mittel	167

Da es bei den Probekörpern Typ B schwierig ist, eine genau hälftige Verteilung der Last P auf die Teile I und II zu erreichen, ist in diesem Fall die Scherfestigkeit geringer als bei Typ A. Es muß noch erwähnt werden, daß die Scherfestigkeit mit der Wanddicke abnimmt. So war bei 10 mm Wanddicke die Scherfestigkeit etwa 11 % geringer als bei 6 mm Wanddicke, eine Erscheinung, deren Ursachen im Abschnitt „Zugfestigkeit“ erklärt werden.

### 6. Zugfestigkeit in Faserrichtung

Zugversuche mit ganzen Rohrstäben sind zumal dann, wenn jeder Probekörper einen anderen Durchmesser hat und die notwendige Preßfläche der Spannbacken wegen der hohen Holzfestigkeit in Faserrichtung groß sein muß, deshalb schwer auszuführen, weil eine Befestigungsart, die das etwa kreisförmige Rohrstück derart festhält, daß es zerrissen werden kann, ohne an der Einspannstelle zu brechen, wohl kaum zu verwirklichen ist.

Schon bei den vorhergehenden Versuchen hatte sich gezeigt, daß die Festigkeit der Außenhaut die der Innenhaut wesentlich übersteigt. Es wurden daher zunächst je 30 Streifen, in Probenmitte 1 mm dick, 10 mm breit a) nur aus der inneren Faserschicht, b) nur aus der äußeren Faserschicht stammend, dem Zugversuch unterworfen. Dabei er-

gab sich bei den Proben (a) eine mittlere Zugfestigkeit von 1510 kp/cm<sup>2</sup>, bei Proben (b) eine um etwa 90 % höhere von 2867 kp/cm<sup>2</sup> (vgl. Baustahl 3700 kp/cm<sup>2</sup>). Dieses Ergebnis erklärt auch, daß dünnere Rohre eine größere Biegefestigkeit besitzen als dickere, denn bei letzteren ist der Anteil der zugfesteren Außenhautfasern am Gesamtquerschnitt geringer. Die Ursache ist im Aufbau der Bambusrohrwand zu suchen (s. Abb. 4). Die darin vorhandenen, schwarz gezeichneten harten und zugfesteren Sclerenchyma-Zellen sind an der Außenseite enger beieinander als an der Innenseite des Querschnitts, so daß die Außenseite kaum über die wesentlich weniger widerstandsfähigen Parenchyma-Zellen verfügt.

Der Widerstand gegen Zugkräfte im Zerreißversuch hängt von der Größe und von der Gestalt der Probekörper ab. Beim Bambusquerschnitt geht es weniger darum, die beste Art der Probekörper als die mögliche Art dieser Körper zu finden. Bei Holz höherer Festigkeit sind lange Stabköpfe erforderlich, um in den Einspannungen hinreichend große Preßdrücke ausüben zu können, ohne die Fasern zu zerquetschen. Alle Zugversuchsstäbe wurden aus Bambusrohren von 70 bis 80 mm Außendurchmesser und 7,5 bis 9,5 mm Wanddicke herausgeschnitten.

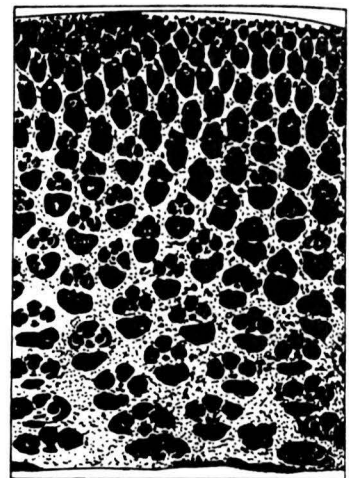


Abb. 4. Querschnitt einer Bambusrohrwand.

Nach etlichen mißlungenen Versuchen bewährte sich die in Abb. 5 dargestellte Probenform. Die Stabköpfe wurden in den Einspannvorrichtungen der Prüfmaschine mittels

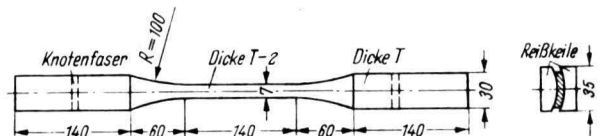


Abb. 5. Probekörperform der Zugversuche.

besonders angefertigter Reißkeile befestigt, die sich weitgehend der Krümmung der Probenköpfe anpassen. Die 30 Probekörper hatten im eigentlichen Meßbereich einen 7 mm an den Einspannköpfen einen 30 mm breiten Querschnitt. Seine Dicke entsprach an den Köpfen der Wanddicke, die in der 140 mm Länge mit sorgfältigen Übergängen an der Innen- und Außenfaser um je 1 mm abgearbeitet wurde, so daß die Unterschiede in der Innen- und Außenfaserfestigkeit noch mit eingeschlossen waren. Die Steigerung der Belastung erfolgte gleichmäßig und betrug etwa 200 kp/cm<sup>2</sup> in der Minute.

Der langfaserige Bruch, ein generelles Merkmal für hohe Zugfestigkeit, folgte dem vielfachen Aufsplintern parallel zur Streifenachse. Vornehmlich im oberen Teil wurden die Fasern aus dem eingespannten Ende herausgezogen. Die gemittelte Zugfestigkeit dieser Probekörper betrug 2098 kp/cm<sup>2</sup>. Auffallend war, daß die Werte nur ±10 % um dieses Mittel streuten. Der Grund ist in erster Linie darin zu suchen, daß die Probekörper Rohren ähnlichen Durchmessers und ähnlicher Dicke entnommen wurden. Es muß jedoch erwähnt werden, daß Proben aus den Zopfenden eine bis zu 12 % geringere Zugfestigkeit aufwiesen als solche aus den Fußenden.



### 7. Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung

Probenform und Probengröße beeinflussen die Druckfestigkeit und werden in den Vorschriften für Massivholz in verschiedener Weise berücksichtigt. Bei kurzen Bambusrohren ist man dann, wenn man den Einfluß der Knotenscheidewände mit erfassen will, in der Probenhöhe von deren Abstand abhängig. Es ergab sich etwa das Verhältnis  $D:H = 1:4$ , das z. B. die USA-Standards für die Prüfung der Vollholzprismenkörper vorschreiben. Es wurden drei Typen von Proben (s. Abb. 6) untersucht, wie sie auch häufig für Unterstützungen verwendet werden. Der durchschnitt-

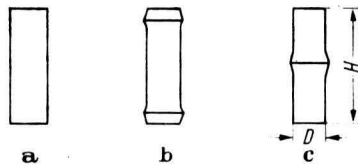


Abb. 6. Typen der Druckprobekörper.

liche Feuchtigkeitsgehalt betrug wiederum 18,1 %, die Belastungsgeschwindigkeit etwa 200 kp/cm<sup>2</sup> in der Minute.

Von jedem Typ wurden 36 Körper untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3. Druckfestigkeit parallel zur Faser.

Typ		D mm	T mm	Druckfestigkeit kp/cm <sup>2</sup>
a	max	94	11,0	522
	min	71	5,6	386
	mittel	77	6,9	402
b	max	92	11,1	537
	min	72	5,6	362
	mittel	76	7,0	407
c	max	93	11,1	528
	min	72	5,7	356
	mittel	77	6,9	433

Für den Vergleich der 3 Typen können nur die Mittelwerte herangezogen werden. Während zwischen a und b kaum ein Unterschied besteht, liegt der Wert von c um etwa 8 % höher. Der Grund dürfte darin zu suchen sein, daß die organisch eingebundene Horizontalaussteifung = Knotenscheibe dort vorhanden ist, wo normalerweise das Versagen der Probe einsetzt, nämlich in halber Höhe der Probe. Der Bruch der Rohrproben verlief meist derart, daß sich schräg (20°–40°) über den Querschnitt verlaufendes Abknicken mit Aufspalten verband.

Da diese Versuche mehr die Gestaltfestigkeit als die Materialfestigkeit erfassen, wurden kurze Bambusstreifen (Abmessungen 16 mm Breite × Wanddicke × 25 mm Höhe) Druckversuchen unterworfen. Wie zu erwarten lagen die Ergebnisse wesentlich höher als bei den Rohrproben, nämlich im Mittel bei 621 kp/cm<sup>2</sup>.

### 8. Druckfestigkeit senkrecht zur Faserrichtung

Der Druckwiderstand senkrecht zur Faser ist vor allem in Auflager- und Verbindungspunkten von Interesse, wo sich große Lasten auf einen schmalen Bereich konzentrieren. Es wurden wieder Probekörper Typ a, b und c (s. Abb. 6) mit Wanddicken 6–10 mm und Durchmessern 65–85 mm verwendet. Die Lastübertragung erfolgte im mittleren Probendrittel durch 100 mm breite Stahlplatten mit gebrochenen Kanten, um einem vorzeitigen Verletzen der Bambusaußenfasern vorzubeugen. Der Lastzuwachs  $\Delta P$  betrug 250 kp in der Minute.

Während bei den Typen a und b ein Rohrzylinder mit freien bzw. im Fall b mit durch die Scheidewände gehaltenen Enden vorlag und die Übertragung der Last  $P$  in

einer 100 mm langen Mantellinie erfolgte, hatte bei Typ c vornehmlich die in Probenmitte befindliche Knotenwand die punktförmig eingeführte Querlast  $P$  aufzunehmen, so daß ein unmittelbarer Vergleich von Fall c mit a und b nicht möglich ist. In fast allen Fällen trat die Zerstörung durch Längsaufsplitterung in der horizontalen Symmetrieebene ein.

Als Bruchlast ergab sich als mittlerer Wert aus je 24 Proben für Typ a = 525 kp, für Typ b = 635 kp und für Typ c = 930 kp. Die Ergebnisse bestätigen den Vorteil der aussteifenden Knotenscheiben an den Enden bei Querbelastung und zeigen die wesentlich höhere Tragfähigkeit von Typ c, wo die Last unmittelbar auf die Knotenscheibe wirkt. Für die Praxis sind allerdings die Typen a und b von Bedeutung. Wenn auch noch keine allgemeine Beziehung zwischen Durchmesser, Wanddicke und Querbelastung definiert werden kann, so läßt sich doch sagen, daß ein 7 mm dickes Bambusrohr von 65 mm Durchmesser in etwa einem 8,5 mm dicken Rohr von 85 mm Außendurchmesser entspricht.

Im Anschluß an diese Serie wurden zwei rechtwinklig sich kreuzende Bambusrohre vom Typ a senkrecht zur Faser gedrückt, d. h. der Berührungspunkt war durch den Schnittpunkt zweier Mantellinien gegeben. Im Mittel ergab sich eine Bruchlast von 580 kp; die Längsaufspaltung erfolgte meist in der Kontakt-Mantellinie des oberen Zylinders. Der Kontaktpunkt war zum Kontaktkreis von etwa 20 mm Durchmesser geworden. Diese örtliche Eindrückung erzeugt eine zusätzliche Biegung, die sich den Pressungen überlagert und Ausgang für das Aufspalten wird. Bis zu einer Last von etwa 250 kg waren keine Eindrückungen zu bemerken.

### 9. Knickfestigkeit

Für die Versuchsdurchführung standen neben der 100-Tonnen-Universalprüfmaschine (mögliche Länge der Druckglieder 1,52 m) ein stehender, mit hydraulischen Stufen-Druck-Prüfzylindern ausgestatteter Stahlprüfrahmen zur Verfügung, in dem später auch ganze Bambuskonstruktionen getestet werden sollen.

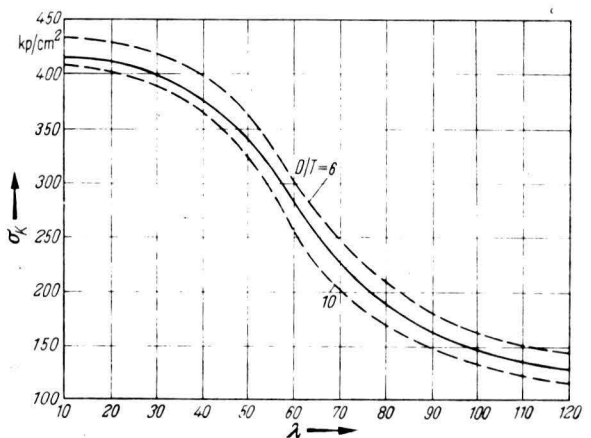


Abb. 7. Knickfestigkeiten.

Für die Knickversuche wurde Flächenlagerung derart gewählt, daß zwischen den stählernen Kopf- und Fußplatten der Prüfmaschine und dem Versuchsobjekt Hartholzplatten angeordnet wurden. Eine Kugel- oder Schneidenerlagerung würde dem Aufspießen der Bambusrohre Vor-schub leisten. Besonderer Wert wurde auf eine zentrische Krafteinleitung gelegt. Der Schlankheitsgrad wurde zu  $\lambda = 4 \cdot 1/\sqrt{D_a^2 + D_i^2}$  errechnet, wobei  $D_a$  = Außendurchmesser,  $D_i$  = Innendurchmesser bedeuten. Die freie Länge von maximal 1,50 m im 2. Eulerfall entspricht den bei Konstruktionen vorkommenden Werten. Die untersuchten Schlankheitsgrade bewegten sich zwischen 10 und 120. Die Ergebnisse sind für Abb. 7 verwertet worden.

Die Knickfestigkeit  $\sigma_K$  ist mit dem mittleren Querschnitt  $F_0$  aus der beim Versuch festgestellten Knicklast  $P_K$  unter Benutzung der Gleichung  $\sigma_K = P_K/F_0$  errechnet worden. Bei gleichem Schlankheitsgrad führt das Verhältnis  $D/T$  zu erheblichen Unterschieden. Etwa 6% der Versuchswerte lagen unterhalb und etwa 10% oberhalb des schraffierten Bereichs. Auffallend ist der Steilabfall der Knickfestigkeit im Bereich  $50 < \lambda < 80$ . In dem kritischen Augenblick, wo die Knickfestigkeit (meist im mittleren Drittel) überschritten wurde, betrug die seitliche Ausbiegung  $1/10$  bis  $1/5$  der Knicklänge. Sicherheitsfaktor und Knickzahl können jedoch erst erörtert werden, wenn Druckstäbe innerhalb ganzer Konstruktionen untersucht worden sind.

### 10. Biegefestigkeit

Es wurden sowohl Bambusstreifen in den Abmessungen, wie sie als tragende Ausfachung von Decken Verwendung finden, als auch ganze Bambusrohre auf Biegung untersucht, nicht jedoch das im Brückenbau häufige Bambusbündel.

#### 10.1 Bambusstreifen

Die bereits für die Bestimmung des  $E$ -Moduls verwendeten Probestäbe wurden auch zur Ermittlung der Biegefestigkeit herangezogen, wiederum teils mit der Außenfaser, teils mit der Innenfaser oben liegend. Um jedoch keine unzulässigen Eindrückungen und keine Schubspannungen im voraussichtlichen Bruchbereich zu erhalten, wurden zwei gleich große Lasten  $P$  im Abstand  $L/4$  ( $L = 300$  mm) aufgebracht mit einer Geschwindigkeit, die

Tabelle 3.

	Außenfaser oben		Außenfaser unten	
	$y_B$	$\sigma_B$ kp/cm <sup>2</sup>	$y_B$	$\sigma_B$ kp/cm <sup>2</sup>
max	$L/10,6$	2160	$L/5,1$	1830
min	$L/20,2$	885	$L/9,6$	689
mittel	$L/13,8$	1425	$L/7,7$	1134

dem Biegespannungszuwachs von etwa 500 kp/cm<sup>2</sup> in der Minute entsprach. Die maximale elastische Durchbiegung  $y_B$  unmittelbar vor dem Bruch, bezogen auf die Stützweite und die Biegefestigkeit  $\sigma_B$ , die sich aus der Formel  $\sigma_B = 3 \cdot P \cdot L/8W$  ergab, sind in Tab. 3 angegeben. Es zeigt sich das schon bei der Zugfestigkeit diskutierte verschiedene Verhalten der Innen- und Außenfasern.

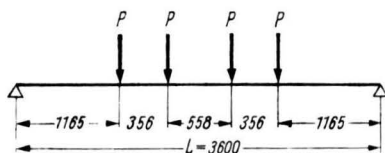


Abb. 8. Belastungsschema.

#### 10.2 Bambusrohre

40 Rohre von 3,60 m Stützweite, Durchmesser 70 bis 100 mm, Wanddicken 6–12 mm, wurden Abb. 8 entsprechend in 4 Punkten belastet. Die Abstände der Lastpunkte ergaben sich aus den Abmessungen der vorhandenen Prüfeinrichtungen. Die Übertragungspunkte der Lastbrücken selbst waren durch Stahlrollen von 30 mm Durchmesser gegeben. Zwischen diesen und dem Bambusrohr wurden keine Hartholzreiter eingeschaltet, wohl jedoch an den Auflagern. Es zeigte sich nämlich, daß die Rollen an den Lasteinleitungsstellen nur unmerkliche Eindrückungen verursachten. Zudem erwies sich bei den großen zu erwartenden Durchbiegungen die Lastübertragung ohne Zwischenschaltung von Druckstücken als die klarste und sicherste. Abb. 9 zeigt, daß das Aufspalten und Ausbeulen nicht unmittelbar an der Lasteinleitungsstelle einsetzt, sondern im überwiegenden Teil der Fälle im Bereich größter negativer Dehnung. Die Biegefestigkeiten ergaben sich zu max/min =

1433/761 kp/cm<sup>2</sup>, Mittelwert 1066 kp/cm<sup>2</sup>. Die elastischen Durchbiegungen lagen bei max/min = 1/16,1 / 1/25,9, der Mittelwert bei 1/20,1 der Stützweite.

Gemessen wurden die zu verschiedenen Laststufen gehörenden Durchbiegungen sowie die Last, die schließlich den Bruch auslöste. Beim Bruch knickten meist die äußersten Druckfasern zuerst aus oder bildeten eine Querfalte. Die Höhe des effektiven Querschnitts verringerte sich dadurch und falls die Last noch erhöht werden konnte, trat die Zerstörung durch Herausreißen der Zugfasern ein.

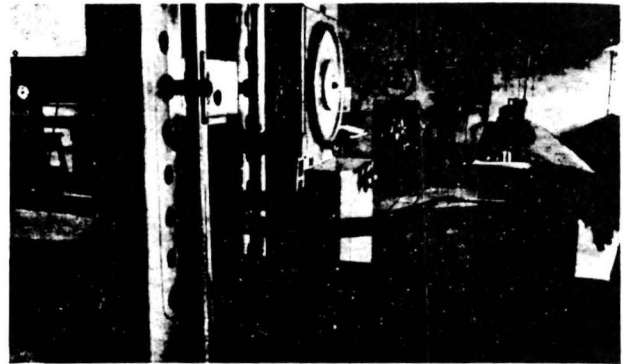


Abb. 9. Biegefestigkeitsversuch.

Bei der Verwendung von Bambus für Bauzwecke begegnet man der großen Durchbiegung dadurch, daß man bereits im frisch geschlagenen Zustand die Rohre einer Vorbiegung (Überhöhung) unterwirft, die sich später unter Nutzlast so weit ausgleicht, daß nur noch ein geringer, erwünschter Stich verbleibt.

#### 10.3 Zeiteinfluß

An Bambusrohrträgern von 3,60 m Stützweite (mittlere Wanddicke 9 mm, mittlerer Durchmesser 86 mm aus 32 Rohren) wurden gleich große Hängelasten von 50 kp in den Viertelpunkten angebracht und die Durchbiegungen gemessen. Nach jeweils 24 Stunden wurde kurz entlastet, die bleibenden und federnden Durchbiegungen gemessen und wieder belastet. Die Zeitabhängigkeit dieser Durchbiegungen ist in Abb. 10 wiedergegeben. — Es zeigt sich, daß auch die Biegefestigkeit in starkem Maße zeitabhängig ist. So wurden die Rohre nach zwanzigmaligem Be- und Entlasten, d. h. nach 20 Tagen bis zum Bruch belastet. Die durchschnittliche Biegefestigkeit betrug nur 802 kp/cm<sup>2</sup> gegenüber 1066 kp/cm<sup>2</sup> bei einmaliger, kurzfristiger Belastung. Diese Tatsache des Verlustes an Elastizität und Tragfähigkeit ist besonders bei der Festsetzung eines Sicherheitsfaktors Rechnung zu tragen.

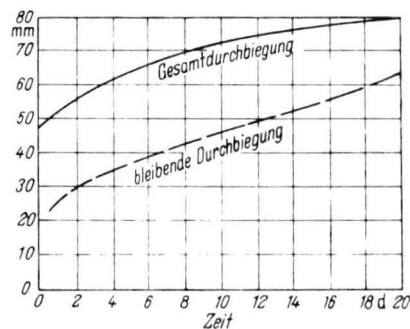


Abb. 10. Zeitabhängige Durchbiegungen.

### 11. Elastizität von Bambus

Wie bei Massivholz nimmt auch der Elastizitätsmodul von Bambus ab mit wachsender Beanspruchung (5 bis 10%) und mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt (10–20%). Für die Bambusstäbe (Durchmesser 70 bis 80 mm, Wanddicken 6,5 bis 9,5 mm) wurden die Elastizitätsmoduln für

Zug, Druck und Begung an vor 6 Monaten geschlagenen Röhren (Feuchtigkeitsgehalt 17,5 %) bestimmt.

Bei allen Versuchen wurde nach Aufbringung einer Anfangslast, die einer Spannung von 10 kp/cm<sup>2</sup> entsprach, in der Weise verfahren, daß in 4 Stufen belastet und auf die jeweils vorhergehende Stufe entlastet wurde, wobei die Spannung von 150 kp/cm<sup>2</sup> nicht überschritten wurde, um im Proportionalitätsbereich zu bleiben. Nach völliger Entlastung wurde diese Prozedur noch zweimal wiederholt und wiederum die zugehörigen Längenänderungen bzw. die plastischen und elastischen Durchbiegungsdifferenzen gemessen. Beim 3. Versuch änderten sich die Werte praktisch kaum noch. Die Auswertung erfolgte in üblicher Weise durch Verwendung der Formeln

$$E_D; E_Z = \frac{(P_2 - P_1) \cdot l_0}{F_0 \cdot \Delta}$$

für Axialbelastung,

$$E_B = \frac{(P_2 - P_1) \cdot L^3}{48 \cdot J \cdot \Delta_y}$$

für Biegebelastung bei mittiger Einzellast

Darin bedeuten  $l_0$  = Ausgangsmeßstrecke,  $F_0$  = Probenquerschnitt vor dem Versuch,  $L$  = Stützweite,  $\Delta_y$  = zur Laststufe  $P_2 - P_1$  gehörende Durchbiegung.

Bei allen Versuchen wurden die Bambusproben einer Be- und Entlastungsdauer von je 2 Minuten unterworfen. Für die Dehnungsmessungen bei Axialbelastung wurden 2 gegenüberliegend angeordnete Spiegeldehnungsmesser verwendet. Während für die Ermittlung von  $E_Z$  bzw.  $E_B$  die Versuche gleichzeitig mit denen zur Bestimmung der Zug- bzw. Biegefestigkeit an den dort erwähnten Proben durchgeführt wurden, standen für die Druckversuche Bambusröhre von 300 mm Höhe (ohne Knotenscheiben) zur Verfügung. Die Ergebnisse waren wie folgt:

Zug:  $E_Z = 179\,000 - 241\,000$  kp/cm<sup>2</sup>

Druck:  $E_D = 165\,000 - 216\,000$  kp/cm<sup>2</sup>

Biegung:  $E_B = 169\,000 - 227\,000$  kp/cm<sup>2</sup> (Außenfaser auf Zugseite)

$E_B = 136\,000 - 198\,000$  kp/cm<sup>2</sup> (Innenfaser auf Zugseite)

Die Resultate zeigen, daß  $E_Z$  größer ist als  $E_B$  und daß  $E_D$  kleiner ist als  $E_Z$  und  $E_B$ . Es muß aber erwähnt werden, daß alle Elastizitätsmoduli ermittelt wurden an Proben aus Bambusröhren von 70 bis 100 mm Durchmesser. An einigen Proben (Biegungsstreifen), entnommen Bambusröhren von etwa 30 mm Durchmesser, ergaben sich  $E$ -Moduli bis zu 325 000 kp/cm<sup>2</sup>. Es scheint gerechtfertigt, normalen Berechnungen einen Elastizitätsmodul von 200 000 kp/cm<sup>2</sup> zugrunde zu legen.

## 12. Zusammenfassung

Die Versuche ergaben, daß Bambus erheblich höhere Festigkeiten besitzt als z. B. Nadel- und Eichenholz. Die Festigkeiten hängen jedoch in starkem Maße von der Form der Beanspruchung ab. Bevor verbindliche Empfehlungen für die konstruktive Anwendung gegeben werden können, sind noch umfangreiche Versuche an ganzen Konstruktionen unter mittigem und außermittigem Kraftangriff notwendig. Fragen wie Ausbildung von Knotenpunkten und anderen Verbindungen, notwendige Vorholzlängen, Wirkung von Querschnittschwächungen, Festigkeit bei schrägem Kraftangriff bedürfen der Klärung.

Die große Elastizität, vor allem die hohen Durchbiegungswerte bergen zwar manche Nachteile in sich, jedoch können sie auch vorteilhaft sein, wenn man sie architektonisch ausnutzt. Insbesondere frisch geschlagene Bambusröhre lassen sich zu Bögen etc. plastisch verformen, so daß tragende und gestalterische Funktionen gleichzeitig übernommen werden können.

## Literatur

1. E. Siebel: Handbuch der Werkstoffprüfung. Band III. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer 1957.
2. Book of ASTM Standards, Part 16. American Society for Testing of Materials. Philadelphia 1965.

Tot slot nog dit. Bij een simpele proef als b.v. de druksterkte komen de volgende variabelen in het geding:

- botanische soort,
- ouderdom bij het kappen,
- behandeling na het kappen,
- vochtgehalte tijdens de proef,
- komt het proefstuk uit de voet van de stam, uit het midden of uit de top,
- de hoogte van het proefstuk,
- zitten er geen, een of twee schotten in,
- de ruwheid van de zaagsnede,
- spreiding tussen de stammen,
- de snelheid van de proef,
- wat nemen we constant: belastingsnelheid of vervormingssnelheid,
- wanddikte.

Wil men nu tot zinnige én geldige konklusies komen, dan zal men de proefopzet statistisch goed moeten formuleren, omdat anders geen statistische uitwerking mogelijk is. Als resultaat krijgt men dan een voorstel voor een methode om een 5% overschrijding, dus een karakteristieke sterkte, te bepalen.

Daarbij is dan volgens mij nog een andere proef nodig, waarmee een ontwikkelingswerker in een dorp de druksterkte kan bepalen, zonder 20-tonpers.

## 11. Verbindingen van bamboe.

Verbindingen van bamboe, die een kracht kunnen overbrengen, zijn moeilijk. Eigenlijk is het zo, dat de sterkte van bamboe in konstrukties niet tot zijn recht komt omdat de verbinding mechanisch zwak is. Een overzicht van de traditionele verbindingen staat op blz. 36 en 37. (deze afbeeldingen vindt men eindeloos afgedrukt in elke publikatie over bamboe; de hier afgedrukte plaatjes zijn overgenomen uit "Bamboo as a building material", Mc.Clure, 1972).

Verbindingen voor vakwerkspanten zijn in de traditie gemaakt als weergegeven op blz. 38 (ontleend aan "Bamboo", uitgave United Nations 1972). Instabiliteit en zeer grote vervormingen treden snel op bij proefbelastingen. Grondig onderzoek is hier eigenlijk niet voor gedaan, alleen in Bandoeng enigszins.

Het lopende onderzoek in Eindhoven gaat uit van traditionele verbindingen. Deze worden gemaakt zoals een timmerman ze maken zou, en zonder Westerse onderdelen. Bij het beproeven wordt wel alle Westerse technologie gebruikt wat betreft hydraulische vijzels, elektronische krachten- en vervormingsmeting, statistiek en computerverwerking. Zo wordt een verklaring gezocht voor de bezwijkvorm, en dan wordt een verbeterde versie gebouwd, beproefd, enzovoorts. in lange series. De lengte van de series wordt eerst bepaald door ontwikkeling, en dan (na bereiken van een aanvaard niveau van sterkte) door statistische betrouwbaarheid.

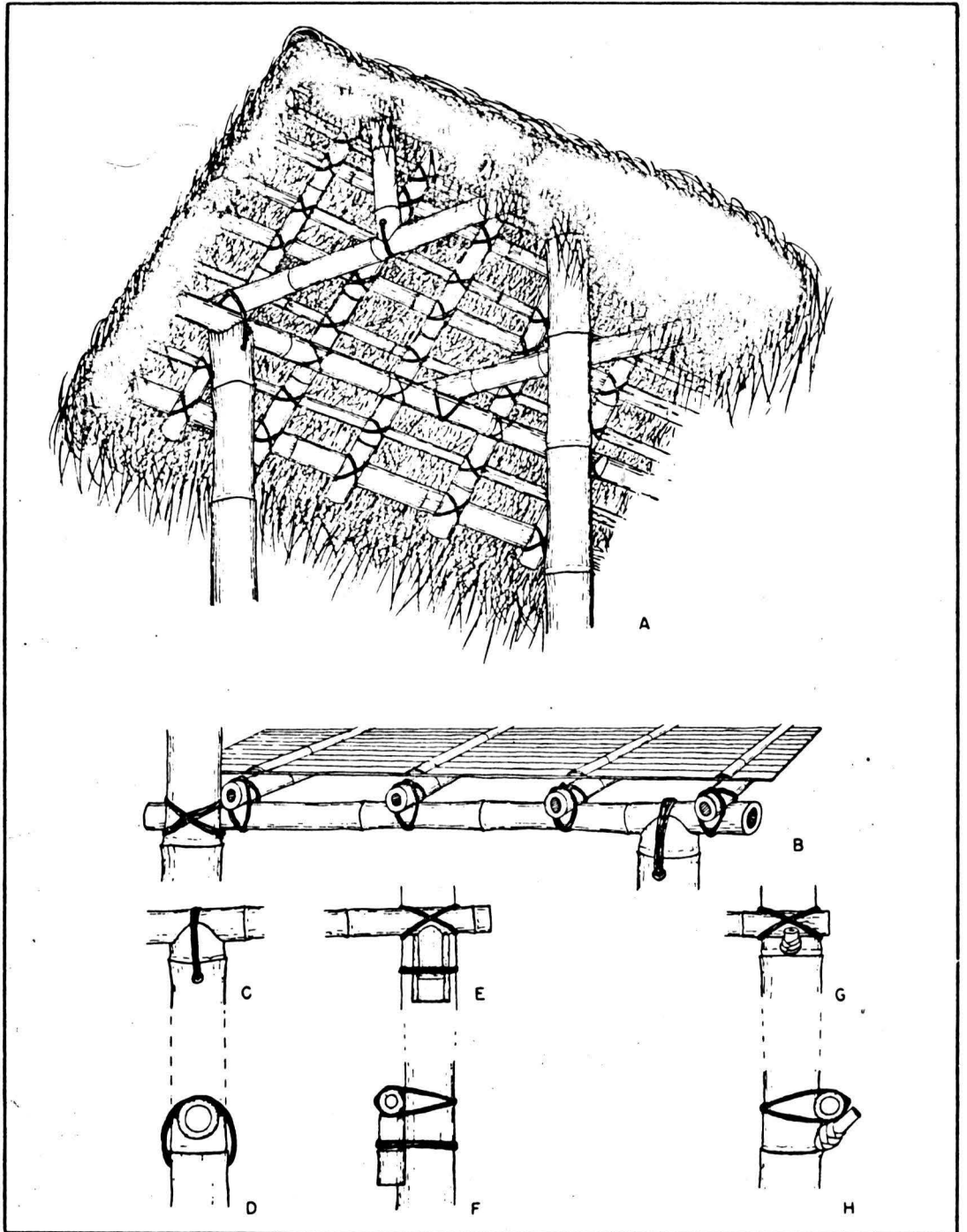


Figure 6.--Details of bamboo construction: A, fitting and binding culms at joints in roof and frame; B, fitting and securing bamboo boards of floor; C and D, saddle joint; E and F, use of inset block to support horizontal load-bearing elements; G and H, use of stump of branch at node of post to support horizontal load-bearing elements.

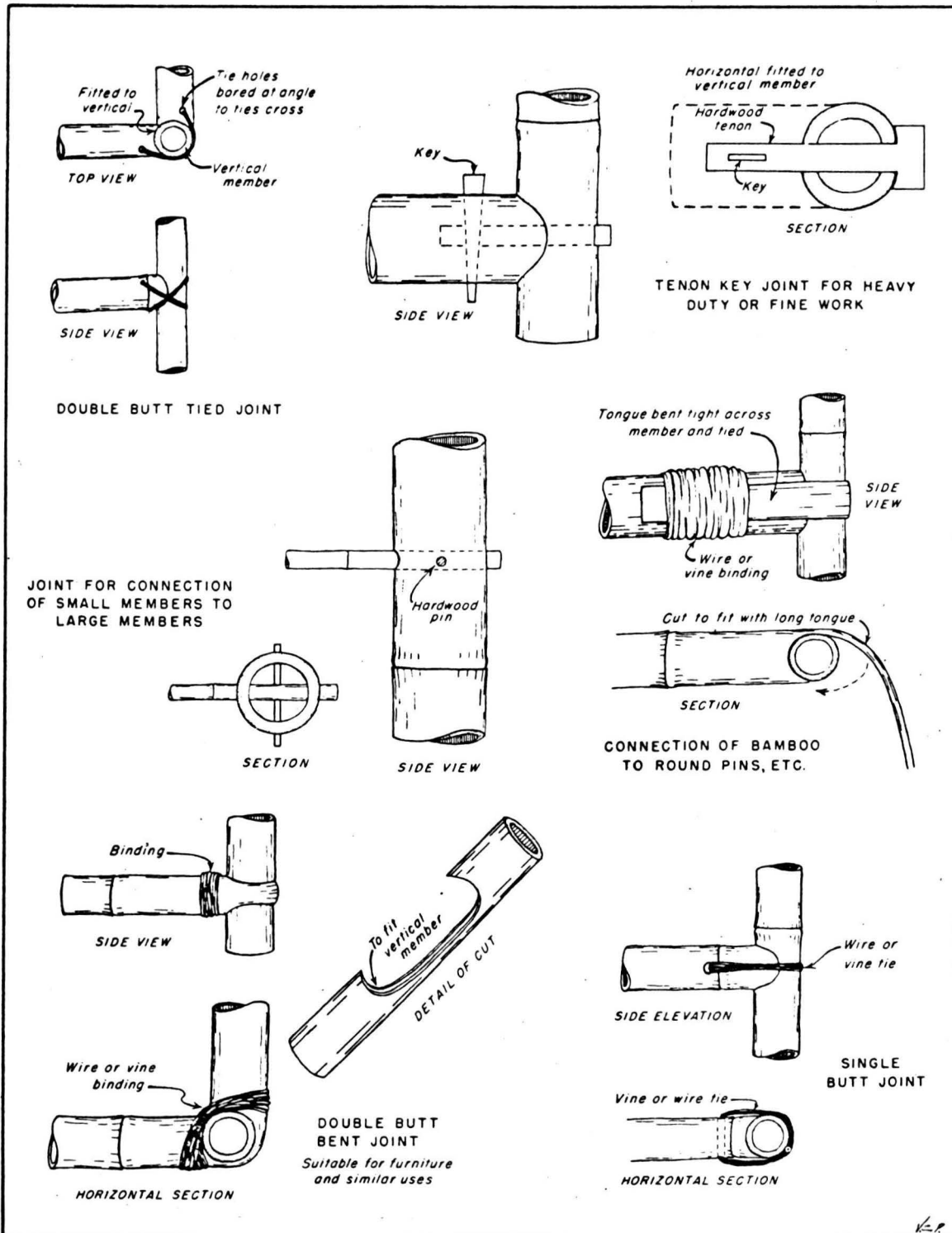


Figure 7.--Joints used in building with bamboo.

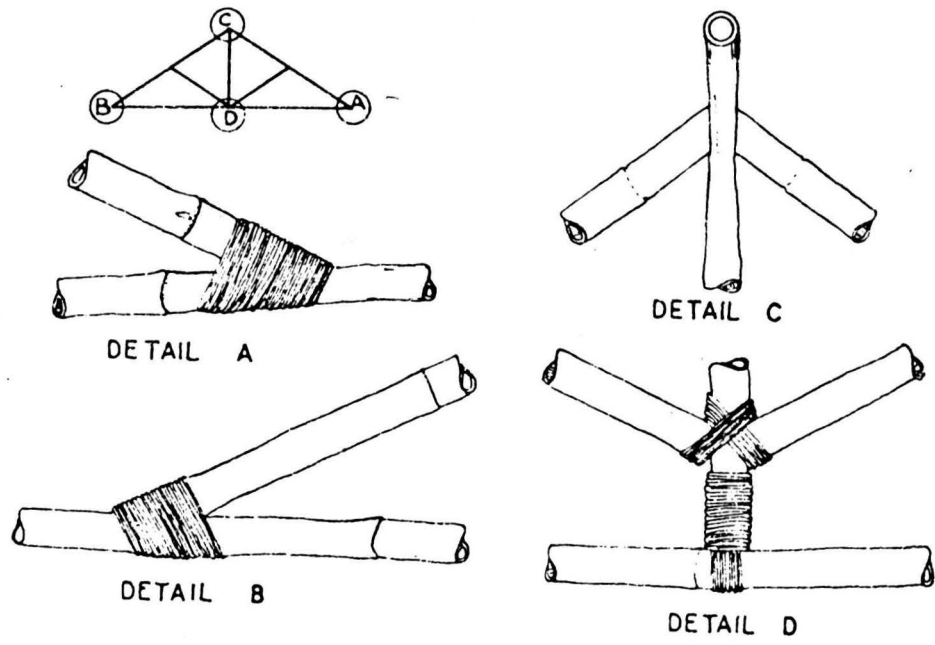
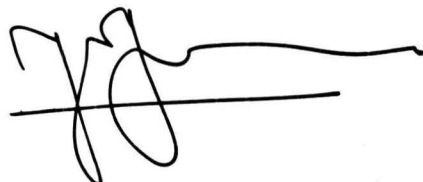


Figure XXXVII. Joints used in building with bamboo

Er zijn overigens wel mensen, die wij zeggen dat bovenstaande werkwijze geen zuiver aangepaste technologie is.

Het onderzoek moet nog gecompleteerd worden met het beproeven van volledige spanten op korte en lange duur, en het verifiëren van de laboratoriumresultaten in een dorp in een bamboeland.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Litteratuur:

- 1) The Use of Bamboo and Reeds in Building Construction.  
United Nations 1972.  
Sales nr. E.72.IV.3, prijs \$ 3.00  
95 pagina's, 63 afbeeldingen.  
Een uitstekend overzicht.
- 2) Bamboe, handleiding voor ontwikkelingswerkers.  
Uitgave Stichting TOOL, juli 1977.  
Mauritskade 61A, Amsterdam,  
tel. (020) 92.68.92, prijs f. 9,50 incl. porto.