FOLIA FORESTALIA POLONICA

SERIA B, ZESZYT 7 1966

BADANIE ODKSZTAŁCEŃ I NAPRĘŻEŃ W MODELACH PRĘTÓW WIKLINOWYCH PRZY ZGINANIU I NACISKU POPRZECZNYM

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В МОДЕЛЯХ ИВОВЫХ ЛОЗ ПРИ ИЗГИБЕ И ПОПЕРЕЧНОМ НАЖИМЕ

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE VERFORMUNGEN UND SPANNUNGEN IN DEN MODELLEN DER FLECHTWEIDENRUTEN BEI BIEGUNG UND QUERDRUCK

Aleksander Korzeniowski

Katedra Mechanicznej Technologii Drewna SGGW w Warszawie

(wpłynęło 14.V.1965)

Synopsis. In models of willow rods strains were measured with resistance strain gauge and stresses were calculated. It was found that in bending the reason of rod destruction is the local buckling and break-down of rod wall, affected by compressing stresses along grain. In Cross-pressing the reason of destruction may be mainly tensil stresses across the grain.

I. WPROWADZENIE I PRZEGLĄD LITERATURY

Dotychczasowe badania nad technicznymi właściwościami prętów wiklinowych można podzielić na następujące zasadnicze grupy zagadnień:

a) badanie struktury anatomicznej,
b) badanie właściwości fizycznych,
c) badanie właściwości mechanicznych,
d) badanie składu chemicznego.

Opracowywane zagadnienie należy do grupy c).

Badania, mieszczące się w grupach a), b) i d), są opracowane normalnie stosowanymi metodami naukowymi. W literaturze istnieje pokaźna ilość danych i — z wyjątkiem może właściwości fizycznych — zagadnienia te można uznać za opracowane w sposób dostateczny do celów przemysło-

wych. Obszerny przegląd i analizę tych metod oraz wyników prac doświadczalnych podaje J. W. Michalak (7).

Natomiast struktura i kształt prętów wiklinowych, ich zastosowanie w produkcji przemysłowej oraz jej technologia są o tyle specyficzne, że do badania mechanicznych właściwości prętów nie jest możliwe zastosowanie metod powszechnie przyjętych w badaniu drewna wielkowymiarowego. Spowodowane jest to przede wszystkim małymi wymiarami średnicy i zbliżonym do kołowego kształtem przekroju prętów, ich zbieżystością i obecnością rdzenia, stanowiącego znaczną część objętości pręta. Wobec tego pręt wiklinowy należy traktować jako niezupełnie regularną, grubościenną rurę, o kształcie zbliżonym do wydłużonego stożka. Wskutek włóknistej struktury tkanki drzewnej materiał ścianki tej rury jest ortotropowy. Właściwości mechaniczne ścianki decydują o ortotropowym charakterze całego pręta, gdyż tkanka miękiszowa rdzenia wykazuje tylko znikomą wytrzymałość i nie może wpływać na właściwości mechaniczne całości pręta. Natomiast względny wymiar średnicy rdzenia — a tym samym jego udział w objętości pręta — wywiera znaczny wpływ na te właściwości, gdyż międzyodmianowe zróżnicowanie wytrzymałości tkanki drzewnej w zewnętrznej ściance pręta jest prawdopodobnie niewielkie.

Z tych względów opracowanie metody badania mechanicznych właściwości prętów wiklinowych, która umożliwiałaby jednoznaczną ocenę tego materiału z punktu widzenia potrzeb technologicznych, natrafia na znaczne trudności. Tym należy tłumaczyć, że dotychczas stosowane metody badań — wychodząc z istotnych potrzeb praktycznych — nie spełniają powyższego wymagania, chociaż są stosunkowo proste w wykonaniu i pod tym względem nadają się do stosowania w przemyśle. Znaczne uproszczenia zastosowane w tych metodach badań — a niekiedy również niedostateczne uwzględnienie naukowych zasad doświadczalnictwa — są przyczyną niejednoznaczności wyników i często spotykanej ich rozbieżności z obserwacjami praktycznymi.

W taki sposób można ogólnie ocenić dotychczasowe metody badania giętkości (siły gięcia) prętów (metody Głagolewa i Ulbrichta) oraz odporności na tzw. skolankowanie, czyli badania krzywizny, przy której występuje trwałe odkształcenie pręta, będące wynikiem lokalnego wyboczenia jego ścianki w strefie ściskanej podczas zginania (metoda „pętlicowa" Arntzeniusa, metoda „kątowa" Instytutu Technologii Drewna oraz metoda „łukowa" Camus-Leroux-Nejedly).

Odrębną grupę stanowią opracowane w ostatnich latach metody badań, oparte na powszechnie przyjętych kryteriach wytrzymałościowych, stosowanych w badaniu mechanicznych właściwości materiałów konstrukcyjnych. Metody te wychodzą z ogólnych zależności stereomechanicznych, adaptując warunki przeprowadzenia prób do kształtu i strukturalnych właściwości prętów wiklinowych.

Takie podejście do zagadnienia, widoczne częściowo w dysertacji Ch. Ortmanna (9), w publikacji M. Cichonia i M. Mysony (3), w pracy doktorskiej M. Cichonia (1) oraz w opracowaniach W. Galewskiego (4), W. Klepackiego i J. Łazińskiego (5, 6), należy uznać za jak najbardziej słuszny kierunek, wytyczający praktycznie jedyną drogę, rokującą właściwe rozwiązania i osiągnięcie pozytywnych rezultatów. Niedostatkami — być może chwilowymi — tych prac są dotychczasowy brak ich potwierdzenia przez praktykę przemysłową oraz pewne niedociągnięcia w zakresie dokładności pomiaru, związane niekiedy z przyjętą techniką pomiarową. Na przykład zaproponowany przez W. Galewskiego (4) „wskaźnik giętkości" jest z teoretycznego punktu widzenia zupełnie poprawny, mimo to jednak dla odmian wikliny różniących się znacznie właściwościami technologicznymi otrzymuje się wskaźniki giętkości o bardzo zbliżonych wartościach liczbowych. Należy więc przypuszczać, że praktyczna czułość tej metody jest zbyt mała, co może być spowodowane trudnością dokładnego określenia promienia krzywizny w miejscu skolankowania pręta; promień ten jest jedną z wielkości, na których podstawie oblicza się wskaźnik giętkości.

Analiza teoretyczna i kryterium jakości pręta wiklinowego, zaproponowane przez W. Klepackiego i J. Łazińskiego, stanowią najbardziej dogłębne i wnikliwe opracowanie teoretyczne badań nad mechanicznymi właściwościami tego materiału. Prace te — potwierdzone częściowo wynikami doświadczalnymi — zawierają jedynie dwa założenia upraszczające, a mianowicie założenie izotropowości badanego materiału i ograniczenie analizy stereomechanicznej ściskania poprzecznego do przypadku wąskiego, równomiernie obciążonego pierścienia, co jest niezgodne z właściwościami strukturalnymi i z rzeczywistymi warunkami pracy pręta wiklinowego, w którym stosunek długości do średnicy jest znacznie większy od przyjętego w rozważaniu. Wyodrębnienie jako najistotniejszych stałych materiałowych modułu sprężystości, wytrzymałości na ściskanie i wytrzymałości na rozciąganie jest słuszne i potwierdza wnioski W. Galewskiego w tym zakresie.

Wreszcie praca Ch. Ortmanna (9) wnosi również istotne wskazania metodyczne, zgodne z przesłankami teoretycznymi, a mianowicie stwierdzenie, że przy określaniu wytrzymałości na zginanie powinno się stosować rozpiętość podpór równą co najmniej 20-krotnej średnicy pręta wiklinowego, aby uniknąć ubocznego wpływu siły poprzecznej.

Z analizy wyników uzyskanych przez tego autora wypływają także: wniosek o praktycznej przydatności próby poprzecznego ściskania prętów oraz wskazówka, że badania mające na celu stwierdzenie różnic międzyodmianowych należy prowadzić na materiale doświadczalnym, pochodzącym nie z jednego, lecz co najmniej z kilku plonów (z kolejnych lat zbiorów). Ta ostatnia wskazówka wynika ze znacznego zróżnicowania

mechanicznych właściwości prętów, pochodzących z różnych lat zbioru; zróżnicowanie to przekracza niekiedy różnice międzyodmianowe w zbiorach z jednego roku.

II. ZAŁOŻENIA METODYCZNE I CEL BADAŃ

Aby badanie jakości wytrzymałościowej prętów wiklinowych mogło zaspokoić potrzeby przemysłowe i dawało wyniki odzwierciedlające techniczną przydatność prętów do produkcji wyrobów wikliniarskich, powinno ono:

a) uwzględnić cechy prętów warunkujące tę przydatność,
b) opierać się na teorii wytrzymałości materiałów,
c) być możliwie proste i dokładne w przeprowadzeniu pomiarów.

Spośród wymienionych uprzednio metod badania prętów wymagania te w największej mierze spełnia, jak się zdaje, metoda zaproponowana przez W. Klepackiego i J. Łazińskiego, pod warunkiem, że zastosowane przez tych autorów uproszczenia w analizie teoretycznej nie powodują zbyt dużych odchyleń rzeczywistego rozkładu naprężeń w badanych prętach od stanu ustalonego teoretycznie. Doświadczalne sprawdzenie rozkładu naprężeń w prętach rzeczywistych nie jest możliwe ze względu na zbyt małe wymiary ich średnic, co uniemożliwia przeprowadzenie niezbędnych do tego pomiarów tensometrycznych. Dlatego jedyną możliwość doświadczalnego określenia rozkładu naprężeń w prętach wiklinowych uzyskuje się przez zastosowanie modeli tych prętów, o znacznie większej średnicy w porównaniu z prętami rzeczywistymi, przy jednoczesnym zachowaniu proporcji wymiaru średnicy rdzenia i średnicy zewnętrznej pręta. Model pręta o zwiększonych wymiarach umożliwia naklejenie oporowych czujników tensometrycznych, mierzących odkształcenie modelu w dowolnym miejscu jego powierzchni, a zachowanie proporcji wymiarowych i materiału rzeczywistego pręta zapewnia taki sam rozkład odkształceń i naprężeń w modelu jak w pręcie rzeczywistym.

Na podstawie wyników uprzednio omówionych prac badawczych można sformułować następujące ogólne założenia metodyki takich badań modelowych.

1. Badania powinny być wykonane na materiale zróżnicowanym pod względem struktury i stałych materiałowych; umożliwi to doświadczalne sprawdzenie słuszności teoretycznej analizy (5, 6) dla materiału ortotropowego i wykaże ewentualne różnice pomiędzy stanem naprężeń i odkształceń w modelu z materiału izotropowego i ortotropowego.

2. W celu umożliwienia doświadczalnej analizy naprężeń należy określić moduł sprężystości materiałów modelowych. Przy obliczaniu naprężeń należy dla poprawności analizy uwzględnić wpływ względnego wymiaru rdzenia, jednakże w przyszłych badaniach na prętach rzeczywistych

wydaje się celowe oparcie obliczeń na całkowitym polu przekroju pręta łącznie z rdzeniem, jako na wielkości istotnej ze względów praktycznych.

3. W badaniach należy przyjąć takie przypadki obciążeń modeli, które zostały uprzednio zanalizowane teoretycznie. Oprócz tego byłoby pożądane zastosowanie takich przypadków obciążeń, jakie najczęściej stanowią przyczynę zniszczenia lub uszkodzenia prętów w produkcji przemysłowej.

Na podstawie podanych założeń metodycznych cel niniejszej pracy można sformułować następująco:

a) stwierdzenie, czy stan odkształceń i naprężeń w zginanym lub ściskanym poprzecznie pręcie wiklinowym jest zgodny z teoretycznie zanalizowanym przypadkiem rury grubościennej z izotropowego materiału;

b) określenie, jakie naprężenia mogą stanowić zasadniczą przyczynę zniszczenia pręta wiklinowego przy zginaniu lub nacisku poprzecznym.

Uzyskane wyniki umożliwią opracowanie założeń metodycznych określania jakości wytrzymałościowej prętów wiklinowych i przeprowadzenie porównawczych badań na zróżnicowanych odmianach wikliny oraz skonfrontowanie otrzymanych w ten sposób wyników z praktycznymi obserwacjami technologicznych właściwości tych odmian.

III. OPIS BADAŃ

Stosownie do wskazań ogólnych, podanych w rozdziale II, przyjęto do badań zanalizowane uprzednio teoretycznie rodzaje obciążeń, a mianowicie zginanie statyczne i punktowy nacisk poprzeczny. Ten ostatni rodzaj obciążenia, nie całkowicie odpowiadający przypadkowi zanalizowanemu teoretycznie, przyjęto ze względu na występowanie takiego układu sił przy korowaniu prętów wiklinowych. Schematy zastosowanych obciążeń przedstawiają rysunki 1*a* i 1*b*.

W celu sprawdzenia wpływu odmiennej struktury materiału na wyniki badania, wykonano jeden model z izotropowego winiduru oraz trzy modele z grubych prętów wierzbowych (wiklinowych), stanowiących materiał ortotropowy, prawie identyczny pod względem makro- i mikrostruktury z rzeczywistymi prętami wiklinowymi i różniący się od nich jedynie znacznie większą średnicą. Modele miały kształt grubościennych rur, analogiczny z przybliżonym kształtem pręta wiklinowego, którego zbieżystość pominięto jako mało istotną dla stosunkowo krótkiego odcinka pręta, reprezentowanego przez model. W modelach wykonanych z drewna wierzbowego zróżnicowano wewnętrzną średnicę rury przewiercając poosiowo dwa pręty wiertłami o średnicy 17 mm i 12 mm; w trzecim modelu drewnianym pozostawiono naturalny rdzeń pręta średnicy około 5 mm. Wymiary modeli podano w tabeli 1.

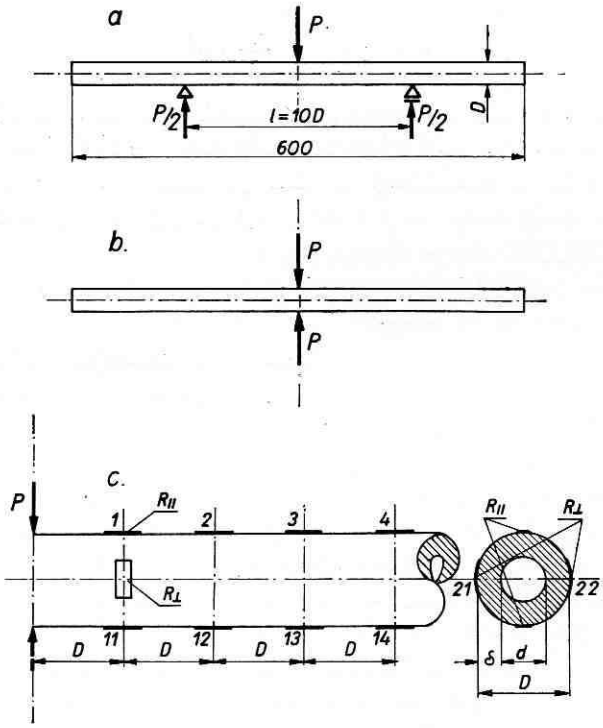
Pomiary odkształceń modeli przeprowadzono za pomocą oporowego tensometru elektrycznego typu T-2, naklejając na modelach kratowe

Tabela 1

Materiał i wymiary średnic modeli

Model nr	Materiał	Średnica zewnętrzna D mm	Średnica wewnętrzna d mm	Grubość ścianki δ mm
1	winidur	42±0,5	33±0,5	4,5±0,3
2	drewno wierzbowe	35±1	17±1	9 ±1,5
3	drewno wierzbowe	40±1	12±1	14 ±1,5
4	drewno wierzbowe	34±1	5±0,5	14,5±1,0

czujniki tensometryczne typu RL o oporności 120 ± 0,3 Ω w rozmieszczeniu przedstawionym na rys. 1c. Rozstawienie czujników *1...4 i 11...14* wzdłuż modelu umożliwiło określenie rozkładu odkształceń podłużnych na odcinku o długości równej czterokrotnej średnicy modelu. Czujniki *21* i *22*, naklejone prostopadle do tworzącej modelu, mierzyły jego odkształcenie poprzeczne. Pomiary te wykonano najpierw przy zginaniu statycznym, następnie zaś przy poprzecznym nacisku na model. Podpory i napory, którymi wywierano obciążenie na modele, miały kształt walców średnicy



Rys. 1. Schemat metody pomiaru: *a* — zginanie, *b* — nacisk poprzeczny, *c* — rozmieszczenie czujników tensometrycznych podłużnych $R_{\parallel}$ oraz poprzecznych $R_{\perp}$

30 mm; tworzące napór były równoległe do siebie, a prostopadłe do podłużnej osi modelu.

Przy zginaniu obciążono modele dwukrotnie, obracając je przy powtórnym obciążeniu o 180° wokół osi podłużnej. Wskutek tego przy pierwszym pomiarze czujniki *1...4* znajdowały się w strefie ściskanej, a podczas drugiego pomiaru — w strefie rozciąganej. Takie postępowanie umożliwiło wyeliminowanie wpływu nieuniknionej (chociaż nieznacznej) asymetrii przekroju poprzecznego i lokalnych niejednorodności struktury modeli drewnianych, gdyż do analizy przyjęto średnie wartości z obu pomiarów.

Po wykonaniu pomiarów odkształceń przy zginaniu i przy nacisku poprzecznym skrócono modele do długości równej w przybliżeniu siedmiokrotnej ich średnicy D i obciążono je poosiową siłą ściskającą w celu pomierzenia odkształceń, umożliwiających obliczenie modułu sprężystości podłużnej E. Na podstawie wartości modułu sprężystości $E_{//}$ wzdłuż włókien drewna, obliczono wartości odpowiadających im modułów sprężystości $E\perp$ w poprzek włókien. Obliczenie to wykonano za pomocą wzoru empirycznego

$$E\perp \approx 0{,}09\ E_{//}.$$

Znając wartości odkształceń i modułów sprężystości można było obliczyć — korzystając z prawa Hooke'a — wartości naprężeń normalnych σ w miejscach naklejenia czujników tensometrycznych.

Odcięte końce modeli drewnianych posłużyły do określenia bezwzględnej wilgotności drewna metodą suszarkowo-wagową.

Dokładności pomiarów były następujące:
obciążenia — 1 kG, odkształcenia — 0,01‰, ciężaru — 0,01 G.

W obliczeniach wartości wynikowych zastosowano następujące wzory:
przy obliczeniu odkształceń

$$\varepsilon_i = e_i - e_o$$

gdzie E_i — odkształcenie względne w ‰,
e_o — wskazanie tensometru przy obciążeniu wstępnym w ‰,
e_i — wskazanie tensometru przy obciążeniu końcowym w ‰,

przy obliczeniu naprężeń normalnych

$$\sigma = \varepsilon E$$

gdzie σ — naprężenie w kG/cm²,
ε — odkształcenie względne w mm/mm,
E — moduł sprężystości podłużnej w kG/cm²;

przy obliczeniu modułu sprężystości podłużnej

$$E_{\parallel} = \frac{4P}{\pi (D^2 - d^2)\, \varepsilon_{\parallel}},$$

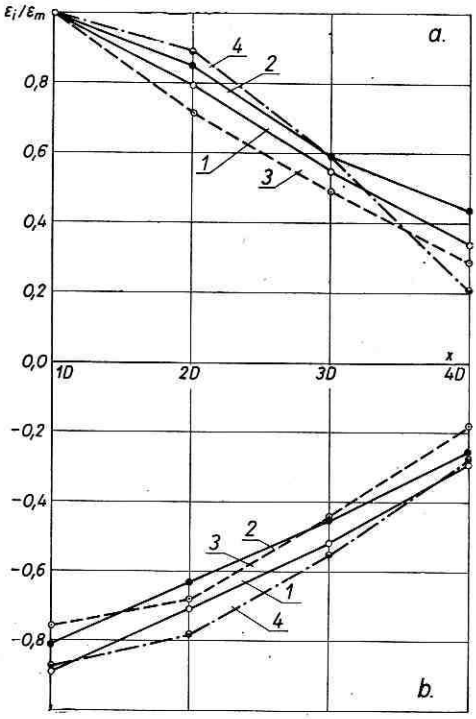
gdzie $E_{//}$ — moduł sprężystości podłużnej w kG/cm²,
P — siła ściskająca w kG,

D — zewnętrzna średnica przekroju modelu w cm,
d — wewętrzna średnica przekroju modelu w cm,
$\varepsilon_{//}$ — podłużne odkształcenie względne w mm/mm.

IV. WYNIKI I ICH ANALIZA

1. Odkształcenia

W celu uzyskania porównywalnych wyników liczbowych, umożliwiających miarodajne określenie różnic odkształceń w modelu z izotropowego winiduru i w modelach z drewna wierzbowego, wyeliminowano wpływ zróżnicowanych modułów sprężystości tych materiałów, odnosząc wartości pomierzonych odkształceń ε_i do wartości maksymalnego odkształcenia

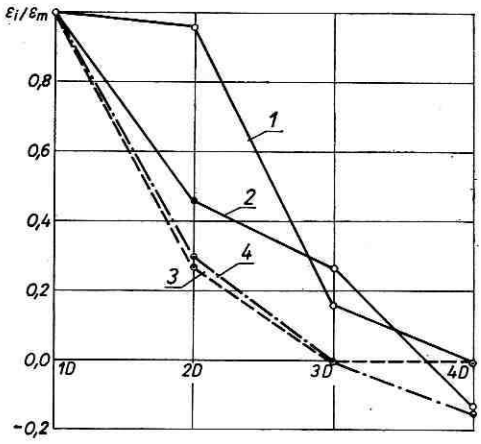


Rys. 2. Rozkład odkształceń podłużnych $\varepsilon_i/\varepsilon_m$ na odległości x od środka rozpiętości zginanego modelu pręta: *a* — w strefie rozciąganej, *b* — w strefie ściskanej; *1* — winidur, *2*, *3* i *4* — drewno wierzbowe

podłużnego ε_m, wykazanego przez czujniki położone najbliżej punktu przyłożenia siły. Do obliczeń tych przyjęto średnie wartości odkształceń ε_i z obu obciążeń w dwu kolejnych pozycjach modeli względem kierunku działania siły. Otrzymane wyniki przedstawiono graficznie na rys. 2 dla zginania statycznego i na rys. 3 dla nacisku poprzecznego.

Jak widać z tych wykresów, w obu przypadkach znak i rozkład odkształceń podłużnych jest zgodny z dającym się przewidzieć teoretycznie

i nie wykazuje zależności od rodzaju materiału modelu. Zarówno przy zginaniu jak przy nacisku poprzecznym — nawet przy niewielkiej wartości zastosowanego obciążenia — odkształcenia podłużne rozprzestrzeniają się na znaczną odległość od punktu przyłożenia siły. Należy przewidywać, że w momencie zniszczenia modelu pręta przez nacisk poprzeczny długość naprężonej jego części może być jeszcze większa, albowiem ze wzrostem wartości naprężenia długość naprężonej części pręta powinna również



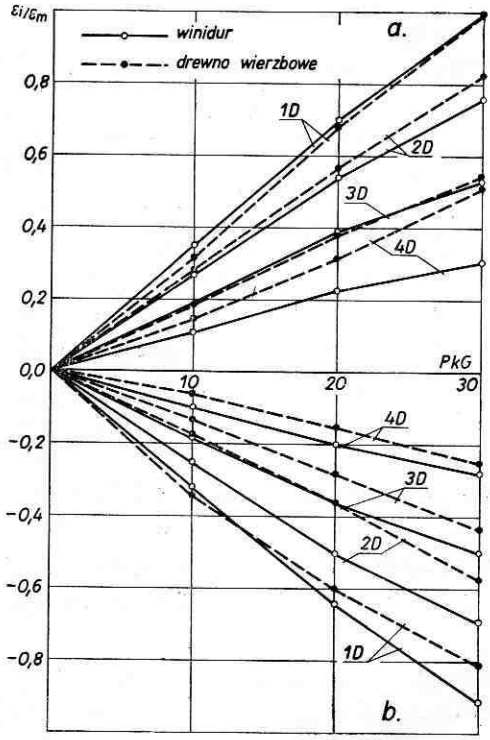
Rys. 3. Rozkład odkształceń podłużnych $\varepsilon_i/\varepsilon_m$ na odległości x od punktu przyłożenia nacisku poprzecznego na model pręta: *1* — winidur, *2*, *3* i *4* — drewno wierzbowe

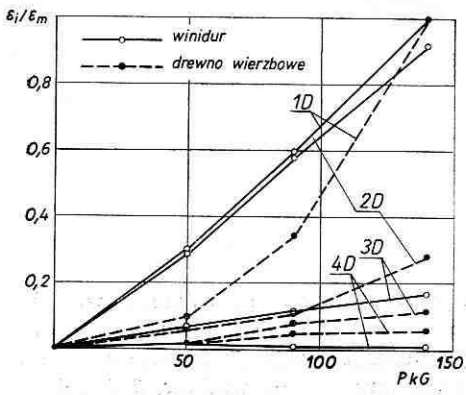
wzrastać. Odmienny jest natomiast wpływ grubości ścianki modelu drewnianego na długość naprężonej części pręta rurowego. Jak widać z wykresu przedstawionego na rys. 3, w modelach 3 i 4 o najgrubszych ściankach odkształcenie zmienia znak z dodatniego na ujemny już w odległości *3D* od punktu przyłożenia siły.

Na rys. 4 podano zależność odkształceń podłużnych od wartości siły zginającej, a na rys. 5 — zależność od wartości siły nacisku poprzecznego. Badanie to wykonano na modelu 1 z winiduru i na modelu 2 z drewna wierzbowego, który miał najmniejszą grubość ścianki spośród wszystkich trzech modeli drewnianych, był więc pod tym względem najbardziej zbliżony do modelu 1. W przypadku zginania wszystkie odkształcenia podłużne są wprost proporcjonalne do wartości siły zginającej, a więc i do wartości naprężenia, przy czym — tak samo jak na rys. 2 i 3 — wartość odkształcenia maleje ze wzrostem odległości punktu pomiarowego od miejsca przyłożenia siły, a różnice w zachowaniu się modelu drewnianego są nieznaczne w porównaniu z zachowaniem się modelu z winiduru. Rys. 5 wykazuje taki sam charakter badanej zależności dla modelu z winiduru przy nacisku poprzecznym. Natomiast zależność odkształcenia modelu drewnianego od siły nacisku poprzecznego ma odmienny charakter. Wprawdzie i tutaj odkształcenie wzrasta z wartością siły nacisku, jednak zależność ta nie jest prostoliniowa, lecz w przybliżeniu parabo-

liczna, co najłatwiej daje się zauważyć na przykładzie odkształceń zmierzonych w odległości *1D* od punktu przyłożenia siły. Tak więc przy nacisku poprzecznym odkształcenie podłużne w modelu pręta wiklinowego wzrasta szybciej niż powodujące je naprężenie.

Odkształcenia poprzeczne wyrażono — tak samo jak odkształcenia podłużne — w stosunku do wartości maksymalnego odkształcenia podłużnego ($\varepsilon_{\perp}/\varepsilon_m$) Odnosząc odkształcenia poprzeczne do podłużnych wyeliminowano





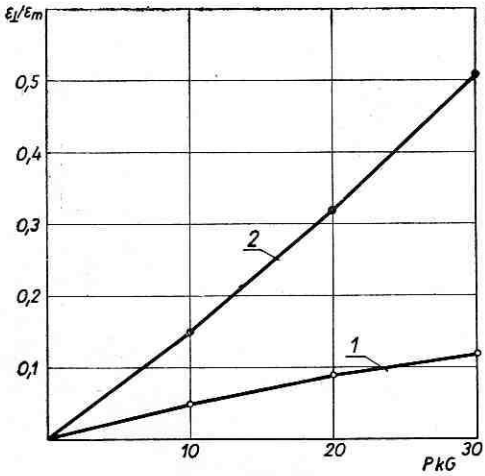
Rys. 5. Zależność stosunku odkształcenia podłużnego do jego maksymalnej wartości $\varepsilon_i/\varepsilon_m$ od siły P nacisku poprzecznego na model pręta

Rys. 4. Zależność stosunku odkształcenia podłużnego do jego maksymalnej wartości $\varepsilon_i/\varepsilon_m$ od siły P, zginającej model pręta: *a* — w strefie rozciąganej, *b* — w strefie ściskanej

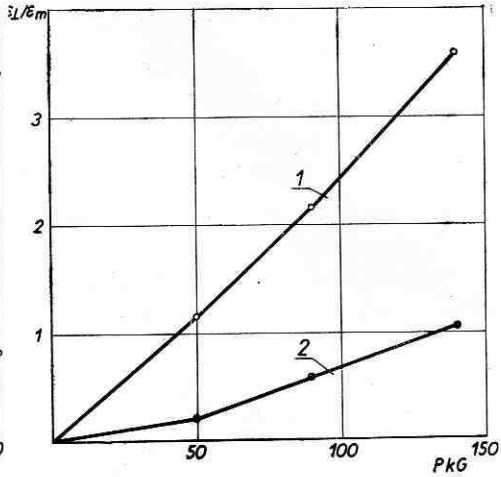
wpływ różnic modułu sprężystości na liczbową wartość odkształceń. Zależność tak wyrażonych odkształceń poprzecznych od wartości siły przedstawiono dla przypadku zginania na rys. 6, a dla nacisku poprzecznego — na rys. 7. Zależności te są w przybliżeniu prostoliniowe, przy czym odkształcenie wzrasta z wartością siły, a znak odkształceń jest zawsze dodatni; oba te stwierdzenia są zgodne z przesłankami teoretycznymi. Wartości odkształceń poprzecznych są znacznie większe przy nacisku poprzecznym aniżeli przy zginaniu.

Stosunek wartości odkształceń poprzecznych modelu winidurowego do odkształceń modelu drewnianego zależy od rodzaju obciążenia; przy zginaniu znacznie większe odkształcenia wykazuje model drewniany, a przy nacisku poprzecznym — model z winiduru. Tak więc, w odróż-

nieniu od podłużnych, odkształcenia poprzeczne są zależne nie tylko od wartości siły i od rodzaju obciążenia, lecz również od rodzaju materiału. Wpływ geometrii przekroju porównywanych modeli (model drewniany miał nieco większą względną grubość ścianki niż model z winiduru) jest możliwy, jednakże nie jest prawdopodobne, by mógł on spowodować tak znaczne różnice poprzecznych odkształceń porównywanych modeli, jakie stwierdzono przy zginaniu i przy nacisku poprzecznym, gdyż w obu tych



Rys. 6. Zależność stosunku odkształcenia poprzecznego do maksymalnej wartości odkształcenia podłużnego $\varepsilon_{\perp}/\varepsilon_m$ od siły P, zginającej model pręta: *1* — winidur, *2* — drewno wierzbowe

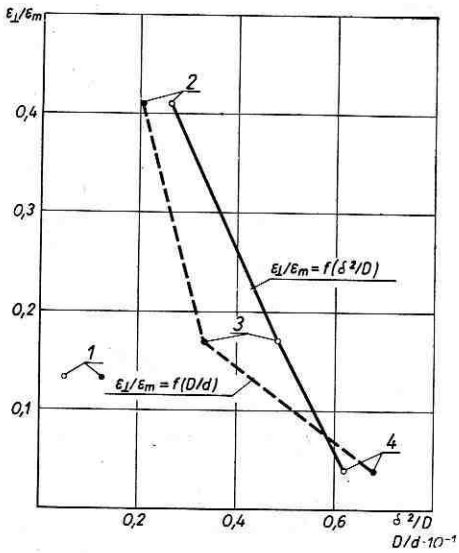


Rys. 7. Zależność stosunku odkształcenia poprzecznego do maksymalnej wartości odkształcenia podłużnego $\varepsilon_{\perp}/\varepsilon_m$ od siły P nacisku poprzecznego na model pręta: *1* — winidur, *2* — drewno wierzbowe

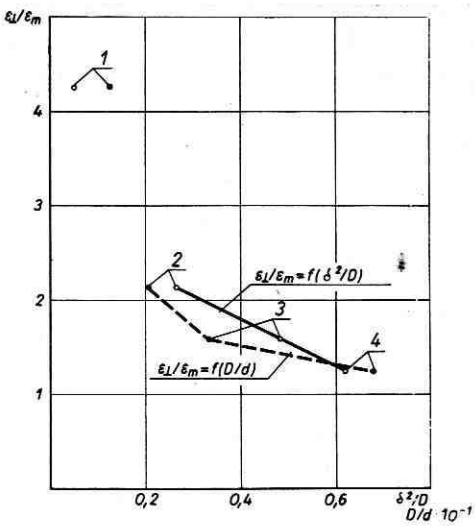
doświadczeniach użyto tych samych modeli. Dlatego różne wartości odkształceń poprzecznych modelu drewnianego i modelu z winiduru można uznać za spowodowane odmienną strukturą tych materiałów i odmiennymi ich właściwościami sprężystymi. Winidur jest materiałem izotropowym, którego moduł sprężystości ma stałą wartość niezależnie od kierunku przestrzeni. Natomiast moduł sprężystości ortotropowego drewna wierzbowego jest w kierunku prostopadłym do włókien około 11-krotnie mniejszy niż w kierunku do nich równoległym.

Aby stwierdzić, jaka jest zależność odkształceń poprzecznych od względnej grubości ścianki modelu. wyrażono tę grubość za pomocą zaproponowanych przez W. Klepackiego i J. Łazińskiego (6) geometrycznych kryteriów jakości pręta wiklinowego δ^2/D oraz d/D; tę ostatnią wielkość zastąpiono jej odwrotnością D/d, gdyż wielkość d/D jest odwrotnie proporcjonalna do wielkości δ^2/D, a ze względu na graficzne przedstawienie wyników wygodniejsza była jednokierunkowa proporcjonalność obu wielkości kryterialnych. Użycie wielkości D/d jako kryterium jakości pręta

wydaje się również słuszniejsze z tego względu, że jakość pręta wzrasta z liczbową wartością D/d, gdy tymczasem wielkość d/D jest odwrotnie proporcjonalna do jakości wytrzymałościowej pręta. Na rys. 8 przedstawiono zależność odkształcenia poprzecznego $\varepsilon_{\perp}/\varepsilon_m$ od wartości kryteriów D/d oraz δ^2/D przy zginaniu trzech drewnianych modeli o różnej względnej grubości ścianki. Te same zależności przy nacisku poprzecznym przedstawia rys. 9. Jak widać z tych rysunków, zależność odkształcenia po-



Rys. 8. Zależność stosunku odkształcenia poprzecznego do maksymalnej wartości odkształcenia podłużnego $\varepsilon_{\perp}/\varepsilon_m$ od względnej grubości ścianki zginanego modelu: *1* — winidur, *2*, *3* i *4* — drewno wierzbowe, D — zewnętrzna średnica modelu, d — wewnętrzna średnica modelu, δ — grubość ścianki modelu



Rys. 9. Zależność stosunku odkształcenia poprzecznego do maksymalnej wartości odkształcenia podłużnego $\varepsilon_{\perp}/\varepsilon_m$ od względnej grubości ścianki modelu przy nacisku poprzecznym: *1* — winidur, *2*, *3* i *4* — drewno wierzbowe; D — zewnętrzna średnica modelu, d — wewnętrzna średnica modelu, δ — grubość ścianki modelu

przecznego od wartości δ^2/D jest liniowa dla obu rodzajów obciążenia, przy czym wartość odkształcenia maleje ze wzrostem δ^2/D ponad dwukrotnie szybciej przy nacisku poprzecznym niż przy zginaniu. Wskutek zbyt małej ilości danych liczbowych nie można było określić ogólnego charakteru zależności odkształceń poprzecznych od wartości D/d; zależność ta nie jest liniowa i prawdopodobnie ma taki sam charakter przy nacisku poprzecznym jak przy zginaniu.

Prostoliniowa zależność odkształcenia poprzecznego od wielkości δ^2/D stanowi doświadczalne potwierdzenie słuszności tego kryterium i wskazuje na jego praktyczną przydatność.

2. Naprężenia

Bezwzględne wartości liczbowe naprężeń obliczono, mnożąc wartość odkształcenia przez wartość modułu sprężystości, określonego dla materiałów poszczególnych modeli przy ściskaniu podłużnym. Moduł sprężystości winiduru wynosił 32.10^3 kG/cm², a moduł sprężystości drewna wzdłuż włókien — 142.10^3 kG/cm². Moduł sprężystości drewna w kierunku prostopadłym do włókien obliczony za pomocą podanego uprzednio wzoru empirycznego wyniósł 13.10^3 kG/cm².

Rozkład naprężeń normalnych na długości wszystkich modeli jest taki sam, jak rozkład odkształceń (rys. 2 i 3); natomiast wskutek małej wartości modułu sprężystości w poprzek włókien drewna naprężenia poprzeczne są mniejsze w modelach drewnianych niż w modelu z winiduru. Pomimo to istotność praktyczna tych naprężeń wydaje się znacznie większa w przypadku drewna niż w przypadku winiduru, ponieważ wytrzymałość w poprzek włókien drewna, zarówno przy rozciąganiu, jak przy ściskaniu, jest znacznie mniejsza od tych samych rodzajów wytrzymałości wzdłuż włókien. Praktycznie można przyjąć, że przy rozciąganiu w poprzek włókien naprężenie niszczące wynosi około 5% naprężenia niszczącego przy rozciąganiu drewna wzdłuż włókien. Ponieważ określenie wytrzymałości na rozciąganie materiału modeli drewnianych nie było

Tabela 2

Naprężenia rozciągające w modelach

Rodzaj obciążenia	Materiał modelu	Model nr	Maksymalne naprężenie rozciągające kG/cm²		Stosunek naprężenia do wytrzymałości materiału w kierunku	
			podłużne	poprzeczne	podłużnym	poprzecznym
Zginanie statyczne	winidur	1	62,0	8,3	0,101	0,014
	drewno wierzbowe	2	71,0	2,7	0,109	0,082
		3	44,1	0,7	0,068	0,021
		4	55,4	0,2	0,085	0,006
Nacisk poprzeczny	winidur	1	7,2	30,6	0,012	0,050
	drewno wierzbowe	2	34,1	6,6	0,053	0,200
		3	12,5	1,8	0,019	0,055
		4	13,4	1,5	0,021	0,046

możliwe, przyjęto dla potrzeb analizy naprężeń wytrzymałość drewna wierzbowego na rozciąganie wzdłuż włókien z literatury (4) jako równą 650 kG/cm², a wytrzymałość na rozciąganie w poprzek włókien obliczono jako 5% tej wartości, tj. 33 kG/cm². Wytrzymałość na rozciąganie winiduru określono doświadczalnie jako równą 615 kG/cm².

W tabeli 2 podano maksymalne wartości rozciągających naprężeń podłużnych i poprzecznych, obliczone na podstawie odkształceń zmierzonych

najbliżej punktu przyłożenia siły, tj. w odległości *1D* od tego punktu. Oprócz tego w tabeli tej podano wartości obliczonych w ten sposób naprężeń, odniesione do odpowiedniej wytrzymałości na rozciąganie danego materiału. Te ostatnie wartości w pełni charakteryzują wpływ naprężeń w danym kierunku i stopień zagrożenia przez nie materiału modelu pręta.

W przypadku zginania pręt jest narażony na zniszczenie głównie przez naprężenia podłużne, których względna wartość jest największa. W praktyce ten rodzaj zniszczenia ścianki pręta wiklinowego przy zginaniu zachodzi najczęściej po wewnętrznej stronie krzywizny, wskutek wyboczenia i załamania włókien drewna pod działaniem podłużnym naprężeń ściskających; zniszczenie to nazywa się potocznie „skolankowaniem" pręta. Natomiast przy nacisku poprzecznym największa jest względna wartość naprężeń poprzecznych i pod ich wpływem powinno nastąpić zniszczenie materiału pręta. Przykładowo przeprowadzone próby niszczące wykazały w większości wypadków zniszczenie krótkich drewnianych modeli pręta wskutek pęknięcia po średnicy, które przebiega w kierunku równoległym do osi działania siły nacisku poprzecznego. Taki obraz zniszczenia dowodzi, że przyczynę jego stanowiły naprężenia rozciągające w poprzek włókien, normalne do płaszczyzny wyznaczonej przez oś działania siły i oś podłużnej symetrii rury. Próba niszcząca przeprowadzona na krótkim (pierścieniowym) modelu z winiduru wykazała również decydujący wpływ tych samych naprężeń, nie doprowadziła jednak do pęknięcia ścianki rury, lecz jedynie do trwałego jej odkształcenia. Różnice obrazu zniszczenia modeli drewnianych i modelu winidurowego spowodowane są odmiennymi właściwościami wytrzymałościowymi i sprężystymi tych materiałów, wywołanymi przez ortotropową strukturę drewna.

Natomiast dalsze próby niszczące, wykonane przy nacisku poprzecznym na długich modelach drewnianych i na rzeczywistych prętach wiklinowych, wykazały ich zniszczenie nie wskutek pęknięcia po średnicy, lecz wskutek załamania ścianek pręta w miejscach przyłożenia siły ściskającej. Taki obraz zniszczenia, odpowiadający w przybliżeniu podwójnemu „skolankowaniu", dowodzi, że w prętach rzeczywistych zniszczenie następuje nie tyle wskutek przekroczenia wytrzymałości materiału ścianki na rozciąganie w poprzek włókien, co wskutek znacznego lokalnego odkształcenia (ugięcia) tej ścianki i utraty jej stateczności, podobnie jak to ma miejsce przy zginaniu prętów wiklinowych i jak to zaobserwowano na winidurowym modelu pręta przy nacisku poprzecznym. Różnica pomiędzy zniszczeniem prętów wiklinowych przy zginaniu i przy nacisku poprzecznym polega na odmiennych przyczynach utraty stateczności; przy zginaniu następuje wyboczenie włókien drewna pod działaniem naprężenia ściskającego wzdłuż włókien, a przy nacisku poprzecznym ścianki zostają ugięte, przy czym włókna nie zostają zerwane, a podłużne szczeliny pomiędzy nimi (pęknięcia podłużne ścianki) prawie nie dają się za-

uważyć, jeżeli długość pręta poddanego poprzecznemu naciskowi jest odpowiednio duża.

Na podstawie przeprowadzonej analizy rozkładu naprężeń i na podstawie obserwacji charakteru zniszczenia przy zginaniu i przy nacisku poprzecznym można wyciągnąć wniosek, że zarówno próba zginania statycznego, jak próba nacisku poprzecznego siłą skupioną mogą w podobny sposób charakteryzować jakość wytrzymałościową rzeczywistych prętów wiklinowych.

WNIOSKI

1. Zarówno przy zginaniu, jak przy nacisku poprzecznym ogólny stan naprężeń w drewnianym modelu pręta wiklinowego jest wprawdzie zgodny z teoretycznie zanalizowanym stanem naprężeń w grubościennej rurze z materiału izotropowego, lecz stosunek odkształceń oraz naprężeń poprzecznych do podłużnych jest w nim odmienny niż w rurze z materiału izotropowego. Wskutek ortotropii drewna i małej jego wytrzymałości w kierunku prostopadłym do włókien naprężenia poprzeczne, jak się zdaje, w znacznie większym stopniu współuczestniczą w procesie niszczenia pręta wiklinowego aniżeli w rurze z materiału izotropowego.

2. Zbadany w przedziale odkształceń sprężystych stan naprężeń pozwala stwierdzić, że zniszczenie zginanych prętów wiklinowych powinno zachodzić głównie wskutek działania poosiowych naprężeń normalnych, pod których wpływem następuje lokalne wyboczenie ścianki pręta i jej załamanie w strefie ściskanej. Natomiast przy nacisku poprzecznym główną przyczynę zniszczenia pręta mogą stanowić naprężenia rozciągające w poprzek włókien, których wartość jest najbliższa stosunkowo niskiej wytrzymałości drewna w tym kierunku. Mimo to, przy bardzo dużym ugięciu ścianki poprzecznie ściskanego pręta, zniszczenie jej zachodzi przez załamanie, podobnie jak przy zginaniu. Dowodzi to, że po przekroczeniu granicy sprężystości stan naprężeń ulega zmianom, których nie da się określić za pomocą pomiarów tensometrycznych.

3. Przeprowadzone badania modelowe wykazały przydatność geometrycznego kryterium δ^2/D jakości wytrzymałościowej pręta wiklinowego do celów oceny praktycznej pod warunkiem, że stałe materiałowe ścianki prętów wiklinowych nie zależą od odmiany i warunków wzrostu. Gdyby warunek ten nie był spełniony, można zalecić zaproponowane przez W. Klepackiego i J. Łazińskiego kryterium

$$k = P \frac{\delta^2}{D}$$

gdzie P — siła niszcząca,
D — zewnętrzna średnica pręta,
δ — grubość ścianki pręta.

4. Ponieważ użycie kryterium geometrycznego jakości wytrzymałościowej jest wygodne ze względów praktycznych, albowiem określenie jakości może być przeprowadzone tylko na podstawie pomiaru średnicy zewnętrznej i średnicy rdzenia oraz prostych obliczeń (można ich również uniknąć opracowując odpowiednie tabele), należałoby sprawdzić możliwość jego zastosowania przez doświadczalne określenie stałych materiałowych ścianki prętów poszczególnych odmian wikliny.

5. W zależności od wyniku tych badań należałoby:

a) w przypadku stwierdzenia, że różnice międzyodmianowe stałych materiałowych są nieznaczne — przyjąć wyłącznie geometryczne kryterium jakości wytrzymałościowej prętów wiklinowych;

b) w przypadku stwierdzenia istotności międzyodmianowych różnic tych stałych — przyjąć za miarodajne kryteria naprężeniowe lub odkształceniowe i ustalić warunki przeprowadzenia takich prób na podstawie dalszych badań, opartych na reprezentatywnym materiale doświadczalnym.

Badania przeprowadzono w Katedrze Mechanicznej Technologii Drewna SGGW na zlecenie Zjednoczenia Produkcji Leśnej „Las".

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В МОДЕЛЯХ ИВОВЫХ ЛОЗ ПРИ ИЗГИБЕ И ПОПЕРЕЧНОМ НАЖИМЕ

Краткое содержание

На основе обзора литературы установлено, что применяемые до сих пор, упрощенные методы определения сопротивляемости ивовых лоз, являются несовершенными и поэтому получаемые результаты не могут являться основой для оценки пригодности отдельных пород ивы для производства изделий из ивовой лозы. Анализ результатов теоретических и теоретически-экспериментальных работ в области методики определения сопротивляемости ивовых лоз (2, 3, 4, 5, 6, 9) доказал необходимость проведения исследований деформаций и напряжений на моделях лоз. Исследования эти были проведены с помощью тензометра электрического сопротивления, применяя изгибающую нагрузку и местный поперечный нажим, как наиболее типичные случаи нагрузки лоз, вызывающие их разрушение в процессе производства изделий из ивовой лозы.

Модели были изготовлены из толстых ивовых лоз, а также из винидуровой трубы. Этот последний материал использовался целью исследования влияния структурных разниц (изотропности или ортотропности) материала моделей на результаты исследования.

Установлено, что при изгибе разрушение лоз вызвано напряжениями действующими аксиально вдоль волокон; под влиянием этих напряжений происходит местное выпучивание стенки лозы и ее излом в зоне сжатия. При поперечном нажиме местный изгиб стенки лозы вызывает образование значительных растягивающих напряжений поперек волокон. Вследствие небольшого сопротивления древесины к растяжению поперек волокон, напряжения эти могут являться главной причиной разрушения лозы. При очень большой деформации стенки лозы наступает также её излом, такой-же как при изгибе.

Модельные исследования привели также к выводу, что предложенный В. Клепацким и Я. Лазиньским (6) критерий

$$\kappa = P \frac{\delta^2}{D}$$

где

P = сила разрушающая лозу при поперечном нажиме,
D = внешний диаметр лозы,
δ = толщина стенки лозы,

можно бы упростить на геометрический критерий δ^2/D с условием, что самые важные материальные константы стенки ивовых лоз не зависят существенным образом от породы и условий роста. Определение существенности разниц этих констант для лоз самых важных пород ивы должно являться предметом дальнейших исследований.

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE VERFORMUNGEN UND SPANNUNGEN IN DEN MODELLEN DER FLECHTWEIDENRUTEN BEI BIEGUNG UND QUERDRUCK

Zusammenfassung

Auf Grund einer Übersicht der Literatur hat man festgestellt, dass die bis jetzt üblichen einfachen Methoden der Bestimmung von Festigkeitsqualität der Flechtweidenruten unvollkommen sind und infolgedessen können die erhaltenen Ergebnisse keine Grundlage zur Schätzung der Brauchbarkeit einzelner Flechtweidensorten zur Produktion der Flechtweidenerzeugnisse darstellen. Eine Analyse von Ergebnissen der theoretischen und theoretisch-experimentellen Arbeiten aus dem Bereich der Methodik zur Bestimmung der Festigkeitsqualität der Flechtweidenruten (2, 3, 4, 5, 6, 9) hat die Notwendigkeit der Durchführung von Untersuchungen über die Verformungen und Spannungen in den Modellen der Flechtweidenruten aufgezeigt. Diese Untersuchungen wurden mittels Elektrowiderstandstensometers mit Dehnungsmeßstreifen durchgeführt. Man verwendete dabei die Biegebelastung und den lokalen Querdruck,

d. h. die am meisten typischen Belastungsfälle der Flechtweidenruten, die im Produktionsprozess der Flechtweidenerzeugnisse die Rutenbeschädigungen verursachen.

Die Modelle wurden aus starken Flechtweidenruten und aus Vinidurrohr hergestellt. Das letztgenannte Material verwendete man, um den Einfluss der strukturellen Unterschiede (Isotropie oder Ortotropie) des Materials von Modellen auf die Untersuchungsergebnisse nachzuprüfen.

Es wurde festgestellt, dass die Zerstörung der Flechtweidenruten bei Biegung durch die in der Axialrichtung längst der Fasern wirkenden Spannungen verursacht wird; unter dem Einfluss dieser Spannungen findet eine lokale Ausknickung der Flechtweidenrutenwand und deren Bruch in der Druckzone statt. Beim Querdruck dagegen verursacht die lokale Durchbiegung der Rutenwand das Enstehen bedeutender Zugspannungen quer zu den Fasern. Infolge kleiner Zugfestigkeit des Holzes in der Querrichtung zu den Fasern können diese Spannungen die Hauptursache der Zerstörung von Ruten sein. Bei sehr grosser Verformung der Rutenwand bricht sie, genau so wie bei Biegung.

Aus den Modelluntersuchungen ergibt sich die Folgerung, dass das von W. Klepacki und J. Łaziński (6) vorgeschlagene Kriterium

$$k = P\frac{\delta^2}{D}$$

wo

P = Rutenzerstörungskraft beim Querdruck,
D = Rutenaussendurchmesser,
δ = Rutenwandstärke,

zu geometrischen Kriterium δ^2/D vereinfacht werden könnte, jedoch unter der Bedingung, dass die wichtigsten Materialkonstanten der Flechtweidenrutenwand von der Weidensorte und von den Wachtstumsbedingungen nicht wesentlich abhängen. Die Bestimmung der Wesentlichkeit von Unterschieden dieser Konstanten für die wichtigsten Flechtweidensorten müsste Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

LITERATURA

1. Cichoń M.: Ekonomiczne i towaroznawcze zagadnienia przemysłu wikliniarskiego. Praca doktorska wykonana w Katedrze Towaroznawstwa WSE w Krakowie. Kraków 1962 (maszynopis).

2. Cichoń M.: Badanie twardości drewna konsystometrem Höpplera. „Zeszyty Naukowe WSE w Krakowie", 1961, nr 18.

3. Cichoń M. i Mysona M.: Określanie wytrzymałości wikliny na zginanie statyczne przy zastosowaniu dynamometru Schoppera. „Zeszyty Naukowe WSE w Krakowie", 1960, nr 12.

4. Galewski W.: Metodyka badania własności mechanicznych prętów wiklinowych. Warszawa 1961 (maszynopis)*.

5. Klepacki W.: Kryterium ja-

kości pręta wiklinowego. Warszawa 1964 (maszynopis)*.

6. Klepacki W. i Łaziński J.: Analiza teoretyczna pracy rurki izotropowej przy zginaniu i ściskaniu poprzecznym oraz wstępne sformułowanie kryterium jakości pręta wiklinowego. Warszawa 1964 (maszynopis) *.

7. Michalak J. W.: Próba syntezy wyników badań anatomicznych i technicznych własności drewna niektórych wierzb krzewiastych. Poznań 1958 (maszynopis) *.

8. Tompa K.: Właściwości techniczne prętów ważniejszych gatunków wiklin. Wiadomości Działu Nauk Agrarnych przy Węgierskiej Akademii Nauk, tom XV, nr 1—3; 1959 *.

9. Ortmann Ch.: Untersuchungen zur Wertbestimmung von Flechtweiden. Inauguraldissertation vorgelegt der Landwirtschaftlichen Fakultät der Karl-Marx-Universität Leipzig (maszynopis) *.

* Prace znajdujące się w posiadaniu Zjednoczenia Produkcji Leśnej „Las"

TREŚĆ

I. Wprowadzenie i przegląd literatury 161
II. Założenia metodyczne i cel badań 164
III. Opis badań 165
IV. Wyniki i ich analiza 168
1. Odkształcenia 168
2. Naprężenia 173
Wnioski 175
Краткое содержание 176
Zusammenfassung 177
Literatura 178