

ARNOLD WILCZYŃSKI  
WSP w Bydgoszczy

## URZĄDZENIE DO BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH DREWNIANYCH POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH PODDAWANYCH SKRĘCANIU

### 1. Wprowadzenie

Od kilku lat w Katedrze Wychowania Technicznego Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Bydgoszczy prowadzone są badania wytrzymałościowe nad właściwościami sprężystymi a także lepkosprężystymi utwardzonej spoiny klejowej łączącej elementy drewniane. Jedną z przyjętych metod badania tych właściwości polega na skręcaniu złącza klejowego wokół osi prostopadłej do płaszczyzny spoiny. W wyniku tego skręcania spoina klejowa poddawana jest ścinaniu, a więc stanowi obciążenia charakterystyczne dla spoin występujących w drewnianych konstrukcjach klejonych.

Początkowo badania prowadzono na próbkach jednospoinowych, mierząc ich całkowity kąt skręcenia i porównując go z kątem skręcenia wykonanych z tego samego drewna, bliźniaczych geometrycznie próbek litych 14. Następnie udoskonalono metodykę badań, wprowadzając próbki wielospoinowe i wyznaczając odkształcenia ich spoin przez porównywanie kątów skręcenia odcinków próbki zawierających daną spoinę klejową i przyległych do nich odcinków drewna nie zawierających spoiny 15. Do przeprowadzenia tych badań potrzebne było odpowiednie urządzenia badawcze (skręcarka), które zapewniłyby bardzo dobrą powtarzalność wartości obciążenia próbki podczas pomiarów odkształceń jej kolejnych odcinków, zachowanie jednakowej długości tych odcinków i precyzyjny pomiar małych – ze względu na niewielką długość tych odcinków – kątów skręcenia.

Istniejące skręcarki, przeznaczone do typowych statycznych badań wytrzymałościowych przy skręcaniu 1, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13 okazały się nieprzydatne. Ich konstrukcje różnią się wprawdzie sposobem wywierania obciążenia oraz pomiaru odkształceń, lecz ich wspólną cechą jest operowanie dużymi bazami pomiarowymi. Nie zapewniłyby też wymaganej powtarzalności wartości obciążenia próbki. Również znane urządzenia do badań wytrzymałościowych skręcanych połączeń klejowych 2, 7, 8 nie spełniają wymienionych powyżej wymagań. Urządzenia te są przeznaczone do badań połączeń klejowych metali za pomocą próbek mających postać doczołowego złącza pierścieniowego. Dokonując pomiaru odkształceń tego złącza zakłada się, że są one spowodowane głównie przez spoinę klejową, zaś udział sklejonnych metali w tych odkształceniach jest pomijalnie mały. Założenie to, poprawne w odniesieniu do połączeń metali, jest jednak nie do przyjęcia w przypadku drewnianych złączy klejowych.

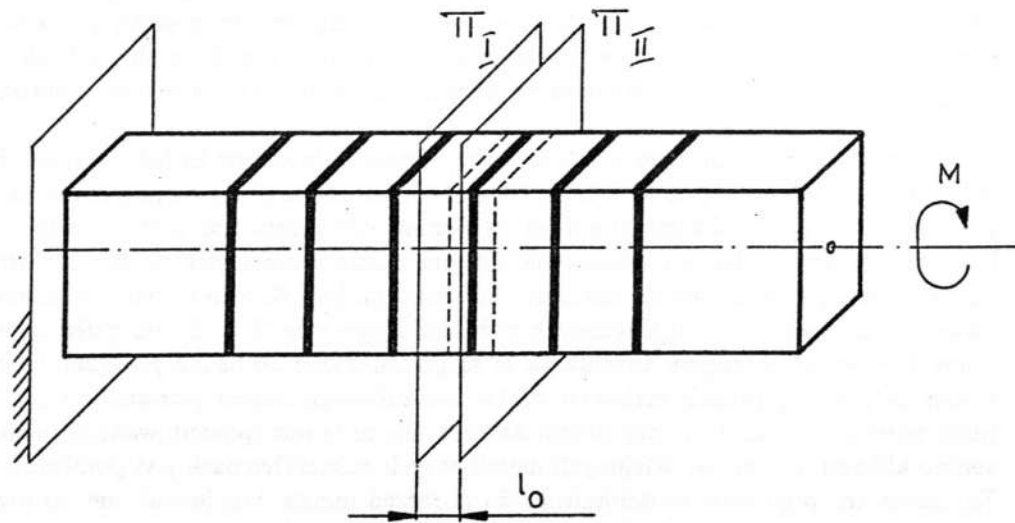
W związku z zaistniałą potrzebą zaprojektowano i wykonano prototypową skręcarkę do badań wytrzymałościowych drewnianych złączy klejowych poddawanych skręcaniu.

W kolejnych częściach pracy przedstawione zostaną: założenia projektowe, opis budowy i działania skręcarki, ocena poprawności jej działania oraz podsumowanie.

## 2. Założenia projektowe

Biorąc pod uwagę przyjętą metodykę badań właściwości mechanicznych spoiny klejowej a także chcąc uzyskać możliwie szeroki zakres badań tych właściwości, przyjęto następujące założenia projektowe:

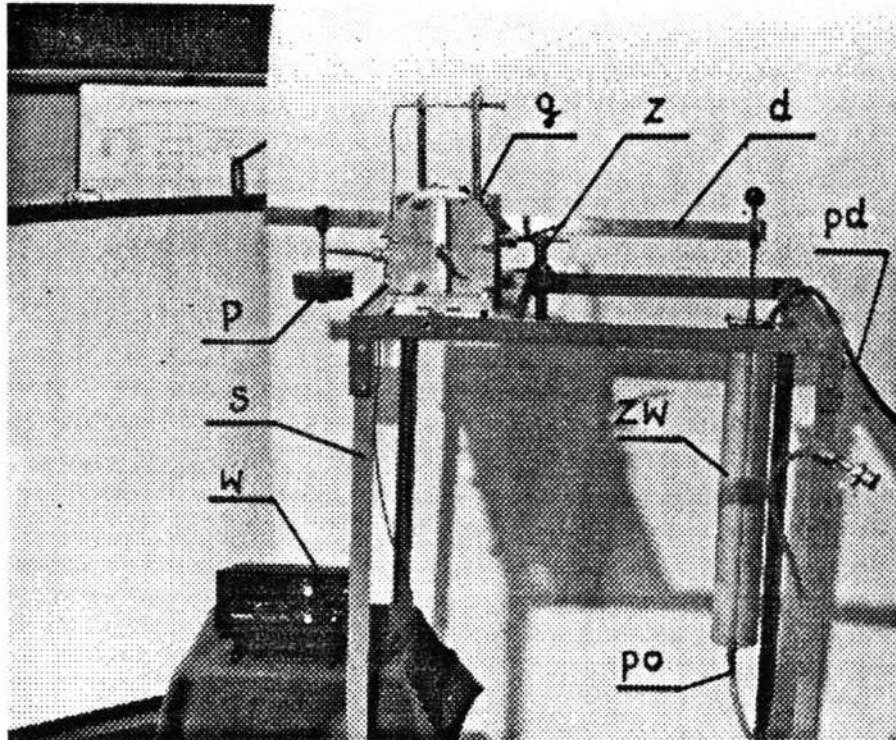
- a) skrucarka powinna być dostosowana do badania wielospoinowych próbek pryzmatycznych (Rys. 1) o różnym kształcie i wymiarach przekroju poprzecznego oraz o różnej długości,
- b) powinna zapewniać płynne zwiększanie wartości obciążenia ze stałą prędkością i płynne odciążanie próbki z tą samą stałą prędkością,
- c) prędkość obciążania i odciążania próbki powinna być regulowana w możliwie dużym zakresie,
- d) należy zapewnić dużą dokładność ustalania wartości obciążenia próbki i związaną z tym dobrą powtarzalność tej wartości podczas kolejnych obciążeń próbki,
- e) zapewniona winna być możliwość przykładania obciążeń długotrwałych o stałej wartości w celu prowadzenia badań reologicznych i wyznaczania wytrzymałości trwałej,
- f) zakres obciążeń powinien być tak dobrany, aby możliwe było zniszczenie próbki w celu wyznaczenia wytrzymałości doraźnej,
- g) pomiar kąta skręcenia powinien odbywać się na krótkich odcinkach pomiarowych o regulowanej długości  $l_0$  (Rys. 1),
- h) przy pomiarze odkształceń kilku kolejnych odcinków próbki winna istnieć możliwość dokładnego zachowania tej samej długości tych odcinków,
- i) należy zapewnić bardzo dokładny pomiar tych odkształceń.



Rys. 1. Próbką wielospoinowa z zaznaczonym odcinkiem pomiarowym o długości  $l_0$

### 3. Opis urządzenia

Urządzenie do badań wytrzymałościowych drewnianych połączeń klejowych poddawanych skręcaniu, zaprojektowane i wykonane zgodnie z założeniami podanymi w p. 2, przedstawiono na Rys. 2. Urządzenie to jest odrębnym stanowiskiem badawczym i składa się z czterech zasadniczych zespołów: konstrukcji nośnej (stojaka), układu obciążania próbki, układu jej mocowania i układu pomiaru jej odkształceń.



Rys. 2. Widok stanowiska: s – stojak stanowiska, d – dźwignia układu obciążającego, zw – zbiornik wody, pd – przewód doprowadzający wodę do zbiornika, po – przewód odprowadzający wodę ze zbiornika, p – przeciwciężar, z – zderzak dźwigni układu obciążającego, g – zespół głowicy stanowiska, w – wskaźnik cyfrowy czujnika indukcyjnego

Stojak „s” jest konstrukcją szkieletową wykonaną z kątowników stalowych 30x30 mm. Cechuje się lekkością a jednocześnie odpowiednią sztywnością, zapewniając wymaganą stateczność stanowiska.

Obciążanie próbki odbywa się grawitacyjnie, za pomocą ciężaru działającego na określonym ramieniu względem osi skręcania. Czynnikiem obciążającym jest woda zawarta w zbiorniku „zw”. Ciężar własny zbiornika jest równoważony przez przeciwciężar „p” zawieszony po drugiej stronie dźwigni dwuramiennej „d”. Wartość momentu obciążającego próbkę ustala się przez odpowiedni dobór masy wody i odległości osi zbiornika od osi skręcania. Zbiornik wody ma postać wydłużonego walca i zaopatrzony jest w wyskalowany wskaźnik rurkowy poziomu cieczy. Stanowisko wyposażone jest w zestaw czterech

wymiennych zbiorników o pojemnościach 3, 5, 10 i 30 dcm<sup>3</sup>. Największa odległość osi zbiornika od osi próbki wynosi 0,5 m.

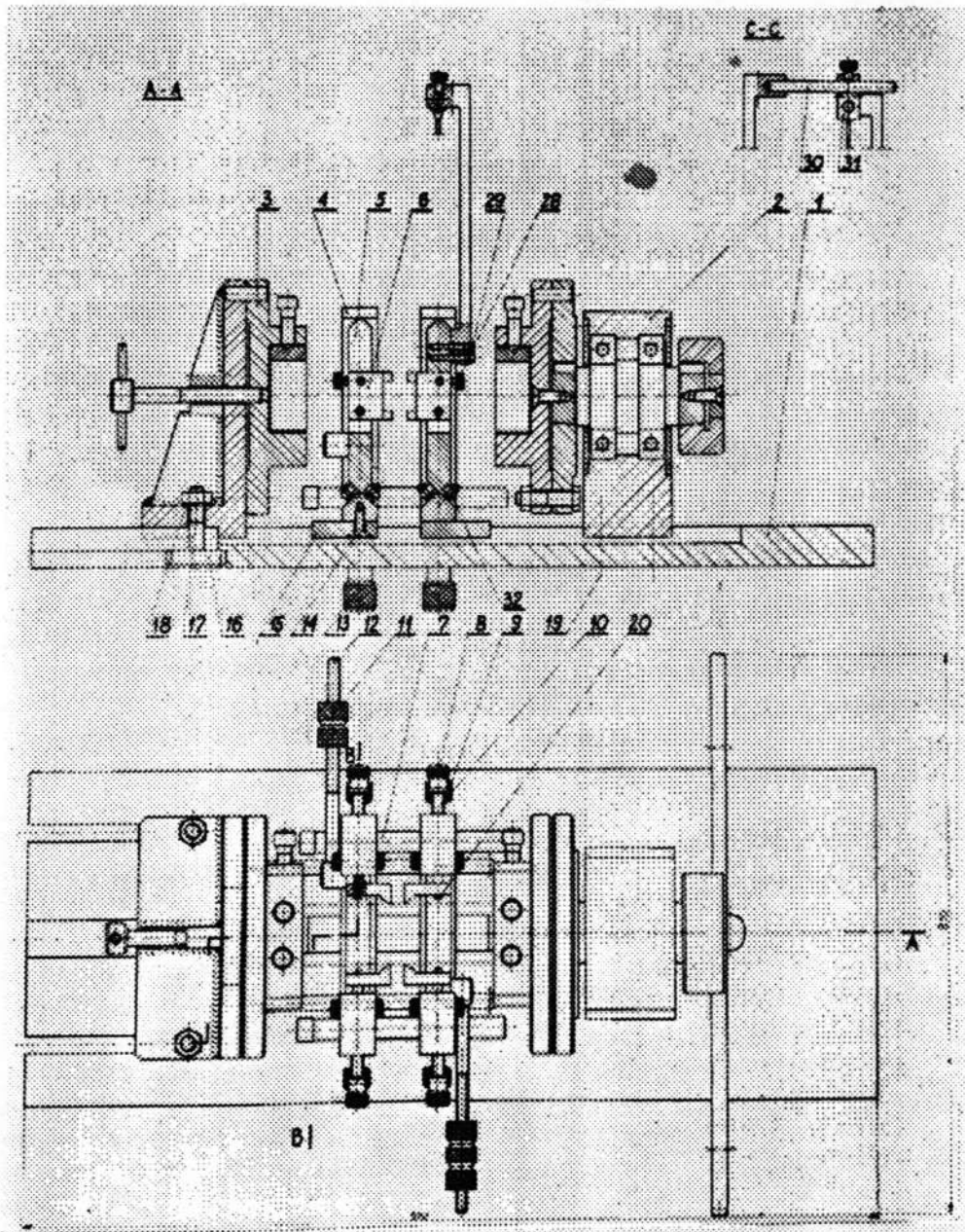
Prędkość obciążania może być regulowana poprzez zmianę natężenia przepływu wody wlewanej do zbiornika z sieci wodociągowej przez przewód doprowadzający „pd”. Zakres zmienności tej prędkości jest bardzo duży: od około 1 do 150 Nm/min. Odciążanie następuje przez spuszczenie wody ze zbiornika za pomocą przewodu odprowadzającego „po”. Przewód ten jest zakończony kurkiem umożliwiającym regulację prędkości odciążania. Przyjęty sposób obciążania próbki zapewnia nie tylko statyczne, płynne obciążanie z określoną, stałą prędkością, lecz także dużą dokładność ustalania wymaganej wartości obciążenia. Dokładność ta jest ważna, szczególnie ze względu na zapewnienie powtarzalności obciążeń podczas badania odkształceń kolejnych odcinków próbki. Niedokładność ustalania wartości obciążenia związana z pomiarem poziomu wody w zbiorniku nie przekracza 0,05 Nm dla zbiorników o pojemności 3 i 5 dcm<sup>3</sup>, 0,10 Nm dla zbiornika o pojemności 10 dcm<sup>3</sup> oraz 0,15 Nm dla zbiornika o pojemności 30 dcm<sup>3</sup>.

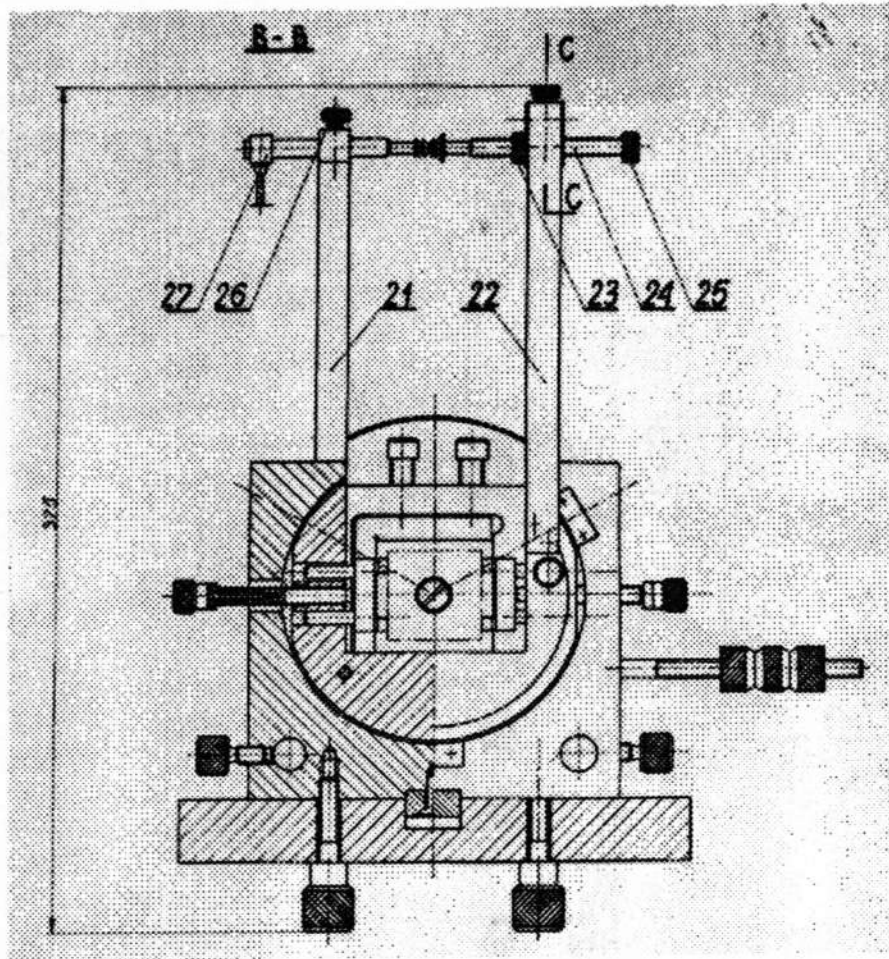
W celu zabezpieczenia elementów urządzenia przed uszkodzeniem mogącym wystąpić podczas ewentualnego zniszczenia próbki przewidziano zderzak „z”. Jest on związany przesuwnie ze stojakiem i ogranicza o żadaną wartość kąt obrotu dźwigni „d” układu obciążającego (Rys. 2).

Układy mocowania próbki i pomiaru jej odkształceń są zawarte w głowicy „g” stanowiska (Rys. 2). Konstrukcja tej głowicy jest przedstawiona na Rys. 3. Układ mocowania próbki składa się z dwóch uchwytów związanych z podstawą „1” głowicy przymocowaną do stojaka stanowiska. Zespół „2” uchwytu obrotowego zawiera obudowę połączoną nieprzesuwnie z podstawą za pomocą śrub „19” oraz ułożyskowany w tej obudowie uchwyt związany z dźwignią układu obciążającego. Zespół „3” uchwytu stałego (nieobrotowego) może być przesuwany w prowadnicy podstawy „1” w zależności od długości próbki.

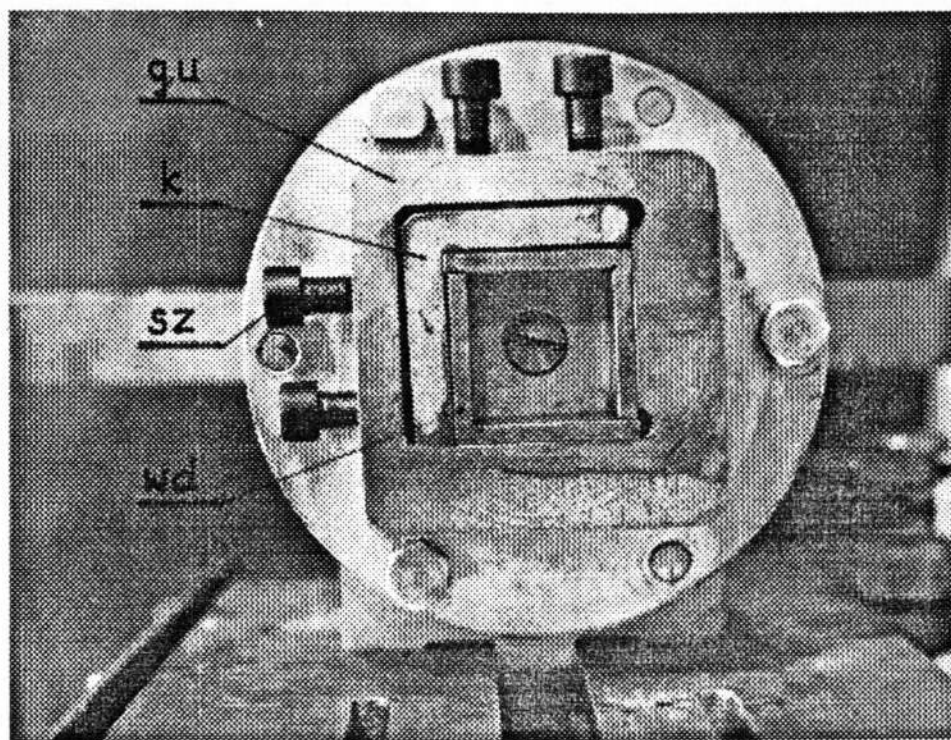
Sposób mocowania próbki w uchwytach wyjaśnia Rys. 4. Zacisk części chwytowej próbki w gnieździe uchwytu „gu” zapewniają cztery śruby „sz” dociskające próbkę poprzez kątownik „k” i wkładki „wd”. Wkładki te są wymienne i mogą być dostosowane do mocowania próbek o różnym przekroju poprzecznym ich części chwytowych. W wersji przedstawionej na Rys. 4 są one kątownikami o grubości ścianki 10 mm i umożliwiają zamocowanie w uchwytach próbek o przekroju kwadratowym 40x40 mm. Po usunięciu wkładek w uchwytach można mocować próbki o przekroju kwadratowym 50x50 mm. Dobierając odpowiednie wkładki można poddawać badaniom próbki, których części chwytowe mają przekrój prostokątny lub kołowy. W pierwszym przypadku długość krótszego boku przekroju nie może być mniejsza niż 20 mm a dłuższego – nie większa niż 50 mm, natomiast w drugim – średnica powinna mieścić się w zakresie 30–50 mm a powierzchnie wewnętrzne wkładek powinny być karbowane.

Badanym za pomocą skręćarki odkształceniem próbki jest względny kąt obrotu dwóch przekrojów poprzecznych (kąt skręcenia), przy czym cechą szczególną przyjętej metody badań są stosunkowo nieduże odległości między tymi przekrojami. Układ pomiaru kąta skręcenia składa się z dwóch głowiczek pomiarowych, z którymi poprzez elementy pośredniczące współpracuje czujnik indukcyjny. Układ ten jest widoczny na Rys. 3, 5 i 6. Głowiczki „5” zaciskane są na próbce dzięki zaciskom „6” zakończonym ostrzami. Obracając, poprzez sprzęgiełka „8”, śrubami „10” powoduje się dosunięcie

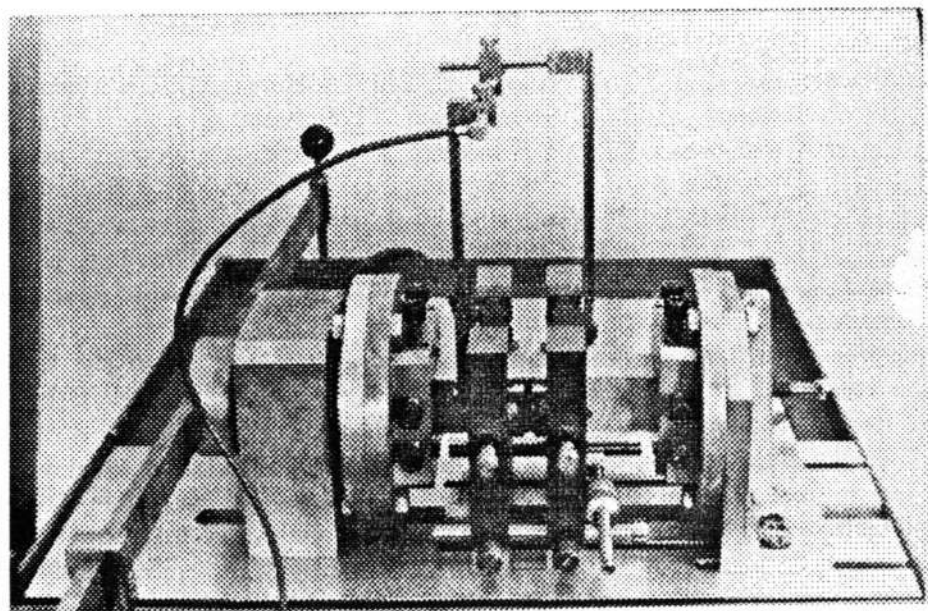




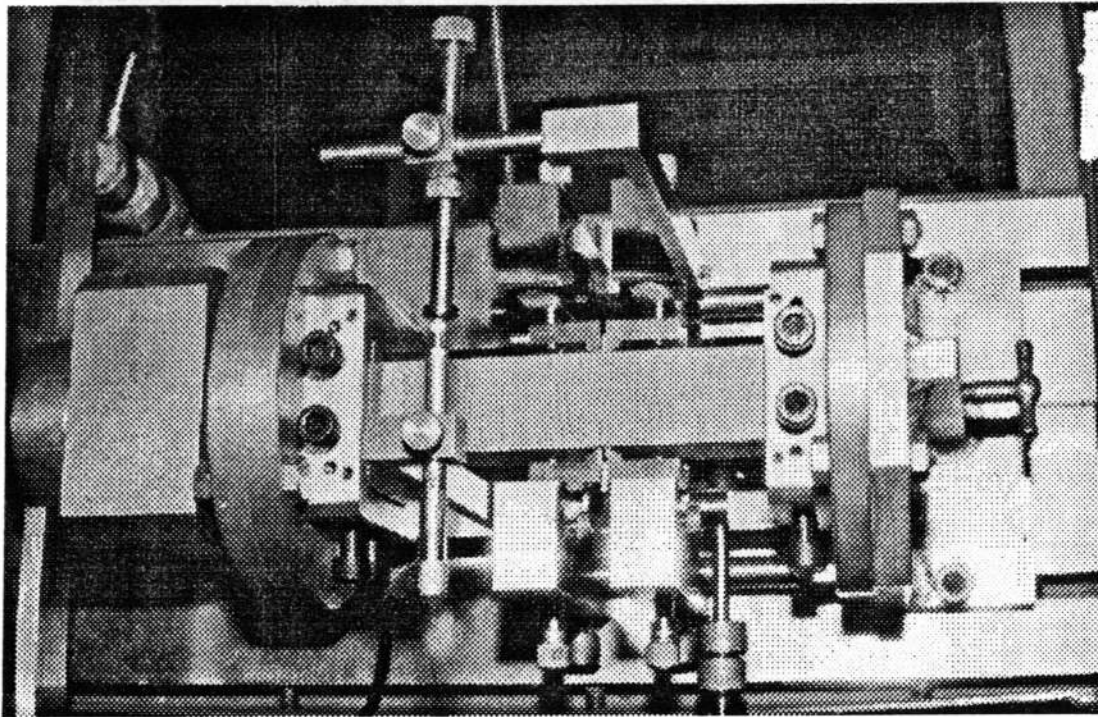
Rys. 3. Głowica stanowiska: 1 – podstawa głowicy, 2 – zespół uchwytu obrotowego próbki, 3 – zespół uchwytu stałego próbki, 4 – korpus głowiczki pomiarowej (2 szt.), 5 – głowiczka pomiarowa (2 szt.), 6 – zacisk głowiczki pomiarowej (4 szt.), 7 – przewodnica wzajemnego przesuwu korpusów 4 (2 szt.), 8 – sprzęgiełko mikrometryczne do przesuwu i docisku zacisków 6 (4 szt.), 9 – śruba zaciskowa korpusu 4 względem przewodnicy 7 (4 szt.), 10 – śruba przesuwu zacisków 6 (4 szt.), 11 – przeciwciężar głowiczki pomiarowej (2 szt.), 12 – przewodnica przeciwciężaru 11 (2 szt.), 13 – śruba zaciskowa korpusu 4 względem podstawy 1 (4 szt.), 14 – wkręt mocujący wpust 15 (2 szt.), 15 – wpust korpusu 4 (2 szt.), 16–18 – śruba, nakrętka i podkładka łączące uchwyt 3 z podstawą 1 (2 komplety), 19 – śruba łącząca obudowę łożyskowania uchwytu obrotowego z podstawą 1 (4 szt.), 20 – wkręt mocujący (32 szt.), 21, 22 – ramiona związane z głowiczkami pomiarowymi, 23 – nakrętka kontrolująca, 24 – śruba oporowo-regulacyjna, 25 – uchwyt śruby 24, 26 – śruba zaciskowa czujnika indukcyjnego, 27 – czujnik indukcyjny MDKa, 28 – śruba dociskowa zacisków 6 (8 szt.), 29 – śruby mocujące ramiona 21 i 22 (4 szt.), 30 – trzpień łączący przewodnicę 31 z ramieniem 22, 31 – przewodnica śruby 24, 32 – łożysko głowiczki pomiarowej (12 szt.)



Rys. 4. Widok uchwytu próbki: „gu” – gniazdo uchwytu, sz – śruby zaciskowe, k – kątownik dociskowy, wd – wkładki dystansowe dostosowane do próbek o przekroju poprzecznym 40x40 mm



Rys. 5. Głowica stanowiska – widok z boku



Rys. 6. Głowica stanowiska – widok z góry

pary zacisków do powierzchni próbki a następnie zaciśnięcie ich na próbce. Ostrza zacisków wciskają się nieznacznie w drewno, zapewniając sztywne połączenie głowiczki z danym przekrojem próbki.

Zastosowane rozwiązanie konstrukcyjne układu pomiarowego jest znamienne tym, że głowiczki pomiarowe są zamocowane obrotowo w korpusach „4” połączonych z podstawą „1” głowicy stanowiska. Każda z głowiczek „5” osadzona jest na trzech parach łożysk kulkowych „32” (Rys. 3). Konstrukcja łożyskowania zapewnia przy tym możliwość regulacji luzu między głowiczką a korpusem. Korpusy „4” mogą być przesuwane względem podstawy „1”. Wpusty „15” tych korpusów współpracują z tą samą prowadnicą podstawy, która jest bazą dla uchwytów „2” i „3” próbki. Zapewnia to współosiowość gniazd uchwytów i głowiczek pomiarowych.

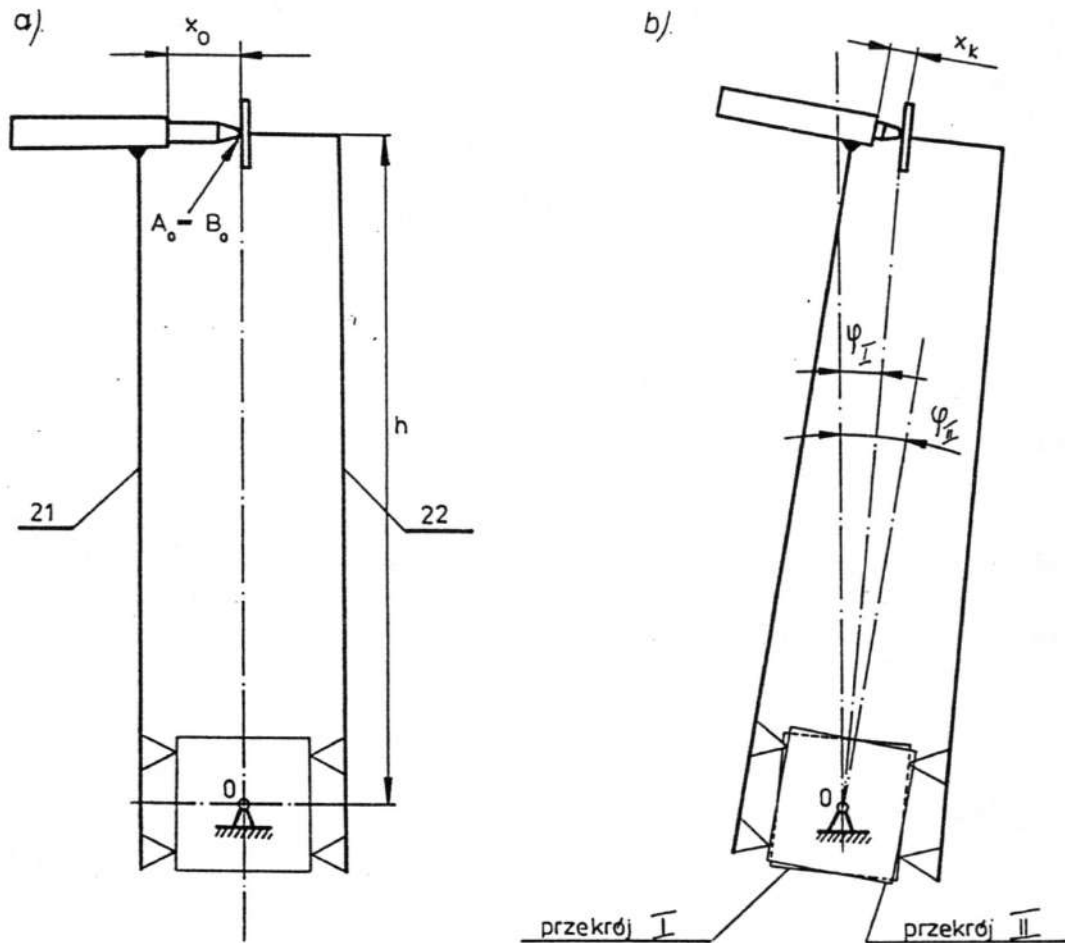
Drugim wyróżnikiem przyjętego rozwiązania układu pomiarowego jest wzajemne powiązanie korpusów „4” za pomocą prowadnic „7” i śrub zaciskowych „9”. Dzięki temu można zastosować tę samą odległość między ostrzami zacisków dwóch głowiczek (tę samą długość odcinka pomiarowego próbki) podczas pomiarów odkształceń kolejnych stref próbki. Jest to szczególnie ważne przy operowaniu bardzo krótkimi, rzędu dziesiątych części milimetra lub kilku milimetrów, odcinkami pomiarowymi. Po przeprowadzeniu badania dla danego odcinka próbki i zlurowaniu śrub zaciskowych „13” przesuwa się zablokowany zestaw korpusów „4” do następnego odcinka.

W celu możliwie dokładnego mierzenia kątów skręcenia zastosowano stosunkowo długie ramiona „21” i „22” związane z głowiczkami „5” za pomocą śrub „29”. W ramieniu



„21” zamocowany jest czujnik indukcyjny „27” dociskany śrubą „26”. Z ramieniem „22” współpracuje śruba oporowo-regulacyjna „24”. W zależności od długości odcinka pomiarowego próbki przewodnicę „31” tej śruby można przesuwając wzdłuż trzpienia „30”. Ramiona „21” i „22” powodują przesunięcie środków ciężkości głowiczek pomiarowych poza ich oś obrotu. Niezbędne było więc wyważenie głowiczek. W tym celu zastosowano przeciwcieżary „11” mocowane przesuwnie na prowadnicach „12” związanych sztywno z głowiczkami.

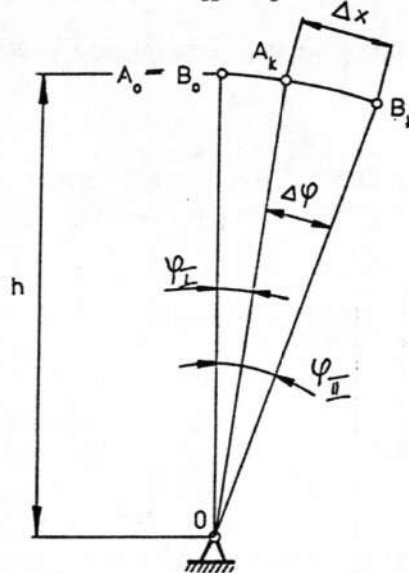
Zasadę pomiaru kąta skręcania badanego odcinka próbki przedstawiono na Rys. 7.



Rys. 7. Schemat pomiaru względnego kąta obrotu przekrojów I i II próbki; a – próbka nieobciążona, b – próbka obciążona momentem skręcającym

Kąt ten jest względny kąt obrotu końcowego i początkowego przekroju tego odcinka. Oznaczając przez  $\varphi_I$  i  $\varphi_{II}$  odpowiednio kąty obrotu przekroju I (początkowego) i przekroju II (końcowego) względem nieruchomej części próbki, otrzymujemy zatem następujący wzór na kąt  $\Delta\varphi$  skręcenia odcinka próbki:

$$\Delta\varphi = \varphi_{II} - \varphi_I \quad (1)$$



Rys. 8. Względny kąt obrotu  $\Delta\varphi$  i względne przemieszczenie pomiarowe  $\Delta x$

Pomiar kąta skręcenia odbywa się pośrednio, przez mierzenie względnego przemieszczenia  $\Delta x$  punktów A i B związanych odpowiednio z ramionami „21” i „22” i odległych o „h” od osi skręcania. W położeniu początkowym, przed obciążeniem próbki, punkty te pokrywają się:  $A_0 = B_0$ . Po skręceniu próbki przemieszczają się w położenia  $A_k$  i  $B_k$ . Zgodnie z Rys. 8 zachodzi związek:

$$\Delta\varphi = \frac{\widehat{A_k B_k}}{h} \quad (2)$$

Dla małych kątów  $\Delta\varphi$  można przyjąć:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{h} \quad (3)$$

przy czym przemieszczenie pomiarowe  $\Delta x$  jest równe, różnicy  $x_0 - x_k$  wskazań czujnika w położeniu początkowym i końcowym:

$$\Delta x = x_0 - x_k \quad (4)$$

Przyjęcie dość dużej, równej 200 mm, odległości „h” umożliwia uzyskiwanie stosunkowo dużych przemieszczeń  $\Delta x$  nawet przy bardzo małych kątach skręcenia  $\Delta\varphi$ . Pomiar

tych małych kątów jest przy tym bardzo dokładny. Ze względu bowiem na zastosowanie czujnika indukcyjnego o rozdzielczości wskazań równej  $1 \mu\text{m}$  lub  $0,1 \mu\text{m}$ , otrzymujemy następujące błędy pomiaru kąta skręcenia:

$$\Delta(\Delta\varphi) = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ rad} \approx 1 \text{ sekunda kątowa}$$

lub

$$\Delta(\Delta\varphi) = \frac{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ rad} \approx 0,1 \text{ sekundy kątowej}$$

W związku z wymaganą precyzją pomiarów poszczególne elementy układu pomiarowego wykonano bardzo dokładnie. Głowiczki pomiarowe, ich korpusy i dociski zostały wykonane ze stali stopowej 18G2A. Powierzchnie elementów szlifowano i częściowo polewowano. Ramiona układu pomiarowego cechują się dużą sztywnością i nie odkształcają się podczas pomiaru kąta skręcenia.

#### 4. Ocena poprawności działania urządzenia

Poza precyzją pomiarów kąta skręcenia próbki urządzenie powinno zapewniać powtarzalność wyników tych pomiarów. W celu sprawdzenia tej powtarzalności przeprowadzono badania na wybranych wielospoinowych próbkach drewnianych, przewidzianych do określania właściwości sprężystych spoiny klejowej.

Wybrano dwie próbki wykonane z drewna bukowego według Rys. 1, mające przekrój kwadratowy  $40 \times 40 \text{ mm}$  i długość  $180 \text{ mm}$ . Pierwsza z nich (próbka 1) sklejona była klejem polioctanowinylowym „Wikol” w ten sposób, że włókna drzewne jej poszczególnych elementów były prostopadłe do jej osi i zarazem równoległe do siebie, a ponadto słoje przyrostów rocznych były prostopadłe do płaszczyzn sklejenia elementów. Miano tu więc do czynienia ze sklejeniem równoległowłóknistym płaszczyznami promieniowymi. Druga próbka (próbka 2) sklejona była klejem mocznikowym U-70, przy czym układ włókien był taki sam jak w próbce 1, natomiast słoje przyrostów rocznych były styczne do płaszczyzn sklejenia. Miał tu więc miejsce przypadek sklejenia równoległowłóknistego płaszczyznami stycznymi.

W próbkach tych ustalono po dwa odcinki pomiarowe o jednakowej długości  $l_0$  równej  $3 \text{ mm}$ . Odcinki te obejmowały środkowe spoiny próbki (Rys. 1), przy czym spoina usytuowana była w środku danego odcinka. Próbki obciążano momentem skręcającym o wartości  $20 \text{ Nm}$ , zakładając że przy tej wartości obciążenia występują tylko odkształcenia sprężyste – zarówno w drewnie, jak i w spoinach klejowych. Wartość ta była dla badanych próbek stosunkowo nieduża, jeżeli weźmie się pod uwagę, że stanowiła zaledwie około  $15 \%$  wartości momentu niszczącego próbkę. Zatem powyższe założenie można uznać za zasadne.

Po trzykrotnym wstępnym obciążeniu próbki powyższym momentem przystąpiono do pomiaru odkształcenia na pierwszym odcinku pomiarowym. Stosując stałą prędkość obciążania równą  $50 \text{ Nm/min.}$ , wywierano najpierw obciążenie o wartości  $5 \text{ Nm}$  i zerowano przy nim czujnik indukcyjny. Po upływie  $10 \text{ s}$  zwiększano moment do  $20 \text{ Nm}$  i odczytywano wskazanie czujnika. Po  $10 \text{ s}$  próbkę obciążano z tą samą stałą prędkością wynoszącą  $50 \text{ Nm/min.}$  do poziomu około  $3 \text{ Nm}$ . Po jednonminutowym „odpoczynku”

ponawiano cykl pomiaru przyrostu kąta skręcenia wywołanego przez przyrost momentu obciążającego od wartości 5 do 20 Nm. Cykl ten powtarzano jeszcze trzykrotnie, po czym przesuwno zblokowany zestaw głowiczek pomiarowych do miejsca drugiego odcinka pomiarowego.

Wyniki badania powtarzalności pomiaru kąta skręcenia na poszczególnych odcinkach pomiarowych przy pięciu kolejnych cyklach obciążenia przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki badań powtarzalności pomiaru przyrostu kąta skręcenia odpowiadającego przyrostowi momentu skręcającego od 5 do 20 Nm

Miejsce pomiaru	Wyniki kolejnych pomiarów	Wartość średnia	Rozstęp	Odchylenie przeciętne	Odchylenie standardowe
$\mu\text{rad}$					
próbka 1 odcinek 1	312,5 311,0 312,0 311,0 313,0	311,9	2,0	0,72	0,89
próbka 1 odcinek 2	300,5 302,0 301,0 300,5 302,0	301,2	1,5	0,64	0,76
próbka 2 odcinek 1	261,5 261,0 260,0 261,5 261,0	261,0	1,5	0,40	0,61
próbka 2 odcinek 2	264,5 265,5 265,0 263,5 265,5	264,8	2,0	0,64	0,84

W tabeli tej zamieszczono też takie wielkości statystyczne charakteryzujące serię pięciu pomiarów, jak: wartość średnia, rozstęp, odchylenie przeciętne i odchylenie standardowe. Różnice między wynikami kolejnych pomiarów są niewielkie, ich podstawową przyczyną jest niedokładność w ustalaniu wartości obciążenia. Warto zauważyć, że odchylenia przeciętne od wartości średnich są na poziomie błęd pomiaru kąta skręcenia. Błąd ten przy wykorzystywanym zakresie pomiarowym czujnika indukcyjnego ( $\pm 200 \mu\text{m}$ ) i odpowiadającej temu zakresowi rozdzielczości ( $0,1 \mu\text{m}$ ) jest równy  $0,5 \mu\text{rad}$ . Odchylenia standardowe dla poszczególnych serii pomiarów przekraczają ten błąd w niewielkim stopniu. Można zatem stwierdzić, że urządzenie zapewnia powtarzalność wyników pomiarów odkształceń

sprężystych próbek połączeń klejowych. Dodać należy, że zróżnicowanie wartości średnich kąta skręcenia na odcinkach 1 i 2 próbki wynika przede wszystkim z niejednorodności drewna.

Poza oceną powtarzalności pomiaru kąta skręcenia przeprowadzono badania mające na celu wyjaśnienie, czy w istotnym, ze względu na skręcanie drewnianych próbek klejonych, zakresie pracy urządzenia mierzone odkształcenia próbek są proporcjonalne do ich obciążenia. Wykorzystano te same próbki i te same ich odcinki pomiarowe, co przy badaniu powtarzalności odkształceń. Mierzono przyrosty kąta skręcenia wywołane przez stały przyrost wartości momentu skręcającego równy 5 Nm. Jako końcową wartość tego momentu przyjęto 30 Nm, zakładając że do tej wartości obciążenia drewno jest ciałem liniowo sprężystym. Prędkość obciążania była stała i wynosiła 50 Nm/min.

Wyniki powyższych badań oraz odpowiadające im wielkości statystyczne zestawiono w Tabeli 2. Dla próbki 2, a więc dla złączy drewno – klej mocznikowy – drewno, kolejne przyrosty kąta skręcenia danego odcinka pomiarowego różnią się w niewielkim stopniu

**Tabela 2. Wyniki badania proporcjonalności przyrostu kąta skręcenia do przyrostu momentu skręcającego**

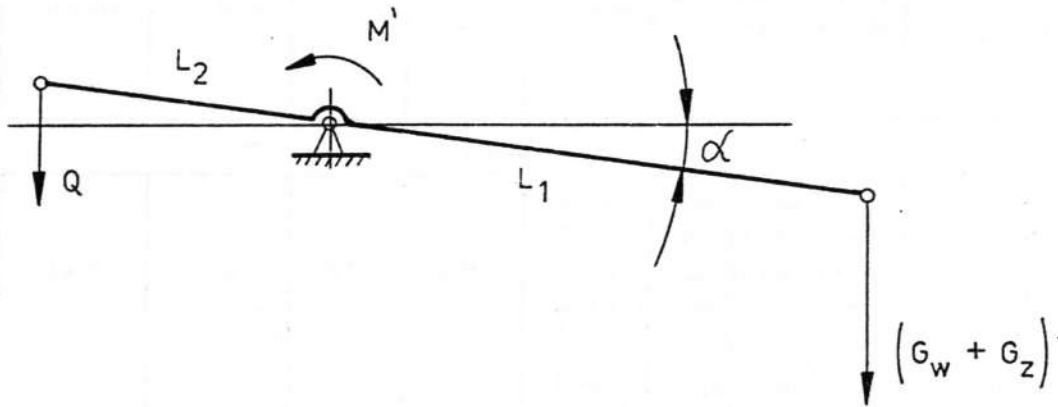
Miejsce pomiaru	Przyrost momentu skręcającego	Przyrost kąta skręcenia	Wartość średnia	Rozstęp	Odchylenie przeciętne	Odchylenie standardowe
$\mu$ rad						
próbka 1 odcinek 1	od 5 do 10 Nm	102,0	105,6	7,0	1,92	2,63
	od 10 do 15 Nm	104,5				
	od 15 do 20 Nm	105,5				
	od 20 do 25 Nm	107,0				
	od 25 do 30 Nm	109,0				
próbka 1 odcinek 2	od 5 do 10 Nm	99,5	102,3	6,0	2,16	2,66
	od 10 do 15 Nm	100,0				
	od 15 do 20 Nm	102,0				
	od 20 do 25 Nm	104,5				
	od 25 do 30 Nm	105,5				
próbka 2 odcinek 1	od 5 do 10 Nm	87,0	87,0	2,5	0,60	0,94
	od 10 do 15 Nm	86,0				
	od 15 do 20 Nm	87,0				
	od 20 do 25 Nm	88,5				
	od 25 do 30 Nm	86,5				
próbka 2 odcinek 2	od 5 do 10 Nm	87,0	88,9	3,0	0,76	1,14
	od 10 do 15 Nm	89,0				
	od 15 do 20 Nm	89,0				
	od 20 do 25 Nm	90,0				
	od 25 do 30 Nm	89,5				

Biorąc pod uwagę błędy ustalania wartości obciążenia i pomiaru kąta skręcenia, można tu mówić o proporcjonalności odkształceń do obciążeń. Natomiast dla próbki 1, w której występują złącza drewno – klej poliocetanowinyłowy – drewno, ma miejsce większe zróżnicowanie przyrostów odkształcenia. Ich wartość wzrasta przy zwiększaniu poziomu obciążenia. Wynika to z faktu, że spoina utworzona z kleju poliocetanowinyłowego nie jest ciałem liniowo sprężystym i już przy niewielkich obciążeniach wykazuje skłonność do pełzania. Można ostatecznie stwierdzić, że oceniane urządzenie ma charakterystykę liniową – zapewnia uzyskanie i pomiar odkształceń proporcjonalnych do obciążeń, jeśli tylko materiał próbki charakteryzuje się sprężystością liniową.

Rozpatrzmy jeszcze sposób obliczania momentu skręcającego próbkę. Po jej skręceniu o kąt  $\alpha$ , a więc po jednoczesnym obróceniu się dźwigni układu obciążającego o ten kąt (Rys. 9), wartość  $M$  momentu jest równa:

$$M = [(G_w + G_z)l_1 - Ql_2] \cos\alpha, \quad (5)$$

gdzie:  $G_w$  – ciężar wody zawartej w zbiorniku,  $G_z$  – ciężar zbiornika,  $Q$  – przeciwcieżar,  $l_1$  i  $l_2$  – długości ramion dźwigni.



Rys. 9. Siły działające na dźwignię układu obciążającego

Ponieważ przeciwcieżar równoważy działanie ciężaru zbiornika, zatem:

$$Ql_2 = G_z l_1 \quad (6)$$

i wzór na moment obciążający próbkę przyjmuje postać:

$$M = G_w l_1 \cos\alpha. \quad (7)$$

Wartość momentu maleje więc ze wzrostem kąta  $\alpha$ .

Dla małych kątów  $\alpha$ , jakie występują przy badaniu próbek w zakresie odkształceń sprężystych, to zmniejszanie się wartości momentu można uznać za nieistotne i operować wzorem przybliżonym:

$$M = G_w l_1 \quad (8)$$

Dla próbek wykorzystanych w opisanych wcześniej badaniach momentowi skręcającemu o wartości 30 Nm odpowiadał całkowity kąt skręcenia próbki rzędu 0,025 rad. Błąd wynikający z zastosowania przybliżonego wzoru (8) wynosi w tym przypadku:

$$\delta M = \frac{\cos \alpha - 1}{\cos \alpha} \times 100 \% = -0,031 \%,$$

a więc jest pomijalny.

## 5. Podsumowanie

Przedstawione w pracy urządzenie do badań wytrzymałościowych poddawanych skręcaniu drewnianych połączeń klejowych spełnia wszystkie założenia projektowe wynikające z metodyki badań tych połączeń opracowanej w Katedrze Wychowania Technicznego Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Bydgoszczy. Charakteryzuje się szerokim zakresem możliwości badawczych – może być wykorzystywane do wyznaczania właściwości sprężystych i lepkosprężystych spoin klejowych łączących elementy drewniane a także do określania wytrzymałości doraźnej i trwałej tych spoin.

Urządzenie to jest szczególnie przydatne do badania właściwości sprężystych cienkich spoin klejowych w drewnie, tym bardziej, że możliwości takiej nie zapewniają inne znane skręcarki. Wyróżnia się tym, że pomiaru kąta skręcenia dokonuje się na krótkim odcinku próbki wielospoinowej oraz tym, że zapewnia dokładne zachowanie przyjętej długości tego odcinka podczas pomiaru odkształceń w różnych miejscach próbki.

Eksperymenty przeprowadzone na prototypie urządzenia wykazały poprawność jego działania, a przede wszystkim dobrą powtarzalność wyników pomiarów odkształceń. Poprawność i niezawodność urządzenia potwierdziły też badania opisane w pracy 15.

Należy dodać, że skręcarka może być także wykorzystywana do badania właściwości sprężystych lub lepkosprężystych drewna i to za pomocą tych samych wielospoinowych próbek klejonych, które przedstawiono w pracy. Można przy tym uwzględnić anizotropię drewna i tak sklejać części próbki, aby jej skręcanie odbywało się wokół osi pokrywających się z różnymi kierunkami anatomicznymi drewna.

## LITERATURA

- [1] Boruszak A., Sygulski R., Wrześniowski K.: Wytrzymałość materiałów – doświadczalne metody badań. Warszawa–Poznań PWN 1984
- [2] Grudziński K.: Badania własności mechanicznych klejów i połączeń klejowych przy czystym ścinaniu, W: Problemy wytrzymałości konstrukcji klejonych. Szczecin PTMTiS, SIMP 1972 s. 99–115
- [3] Jakowluk A.: Mechanika techniczna i ośrodków ciągłych. Ćwiczenia laboratoryjne. Warszawa PWN 1977
- [4] Jastrzębski P., Mutermilch J., Orłowski W.: Wytrzymałość materiałów, cz. I. Warszawa Arkady 1985
- [5] Katarzyński S., Kocańda S., Zakrzewski M.: Badanie własności mechanicznych metali. Warszawa WNT 1967

- [6] Mikoszewski J.: Maszyny i przyrządy wytrzymałościowe. Warszawa WNT 1957
- [7] Norma ASTM E 229-70 (Reapproved 1981): Standard test method for shear strength and shear modulus of structural adhesives
- [8] Peretz D.: Shear stress-strain characteristic of adhesive layers. Journal of Adhesion, 1978, vol. 9, s. 115-122
- [9] Praca zbiorowa: Ćwiczenia laboratoryjne z wytrzymałości materiałów. Warszawa PWN 1985
- [10] Praca zbiorowa: Laboratorium mechaniki technicznej, cz. I. Bydgoszcz Wydawnictwo ATR w Bydgoszczy 1975
- [11] Praca zbiorowa: Laboratorium z wytrzymałości materiałów. Wrocław Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej 1988
- [12] Rżysko J., Wilczyński A.: Laboratorium wytrzymałości materiałów. Warszawa Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej 1973
- [13] Szaposznikow N.: Badanie własności mechanicznych metali. Warszawa PWN 1954
- [14] Wilczyński A.: Badanie sprężystości spoiny klejowej w drewnie przez skręcanie złącza, W: III Sesja „Badania dla meblarstwa”. Poznań Wydawnictwo AR w Poznaniu 1988 s. 141-152
- [15] Wilczyński A.: Badania naprężeń ścinających w spoinie klejowej w drewnie. Bydgoszcz Wydawnictwo WSP w Bydgoszczy 1988

## DAS GERÄT FÜR DIE FESTIGKEITSUNTERSUCHUNGEN DER HOLZLEIMVERBINDUNGEN, DIE DER VERDREHUNG AUSGESETZT WERDEN

### Zusammenfassung

In der Arbeit wurde das Gerät für die Verdrehung und Messung der Verformung von den Mehrfugenholzproben dargestellt. Bei Anwendung von Untersuchungsmethodik, die im Lehrstuhl für Technik an der Pädagogischen Hochschule in Bydgoszcz bearbeitet wurde, kann man mit Hilfe dieses Geräts Elastizitätseigenschaften von der die Holzelemente verbundenen Leimfuge bestimmen. Die mit Gerätsprototyp durchgeführten Untersuchungen haben die Richtigkeit seiner Wirkung bestätigt. Dieses Gerät kann sowohl für die Bestimmung der Leimfugenfestigkeit, als auch für die Untersuchungen von mechanischen Holzeigenschaften bei Verdrehung ausgenutzt werden.