

MACIEJ ŁAWNICZAK

Elastyczność drewna w świetle niektórych własności polimerów

Эластичность древесины в свете некоторых свойств полимеров

Elasticity of Wood in the Light of Certain Polymers' Properties

W „Sylwaniu“ nr 10/1959 r. ukazał się mój artykuł pt. „Reologia drewna“, w którym zazębiające się sprężyste i plastyczne własności drewna próbowałem scharakteryzować na podstawie uproszczonej i pogładowej metody schematów reologicznych. W artykule tym celowo pominąłem opis zjawisk występujących w drewnie podczas jego obciążania. Przyczyną tego były wyniki badań zawarte w publikacjach naukowych, jak również wyniki uzyskane na podstawie badań własnych [24, 25], które nie pozwalały na bezkrytyczne przyjęcie spotykanych w literaturze wyjaśnień, dotyczących zachowania się drewna podczas badania własności mechanicznych.

Dotychczas w większości prac zagadnienie odkształcania się drewna opisywano na podstawie analogii z mechanicznymi własnościami twardych ciał krystalicznych.

Ponieważ nie wszystkie zjawiska występujące w drewnie podczas jego odkształcania można wytłumaczyć analogią z mechanicznymi własnościami ciał twardych, przeto powstała konieczność nowego spojrzenia na wspomniane zjawiska. Wykonanie tego zadania ułatwiły autorowi najnowsze publikacje naukowe.

Przed przystąpieniem do opisanie zjawisk występujących w drewnie podczas jego odkształcania, pragnę pokrótce ustosunkować się do uwag dotyczących wspomnianego artykułu pt. „Reologia drewna“, zawartych w artykule M. Z e n k t e l e r a pt. „Jeszcze o reologii drewna“, opublikowanym w „Sylwaniu“ nr 2/61.

W artykule tym M. Z e n k t e l e r stwierdza, że przedstawiony na rys. 4 układ reologiczny niewłaściwie odzwierciedla własności drewna. Wspomnianemu układowi reologicznemu przeciwstawia M. Z e n k t e l e r zaczerpnięte z literatury [8] dwa układy, przedstawione w jego artykule na ryc. 2 i 3.

Układ reologiczny przedstawiony przez M. Z e n k t e l e r a na rys. 3 zawiera, podobnie jak układ reologiczny podany przez autora na ryc. 4, dwa przekroje cylindra oraz dwie sprężyny równoległe do kierunku działania siły, w wyniku czego układy te tłumaczą identyczne zachowanie się drewna podczas jego obciążenia oraz po odciążeniu.

W artykule pt. „Reologia drewna“ nie wprowadziłem podziału na odkształcenia drewna występujące poniżej i powyżej tzw. przedziału

plastycznej płynności, jak to uczynił M. Zenkteler za Churchjańskim (8), ponieważ badania Kaszkarowa (19) wykazały w sposób przekonujący, że przedział plastycznej płynności nie jest wartością stałą, lecz zmienną zależną od okresu działania siły. Ponadto — jak podaje Iwanow (18) — już w r. 1948 Chevandieri Vertheim stwierdzili, że od samego początku obciążenia w drewnie pojawiają się trwałe odkształcenia. W związku z powyższym przyjąłem tylko jeden układ reologiczny, w oparciu o który starałem się w sposób ogólny wytłumaczyć zachowanie się drewna jako tworzywa charakteryzującego się własnościami sprężystymi, sprężystego opóźnienia i własnościami plastycznymi. Dodać należy, że w pełni zdawałem sobie sprawę z tego, że żaden schemat nie może całkowicie odzwierciedlić własności drewna.

M. Zenkteler nie może ponadto dopatrzeć się podobieństwa między wykresami przedstawionymi na ryc. 5 i ryc. 6. Moim zdaniem, podobieństwo między wspomnianymi wykresami istnieje, z tym, że na obu wykresach przedstawione krzywe dalej przebiegają równoległe do osi odciętych.

Przed przystąpieniem do rozwiązania postawionego zadania należy przypomnieć, że własności mechaniczne drewna są uzależnione od własności substancji wchodzących w skład drewna. Jak wiadomo drewno jest zbudowane z komórek, których ścianki składają się średnio w 51⁰/₀ z celulozy, w 9—20⁰/₀ z hemiceluloz oraz w ok. 30⁰/₀ z ligniny. Strukturę ścianki komórkowej nadaje celuloza, jako główny materiał „budowlany“. Celuloza natomiast jest polimerem charakteryzującym się zorientowaną, wysokocząsteczkową budową.

W ostatnich dwudziestu latach powstała nowa gałąź nauki „chemia fizyczna polimerów“, która w wyraźny sposób stwierdza odmienny charakter własności mechanicznych polimerów w stosunku do normalnych twardych ciał krystalicznych.

W związku z tym uważam za celowe krótkie omówienie w niniejszym artykule niektórych charakterystycznych własności drewna i polimerów. Celem tego omówienia jest dążenie do wykazania podobieństwa między niektórymi własnościami drewna i polimerów.

Zaznaczyć należy, że w pełni zdaję sobie sprawę z niemożności rozwiązania postawionego zagadnienia w ramach jednego artykułu oraz z tego, że wiele porównań będzie miało charakter dyskusyjny.

Przy omawianiu niektórych własności drewna postanowiłem ograniczyć się tylko do tych własności twardych ciał krystalicznych, które nie dają się wytłumaczyć na podstawie zjawisk występujących podczas badania własności mechanicznych twardych ciał krystalicznych.

Podczas charakteryzowania własności drewna w wielu przypadkach, podobnie jak np. u metali, określano granicę sprężystości i proporcjonalności. Badania wykonane przy dużej dokładności pomiaru odkształceń (do 1,4 · 10⁻⁴ %) wykazały, że w drewnie nie występuje granica sprężystości i proporcjonalności [18].

Iwanow starał się usystematyzować występujące w drewnie pod wpływem naprężenia odkształcenia przez podział odkształceń na dwa zakresy. Do pierwszego zakresu zaliczył odkształcenia sprężyste i sprężystego opóźnienia. Natomiast do drugiego zakresu zaliczył szybko przyrastające odkształcenia pod wpływem stałego obciążenia aż do chwili zni-

szczenia próbki (15). Za granicę tych dwóch zakresów odkształceń uznał przedział plastycznego płynięcia. Przedział plastycznego płynięcia, jak wspomniano uprzednio, nie jest wartością stałą, gdyż zmniejsza się wraz z czasem działania siły (18).

Odształcenia występujące poza przedziałem plastycznego płynięcia, z powodu podobieństwa do pełzania ciał stałych krystalicznych, utożsamiono z micelarnym pełzaniem celulozy i uznawano za odkształcenia plastyczne (7).

Proces pełzania ciał twardych krystalicznych, np. metali, w początkowym okresie odkształceń połączony jest z występowaniem pasm poślizgu na powierzchni próbki. W drugim okresie pełzania występujące ze stałą prędkością zmiany w odkształcenia polegają jedynie na nieznacznym zagęszczeniu się pasm poślizgu. W trzecim zakresie występuje natomiast znaczny przyrost długości prowadzący w końcu do powstania szyjki wydłużenia i zniszczenia badanej próbki (36).

Proces odkształcania drewna poza przedziałem plastycznego płynięcia różni się od procesu pełzania metali. Wyniki doświadczeń wielu badaczy wykazały, że w normalnej temperaturze drewno obciążone siłą mniejszą od tzw. umownej granicy sprężystości pod wpływem czasu działania siły ulega dalszemu odkształceniu (1, 2, 3, 4, 7, 21, 22, 35), czego nie spotyka się u ciał twardych krystalicznych.

Badania przeprowadzone przez I w a n o w a, polegające na kolejnym okresowym obciążeniu i odciążeniu spęczniałego drewna wzdłuż włókien, powyżej przedziału plastycznej płynności naprężeniami ściskającymi wykazały, że po każdym cyklu obciążenia i odciążenia wzrastają odkształcenia elastyczne i trwałe (17).

Badania z zakresu relaksacji naprężeń w drewnie wykazały, że naprężenia przy stałym odkształceniu pod wpływem czasu ulegają relaksacji zarówno przy odkształceniu mniejszym jak i większym od umownej granicy sprężystości (1, 12, 13, 14). Decydujący wpływ na relaksację naprężeń w drewnie posiada jego wilgotność i temperatura. Wzrost wilgotności jak również i temperatury przyspiesza relaksację naprężeń [10, 24, 25, 27, 28].

Odształcenia powstałe w drewnie bukowym w stanie zupełnie suchym, jak również w stanie maksymalnie wilgotnym, poddanym ściskaniu w poprzek włókien pod wpływem wzrostu temperatury zwiększają się.

Badania wykazały, że odkształcenia powstałe podczas ściskania w poprzek włókien maksymalnie spęczniałego drewna bukowego uważane dotychczas za plastyczne są w rzeczywistości odkształceniami elastycznymi (26).

Wyniki badań wykonanych przez P e r k i t n e g o (31—34) dotyczące wpływu siły obciążającej na odkształcenia wilgotnościowe i mechaniczne drewna wykazują, że własności drewna różnią się zasadniczo od własności twardego ciała krystalicznego.

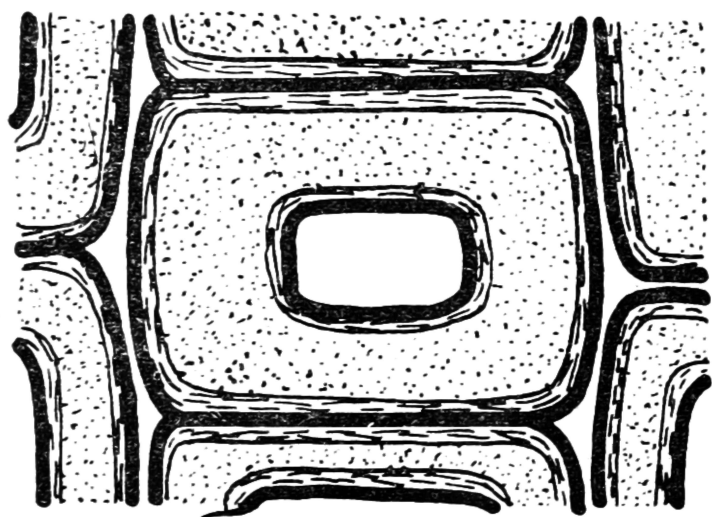
Ponieważ drewno jest ciałem porowatym, przeto należy zdać sobie sprawę z faktu, że odkształcenia drewna są odkształceniami substancji wchodzącej w skład ścianki komórkowej. W czasie odkształcania się ścian komórkowych mogą zachodzić przemieszczenia i zmiany kształtu anatomicznych elementów budowy drewna.

Dla wyjaśnienia wpływu działania siły na mikroskopowe zmiany budowy drewna przeprowadzono badania mikroskopowe mające na celu usta-

lenie zmian powstających podczas ściskania drewna sosnowego (16). Badania te wykazały, że przy ściskaniu wzdłuż włókien do momentu powstania zmarszczek, zniszczenia (ścięcia) nie występują w drewnie sosnowym żadne zmiany mikroskopowe. Zmarszczki powstałe w miejscu ścięcia próbki mają charakter miejscowy, a zniszczenie ogranicza się tylko do samej zmarszczki. W ten sposób wykazano, że odkształcenia występujące poza przedziałem plastycznego płynięcia podczas ściskania drewna wzdłuż włókien nie są związane z mikroskopowym przemieszczaniem się elementów składowych drewna. Odkształcenia występujące natomiast przy ściskaniu drewna sosnowego w poprzek włókien, poza podziałem plastycznego płynięcia, w pewnym stopniu są uwarunkowane zmianami poprzecznego przekroju komórek (16).

Podczas badania udarności drewna olchy stwierdzono, że w miejscu przełomu uszkodzeniu ulegają tylko blaszki środkowe zbudowane z cząstek ligniny, natomiast cząsteczki celulozowe tworzące błonę wtórną pozostają nie uszkodzone (20).

Wartości określające wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien różnych gatunków drewna w porównaniu z objętością poszczególnych tkanek



Ryc. 1. Schemat budowy ścianki komórkowej: 1 — substancja międzykomórkowa, 2 — błona pierwotna, 3 — błona wtórna (wg Frey-Wysslinga, 9),

wykazują, że większa część siły działającej na drewno przejmowana jest przez włókna mechaniczne i dlatego bardzo istotnym zagadnieniem jest ich budowa. Należy przypomnieć, że w drewnie liściastym głównym elementem budowy są włókna drzewne stanowiące około 50% ogólnej objętości drewna. W drewnie gatunków iglastych natomiast decydującą rolę odgrywają cewki stanowiące około 90% ogólnej masy drewna (23), z tym, że rolę mechanicznych włókien spełniają tutaj cewki drewna późnego.

Schemat budowy błony komórkowej przedstawia ryc. 1.

W błonie całkowicie wykształconych komórek, szczególnie w grubych błonach przeznaczonych do wypełniania czynności mechanicznej, rozróżnia się w sposób najbardziej ogólny bardzo cienką błonę pierwotną i szer-

oką błonę wtórną. Błona wtórna z kolei dzieli się na trzy warstwy: cienką, zewnętrzną warstwę bezpośrednio przylegającą do błony pierwotnej, grubą warstwę środkową i cienką, wewnętrzną warstwę wyścielającą wnętrze komórki.

Dwie pierwotne błony należące do dwu sąsiednich komórek połączone substancją międzykomórkową tworzą blaszkę środkową.

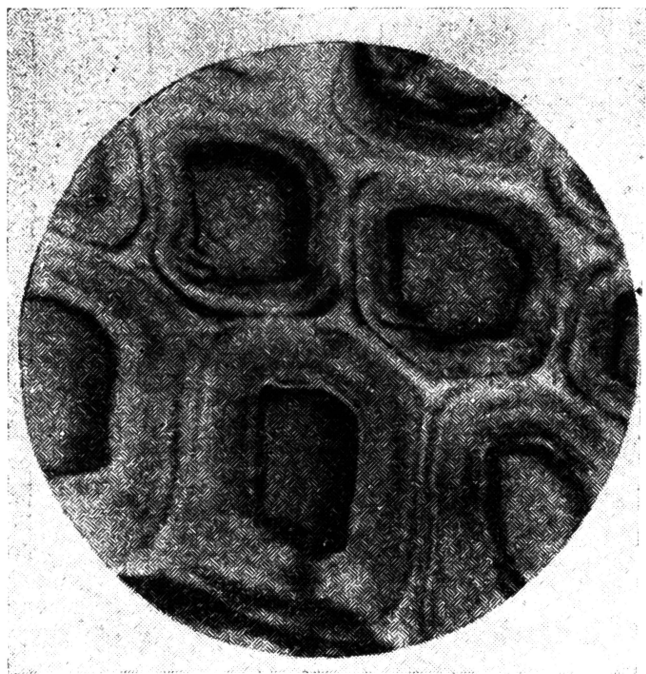
Skład substancji międzykomórkowej jest niejednakowy w różnych stadiach rozwoju. W zdrewniałych błonach komórkowych składa się ona głównie z ligniny. Błona pierwotna składa się również z ligniny z domieszką celulozozy. Błona wtórna składa się natomiast z celulozy i hemiceluloz, które silnie są inkrustowane ligniną. Celuloza tworzy micelarny szkielet błony komórkowej inkrustowanej substancjami wypełniającymi. Strukturę błony komórkowej tworzą włókna celulozowe składające się z wydłużonych łańcuchów celulozy układających się w micela.

Szczegółowy opis budowy ścian komórkowych znajdują czytelnicy w podręczniku prof. dra Fr. Krzysika pt. „Nauka o drewnie“ (23). W literaturze podano (30), że błona pierwotna zawiera maksymalną ilość ligniny dochodzącą do 70⁰ ciężaru wszystkich substancji. We wtórnej błonie natomiast zawartość ligniny jest znacznie mniejsza i wynosi 20–30⁰.

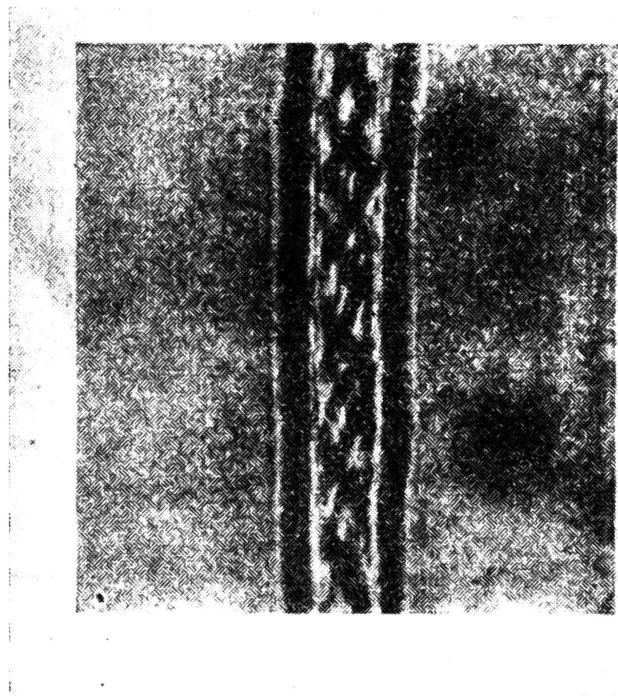
Badania Moskalewej (30) wykazały, że we wtórnej błonie drewna sosnowego zawartość ligniny wynosi tylko 6,9⁰.

Budowę błon komórkowych drewna sosnowego przedstawiono na ryc. 2, strukturę cewki drewna sosnowego na ryc. 3.

Frey-Wysling (9) podaje, że następstwem zorientowanego położenia substancji we wtórnych błonach komórkowych jest ich duży moduł



Ryc. 2. Poprzeczny przekrój drewna sosny — budowa błony komórkowej w 2500-krotnym powiększeniu (wg Moskalewej, 30)



Ryc. 3. Przekrój cewki drewna sosny w 1500-krotnym powiększeniu (wg Moskalewej, 30)

sprężystości. Na skutek wysokiego modułu sprężystości oraz dużej szerokości błony wtórnej, w stosunku do blaszki środkowej, błona wtórna przejmuje zasadniczą część siły działającej na drewno.

Ponieważ nie stwierdzono podczas ściskania drewna wzdłuż włókien żadnych mikroskopowych zmian w strukturze drewna oraz z uwagi na fakt, że zasadniczą część działającej siły przejmuje wtórna błona komórkowa, przeto przez analogię można w pewnym określonym zakresie utożsamiać odkształcenia drewna z własnościami anizotropowej wysokocząsteczkowej substancji zwanej celulozą.

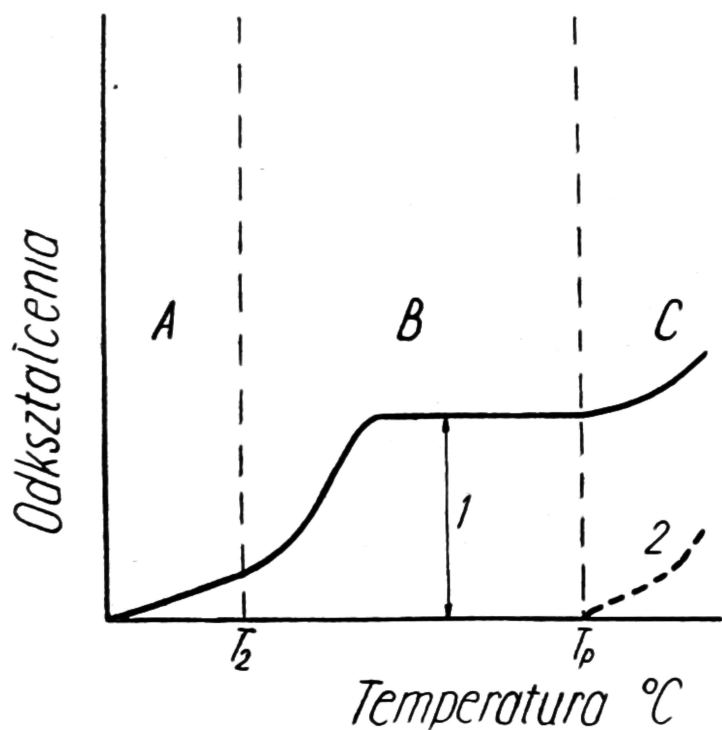
Wszystkie rodzaje odkształceń występujące w wysokocząsteczkowych substancjach zwanych polimerami można podzielić na trzy rodzaje.

a) Odkształcenia sprężyste odwracalne, które są następstwem zmian odległości między cząsteczkami w granicach działania sił przyciągania międzycząsteczkowego.

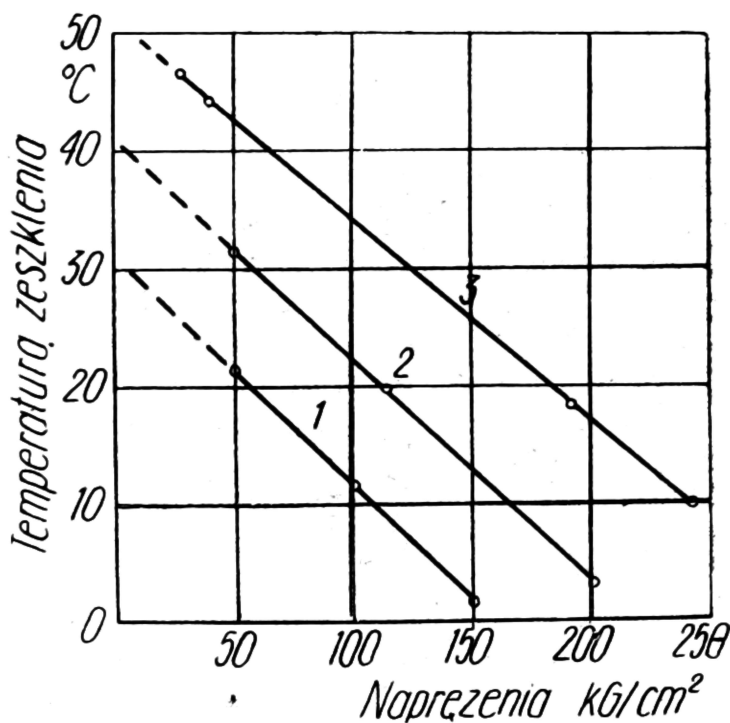
b) Odkształcenia plastyczne nieodwracalne (spowodowane wzajemnym przesunięciem) cząstek, bez zmian odległości międzycząsteczkowej.

c) Odkształcenia wysokoelastyczne, spowodowane nie zmianą odległości między cząsteczkami (jak w przypadku odkształcenia sprężystego), nie przez ich przegrupowanie (jak podczas odkształcenia plastycznego), lecz wyłącznie przez zmianę stanu równowagi w strukturze cząsteczek liniowych polimerów zdolnych do ruchów obrotowych. Odkształcenie to, jak i odkształcenie sprężyste po usunięciu obciążenia jest odwracalne. Znikanie odkształcenia nie zachodzi jednocześnie z usunięciem obciążenia i ma charakter odkształcenia opóźniającego się (6).

Polimery liniowe, do których zalicza się celuloza mogą występować w trzech stanach: szklistym, wysokoelastycznym oraz plastycznym. Zależność odkształcenia od temperatury przy stałym obciążeniu przedstawiono na ryc. 4; widzimy tu, że poniżej temperatury T_z (zeszkleńcia) odkształ-



Ryc. 4. Zależność odkształcenia polimerów od temperatury, przy stałym obciążeniu: A — stan szklisty, B — stan wysokoelastyczny, C — stan plastyczny, 1 — odkształcenie sprężyste i wysokoelastyczne, 2 — odkształcenie trwałe plastyczne (wg B a r g a, 6).



Ryc. 5. Zależność temperatury zeszklenia od naprężenia: 1 — polioctan winylu, 2 — polistyren zmięczony, 3 — poliwinyllobutyrol (wg B a r g a, 6).

cenie jest bardzo małe i wzrasta liniowo wraz temperaturą odkształcenie sprężyste. Powyżej temperatury zeszklenia pojawia się odkształcenie wysokoelastyczne, które zwiększając się osiąga w pewnym momencie wartość maksymalną praktycznie stałą przy dalszym wzroście temperatury. Począwszy od temperatury T_p (płynięcia) odkształcenie znowu zwiększa się wraz z temperaturą, co wskazuje na przewagę nieodwracalnego płynięcia plastycznego. Z tego wynika, że na odkształcenia całkowite polimerów

składają się trzy rodzaje odkształceń, lecz zagadnienie przewagi któregośkolwiek z nich zależy od temperatury i czasu trwania naprężeń.

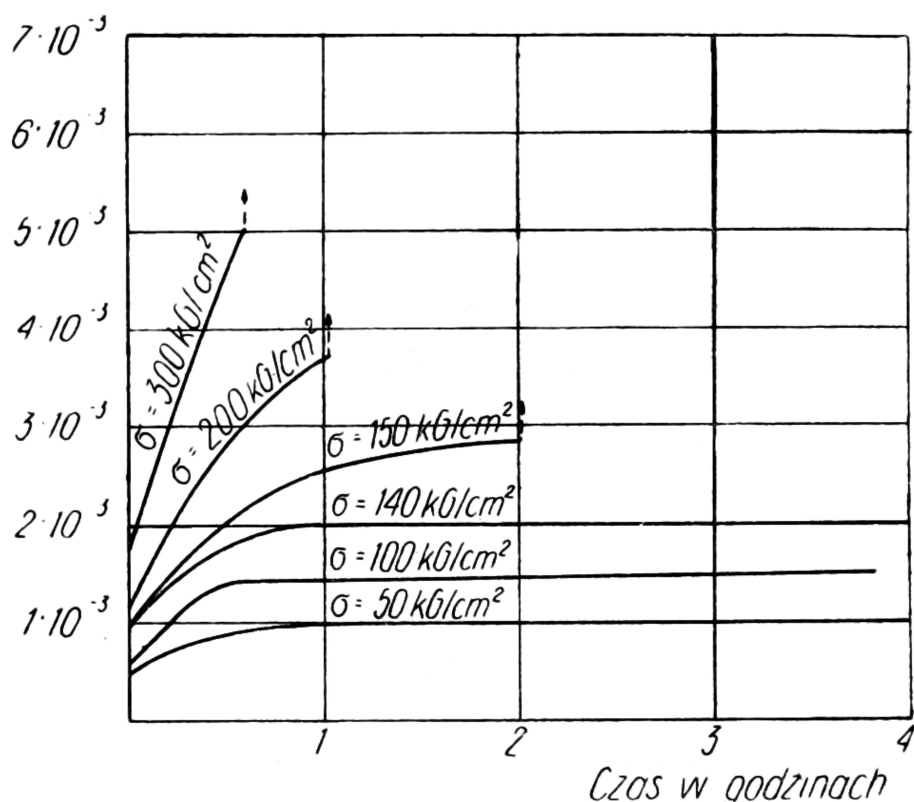
B a r g (6) ze współpracownikami dowiódł, że temperatura zeszklenia jest funkcją naprężenia (ryc. 5). Zależność tę tłumaczy wpływem naprężenia na energię aktywizacji przegrupowań cząsteczkowych.

Na podstawie przedstawionych faktów dochodzimy do ogólnego wniosku, że elastyczne własności drewna są bardziej zbliżone do własności polimerów niż do własności twardych ciał krystalicznych.

Przed przystąpieniem do wykazania podobieństwa odkształceniowych własności drewna z własnościami polimerów należy przypomnieć, że własności te są uzależnione w szczególności od własności wtórnej błony komórkowej, zbudowanej w zasadzie z makrocząsteczek celulozy. Makrocząsteczki celulozy znajdujące się w błonie komórkowej w warunkach normalnych są w stanie zeszklenia (29).

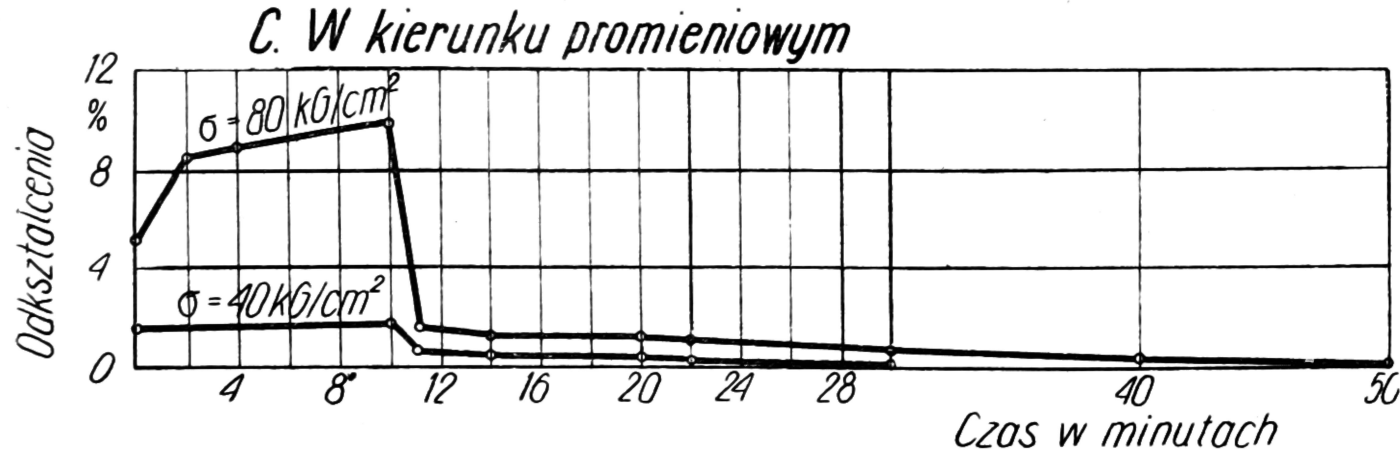
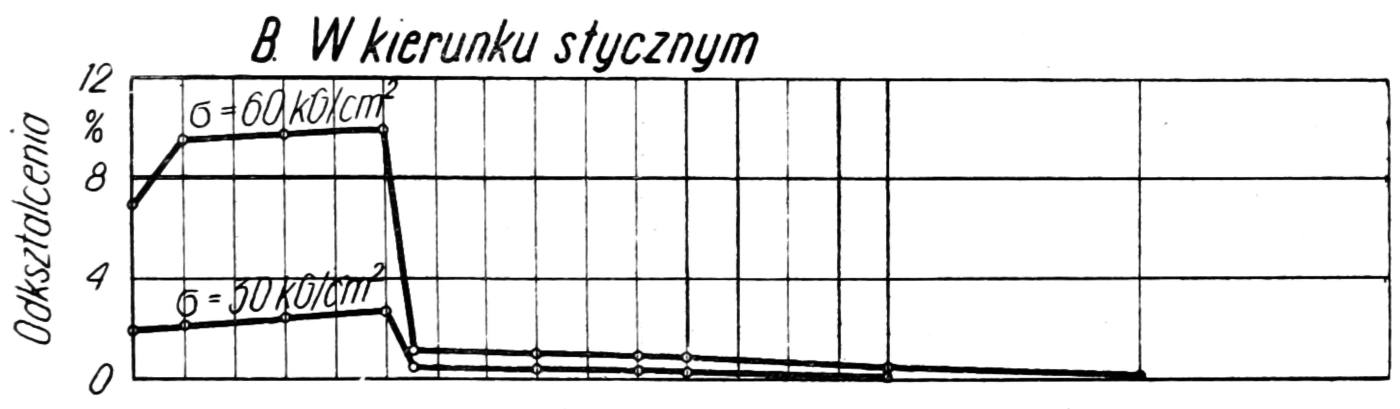
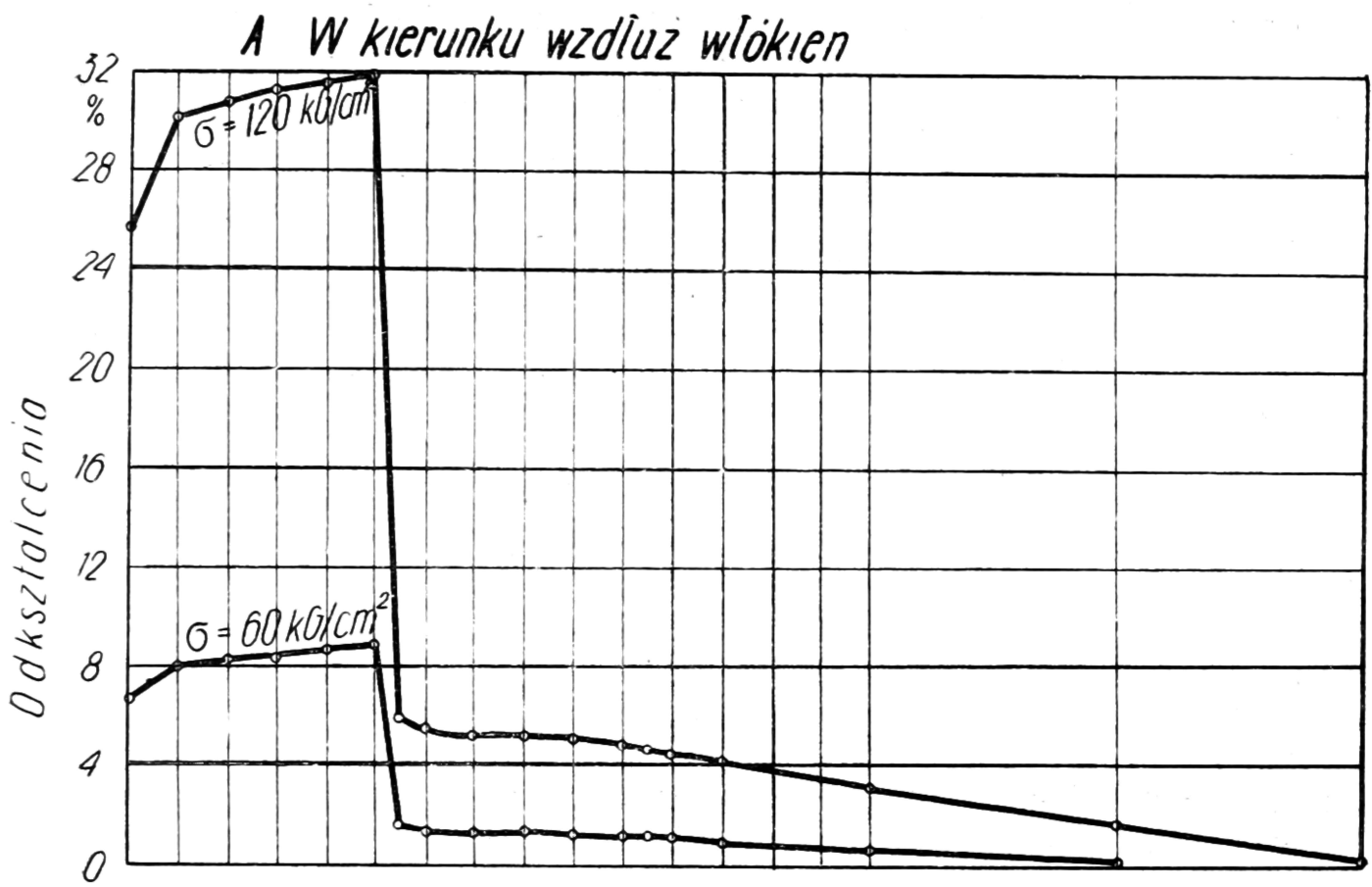
Wyniki dotychczasowych badań wykazały, że podczas działania na drewno stałej siły obciążającej do granicy plastycznej płynności wraz ze wzrostem czasu działania naprężenia zwiększa się odkształcenie drewna (ryc. 6).

Odkształcenie drewna powstałe do granicy plastycznej płynności składa się z odkształcenia sprężystego zanikającego natychmiast po odciążeniu



Ryc. 6. Krzywe odkształceń powstałe podczas ściskania wzdłuż włókien drewna sosny o wilgotności 40% (wg Bieljankina i Jacenki, 7)

i z odkształcenia sprężystego opóźnienia zanikającego po pewnym czasie od chwili odciążenia. Ogrzanie drewna podobnie jak u polimerów przyspiesza zanik odkształceń sprężystego opóźnienia (ryc. 7). Odkształcenie drewna powstałe przy obciążeniu przekraczającym przedział plastycznej płynności, lecz nie powodujący powstanie zmarszczek ścięcia, uważane ogólnie dotychczas za odkształcenie plastyczne jest również odwracalnym odkształceniem elastycznym (ryc. 7 — krzywe uzyskane dla naprężenia

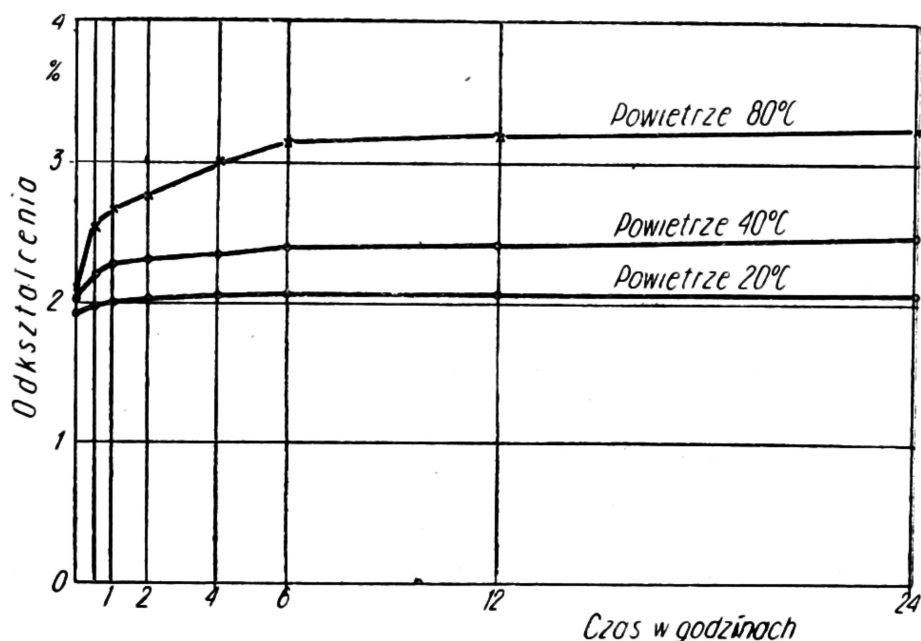


Okres obciążenia	Okres po odciążeniu
Woda 20°C	Woda 90°C

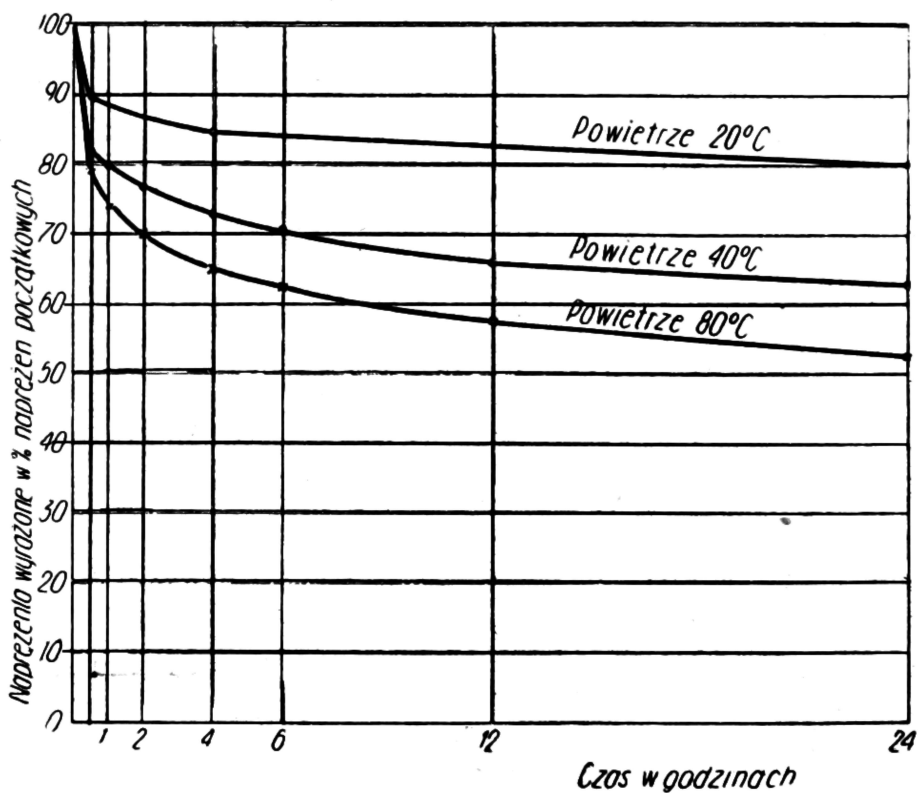
Rys. 7. Wpływ ogrzewania na odkształcanie się drewna bukowego maksymalnie spęczniałego podczas obciążenia oraz po odciążeniu. Wymiary próbek: dla kierunku podłużnego 10×10×20 mm, dla kierunku poprzecznego 20×20×10 mm

wzdłuż włókien 120 kG/cm^2 , w kierunku stycznym 60 kG/cm^2 oraz w promieniowym 80 kG/cm^2).

Zjawisko to można wytłumaczyć tym, że na skutek ogrzewania polimerów zwiększa się ich odwracalne odkształcenie wysokoelastyczne, z powodu wzrostu giętkości łańcuchów polimerów [6].



Ryc. 8. Krzywe odkształceń powstałe podczas ściskania zupełnie suchego drewna bukowego w kierunku promieniowym naprężeniem wynoszącym 75 kG/cm^2 . Próbki o wymiarach $20 \times 20 \times 30 \text{ mm}$, zabezpieczone przed nawilżaniem



Ryc. 9. Krzywe relaksacji naprężeń powstałe podczas ściskania zupełnie suchego drewna bukowego w kierunku promieniowym, naprężeniem wynoszącym 75 kG/cm^2 . Próbki o wymiarach $20 \times 20 \times 30 \text{ mm}$, zabezpieczone przed nawilżaniem

Odkształtowanie trwałe plastyczne podczas ściskania drewna wzdłuż włókien pojawia się dopiero z chwilą powstania zmarszczek ścięcia.

Odkształcenie elastyczne drewna przy jego stałej temperaturze i wilgotności pod wpływem działania tego samego naprężenia, podobnie jak odkształcone wysokoelastyczne u polimerów, wzrasta do momentu osiągnięcia wartości maksymalnej.

Odkształcanie drewna, przy stałej wilgotności, pod wpływem jednakowego naprężenia jest uzależnione również jak u polimerów od temperatury (ryc. 8). Wzrost temperatury zwiększa wielkość odkształceń lub relaksację naprężeń (ryc. 9).

Wymienione fakty świadczą o dużym podobieństwie odkształceń elastycznych drewna z odkształceniami wysokoelastycznymi polimerów.

Z przeprowadzonej analizy porównawczej wynika bezspornie, że własności drewna w większym stopniu są zbliżone do sprężystych i wysokoelastycznych własności polimerów niż do sprężystych i plastycznych własności twardych ciał krystalicznych.

LITERATURA

1. Armstrong L. D. — Short term tests on air-dry wooden beams. Forest Products Laboratory, South Melbourne, Progress 2 September 1953 s. 1.
2. Armstrong L. D., Jeans S. de Vries, Kingston R. S. T. — The effect of prolonged loading on the modulus of elasticity of wood. Forest Product Laboratory, South Melbourne, Progress Raport 3 April 1954, s. 1.
3. Armstrong L. D., Kingston R. S. T. — Creep in initially green wooden beams. Aust. J. Appl. Sci. 1951 z. 2, s. 306.
4. Armstrong L. D. — Creep in wood. Timber Technology, 1956, nr 2208, s. 572.
5. Barkas W. W. — The swelling of wood under stress. Svensk Paperstidning, 1953, nr 14 (tłumaczenie).
6. Barg E. I. — Technologia tworzyw sztucznych, PWT 1957, s. 71–118.
7. Bieljankin F. P., Jacienko W. F. — Dieformatiwnost' i soprotiwajajemost' dreviesiny, Izdatielstwo A. N. USSR., Kijew 1957, s. 61.
8. Churchrjański P. Ch. — Procznost' drierwiesiny. Goslesbumizdat 1955.
9. Frey - Wyssling A. — Die Pflanzenliche Zellwand, Springer Verlag 1959, s. 32.
10. Goto Hideo, Abe Yosninobu — On the mechanizm of the stress relaxation in swelling, Res. Repts. Fac. Engeng., Gifu Prefect. Univ. 1957, nr 7, s. 60 (nadbitka).
11. Grossman P. — Stress relaxation in wood, Nature 1954, nr 4392, s. 42.
12. Grossman P. U. A., Kingston R. S. T. — Creep and stress relaxation in wood during bending. Manuscript received 9, 1954, s. 403 (fotokopia).
13. Grossman P. U. A., Kingston R. S. T. — Mechanical Conditioning of High Polymers, Aust. J. Appl. Sci. 1955, z. 6(4), s. 442–452.
14. Grossman P. U. A., Kingston R. S. T. — The mechanizm of creep — Super position tests, Forest Products Laboratory South Melbourne, Progress Report nr 1, 1955, s. 1.
15. Iwanow J. M. — Dwie obłasti dieformirowanija drierwiesiny i priediel plasticeskowo tieczenija. Trudy Instituta Lesa A. N. SSSR, 1953, T. 9, s. 431.

16. I w a n o w J. M. — Izmienienija mikroskopiczekowo strojenija driewiesiny w processie jejo dieformirowanija i razruszenija. Trudy Instituta Lesa A. N. SSSR, 1953, T. 9, s. 89.
17. I w a n o w J. M. — O jawlenii vysokoj elasticznosti u nabuchszej driewiesiny. Doklady A. N. SSSR, 1956, T. 111 nr 4.
18. I w a n o w J. M., N a ż e n o w W. A. — Issledowanija fiziczeskich swojstw driewiesiny. Izdatielstwo A. N. SSSR, 1959, s. 5.
19. K a s z k a r o w K. P. — Dlitelnoje soprotiwlenie driewiesiny. Issledowanija procznosti i dieformatiwnosti driewiesiny, Moskwa 1956, s. 68.
20. K o l l m a n F. — Über die Adhängigkeit einiger mechanische Eigenschaften der Hölzer von der Zeit von Kerben und von der Temperatur. Holz als Roh-u. Werkstoff 1952, nr 5, s. 187.
21. K i n g E. G. Jr. — Creep and other strain behavior of wood in tension paraller to the grain. Forest Prod. J. 1957, nr 10, s. 324.
22. K u b a t J. — Zun Mechanismus des plastischen Flissens. Kolloid-Zeitschrift 1954, z. 1/2, s. 60.
23. K r z y s i k F r. — Nauka o drewnie. PWRiL 1957, s. 120.
24. Ł a w n i c z a k M. — Badania nad odkształceniami i relaksacją naprężeń w parowanym drewnie bukowym. Prace Instytutu Technologii Drewna 1958, z. 1(14), s. 61.
25. Ł a w n i c z a k M. — Badania wpływu zmian wilgotności drewna na relaksację naprężeń powstałych podczas jego uprzedniego zgięcia. „Folia Forestalia Polonica“, 1959, z. 1, ser. B., s. 103.
26. Ł a w n i c z a k M., R a c z k o w s k i J. — Badania wpływu ogrzewania drewna bukowego na odkształcenia powrotne. Praca w rękopisie.
27. Ł a w n i c z a k M. — Badania wpływu temperatury i wilgotności na zachowanie się drewna bukowego obciążonego w poprzek włókien siłą ściskającą. Praca w przygotowaniu do druku.
28. Ł a w n i c z a k M., P a p r z y c k i O. — Wpływ zmian wilgotności drewna na trwałość złącz kołkowych. Praca oddana do druku w Rocznikach Wyższej Szkoły Rolniczej w Poznaniu.
29. M a r k H., T o b o l s k y A. V. — Chemia fizyczna polimerów. PWN 1957, s. 312.
30. M o s k a l e w a W. Je. — Strojenije driewiesiny i jewo izmienienije pri fiziczeskich i miechaniczeskich wozdiejstwijach. Izdatielstwo A. N. SSSR, 1957, s. 44.
31. P e r k i t n y T., S t e f a n i a k J., C h u d z i ń s k i Z. — Kurczenie się drewna po nawilżeniu i wysuszeniu w zależności od ciśnienia wywieranego na to drewno w stanie suchym. Prace Instytutu Technologii Drewna, r. 1957, z. 4(9), s. 34.
32. P e r k i t n y T., S t e f a n i a k J., R u d n i c k i Z. — Wpływ naprężeń ściskających na pęcznienie i kurczenie się drewna. Prace Instytutu Technologii Drewna, r. 1957, z. 4(9), s. 52.
33. P e r k i t n y T., S t e f a n i a k J. — Wpływ jednoczesnego obciążania i nawilżania na wytrzymałość drewna poddanego zginaniu. Roczniki Wyższej Szkoły Rolniczej w Poznaniu, r. 1958, Z. 3, s. 3.
34. P e r k i t n y T., S t e f a n i a k J., D u l s k i L. — Wpływ naprężeń rozciągających na pęcznienie i kurczenie się drewna. Prace Instytutu Technologii Drewna, r. 1959, z. 1(14), s. 18.

35. Perkitny T. — Die Druckschwankungen in verschieden vorgepressten und starr eingeklammerten Holzköpern. Holz als Roh- und Werkstoff, 1960, Bd. 18, s. 200.
36. Sugiyama Hideo — Experimental data o the prediction of the creep limit of wood in bending from creep and creep recovery tests. Research Reports of the Faculty of Engineering Meiji University 1958, nr 1, s. 1.
37. Tomaszczyk W. — Pełzanie metali. Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze 1956, s. 65.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 1 czerwca 1960 r.