FOLIA FORESTALIA POLONICA
seria B, zeszyt 31, 2000

HAMOWANIE PĘCZNIENIA DREWNA ZGINANEGO W POPRZEK WŁÓKIEN I NIESYMETRYCZNIE NAWILŻANEGO

Waldemar Moliński

Katedra Nauki o Drewnie
Akademii Rolniczej im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu

Badano pełzanie drewna zginanego w poprzek włókien w warunkach nawilżania rozciąganej strefy zginanej beleczki. W oparciu o liniową zależność odkształceń od działających naprężeń zginających określono wartość naprężeń mechanicznych koniecznych do zahamowania pęcznienia drewna.

Słowa kluczowe: drewno sosny, zginanie, niesymetryczne nawilżanie, mechaniczno-wilgotnościowe pełzanie, ciśnienie pęcznienia

WSTĘP

Mechaniczne tłumienie odkształceń wilgotnościowych drewna zaobserwować można niemal w każdej konstrukcji drewnianej narażonej w trakcie eksploatacji na zmienne warunki wilgotnościowe. Jako przykład jednokierunkowego tłumienia pęcznienia drewna można wymienić klepkę posadzkową ułożoną na nie wyschniętym podłożu, lub bez odpowiednich szczelin dylatacyjnych, klepki beczek, kadzi, forniry sklejek itp.. Znajomość więc naprężeń wzbudzanych w drewnie w warunkach ograniczania jego „swobodnych" odkształceń wilgotnościowych ma doniosłe znaczenie praktyczne. Perkitny (1951) naprężenie mechaniczne konieczne do stłumienia pęcznienia określa terminem - ciśnienie pęcznienia. Ciśnienie drewna przekazywane na otoczenie stanowi niewielki ułamek jego wartości teoretycznej, a to z tego względu, że struktura drewna jest porowata w wymiarze sub- i mikroskopowym. Dlatego też podczas hamowania odkształceń wilgotnościowych łatwo dochodzi do utraty stateczności ścian komórkowych. Doświadczalnie więc oznaczane ciśnienie pęcznienia drewna jest funkcją rzeczywiście wzbudzanych sił pęcznienia oraz odporności już pęczniejącej tkanki drzewnej na przenoszenie zewnętrznych obciążeń ściskających.

Z dotychczas przeprowadzonych licznych badań nad ciśnieniem pęcznienia drewna wynika, że wielkość ta zależna jest od właściwości drewna (np. Raczkowski 1960; 1961; 1966; Perkitny i Raczkowski 1970; Kingston i Perkitny 1972;), warunków na-

wilżania i zakresu zmian wilgotności (Zenkteler 1961; Perkitny i Helińska 1963; Ilič 1970; Mishiro 1973a; Mishiro 1975a i 1975b), geometrii i wymiarów badanych próbek (Perkitny 1951; Mishiro 1972 i Mishiro 1973b) oraz od metody pomiaru (Perkitny 1951; Ivanov 1953; Stefaniak 1962; Suchsland 1976; Moliński i Raczkowski 1988). Doświadczalnie stwierdzona zdolność drewna do pasywnego dźwigania spoczywających na nim ciężarów o wartości równej lub większej od maksymalnych sił pęcznienia (np. Mishiro 1973b; Moliński i Raczkowski 1982) wskazuje, że tradycyjnie oznaczone wartości ciśnienia pęcznienia nie odzwierciedlają rzeczywiście wzbudzanych sił pęcznienia dla różnych przypadków ograniczania jego pęcznienia. W tym kontekście zaproponowana przez Molińskiego i Raczkowskiego metoda oznaczania ciśnienia pęcznienia z przebiegów higromechanicznego pełzania drewna rozciąganego (1988) i ściskanego (1997) wydaje się godna uwagi. Wspomniana metoda oznaczania ciśnienia pęcznienia wykorzystująca liniową zależność odkształceń higromechanicznych od działających naprężeń mechanicznych (np. Moliński i Raczkowski 1988; Wu i Milota 1996) pozwala w sposób pośredni określić wartości naprężeń koniecznych do jednokierunkowego zahamowania odkształceń higroskopijnych. Uzyskane w ten sposób przebiegi naprężeń adsorpcyjnych w sensie jakościowym są zgodne z przebiegiem ciśnienia pęcznienia drewna oznaczonego metodą bezpośrednią w analogicznych warunkach nawilżania drewna, lecz o wartościach liczbowych znacznie wyższych. Kierując się spostrzeżeniami powyższych prac podjęto próbę określenia ciśnienia pęcznienia na podstawie przebiegów pełzania drewna zginanego w poprzek włókien w warunkach nawilżania rozciąganej strefy zginanych próbek.

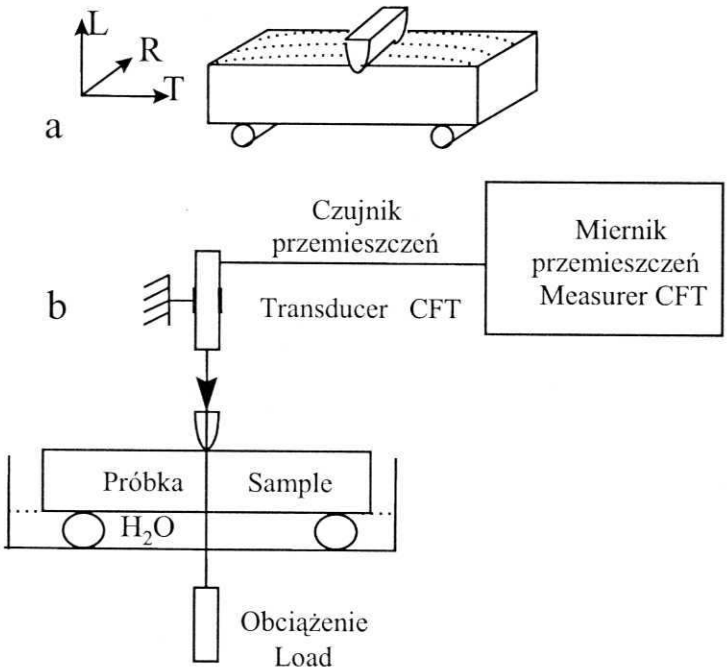
METODYKA BADAŃ

Doświadczalną weryfikację możliwości wyznaczenia naprężeń adsorpcyjnych z przebiegów mechaniczno-wilgotnościowego pełzania drewna w warunkach niesymetrycznego nawilżania przeprowadzono na próbkach pochodzących z bielastej części drewna sosny (*Pinus sylvestris* L.) o wymiarach 20(L)x20(R)x150(T) mm. Gęstość badanego drewna, przy wilgotności 9% mieściła się w przedziale od 470 do 490 kg • m^{-3}. Wszystkie próbki, do badania procesu pełzania, jak również do badania wytrzymałości wyrobiono z jednej deseczki długości 1m, klimatyzowanej w warunkach pracowni przez ok. 0,5 roku. Próbki do badania wytrzymałości nawilżano w wodzie destylowanej przez 24 godziny. Wytrzymałość na zginanie mokrego drewna w poprzek włókien określona na 10 próbkach wynosiła 2,9±0,4 MPa.

Pomiary mechaniczno-wilgotnościowego pełzania prowadzono w układzie 3 punktowego zginania, przy naprężeniu zginającym działającym w kierunku stycznym. Próbkę o wilgotności początkowej równej 9% umieszczano w specjalnej stalowej rynience z wmontowanymi obrotowymi podporami rozstawionymi w odległości 120 mm. Obciążenie zginające przykładano w środku długości próbki w sposób grawitacyjny. Jego wartość dobierano tak, ażeby naprężenia zginające wynosiły 0,2; 0,4 i 0,6 przeciętnych naprężeń niszczących określonych w stanie mokrym (W>PNW). Bezwzględne wartości działających naprężeń zginających wynosiły odpowiednio 0,58, 1,16 i 1,74 MPa. W momencie obciążania próbek do naczynia wlewano wodę destylowaną o temperaturze 293K do poziomu górnej powierzchni podpór tak, ażeby próbka była nawilżana tylko

w strefie działania naprężeń rozciągających. Proces pełzania obserwowano do momentu wyraźnego cofania się odkształceń. Schemat pomiarów pełzania drewna zginanego w poprzek włókien i jednocześnie nawilżanego w strefie działania naprężeń rozciągających przedstawiono na rys. 1.

Dla każdego wariantu stosowanych naprężeń, doświadczenie powtarzano na trzech próbkach. Dla bieżącego śledzenia zmian wilgotności i odkształceń wilgotnościowych stosowano próbki bliźniacze, nawilżane w stanie nieobciążonym.

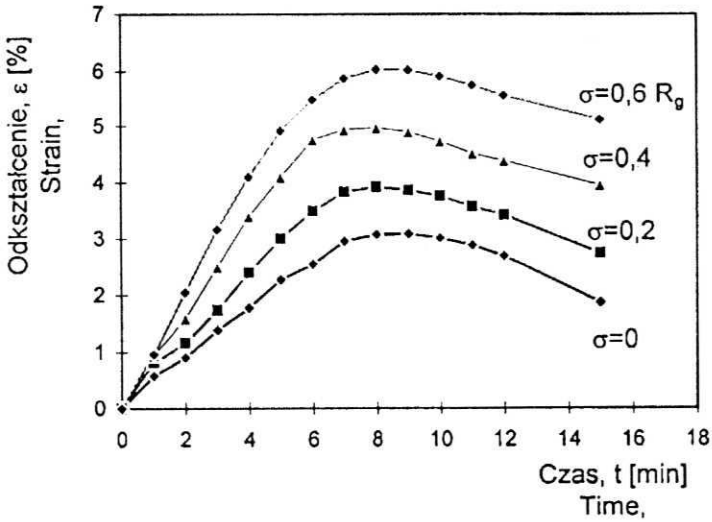


Rys. 1. Schemat sposobu pomiaru pełzana drewna zginanego w poprzek włókien i jednocześnie nawilżanego w strefie działania naprężeń rozciągających

Fig. 1. Diagram of the measurement of creep in wood sample bent across the grains and simultaneously moistened in the zone of the stretching strain

WYNIKI BADAŃ

Wyniki pełzania drewna sosny zginanego w poprzek włókien i jednocześnie nawilżanego w strefie działania naprężeń rozciągających przedstawia rys. 2. Zobrazowano na nim średnie przebiegi względnych odkształceń skrajnych warstw badanych próbek ($\varepsilon = 6hf/l^2$) obliczone z trzech identycznych powtórzeń dla każdego wariantu działającego obciążenia. Dla uwidocznienia wpływu wartości działających naprężeń na proces narastania odkształceń na rysunku tym zamieszczono również krzywą zmian od-



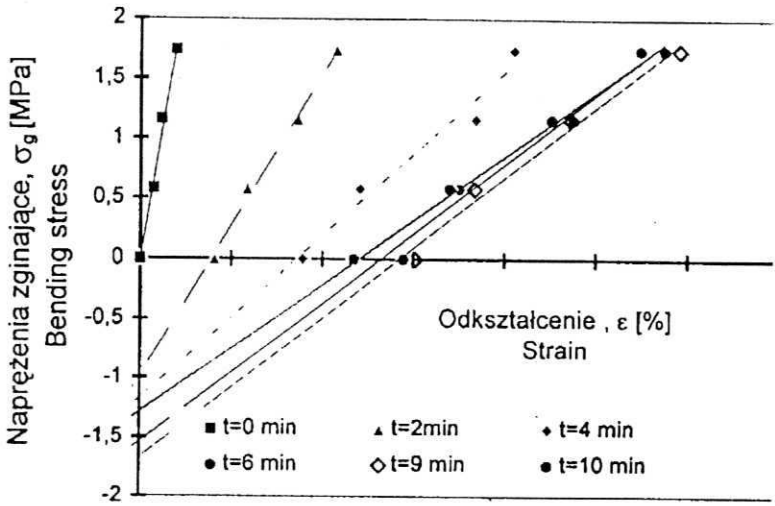
Rys. 2. Wpływ poziomu naprężeń zginających (σ_g/R_g) na przebieg odkształceń podczas jednostronnego nawilżania strefy rozciąganej zginanej próbki

Fig. 2. The influence of the bending stress (σ_g/R_g) on the progress of deformations induced by one-side moistening of the stretching fragment of the bent sample

kształceń próbki nieobciążonej. Już pobieżna analiza przedstawionych zależności wskazuje, że zewnętrzne obciążenia zginające wspomagają „swobodną" wilgotnościową deformację próbki praktycznie proporcjonalnie do wartości działających naprężeń. Staje się to szczególnie wyraźne, jeżeli mechaniczno-wilgotnościowe odkształcenia, zarejestrowane w danej chwili czasu trwania procesu pełzania przedstawi się w funkcji działających naprężeń zginających (rys.3). Na rysunku 3 dla zwiększenia jego czytelności zamieszczono tylko niektóre dane dla wybranych czasów trwania doświadczenia. Każda z przedstawionych na tym rysunku prostoliniowych zależności odzwierciedla wpływ wilgotności i poziomu działających naprężeń zginających na wartość odkształceń badanych próbek, zarejestrowanych w danej chwili procesu pełzania. Ponieważ współczynnik korelacji omawianych zależności jest bardzo wysoki (tabela 1) można zatem z dużą wiarygodnością obliczyć, lub określić z prezentowanego wykresu wartość naprężeń od obciążeń zewnętrznych koniecznych do utrzymania próbki w stanie nieodkształconym (ε=0). Jak widać to z analizowanego wykresu naprężenia konieczne do utrzymania badanych próbek w stanie niezdeformowanym mają przeciwny znak w stosunku do działających naprężeń zginających. Staje się to oczywiste jeśli weźmie się pod uwagę fakt, że obciążenia zginające stosowane w omawianych doświadczeniach wspomagają wilgotnościowe pęcznienie dolnej strefy nawilżanych próbek. Naprężenie potrzebne do utrzymania próbek w stanie nieodkształconym muszą więc tłumić pęcznienie dolnej, nawilżanej strefy próbki.

Z analizy rozkładu naprężeń wilgotnościowych w próbce nawilżanej w analogiczny sposób jak w omawianych doświadczeniach dokonanej w pracy Molińskiego i in. (2000)

wynika, że w początkowym okresie jednostronnego jej nawilżania naprężenia ściskające indukowane są zarówno w części nawilżanej jak i górnej, jeszcze suchej strefie drewna. Naprężenie więc potrzebne do utrzymania próbki w stanie nieodkształconym potęguje naprężenia ściskające w strefie nawilżanej i redukuje naprężenia ściskające w górnej, jeszcze suchej partii badanej próbki. Można zatem w tym przypadku sądzić, że



Rys. 3. Zależność odkształceń mechaniczno-wilgotnościowych drewna od wartości naprężeń zginających i czasu ich trwania

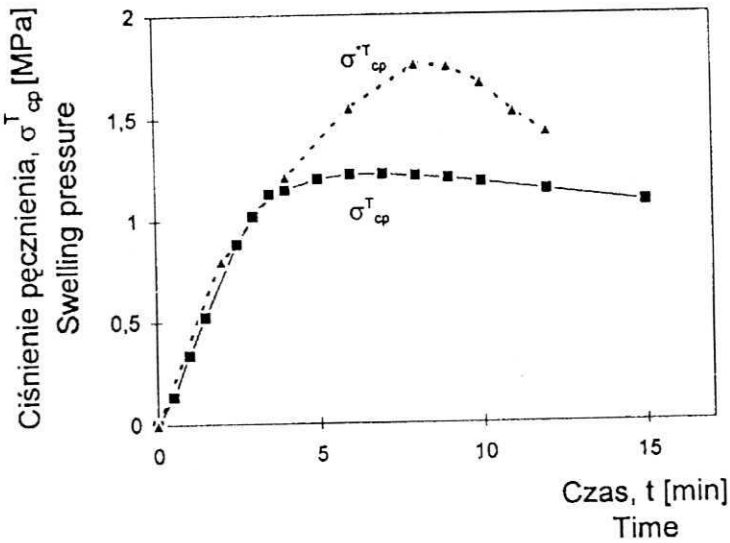
Fig. 3. The dependence of mechano-sorptive creep of wood on the time and intensity of bending stress

Tabela 1
Table 1

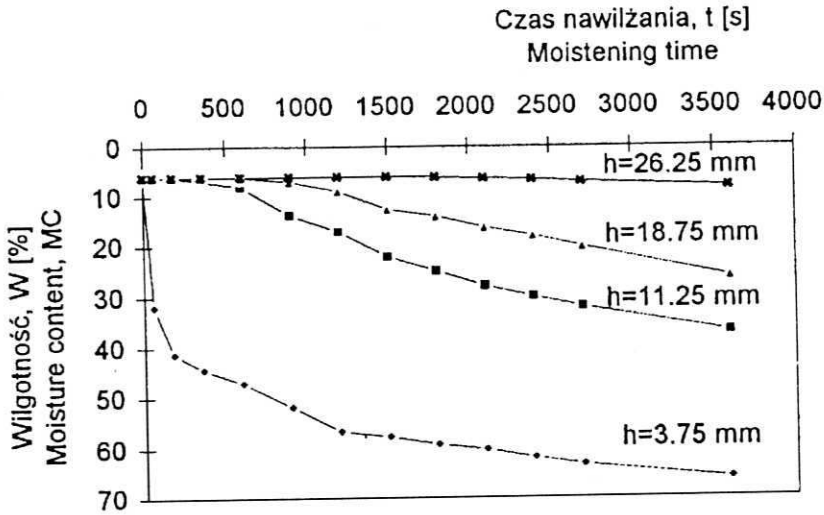
Równania regresji zależności odkształceń skrajnych warstw zginanych próbek od wartości działających naprężeń dla wybranych czasów mechaniczno-wilgotnościowego pełzania

Regression equations describing the dependence of the deformation of the extreme layers of the bent samples on the value bending stress at selected moments of the mechanosorptive creep process

Czas [min] Time	Równanie regresji Regression equation	Współczynnik korelacji, r Correlation coefficient
0	y = 4,602x - 0,005	0,994
2	y = 1,261x - 0,978	0,997
4	y = 0,681x - 1,169	0,982
6	y = 0,537x - 1,292	0,994
10	y = 0,586 - 1,669	0,992
11	y = 0,581 - 1,536	0,985
15	y = 0,455x - 0,75	0,991



Rys. 4. Naprężenia mechaniczne konieczne do powstrzymania odkształceń próbki podczas jej jednostronnego nawilżania oraz przebieg ciśnienia pęcznienia oznaczonego metodą bezpośrednią
Fig. 4. The time dependence of the mechanical stress needed to counteract the sample deformations upon its one-side moistening and the time course of the swelling pressure determined by the direct method



Rys. 5. Zmiana wilgotności drewna na różnych wysokościach próbki podczas jej jednostronnego nawilżania
Fig. 5. Changes in the moisture content of the wood sample on its one-side moistening at different heights

naprężenia konieczne do powstrzymania wilgotnościowego paczenia się próbek są liczbowo równe naprężeniu koniecznemu do powstrzymania pęcznienia nawilżanej części próbki. Mając na uwadze to, że naprężenie zewnętrzne potrzebne do powstrzymania pęcznienia drewna definiuje się jako ciśnienie pęcznienia - również w tym przypadku można mówić o ciśnieniu pęcznienia.

Przebieg tak oznaczonych naprężeń (σ^{*T}_{cp}) w czasie trwania doświadczenia przedstawiono na rys. 4. Na rysunku tym przedstawiono również przebieg ciśnienia pęcznienia drewna (σ^{T}_{cp}) oznaczony w sposób tradycyjny na próbkach o wymiarach 10(L)x 30(T)x 30 (R) mm. Na oznaczenie ciśnienia pęcznienia drewna sposobem tradycyjnym na próbkach o wymiarze wzdłuż włókien o połowę mniejszym niż użytych w doświadczeniach właściwych zdecydowano się dlatego, że naprężenia oznaczone na podstawie krzywych mechaniczno-wilgotnościowego pełzania dotyczą tylko okresu hamowania odkształceń adsorpcyjnych, a więc gdy partie górne jednostronnie nawilżanych próbek są jeszcze suche. Słuszność powyższego założenia zdaje się w pełni potwierdzać przedstawiony na rys. 5 rozkład wilgotności drewna na wysokości próbki w czasie jej jednostronnego nawilżania. Oznaczenie kinetyki zmian wilgotności drewna na różnych wysokościach próbki (wzdłuż włókien) prowadzono w analogicznych warunkach jej nawilżania przez okres jednej godziny. Pomiary te, aczkolwiek przeprowadzone na próbkach o 1 cm wyższych aniżeli stosowane w badaniach nad pełzaniem odzwierciedlają ilościowe różnice w wilgotności drewna na różnych wysokościach badanej próbki. Wynika z nich wyraźnie, że przez pierwszy okres mechaniczno-wilgotnościowego pełzania drewna tj. do czasu cofania się odkształceń mokra jest tyko dolna strefa nawilżanych próbek. Nadto, biorąc pod uwagę różnice pomiędzy wytrzymałością umowną drewna na ściskanie w stanie suchym (górna część jednostronnie nawilżanej próbki) a wytrzymałością na rozciąganie drewna mokrego (dolna część próbki), konsekwencją czego jest przesunięcie osi obojętnej ku górze, zasadne wydaje się być stwierdzenie, że naprężenie potrzebne do utrzymania próbki w stanie nieodkształconym równoważne jest naprężeniu koniecznemu do stłumienia pęcznienia dolnych partii nawilżanej próbki.

Z danych zamieszczonych na rys. 4 wynika, że maksymalne ciśnienie pęcznienia oznaczone z przebiegów mechaniczno-wilgotnościowego pełzania drewna jest wyraźnie wyższe (ok. 40%) od wartości oznaczonej w sposób tradycyjny. Ciśnienie pęcznienia drewna jest wypadkową generowanych sił pęcznienia drewna i jednocześnie przebiegających procesów relaksacyjnych (np. Kano 1994). Tradycyjny pomiar sił pęcznienia sprowadza się do zsumowania cyklicznych przyrostów obciążenia zewnętrznego koniecznego do każdorazowego stłumienia chwilowo dopuszczonego spęcznienia próbki. W warunkach zaś cyklicznego dociążania drewna relaksacja naprężeń przebiega znacznie szybciej aniżeli w typowym procesie reologicznym - bez dociążeń (Raczkowski i in. 1992). Wydaje się, że jest to istotna przyczyna stosunkowo niskich wartości ciśnienia pęcznienia otrzymywanych z pomiarów metodą tradycyjną. Innym niemniej ważnym czynnikiem wpływającym na wzmożoną relaksację sił pęcznienia drewna przy tradycyjnym ich oznaczaniu jest stosunkowo szybka utrata stateczności mokrych już ścian komórkowych. Spostrzeżenie

to znajduje swoje uzasadnienie w danych przedstawionych na rys. 4. Już bowiem po około 4 minutach trwania doświadczenia przyrost ciśnienia pęcznienia drewna oznaczonego tradycyjnie gwałtownie maleje. Do tego czasu kinetyka przyrostu ciśnienia pęcznienia drewna oznaczonego w sposób tradycyjny i kinetyka przyrostu naprężeń oznaczona z przebiegów mechaniczno-wilgotnościowego pełzania była bardzo podobna.

PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych doświadczeń i dokonanej analizy mechaniczno-wilgotnościowego pełzania drewna zginanego w poprzek włókien i nawilżanego w strefie działających naprężeń rozciągających stwierdzono, że wartości odkształceń są proporcjonalne do działających naprężeń. Zależność ta pozwala w sposób pośredni wyznaczyć wartość naprężeń potrzebnych do powstrzymania pęcznienia drewna. Wartości tak oznaczonych naprężeń są ok. 40% wyższe aniżeli wartości oznaczone w sposób bezpośredni.

LITERATURA

Ilič M. (1970): Sila sprijecenogo bujanja - pritisak bujanja pri jednoosovinskom sprjecavanju kod bukovine iz razlicitich podrucja. Preglad Naucnotehnickih Radova i Informacija. Sarajevo 3 (4):31-43.

Ivanov J.M. (1953): O davlenii nabuchanija drevesiny. Trudy Inst. Lesa. Akad. Nauk SSSR, 9: 236-249.

Kanno K. (1994): Swelling stress of wood under different restraint conditions. VI. The effect of stress relaxation. Mokuzai Gakk. 40(4):347-355.

Kingston R. S.T., Perkitny T. (1972): Zusammenhänge zwischen aktiven Quellungsdruck und passiver Zusammendrückbarkeit von Holz durch äussere Kräfte. Halz als Roh- u. Werkst. 30(1):18-28.

Mishiro A. (1972): Studies on the swelling pressure of wood. I. The effects of shape and dimension of specimen, and the height of water-immersed part of specimen on swelling pressure of wood. Mokuzai Gakk. 8(18):381-385.

Mishiro A. (1973a): Studies on the swelling pressure of wood. II. The effect of initial moisture content of wood. Mokuzai Gakk. 2(19):63-68.

Mishiro A. (1973b): Studies on the swelling pressure of wood. III. The effect of initial stress on the swelling pressure of wood. Mokuzai Gakk. 6(19): 255-260.

Mishiro A. (1975a): Studies on the swelling pressure of wood. VI. The relation between the swelling pressure and species, initial moisture content, swelling and Young's modulus perpendicular to grain in compression. Bull. of the Tokyo Univ. Forests 68:111-121.

Mishiro A. (1975b): Studies on the swelling pressure of wood. The effect of swelling agent on the swelling pressure of wood. Mokuzai Gakk. 4(21):217-223.

Moliński W., Raczkowski J. (1982): Mechaniczno-wilgotnościowe odkształcenia drewna ściskanego w poprzek włókien. Mat. I Symp. „Reologia drewna i konstrukcji drewnianych" Zielonka: 46-58.

Moliński W., Raczkowski J. (1988): Mechanical stresses generated by water adsorption in wood and their determination by tension creep measurments. Wood Sc. and Technol. 22:193-198.

Moliński W., Raczkowski J. (1997): Możliwość oznaczania ciśnienia pęcznienia z przebiegu higromechanicznego pełzania drewna ściskanego w poprzek włókien. Prace Kom. Technol. Drewna PTPN 15 : 73-81.

Moliński W., Raczkowski J., Muszyński L. (2000): Acoustic emission generated upon mechano-sorptive creep of wood bent across to the grain under asymmetrical moistening. Holzforschung 54: 1-4.

Perkitny T. (1951): Badania nad ciśnieniem pęcznienia drewna. PWRiL Warszawa.

Perkitny T., Helińska L. (1963): Der Quelleungsdrucks des Holzes in Wasser und wassergesättigter luft. Holz als Roh- und Werkst. 21:19-22.

Perkitny J., Raczkowski J. (1970): Effect of polyethylene glycol content in the wood on its swelling pressure. Holzforsch. und Holzverwert. 22(6):1-5.

Raczkowski J. (1960): Anizotropia ciśnienia pęcznienia drewna. Folia Forest. Polonica Seria B 2: 115-134.

Raczkowski J. (1961): Ciśnienie pęcznienia drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) Roczniki WSR w Poznaniu 11:35-61.

Raczkowski J. (1966): Über den Einfluss der Rohdichte auf die totale Quellungswärme des Holzes. Proc. Symp. „Rohdichte von Holz und Holzwerkstoffe". Eberswalde :59-69.

Raczkowski J., Moliński W., Cwalina B. (1992): Relaksacja naręźeń w drewnie podczas wielokrotnego dociążania. Prace Komisji Technol. Drewna PTPN 13:119-126.

Stefaniak J. (1962): Badania nad ciśnieniem pęcznienia drewna w wodzie z zastosowaniem metody przyspieszonej. Folia Forest. Polonica Seria B 4:61-123.

Suchsland C. (1976): Measurement of swelling forces with load cells. Wood Sci. 3(8):194-198.

Wu Q., Milota M.R. (1996): Mechano-sorptive deformation of douglas-fir specimens under tangential tensile stress during moisture adsorption. Wood and Fiber Sci. 28(1):128-132.

Zenkteler M. (1961): Studia nad pęcznieniem drewna sosnowego w wodzie o różnej temperaturze i pod działaniem sił ściskających. Folia Forest. Polonica Seria B 3:33-121.

SWELLING RESTRAINT OF BENT WOOD ACROSS THE GRAINS AND ASYMETRICALLY MOISTENED

Summary

A study was performed of the creep of wood sample bent across the grain and simultaneously asymmetrically moistened in the tension zone. On the basis of the linear dependence of the deformation on the bending stress, the value of mechanical stress needed to counteract the wood swelling was determined. The values of the mechanical stress obtained in this way are by about 40% higher than the swelling pressure found in the direct way.

Adres autora:
prof. dr hab. Waldemar Moliński
Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu
Katedra Nauki o Drewnie
60-627 Poznań, ul. Wojska Polskiego 38/42
POLSKA