

WPŁYW WILGOTNOŚCI NA ODKSZTAŁCALNOŚĆ I CIŚNIENIE PĘCZNIENIA
DREWNA MODYFIKOWANEGO AMONIAKIEM

Georgij S. Werdynsz, Karl A. Rocens

Instytut Chemii Drewna AN Łotewskiej SRR w Rydze

Zasoby olszy białej w europejskiej części ZSRR wynoszą około 40 mln m³, jednak przemysłowe wykorzystanie tego drewna jest nieznaczne. Jak się wydaje większe perspektywy ma wykorzystanie olszy w postaci zmodyfikowanej. W Instytucie Chemii Drewna AN Łotewskiej SRR opracowano sposoby modyfikacji drewna gazowym amoniakiem z równoczesnym ściśnieniem. Skuteczność stosowania otrzymanego tworzywa (lignamonu) w znacznym stopniu zależy od zawartości wody w lignamonie.

Przebadano wpływ wody na główne parametry odkształcalności i ciśnienie pęcznienia lignamonu z drewna olszy białej i drewna naturalnego.

Gęstość drewna olszy białej w stanie absolutnie suchym (ρ) wynosi 424 z 20 kg/m³. Na 1 cm przypada średnio 5,5 przyrostu rocznego.

Modyfikację przeprowadzono w następujący sposób: próbki o rozmiarach 75 x 80 x 500 mm (w kierunku promieniowym, stycznym i wzdłużnym) o wilgotności 20±3% nasycono gazowym amoniakiem pod ciśnieniem 0,18 MPa przez 72 godziny i następnie pozostawiono do zaniku zapachu amoniaku i osiągnięcia wilgotności 17±2%. Po nagraniu do 100°C próbki ściśniano w prasie w temperaturze 140°C. Prasowanie przeprowadzono w kierunku promieniowym w ciągu 15 minut. Nacisk prasy był ograniczony, tak aby osiągnąć określoną gęstość lignamonu.

Doświadczalne określenie modułu sprężystości w kierunku wzdłużnym (E_a) i stycznym (E_t) oraz współczynnika odkształceń poprzecznych - μ (pierwszy indeks wskazuje kierunek odkształcenia poprzecznego) przy różnej zawartości wody w drewnie olszy białej i lignamonie o różnej gęstości podczas ściskania przeprowadzono we-

dług normy GOST 16483-24-73. 16483-29-73 na maszynie wytrzymałościowej ZD 10/90 produkcji NRD. Moduł sprężystości przy rozciąganiu badano zgodnie z normą GOST 16483.26-73 na maszynie wytrzymałościowej FM-250 produkcji NRD. Współczynnik odkształceń poprzecznych przy rozciąganiu badano równocześnie z modułem sprężystości przy rozciąganiu (F_a).

Moduł sprężystości E_a i współczynnik odkształceń poprzecznych przy ścisaniu oznaczano na próbkach o rozmiarach 30 x 30 x 60 mm, a przy rozciąganiu - 4 x 30 x 300 mm; moduł sprężystości E_t na próbkach 20 x 30 x 20 mm (w kierunku promieniowym, stycznym i wzdłużnym). Odkształcenia mierzono tensometrem dźwigniowym o podstawie 20 mm i przełożeniu 1000.

Średnie wartości modułu sprężystości przy ścisaniu i rozciąganiu, średnie odchylenia standardowe (σ) i liczbę przebadanych próbek zestawiono w tabeli 1 i 2.

Stwierdzono, że w przypadku drewna olszy białej współczynnik odkształcenia poprzecznego wzrasta ze wzrostem wilgotności, co pozostaje w sprzeczności z wynikami Leontiewa [5]. Jednakże analogiczne wyniki otrzymano dla drewna świerkowego [2]. Uzyskane przez nas wyniki można wyjaśnić tym, że ze wzrostem wilgotności sztywność drewna maleje szybciej w kierunku stycznym niż w kierunku wzdłużnym.

Z rezultatów naszej pracy wynika, że współczynniki przy ścisaniu i rozciąganiu różnią się, o czym do tej pory w literaturze nie podawano. Różnica średnich arytmetycznych przy wilgotności do 13% wynosi około 30% (względem wartości μ_{ta} przy ścisaniu).

W zależności od gęstości lignamonu wartości współczynnika odkształcenia poprzecznego zmieniają się nieliniowo. Przy gęstości $\rho_0 = 650-850 \text{ kg/m}^3$ obserwuje się spadek wartości μ_{ta} . Jest to prawdopodobnie związane ze zmianą kształtu przekroju poprzecznego naczyń powstałą wskutek ścieśniania drewna. Przy dalszym ściśnieniu dochodzi do zmian także innych elementów struktury drewna. Już wcześniej stwierdzono, że istnieje zależność między zmianą modułu sprężystości E_r a kształtem odkształcanego przekroju poprzecznego elementów anatomicznych drewna brzozonego ścieśnianego i potraktowanego amoniakiem [1]. Drewno to, podobnie jak drewno olszy białej należy do rozpierzchłonaczeniowych.

Moduł sprężystości E_a zmniejsza się ze wzrostem wilgotności lignamonu. Należy tu zwrócić uwagę na wzrost wpływu wilgotności przy wzroście gęstości lignamonu.

T a b e l a 1

Wartości współczynników odkształcenia poprzecznego (μ_{ta}) i modułów sprężystości (E_a) dla lignamonu i naturalnego drewna olszy białej przy ścisaniu

Gęstość kg/m ³	Wilgotność %	Liczba próbek szt.	μ_{ta}	$\pm \sigma$	E_a	
					GPa	
Drewno	5,0-7,0	40	0,450	0,103	12,8	1,527
404-444	6,7-8,7	39	0,470	0,130	12,3	1,460
	11,0-14,0	42	0,511	0,109	10,5	1,151
	22,0-25,0	42	0,533	0,115	9,8	1,011
	Lignamon	5,5-7,5	45	0,624	0,145	11,4
400-460	11,0-14,0	44	0,607	1,135	9,4	1,231
	17,5-25,0	44	0,567	0,102	8,2	1,332
	461-580	5,3-6,3	42	0,458	0,070	12,7
461-580	7,0-13,0	51	0,435	0,113	12,1	2,226
	14,5-16,5	33	0,473	0,093	12,2	1,593
	730-850	6,0-7,6	29	0,526	0,094	22,6
730-850	9,5-13,5	37	0,547	0,140	20,1	3,683
	13,6-18,5	46	0,536	0,150	15,9	3,126
	851-950	4,3-7,3	54	0,567	0,124	26,5
851-950	8,5-13,5	40	0,577	0,128	23,7	3,270
	15,2-19,2	35	0,589	0,161	19,7	2,645
	951-1150	5,0-9,0	31	0,541	0,144	33,4
951-1150	10,0-12,4	26	0,627	0,123	28,3	6,100
	16,5-21,5	26	0,618	0,141	19,9	4,606

σ - średni błąd kwadratowy.

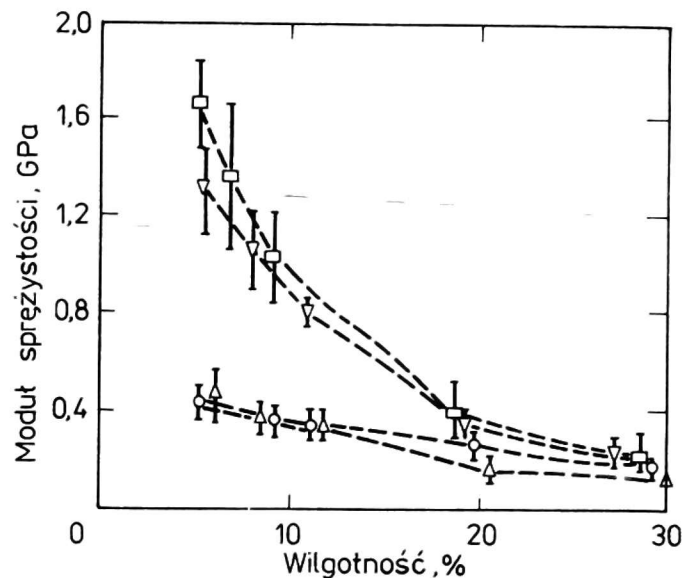
T a b e l a 2

Wartości współczynników odkształcenia poprzecznego (μ_{ta})
i modułu sprężystości (E_a) lignamonu i naturalnego drewna
olszy białej przy rozciąganiu

Gęstość kg/m ³	Wilgotność %	Liczba próbek szt.	μ_{ta}	$\pm \sigma$	E_a σ	
					GPa	
Drewno	3,0-5,0	22	0,304	0,053	12,2	1,66
404-444	7,9-9,9	20	0,310	0,069	11,6	1,19
	11,7-15,7	44	0,347	0,087	10,5	0,94
	23,3-26,3	21	0,562	0,104	9,9	1,14
Lignamon	5,0-7,0	48	0,404	0,065	13,0	1,18
400-460	12,7-14,5	48	0,457	0,076	11,4	1,06
	18,5-23,5	48	0,488	0,120	9,9	1,03
461-650	5,8-7,8	26	0,340	0,065	15,6	2,13
	9,5-11,9	22	0,364	0,084	14,2	1,94
	19,0-22,6	29	0,390	0,105	11,2	1,44
651-850	4,0-6,6	40	0,328	0,063	21,7	4,04
	9,0-13,6	34	0,337	0,071	18,2	3,14
	16,3-22,3	36	0,370	0,106	15,6	2,75
851-1050	5,4-8,5	41	0,357	0,055	27,2	4,01
	8,6-13,5	39	0,378	0,071	12,7	3,69
	18,0-23,0	47	0,445	0,105	18,5	3,22
1051-1250	5,0-8,0	50	0,369	0,063	31,0	4,38
	10,6-13,8	45	0,428	0,073	23,8	3,58
	14,0-17,0	38	0,422	0,102	20,5	4,04
1251-1360	5,0-6,4	12	0,367	0,053	34,5	3,48
	14,0-16,4	6	0,453	0,100	24,7	4,39

σ - średni błąd kwadratowy.

Wartości modułu sprężystości E_t przy różnej wilgotności drewna olszy białej i lignamonu przedstawiono na rysunku 1.



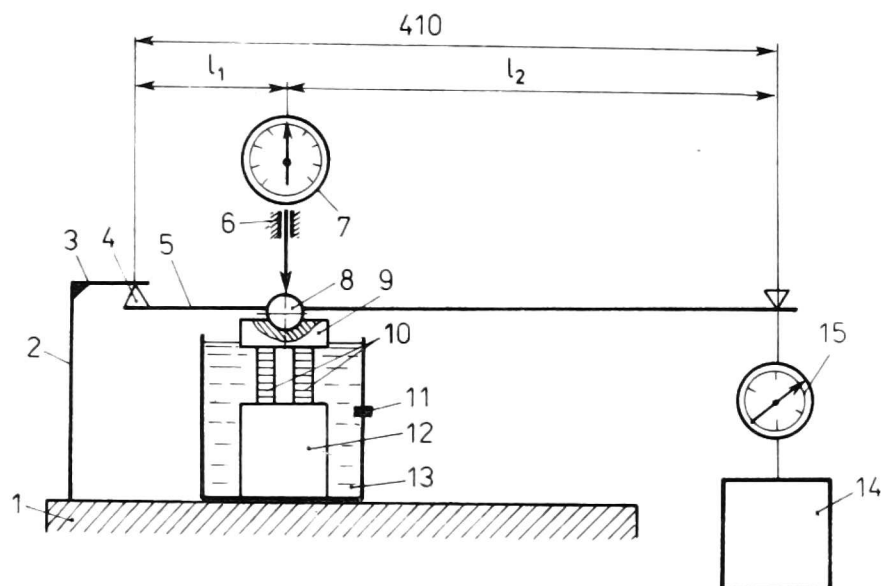
Rys. 1. Wpływ wilgotności na moduł sprężystości przy ściskaniu 1 - olsza biała, 2 - lignamon $\rho_0 = 400-460 \text{ kg/m}^3$, 3 - lignamon $\rho_0 = 750-850 \text{ kg/m}^3$, 4 - lignamon $\rho_0 = 851-950 \text{ kg/m}^3$

Stwierdzono, że moduł sprężystości E_t zależy od wilgotności w podobny sposób jak moduł E_a - ze wzrostem wilgotności moduł E_t maleje; przy wzroście gęstości lignamonu wpływ wilgotności nasila się.

Wiarygodność wyników szacowano według wzoru przedstawionego przez Leontiewa [4]. W większości przypadków prawdopodobieństwo sięga 0,99.

W celu wyznaczenia naprężeń powstających w drewnie, przy ograniczeniu jego swobodnego pęcznienia, przeprowadzono badania i ich analizę. Aby wyznaczyć ciśnienie pęcznienia opracowaliśmy urządzenie bez elementu sprężystego. Odkształcenia pęcznienia próbki w kierunku pomiaru mogą zachodzić w przedziale do $2 \mu\text{m}$. Podobna metodyka była stosowana w innej pracy [7] do badania ciśnienia pęcznienia próbek nasycanych wodą metodą próżniową. Jednakże stwierdzono, że można mierzyć ciśnienie pęcznienia w dowolnym kierunku anatomicznym przy nawilżaniu zarówno w wodzie, jak i w fazie gazowej o różnym stopniu nasycenia, przy czym pęcznienie jest hamowane tylko w kierunku pomiaru. Urządzenie pozwala mierzyć siły w

granicach 10–1400 N. Ciśnienie pęcznienia jest równoważone obciążeniem działającym na próbkę poprzez system dźwigni. Balast stanowi woda, co pozwala przeprowadzić obciążenie (lub odciążenie) stopniowo i daje możliwość regulowania szybkości obciążania w dużym zakresie. Schemat urządzenia przedstawiono na rysunku 2.

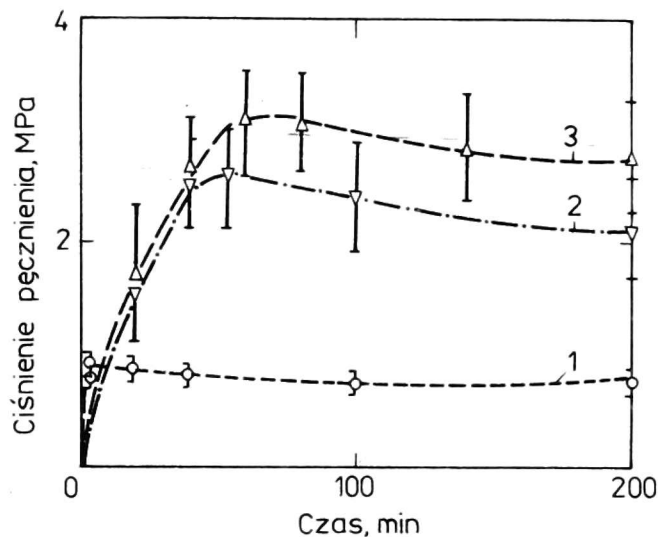


Rys. 2. Schemat urządzenia do wyznaczenia ciśnienia pęcznienia
 1 - podstawa, 2 - wspornik, 3 - podpórka, 4 - pryzmat, 5 - dźwignia, 6 - wspornik czujnika, 7 - czujnik zegarowy, 8 - napora kulista, 9 - pokrywa, 10 - próbka, 11 - korek, 12 - podstawka, 13 - zlewka, 14 - zbiornik, 15 - dynamometr

Przy oznaczaniu ciśnienia pęcznienia mierzy się rozmiary i wilgotność próbek bliźniaczych znajdujących się w analogicznych warunkach.

Do oznaczania ciśnienia pęcznienia w poprzek włókien umieszcza się w naczyniu równocześnie dwie próbki o rozmiarach 12 x 12 x 4 mm, a przy badaniu ciśnienia pęcznienia wzdłuż włókien - dwie próbki o rozmiarach 5 x 10 x 40, albo też jedną próbkę w kształcie dwuteownika o grubości ścianki 3 mm i długości wzdłuż włókien 40 mm, dającego się wpisać w kwadrat o boku 12 mm. Wyniki badania ciśnienia pęcznienia podczas nawilżania w wodzie próbek olszy białej i lignamu przedstawiono na rysunku 3. Obok średnich arytmetycznych podano granice przedziału ufności przy poziomie istotności 0,05.

Maksymalne ciśnienie pęcznienia olszy białej powstaje w ciągu 4–6 minut i wynosi $0,91 \pm 0,10$ MPa, aczkolwiek ilość wody odpowiadająca punktowi nasycenia włókien jest wchłaniana w ciągu 1 minuty.



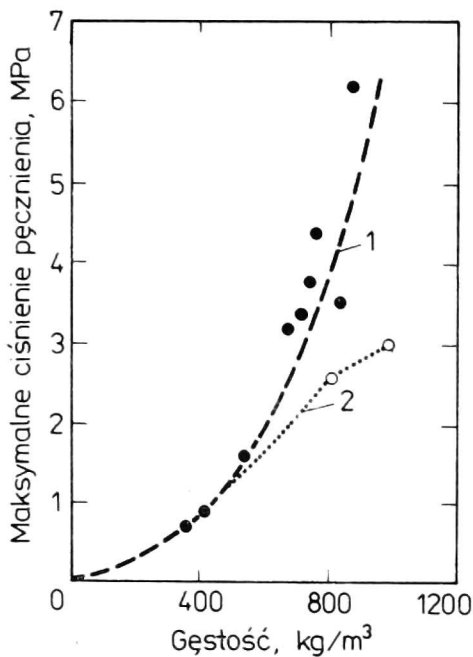
Rys. 3. Zmiany ciśnienia pęcznienia w kierunku stycznym w zależności od czasu nawilżania absolutnie suchego drewna w wodzie
 1 - olsza biała, 2 - lignamon $\rho_0 = 800 \text{ kg/m}^3$, 3 - lignamon $\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$

Oznacza to, że w ciągu 5 minut zachodzi pełne nasycenie ścian komórkowych wodą związaną. Przy dalszym nawilżaniu ciśnienie pęcznienia zaczyna spadać w sposób jednostajny i po 40 godzinach osiąga wartość wynoszącą 80% ciśnienia maksymalnego. Obniżenie maksymalnego ciśnienia pęcznienia w czasie jest zasadniczo związane z relaksacją naprężeń podczas nawilżania drewna w warunkach obciążenia [8].

Krzywe obrazujące zmiany ciśnienia pęcznienia w czasie są podobne dla lignamonu i dla drewna. W przypadku lignamonu rośnie jedynie czas potrzebny do osiągnięcia wartości maksymalnej. Ciśnienie pęcznienia rośnie ze wzrostem gęstości linamonu.

Z zestawienia wartości maksymalnego ciśnienia pęcznienia w kierunku stycznym dla lignamonu ścieśnianego w kierunku promieniomym i drewna naturalnego o analogicznej gęstości [3] wynika, że dla lignamonu wartości te są wyraźnie niższe (rys.4.). Różnice można wyjaśnić zwiększonym pęcznieniem lignamonu w kierunku prasowania i obecnością amoniaku.

Charakter krzywych obrazujących ciśnienie pęcznienia przy nawilżaniu w środowisku gazowym nie różni się od krzywych otrzymanych przy pęcznieniu w wodzie. Różnią się tylko liczbowe wartości ciśnienia pęcznienia. Podczas nawilżania w środowisku o stopniu



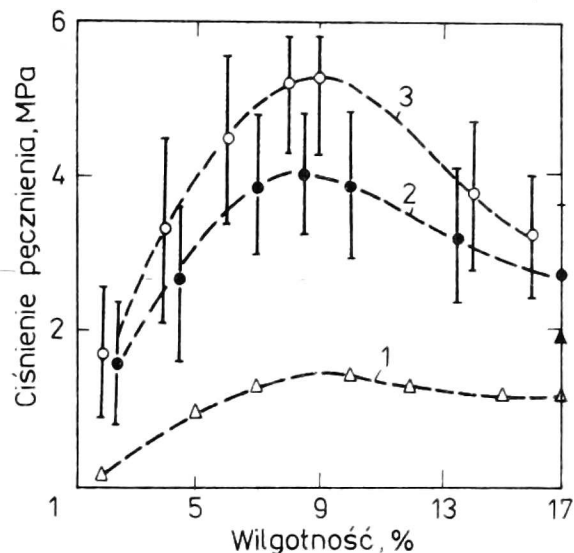
Rys. 4. Zależność maksymalnego ciśnienia pęcznienia w kierunku stycznym od gęstości

1 - dla drewna naturalnego według Iwanowa [3], 2 - dla lignamonu z drewna olszy białej

nasycenia 0,92 maksymalne ciśnienie pęcznienia rośnie średnio o 50% (rys. 5) zarówno dla drewna naturalnego, jak i dla lignamonu o różnej gęstości. Analogiczne wyniki dla drewna sosnowego otrzymał Raczkowski [6] i w wielu innych autorów. Występujące różnice można wyjaśnić nierównomiernością nawilżenia całej próbki podczas moczenia w wodzie, czy też przy nawilżaniu w fazie gazowej, a zatem różną odkształcalnością drewna.

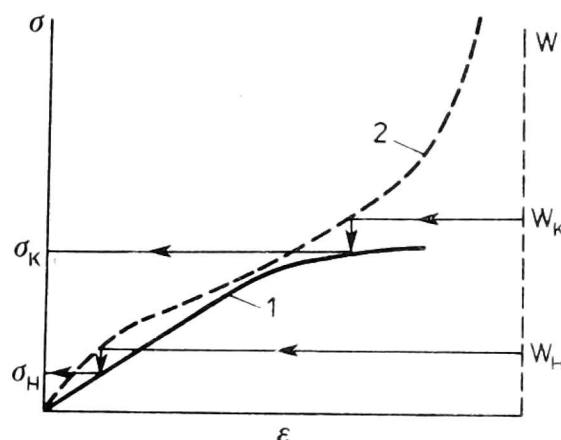
Złożoność doświadczalnego określenia naprężeń powstających podczas hamowania pęcznienia drewna zmusiła do szukania pośredniej drogi ich wyznaczenia. Nasza metoda przewiduje wyznaczenie umownie chwilowego ciśnienia pęcznienia - w praktyce maksymalnego ciśnienia pęcznienia - w zależności od zahamowanego odkształcenia pęcznienia. Zakładamy, że maksymalne odkształcenie próbki jest równe wielkości jej swobodnego pęcznienia. W drewnie wskutek hamowania pęcznienia w danym kierunku nie może powstać naprężenie większe niż to, które jest niezbędne do szybkiego zlikwidowania spęcznienia. Umownie chwilowe ciśnienie pęcznienia w zależności od zahamowanego odkształcenia pęcznienia wyznacza się metodą analizy graficznej z krzywej zależności pęcznienia od wilgotności i z rodziny krzywych "naprężenie - odkształcenie" ($\sigma - \epsilon$) otrzymanych przy różnych założonych poziomach wilgotności badanej próbki. Metoda nie wyklucza możliwości wyznaczania umownie chwilowego ciśnienia pęcznienia także w warunkach występowania naprężeń w dwóch i trzech kierunkach, o ile niezbędne krzywe zostały otrzymane w odpowiednich naprężeniach.

Rys. 5. Zmiany ciŒnienia pŒcznienia w kierunku stycznym przy nawilŒaniu absolutnie suchego drewna w fazie gazowej o stopniu nasycenia 0,92. Oznaczenia jak na rys. 3



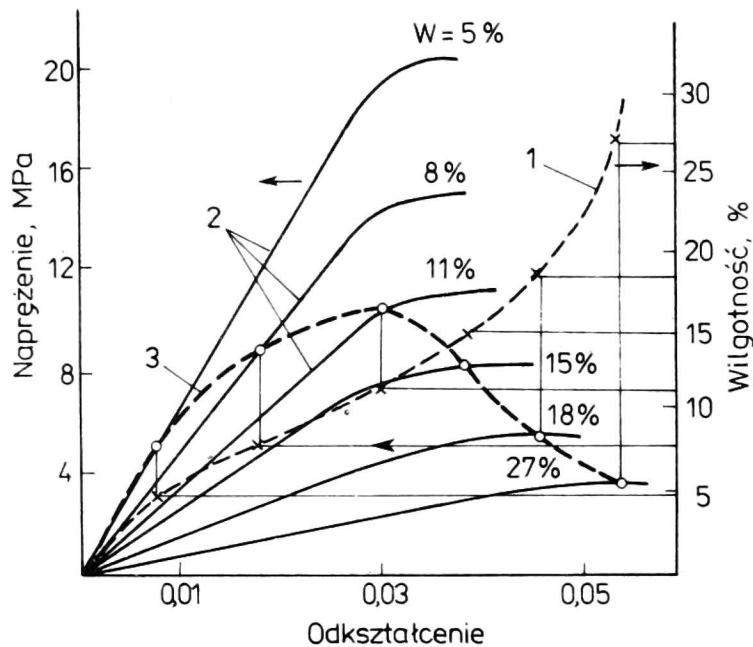
Schemat wyznaczenia umownie chwilowego ciŒnienia pŒcznienia ($\sigma_k - \sigma_n$) przy zmianach wilgotnoŒci od poczŒtkowej W_n do koŒcowej W_k przedstawiono na rysunku 6.

Rys. 6. Schemat graficznego wyznaczenia umownie chwilowego ciŒnienia pŒcznienia ($\sigma_k - \sigma_n$) przy zmianie wilgotnoŒci drewna od W_h do W_k wedlug krzywych $\sigma - \epsilon$



KonstrukcjŒ krzywej umownie chwilowego ciŒnienia pŒcznienia w zaleŒnoŒci od zahamowanego odksztaŒcenia pŒcznienia (ϵ) w przypadku, gdy $W = 0$ przedstawiono na rysunku 7.

PorównujŒc krzywe "ciŒnienie pŒcznienia - odksztaŒcenie" otrzymane doŒwiadczalnie (rys. 5) i graficzno-analitycznie (rys. 7) moŒna oszacowaŒ wielkoŒć naprŒżenia relaksujŒcego w drewnie podczas doŒwiadczalnego wyznaczania ciŒnienia pŒcznienia. Maksymalne ciŒnienie pŒcznienia otrzymane graficzno-analitycznie podczas nawilŒania absolutnie suchego drewna powstaje przy odksztaŒceniu 2,5-3% i przewyŒsza okoŒo 2,5-krotnie ciŒnienie pŒcznienia otrzymane doŒwiadczalnie. Przy odksztaŒceniach powyŒej 5% rŒŒnice znacznie siŒ zmniejszajŒ.



Rys. 7. Konstrukcja krzywej zależności umownie chwilowego ciśnienia pęcznienia od zahamowanego odkształcenia pęcznienia przy $W_H=0$
 1 - krzywa $W \sim \epsilon$, 2 - krzywe $\sigma \sim \epsilon$ przy ustalonych poziomach wilgotności drewna, 3 - krzywa umownie chwilowego ciśnienia pęcznienia (dla lignamonu $\rho_0 = 900 \text{ kg/m}^3$)

WNIOSKI

1. Współczynnik odkształcenia poprzecznego zwiększa się zarówno przy rozciąganiu, jak i przy ściskaniu wraz ze wzrostem wilgotności drewna olszy białej. W przypadku lignamonu współczynnik ten dla rozciągania rośnie ze wzrostem wilgotności, natomiast dla ściskania - prawie nie ulega zmianom.

2. W przedziale wilgotności 4-13% współczynniki odkształcenia poprzecznego dla ściskania i rozciągania różnią się znacznie (przy poziomie istotności 0,05) i to zarówno dla drewna, jak i dla lignamonu o różnej gęstości.

3. Stwierdzono, że ze wzrostem gęstości lignamonu rośnie wpływ wilgotności na wartości jego modułów sprężystości E_a i E_t .

4. Wykazano, że maksymalne ciśnienie pęcznienia lignamonu ściśnianego promieniowo w kierunku stycznym rośnie ze wzrostem gęstości lignamonu. Przy nawilżaniu w fazie gazowej o stopniu nasycenia 0,92 ciśnienie to przewyższa 1,5-krotnie maksymalne ciśnienie pęcznienia w wodzie. Ciśnienie pęcznienia lignamonu jest mniejsze od ciśnienia drewna o tej samej gęstości.

5. Opracowano metodykę graficzno-analitycznego wyznaczenia umownie chwilowego ciśnienia pęcznienia na podstawie krzywej "wilgotności - pęcznienia" oraz rodziny krzywych "naprężenie - odkształcenie" otrzymanych przy różnych założonych poziomach wilgotności drewna. Stwierdzono, że wyznaczone doświadczalnie maksymalne ciśnienie pęcznienia jest około 2,5-krotnie mniejsze od umownie chwilowego ciśnienia maksymalnego.

LITERATURA

1. Berzon A. W., Rocens K. A.; Izmienienije struktury i modulej Junga dreviesiny w rezultacie jejo uplotnienija. Lesnoj Żurnaź, Archangielsk, 6, 1976, s. 101-106.
2. Hearmoon R. F. S.: The elasticity of wood and plywood. London 1948.
3. Iwanow J. M. Issledowanije nabuchanija dreviesiny. Trudy imstytutu Liesa An SSSR, 51, 1962, s. 91-106.
4. Leontiew N. L.: Tiechnika staticzeskich wyczislений. Lesnaja Promyszlennost. 1966, 2. 252.
5. Leontiew N. L.: Wlijanije wlaźnosti na fiziko-mechaniczeskije swojstwa, dreviesiny, Goslesbumizfat, 1962, s. 112.
6. Raczkowski J.: Dawlenije nabuchanija dreviesiny sosny i niekotorych drugich porod. Awtoreferat Kand. techn. nauk. Leningrad 1957, d. 14.
7. Raczkowski J., Krauss A.: Dawlenije nabuchanija kreniowej dreviesiny sosny. Drevarsky Vykum, 2. 1979.
8. Ugolew B. N.: Deformatiwnost dreviesiny i napreženija pri suszkie. Lesnaja Promyszlennost, 1971, s. 176.

Г. С. Вердыньш, К. А. Роценс

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ПОДАТЛИВОСТЬ К ДЕФОРМАЦИЯМ
И НА ДАВЛЕНИЕ НАБУХАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ АММИАКОМ ДРЕВЕСИНЫ

Р е з ю м е

Ольховую древесину модифицировали аммиаком, а затем уплотняли. На так приготовленных образцах определяли модуль гибкости в продольном и тангенциальном направлении, а также коэффициент поперечной деформации при растяжении и сжатии для лигнамона с разной влажностью и разным удельным весом. Установлено, что по мере повышения удельного веса лигнамона повышается влияние влажности на модули гибкости. При повышении удельного веса повышается также давление

набухания, однако оно меньше, чем в случае природной древесины с таким же удельным весом. Разработана также методика графоаналитического условного определения давления набухания для данного момента на основании кривой „влажность-набухание“, или семейства кривых „напряжение-деформация“.

Исследования давления набухания проводились в устройстве специальной конструкции.

G. S. Verdynsh, K. A. Rotsens

HUMIDITY EFFECT ON THE SUSCEPTIBILITY TO DEFORMATIONS
AND ON THE SWELLING PRESSURE OF AMMONIA-MODIFIED WOOD

S u m m a r y

The alder wood was modified with gaseous ammonia and then restricted. On samples prepared in such a way the elasticity module in longitudinal and tangential direction as well as the coefficient of transversal deformation at extension and compression for lignomer of different humidity and density were determined. It has been proved that along with increasing density of the lignomer increases also swelling pressure, being, however, less than in natural wood of the same density. Also the methodics of conventional grapho-analytical determination of momentary swelling pressure from the "humidity-swelling" curve and from the family of "tension-deformation" curves has been developed. The swelling pressure tests were carried out in an appliance of a special construction.