

ZMIANY LEPKOSPREŻYSTYCH WŁAŚCIWOŚCI UKŁADU DREWNO—POWŁOKA LAKIEROWA ZACHODZĄCE W WARUNKACH PRZYSPIESZONEGO STARZENIA

Oswald Paprzycki, Alina Strak

Katedra Klejenia i Uszlachetniania Drewna Akademii Rolniczej w Poznaniu

Kierownik Katedry: prof. dr hab. Michał Zenkteler

WSTĘP I CEL BADAŃ

Pod wpływem procesów starzenia następuje obniżenie wytrzymałości drewna [4, 6, 7]. Czynnikiem zabezpieczającym drewno są powłoki lakierowe, lecz i one w czasie użytkowania zmieniają swoje właściwości mechaniczne [1, 3, 10]. Ponieważ w warunkach naturalnych procesy starzenia przebiegają wolno, a działające czynniki zmieniają się w sposób niekontrolowany, stosuje się sztuczne procesy starzenia dla drewna i powłok lakierowych [6, 7, 8, 10]. W niniejszej pracy, przyjmując metodę przyspieszonego starzenia wg Helińskiej-Raczkowskiej i Lipovszkiego [6], zbadano zmiany właściwości lepkosprężystych drewna malowanego i nie malowanego. Biorąc pod uwagę fakt, iż podczas procesów starzenia zmieniają swoje właściwości lepkosprężyste drewno i powłoki lakierowe, w przeprowadzonych badaniach jako kryterium wielkości tych zmian wybrano wartość dynamicznego modułu ścinania oraz logarytmicznego dekrementu tłumienia. Jak wykazały bowiem badania Norimoto, Takahary, Yamady [13], Moldenhawera, Morze-go, Brysia [11], posługując się oznaczeniami dynamicznego modułu ścinania i logarytmicznego dekrementu tłumienia, można prawidłowo scharakteryzować właściwości układu drewno—żylice sztuczne.

METODYKA BADAŃ

Doświadczenia przeprowadzono na drewnie sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.), pozyskanym z kłody 105-letniego drzewa. Z wypilowanego bala

rdzeniowego wyodrębniono trzy strefy drewna: młodocianego, z przyrostów przyrzeniowych, drewna twardego i bielastego. Właściwości drewna ujęte w tabeli 1 pozwalają na stwierdzenie, iż nie różniły się one od podawanych w literaturze [9]. Dobór drewna młodocianego do badań uwarunkowany był zwiększającym się przerobem przemysłowym drewna średniowymiarowego,

Tabela 1

Właściwości drewna sosny użytego do doświadczeń
Eigenschaften des untersuchten Kieferholzes

Strefa drewna Holzzone	Szerokość słoju rocznych Jahresringbreite mm	Udział drewna późnego Spätholzanteil %	Gęstość Dichte kg/m ³	Wilgotność drewna Holzfeuchte %
Młodociane Marknahe	6,6	19	434	6,5
Twardziel Kernholz	2,5	37	544	7,5
Biel Splintholz	1,2	26	562	8,0

o znacznym udziale młodocianej tkanki drzewnej [17]. Z każdej strefy wyrobiono próbki o kształcie beleczek, o długości 100 mm, wzdłuż włókien, szerokości 10 mm w kierunku promieniowym i grubości 2 mm w kierunku stycznym.

Próbki malowano przez zanurzenie w lakierze nitrocelulozowym, ogólnego stosowania i chemoutwardzalnym, karbamidowo-ftalowym, typu chemosil. Uzyskano pokrycia o dwóch grubościach — z lakieru nitrocelulozowego 60 i 140 μm , a z lakieru chemoutwardzalnego 85 i 125 μm . Pomalowane próbki sezonowano cztery tygodnie w pomieszczeniu laboratoryjnym w powietrzu o temperaturze $20 \pm 3^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej $55 \pm 5\%$. W badaniach wybrano metodę przyspieszonego starzenia przyjętą przez Helińską-Rackowską i Lipovszkiego do oznaczania odporności drewna zmodyfikowanego. Po wstępnym 24 h moczeniu próbek w wodzie destylowanej o temp. $20 \pm 2^\circ\text{C}$ poddawano je następnie 48 h cyklom starzenia, obejmującym zabiegi:

- a) 6 h zamrażania w temp. $-20 \pm 2^\circ\text{C}$,
- b) 6 h naświetlania promieniami ultrafioletowymi i podczerwonymi, lampą o mocy 400 W, z odległości 25 cm; próbki były ułożone pod kątem prostym do kierunku padania promieni, a co 1 h zmieniano powierzchnię naświetlania próbek; naświetlano boczne, szersze powierzchnie,
- c) 12 h suszenia w suszarce, w temp. $80 \pm 2^\circ\text{C}$,
- d) 24 h moczenia w wodzie destylowanej o temp. $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Pomiary przeprowadzono po wstępnym 24 h moczeniu w wodzie, a następnie po 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 i 12 cyklach przyspieszonego starzenia, każdorazowo po zakończonym moczeniu. Dynamiczny moduł ścinania oznaczano za pomocą

aparatu Brüella-Kjaera, na podstawie pomiarów częstotliwości rezonansowej drgań wahadła skrętnego, składającego się z próbki i ramienia bezwładnościowego. Jest to metoda nie niszcząca, pozwalająca na prześledzenie na tych samych próbkach zmian zachodzących podczas całego procesu przyspieszonego starzenia.

Dynamiczny moduł ścinania wyliczano ze wzoru:

$$G = \frac{4\pi^2 f^2 l I}{k_1 a b^3} \times 10^{-7},$$

w którym G — dynamiczny moduł ścinania [MPa], f — częstotliwość drgań rezonansowych [Hz], l — swobodna długość próbki [cm], I — moment bezwładności ramienia [gem^2], k_1 — współczynnik przekroju próbki, a — szerokość próbki [cm], b — grubość próbki [cm].

Moment bezwładności ramienia $I=200 \text{ gem}^2$, a swobodna długość próbek 5 cm. Wartość współczynnika k_1 wyliczano w sposób uproszczony, przyjmując za Hearmonem [5] i Morzem, Olszewskim, Paprzyckim [12], że dla różnicy wymiarów boków przekroju próbek powyżej 4 oznacza się jedną ze składowych dynamicznego modułu ścinania. Dla $a:b=4$, współczynnik $k_1=0,281$, a dla $a:b=5$, $k_1=0,291$. Wartości pośrednie wyliczano przyjmując, iż zmiana stosunku $a:b$ o wartości 0,1 odpowiadała zmianie wartości współczynnika k_1 o 0,001.

Logarytmiczny dekrement tłumienia wyliczano ze wzoru:

$$\lambda = \frac{f_1 - f_2}{f_0},$$

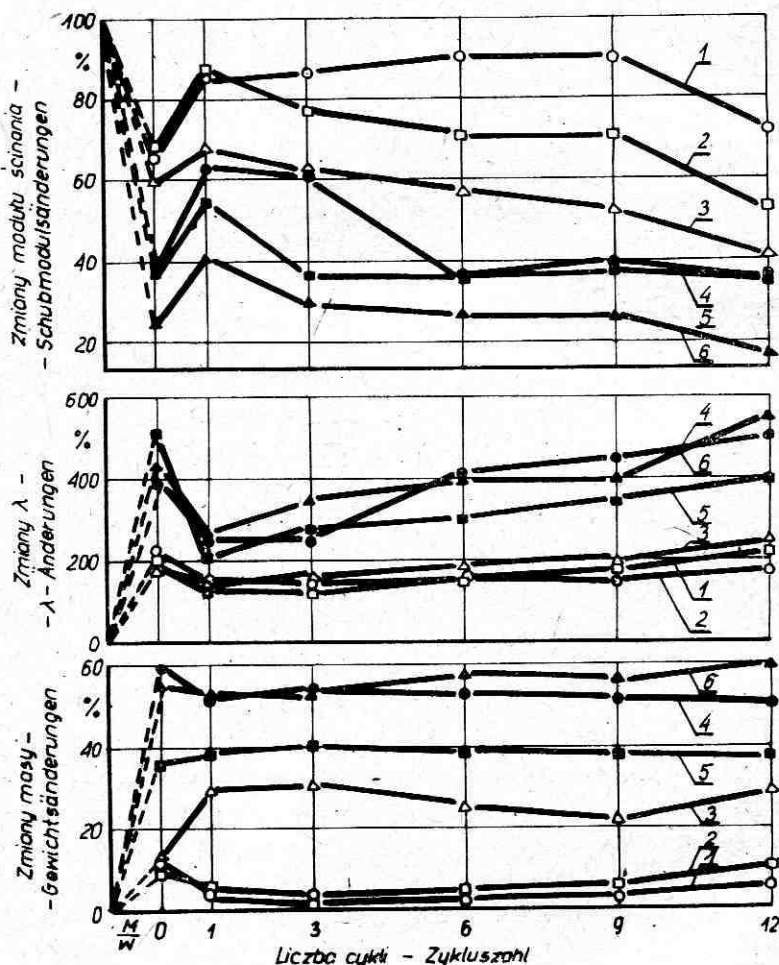
w którym λ — logarytmiczny dekrement tłumienia, f_0 — częstotliwość rezonansowa [Hz], f_1 — częstotliwość przy energii wzbudzania większej o 3 dB od energii wzbudzania dla drgań rezonansowych [Hz], f_2 — częstotliwość przy energii wzbudzania mniejszej o 3 dB od energii wzbudzania dla drgań rezonansowych [Hz].

Na tych samych próbkach oznaczono również zmiany ich masy po wstępnym moczeniu w wodzie oraz po poszczególnych cyklach starzenia. Na każdy wariant zbadano po 5 próbek.

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki badań przyspieszonego starzenia drewna sosny malowanego lakierem chemoutwardzalnym podano w tabeli 2. Dla porównania zamieszczono w tej tabeli również wyniki pomiarów dynamicznego modułu ścinania i logarytmicznego dekrementu tłumienia drewna nie wykończonego powłoką

lakierową. Procentowe zmiany dynamicznego modułu ścinania, logarytmicznego dekrementu tłumienia i masy próbek podczas wstępnego moczenia, a następnie starzenia próbek, w stosunku do wartości uzyskanych po sezonowaniu, przedstawiono na rysunku 1. Zrezygnowano z podawania wyników



Rys. 1. Zmiany dynamicznego modułu ścinania, logarytmicznego dekrementu tłumienia oraz masy próbek malowanych lakierem chemoutwardzalnym oraz nie malowanych, podczas cyklicznego starzenia

1, 4 - drewno młodociane, 2, 5 - drewno twardzieli, 3, 6 - drewno białe, 1, 2, 3 - malowane, 4, 5, 6 - nie malowane, M - moczenie w wodzie 24 h

Abb. 1. Änderungen des dynamischen Schubmoduls, der Dämpfung und des Gewichts von Prüfkörper mit — und ohne Säurehärtendelackschicht während der Alterungszyklen

1, 4 - Holz der Marknahenzone, 2, 5 - Kernholz, 3, 6 - Splintholz, 1, 2, 3 - mit Lackschicht, 4, 5, 6 - ohne Lackschicht, W - Wasserlagerung 24 h

badan drewna malowanego lakierem nitrocelulozowym. Stwierdzono bowiem, że już po pierwszym cyklu starzenia powłoki łuszczyły się, a po drugim cyklu całkowicie odpadały od podłoża.

Z danych zawartych w tabeli oraz przebiegu krzywych na rysunku wynika, że pod wpływem wstępnego moczenia, a następnie cyklicznego starzenia następował spadek dynamicznego modułu ścinania i wzrost logarytmicznego

Tabela 2

Dynamiczny moduł ścinania (G) i logarytmiczny dekrement tłumienia (λ) próbek pomalowanych lakierem chemoutwardzalnym

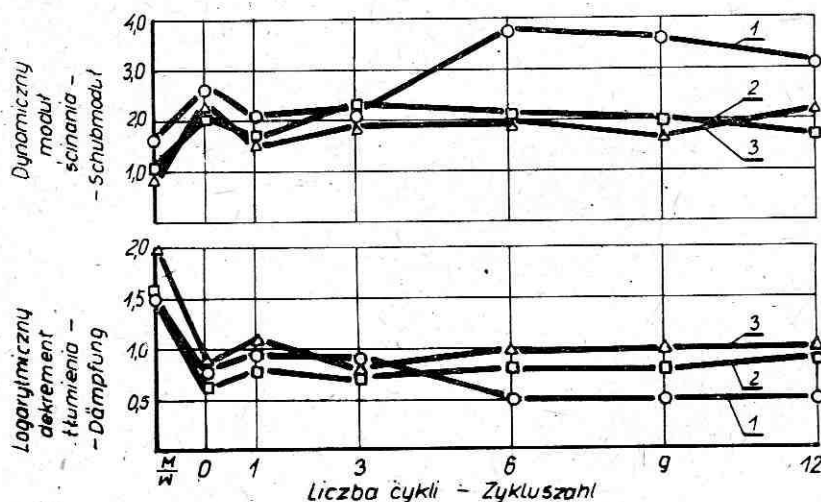
Dynamischer Schubmodul (G) und Dämpfung (λ) mit Säurehärtendelackschicht von Prüfkörper

Strefa drewna Holzzone	Grubość pokrycia Lackschicht dicke μm	Po sezonowaniu Nach der Kon- ditionierung		Po 24 h moczenia Nach 24 h Was- serlagerung		Po 1 cyklu star- zenia Nach 1 Alterungs- zyklus		Po 12 cyklach starzenia Nach 12 Alter- ungszyklen	
		G MPa	λ	G MPa	λ	G MPa	λ	G MPa	λ
Młodościane	—	416	0,078	162	0,308	263	0,188	151	0,382
	85	615	0,110	354	0,249	427	0,199	453	0,193
Marknahe	125	677	0,121	480	0,243	665	0,144	493	0,179
Twardziel	—	716	0,067	276	0,349	397	0,138	252	0,263
	85	734	0,121	360	0,263	640	0,119	304	0,307
Kernholz	125	878	0,092	735	0,175	748	0,108	531	0,167
Biel	—	794	0,062	197	0,262	331	0,157	134	0,346
	85	786	0,130	406	0,260	565	0,164	319	0,289
Splintholz	125	651	0,130	449	0,210	462	0,184	283	0,363

dekrementu tłumienia tak malowanych, jak i nie malowanych próbek. Zmiany te określone w stosunku do próbek sezonowanych są oczywiście mniejsze dla drewna z powłoką lakierową niż dla próbek nie malowanych. Jest to zrozumiałe, jeżeli weźmie się pod uwagę znane właściwości ochronne powłok chemoutwardzalnych [14, 15]. Zaznaczające się w początkowym przebiegu krzywych bardzo duże zmiany dynamicznego modułu ścinania i logarytmicznego dekrementu tłumienia podczas 24 h moczenia próbek w wodzie spowodowane zostały znacznym wzrostem wilgotności, przede wszystkim nie malowanego drewna [15]. Po pierwszym cyklu starzenia natomiast nastąpił wzrost dynamicznego modułu ścinania i spadek logarytmicznego dekrementu tłumienia. Zmiany te z kolei można tłumaczyć zmniejszeniem wilgotności próbek oraz prawdopodobnym dalszym utwardzaniem powłok lakierowych na skutek ich ogrzewania w cyklu starzenia [14]. Najwyraźniejsze zmiany w procesie przyspieszonego starzenia, uwidaczniające się przede wszystkim w spadku dynamicznego modułu ścinania, wystąpiły między 9 a 12 cyklem starzeniowym. Można je odnieść głównie do postępującej destrukcji powłok lakierowych.

Przyjmuje się, że czynnikiem najbardziej niszczącym powłoki lakierowe jest promieniowanie ultrafioletowe [16]. Oddziałuje ono na grupy karboksylowe. W związku z tym w substancjach błonotwórczych nawilżanych i suszonych występuje zjawisko oksydacji. Powłoki stają się bardziej hydrofilne i wzrasta ich pęcznienie. Utlenianie połączone z energią promieniowania jest pierwotnym czynnikiem powodującym łuszczenie powłok. Przyspieszonemu starzeniu ulega również drewno, tym bardziej, że przezroczyste powłoki lakierowe pochłaniają tylko część promieniowania [16]. Jak wykazali Helińska-Raczkowska i Lipovszky [6], równoczesne oddziaływanie ciepła, wilgoci i promieniowania prowadzi do naruszenia uporządkowanych elementów strukturalnych drewna, co przejawia się w zmianie jego właściwości mechanicznych. Duży wpływ mogą wywierać również naprężenia wilgotnościowe i termiczne oraz przemiany fazowe wody podczas zamrażania i odmrażania mokrych próbek.

Porównując proces przyspieszonego starzenia powłok lakierowych na różnych strefach drewna sosny można stwierdzić, że najmniejsze zmiany dynamicznego modułu ścinania, logarytmicznego dekrementu tłumienia i masy próbek występowały w przypadku powłok sformowanych na drewnie



Rys. 2. Wpływ liczby cykli przyspieszonego starzenia na stosunek dynamicznego modułu ścinania (G) i logarytmicznego dekrementu tłumienia (λ) próbek malowanych lakierem chemoutwardzalnym do (G) i (λ) próbek nie malowanych

1 - drewno młode, 2 - drewno twarde, 3 - drewno białe, M - moczenie w wodzie 24 h

Abb. 2. Einfluss der Alterungszyklen auf den Verhältnis des dynamischen Schubmoduls (G) und Dämpfung (λ) von Prüfkörper mit Säurehärtendelackschicht zur (G) und (λ) von Prüfkörper ohne Lackschicht

1 - Holz der Marknahenzone, 2 - Kernholz, 3 - Splintholz, W - Wasserlagerung 24 h

młodocianym, a największe na drewnie bielu. Podobne różnice we właściwościach ochronnych chemoutwardzalnych powłok lakierowych na drewnie młodocianym, bielastym i twardzielowym zostały zaobserwowane w badaniach cyklicznego suszenia i moczenia malowanych próbek [15]. Mniejszą nasiąkliwość malowanego drewna młodocianego niż wykończonego drewna bielu można prawdopodobnie tłumaczyć większym wnikaniami lakierów w młodociane drewno niż w drewno bielu. Przed wsiąkaniem wody w podłoże drewna

Tabela 3

Procentowe zmiany dynamicznego modułu ścinania (G) i logarytmicznego dekrementu tłumienia (λ) próbek malowanych lakierem chemoutwardzalnym
 Prozentuelle Änderungen des dynamischen Schubmoduls (G) und der Dämpfung (λ) von Prüfkörper mit Säurehärtendelackschicht

Strefa drewna Holzzone	Powłoka lakierowa Lack- schicht	Po 12 cyklach starzenia, w procentach wartości po Nach 12 Alterungszyklen, in Prozent der Ergebnisse nach					
		sezonowaniu Konditionierung		24 h moczeniu w wodzie 24 h Wasserlagerung		1 cyklu starzenia 1 Alterungszyklus	
		G	λ	G	λ	G	λ
Młodociane	—	37	490	94	124	57	203
Marknahe	+	73	161	113	76	90	108
Twardziel	—	35	303	91	75	63	191
Kernholz	+	49	223	78	77	60	185
Biel	—	17	558	68	132	40	220
Splintholz	+	42	251	70	139	59	187

Uwaga: (—) bez powłoki, (+) z powłoką

Bemerkung: (—) ohne Lackschicht, (+) mit Lackschicht

młodocianego chroni zatem nie tylko powłoka lakierowa, ale również warstwa drewna przesycona lakierem.

Dla porównania zmian właściwości mechanicznych malowanych i nie malowanych próbek podczas procesu przyspieszonego starzenia przedstawiono na rysunku 2 wpływ liczby cykli starzenia na stosunek dynamicznego modułu ścinania i logarytmicznego dekrementu tłumienia drewna z powłoką lakierową do tych samych mierników drewna bez powłoki lakierowej. Ponadto w tabeli 3 wyliczono zmiany dynamicznego modułu ścinania i logarytmicznego dekrementu tłumienia po 12 cyklach starzeniowych, w procentach wartości określonych dla tych samych mierników po sezonowaniu, po 24 h moczeniu w wodzie i po 1 cyklu starzeniowym. Z przebiegu krzywych oraz danych zawartych w tabeli wynika, że dynamiczny moduł ścinania próbek malowanych po 1 cyklu starzenia jest około 2-krotnie wyższy niż dynamiczny moduł ścinania próbek nie malowanych. Dla próbek z drewna twardzieli i bielu podczas całego procesu starzenia współczynnik ten ulega małym wahaniom. Świadczy to o tym,

że intensywność zmian dynamicznego modułu ścinania malowanych i nie malowanych próbek jest zbliżona. Dla malowanych próbek z drewna młodocianego natomiast po 6, 9 i 12 cyklach przyspieszonego starzenia dynamiczny moduł ścinania malowanych próbek jest przeszło 3-krotnie wyższy niż dynamiczny moduł ścinania próbek nie malowanych. Szybciej przebiega zatem proces zmian właściwości mechanicznych drewna młodocianego niż powłok lakierowych sformowanych na tym drewnie. Podobne zależności stwierdzić można rozpatrując zmiany logarytmicznego dekrementu tłumienia podczas przyspieszonego starzenia malowanego i nie malowanego drewna. W przeprowadzonych badaniach wykańczano powierzchnię drewna powłokami lakierowymi o dużych grubościach. Jak było do przewidzenia, grubsze powłoki lakierowe lepiej zabezpieczyły drewno niż cienkie powłoki [2].

WNIOSKI

1. Pod wpływem przyspieszonego starzenia następuje spadek dynamicznego modułu ścinania drewna sosny malowanej lakierem chemoutwardzalnym. Zmniejszaniu się dynamicznego modułu ścinania towarzyszy wzrost logarytmicznego dekrementu tłumienia.

2. Najmniejsze zmiany dynamicznego modułu ścinania i logarytmicznego dekrementu tłumienia zachodziły w przypadku powłok sformowanych na drewnie młodocianym, a największe na drewnie bielu.

3. Wartość dynamicznego modułu ścinania określona w procesie starzenia malowanych próbek drewna twardego i bielu jest około 2-krotnie wyższa od wartości tego modułu dla nie malowanego drewna twardego i bieli. Dla drewna młodocianego wartość dynamicznego modułu ścinania malowanych próbek jest 3-krotnie wyższa od wartości modułu próbek nie malowanych.

Praca wpłynęła do Redakcji w październiku 1982.

LITERATURA

1. Bileczuk A., Michniewicz M., Paprzycki O.: Wpływ warunków klimatyzowania na wyniki pomiarów właściwości ochronnych powłok lakierowych. *Przemysł Drzewny*, 1979, 2: 12 - 13.
2. Dziągiewski S., Paprzycki O.: Wpływ grubości powłok lakierowych nitrocelulozowych na jakość zabezpieczenia elementów meblowych. *Roczn. WSR w Poznaniu*, 1968, 39, 5: 3 - 9.
3. Funke W.: Die Prüfung von Anstrichen unter varierten Klimabedingungen. *Farbe und Lack*, 1963, 2: 80 - 87.

4. Futo L. P.: Der photochemische Abbau des Holzes als Präparations und Analysenmethode. Holz als Roh- und Werkstoff, 1974, 32: 303 - 311.
5. Hearmon R. F. S.: Theory of the Vibration Testing of Wood. Forest Prod. J., 1966, 16, 8: 29 - 40.
6. Helińska-Raczkowska L., Lipovsky G.: Odporność na przyspieszone starzenie się drewna brzozy i buka zmodyfikowanego polimetakrylanem metylu. Roczniki WSR w Poznaniu, 1970, 51: 71 - 82.
7. Jarmutowska A.: Zmiany w składzie i strukturze węglowodanów zawartych w drewnie świerka, zachodzące w określonych warunkach sztucznego starzenia. Warszawa 1970, maszynopis w bibliotece SGGW-AR w Warszawie.
8. Kuenstler H. G., Shur E. G.: Accelerating Testing of Finishes for Resistance to Weathering. J. of Paint Technology, 1968, 40, 516: 48A - 53A.
9. Krzysik F.: Nauka o drewnie. Warszawa 1974.
10. Lindberg B.: Theories-Laboratory Investigations Practical Performance. J. Oil Chem. Assoc., 1975, 58: 399 - 413.
11. Moldenhawer K., Morze Z., Bryś T.: Wpływ laminowania wybranych gatunków drewna, stosowanych do produkcji nart, tworzywem polietylenowym na kształtowanie się ich fizyko-mechanicznych właściwości. Rocz. WSR w Poznaniu, 1971, 52: 49 - 59.
12. Morze Z., Olszewski J., Paprzycki O.: Untersuchungen der Elemente des dynamischen Schubmodulus des Holzes. Holztechnologie, 1979, 3: 179 - 182.
13. Norimoto M., Takahara S., Yamada T.: Reology of Formation of Resin Layer on Wood. Wood Research, 1965, 36: 23 - 32.
14. Paprzycki O., Proszek S., Skorupski W.: Właściwości chemoutwardzalnych powłok lakierowych na drewnie. Przemysł Drzewny, 1981, 32, 9: 7 - 8.
15. (-), Wojda M.: Wpływ zmian wilgotności na dynamiczny moduł ścinania drewna sosny wykończonego lakierem nitrocelulozowym i chemoutwardzalnym. Poznań, 1981, PTPN (w druku).
16. Renz R., Töpfl H., Vesper W.: Einfluss des UV-Lichtes auf die Zerstörung von Lackfilmen. Farbe und Lack, 1974, 6: 513 - 515.
17. Schabiński S.: Jubileuszowe refleksje nad kompleksową gospodarką leśno-drzewną. Przemysł Drzewny, 1974, 25, 7: 1 - 6.

Освальд Папэжцукі, Аліна Стронк

ІЗМЕНЕНІЯ ЛІПКО-УПРУГІХ СВОЙСТВ СХЕМЫ ДРЕВЕСИНА — ЛАКИРОВАННОЕ ПОКРЫТИЕ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В УСЛОВИЯХ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ

Резюме

Ускоренному старению подвергли образцы, покрытые мочевино-формальдегидным лаком, полученные из трёх зон древесины сосны: ранней, ядра и заболони. Во время циклического старения отмечались изменения динамического модуля срезывания и логарифмического декремента тушения неразрушающим методом резонансных колебаний. Было установлено, что во время процесса старения наступает снижение динамического модуля срезывания и рост логарифмического декремента тушения. Изменения этих двух показателей были наименьшими для покрытий на ранней древесине и наибольшими на древесине заболони.

Oswald Paprzycki, Alina Strąk

ÄNDERUNGEN DER VISKOELASTISCHEN EIGENSCHAFTEN VON HOLZ- PROBEN MIT LACKSCHICHT, WÄHREND DES BESCHLEUNIGTEN ALTERN

Zusammenfassung

Nach beschleunigten Altern von Prüfkörper aus Splint-, Kern- und Holz der Marknahenzone hat man die Änderung des dynamischen Schubmoduls und der Dämpfung nach der zerstörungsfreien Methode geprüft. Man hat festgestellt dass der dynamische Schubmodul abnimmt und die Dämpfung wächst nach den Alterungszyklen. Die Änderungen waren am grössten bei Lackschichten auf Holz aus der Splintzone und am geringsten auf Holz der Marknahenzone.