

## ZMIANY NIEKTÓRYCH ELEKTRYCZNYCH WŁAŚCIWOŚCI DREWNA WYWOŁANE JEGO WGŁĘBNĄ OBRÓBKĄ POLISTYRENEM

*Alojzy Wójtowicz*

Instytut Inżynierii Materiałów Drzewnych SGGW - AR, Warszawa

### WPROWADZENIE

Drewno przewodzi prąd elektryczny według mechanizmu jonowego [9]. Potencjalnymi nośnikami prądu elektrycznego są występujące w drewnie sole mineralne, w ogromnej większości rozpuszczalne w wodzie, a więc ulegające dysocjacji w środowisku wodnym [1, 7, 8]. Ponieważ w drewnie różnych gatunków drzew występuje wiele rodzajów soli mineralnych (substancji jonogennych) to konduktywność drewna  $\gamma$  można wyrazić najogólniej wzorem:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n e \cdot z_i \cdot c_i \mu_i$$

gdzie:

- $e$  — ładunek elementarny, tzn. ładunek elektronu ( $1,602 \cdot 10^{-19}$  C),
- $z_i$  — liczba elementarnych ładunków na nośniku elektryczności typu  $i$ ,
- $c_i$  — liczba cząstek typu  $i$  w jednostce objętości, oraz
- $\mu_i$  — średnia ruchliwość cząstek (nośników) przypadająca na jednostkowy gradient potencjału elektrycznego.

A ponieważ drewno jest materiałem anizotropowym, to jego konduktywność określona jest przez dziewięć wielkości tworzących tensor drugiego rzędu.

Fakt, iż prąd elektryczny przepływa przez drewno według jonowego mechanizmu ma podstawowe znaczenie dla charakteru i rozmiarów zmian elektrycznych właściwości tego materiału wraz ze zmianami czynników endo- i egzogennych. Czynniki sprzyjające wzrostowi ruchliwości cząsteczek oraz grup chemicznych, zwiększające nasilenie polaryzacji i dysocjacji cząsteczek powodują zwiększenie konduktywności. Przy wzroście termicznej ruchliwości następuje zwiększenie prawdopodobieństwa roz-

padu elektrostatycznych wiązań pomiędzy różnoimiennymi jonami tworzącymi w normalnym, niewzbudzonym stanie układy (pary), quasi-statyczne, a więc wzrasta stężenie jonów ( $+\Delta c_i$ ). Jednocześnie wzrasta ich ruchliwość ( $+\Delta \mu_i$ ). Jeszcze większy wpływ na konduktywność wywiera woda pokrywająca ścianki komórek drzewnych. Po pierwsze, przy nawilżeniu zostaje wprowadzona do drewna substancja o bardzo dużej wartości stałej dielektrycznej (w normalnej temperaturze — 81), w środowisku której zachodzi z dużą wydajnością dysocjacja zawartych w drewnie cząsteczek soli mineralnych. Po drugie — cząsteczki wody tworzące trwałe dipole rozpychając makrocząsteczki strukturalnych składników drewna w obszarach nieuporządkowanych stwarzają korzystne warunki dla rotacji grup dipolowych oraz dla przemieszczania się nośników ładunków elektrycznych. Wreszcie, wnikająca do drewna woda najczęściej zawiera pewną ilość rozpuszczonych w niej soli mineralnych ( $+\Delta c_i$ ).

Stamm [11] wykazał, iż w obszarze higroskopijnym istnieje liniowa zależność między logarytmem konduktywności i wilgotnością drewna. Zależność tę można wyrazić wzorami:

$$\log \gamma = a \cdot w - C \quad \text{lub} \quad \rho = 10^{C-aw} = D \cdot e^{-bw}$$

gdzie:

$\rho$  — rezystywność,  
 $a, b, c, D$  — stałe.

W świetle powyższych wywodów należy przyjąć, iż stwierdzenie, że drewno jest dobrym izolatorem odnosi się w zasadzie do drewna suchego. Istotnie rezystywność skrośna drewna „zupełnie suchego” najczęściej zamyka się w granicach  $10^{12}$ - $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$  [7, 8]. Szczególnie wydatnie wzrastają wartości dielektrycznych parametrów drewna, gdy śladowe ilości wody chemicznie związanej osiągną wartość zbliżoną do zera. Clarc i Williams [3] stosując specjalną technikę suszenia stwierdzili, iż rezystywność drewna całkowicie pozbawionego wody (przypadek skrajny) może osiągnąć wartość nawet  $3 \cdot 10^{18} \Omega \cdot \text{cm}$ . Przy wzroście wilgotności drewna w przedziale higroskopijnym rezystywność zmniejsza się bardzo wydatnie, bowiem w punkcie nasycenia włókien osiąga wartość około  $10^6$  do  $10^8$  razy mniejszą aniżeli w stanie suchym [7, 8], natomiast przy wzroście wilgotności w zakresie od granicznej wilgotności błon do pełnego nasycenia drewna wodą wzrasta zaledwie kilkakrotnie [11].

Tak więc podstawową rolę w procesie przewodzenia prądu elektrycznego w drewnie odgrywają: 1) zawarte w drewnie, ewentualnie wprowadzone doń sole mineralne, oraz 2) występująca w drewnie woda higroskopijna.

Polistyren jest nie tylko doskonałym dielektrykiem (rezystywność

skrośna  $10^{16}$ - $10^{18} \Omega \cdot \text{cm}$ ), ale — w przeciwieństwie do drewna — jest materiałem niehigroskopijnym; występująca w powietrzu wilgoc nie wywiera tak dużego wpływu na konduktywność polistyrenu jak w przypadku drewna. Godne odnotowania jest również to, iż podstawowe dielektryczne parametry tego materiału (stała dielektryczna 2,2-2,6 oraz współczynnik rozpraszania 0,0002-0,0005) w temperaturze do 353 K są dość stałe w szerokich granicach częstotliwości, a mianowicie do 1 MHz [2, 4, 5].

Przy modyfikującej obróbce drewna polistyrenem zachodzi nie tylko nasycenie drewna substancją o korzystnych, a przy tym stosunkowo stabilnych właściwościach, lecz także hydrofobizacja drewna. W związku z tym można było oczekiwać, iż w wyniku zmodyfikowania drewna polistyrenem, nie tylko zmniejszy się konduktywność drewna, ale jednocześnie nastąpi ustąpienie dielektrycznych parametrów, to znaczy zmniejszenie podatności na zmiany przy zmianach względnej wilgotności powietrza. Można było również oczekiwać, iż zachodzące w procesie modyfikacji drewna zmiany w fizycznej mikrostrukturze ścianek komórkowych (orientacja wewnętrzna, stopień krystaliczności i usieciowania) będą wywierać pośrednio wpływ na dielektryczne właściwości kompozytu.

W piśmiennictwie specjalistycznym odczuwa się dotkliwy brak badań dielektrycznych właściwości drewna zmodyfikowanego polimerami syntetycznymi. Niniejsza praca stanowi próbę częściowego wypełnienia tej luki. Przedstawione w niej badania porównawcze dotyczą elektrycznych właściwości naturalnego i zmodyfikowanego polistyrenem drewna brzożowego w stanie zupełnie suchym. Jest to pierwsza część badań podjętych przez autora w tym zakresie. Badania dotyczące wpływu wilgotności na elektryczne właściwości układów drewno - polistyren zostaną przedstawione w części drugiej.

#### METODYKA BADAŃ\*

Materiał do badań stanowiły odpowiednio wyrobione próbki drewna brzożowego o gęstości w stanie zupełnie suchym: 550-607-660  $\text{kg}/\text{m}^3$  oraz niestabilizowany styren techniczny z domieszką 1% nadtlenu benzoilu jako inicjatora. Proces polimeryzacji styrenu w drewnie inicjowano metodą termochemiczną. Z powietrznie suchego bala rdzeniowego o grubości 12 cm wyrobiono w odpowiedni sposób (ściśle zorientowany przebieg słoików) graniaki o wymiarach  $11 \times 11 \times 80$  cm. Każdy graniak podzielono na 6 bliźniaczych próbek macierzystych o długości 12 cm. Z każ-

\* W doświadczalnej części badań brały udział Anna Bracha i Teresa Lipińska. Badania elektrycznych właściwości zostały wykonane w Instytucie Wysokich Napięć Politechniki Warszawskiej.

dego takiego zestawu próbek bliźniaczych trzy przeznaczono do impregnacji, zaś pozostałe trzy (bliźniacze próbki kontrolne) stanowiły układ odniesienia w porównawczych badaniach drewna zmodyfikowanego i drewna naturalnego. Próbki przeznaczone do badań charakteryzowano określając ich masę, wilgotność oraz gęstość (stereometrycznie) w stanie zupełnie suchym.

Impregnowano próbki powietrznie suche (wilgotność  $10 \pm 2\%$ ) to znaczy w stanie częściowego spęcznienia, co miało ułatwić przenikanie monomeru do ścianek komórkowych. Zmodyfikowane polistyrenem próbki drewna charakteryzowano określając ich gęstość oraz obciążenie drewna polimerem, to znaczy przyrost masy odniesiony do masy próbek przed impregnacją w stanie zupełnie suchym.

Ze starannie wysuszonych macierzystych próbek drewna zmodyfikowanego i naturalnego wycięto w odpowiedni sposób (regularne kształty, duża gładkość) z wszystkich trzech przekrojów próbki właściwe o wymiarach  $100 \times 100 \times 5$  mm, które powtórnie suszono i charakteryzowano. Próbki przeznaczone do badań elektrycznych właściwości przetrzymywano w eksykatorach nad środkiem higroskopijnym.

Metody pomiarowe w badaniach elektrycznych właściwości oparto na wskazaniach odpowiednich Polskich Norm, ewentualnie modyfikując je stosownie do potrzeby. Zbadano następujące elektryczne właściwości zmodyfikowanego polistyrenem oraz naturalnego drewna brzoźowego w stanie zupełnie suchym:

- 1) przenikalność elektryczną oraz tangens kąta strat dielektrycznych (temperatura około 293 K, częstotliwość prądu od 50 do 300 kHz) według PN-69/E-04403,
- 2) rezystywność skrośną i powierzchniową według PN-71/E-04405, oraz
- 3) wytrzymałość elektryczną (napięcie przebicia) według PN-69/E-04404.

Przenikalność elektryczną oraz tangens kąta strat dielektrycznych określano za pomocą specjalnego układu pomiarowego zbudowanego na zasadzie mostka Scheringa (mostek typ ORION-1471/S). Pomiaru prowadzono przy częstotliwości prądu: 5, 50, 100, 200, 250 oraz 300 kHz. Względną przenikalność elektryczną (stałą dielektryczną) obliczano posługując się uproszczonym wzorem:

$$\varepsilon_r = C_x/C_0$$

gdzie:

- $\varepsilon_r$  — stała dielektryczna,
- $C_x$  — pojemność kondensatora probierczego,

$C_o$  — pojemność kondensatora powietrznego (po usunięciu próbki).

$C_o$  obliczano ze wzoru:

$$C_o = \varepsilon_o \cdot S/d = A/d$$

w którym:

$\varepsilon_o$  — stała dielektryczna powietrza,

$S$  — powierzchnia okładzin kondensatora probierczego,

$d$  — grubość próbki, oraz

$A$  — stała pomiarowa (przyjęto, iż  $A = 40$ ).

Tangens kąta strat dielektrycznych (współczynnik rozpraszania) obliczano według wzoru:

$$\operatorname{tg} \delta = \omega \cdot C_4 R_4 = B \cdot C_4 \cdot f$$

gdzie:

$\omega$  — współczynnik stratności,

$B$  — stała pomiarowa,

$C_4$  — pojemność kondensatora dekadowego przy zrównoważeniu układu pomiarowego (minimalne wskazania galwanometru  $10^{-4}$ - $10^{-6}$ A).

Do badania rezystancji powierzchniowej i skrośnej użyto tych samych próbek jakie były stosowane przy określaniu dielektrycznych parametrów. Opór mierzono za pomocą przyrządu pomiarowego „Teva-Omometr” zwiększając stopniowo przyłożone napięcie pomiarowe w zakresie 100 do 1000 V. Każdy z siedmiu podzakresów pomiarowych wykazywał graniczne wartości:  $1 \times 10^x$  oraz  $50 \times 10^x$ , gdzie  $x = 6, 7, 8, 9, 10, 11$  i  $12$ . Otrzymane z pomiarów wartości rezystancji skrośnej  $R_r$  i powierzchniowej  $R_s$  przeliczano na rezytywność (oporność właściwą) skrośną  $\rho_r$  i powierzchniową  $\rho_s$  wzorami:

$$\rho_r = \frac{(d + g)^2}{4t} \cdot R_r, \quad \rho_s = \frac{(d + g)}{g} \cdot R_s$$

gdzie:

$t$  — grubość próbki,

$d$  — średnica kołowej elektrody pomiarowej (50 mm),

$g$  — wielkość szczeliny między elektrodą pomiarową a pierścieniem ochronnym (2 mm).

Krażek centrujący wykonany był z polimetakrylanu metylu.

Wytrzymałość elektryczną  $W_p$  określano umieszczając próbki zanurzone w oleju mineralnym między odpowiednimi elektrodami mosiężnymi i podnosząc przyłożone napięcie probiercze od zera do napięcia przebiecia. Wartość  $W_p$  obliczano według wzoru:

$$W_p = U_p : d$$

gdzie:

$U_p$  — napięcie przebicia,

$d$  — grubość próbki.

Otrzymane z pomiarów wartości  $W_p$  wyrażano w kV/5 mm.

Rozpiętość wartości obciążenia polimerem w próbkach drewna zmodyfikowanego wynosiła w poszczególnych zestawach próbek  $\pm 0,02$  g/g. Dla każdego takiego zestawu uzyskano co najmniej 10 wyników, a ponieważ za wynik przyjmowano średnią arytmetyczną z pięciu wartości uzyskanych w drodze pomiarów, to każda wartość przytoczona w zestawieniach tabelarycznych jest średnią arytmetyczną z co najmniej 50 wartości uzyskanych w wyniku pomiarów. Wyjątek stanowią wyniki badań wytrzymałości elektrycznej. W tym przypadku (próby niszczące) jedna „wartość pomiarowa” = „wynik” i w związku z tym przytoczone w tabeli wartości są średnimi z dziesięciu wartości uzyskanych w drodze bezpośrednich pomiarów.

#### WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki porównawczych badań elektrycznych właściwości drewna zmodyfikowanego polistyrenem oraz drewna naturalnego przedstawiono w tabelach 1-4 na rysunkach 1-3.

#### STAŁA DIELEKTRYCZNA

Wartości stałej dielektrycznej ( $\epsilon_r$ ) drewna brzoźowego o określonej gęstości zależą od kierunku przepływu prądu przez próbkę oraz od częstotliwości. Przy przepływie wzdłuż włókien wartości  $\epsilon_r$  drewna o gęstości około  $607 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  zawarte są w granicach od 6,1 do 6,7, natomiast przy przepływie w poprzek włókien — w granicach od 4,9 do 5,3. Znamienne jest, iż przy wzroście częstotliwości prądu od 5 do 200 kHz wartości materiału poddanego badaniom (dotyczy to również drewna zmodyfikowanego) wyraźnie maleją, natomiast w zakresie częstotliwości od 200 do 300 kHz — minimalnie wzrastają.

W wyniku obróbki drewna polistyrenem (maksymalne obciążenie drewna polimerem  $0,60 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) następują stosunkowo niewielkie, ale wyraźnie dostrzegalne zmiany wartości stałej dielektrycznej. W kierunku wzdłuż włókien następuje zmniejszenie wartości  $\epsilon_r$  (maksymalnie o 13%). W kierunku promieniowym — przy wzroście częstotliwości prądu od 5 do 200 kHz wartości  $\epsilon_r$  ulegają bardzo nieznacznemu zmniejszeniu, a nieco większemu (maksymalnie o około 5%) przy częstotliwości w zakresie od 200 do 300 kHz. W kierunku stycznym — przy zmianie

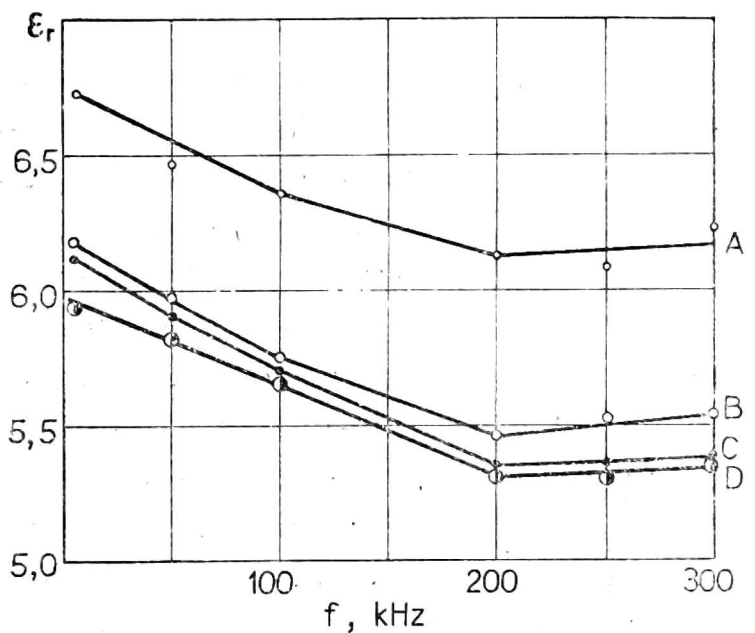
Tabela 1

Stała dielektryczna naturalnego i zmodyfikowanego polistyrenem drewna brzożowego, przy częstotliwości prądu w zakresie od 5 do 300 kHz

Kierunek	OP %	Częstotliwość prądu, kHz					
		5	50	100	200	250	300
Wzdłuż włókien	—	6,7	6,5	6,4	6,1	6,1	6,2
	5,5	6,5	6,2	6,0	5,7	5,7	5,7
	11,5	6,2	6,0	5,7	5,5	5,5	5,5
	18,0	6,1	5,9	5,7	5,4	5,4	5,4
	25,0	6,1	5,9	5,7	5,4	5,6	5,4
	30,0	5,9	5,8	5,7	5,3	5,3	5,4
	Promieniowy	—	5,3	5,3	5,2	4,9	5,0
	7,5	5,3	5,3	5,3	4,7	4,7	4,9
	13,5	5,3	5,3	5,2	5,0	4,9	5,0
	21,0	5,4	5,3	5,2	4,8	4,9	4,9
	39,0	5,4	5,3	5,2	4,8	4,8	4,9
Styczny	—	5,2	5,0	5,0	4,9	4,9	4,9
	5,0	5,4	5,6	5,1	4,6	4,6	4,8
	15,0	5,3	5,1	5,1	4,8	4,8	4,8
	22,0	5,2	5,1	5,2	4,6	4,6	4,8
	34,0	5,4	5,3	5,2	4,8	4,9	4,9
	45,0	5,4	5,2	5,1	4,6	4,6	4,7
	57,0	5,3	5,4	5,4	4,8	4,7	4,7

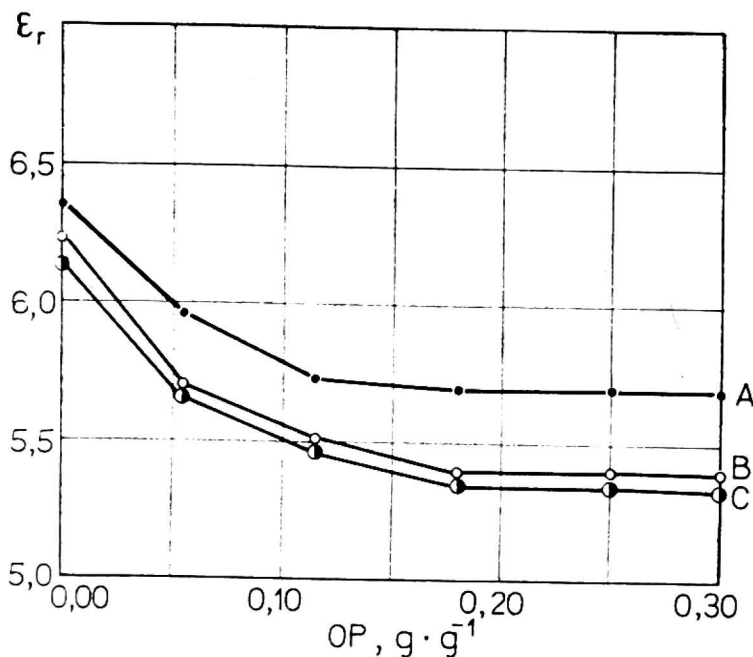
Rys. 1. Stała dielektryczna ( $\epsilon_r$ ) naturalnego i zmodyfikowanego polistyrenem (obciążenie polimerem OP do  $0,30 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) drewna brzożowego, w kierunku wzdłuż włókien, przy różnej częstotliwości prądu w zakresie od 5 do 300 kHz

A — OP =  $0,00 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ , B — OP =  $0,12 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ , C — OP =  $0,18 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ , D — OP =  $0,30 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$



częstotliwości od 5 do 100 kHz — wartości stałej dielektrycznej ulegają nawet niewielkiemu zwiększeniu, a dopiero przy większej częstotliwości następuje ich zmniejszenie (maksymalnie o około 6%).

Znamienne jest, iż efekt modyfikacji wzrasta wraz ze wzrostem obciążenia drewna polimerem tylko do określonej, stosunkowo zresztą niewielkiej wartości  $OP$ , a mianowicie w zakresie od 0 do 0,20 g/g; przy zwiększaniu się wartości  $OP$  powyżej 0,20 g/g wartości stałej dielektrycznej kompozytu utrzymują się na stałym poziomie ( $\epsilon_r \approx \text{const}$ ) co wyraźnie widać na rysunku 2.



Rys. 2. Stała dielektryczna ( $\epsilon_r$ ) drewna brzozonego o różnym obciążeniu polimerem  $OP$  od zera do  $0,57 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  w kierunku wzdłuż włókien  
A — 100 kHz, B — 300 kHz, C — 200 kHz

#### TANGENS KĄTA STRAT DIELEKTRYCZNYCH

Wartości współczynnika rozpraszania ( $\text{tg } \delta$ ) poddanego badaniom drewna brzozonego wynoszą od  $0,8 \cdot 10^{-3}$  do  $8,0 \cdot 10^{-3}$ . Dla kierunku stycznego wartości te zamykają się w granicach od  $2,4 \cdot 10^{-3}$  do  $4,7 \cdot 10^{-3}$ , dla kierunku promieniowego od  $1,7 \cdot 10^{-3}$  do  $5,1 \cdot 10^{-3}$  (większy rozrzut wartości) oraz dla kierunku wzdłuż włókien od  $4,2 \cdot 10^{-3}$  do  $7,3 \cdot 10^{-3}$  (największe względne wartości). Wraz ze wzrostem częstotliwości prądu w zakresie od 5 do 300 kHz — wartości  $\text{tg } \delta$  wydatnie się zwiększają zwłaszcza dla kierunku promieniowego.

W wyniku obróbki drewna brzozonego polistyrenem następuje zmniejszenie wartości  $\text{tg } \delta$ , przy czym zmiany te są na ogół tym większe, im większe jest obciążenie drewna polimerem. Zależność ta szczególnie wyraźnie występuje przy mniejszej częstotliwości prądu. Przy częstotliwości 5 kHz wartość  $\text{tg } \delta$  dla kierunku stycznego w przypadku kompozytu, w którym  $OP$  wynosi 0,57 g/g jest około 5-krotnie mniejsza aniżeli wartość  $\text{tg } \delta$  drewna naturalnego. Jest to maksymalne zmniejszenie współczynnika rozpraszania spowodowane obróbką drewna polistyrenem. Dla



kierunku stycznego stwierdzono największą „regularność” zależności:  $\text{tg } \delta = f(OP, f)$ . Zmniejszenie wartości współczynnika rozpraszania jest w tym przypadku największe przy maksymalnym obciążeniu drewna polimerem i najmniejszej częstotliwości prądu. Dla kierunku promieniowego maksymalne zmniejszenie wartości  $\text{tg } \delta$  spowodowane obróbką polistyrenem ( $OP_{\text{max}} = 0,57 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) jest 2-3-krotne, przy czym wyraźna regularność zależności:  $\text{tg } \delta = f(OP)$  wystąpiła jedynie przy  $f = 5 \text{ kHz}$ . W pozostałych przypadkach ( $f = 50-300 \text{ kHz}$ ) zależność ta praktycznie nie występuje, chociaż wartości współczynnika rozpraszania kompozytów są na ogół mniejsze aniżeli wartości  $\text{tg } \delta$  drewna naturalnego. Stosunkowo najmniejsza regularność zależności  $\text{tg } \delta = f(OP, f)$  wystąpiła przy przepływie prądu w kierunku wzdłuż włókien. Zmniejszenie wartości współczynnika rozpraszania nie przekroczyło w tym przypadku 40%.

## WYTRZYMAŁOŚĆ ELEKTRYCZNA

Wytrzymałość elektryczna na przebicie ( $W_p$ ) poddanego badaniom naturalnego drewna brzożowego wynosi od około 14 kV/5 mm w kierunku wzdłuż włókien do około 42 kV/5 mm w kierunku promieniowym.

Tabela 2

Współczynnik strat dielektrycznych naturalnego i zmodyfikowanego polistyrenem drewna brzożowego, przy częstotliwości prądu w zakresie od 5 do 300 kHz

Kierunek	OP %	Częstotliwość prądu, kHz					
		5	50	100	200	250	300
		$\text{tg } \delta \cdot 10^3$					
Wzdłuż włókna	—	4,2	7,0	5,0	7,3	5,6	7,1
	7,0	3,6	6,0	4,7	7,0	6,2	7,2
	11,5	4,6	4,9	3,9	6,8	7,0	7,3
	18,0	3,4	4,3	3,3	5,0	6,3	7,2
	25,0	4,4	4,8	3,5	6,1	4,7	6,5
	30,0	3,7	4,8	3,7	5,8	5,6	7,6
Styczny	—	3,9	4,3	2,6	3,3	2,4	4,7
	11,3	2,1	2,8	2,0	3,7	3,3	3,5
	20,3	1,6	3,3	1,5	3,5	3,2	3,6
	32,0	1,3	2,6	1,5	3,2	3,2	3,3
	45,0	0,9	1,9	2,0	2,4	2,5	2,7
	57,0	0,8	1,6	1,4	2,7	2,8	3,1
Promieniowy	—	1,7	4,2	2,4	2,5	5,1	5,1
	7,5	2,2	2,2	2,3	4,2	4,0	4,0
	13,5	2,1	1,5	1,7	3,0	4,5	3,7
	20,0	1,3	2,4	2,9	4,4	3,9	4,4
	36,5	1,1	1,8	2,0	2,8	3,8	3,8
	45,0	0,9	2,7	2,7	3,8	4,0	3,9

Tabela 3

Wytrzymałość elektryczna ( $W_p$ ) naturalnego i zmodyfikowanego polistyrenem drewna brzożowego

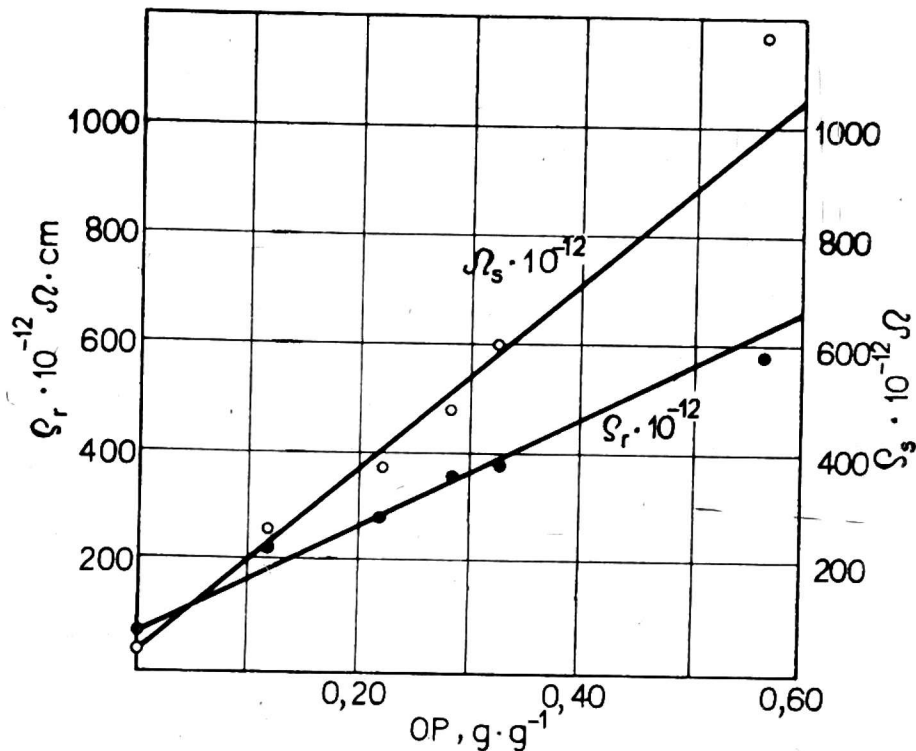
Kierunek	OP %	$W_p$ kV/5 mm	$\pm \Delta$ %
Wzdłuż włókien	—	14,2	
	10,5	23,2	27
Styczny	—	38,1	
	14,0	44,8	18
Promieniowy	—	41,6	
	13,0	33,8	—19

#### REZYSTYWNOSC SKROŚNA I POWIERZCHNIOWA

W wyniku obróbki polistyrenem, mimo dość małego obciążenia drewna polimerem ( $OP = 11\%$ ) nastąpił wydatny wzrost wartości  $W_p$  dla kierunku wzdłuż włókien; wzrost ten wyniósł ponad  $70\%$  początkowej wartości. Również w kierunku stycznym wzrosła wytrzymałość na przebicie, ale w mniejszym stopniu, bo przy  $OP = 14\%$  zaledwie o około  $18\%$ , natomiast w kierunku promieniowym wartości  $W_p$  nie tylko nie zwiększyły się w wyniku obróbki drewna polistyrenem ( $OP$  około  $13\%$ ), ale uległy zmniejszeniu o około  $19\%$ .

Wyniki badań potwierdziły pogląd, iż drewno w stanie suchym jest dobrym izolatorem. Rezystywność skrośna ( $\delta_r$ ) poddanego badaniom drewna brzożowego wynosi: w kierunku wzdłuż włókien około  $90 \cdot 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ , w kierunku promieniowym  $85 \cdot 10^{12}$  oraz w kierunku stycznym  $80 \cdot 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ . Rezystywność powierzchniowa ( $\rho_s$ ) wynosi odpowiednio:  $36 \cdot 10^{12}$ ,  $44 \cdot 10^{12}$  oraz  $41 \cdot 10^{12} \Omega$ .

W wyniku obróbki drewna brzożowego polistyrenem ( $OP$  od 8 do  $57 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) następuje wydatny wzrost rezystywności. Należy tu odnotować trzy fakty. Po pierwsze — nie dla wszystkich kierunków wzrost rezystywności jest zależny od wartości  $OP$ . Dla kierunku promieniowego, maksymalny wzrost rezystywności stwierdzono przy  $OP$  wynoszącym zaledwie  $0,14 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  ( $OP_{\text{max}} = 0,45 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Po drugie — podobnie jak inne wielkości charakteryzujące drewno jako dielektryk, również rezystywność zmienia się przy obróbce polistyrenem anizotropowo, z tym, że ta anizotropowość w przypadku rezystywności zaznacza się znacznie wyraźniej. I tak, dla kierunku wzdłuż włókien, w wyniku obróbki drewna polistyrenem ( $OP_{\text{max}} = 0,31 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) wartość  $\rho_r$  wzrosła maksymalnie 2,5-krotnie, zaś dla kierunku promieniowego ( $OP$  zaledwie  $0,14 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) 5-krotnie, a dla kierunku stycznego ( $OP = 0,57 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) 7-krotnie. Po trze-



Rys. 3. Opór elektryczny właściwy skrośny ( $\rho_r$ ) i powierzchniowy  $\rho_s$  w kierunku stycznym drewna brzozonego o różnym obciążeniu polimerem (OP) w zakresie od zera do  $0,57 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$

Tabela 4

Oporność właściwa skrośna ( $\rho_r$ ) i powierzchniowa ( $\rho_s$ ) naturalnego oraz zmodyfikowanego polistyrenem drewna brzozonego

Kierunek	OP %	$\rho_r \cdot 10^{-12}$ Ω .cm	$\rho_s \cdot 10^{-12}$ Ω
Wzdłuż włókien	—	91	36
	12	88	135
	18	140	236
	25	235	289
	31	167	368
Promieniowy	—	85	44
	7,5	138	125
	13,5	421	498
	20,0	279	380
	36,0	198	335
	45,0	134	320
Styczny	—	78	41
	11,7	225	262
	22,0	278	375
	28,0	363	485
	32,3	379	602
	56,5	575	1170

cie — obróbka drewna brzożowego polistyrenem w większym stopniu wpływa na rezystywność powierzchniową aniżeli na rezystywność skrośną. Różnica ta szczególnie wyraźnie wystąpiła dla kierunku stycznego. Wartości  $\rho_s$  zwiększyły się w wyniku obróbki drewna brzożowego polistyrenem (OP jak wyżej) dla kierunku osiowego 10-krotnie, dla kierunku promieniowego 11-krotnie i dla kierunku stycznego 28-krotnie.

Przyczyny zmian dielektrycznych parametrów drewna mają źródło w trzech faktach o podstawowym znaczeniu dla zjawiska przepływu prądu, faktach na które zwrócono już częściowo uwagę we wprowadzeniu. Po pierwsze — w procesie obróbki drewna polistyrenem zostaje do drewna wprowadzony materiał o niepolarnej budowie ogniw elementarnych, uważany za jeden z najlepszych izolatorów ( $\rho_r$  rzędu  $10^{16}$ - $10^{18}$   $\Omega$ -cm). Po drugie — jak można zakładać na podstawie teoretycznych przesłanek — w termochemicznie inicjowanym procesie wolnorodnikowej polimeryzacji styrenu w drewnie, część molekuł wody chemicznie a więc trwale związanych ze strukturalnymi składnikami drewna ulega oderwaniu i w konsekwencji tego procentowo wyrażona ilość wody „związanej” (0,5-1,0%) wywierającej szczególnie duży wpływ na konduktywność drewna ulega zmniejszeniu. Po trzecie — rezystywność, jak również stała dielektryczna oraz współczynnik rozpraszania zależą od fizycznej struktury materiału przez który przepływa prąd. Otóż w wyniku obróbki drewna polistyrenem zachodzą określone zmiany w fizycznej strukturze ścianek komórkowych, oraz w przestrzeniach, które przed impregnacją były „puste”. Przestrzenie te zostają w znacznym stopniu wypełnione polistyrenem blokowym (homopolimerem) odznaczającym się zwykle amorficzną budową, a część makrocząsteczek polistyrenu zostaje chemicznie związana z podłożem lignocelulozowym. Można oczekiwać iż wskutek połączenia się polistyrenu z drewnem wzrośnie energia aktywacji dla ruchów Browna wprowadzonego do drewna polimeru [10]. Wypadkowy efekt modyfikacji zależeć więc będzie od wielu czynników. Na szczególną uwagę zasługuje fakt metodologicznej natury. Zgodnie z założeniem, w niniejszej pracy badano naturalne drewno brzożowe oraz otrzymany zeń kompozyt w stanie suchym. Badania te mają bowiem stanowić układ odniesienia dla dalszych badań na drewnie (kompozycie) wilgotnym. A przecież, jak to wykazano we wprowadzeniu, wilgoć wywiera decydujący wpływ na konduktywność drewna. Co więcej, jak to wynika z badań Jamesa [6] wartości stałej dielektrycznej oraz współczynnika rozpraszania, w przypadku drewna naturalnego, w większym stopniu zależą od wilgotności aniżeli od gatunku drewna, kierunku przepływu prądu i temperatury w jakiej ten przepływ zachodzi. Jeśli dodać, iż polistyren jest skutecznie działającym „repellentem” wody, to można przewidywać, iż liczbowe wskaźniki wyrażające korzystną zmianę dielek-

trycznych parametrów drewna — zmianę spowodowaną modyfikacją drewna polistyrenem — ulegną wydatnemu zwiększeniu, gdy porównawcze badania drewna naturalnego i otrzymanych zeń kompozytów drewno-polistyren będą prowadzone na wilgotnym materiale.

#### WNIOSKI

1. W wyniku modyfikującej obróbki drewna brzozonego polistyrenem podstawowe parametry dielektryczne tego drewna ulegają znacznym zmianom. Zmiany te, w zakresie częstotliwości prądu od 5 do 300 kHz zależą od ilości wprowadzonego do drewna polimeru, przy czym szczególnie silny wpływ wartości obciążenia drewna polimerem na elektryczne właściwości drewna daje się zauważyć przy stosunkowo niewielkim obciążeniu, a mianowicie w zakresie od 0 do 0,20 g/g.

2. Generalnie rzecz ujmując, wartości stałej dielektrycznej, współczynnika rozpraszania oraz wytrzymałości na przebicie, w wyniku obróbki drewna polistyrenem ulegają stosunkowo niewielkim zmianom, natomiast bardzo duże zmiany (wzrost) występują w rezystywności, zwłaszcza powierzchniowej.

#### LITERATURA

1. Błażej A. i in.: *Chemia drewa*, ALFA, Bratysława, 1975.
2. Brydson J. A.: *Plastics Materials*, Newnes-Butterworths, Londyn, 1975.
3. Clarc J. D., Williams J. M.: *J. Phys. Chem.* 37, 1933, 117, cyt. za Kollmann-Coté, *Solid Wood*).
4. Colding B.: *Polymer and Resins*, D. Van Nostrand Co, Inc., Princeton, New Jersey, Toronto, Nowy Jork, Londyn, 1959.
5. Hertz Z. i in.: *Polistyren*, WNT, Warszawa, 1975.
6. James W. L.: *Dielectric Behaviour of Douglas-Fir at Various Combinations of Temperature, Frequency, and Moisture Content*. *Forest Prod. J.* 27, 6, 1977, 44-48.
7. Kollman F. P., Coté W.: *Principles of Wood Science and Technology*. Vol. I. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Nowy Jork, 1968.
8. Krzysik F.: *Nauka o drewnie*, PWN, Warszawa, 1974.
9. Lin R. T.: *A study on the electrical conduction in wood*. *Forest Prod. J.* 15, 1965, 506-514.
10. Mizumachi H., Kamidohzono M.: *Interaction between Wood and Polymer*. Pt. IV. *Dielectric Properties of Polyvinyl Acetate Filled with Wood Components*. *Holzforschung* 29, 6, 1975, 229-231.
11. Stamm A. J.: *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.* 1, 1929, 94-97 (cyt. za Kollman-Coté, *Solid Wood*).

*Алойзы Вуйтович*

## ИЗМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ВЫЗВАННЫЕ ЕЕ ГЛУБОКОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОЛИСТИРОЛОМ

### Резюме

Проводились сравнительные исследования некоторых электрических свойств абсолютно сухой, природной и модифицированной полистиролом березовой древесины. В частности сравнивали: диэлектрическую константу ( $\epsilon_r$ ) и коэффициент диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) в пределах от 5 до 300 кГц, электрическую прочность ( $W_p$ ) и электрическое удельное сквозное ( $\rho_r$ ) и поверхностное ( $\rho_s$ ) сопротивление.

Установлено, что в результате модификации березовой древесины полистиролом (нагрузка полимером от нескольких до около 60%) происходит, как правило, снижение величины  $\epsilon_r$ , особенно в направлении вдоль волокон и величины  $\text{tg}\delta$ . Величины же  $W_p$  в направлении вдоль волокон и тангентальном повышаются, снижаясь в радиальном направлении. Сильно повышаются также величины  $\rho_r$  и особенно, даже 28-кратно, величины  $\rho_s$ .

*Alojzy Wójtowicz*

## CHANGES OF SOME ELECTRIC PROPERTIES OF WOOD CAUSED BY ITS DEEP TREATMENT WITH POLYSTYRENE

### Summary

Comparative investigations of some electric properties of absolute dry natural and modified birch wood were carried out. In particular, dielectric constant ( $\epsilon_r$ ) and coefficient of dielectric losses ( $\text{tg}\delta$ ) within the range of 5-300 kHz, electric strength ( $W_p$ ) as well as internal ( $\rho_r$ ) and superficial ( $\rho_s$ ) electric resistance, were compared.

It has been found that in consequence of modifying treatment of birch wood with polystyrene (load of polystyrene from several to 60%) usually a reduction of the  $\epsilon_r$  (particularly along fibres) and  $\text{tg}\delta$  value takes place. The  $W_p$  values in the direction along fibres and tangential one increase, decreasing in the radial direction. A considerable increase of  $\rho_r$ , and particularly (even 28 fold one) of  $\rho_s$ , takes place.