

Krzysztof TANNENBERG, Grzegorz TANNENBERG

TANEL ELEKTRONIKA I INFORMATYKA,
ul. Kopernika 121, 44-100 Gliwice

Pomiar wilgotności drewna wilgotnościomierzami pojemnościowymi

Dr inż. Krzysztof TANNENBERG

Absolwent Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. W roku 1980 na tym samym wydziale obronił pracę doktorską uzyskując tytuł doktora nauk technicznych. W roku 1982 założył firmę TANEL zajmującą się produkcją elektronicznych wilgotnościomierzy do drewna, betonu, powietrza i innych materiałów. Prowadzi badania nad dokładnością pomiarów wilgotności i fizycznymi procesami związanymi z produkcją i magazynowaniem biopaliw.



e-mail: kat@tanel.com.pl

Mgr inż. Grzegorz TANNENBERG

Absolwent studiów magisterskich Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. W 2004 ukończył studia doktoranckie na tym samym wydziale. Pracownik Centrum Komputerowego Politechniki Śląskiej. W firmie TANEL wspomaga i prowadzi działalność badawczą.



e-mail: grzegorz.tannenberga@polsl.pl

Streszczenie

W artykule omówiono zasadę działania pojemnościowych wilgotnościomierzy do drewna. Przedyskutowano główne źródła niepewności pomiaru. Doświadczalnie określono wpływ rozkładu wilgotności wzdłuż przekroju próbki na niepewność pomiaru. Podano analityczną zależność wielkości tej niepewności dla wilgotnościomierzy pojemnościowych i rezystancyjnych. Potwierdzono lepszą dokładność wilgotnościomierzy rezystancyjnych również w przypadkach niejednorodnego rozkładu wilgotności wzdłuż przekroju próbki.

Słowa kluczowe: dokładność pomiaru wilgotności drewna, wilgotnościomierz pojemnościowy, rozkład wilgotności.

Wood moisture content measurements using capacitance based moisture meters

Abstract

The paper starts with presentation of the basic principles of operation of capacitance-based wood moisture meters (Sections 1, 2, Figs. 1-5) followed by discussion of the main sources of moisture content measurement errors i.e. wood temperature (Section 5), sample timber thickness (Section 6), wood density (Section 7) and moisture distribution along the sample cross-section (Section 8). Next, there is described an experiment conducted to determine the influence of the cross-section moisture distribution on the measurement error (Sections 9, 10). The moisture distribution was measured using an atmospherically insulated sample of wood and a resistance-based moisture meter with insulated needles inserted into the sample on various depths. Simultaneously the measurements were taken by means of a capacitance-based moisture meter. The tests took 28 days. The results are given in Tables 1 and 2. The moisture distribution along the cross-section on subsequent days is shown in Fig. 8. Analytical dependences describing the measurement error as a function of the maximal difference of moisture content along the cross-section were determined. These dependences are given for capacitance and resistance-based moisture meters (Figs. 9, 10). The research confirmed the higher accuracy of resistance-based moisture meters also in cases of heterogeneous distribution of the moisture content.

Keywords: accuracy of wood moisture content measurements, capacitance based moisture meters, cross-section moisture distribution.

1. Informacje ogólne

Wilgotność drewna jest podstawowym parametrem technologicznym drewna. Wpływa w zasadniczy sposób na jego parametry fizyczne i mechaniczne [1]. Z tego powodu szybki, dokładny i niezawodny pomiar wilgotności drewna jest rzeczą niezbędną.

Do pomiaru wilgotności drewna powszechnie stosowane są obecnie wilgotnościomierze elektroniczne (elektryczne). Działają one na zasadzie pomiarów parametrów elektrycznych próbki drewna i przetwarzaniu zmierzonych wartości bezpośrednio na wilgotność wyrażoną w procentach [2, 3].

Wilgotność drewna określona jest wzorem (1):

$$W_O = \frac{m_w - m_s}{m_s} * 100 \quad [\%] \quad (1)$$

gdzie: m_w - masa drewna wilgotnego, m_s - masa drewna suchego, W_O - wilgotność drewna.

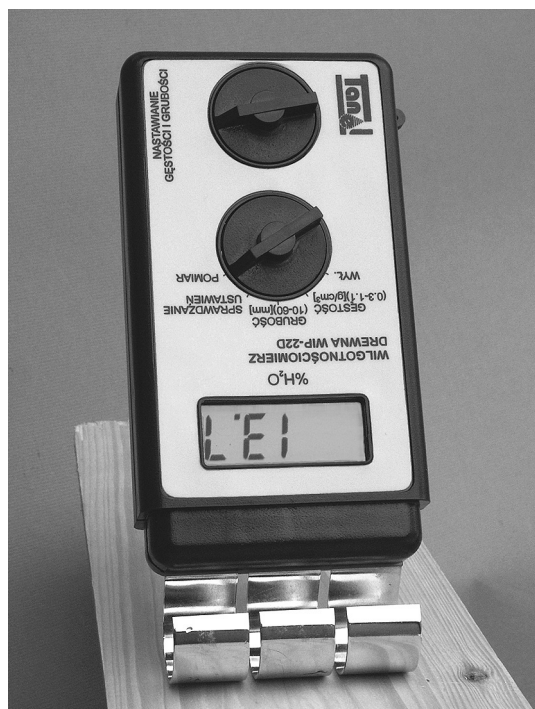
Przy takiej definicji, wilgotność drewna może przyjmować wartości powyżej 100%. Przykładowo, wilgotność świeżo ściętego drewna może wynosić 160-180 %. Wilgotność odniesiona do masy suchego materiału (jak we wzorze (1)) nazywana jest wilgotnością bezwzględną.

Spotyka się dwie podstawowe grupy wilgotnościomierzy:

- wilgotnościomierze rezystancyjne (z igłami) (rys. 1),
- wilgotnościomierze pojemnościowe (dotykowe) (rys. 2).



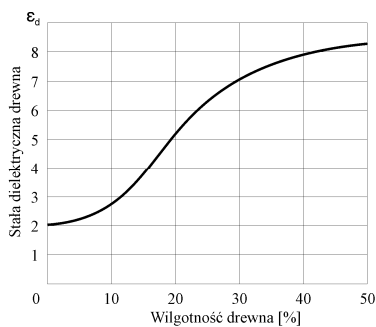
Rys. 1. Wilgotnościomierz rezystancyjny
Fig. 1. Resistance-based moisture meter



Rys. 2. Wilgotnościomierz pojemnościowy
Fig. 2. Capacitance-based moisture meter

2. Wilgotnościomierze pojemnościowe

Wilgotnościomierze pojemnościowe (zwane także: dotykowe, bezigłowe, z polem elektromagnetycznym) działają na zasadzie pomiaru stałej dielektrycznej drewna. Stała dielektryczna wody $\epsilon_w = 80$, a stała dielektryczna całkowicie suchego drewna $\epsilon_d = 2$ do 4. Wpływ zawartości wody w drewnie na jego stałą dielektryczną jest bardzo duży (rys. 3).



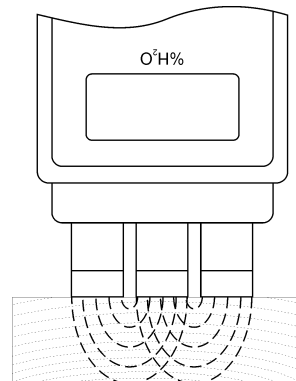
Rys. 3. Zależność stałej dielektrycznej drewna ϵ od wilg. drewna (rys. poglądowy)
Fig. 3. Dielectric constant of wood as a function of moisture content (approximate visualisation)

Pomiar polega na przyłożeniu do drewna elektrod, które emitują w głąb drewna zmienne pole elektromagnetyczne (rys. 4). Elektrody te tworzą swego rodzaju kondensator. Pojemność kondensatora zależy od stałej dielektrycznej drewna, a więc od jego wilgotności. Zmiany pojemności przetwarzane są w wilgotnościomierzu na wynik w procentach wilgotności bezwzględnej.

Produkowane są wilgotnościomierze z dwoma różnymi kształtami elektrod:

- płaskie elektrody (izolowane) wtopione w dno przyrządu. Miernik ma kształt prostopadłościanu i podczas pomiaru należy przyrząd położyć na badanym drewnie,
- elektrody w kształcie zbliżonym do okręgu, bez izolacji, wystające poza przyrząd i tworzące z nim jedną całość. Podczas pomiaru elektrody dociska się do badanego elementu.

Zakres pomiarowy wilgotnościomierzy pojemnościowych mieści się pomiędzy 4% a 28%. Powyżej punktu nasycenia włókien oraz przy bardzo niskiej wilgotności (poniżej 4%) zmiany stałej dielektrycznej są wyraźnie mniejsze, co utrudnia pomiar (pogarsza dokładność).



Rys. 4. Zasada działania wilgotnościomierza pojemnościowego
Fig. 4. Principle of operation of a capacitance-based moisture meter

3. Dokładność

Błąd pomiaru wilgotności wilgotnościomierzem pojemnościowym, przy poprawnie nastawionej gęstości, jest niewiele większy od błędu pomiaru wilgotnościomierzem rezystancyjnym. Na podstawie badań własnych [4] można przyjąć, że:

- dla wilgotności drewna 10% błąd wynosi $\pm 1,5\%$,
- dla wilgotności drewna 20-25% błąd wynosi $\pm 2,5\%$.

Przy pomiarach tymi przyrządami występują jednak częściej niż w wilgotnościomierzach rezystancyjnych "grube błędy", wynikające ze skokowej, nie do zdiagnozowania, zmiany gęstości na pewnym odcinku badanej tarcicy. Odrzucenie takich wyników (a jest to konieczne) wymaga od wykonującego pomiar wiedzy i doświadczenia.

4. Źródła błędów pomiaru

Na wynik pomiaru poza wilgotnością wpływ mają:

- temperatura drewna,
- grubość badanej tarcicy,
- gęstość drewna,
- rozkład wilgotności wzdłuż grubości.

Czynniki wymienione w pierwszych trzech punktach są powszechnie znane i uwzględniane przez producentów wilgotnościomierzy. W niniejszej pracy zostaną tylko zasygnalizowane. Zasadniczym przedmiotem naszej analizy i badań jest wpływ rozkładu wilgotności na wynik pomiarów.

5. Temperatura drewna

Wpływ temperatury na stałą dielektryczną drewna jest niewielki, co sprawia, że wpływ temperatury na wynik pomiaru jest pomijalnie mały. Z tego względu wilgotnościomierze pojemnościowe nie posiadają układów kompensacji temperatury drewna.

Na podstawie badań własnych [4] szacuje się, że przy wilgotności drewna wynoszącej około 10%, przy zmianie temperatury drewna o 10°C (np. z 20°C do 30°C) wynik wzrośnie o 0,2 – 0,3%.

6. Grubość badanej tarcicy

Najczęściej wilgotnościomierze kalibrowane są dla grubości tarcicy wynoszącej 5 cm. Dodatkowo zakłada się, że rozkład wilgotności na grubości jest prawie stały na całym przekroju. Przy takich założeniach wilgotnościomierz wskazuje średnią wilgot-

ność tarcicy. Jeżeli grubość tarcicy jest wyraźnie mniejsza od podanej w instrukcji obsługi to otrzymany wynik będzie niższy od wilgotności rzeczywistej. Kłopoty z wpływem grubości na wynik pomiaru nie występują w przyrządach, które posiadają możliwość ustawiania grubości tarcicy i tym samym skorygowania wyniku. Bardzo ważne jest, by w czasie pomiaru pod badaną tarcicą nie znajdował się inny materiał. Umieszczenie pod tarcicą płyty metalowej spowoduje szczególnie duże zawyżenie wyniku. Najlepiej, by po drugiej stronie tarcicy była wolna przestrzeń (ewentualnie płyta styropianowa).

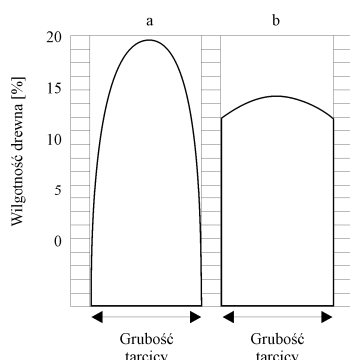
7. Gęstość drewna (gatunek drewna)

Wilgotnościomierze pojemnościowe są bardzo czułe na gęstość drewna i z tego powodu gatunek drewna ma bardzo duży wpływ na wyniki.

Nastawienie poprawnej wartości gęstości drewna przed pomiarem prowadzi do uzyskania wyników z bardzo małymi błędami. Kłopot w tym, że zwykły użytkownik nie potrafi określić gęstości „swojego” drewna i posługuje się danymi podanymi w instrukcji obsługi. Tam jest jednak podana tylko jedna gęstość dla jednego gatunku. Tymczasem gęstość np. dębu przeznaczony do produkcji parkietu może wynosić 0.6 kG/dcm^3 , ale może też mieć wartość 0.75 kG/dcm^3 [4]. Taki zakres zmian zmierzono podczas badań jednej partii fryzów otrzymanych od ich producenta. Można przypuszczać, że dla różnych producentów i większej liczby partii różnice gęstości byłyby jeszcze większe. Można oszacować, że przy pomiarach dębu o wilgotności około 10% w krańcowych przypadkach może to być źródłem dodatkowego błędu wynoszącego ok. $\pm 1.5\%$ [4].

8. Wpływ rozkładu wilgotności

W zależności od szybkości suszenia (nawilżania) rozkład wilgotności drewna jest różny. Ilustruje to rys. 5.



Rys. 5. Rozkład wilgotności,

(a) – drewno po intensywnym suszeniu; (b) – drewno sezonowane

Fig. 5. Moisture content distribution,

(a) – wood after intensive drying, (b) – seasoned wood

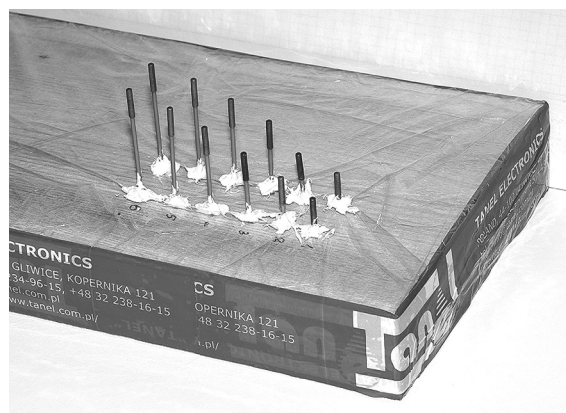
Przy pomiarach wilgotności wilgotnościomierzami pojemnościowymi rozkład wilgotności może mieć istotny wpływ na wynik pomiaru.

9. Opis doświadczenia

W celu określenia wpływu rozkładu wilgotności na wynik pomiaru przeprowadzono następujący eksperyment. Przygotowano starannie wyselekcjonowaną próbkę drewna sosnowego o wymiarach $400 \times 210 \times 50 \text{ mm}$ o dużym gradiencie wilgotności. Różnica wilgotności pomiędzy warstwą zewnętrzną a warstwą wewnętrzną wynosiła 5,6%. Następnie hermetycznie zamknięto (zapakowano) całą próbkę na okres 28 dni. Dzięki temu następowało sukcesywne wyrównywanie się wilgotności bez zmiany wilgotności średniej całej próbki. Masa próbki (a więc i wilgotność średnia) podczas całego czasu trwania eksperymentu nie zmieniała się co kontrolo-

wano ważąc systematycznie próbkę z dokładnością $\pm 100 \text{ mg}$. Rozkład wilgotności wzdłuż grubości mierzono 6 parami elektrod wilgotnościomierza rezystancyjnego wbitymi na głębokość (rys. 6):

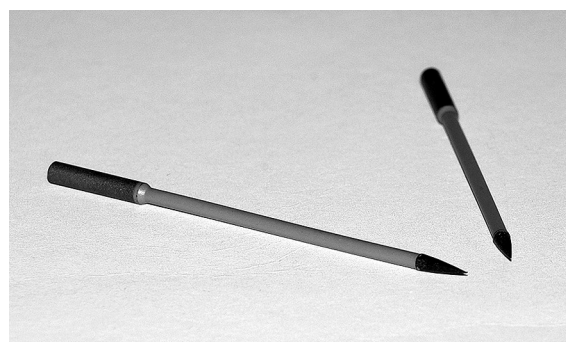
- Elektrody 1 43 mm
- Elektrody 2 34,5 mm
- Elektrody 3 25,5 mm
- Elektrody 4 14,5 mm
- Elektrody 5 8,5 mm
- Elektrody 6 2,5 mm



Rys. 6. Próbkę drewna poddana badaniom

Fig. 6. Wood sample used for investigations

Elektrody były izolowane na całej długości z wyjątkiem samych końcówek (ostrzy) (rys. 7). Wilgotność na poszczególnych głębokościach określano wilgotnościomierzem rezystancyjnym typu WRD-100. Przyrząd posiadał świadectwo wzorcowania z Okręgowego Urzędu Miar w Krakowie.



Rys. 7. Igle pomiarowe wykorzystane w badaniach

Fig. 7. Measurement needles used for investigations

Temperatura próbki była stała i wynosiła $22^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.

Badaniu poddano przyrząd pojemnościowy jednego z dużych europejskich producentów. Przyrząd posiadał płaską powierzchnię roboczą. Przed pomiarami sprawdzono, że wpływ folii o grubości $0,05 \text{ mm}$ na wyniki pomiarów jest pomijalnie mały ($\pm 0,1\%$).

Kolejne pomiary wykonywano zawsze w tym samym miejscu, tuż obok wklutych elektrod. Folia pod przyrządem była gładka niepomarszczona. Przyrząd dociskamy był do podłoża zawsze z taką samą siłą. Nastawy (gęstości i grubości) były zgodne z instrukcją obsługi i nie ulegały zmianie podczas całego czasu trwania eksperymentu.

Mimo bardzo długiego okresu oczekiwania (28 dni) nie uzyskano całkowitego wyrównania wilgotności. Nastąpiło jedynie zmniejszenie różnicy wilgotności z początkowej 5,6% do 1,3%. Dla wyniku eksperymentu nie miało to jednak zasadniczego znaczenia.

Za wilgotność warstwy zewnętrznej przyjęto wilgotność zmierzoną elektrodami wbitymi na głębokość 2,5mm.

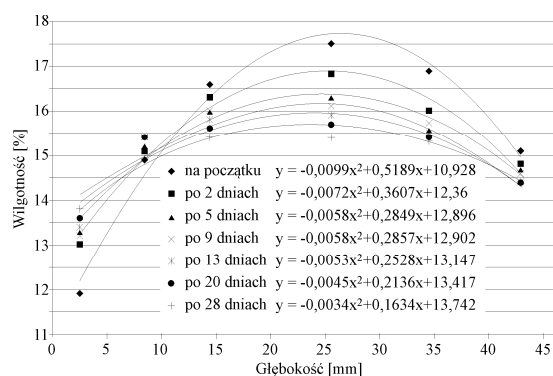
10. Wyniki pomiarów

Tabela 1 zawiera wyniki pomiarów wilgotności. Wiersze od 1 do 6 przedstawiają wyniki otrzymane dla poszczególnych głębokości. W wierszu 7 podano wyniki otrzymane badanym wilgotnościomierzem pojemnościowym.

Tab. 1. Wyniki pomiarów wilgotności
Tab. 1. Results of moisture content measurements

Lp.	Nr elektrody	Głębokość [mm]	Wilgotność [%] po określonej liczbie dni							
			0	2	5	9	13	20	28	
1	1	43	15,1	14,8	14,7	14,6	14,4	14,4	14,5	
2	2	34,5	16,9	16,0	15,6	15,7	15,5	15,4	15,3	
3	3	25,5	17,5	16,8	16,3	16,1	15,9	15,7	15,4	
4	4	14,5	16,6	16,3	16,0	16,0	15,8	15,6	15,4	
5	5	8,5	14,9	15,1	15,2	15,4	15,4	15,4	15,4	
6	6	2,5	11,9	13,0	13,3	13,2	13,4	13,6	13,8	
7	Wskazania wilgotnościomierza pojemnościowego		11,8	12,6	12,9	13,0	13,2	13,3	13,5	

Przy założeniu parabolicznego rozkładu wilgotności (co w suszarnictwie drewna jest powszechnie przyjęte [2]) wyniki z tabeli 1 ilustruje rys. 8.



Rys. 8. Rozkład wilgotności w kolejnych dniach pomiarowych
Fig. 8. Moisture content distribution in subsequent days of investigations

W 28 dniu, po zakończeniu pomiarów, określono wilgotność badanej próbki metodą suszarkowo – wagową zgodnie z PN-77/D-04100. Otrzymano wynik: 14,8% tzn., że średnia wilgotność próbki w okresie badań była stała i wynosiła 14,8%. Za miarę zmienności wilgotności wzdłuż grubości przyjęto różnicę wilgotności A pomiędzy warstwą środkową (na głębokości 25,5 mm), a warstwą zewnętrzną (na głębokości 2,5 mm).

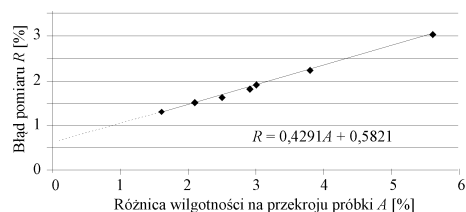
W tabeli 2 przedstawiono różnicę (R) pomiędzy rzeczywistą wilgotnością próbki (14,8%) a wskazaniami wilgotnościomierza pojemnościowego.

Tab. 2. Rzeczywista wilg. oraz wskazania wilgotnościomierza pojemnościowego
Tab. 2. Actual moisture content and results obtained from capacitance-based moisture meter

1	Liczba dni	0	2	5	9	13	20	28
2	Rzeczywista wilgotność	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8
3	Wskazania wilgotnościomierza pojemnościowego	11,8	12,6	12,9	13,0	13,2	13,3	13,5
4	Różnica (R)	3,0	2,2	1,9	1,8	1,6	1,5	1,3
5	Amplituda (A)	5,6	3,8	3,0	2,9	2,5	2,1	1,6

Zależność $R = f(A)$ ilustruje rys. 9 gdzie: R - całkowity błąd pomiaru wilgotnościomierzem pojemnościowym [punkty procentowe],

A - różnica wilgotności pomiędzy warstwą środkową a warstwą zewnętrzną próbki [punkty procentowe].



Rys. 9. Błąd pomiaru wilgotnościomierza pojemnościowego w funkcji różnicy wilgotności na przekroju próbki

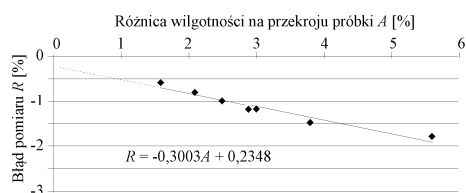
Fig. 9. Measurement error of a capacitance-based moisture meter vs. moisture content difference along the cross-section

Na podstawie wykresu (rys. 9) można stwierdzić:

- dodatkowy błąd z powodu różnicy wilgotności wynosi ok. $0,43 \cdot A$,
- przy całkowitym wyrównaniu wilgotności (dla $A = 0$) badany wilgotnościomierz zmierzyłby wilgotność próbki z błędem $R_0 = 0,58\%$.

11. Porównanie z wilgotnościomierzem rezystancyjnym

Dla wilgotnościomierza rezystancyjnego przy wbiciu igieł na głębokość 14,5 mm (co odpowiada 29% grubości i jest zgodne z zaleceniami, które mówią o wbijaniu elektrod na 25% - 30% grubości) zależność $R = f(A)$ przedstawiona jest na rys. 10.



Rys. 10. Błąd pomiaru wilgotnościomierza rezystancyjnego w funkcji różnicy wilgotności na przekroju próbki

Fig. 10. Measurement error of a resistance-based moisture meter vs. moisture content difference along the cross-section

12. Wnioski

Rozkład wilgotności drewna wzdłuż grubości ma zauważalny wpływ na wynik pomiaru wilgotnościomierzem pojemnościowym. Jeżeli różnica wilgotności pomiędzy warstwą zewnętrzną a warstwą środkową wynosi A , to jest ona źródłem dodatkowego błędu B_P o wartości około $B_P = 0,43 \cdot A$. Wilgotnościomierz wskazuje wynik niższy od wilgotności rzeczywistej.

Wyniki otrzymane wilgotnościomierzem rezystancyjnym są wyraźnie lepsze. Dodatkowy błąd B_R (przy wbiciu elektrod na ok. 30% grubości) jest mniejszy i wynosi ok. $B_R = 0,30 \cdot A$.

Rozkład wilgotności jest zbliżony do parabolicznego, co jest zgodne z powszechnie przyjmowanym założeniem.

13. Literatura

- [1] Glijer L.: Suszenie, parowanie i termiczna modyfikacja drewna, Wyd. Wieś Jutra, Warszawa 2009.
- [2] Domański M., Osipiuk J.: Metrologia techniczna w przemyśle drzewnym, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2005.
- [3] Krzysik F.: Nauka o drewnie, PWN, Warszawa 1974.
- [4] Tannenber K.: Wilgotnościomierze elektroniczne do drewna, Przemysł Drzewny, Nr 12, 2004.