

LABORATORIUM

MATERIAŁOZNAWSTWO ELEKTROTECHNICZNE

Ćwiczenie nr 2

Pomiar właściwości elektrycznych dielektryków stałych

Lublin 2025 r.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Utwór dostępny jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe.

Cel ćwiczenia

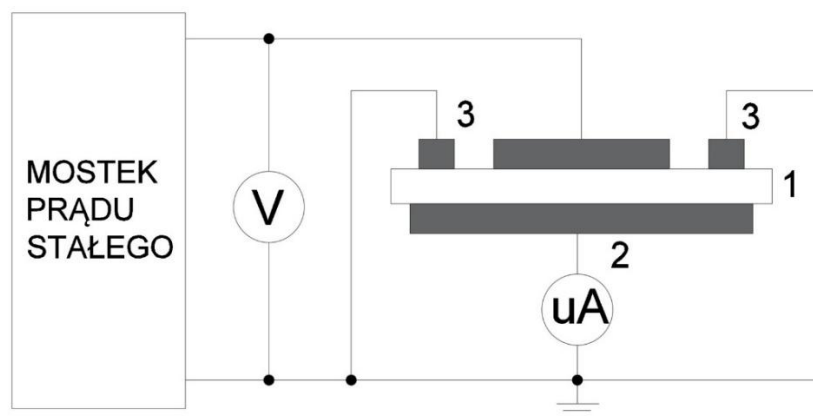
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi właściwościami dielektryków stałych charakteryzujących ich zachowanie pod wpływem pola elektrycznego takimi jak rezystywność skrośna i powierzchniowa, przenikalność dielektryczna oraz tangens kąta strat. Dodatkowo ćwiczenie obejmuje poznanie metod pomiaru parametrów elektrycznych tych materiałów.

Zakres ćwiczenia

W pierwszej części ćwiczenia badania zostaną przeprowadzone poprzez pomiar rezystancji skrośnej i powierzchniowej pięciu próbek dielektryków stałych wykonanych z różnych materiałów przy pomocy mostka STATRON HMB-1. Następnie w celu poprawnego obliczenia parametrów elektrycznych zmierzone zostaną wymiary geometryczne próbek. Na podstawie pomiarów właściwości elektrycznych oraz geometrycznych obliczona zostanie rezystywność skrośna i powierzchniowa próbek. W drugiej części ćwiczenia przy pomocy kondensatora pomiarowego i mostka RLC zmierzona zostanie pojemność oraz tangens strat dielektrycznych próbek dielektryków wykonanych z trzech różnych dielektryków o różnej grubości. Na podstawie badań pojemności obliczona zostanie przenikalność elektryczna próbek.

Stanowisko pomiarowe

W celu obliczenia rezystywności dielektryków należy dokonać pomiaru rezystancji skrośnej i powierzchniowej w układach przedstawionych na rysunkach 1 i 2.

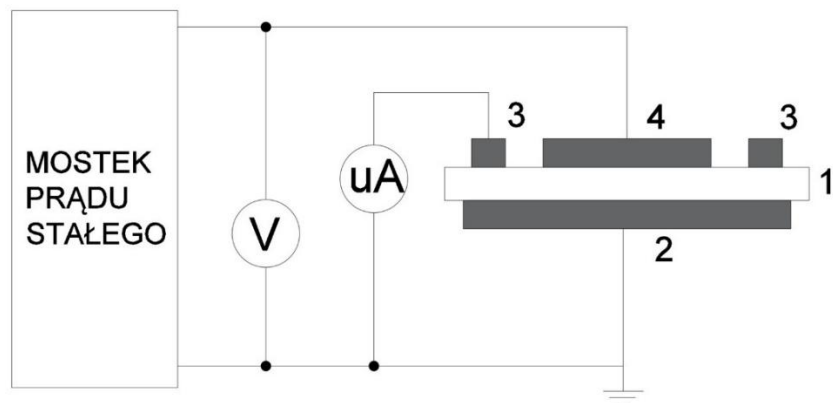


Rysunek 1. Pomiar rezystancji skrośnej: 1 - próbka, 2 - elektroda dolna, 3 - elektroda ekranująca

2

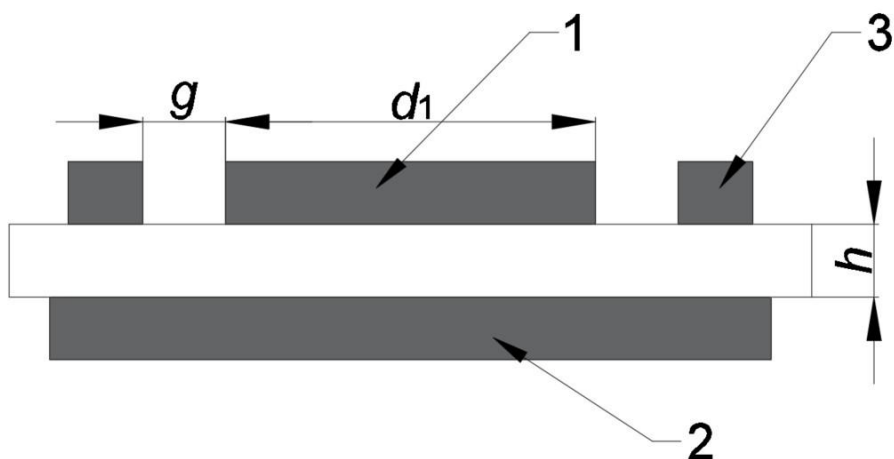


This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Utwór dostępny jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe.



Rysunek 2. Pomiar rezystancji powierzchniowej: 1 - próbka, 2 - elektroda dolna, 3 - elektroda ekranująca, 4 - elektroda górna

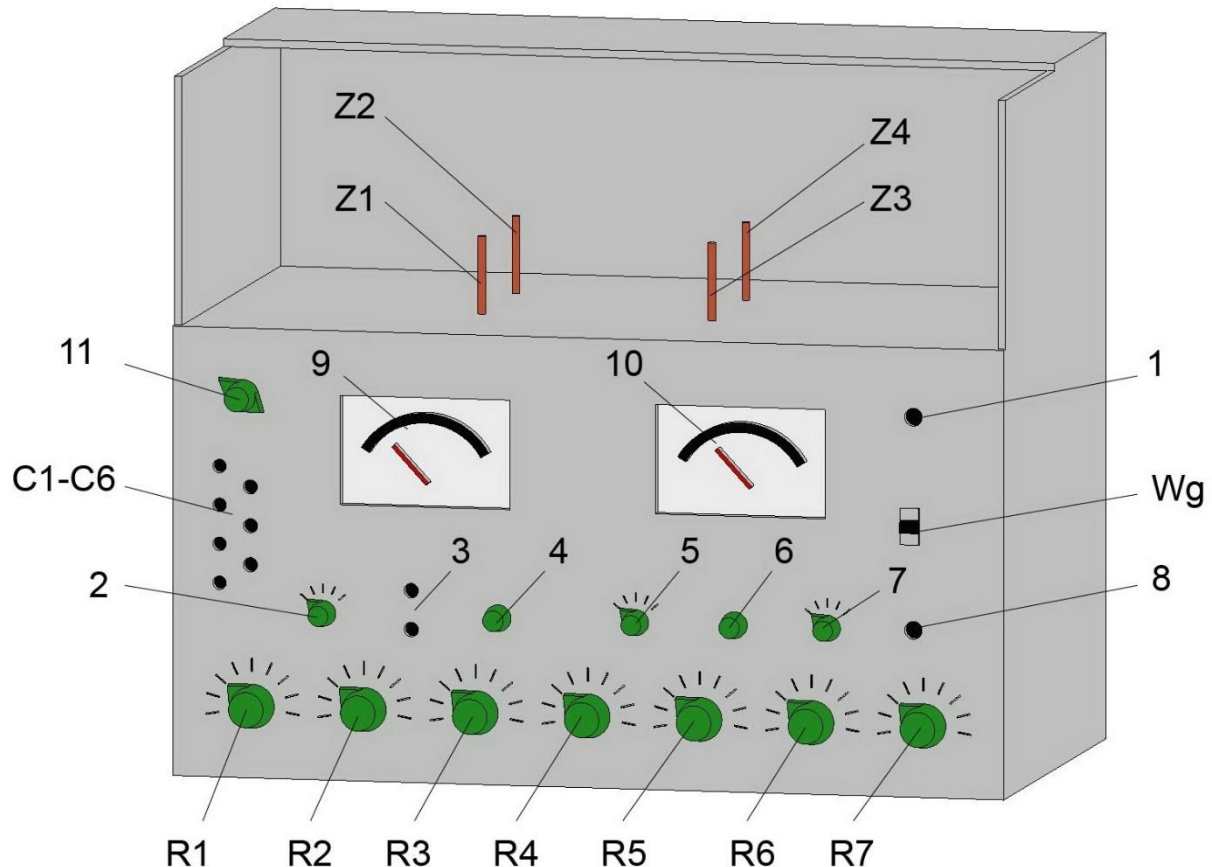
Pomiary rezystancji należy przeprowadzić w trójelektrowym układzie elektrod płaskich (rysunek 3).



Rysunek 3. Elektrody do pomiaru rezystancji skośnej i powierzchniowej: 1 - elektroda pomiarowa (d_1), 2 - elektroda napięciowa (pomiar rezystancji skośnej), elektroda ochronna (pomiar rezystancji powierzchniowej), 3 - elektroda ochronna (pomiar rezystancji skośnej), elektroda napięciowa (pomiar rezystancji powierzchniowej), g - szerokość przerwy między elektrodami, h - grubość próbki

Budowa mostka pomiarowego

Na rysunku 4 przedstawiono widok mostka pomiarowego do badania rezystancji dielektryków STATRON HMB-1. Do zacisków Z1, Z2, Z3, Z4 przytwierdza się płytę, na której umieszczono badaną próbkę dielektryka (rysunek 5).

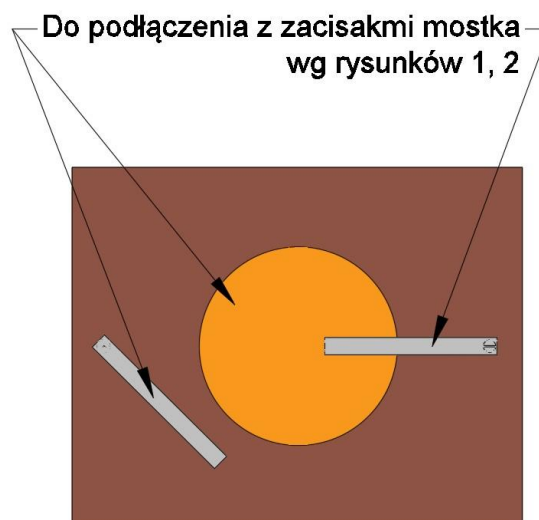


Rysunek 4. Mostek do badania rezystancji skrośnej i powierzchniowej

Mostek obsługuje się poprzez następujące przełączniki:

- W_G – wyłącznik główny,
- (1) – lampka sygnalizacyjna dla W_G ,
- (2) – przełącznik czułości $10000 \div 1$ mV, wychylenie końcowe,
- (3) – regulator punktu zerowego zgrubny,
- (4) – regulator punktu zerowego dokładny,
- (5) – przełącznik zakresu pomiarowego U_p : 3, 10, 30, 100, 300, 1000 V,
- (6) – regulator dokładny napięcia pomiarowego
- (7) – przełącznik polaryzacji,
- (8) – przełącznik pomiarowy (obrotowy) służący do resetowania przyrządu,
- (9) – wskaźnik zera
- (10) – wskaźnik napięcia pomiarowego,

- (11) – przełącznik rodzaju pracy (od lewej): pomiar, kontrola rezystancji R_n , sprawdzenie (cechowanie) rezystancji R_n , pomiar poza ekranem,
- (R1) – przełącznik zakresów rezystancji R_n ,
- (R2-R7) – dekady rezystancyjne,
- (Z1) – zacisk obiektu pomiarowego R_x , wejście wysokoomowe,
- (Z2) – zacisk obiektu pomiarowego R_x , wejście wysokoomowe,
- (Z3) – zacisk obiektu pomiarowego, przyłączenie napięcia,
- (Z4) – zacisk służący do podłączenia ekranu.
- (C1-C6) – regulatory cechowania R1,



Rysunek 5. Płyta do umieszczania próbek materiałów podczas badania rezystancji.

Wykonanie ćwiczenia

Pomiary rezystancji dielektryków

W celu zbadania rezystywności dielektryków należy wykonać pomiar rezystancji skośnej i powierzchniowej w temperaturze otoczenia dla następujących materiałów dielektrycznych:

- Teflon,
- Laminat-żywica,
- Getynaks,
- Pleksa.

Do wykonania pomiarów wykorzystuje się mostek przedstawiony na rysunku 3.

1. Ustaw przełączniki w następujące pozycje:
 - przełącznik 2: **10 000**,
 - przełącznik R1: **lewy skrajny**,
 - przełącznik 11: **lewy skrajny**,
 - przełącznik R3: na wartość „1” (dekada rezystancyjna $\times 100$),
 - przełącznik 5: **30 V**,
 - przełącznik 7: w pozycji „+”,
 - przełącznik 8: w pozycji „0”.
2. Otworzyć pokrywę mostka pomiarowego i podłączyć zaciski pomiarowe badanej próbki do zacisków (**Z1**), (**Z2**) oraz (**Z3**) według schematu na rysunku 1/rysunku 2 w zależności od mierzonej rezystancji (skrośna/powierzchnowa).
3. Uruchom mostek przyciskiem **W_G**, powinna zapalić się lampka kontrolna (**1**).
4. W celu ustawienia zera elektrycznego wykorzystując pokrętko (**4**) wyskaluj wskazanie miernika (**9**) tak aby wskazywał „0”, każdorazowo zmieniając czułość pokrętkiem (**2**) (od 10 000 do 1).
5. Po ustawieniu zera elektrycznego przełącznik (**8**) wciśnij i obróć o 90° do pozycji „**pomiar**”.
6. Ustawić zakres napięciowy na **1000V** pokrętkiem (**5**). Zakres odpowiada wartości skali na woltomierzu (**10**).
7. Ustawić napięcie **600V** potencjometrem (**6**).
8. Następnie należy zrównoważyć mostek poprzez zmianę wartości rezystancji **R_n** na rezystorze dekadowym oraz wykorzystując pokrętła (**R2-R7**) tak aby uzyskać najmniejsze wychylenie na galwanometrze (**9**). Ważne jest, aby uwzględnić ustawiony zakres czułości (**2**) i unikać zmian dekad rezystancyjnych o wartościach znacznie wyższych lub znacznie niższych od ustawionego zakresu.
9. Po wyzerowaniu mostka należy zwiększyć czułość pokrętkiem (**2**), a następnie ponownie wyzerować układ.
10. Krok 8 i 9 powtórzyć aż do uzyskania pomiaru przy najwyższej możliwej czułości.

11. Po zakończeniu pomiaru rezystancji należy przełączyć (2) w pozycję **10000**, ustawić wartość napięcia potencjometrem (6) na minimum, a następnie zakres napięciowy (5) na **3V** i wyłączyć urządzenie. Wynik należy zanotować w tabeli 1.
12. Następnie należy dokonać manipulacji układu w celu zmiany mierzonej wartości rezystancji z powierzchniowej na skrośną według rysunku 2 lub wymianę próbki i rozpocząć proces pomiaru od pkt. 6.
13. Po zmierzeniu wszystkich pięciu próbek dielektryków upewnij się, że:
 - przełącznik (8) jest w pozycji „0”,
 - przełącznik (2) jest w pozycji **10000**,
 - przełącznik (5) jest w pozycji **3V**,
 - przełączniki (R2) i (R3) są w pozycji **1**.

Uwagi:

- w celu uniknięcia uszkodzenia mostka nie wolno doprowadzić do ustawienia obu najwyższych dekad rezystancji (x100, x1000) w pozycje 0,
- przy wyższych zakresach rezystancji i mniejszej czułości (2) = 100, 10, 1 mogą występować oscylacje utrudniające precyzyjne ustawienie dekad. W takim przypadku zakończ pomiar na niższej czułości.

Przykładowy odczyt z przełączników dekadowych:

$R_1 = 10^8$; $R_2 \times 1000 = 4$; $R_3 \times 100 = 1$; $R_4 \times 10 = 5$; $R_5 \times 1 = 1$; $R_6 \times 0,1 = 1$;

$R_7 \times 0,01 = 8$

Całkowita rezystancja jest równa:

$R = R_n \cdot R_d = 10^8 \cdot 4151,18 = 4,15118 \cdot 10^{11} \Omega$,

gdzie: R_n - przełącznik R1, R_d – pozostałe przełączniki (R2-R7)

Po przeprowadzeniu pomiarów rezystancji należy zmierzyć wymiary geometryczne próbek co umożliwi obliczenie wartości rezystywności materiałów. Wymiary zanotować w tabeli 2.

Tabela 1. Wyniki pomiarów i obliczeń rezystancji oraz rezystywności skrośnej i powierzchniowej próbek

Materiał	R_v	R_s	ρ_v	ρ_s
	[Ω]	[Ω]	[$\Omega \cdot m$]	[$\Omega \cdot m$]
Teflon 1				
Teflon 2				
Laminat				
Getynaks				
Pleksa				

Tabela 2. Wymiary geometryczne próbek

Materiał	h	d_1	g	A	B
	[m]	mm	mm	[m ²]	[m]
Teflon 1					
Teflon 2					
Laminat					
Getynaks					
Pleksa					

Oznaczenia w tabelach 1 i 2:

R_v – rezystancja skrośna próbki,

R_s – rezystancja powierzchniowa próbki,

ρ_v – rezystywność skrośna próbki,

ρ_s – rezystywność powierzchniowa próbki,

h – grubość próbki,

d_1 – średnica elektrody pomiarowej (patrz rys. 3),

g – szerokość szczeliny (patrz rys. 3),

A – efektywna powierzchnia w m²,

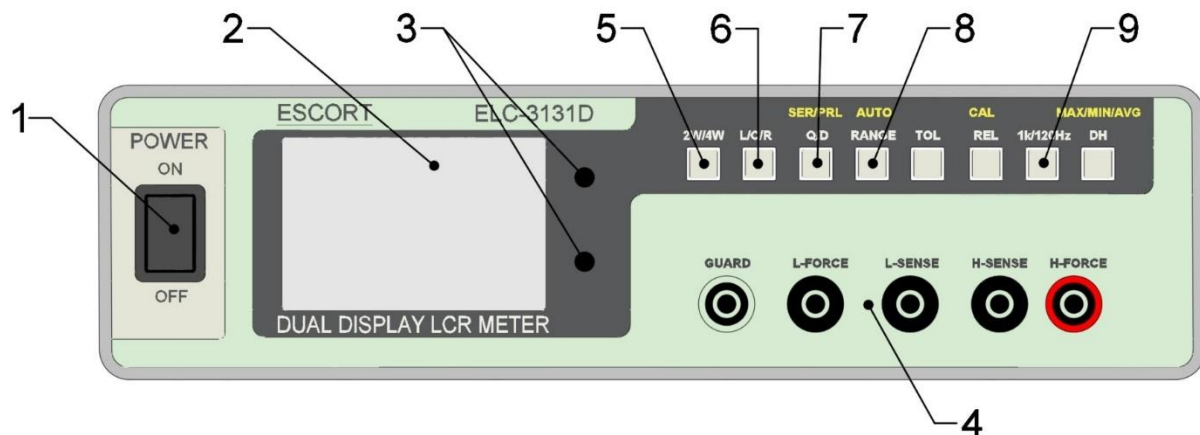
B – efektywna długość elektrody napięciowej w m.

Pomiar pojemności i tangensa kąta strat dielektrycznych

Pomiar przenikalności elektrycznej ϵ oraz tangensa kąta strat dielektrycznych $\tan \delta$ wykonany zostanie dla następujących materiałów dielektrycznych:

- Pleksiglas
- Tekstolit
- Getynaks

Pomiary wartości ϵ i $\tan\delta$ wykonujemy miernikiem ESCORT ELC-3131D przedstawionym na rysunku 6.

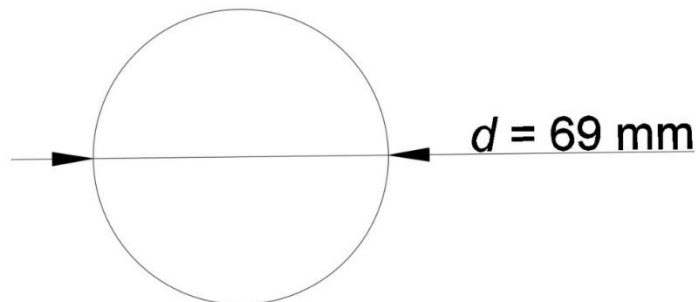


Rysunek 61. Wygląd płyty czołowej miernika ESCORT

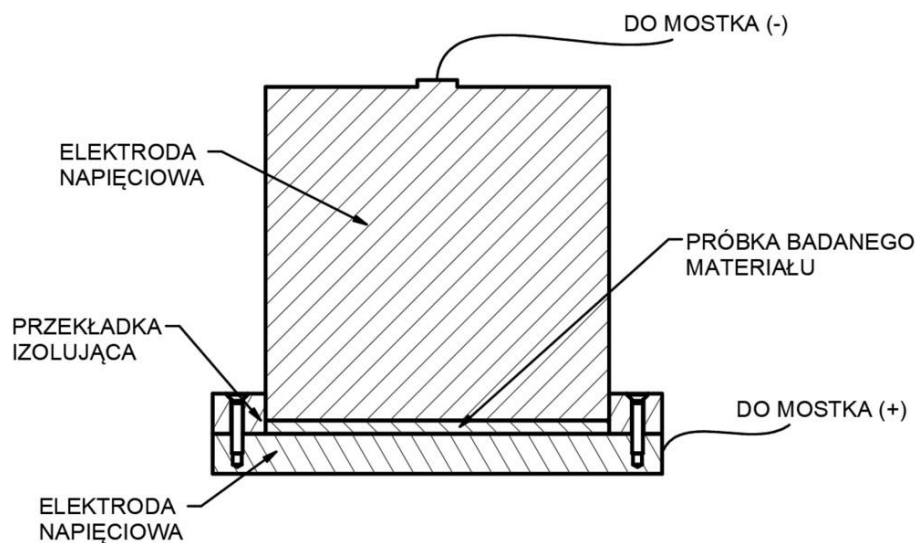
Oznaczenia do rysunku 6:

- 1 – załączanie i wyłączanie,
- 2 – wyświetlacz,
- 3 – wskaźniki przełączników liczby przewodów zasilających układ pomiarowy,
- 4 – gniazda przewodów,
- 5 – przełącznik zmiany przewodów zasilających (2 prądowe, 2 napięciowe),
- 6 – przełącznik badanej wielkości (indukcyjność, pojemność, rezystancja),
- 7 – przełącznik zmiany pomiaru dobroci i kąta stratności próbki,
- 8 – zmiana zakresu,
- 9 – zmiana częstotliwości próbkowania 1 kHz/120 Hz.

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono widok próbki dielektryka wraz z jej wymiarami oraz schematu kondensatora pomiarowego wykorzystywanego pomiaru pojemności i tangensa strat dielektrycznych.



Rysunek 7. Widok próbki z góry oraz jej wymiary



Rysunek 8. Kondensator pomiarowy do badania podstawowych właściwości dielektryków stałych

Przeprowadzenie pomiarów:

1. podłączyć mostek do zasilania i uruchomić przyciskiem **1**,
2. po uruchomieniu przełącznikami **6** i **7** należy ustawić mostek na pomiar pojemności i tangensa strat dielektrycznych. Na wyświetlaczu wyświetli się litera **C** i **D**,
3. podłączyć kondensator do zacisków mostka **L-SENSE** i **H-SENSE**,
4. należy umieścić badaną próbkę wewnątrz kondensatora pomiarowego,
5. odczytać wartość pojemności **C** oraz kąta stratności $tg\delta$ dla częstotliwości **120 Hz** i **1kHz** zmieniając częstotliwość pomiarową przyciskiem **9**,
6. odczytane wartości zanotować w tabeli 3.

Po przeprowadzeniu pomiaru pojemności próbek w celu obliczenia przenikalności dielektrycznej należy zmierzyć ich grubość i zanotować w tabeli 1. Średnica próbek zgodnie z rysunkiem 7 wynosi 69 mm.

Tabela 3. Wyniki pomiarów pojemności oraz kąta stratności pojedynczych próbek

Materiał	d	C (1 kHz)	C (120 Hz)	$tg\delta$ (1 kHz)	$tg\delta$ (120 Hz)
	[m]	[pF]	[pF]	[-]	[-]
Pleksiglas					
Tekstolit 1					
Tekstolit 2					
Getynaks 1					
Getynaks 2					

Tabela 4. Wyniki obliczeń przenikalności względnej pojedynczych próbek

Materiał	d_1	ϵ_0	S	ϵ (1 kHz)	ϵ (120 Hz)
	[m]	[F/m]	[m ²]	[-]	[-]
Pleksiglas					
Tekstolit 1					
Tekstolit 2					
Getynaks 1					
Getynaks 2					

Oznaczenia w tabelach 3 i 4:

d – średnica próbki,

C – pojemność próbki dla częstotliwości 1 kHz i 120 Hz,

$tg\delta$ – kąt stratności próbki dla częstotliwości 1 kHz i 120 Hz,

d_1 – grubość próbki,

ϵ_0 – przenikalność próżni,

S – powierzchnia próbki,

ϵ – przenikalność względna próbki dla częstotliwości 1 kHz i 120 Hz.

Opracowanie wyników

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów rezystancji skośnej i powierzchniowej oraz pojemności próbek należy obliczyć wartości rezystywności oraz przenikalności elektrycznej różnych dielektryków stałych.

Wartości rezystywności skośnej ρ_V i powierzchniowej ρ_S w tabeli 1 oblicza się ze wzorów:

$$\rho_V = \frac{R_V \cdot A}{h} \quad (1)$$

$$\rho_S = \frac{R_S \cdot B}{g} \quad (2)$$

A – efektywna powierzchnia w m^2 , wg wzoru:

$$A = \frac{\pi(d_1 + g)^2}{4} \quad (3)$$

B – efektywna długość elektrody napięciowej w m, wg wzoru:

$$B = \pi(d_1 + g) \quad (4)$$

gdzie: d_1 – średnica elektrody pomiarowej, g – szerokość szczeliny w m.

Wartości przenikalności elektrycznej ε w tabeli 4 oblicza się ze wzoru:

$$\varepsilon = \frac{C \cdot d_1}{\varepsilon_0 \cdot S} \quad (5)$$

gdzie: C – pojemność z tabeli 3 dla częstotliwości 1 kHz i 120 Hz.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- schematy układów pomiarowych,
- tabele z wynikami pomiarów i obliczeń,
- przykładowe obliczenia,
- uwagi i wnioski odnośnie otrzymanych wyników z komentarzem.