

LABORATORIUM

MATERIAŁOZNAWSTWO ELEKTROTECHNICZNE

Ćwiczenie nr 4

Porównanie wytrzymałości dielektrycznej powietrza, oleju mineralnego i jego ekologicznych alternatyw

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:

- określenie wpływu odległości międzyelektrodowej na wytrzymałość powietrza,
- określenie wpływu odległości międzyelektrodowej na wytrzymałość izolacyjnego oleju mineralnego,
- określenie wpływu odległości międzyelektrodowej na wytrzymałość biodegradowalnego oleju mineralnego,
- porównanie wytrzymałości dielektrycznej powietrza, oleju mineralnego oraz biodegradowalnego oleju mineralnego.

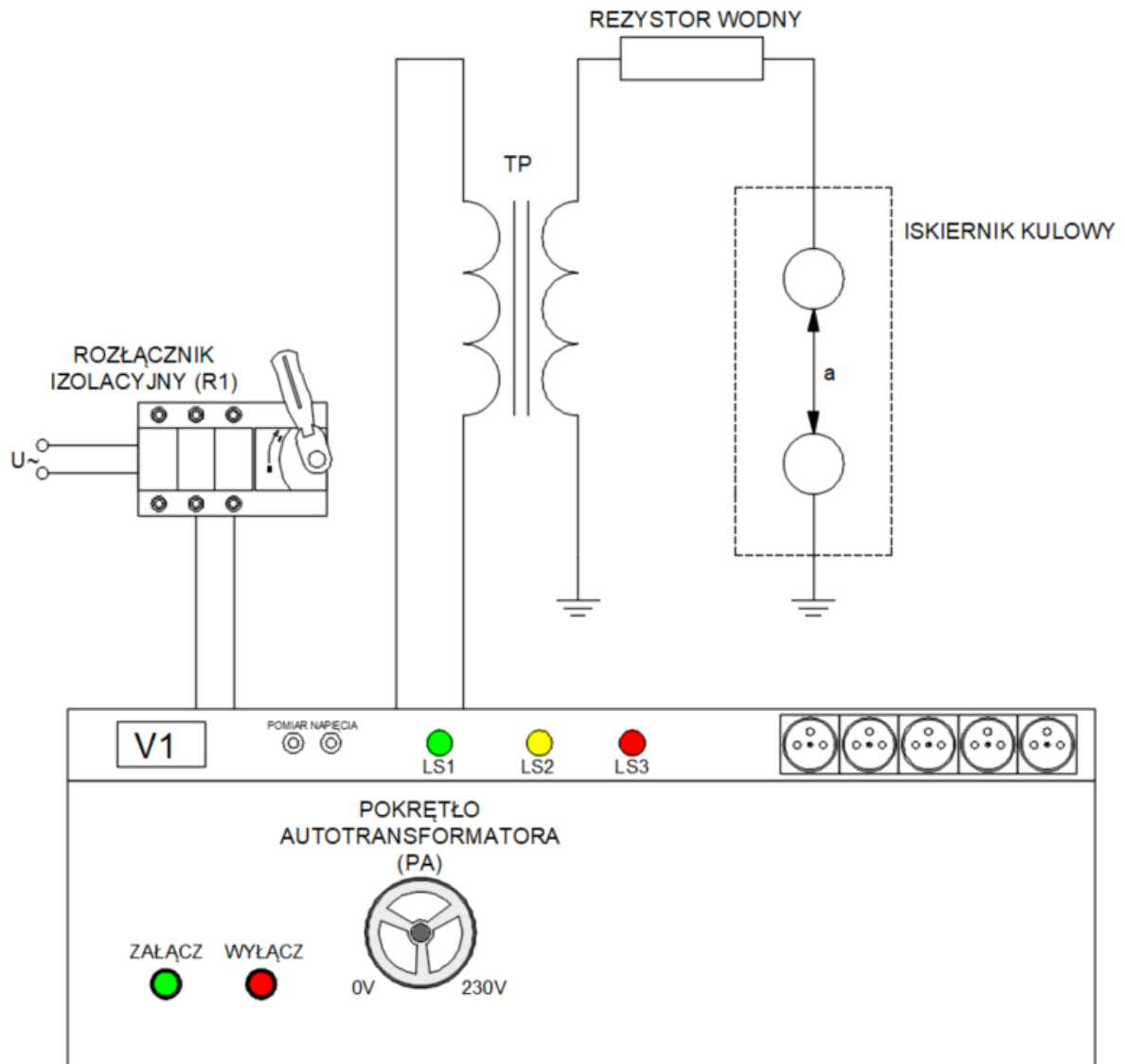
Zakres ćwiczenia

W ramach ćwiczenia zostaną przeprowadzone pomiary napięcia przebicia powietrza w zależności od odległości międzyelektrodowej dla układu z elektrodami kulowymi. Na podstawie uzyskanych wyników zostanie określona charakterystyka zależności napięcia przebicia powietrza od odległości międzyelektrodowej $U=f(a)$. Ponadto, przeprowadzone zostaną badania napięcia przebicia izolacyjnego oleju mineralnego oraz jego ekologicznej alternatywy, tj. biodegradowalnego oleju izolacyjnego, w funkcji odległości międzyelektrodowej. Na tej podstawie zostaną wyznaczone zależności napięcia przebicia dla badanych cieczy izolacyjnych. Ćwiczenie umożliwi analizę i porównanie wytrzymałości dielektrycznej powietrza, oleju mineralnego oraz jego biodegradowalnej alternatywy.

Wykonanie ćwiczenia

1. Pomiar napięcia przebicia powierza w zależności od odległości międzyelektrodowej

W celu wyznaczenia napięcia przebicia powietrza w zależności od odległości międzyelektrodowej wykorzystujemy stanowisko pomiarowe przedstawione na rysunku 1.



Rysunek 1. Układ pomiarowy do badania wytrzymałości elektrycznej powietrza w zależności od odległości międzyelektrodowej.

UWAGA!

Badanie napięcia przebicia powietrza w zależności od odległości międzyelektrodowej wykonuje się przy użyciu napięcia strony pierwotnej transformatora bierczego regulowanego autotransformatorem w zakresie od 0 V do 230 V. Pomiar przeprowadzić w układzie elektrod kulowych o średnicy 12,5 cm dla odstępów w granicach od 5 do 50 mm, zmieniając odstęp co 5 mm. Ze względu na specyfikę pomiaru, do przeprowadzenia badania niezbędna jest obecność osoby prowadzącej ćwiczenie, w celu poinstruowania osób wykonujących ćwiczenie. Aby wykonać tę

część ćwiczenia, należy postępować zgodnie z poniższymi krokami:

1. Upewnić się, że napięcie w układzie jest wyłączone (na stole pomiarowym świeci się jedynie „Zielona lampka” (**LS1**), a **transformator probierczy (TP) jest uziemiony** (drażek uziemiający umieszczony jest na transformatorze probierczym).
2. Następnie wejść do celki pomiarowej i zmienić odległość między elektrodami kulowymi na odległość w zakresie od **5 mm do 50 mm** (odległości dla których należy dokonać pomiarów wykazano w tabeli 1).
3. Po ustawieniu zadanej odległości na iskierniku kulowym, umieścić drążek uziemiający na „haku”, przed wejściem do celki.
4. Ustawić rozłącznik (**R1**) w pozycji „1” (zamknięty). Na stole pomiarowym zapali się żółta lampka sygnalizacyjna (**LS2**). W chwili obecnej powinny świecić się dwie lampki sygnalizacyjne, zielona (**LS1**) oraz żółta (**LS2**).
5. Następnie pokrętko autotransformatora (**PA**) obrócić w lewo (na wartość 0).
6. Włącz napięcie za pomocą przycisku „**ZAŁĄCZ**”, na stole pomiarowym. Na stanowisku pomiarowym zapali się czerwona lampka (**LS3**). W tym momencie powinny świecić się trzy lampki sygnalizacyjne, zielona (**LS1**), żółta (**LS2**) oraz czerwona (**LS3**).
7. Za pomocą pokrętki autotransformatora (**PA**) powoli zwiększać wartość napięcia, jednocześnie monitorując wskazania woltomierza **V1**. Napięcie należy zwiększać ze stałą prędkością w zakresie 1–2 kV/s, aż do momentu wystąpienia przebiccia.
8. Odczytać wartość napięcia, przy której doszło do przeskoku pomiędzy elektrodami kulowymi. Po wystąpieniu przebiccia układ pomiarowy automatycznie się wyłączy (zadziałanie zabezpieczenia nadprądowego), a czerwona lampka (**LS3**) zgaśnie. W tej chwili powinny pozostać włączone dwie lampki sygnalizacyjne: zielona (**LS1**) oraz żółta (**LS2**).
9. Pomiar dla każdej ustalonej odległości między elektrodami należy powtórzyć trzykrotnie, rozpoczynając od procedury opisanej w punkcie 5.
10. Po zakończeniu trzech pomiarów napięcia przeskoku dla jednej odległości, należy ustawić rozłącznik (**R1**) w pozycji „0” (rozłącznik otwarty). Na stole pomiarowym zgaśnie żółta lampka sygnalizacyjna (**LS2**), świeci jedynie

zielona lampka (LS1).

11. Otworzyć drzwi celki pomiarowej, umieścić drążek uziemiający na transformatorze, aby zapewnić jego bezpieczne uziemienie.
12. Powtórzyć pełny cykl pomiarowy dla kolejnej odległości między elektrodami, rozpoczynając od punktu 1.
13. Przeprowadzić pomiary napięcia przeskoku powietrza dla różnych odległości międzyelektrodowych, zapisując uzyskane wyniki w tabeli 1.
14. Po zakończeniu pomiarów odczytać z lokalnej stacji pogodowej znajdującej się w laboratorium aktualne warunki atmosferyczne, takie jak:
 - temperatura otoczenia: $T = \dots\dots\dots^\circ\text{C}$
 - ciśnienie atmosferyczne: $p_{atm} = \dots\dots\dots\text{hPa}$
 - wilgotność względna: $\phi = \dots\dots\dots\%$

Tabela 1. Wyniki pomiarów napięcia przeskoku w powietrzu

L.p.	a [mm]	U_p [V]	U_{psr} [kV _m]	U_p [kV _m]	U_{pn} [kV _m]	E_p [kV _m /mm]
1	5					
2						
3						
4	10					
5						
6						
7	15					
8						
9						
10	20					
11						
12						
13	25					
14						
15						
16	30					
17						



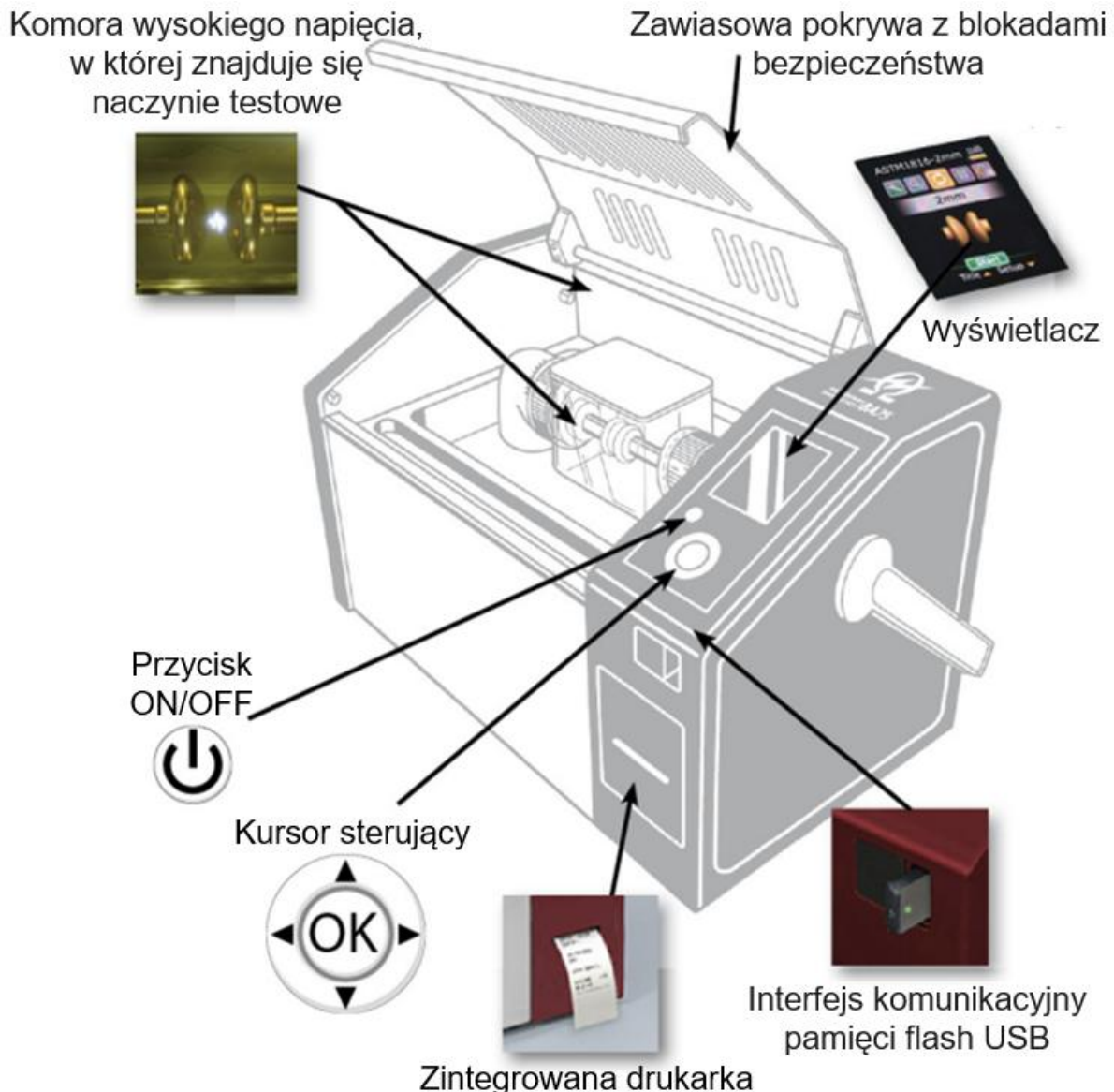
18						
19	35					
20						
21						
22	40					
23						
24						
25	45					
26						
27						
28	50					
29						
30						

Oznaczenia w tabeli:

- a - odległość międzyelektrodowa,
- u_p - napięcie na uzwojeniu pierwotnym transformatora probierczego, przy którym zachodzi przebiecie, odczytane z woltomierza,
- U_{psr} - wartość średnia napięcia na uzwojeniu pierwotnym transformatora probierczego, przy którym zachodzi przebiecie,
- U_p - wartość średnia napięcia przebiecia,
- U_{pn} - wartość średnia napięcia przebiecia w warunkach normalnych,
- E_p - natężenie pola elektrycznego odpowiadające napięciu przebiecia.

2. Pomiar napięcia przebiecia płynów elektroizolacyjnych w zależności od odległości międzyelektrodowej

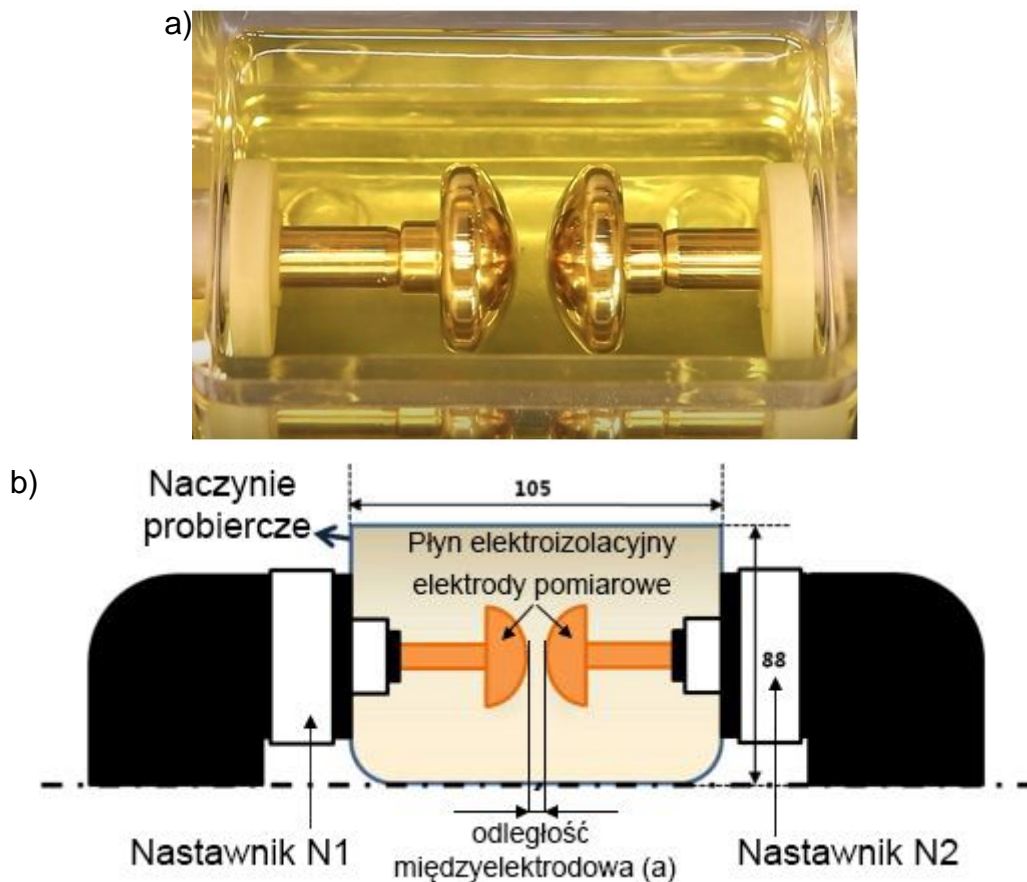
Do wyznaczenia napięcia przebiecia płynów elektroizolacyjnych, takich jak olej mineralny i biodegradowalny olej mineralny, w zależności od odległości międzyelektrodowej wykorzystuje się **Analizator napięcia przebiecia oleju BA75/100**, którego schemat przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Analizator napięcia przebicia oleju BA75/100 wykorzystany do badania napięcia przebicia oleju izolacyjnego w zależności od odległości międzyelektrodowej.

Zgodnie z wymaganiami norm ASTM 1816 oraz IEC 60156 badania napięcia przebicia oleju przeprowadza się w układzie elektrod kulistych. Elektrody są fragmentami kul (czasami) o średnicy 36 mm umieszczonymi w naczyniu probierczym.

Pomiary napięcia przebicia oleju należy wykonać dla odstępów międzyelektrodowych w granicach od 0,5 do 4 mm, zmieniając odstęp co 0,5 mm. Do badań wykorzystuje się układ elektrod przedstawiony na rysunku 3, w którym regulacja odległości między elektrodami odbywa się za pomocą nastawników (N1, N2).



Rysunek 3. Układ elektrod do badania wytrzymałości oleju, a) zdjęcie naczynia probierczego, b) schematyczny przekrój naczynia probierczego.

Procedura wykonania pomiarów napięcia przebicia płynów elektroizolacyjnych:

1. Włącz analizator napięcia przebicia, naciskając przycisk **ON/OFF** na panelu frontowym.
2. Odczekaj kilka sekund, aż na ekranie urządzenia pojawi się numer wersji oprogramowania (FIRMWARE) oraz inne informacje techniczne związane z analizatorem.
3. Poczekaj na zakończenie procedury samokontroli, która sprawdza poprawność działania urządzenia i zasilania.
4. Otwórz pokrywę bezpieczeństwa i umieść naczynie probiercze z badanym płynem elektroizolacyjnym (np. olej mineralny) w komorze probierczej.
5. Zdejmik blokadę nastawników (czerwone dzwignie).
6. Za pomocą nastawników **N1** i **N2** (rysunek 3) ustaw odległość między

elektrodami zgodnie z wartością zapisaną w tabeli 1.

7. Upewnij się, że elektrody są całkowicie zanurzone w badanym płynie elektroizolacjom, a następnie zamknij pokrywę bezpieczeństwa.
8. Na ekranie analizatora, korzystając z przycisków **Góra/Dół**, wybierz opcję **Pojedynczy test** i zatwierdź przyciskiem **OK**.
9. Użyj strzałek **Góra/Dół** oraz **Prawo/Lewo** wprowadź następujące parametry próby:
 - **Rozkład elektrod („Odstęp”)**: zgodnie z odległością ustaloną w punkcie 5.
 - **Liczba prób („Liczyć”)**: ustaw na wartość **5**.
 - **Szybkość narastania napięcia („Najazd”)**: ustaw na **2.0 kV/s**.
 - **Maksymalna wartość napięcia („Napięcie”)**: ustaw na **100 kV**.
10. Rozpocznij pomiar, wybierając opcję **Start próby** i potwierdzając ją przyciskiem **OK**.
11. Analizator przeprowadzi cykl probierczy, automatycznie wykrywając i rejestrując napięcie przebicia w momencie wystąpienia przeskoku elektrycznego oraz nastąpi automatyczne mieszanie oleju przy pomocy mieszadła magnetycznego.
12. Po wykonaniu wszystkich prób cykl probierczy kończy się. Wyniki prób zostaną wyświetlone na ekranie urządzenia. Zapisz je w tabeli 2.
13. Wyciśnij ponownie przycisk **OK**.
14. Otwórz pokrywę bezpieczeństwa i powtórz procedurę dla kolejnej odległości między elektrodami, rozpoczynając od punktu 5.
15. Po zakończeniu pomiarów dla oleju mineralnego, wykonaj pomiary dla biodegradowalnego oleju mineralnego, postępując zgodnie z procedurą od punktu 4.
16. Po wykonaniu wszystkich pomiarów wyłącz analizator, naciskając przycisk **ON/OFF**.

Wyniki pomiarów należy umieścić w tabelach, a następnie wykorzystać je do sporządzenia charakterystyk i opracowania wniosków.

Tabela 2. Wyniki pomiarów napięcia przebicia oleju

L.p.	Olej mineralny			Biodegradowalny olej mineralny			
	a [mm]	U_{pom} [kV]	$U_{pom\acute{s}r}$ [kV _m]	E_{pom} [kV _m /mm]	U_{pbom} [kV]	$U_{pbom\acute{s}r}$ [kV _m]	E_{pbom} [kV _m /mm]
1.	0,5						
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.	1,0						
8.							
9.							
10.							
11.							
12.							
13.	1,5						
14.							
15.							
16.							
17.							
18.							
19.	2,0						
20.							
21.							
22.							
23.							
24.							
25.	2,5						
26.							
27.							
28.							
29.							
30.							
31.	3,0						
32.							
33.							
34.							
35.							
36.							



37.	3,5						
38.							
39.							
40.							
41.							
42.							
43.	4,0						
44.							
45.							
46.							
47.							
48.							

Oznaczenia w tabeli:

- a - odległość międzyelektrodowa,
- U_{pom} - napięcie przebicia dla oleju mineralnego,
- $U_{pom\bar{s}r}$ - wartość średnia napięcia przebicia dla oleju mineralnego,
- E_{pom} - natężenie pola elektrycznego odpowiadające napięciu przebicia (wytrzymałość dielektryczna) dla oleju mineralnego,
- U_{pbom} - napięcie przebicia dla biodegradowalnego oleju mineralnego,
- $U_{pbom\bar{s}r}$ - wartość średnia napięcia przebicia dla biodegradowalnego oleju mineralnego,
- E_{pbom} - natężenie pola elektrycznego odpowiadające napięciu przebicia (wytrzymałość dielektryczna) dla biodegradowalnego oleju mineralnego,

Opracowanie wyników

Na podstawie uzyskanych wyników należy przeprowadzić następujące obliczenia oraz wykonać wykresy zgodnie z poniższymi krokami:

1. Obliczenia dla powietrza:

- Obliczyć gęstość powietrza za pomocą wzoru:

$$\delta = 0,289 \frac{p}{T+273} \quad (1)$$

gdzie:

p - ciśnienie atmosferyczne w hPa, T - temperatura otoczenia w °C.



- Obliczyć średnie napięcie przebicia dla powietrza:

$$U_p = \sqrt{2} \cdot u_{psr} \cdot \vartheta \quad (2)$$

gdzie:

u_{psr} - wartość średnia napięcia przebicia z trzech kolejnych pomiarów,

ϑ - przekładnia transformatora probierczego **500**.

- Obliczyć napięcie przeskoku w warunkach normalnych:

$$U_{pn} = \frac{U_p}{\delta} \quad (3)$$

gdzie:

U_{pn} - napięcie przeskoku w warunkach normalnych,

δ - gęstość powietrza.

- Obliczyć natężenie pola elektrycznego:

$$E_p = \frac{U_{pn}}{a} \quad (4)$$

gdzie:

U_{pn} - napięcie przeskoku w warunkach normalnych,

a - odległość pomiędzy elektrodami kulowymi.

Na podstawie uzyskanych obliczeń (tabela 1) należy wykreślić:

- charakterystykę napięcia przebicia w funkcji odległości międzyelektrodowej $U_p = f(a)$,
- oraz natężenie pola elektrycznego w funkcji odległości międzyelektrodowej $E_p = f(a)$.

2. Obliczenia dla płynów elektroizolacyjnych:

- Obliczyć natężenie pola elektrycznego dla olejów elektroizolacyjnych za pomocą wzoru:

$$E_p = \frac{U_p}{a} \quad (5)$$

gdzie:

U_n - napięcie przebicia zmierzone dla odpowiedniego odstępów między elektrodami,

a - odległość między elektrodami.

Wyniki obliczeń zapisać w tabeli 2 i na ich podstawie wykreślić:

- Natężenie pola elektrycznego w funkcji odległości międzyelektrodowej dla oleju mineralnego $E_{pom} = f(a)$,
- Natężenie pola elektrycznego w funkcji odległości międzyelektrodowej dla biodegradowalnego oleju mineralnego $E_{pbom} = f(a)$.

Przedstawić obie charakterystyki $E_{pom} = f(a)$ i $E_{pbom} = f(a)$ na wspólnym wykresie.

3. Analiza i wnioski

Wszystkie opracowane charakterystyki, w tym wykresy, powinny zostać zamieszczone w sprawozdaniu. Na podstawie uzyskanych wyników i sporządzonych charakterystyk należy przeprowadzić porównanie wytrzymałości dielektrycznej powietrza, oleju mineralnego oraz biodegradowalnego oleju mineralnego. W sprawozdaniu należy również sformułować wnioski, które uwzględnią wpływ odległości międzyelektrodowej na wartości napięcia przebicia oraz natężenia pola elektrycznego w przypadku badanych materiałów.