

Badanie wytrzymałości elektrycznej olejów elektroizolacyjnych – przewodnik firmy Megger



Megger[®]
WWW.MEGGER.COM

„Megger” jest znakiem prawnie zastrzeżonym

Spis treści

1. Wstęp	3
2. Jakie metody stosuje się w badaniach olejów elektroizolacyjnych?	3
3. Na czym polega pomiar napięcia przebicia oleju?	4
4. Kto przeprowadza pomiary napięcia przebicia oleju elektroizolacyjnego?	4
6. Dlaczego, kiedy i jak często należy badać oleje elektroizolacyjne?	6
6.1 Dlaczego i kiedy?	6
6.2 Jak często?	7
7. Jakie normy są stosowane do pomiarów napięcia przebicia i czym się różnią?	7
7.1 Normy ASTM (USA)	9
7.2 Międzynarodowe normy IEC	10
8. Jak należy pobierać próbki oleju?	11
8.1 Użyteczne wskazówki dotyczące pobierania próbek oleju	13
9. Przygotowanie naczynia pomiarowego	14
9.1 Przechowywanie i czyszczenie naczyń pomiarowych	14
9.2 Ustawianie szerokości szczeliny międzyelektrodowej	15
9.3 Wskazówki i uwagi dotyczące przygotowania naczynia pomiarowego do pomiaru	15
10. Dlaczego mierzona jest temperatura próbki oleju?	16
11. Skąd wiadomo, że wyniki testu są wiarygodne?	16
12. Skąd wiadomo, że wynik badania oleju jest pozytywny?	18
12.1 USA – normy ASTM i IEEE	18
12.2 Normy międzynarodowe IEC	19
13. Czy wynik badania napięcia przebicia świeżego oleju może być negatywny?	20
14. Czy można sprawdzić działanie instrumentu pomiarowego porównując wyniki badania tej samej próbki wykonane dwoma instrumentami?	21
15. W jaki sposób instrument pomiarowy wykrywa przebicie oleju?	21
15.1 Badanie oleju silikonowego	22
16. Wybór zestawu pomiarowego do badania napięcia przebicia oleju elektroizolacyjnego	22
16.1 Badania w terenie a badania laboratoryjne	22
16.2 Ogólne przesłanki wyboru instrumentu pomiarowego	23
16.2.1 Czystość	23
16.2.2 Łatwość obsługi	24
16.2.3 Koszty eksploatacji	26
16.2.4 Pomiar temperatury próbki	26
16.2.5 Sprawdzanie napięcia probierczego	26
16.2.6 Zmiany w normach pomiarowych	27
16.2.7 Wiarygodność i dokładność wyników pomiarów	27
16.3 Kryteria wyboru instrumentów laboratoryjnych	29
16.4 Kryteria wyboru instrumentów przenośnych	30
16.4.1 Ciężar urządzenia	30
16.4.2 Łatwość przenoszenia	31
16.4.3 Wytrzymałość mechaniczna	31
16.4.4 Przenoszenie danych z pamięci	32
16.4.5 Źródła zasilania	32

1. Wstęp

Oleje charakteryzujące się wysoką temperaturą zapłonu i jednocześnie dużą wytrzymałością elektryczną (zwaną również wytrzymałością dielektryczną) od dawna stosowane są jako medium izolacyjne w transformatorach i elektroenergetycznej aparaturze rozdzielczej i łączeniowej. Dla zachowania wysokiej wytrzymałości elektrycznej oleju konieczna jest odpowiednia konserwacja, której podstawą są pomiary właściwości cieczy elektroizolacyjnych.

Od ponad stu lat liderem w projektowaniu i produkcji aparatury pomiarowej dla branży elektrycznej jest koncern Megger, którego znak firmowy został zarejestrowany już w roku 1903 i od tej pory jest zazdrośnie strzeżony przez producenta. Doświadczenie firmy Megger w konstrukcji aparatury do badania olejów elektroizolacyjnych także sięga początków dwudziestego wieku, kiedy firma Foster Transformers, przejęta w 1968 roku przez Grupę Megger, wyprodukowała pierwsze, pionierskie urządzenia tego typu.

Dzisiaj projektowanie, rozwój i produkcja zestawów pomiarowych do badania olejów elektroizolacyjnych prowadzone są w całości w zakładach produkcyjnych Meggera w Dover w południowej Anglii.

2. Jakie metody stosuje się w badaniach olejów elektroizolacyjnych?

Do badania stanu oleju elektroizolacyjnego, szczególnie w przypadku aparatury będącej w eksploatacji, stosuje się wiele technik pomiarowych. Jeśli pominiemy metody analizy gazu rozpuszczonego w cieczy, badania oleju elektroizolacyjnego można podzielić na dwie grupy.

W pierwszej grupie znajdują się pomiary dotyczące bieżącego stanu technicznego i dopuszczalności do eksploatacji układu izolacyjnego badanego aparatu elektrycznego. Są to przede wszystkim pomiary napięcia przebicia będącego miarą wytrzymałości elektrycznej materiału, pomiar poziomu zawodnienia cieczy elektroizolacyjnej metodą Karla Fischera (KF) oraz pomiar współczynnika stratności dielektrycznej (tangens delta) izolacji.

Megger OTS – rodzina testerów wytrzymałości elektrycznej olejów elektroizolacyjnych



Megger KF – seria mierników zawartości wody w oleju metodą Karla Fishera



W drugiej grupie testów znajdują się pomiary stopnia degradacji i zesterzenia układów izolacyjnych aparatów i urządzeń elektrycznych. Są to między innymi pomiary napięcia powierzchniowego oleju, liczby kwasowej (liczby neutralizacji), rezystywności, oraz wzrokowa ocena barwy i wyglądu oleju izolacyjnego.

Typowe przykłady barw oleju

Im ciemniejszy kolor, tym większa zawartość zanieczyszczeń.



Wszystkie wymienione pomiary są użyteczne w określonych sytuacjach, jednak najbardziej praktyczny i uniwersalnie stosowany jest pomiar napięcia przebicia oleju elektroizolacyjnego i stąd ta metoda badań jest przedmiotem niniejszego przewodnika technicznego.

3. Na czym polega pomiar napięcia przebicia oleju?

W prostych słowach, pomiar napięcia przebicia wskazuje, jakie napięcie elektryczne może



wytrzymać badany olej izolacyjny bez wystąpienia przebicia. Pomiar przeprowadzany jest w naczyniu wyposażonym w dwie elektrody z regulowaną szerokością szczeliny między nimi. Badaną próbkę oleju wlewa się do tego naczynia i do elektrod przykładane jest napięcie przemienne. Wartość napięcia jest stopniowo zwiększana do momentu przeskoku iskrowego między elektrodami. W momencie przebicia napięcie jest natychmiast wyłączane. Wynikiem pomiaru jest wartość napięcia, przy którym nastąpiło przebicie i wynik ten oceniany jest poprzez porównanie z zalecanymi wartościami określonymi w różnych normach lub specyfikacjach producenta oleju.

Każda metoda pomiaru jest zdefiniowana zastosowaną normą, co będzie opisane w dalszej części przewodnika. Norma najczęściej definiuje parametry takie jak wielkość i kształt elektrod, szerokość szczeliny międzyelektrodowej, szybkość narastania napięcia, liczba powtórzeń danego pomiaru i czy badany olej jest mieszany podczas wykonywania pomiaru, czy też nie.

4. Kto przeprowadza pomiary napięcia przebicia oleju elektroizolacyjnego?

Wśród przedsiębiorstw i instytucji, które w ramach rutynowych czynności konserwacyjnych wykonują pomiary wytrzymałości elektrycznej olejów elektroizolacyjnych są:

- Firmy świadczące usługi pomiarowe dla przedsiębiorstw elektroenergetycznych
- Przedsiębiorstwa elektroenergetyczne (głównie elektrownie)
- Koleje (transformatory trakcyjne i aparatura rozdzielcza)
- Laboratoria badające oleje
- Producenci transformatorów i aparatury rozdzielczej i łączeniowej (kontrola jakości oleju)
- Rafinerie (badanie świeżego oleju w czasie produkcji)

5. Jakie typy olejów elektroizolacyjnych są badane?

Mimo, że do wszystkich cieczy elektroizolacyjnych stosowana jest uniwersalnie nazwa rodzajowa „olej”, obecnie w powszechnym użyciu występuje pięć typów tych substancji:

- Oleje mineralne
- Płyny na bazie węglowodorów o wysokiej masie cząsteczkowej (HMWH)
- Oleje (ciecze) silikonowe
- Estry syntetyczne
- Estry naturalne (oleje roślinne)

Wszystkie wymienione typy olejów można badać pod względem wytrzymałości elektrycznej stosując testery rodziny Megger OTS.

Najczęściej spotykanym typem cieczy elektroizolacyjnych, używanym od końca dziewiętnastego wieku, są oleje mineralne. Wśród transformatorów wypełnionych olejem mineralnym można spotkać takie, które są nieprzerwanie eksploatowane od ponad 50 lat. Oleje mineralne są produktem rafinacji olejów bazowych naftenowych albo parafinowych.

Ciecze HMWH, oleje silikonowe, estry naturalne i estry syntetyczne są stosunkowo niedawnym odkryciem i często są preferowane ze względu na mniejszą palność niż oleje mineralne. W normie ASTM D5222 określono, że olej elektroizolacyjny kwalifikuje się jako „mniej palny”, jeśli jego punkt palenia wynosi co najmniej 300°C.

Wymienione pięć typów olejów różni się znacząco między sobą pod względem zachowania w obecności wody. Najmniej korzystne zachowanie wykazują oleje mineralne, gdzie nawet niewielkie zawodnienie oleju znacznie obniża wartość napięcia przebicia. Podobnie reagują oleje silikonowe, podczas gdy oleje elektroizolacyjne na bazie estrów zachowują się bardzo dobrze w przypadku zawodnienia i z zawartością wilgoci przekraczającą 400 ppm (części na milion) zazwyczaj utrzymują napięcie przebicia wyższe niż 30 kV. Między innymi z tego względu oleje estrowe mogą być znacznie dłużej eksploatowane.

Tabela zamieszczona poniżej, choć niewyczerpująca, prezentuje dość dobry przegląd zastosowań cieczy elektroizolacyjnych w elektroenergetyce. Wskazuje także, które typy olejów można badać korzystając z testerów wytrzymałości elektrycznej serii Megger OTS.

Urządzenia / aparaty	Typ cieczy elektroizolacyjnej		Przykłady konkretnych cieczy elektroizolacyjnych	Czy można badać testerem Megger OTS?
Kondensatory	Syntetyczne węglowodory aromatyczne		PXE	Tak
	Estry aromatyczne		Różne typy	Tak
Kable średniego i wysokiego napięcia	Nowe	Węglowodory syntetyczne	Polibuteny	Tak
	Stare	Oleje mineralne	Różne typy	Tak
Przepusty	Oleje mineralne		Różne typy	Tak
Wyłączniki olejowe	Oleje mineralne		Różne typy	Tak
Transformatory	Oleje mineralne		Shell Diala AX	Tak
	Perfluorowęglowodory (PFC)		3M PF-5060	Tak
	Trudnopalne płyny izolacyjne	Oleje HMWH	Różne typy	Tak
		Oleje silikonowe	Dow Corning 561	Tak
		Syntetyczne węglowodory	Poliolefiny PAO	Tak
		Estry syntetyczne	Envirotemp® 200	Tak
		Estry naturalne – oleje roślinne	Envirotemp® FR3	Tak
		Fuorowęglowodory (HFC)	Vertrel® VX	Tak
	Starsze płyny	Polichlorowane bifenyle (PCB)	Askarel® Pyranol® Phenochlor®	Nie – substancje niebezpieczne wymagające specjalnych procedur
		Czterochloroetylen / perchloroetylen	Askarel® (zawartość 50%) Wecosol®	Nie – substancje niebezpieczne wymagające specjalnych procedur
	Gazy	Heksafluorek siarki (SF ₆)	SF ₆	Nie
	Starsze gazy	Freon R-113	Vapotrans	Nie
Podobciążeniowe przełączniki zaczepów	Oleje mineralne		Różne typy	Tak

6. Dlaczego, kiedy i jak często należy badać oleje elektroizolacyjne?

6.1 Dlaczego i kiedy?

Pomiar napięcia przebicia jest stosunkowo szybkim i łatwym sposobem ustalenia zawartości zanieczyszczeń w oleju izolacyjnym. Zazwyczaj substancją zanieczyszczającą jest woda, ale mogą to również być drobiny przewodzące, brud, śmieci, drobiny nieprzewodzące oraz produkty uboczne utleniania i starzenia się oleju.

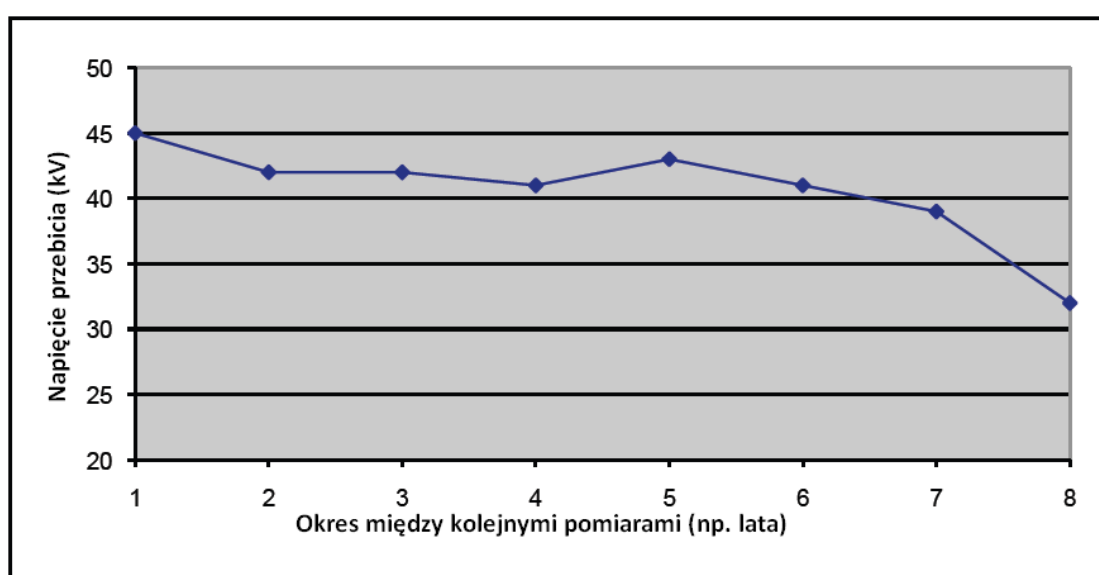
W przypadku urządzeń eksploatowanych pomiar napięcia przebicia jest wygodną metodą wykrycia wilgoci i innych zanieczyszczeń w oleju zanim dojdzie do katastrofalnej w skutkach awarii. Informacje zawarte w wyniku pomiaru mogą posłużyć także do:

- Prognozowania pozostałego czasu eksploatacji transformatora
- Zwiększenia bezpieczeństwa eksploatacji
- Zapobiegania pożarom urządzeń
- Utrzymywania niezawodności urządzeń

Pomiary napięcia przebicia wykonuje się także w przypadku olejów świeżych, przed napełnieniem urządzeń, w ramach testów odbiorczych dostarczanych olejów – nowych i regenerowanych.

6.2 Jak często?

Pomiary napięcia przebicia są ważnym elementem programu okresowych przeglądów i konserwacji urządzeń elektroenergetycznych wypełnionych olejem. Aby jednak uzyskać maksymalne korzyści z tego typu badań, firma Megger zdecydowanie zaleca wykonywanie pomiarów wytrzymałości elektrycznej olejów elektroizolacyjnych przynajmniej raz w roku, a najlepiej dwukrotnie w ciągu roku. Wyniki powinny być zapisywane i archiwizowane, co pozwoli na śledzenie trendu i rozpoznanie nagłych lub niespodziewanych zmian stanu badanego oleju. Jeśli wynik kolejnego badania wykaże znaczne odchylenie od trendu, można zbadać transformator pod względem możliwych wycieków, sprawdzić poziom oleju i zawartość wody. Jeśli zanieczyszczenie potwierdzi się, nierzadko istnieje możliwość wysuszenia i przefiltrowania oleju, czyli przywrócenia jego prawidłowego stanu, zamiast kosztownej wymiany na świeży olej.



7. Jakie normy są stosowane do pomiarów napięcia przebicia i czym się różnią?

Istnieje wiele norm dotyczących badania napięcia przebicia cieczy elektroizolacyjnych, ale większość z nich opiera się na trzech głównych normach. Dwie z nich opracowane i wydane zostały przez Amerykańskie Stowarzyszenie Badań i Materiałów **ASTM** (American Society for Testing and Materials), trzecia natomiast przez Międzynarodową Komisję Elektrotechniczną **IEC** (Europa). Te trzy standardy to:

- ASTM D877 – znormalizowana metoda pomiaru napięcia przebicia cieczy elektroizolacyjnych z zastosowaniem elektrod cylindrycznych
- ASTM D1816 – znormalizowana metoda pomiaru napięcia przebicia olejów izolacyjnych opartych na ropie naftowej z zastosowaniem elektrod VDE.
- IEC 60156 Ciecze elektroizolacyjne – określanie napięcia przebicia przy częstotliwości sieciowej – metoda badania.

Istnieje też norma Japońska, niezależna od norm ASTM i IEC.

Tabela poniżej podsumowuje główne różnice między normami ASTM i IEC.

Normy		ASTM D1816	ASTM D877		IEC 60156
			Procedura A	Procedura B	
Pochodzenie normy		USA	USA	USA	Europa
Elektrody	Kształt				
	Szerokość szczeliny	2 mm albo 1 mm	2,54 mm	2,54 mm	2,5 mm
Mieszanie próbki oleju	Napęd elektryczny	tak	nie mieszana	nie mieszana	opcja
	Mieszadło magnetyczne	brak możliwości			opcja
Temperatura pomiaru w warunkach laboratoryjnych	Cieczy	Temp. otoczenia – należy zanotować	20 – 30 °C Temperaturę próbki należy zanotować przy pobieraniu i w czasie pomiaru	20 – 30 °C Temperaturę próbki należy zanotować przy pobieraniu i w czasie pomiaru	15 – 25 °C dla pomiarów rozstrzygających
	Otoczenia	20 – 30 °C	Należy zanotować	Należy zanotować	W granicach $\pm 5^\circ$ temperatury próbki
Temperatura pomiarów w warunkach terenowych	Cieczy	Temp. otoczenia – należy zanotować	Należy zanotować	Należy zanotować	15 – 25 °C
	Otoczenia	Pomiary rozstrzygające 20 – 30 °C	Należy zanotować	Należy zanotować	W granicach $\pm 5^\circ$ temperatury próbki
Napięcie pomiaru	Szybkość narastania	0,5 kV/s	3 kV/s	3 kV/s	2 kV/s
	Częstotliwość	45 – 65 Hz	45 – 65 Hz	45 – 65 Hz	45 – 62 Hz
Przebiecie	Definicja	<100 V	<100V	<100V	4 mA przez 5 ms
	Liczba przebiegów w sekwencji	5**	5*	1 – 5, różne próbki	6
	Czas pomiędzy przebiegami	1 do 1,5 min	1 min	nie dotyczy	2 min
Wyłączanie napięcia probierczego po wystąpieniu przebiecia	Oleje typowe (np. mineralne)	Nie określono	Nie określono	Nie określono	<10 ms
	Olej silikonowy	Nie określono	Nie określono	Nie określono	<1 ms
Upływ czasu pomiędzy napełnieniem naczynia i rozpoczęciem pomiaru		3 – 5 min	2 – 3 min	2 – 3 min	2 min
Normy równoważne (oparte na IEC 60156)		Brak	Brak	Brak	BS EN 60156 CEI EN60156 IRAM 2341 UNE EN 60156 FN EN 60156 SABE EN 60156 VDE0370 cz.5 AS767.2.1 NRS 079–1* IS6729
Uwagi do badania olejów silikonowych		Można zastosować pod warunkiem, że energia wyładowania w próbce <20mj		Można zastosować po zmodyfikowaniu wg. D2225, jeśli nie można użyć procedury A	Nie ma problemu, jeśli instrument pomiarowy spełnia wymagania w zakresie czasu wyłączania wysokiego napięcia
Warunki specjalne		*Jeśli przebiecie nie wystąpi w ciągu 2 minut, zmniejszyć szczelinę do 1mm **Pomiar należy powtórzyć, jeśli zakres mierzonych napięć przebiecia przekracza 120% średniej przy szczelinie 1 mm i 92% przy 2 mm	*Pomiar należy powtórzyć, jeśli zakres mierzonych napięć przebiecia wynosi więcej niż 92% średniej arytmetycznej. Jeśli zakres 10 mierzonych napięć przebiecia jest większy niż 151% średniej, należy zbadać, dlaczego tak jest.		Współczynnik zmienności, będący stosunkiem odchylenia standardowego do średniej wyników, powinien mieścić się w granicach prezentowanych wykresem podanym w normie.
Uwagi		Naczynie pomiarowe powinno mieć pokrywę zabezpieczającą mieszany olej przed kontaktem z powietrzem.	Metoda kontynuowana, gdy nierozpuszczalne produkty przebiecia ustalą się całkowicie na dnie oleju między kolejnymi pomiarami	Metoda kontynuowana, gdy nierozpuszczalne produkty przebiecia ustalą się całkowicie na dnie oleju między kolejnymi pomiarami	*Norma różni się relacją czasu odstawienia do czasu mieszania. Naczynia pomiarowe/celki muszą być przezroczyste. Zmiany wprowadzone w 2009 pozwalają na badanie oleju regenerowanego wg. normy BS148.

Wiele norm krajowych opartych jest na normie międzynarodowej IEC 60156. W Japonii wytyczne do pomiarów napięcia przebicia określone są w normie JIS C2 101, która wymaga zastosowania elektrod kulowych podobnych do zalecanych w normie IEC 60156, ale wymaga też innej sekwencji przebiegów. Norma JIS C2101–99 (M) badania olejów mineralnych wymaga użycia dwóch próbek, z których każda badana jest sekwencją pięciu przebiegów. JIS C2101–99 (S) badania olejów silikonowych wymaga uzyskania pięciu przebiegów, ale każde z nich wykonane na innej próbce.

7.1 Normy ASTM (USA)

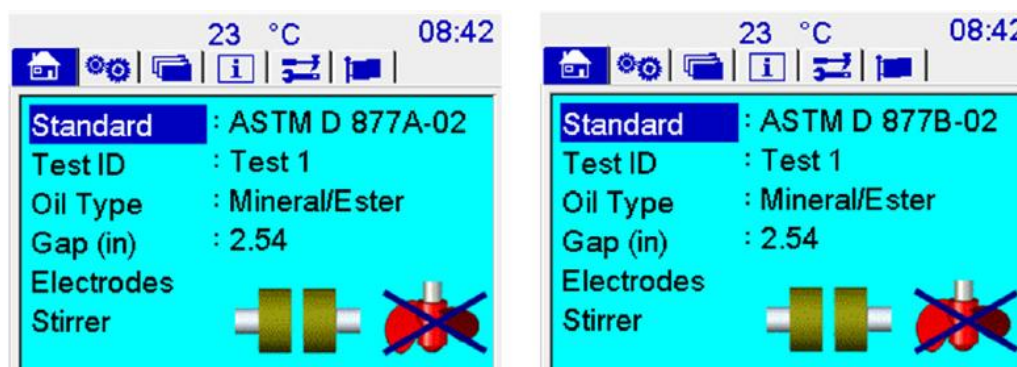
Instytut normalizacyjny ASTM International wydał dwie normy dotyczące pomiarów napięcia przebicia olejów. Pierwszą z nich jest ASTM D877–02 (najnowsza edycja 2002) – znormalizowana metoda pomiaru napięcia przebicia cieczy elektroizolacyjnych z zastosowaniem elektrod cylindrycznych. Drugą normą jest ASTM D1816–04 (najnowsza edycja 2004) – znormalizowana metoda pomiaru napięcia przebicia olejów izolacyjnych opartych na ropie naftowej z zastosowaniem elektrod VDE. Choć ta ostatnia jest zasadniczo normą amerykańską, w części opiera się na normie niemieckiej VDE.

ASTM D877

Norma ASTM D877 jest starszą normą i generalnie metoda w niej opisana nie jest czuła na obecność wilgoci w oleju. Z tego względu nie jest szeroko stosowana do badań olejów eksploatowanych. W 2002 w wydaniu C51.106 przewodnika IEEE do badań odbiorczych i utrzymaniowych urządzeń wypełnionych olejem izolacyjnym wartości określone w normie D877 zostały usunięte ze zbioru kryteriów oceny transformatorów będących w eksploatacji. Zasadniczo norma ASTM 877 jest zalecana tylko do badań odbiorczych świeżego oleju dostarczonego przez dystrybutora, zarówno luzem jak też w opakowaniach, w celu sprawdzenia, czy olej był prawidłowo składowany i transportowany. W normie określone jest minimalne napięcie przebicia, które typowo wynosi 30 kV.

Norma ASTM D877 wymaga użycia elektrod cylindrycznych o średnicy czoła 25,4 mm (1 cal) i co najmniej 3,18 mm (0,124 cala) grubości. Elektrody wykonane są z polerowanego mosiądzu i są montowane poziomo względem dna naczynia w taki sposób, że ich płaszczyzny czołowe są równoległe. Krawędzie elektrod powinny być ostre z promieniem zaokrąglenia nie większym niż 0,254 mm (0,010 cala). Należy regularnie sprawdzać, czy z upływem czasu krawędzie nie zaokrągliły się w sposób nadmierny. Efektem nadmiernie zaokrąglonych krawędzi jest zawyżenie napięcia przebicia, co może prowadzić do błędnej akceptacji oleju, który w rzeczywistości jest wadliwy i powinien być odrzucony. Ważne jest także utrzymywanie elektrod w nienaganej czystości, bez ubytków i śladów korozji, w przeciwnym razie wynik pomiaru napięcia przebicia może być fałszywie zaniżony. Użytkownicy instrumentu pomiarowego powinni regularnie sprawdzać stan elektrod, czyścić je i polerować.

Ekrany konfiguracji pomiarów wykonywanych według normy D877 w testerze Megger OTS:



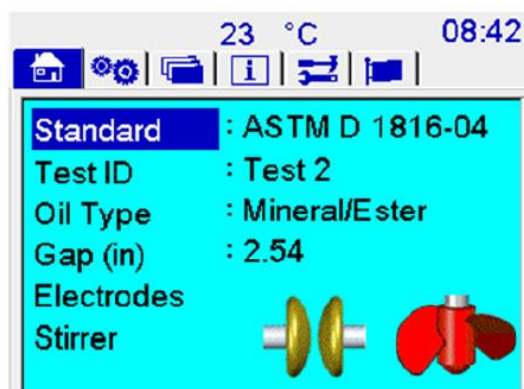
ASTM D1816

Norma ASTM D1816 z biegiem lat stała się normą powszechnie stosowaną, nawet w zastosowaniach wykraczających poza określone w tej normie oleje oparte na ropie naftowej i ograniczenia w zakresie lepkości. Norma D1816 jest bardziej czuła na zawartość wilgoci, starzenie się oleju i utlenianie, a także na obecność drobin w oleju. Przy aktualizacji przewodnika IEEE C51.106 w roku 2002 uwzględniono kryteria napięcia przebicia dla olejów świeżych i eksploatowanych określone w normie D1816.

Norma ASTM D1816 wymaga stosowania elektrod w kształcie grzyba (grzybkowych) o średnicy 36 mm. Tak jak w normie D877, elektrody wykonane są z brązu i muszą być wypolerowane tak, by nie było śladów ubytków, zadrapań, wytrawień czy zwęglenia. Olej jest mieszany przez cały czas trwania pomiaru. Określone jest mieszadło z elektrycznym napędem i dwułopatkowym śmigiełkiem. Norma określa wymiary napędu, głębokość zanurzenia i prędkość obrotową, która powinna mieścić się w przedziale od 200 obrotów na minutę do 300 obrotów na minutę. Aby nie dopuścić go kontaktu powietrza z mieszanym olejem, naczynie powinno posiadać pokrywę lub specjalną przegrodę.

Norma ASTM D1816, chociaż ogólnie uważana za bardziej użyteczną niż D877, ma jedno poważne ograniczenie, mianowicie wrażliwość na rozpuszczone gazy w oleju eksploatowanym. Nadmierna zawartość gazów w oleju może zaniżać wyniki pomiarów do tego stopnia, że zupełnie dobra próbka oleju, z niską zawartością wody i cząstek stałych może zostać odrzucona jako wadliwa. Trzeba o tym pamiętać, jeśli badany jest olej pobrany z małych transformatorów z hermetyczną kadzią i poduszką azotową a nawet, w niektórych przypadkach, z transformatorów olejowych z konserwatorem umożliwiającym „oddychanie” transformatora.

Ekran konfiguracji pomiarów wykonywanych według normy D1816 w testerze Megger OTS:



Producenci płynów elektroizolacyjnych zazwyczaj określają w kartach katalogowych wartości napięć przebicia zarówno dla świeżych jak też eksploatowanych olejów. Również normy opisujące metody pomiarowe często odnoszą się do innych norm określających właściwości oleju elektroizolacyjnego, dając tym samym pogląd, jakie wartości są akceptowalne. Jeszcze innym źródłem informacji określających kryteria akceptowalności olejów są wytyczne publikowane przez laboratoria pomiarowe.

7.2 Międzynarodowe normy IEC

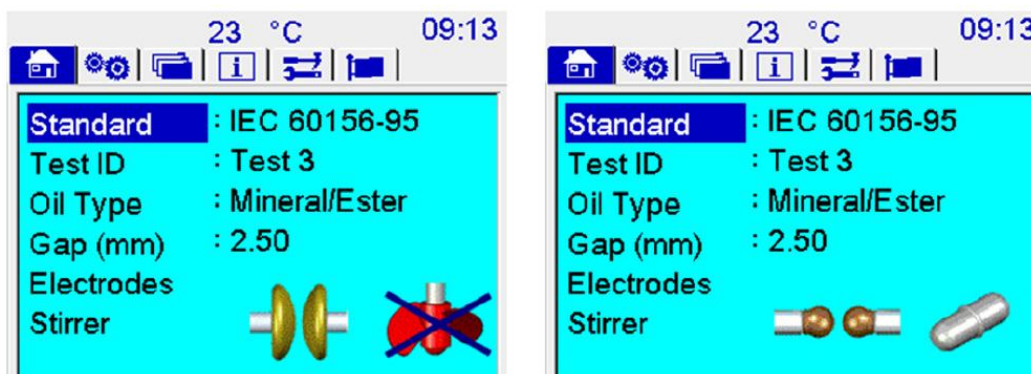
Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (IEC) definiuje tylko jedną metodę badań napięcia przebicia olejów. Jest to norma IEC 60156 o tytule „Ciecze elektroizolacyjne – określanie napięcia przebicia przy częstotliwości sieciowej – metoda badania”.

Norma IEC 60156

Norma IEC 60156 jest normą międzynarodową i pojawia się w wielu normach krajowych. Przykładem jest brytyjska norma BS EN 60156, polska norma PN-EN 60156 czy niemiecka VDE 0370 część 5. Norma IEC 60156 przewiduje zastosowanie elektrod kulowych lub grzybkowych, takich samych jak w normie ASTM D1816. Norma IEC 60156 różni się w wielu aspektach od normy ASTM D1616, ale zasadnicza różnica polega na tym, że norma IEC pozostawia swobodę decyzji w odniesieniu do mieszania oleju w czasie pomiaru – można zastosować zarówno mieszadła z napędem elektrycznym, mieszadła magnetyczne, a także zrezygnować w ogóle z mieszania badanej cieczy. Norma uzasadnia wolny wybór tym, że nie stwierdzono statystycznie znaczących różnic w wynikach pomiarów cieczy mieszanych i niemieszanych. Zastosowanie mieszadła magnetycznego jest jednak dozwolone tylko wtedy, gdy nie ma ryzyka usunięcia z badanej próbki cząstek namagnesowanych. Jeśli olej jest jednocześnie płynem chłodzącym, jak to zazwyczaj ma miejsce w przypadku transformatorów, wówczas w czasie pracy podlega cyrkulacji. Mieszanie próbki takiego oleju w czasie pomiaru odzwierciedla jego naturalny stan i daje większe szanse na wykrycie zanieczyszczenia cząstkami stałymi. Olej używany w wyłącznikach elektroenergetycznych pozostaje statyczny podczas pracy, a więc drobiny stałe opadają na dno zbiornika, gdzie raczej nie stwarzają problemów. Z tego względu próbki olejów z tego typu aparatów zazwyczaj nie są mieszane.

Wartości napięcia przebicia uzyskiwane w metodzie IEC 60156 są zwykle wyższe niż wartości uzyskiwane metodami ASTM. W części może to być spowodowane różnicą w tempie narastania napięcia oraz w szerokości szczeliny międzyelektrodowej w porównaniu z normą D1816, natomiast w odniesieniu do normy D877 – różnicą w kształtach elektrod (kształty elektrod w normie IEC zapewniają uzyskanie bardziej jednolitego pola elektrycznego). W rezultacie może się zdarzyć, że w przypadku dobrze utrzymanego transformatora wartości napięcia przebicia oleju mogą być wyższe niż maksymalny zakres pomiarowy testera wynoszący 60 kV. Nie musi to stanowić szczególnego problemu przy sprawdzaniu świeżego oleju dostarczanego przez dystrybutora a nawet przy badaniu oleju eksploatowanego, jednakże często wymagane są konkretne wartości napięcia przebicia. Zatem dla metody opisanej w normie IEC 60156 zaleca się użycie instrumentu pomiarowego o odpowiednio wyższym napięciu probierczym. Podobnie jak w przypadku normy ASTM D1816, gazy rozpuszczone w próbce oleju mogą zaniżać wartość napięcia przebicia, chociaż efekt ten jest mniej wyraźny w metodzie IEC 60156.

Przykłady ekranów konfiguracji pomiaru dla metody IEC 60156 w testerze Megger OTS:



8. Jak należy pobierać próbki oleju?

W sposobie pobierania próbek oleju dwie sprawy są szczególnie istotne. Po pierwsze – należy ściśle zastosować się do ustalonej procedury pobierania próbek, po drugie – należy dokładnie notować wszystkie niezbędne informacje dotyczące próbek.

Jeśli próbka wysyłana jest do badania w laboratorium, placówka ta powinna przekazać zleceniodawcy listę wymaganych informacji. Należy pamiętać, że diagnoza stanu oleju będzie na tyle poprawna i wiarygodna, na ile poprawne i wiarygodne są informacje przekazane placówce wykonującej badania. Placówka ta powinna także poinformować zleceniodawcę, jaka powinna być objętość próbki i w jakim naczyniu powinna próbka być dostarczona.

W przypadku oleju transformatorowego placówki badawcze generalnie wymagają następujących informacji:

- Opis próbki
- Lista testów do wykonania
- Informacje z tabliczki znamionowej transformatora
- Typ transformatora
- Typ cieczy elektroizolacyjnej
- Zanotowane wycieki
- Historia konserwacji cieczy elektroizolacyjnej (no. czy olej był poddany wysuszaniu)
- Historia konserwacji transformatora (np. czy był przewajany)
- Typ konserwatora
- Typ izolacji, łącznie z odpornością na wzrost temperatury ponad temperaturę otoczenia
- Dane dotyczące wyposażenia chłodzącego (wentylatory, radiatory itp.)
- Temperatura górnej warstwy cieczy, odczytana ze wskaźnika
- Temperatura faktycznie zmierzona
- Poziom cieczy w kadzi
- Odczyty ze wskaźników ciśnienia

W przypadku podobciążeniowego przełącznika zaczepów zaleca się także zanotowanie odczytu licznika liczby zrealizowanych przełączeń, wartości skrajne zakresu przełączania i liczbę pozycji pośrednich.

Próbki powinny być pobierane zgodnie z właściwą normą, stąd sposób pobierania nie jest szczegółowo omówiony w tym przewodniku.

W USA obowiązują dwie normy pobierania próbek:

- D923 – Standardowy sposób postępowania przy pobieraniu próbek cieczy elektroizolacyjnych
- D3613 – Standardowy sposób postępowania przy pobieraniu próbek olejów izolacyjnych w celu analizy gazów i określenia zawartości wody

Funkcjonują też dwie normy międzynarodowe:

- IEC 60475 wyd. 2.0 – Metody pobierania próbek cieczy elektroizolacyjnych
- IEC 60567 wyd. 3.0 – Urządzenia elektryczne olejowe – pobieranie próbek gazów i oleju do analizy gazów wolnych i rozpuszczonych – wytyczne

Normy IEC należy stosować łącznie, tym bardziej, że część postanowień normy IEC 60567 została przeniesiona do normy IEC 60475.

8.1 Użyteczne wskazówki dotyczące pobierania próbek oleju

Aby próbka była wartościowa, musi wiernie reprezentować olej wypełniający dane urządzenie. Oznacza to, że istotną rolę pełni tutaj czystość.

- Próbki zazwyczaj pobierane są z zaworu spustowego lub zaworu probierczego kadzi. Przed pobraniem próbki zawór należy oczyścić zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz tak, by do naczynia nie dostały się cząstki brudu.
- Zawór spustowy znajduje się u dołu kadzi lub zbiornika, czyli tam, gdzie gromadzi się szlam, woda i drobiny zanieczyszczeń. Stąd należy wstępnie upuścić taką objętość oleju, by próbka pobrana została z głównej masy oleju wypełniającego kadź. Może to wymagać upuszczenia dwóch litrów oleju, a nawet więcej, jeśli urządzenie było wyłączone z eksploatacji przez dłuższy czas.
- Do pobrania próbki w żadnym wypadku nie należy użyć pustego opakowania po oleju silnikowym, gdyż nawet kilka części na milion oleju silnikowego w próbce doprowadzi do uzyskania negatywnego wyniku pomiaru napięcia przebiecia.
- Pobierając próbkę należy pozwolić, by olej płynął po ścianie naczynia (butelki) albo użyć czystego wężyka opierając go o dno naczynia. W ten sposób wlewany do naczynia olej nie będzie mieszał się z powietrzem.
- Przezroczyste naczynia szklane lub plastikowe z próbkami oleju należy przechowywać w ciemności, ponieważ pod wpływem promieni ultrafioletowych następuje degradacja olejów mineralnych.

Bezpieczeństwo

- Przed pobraniem próbek należy uzyskać wszelkie wymagane zezwolenia i zgody.
- Należy przygotować wszystkie niezbędne akcesoria do wyłączenia / oznaczenia urządzeń.
- Jeśli badany płyn elektroizolacyjny zawiera PCB (polichlorowane bifenyle), należy dowiedzieć się, jaki jest poziom zawartości tych substancji w oleju i odpowiednio oznaczyć badane urządzenie. PCB jest związkiem bardzo toksycznym i wymaga szczególnego traktowania.
- Należy stosować określone w przepisach środki ochrony osobistej i narzędzia odpowiednie do wykonywanego zadania.
- Miejsce pobierania próbek należy sprawdzić pod względem zagrożeń porażeniowych i przeszkód, o które można się potknąć i przewrócić.
- Należy sprawdzić, czy w miejscu wykonywanego zadania nie znajdują się niebezpieczne owady lub zwierzęta – pszczoły, węże i inne, które bardzo lubią transformatory.
- Należy sprawdzić, czy wewnątrz kadzi panuje ciśnienie dodatnie względem otoczenia. Czy wskazanie manometru jest wiarygodne? Czy manometr jest sprawny i nie jest zablokowany? W żadnym wypadku nie należy pobierać próbek oleju z kadzi transformatora, w której ciśnienie jest niższe niż ciśnienie otoczenia, ponieważ w takiej sytuacji do wnętrza kadzi może zostać zassane powietrze powodując awarię transformatora.

Sprzęt do pobierania próbek

- Dobrze jest zabrać ze sobą dodatkowe butelki na próbki i strzykawki – często się przydają
- Butelki na próbki powinny mieć szczelne zamknięcia
- Należy używać tylko strzykawek szklanych okrągłych
- Jeśli używany jest wąż gumowy, po pobraniu każdej pojedynczej próbki należy go wyrzucić

Strzykawka do pobierania próbek



Wstępne upuszczanie oleju z urządzenia

- Do upuszczania oleju z badanego transformatora czy innego aparatu przed pobraniem właściwej próbki zwykle używa się zapasowej butelki na próbki, która jest wielokrotnie napełniana i opróżniana do zbiornika na zużyty olej. Dobrym zwyczajem jest zmierzenie temperatury w ostatniej butelce upuszczanego oleju, co pozwala uniknąć potrzeby wkładania termometru do właściwej próbki.

Warunki pobierania próbek

- Jeśli możliwe, próbki oleju należy pobierać w okresie względnie ustabilizowanego obciążenia i w niezmienniej temperaturze – innymi słowy wtedy, gdy badane urządzenie znajduje się w równowadze. Szczególnie dotyczy to transformatorów, ponieważ próbka pobrana wkrótce po tym, gdy transformator ostygnie po dłuższym okresie pracy przy pełnym obciążeniu wykaże znacznie niższą wartość napięcia przebicia niż normalnie. Wynika to z faktu, że podczas pracy przy pełnym obciążeniu wilgoć z izolacji papierowej migruje do oleju i mogła jeszcze nie zdążyć powrócić do izolacji. Zjawisko to uważane jest za normalne, ale niewykluczone, że jest jednym z czynników powodujących zdarzenie nazywane potocznie „nagłą śmiercią” transformatora, kiedy to bez wyraźnych powodów pozornie zdrowy transformator nagle ulega awarii. Jest to jeszcze jeden argument przemawiający za tym, by notować wszelkie możliwe informacje o badanym transformatorze i obserwować niewyjaśnione odstępstwa od historycznej linii trendu wyników pomiarów.
- Próbek nie należy pobierać podczas padającego deszczu lub śniegu, albo gdy względna wilgotność powietrza jest wyższa niż 50%, ponieważ w takich warunkach istnieje duże prawdopodobieństwo zanieczyszczenia próbki.
- Próbek nie należy pobierać podczas silnego wiatru, ponieważ kurz unoszący się w powietrzu może zanieczyścić próbki.
- Należy unikać też pobierania próbek, gdy temperatura otoczenia jest wysoka, ponieważ pot może być także źródłem zanieczyszczeń badanych próbek.

9. Przygotowanie naczynia pomiarowego

O prawidłowości przeprowadzenia pomiarów napięcia przebicia oleju decyduje nie tylko sposób, w jaki próbki zostały pobrane – co opisano powyżej – ale także właściwe przygotowanie naczynia pomiarowego. Przygotowanie naczynia pomiarowego można podzielić na dwa zasadnicze elementy. Pierwszym jest przechowywanie, czyszczenie i napełnianie naczynia, drugim – ustawianie szerokości szczeliny międzyelektrodowej.

9.1 Przechowywanie i czyszczenie naczyń pomiarowych

Norma IEC 60156 zaleca używania osobnych zestawów naczyń pomiarowych dla różnych typów olejów elektroizolacyjnych podlegających badaniom. Norma ta wymaga, by przechowywane naczynia były wypełnione suchym olejem takiego typu, jaki będzie przedmiotem badania, przykryte i umieszczone w

suchym miejscu. Norma ASTM alternatywnie pozwala na przechowywanie naczyń pustych w wolnych od kurzu szafkach.

Bezpośrednio przed pomiarem naczynia przechowywane w stanie napełnionym należy opróżnić, po czym wewnętrzne powierzchnie wraz z elektrodami należy opłukać cieczą pochodzącą z próbki, która będzie badana. Olej użyty do płukania należy wylać i ostrożnie napełnić naczynie właściwą próbką oleju uważając, by nie tworzyły się pęcherzyki powietrza.

Jeśli naczynie było przechowywane puste, albo jeśli ma być użyte do badania oleju innego typu, niż olej wypełniający naczynie podczas przechowywania, należy je wyczyścić używając właściwego rozpuszczalnika i następnie wypłukać i napełnić naczynie badanym olejem, jak opisano powyżej. Norma ASTM D1816 do czyszczenia naczyń zaleca rozpuszczalniki węglowodorowe, takie jak nafta, które spełniają wymagania normy D235. Nie należy używać rozpuszczalników o niskiej temperaturze wrzenia, ponieważ szybko parują schładzając naczynie i tym samym stwarzają ryzyko kondensacji pary wodnej. Zazwyczaj do czyszczenia naczyń używa się acetonu a w USA – toluenu. Toluenu jest jednak zabroniony w Europie.

Naczynia pomiarowe należy wycierać ściereczkami niezostawiającymi włókien. Nie należy używać ręczników papierowych, ponieważ mogą wprowadzić do naczyń cząstki pochłaniające wodę, czego skutkiem będzie znacznie niższe mierzone napięcie przebicia. Podczas czyszczenia należy unikać dotykania rękoma elektrod i wewnętrznych ścianek naczyń. Elektrody należy sprawdzić pod względem ewentualnych ubytków i zadrapań, które mogłyby spowodować niższe odczyty napięcia przebicia niż rzeczywiste.

9.2 Ustawianie szerokości szczeliny międzyelektrodowej

Dokładne wyregulowanie szczeliny międzyelektrodowej jest bardzo istotne, ponieważ wynik pomiaru napięcia przebicia będzie wiarygodny tylko przy prawidłowo ustawionej szerokości szczeliny. Dużym problemem jest możliwość przemieszczania się elektrod po ustawieniu szerokości szczeliny, stąd wielu użytkowników sprawdza szerokość szczeliny bardzo często, niekiedy przed każdym pomiarem. Lepszym rozwiązaniem jest użycie takiego instrumentu pomiarowego, w którym ustawioną pozycję elektrod można zablokować specjalnym mechanizmem. Takie rozwiązanie zastosowano w najnowszych testerach serii Megger OTS.

Firma Megger do pomiaru szerokości szczeliny zaleca używanie płaskich, gładkich szczelinomierzy. Najnowsze szczelinomierze firmy Megger mają czarną anodowaną powierzchnię, co nie tylko zapewnia gładkość, ale także pełni rolę wskaźnika zużycia szczelinomierza, gdy spod spodu zacznie przebijać srebrny kolor aluminium.

9.3 Wskazówki i uwagi dotyczące przygotowania naczyń pomiarowych do pomiaru

- Jeśli naczynie pomiarowe przed rozpoczęciem testów jest płukane próbką oleju przeznaczoną do badania, bardzo ważne jest napełnienie naczyń próbką natychmiast po wypłukaniu. Każda dłuższa zwłoka prowadzi do absorpcji wody z powietrza przez warstwę oleju pokrywającą ścianki naczyń, a ponieważ powierzchnia ścianek jest znaczna, umieszczona w naczyniu próbka oleju może zostać zawodniona i wykazywać mniejszą niż faktyczna wartość napięcia przebicia.
- Olej do naczyń pomiarowych należy wlewać szybko i bez powodowania zawirowań tak, by pęcherzyki powietrza nie zostały uwięzione w strumieniu cieczy.
- Po wleciu oleju i przed rozpoczęciem pomiaru naczynie z próbką należy odstawić na kilka minut w celu usunięcia z cieczy pozostałych pęcherzyków powietrza.
- Nie należy pozostawiać próbki w naczyniu zbyt długo przed rozpoczęciem pomiaru, ponieważ zacznie absorbować wilgoć z powietrza znajdującego się nad naczyniem, czego skutkiem będą zaniżone wyniki pomiaru napięcia przebicia.
- Jeśli używane jest mieszadło z napędem elektrycznym i specjalną przegrodą oddzielającą powierzchnię próbki od powietrza, należy zapewnić by:

- olej nie wydostał się na zewnętrzną powierzchnię przegrody
- powierzchnia próbki oleju miała pełny, nieprzerwany kontakt ze spodnią płaszczyzną przegrody
- Mieszadło magnetyczne używane w metodzie IEC 60156 miesza olej w dolnej części naczynia pomiarowego, podczas gdy mieszadło z napędem elektrycznym powoduje cyrkulację całej objętości cieczy. Mieszadło magnetyczne ma więc przewagę w tym, że powietrze absorbowane przez olej w górnej części naczynia nie jest wtłaczane w próbkę przez wirujący olej, co pozwala uniknąć niepożądanego zanieczyszczenia próbki.
- Należy pamiętać, że zasady czyszczenia i przygotowania naczynia do pomiaru dotyczą także mieszadła magnetycznego, przegrody mieszadła z napędem elektrycznym oraz elektrod – nie tylko ścianek naczynia.
- Jeśli wykonywane są konsekwentne pomiary wielu próbek, jak to ma miejsce w warunkach laboratoryjnych, przed badaniem kolejnej próbki należy naczynie pomiarowe wyczyścić lub przepłukać.
- Przygotowując naczynie pomiarowe do badania próbek należy zawsze postępować zgodnie z zastosowaną normą.

10. Dlaczego mierzona jest temperatura próbki oleju?

Napięcie przebicia próbki oleju znacząco rośnie ze wzrostem temperatury. Na przykład, próbka estru naturalnego, którego napięcie przebicia wynosi około 35 kV w 30°C, w temperaturze 70°C może osiągać napięcie przebicia blisko 60 kV. Z tego względu wszystkie normy badania oleju wymagają pomiaru temperatury próbki i umieszczenia wartości tego parametru w protokole pomiarowym. W tabeli poniżej, która jest fragmentem tabeli zamieszczonej w jednym z wcześniejszych rozdziałów tego przewodnika, podane są wymagania w zakresie pomiaru temperatury określone w poszczególnych normach.

Normy		ASTM D1816	ASTM D877		IEC 60156
			Procedura A	Procedura B	
Temperatura pomiaru w warunkach laboratoryjnych	Cieczy	Temp. otoczenia – należy zanotować	20 – 30 °C Temperaturę próbki należy zanotować przy pobieraniu i w czasie pomiaru	20 – 30 °C Temperaturę próbki należy zanotować przy pobieraniu i w czasie pomiaru	15 – 25°C dla pomiarów rozstrzygających
	Otoczenia	20 – 30 °C	Należy zanotować	Należy zanotować	W granicach $\pm 5^\circ$ temperatury próbki
Temperatura pomiarów w warunkach terenowych	Cieczy	Temp. otoczenia – należy zanotować	Należy zanotować	Należy zanotować	15 – 25 °C
	Otoczenia	Pomiary rozstrzygające 20 – 30 °C	Należy zanotować	Należy zanotować	W granicach $\pm 5^\circ$ temperatury próbki

Uwaga: linia trendu wyników pomiarów napięcia przebicia wyznaczana w celu śledzenia zmian w czasie jest wiarygodna tylko wtedy, gdy wzięto pod uwagę temperaturę próbki i temperaturę otoczenia dla wszystkich analizowanych wyników. Niektóre testery napięcia przebicia mierzą temperaturę badanej próbki automatycznie, co zapewnia, że temperatura jest zawsze mierzona i nie ma możliwości zanieczyszczenia próbki poprzez umieszczanie w niej termometru.

11. Skąd wiadomo, że wyniki testu są wiarygodne?

Tabela poniżej przedstawia porównanie warunków określonych w poszczególnych normach, które muszą być spełnione, aby wyniki pomiaru mogły być uznane za wiarygodne.

Normy	ASTM D1816	ASTM D877		IEC 60156
		Procedura A	Procedura B	
Warunki uznania wyniku pomiaru za wiarygodny	Jeśli przebicie nie wystąpi w ciągu 2 minut, zmniejszyć szczelinę do 1 mm Pomiar należy powtórzyć, jeśli zakres mierzonych napięć przebicia przekracza 120% średniej przy szczelinie 1 mm i 92% przy szczelinie 2 mm	Pomiar należy powtórzyć, jeśli zakres mierzonych napięć przebicia wynosi więcej niż 92% średniej arytmetycznej. Jeśli zakres 10 mierzonych napięć przebicia jest większy niż 151% średniej, należy zbadać, dlaczego tak jest.		Współczynnik zmienności, będący stosunkiem odchylenia standardowego do średniej wyników, powinien mieścić się w granicach prezentowanych wykresem podanym w normie.

- Średnia wyników jest średnią arytmetyczną uzyskanych wartości napięć przebicia w danej sekwencji. Na przykład, jeśli dla danej próbki uzyskano kolejno napięcia przebicia 33 kV, 37 kV, 32 kV, 35 kV, 38 kV i 34 kV, wówczas aby obliczyć średnią, należy wyniki te dodać (209) i podzielić przez liczbę wyników (6), tj. $209 / 6 = 34,83$ kV (w przytoczonym przykładzie jest 6 wyników pomiarów w sekwencji, zgodnie z metodą IEC 60156. W metodzie ASTM byłoby to 5 pomiarów).
- Zakres mierzonych napięć przebicia, o którym mowa w normach ASTM, jest to różnica między najwyższym i najniższym napięciem przebicia uzyskanym w sekwencji pomiarów. Normy ASTM wymagają powtórzenia pomiaru, jeśli zakres mierzonych napięć obliczany jak wyżej odniesiony do średniej przekracza określoną wartość procentową. Na przykład D877 wymaga, by zakres nie był wyższy niż 92% średniej wyników. Dwa poniższe przykłady wyjaśniają bliżej, o co chodzi:
 - Przykład 1: zarejestrowane w sekwencji pomiarowej wartości napięcia przebicia wynoszą kolejno: 43, 45, 52, 40 i 38 kV. Najniższa uzyskana wartość to 38 kV, najwyższa 52 kV, zatem zakres mierzonych napięć wynosi 14 kV. Średnia pięciu pomiarów wynosi 43,6 kV, stąd procentowo zakres stanowi $(14 / 43,6) \times 100\% = 32,11\%$ średniej, czyli znajduje się poniżej górnej granicy 92%, a więc wyniki pomiaru są wiarygodne.
 - Przykład 2: zarejestrowane w sekwencji pomiarowej wartości napięcia przebicia wynoszą kolejno: 33, 45, 52, 18 i 20 kV. Najniższa uzyskana wartość to 18 kV, najwyższa 52 kV, zatem zakres mierzonych napięć wynosi 34 kV. Średnia pięciu pomiarów wynosi 33,6 kV, stąd procentowo zakres stanowi $(34 / 33,6) \times 100\% = 101\%$ średniej, czyli znajduje się powyżej granicy 92%, a więc wyniki nie są wiarygodne i pomiar należy powtórzyć.
- Współczynnik zmienności, o którym mówi norma IEC 60156, zwany także względnym odchyleniem standardowym, jest stosunkiem odchylenia standardowego do średniej arytmetycznej wyników uzyskanych w danej sekwencji. Współczynnik ten prezentowany jest w formie graficznej. Sposób liczenia średniej arytmetycznej opisany został powyżej, natomiast jak obliczyć odchylenie standardowe? Norma IEC tego nie wyjaśnia, ale procedura jest następująca: najpierw należy obliczyć różnicę między każdym z sześciu wyników i średnią arytmetyczną, następnie każdą z tych różnic podnieść do kwadratu, obliczyć sumę tych kwadratów i całość podzielić przez dwa, po czym z otrzymanej liczby wyciągnąć pierwiastek kwadratowy¹.

¹ Przyp. tłumacza: wydaje się, że podany przez autorów przewodnika wzór na odchylenie standardowe jest błędny, konkretnie we fragmencie, w którym mowa jest o dzieleniu przez dwa. Inne źródła podają następującą formułę na odchylenie standardowe, a właściwie najczęściej używany estymator odchylenia standardowego:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_p - U_{pi})^2}{n-1}}$$

gdzie:

U_p – napięcie przebicia próbki liczone jako średnia arytmetyczna 6 kolejnych wyników w sekwencji

U_{pi} – zarejestrowane kolejno wartości napięcia przebicia ($n = 6$)

n – liczba pomiarów w sekwencji ($n = 6$)

Stąd sumę kwadratów, o której mowa w tekście należałoby podzielić przez 5, nie przez 2.

Norma IEC stanowi, że uznanie wyniku za wiarygodny wymaga przeprowadzenia następującej procedury:

- Uzyskaj sześć wyników pomiaru napięcia przebicia danej próbki
- Oblicz średnią arytmetyczną wyników
- Oblicz odchylenie standardowe (zobacz powyżej)
- Podziel wyliczone odchylenie standardowe przez średnią arytmetyczną wyników i oceń, czy rozrzut znajduje się w granicach akceptacji (zobacz wykres na końcu normy IEC 60156)
- Jeśli otrzymana wartość jest akceptowalna, zakończ badanie próbki.
- Jeśli otrzymana wartość nie mieści się w granicach akceptacji, wykonaj kolejne sześć pomiarów napięcia przebicia
- Powtórz obliczenia dla wszystkich 12 wyników.

12. Skąd wiadomo, że wynik badania oleju jest pozytywny?

Producenci cieczy elektroizolacyjnych zazwyczaj podają w kartach katalogowych wartości napięcia przebicia zarówno dla olejów świeżych i eksploatowanych. Normy opisujące metody pomiarowe mogą też odnosić się do innych norm określających właściwości oleju elektroizolacyjnego, dając tym samym pogląd, jakie wartości są akceptowalne.

12.1 USA – normy ASTM i IEEE

D877 – jak już wspomniano wyżej, norma ta zazwyczaj zalecana jest do oceny oleju świeżego dostarczanego przez dystrybutora. Jednakże niektóre laboratoria nadal zalecają stosowanie tej normy do olejów eksploatowanych w szczególnych zastosowaniach. W takich wypadkach wartości napięcia przebicia 30 kV i wyższe uznawane są za dopuszczalne, natomiast napięcia poniżej 25 kV uznawane są za niedopuszczalne. Wartości pomiędzy 25 kV i 30 kV są uznawane za wątpliwe. Dla świeżego oleju typowo podaje się 30 kV jako wartość minimalną.

Typowe wartości napięcia przebicia według metody pomiarowej D877	
Typ oleju	Świeży olej
Mineralny	45 kV
Silikonowy	40 kV
HMWM	52 kV
Estry syntetyczne	43 kV
Estry naturalne	56 kV

D1816 – norma szerzej stosowana i akceptowana przez IEEE jako metoda pomiaru napięcia przebicia w badaniach odbiorczych i utrzymaniowych oleju elektroizolacyjnego. Norma IEEE C57.106 uwzględnia kryteria określone w normie D1816 (prezentowane w tabeli poniżej) dla oleju świeżego i eksploatowanego. Należy zauważyć, że podane w tabeli wartości dotyczą oleju mineralnego.

IEEE C57.106–2006

Wytyczne IEEE dla badań odbiorczych i konserwacyjnych oleju izolacyjnego w urządzeniach

Zastosowania	Napięcia znamionowe klasa / grupa	Napięcie przebicia	
		D1816 (szczelina 1 mm)	D1816 (szczelina 2 mm)
Świeży olej mineralny – odbiór od dostawcy	Nieokreślone	> 20 kV	> 35 kV
Świeży olej mineralny w nowym urządzeniu, przed załączeniem napięcia	≤ 69 kV	> 25 kV	> 45 kV
	69 do 230 kV	> 30 kV	> 52 kV
Świeży olej mineralny – regenerowany z badanego urządzenia, przed załączeniem napięcia	230 do 345 kV	> 32 kV	> 55 kV
	≥ 345 kV	> 35 kV	> 60 kV
Olej zestarzony w ciągłej eksploatacji (Grupa 1)	≤ 69 kV	> 23 kV	> 40 kV
	69 do 230 kV	> 28 kV	> 47 kV
	≥ 230 kV	> 30 kV	> 50 kV
Dostawa świeżego oleju mineralnego dla wyłączników olejowych (OCB – Oil Circuit Breaker)	OCB	> 20 kV	> 30 kV
Świeży olej OCB po regeneracji, przed załączeniem napięcia	OCB	> 30 kV	> 60 kV
Olej OCB zestarzony – w ciągłej eksploatacji	OCB	> 20 kV	> 27 kV
Świeży olej mineralny dla podobciążeniowych przełączników zaczeów (LTC – Load Tap Changer) – przed załączeniem napięcia	LTC	> 35 kV	> 55 kV
Olej LTC zestarzony – w ciągłej eksploatacji	LTC – neutralny	> 20 kV	> 27 kV
	LTC: ≤ 69 kV	> 25 kV	> 35 kV
	LTC: > 69 kV	> 28 kV	> 45 kV

12.2 Normy międzynarodowe IEC

Norma IEC 60156 stosuje wartości określone w dwóch innych normach: IEC 60296 i IEC 60422

IEC 60296 – Ciecze stosowane w elektrotechnice – świeże mineralne oleje elektroizolacyjne do transformatorów i aparatury łączeniowej. Jak wskazuje tytuł normy, odnosi się ona tylko do świeżych olejów dostarczanych przez producenta, które powinny cechować się napięciem przebicia 30 kV i wyższym, ustalonym metodą pomiarową IEC 60156. Olej, który był próżniowo filtrowany w laboratorium powinien mieć minimalne napięcie przebicia 70 kV.

IEC 60422 – Mineralne oleje izolacyjne w urządzeniach elektrycznych – zalecenia dotyczące nadzoru i konserwacji. Ta norma podaje dopuszczalne wartości napięcia przebicia dla świeżego oleju (po napełnieniu urządzenia, ale przed załączeniem napięcia) oraz dla oleju w eksploatacji.

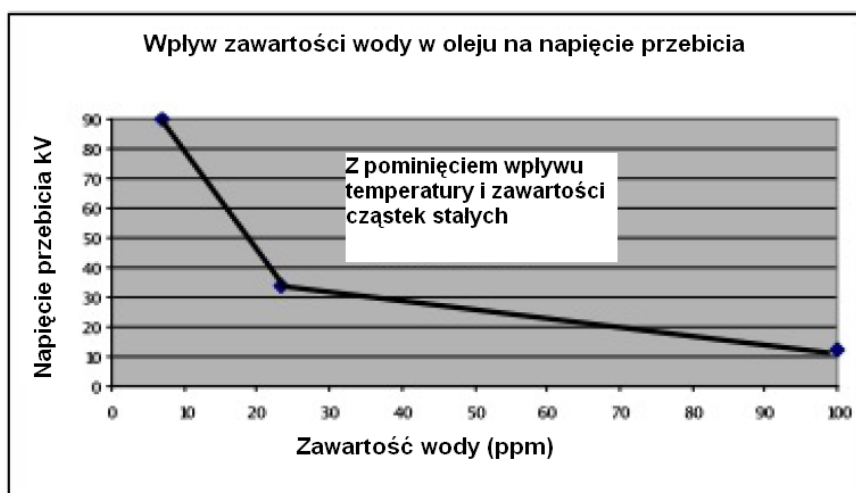
Świeży olej		Olej eksploatowany	Napięcie przebicia		
Napięcie znamionowe urządzenia	Napięcie przebicia	Napięcie znamionowe urządzenia	Dobry	Średni	Zły
≥ 72,5 kV	> 55 kV	≥ 72,5 kV	> 40 kV	30 – 40 kV	< 30 kV
> 72,5 kV ≤ 170 kV	> 60 kV	> 72,5 kV ≤ 170 kV	> 50 kV	40 – 50 kV	< 40 kV
> 270 kV	> 60 kV	> 270 kV	> 60 kV	50 – 60 kV	< 50 kV

IEC zaleca częstsze badanie oleju, jeśli wartości napięcia przebicia znajdują się w zakresie wartości „średnich” i porównanie wyników badań z wynikami uzyskanymi innymi metodami pomiarowymi. Jeśli wyniki znajdują się w przedziale wartości „złych”, olej należy przywrócić do stanu dobrego poprzez regenerację, np. wysuszenie lub filtrację.

13. Czy wynik badania napięcia przebicia świeżego oleju może być negatywny?

Odpowiadając krótko – tak, świeży (nowy) olej elektroizolacyjny może nie przejść pozytywnie testu napięcia przebicia. Czasem podejrzenie pada na instrument pomiarowy, ale po sprawdzeniu testera najczęściej okazuje się, że nie jest uszkodzony. W rzeczywistości badany świeży olej może mieć niskie napięcie przebicia, a więc wyniki pomiaru są w takim wypadku prawidłowe, nawet jeśli trudno w to uwierzyć.

Źródłem problemu zazwyczaj jest sposób magazynowania oleju. Często olej elektroizolacyjny dostarczany jest w metalowych beczkach, które są składowane na terenie odbiorcy w oczekiwaniu na napełnienie transformatora lub innego aparatu. W gorącym klimacie ciśnienie wewnątrz beczek wzrasta w ciągu dnia pod wpływem wysokiej temperatury i słońca i spada w nocy, gdy temperatura otoczenia jest niższa. Niekiedy ta cykliczna zmienność ciśnienia uszkadza uszczelki beczek i olej zaczyna absorbować wilgoć z powietrza. Nawet niewielka ilość wilgoci obniża właściwości izolacyjne oleju do tego stopnia, że wynik testu będzie negatywny.



By dać wyobrażenie, jak szybko olej może ulegać degradacji wystarczy wspomnieć, że po upływie mniej niż trzech tygodni po otwarciu beczki świeży olej nie przejdzie pozytywnie testu napięcia przebicia.

W przypadkach, gdy taki problem może mieć miejsce, dobrze jest najpierw sprawdzić poprawność działania instrumentu pomiarowego, co pozwoli szybko ustalić rzeczywisty stan rzeczy. Jednym ze sposobów jest użycie wskaźnika (miernika) napięcia do sprawdzenia, czy napięcie probiercze testera oleju jest prawidłowe. Alternatywnie można przeprowadzić test napięcia przebicia w powietrzu z maksymalnie szeroko ustawioną szczeliną międzyelektrodową. Jeśli instrument jest nowy albo został właśnie na nowo skalibrowany, uzyskaną wartość należy zanotować i można jej użyć w przyszłości jako wartość odniesienia do sprawdzania testera.

Należy wziąć pod uwagę, że napięcie przebicia w powietrzu może być różne w zależności od ciśnienia i wilgotności, tym niemniej ta metoda jest dobrym wskaźnikiem poprawności działania testera, jest szybka i nie wymaga dodatkowego sprzętu. Użyteczną informacją może być fakt, że starszy typ testera firmy Megger znany pod symbolem OTS AF2 typowo wykazywał napięcie przebicia powietrza na poziomie 37 kV, podczas gdy w nowszej serii instrumentów OTS AF uzyskuje się przeważnie wynik 19 kV.

14. Czy można sprawdzić działanie instrumentu pomiarowego porównując wyniki badania tej samej próbki wykonane dwoma instrumentami?

Tak, ale trzeba wziąć pod uwagę następujące możliwe problemy:

- Nawet jeśli można wykonać badanie tej samej próbki w tym samym naczyniu dwoma różnymi instrumentami pomiarowymi, uzyskany wynik może nie być identyczny. Wynika to z faktu, że wyładowania łukowe w oleju wytwarzają produkty uboczne (cząsteczki węgla) i po serii takich przebiegów produkty te zawieszone są gdzieś w masie oleju i mogą wpłynąć na wyniki kolejnych testów.
- Zmiany temperatury próbki oleju powodują również zmianę wyników pomiarów.
- Podczas przelewania próbki oleju z jednego naczynia do drugiego zazwyczaj tworzą się pęcherzyki powietrza, co może skutkować zwiększeniem zawartości wilgoci w oleju i w konsekwencji niższymi wartościami napięcia przebicia w porównaniu z pierwszym badaniem.
- Jeśli upływ czasu pomiędzy pierwszym badaniem i drugim (porównawczym) jest zbyt duży, próbka może zaabsorbować wilgoć z powietrza nawet wtedy, gdy naczynie jest przykryte, ponieważ pokrywa naczynia pomiarowego nie jest tak szczelna, jak korek czy nakrętka butelki, do której pobrano próbkę.
- Dwie próbki pobrane z tej samej beczki są w rzeczywistości dwiema różnymi próbkami oleju. Jeśli olej jest zanieczyszczony cząstkami stałymi, próbki te mogą wykazywać różne wartości napięcia przebicia.
- Olej o nieznanej zawartości zanieczyszczeń może charakteryzować się dużymi rozbieżnościami w wynikach pomiaru napięcia przebicia, jako że cząstki stałe lub wilgoć mogą przemieszczać się w masie oleju powodując różnice w wynikach pomiaru. Może to bardzo łatwo prowadzić do wyciągnięcia błędnych wniosków o prawidłowości działania porównywanych instrumentów pomiarowych. Między innymi ze względu na możliwe rozbieżności, znormalizowana sekwencja pomiarowa składa się z pięciu lub sześciu pojedynczych pomiarów napięcia przebicia pojedynczej próbki.
- Niezwykle istotnym warunkiem wiarygodności pomiaru i porównywania wyników jest zachowanie czystości podczas badań.

15. W jaki sposób instrument pomiarowy wykrywa przebiecie oleju?

Skuteczne wykrywanie przebiecia oleju jest rzeczą niezwykle istotną, ponieważ decyduje o zdolności instrumentu do prawidłowego rejestrowania tych zdarzeń i zmniejsza ilość energii rozpraszanej w oleju przez wielokrotne wytwarzanie łuku elektrycznego. Z tego względu normy badania oleju określają precyzyjnie warunki, które muszą być spełnione, by obserwowane zdarzenie zostało zarejestrowane przez instrument jako przebiecie elektryczne oleju. Jednakże poszczególne normy definiują te warunki w różny sposób, jak w tabeli poniżej:

Normy		ASTM D1816	ASTM D877		IEC 60156
			Procedura A	Procedura B	
Przebiecie	Definicja	Gdy napięcie wyjściowe spadnie poniżej 100 V	Gdy napięcie wyjściowe spadnie poniżej 100	Gdy napięcie wyjściowe spadnie poniżej 100	Gdy prąd wyjściowy utrzymuje się na poziomie 4 mA lub wyższym przez co najmniej 5 ms
Wyłączanie napięcia probierczego po wystąpieniu przebiecia	Oleje typowe (np. mineralne)	Nie określono	Nie określono	Nie określono	<10 ms
	Olej silikonowy	Nie określono	Nie określono	Nie określono	<1 ms

Współczesne urządzenia pomiarowe wykrywają przebiecie bezpośrednio na wyjściu instrumentu, co zwiększa dokładność detekcji. Niewiele instrumentów jednak potrafi wykrywać przebiecie w sposób spełniający zarówno normy IEC i ASTM. Instrumenty z nowej serii Megger OTS są pod tym względem wyjątkowe,

ponieważ wykrywają przebicie zarówno na podstawie wzrostu prądu pomiarowego jak też spadku napięcia probierczego.

Warto zauważyć, że niektóre starsze instrumenty pomiarowe nie potrafią automatycznie wykryć przebicia oleju. Norma IEC 60156 określa, że obwód wytwarzający napięcie probiercze można otworzyć ręcznie po zaobserwowaniu wyładowania iskrowego pomiędzy elektrodami (wzrokowo lub słuchowo). To stwierdzenie znajduje się w treści normy specjalnie po to, by uwzględnić starsze instrumenty, w których kryterium wystąpienia przebicia i zakończenia testu jest właśnie zaobserwowanie przez operatora przeskoku iskrowego pomiędzy elektrodami.

15.1 Badanie oleju silikonowego

Olej silikonowy charakteryzuje się znacznie wyższą lepkością niż olej mineralny i większą skłonnością do wytwarzania przez wyładowania łukowe drobin węglowych. Z tych względów normy określają szczególne warunki badania olejów silikonowych, a mianowicie:

Norma **IEC 60156** przewiduje skrócenie czasu wyłączenia napięcia probierczego po wykryciu przebicia ze standardowych 10 ms do 1 ms dla olejów silikonowych.

Normy **ASTM D877 i D1816** stanowią, że w badaniu oleju silikonowego energia wyładowana w przebiegu łukowym nie powinna być wyższa niż 20 mJ.

16. Wybór zestawu pomiarowego do badania napięcia przebicia oleju elektroizolacyjnego

Można by przyjąć, że skoro wszystkie testery wytrzymałości elektrycznej olejów muszą spełniać te same surowe wymagania określone przez normy, nie powinny zasadniczo różnić się między sobą. Takie postawienie sprawy jest jednak dalekie od prawdy i trochę wysiłku włożonego w wybór najlepszego instrumentu zwróci się wielokrotnie poprzez oszczędność czasu i kosztów w okresie eksploatacji urządzenia.

W pierwszym rzędzie użytkownik musi podjąć decyzję, czy zestaw pomiarowy będzie używany w warunkach laboratoryjnych, czy w terenie, ponieważ istnieją różnice między testerami przeznaczonymi dla obu tych środowisk.

16.1 Badania w terenie a badania laboratoryjne

Względne zalety badań laboratoryjnych i terenowych od dawna są przedmiotem dyskusji inżynierskich i debata ta nadal się toczy. Podstawową kwestią jest problem wpływu zanieczyszczeń na wynik pomiaru. Niektórzy twierdzą, że jest to argument przemawiający za badaniem oleju w terenie, ponieważ jeśli próbka ma być pobrana do butelki a butelka przesłana do laboratorium, wówczas zawsze pojawiają się wątpliwości, czy butelka została odpowiednio wyczyszczona przed użyciem i wystarczająco szczelnie zamknięta, by uchronić próbkę przed zanieczyszczeniem w transporcie.

Inni natomiast wskazują, że badania w miejscu pracy urządzeń nie gwarantują, że próbka nie zostanie zanieczyszczona, ponieważ najbardziej prawdopodobnym źródłem zanieczyszczenia próbki jest samo jej pobieranie. Mogą też argumentować, że próbka przesłana do laboratorium będzie badana przez wykwalifikowany personel, który wykona pomiar ściśle według ustalonych procedur, gwarantując uzyskanie dokładnych i wiarygodnych wyników. W przeciwieństwie do tego, badania w terenie wykonane są w warunkach dalekich od ideału i pod presją czasu, co może prowadzić do błędów.

Pomiary w terenie mają niewątpliwą zaletę natychmiastowości. Jeśli uzyskano podejrzaną wynik pomiaru, zazwyczaj możliwe jest bezzwłoczne powtórzenie badania, a jeśli problem się potwierdzi, badany transformator można – przynajmniej w teorii – natychmiast wyłączyć z ruchu.

Nie ma zatem jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, które z tych dwóch podejść do kwestii badania oleju jest lepsze. Jest to sprawa wyboru użytkownika, który podejmuje decyzję na podstawie konkretnych przesłanek. Firma Megger zawsze służy w tej kwestii pomocą, a będąc producentem zarówno sprzętu laboratoryjnego i terenowego, gwarantuje bezstronność porady.

16.2 Ogólne przesłanki wyboru instrumentu pomiarowego

Biorąc pod uwagę fakt, że instrument pomiarowy jest inwestycją długoterminową, ważne jest wybranie sprzętu, który będzie służył długo i nie zestarzeje się technologicznie. W tym rozdziale rozważane są przesłanki wyboru zestawu pomiarowego odnoszące się do wszystkich typów instrumentów, podczas gdy rozdziały 16.3 i 16.4 zajmują się kryteriami wyboru odpowiednio instrumentów laboratoryjnych i przenośnych.

Rozwiązanie techniczne zastosowane w instrumentach pomiarowych nowej serii Megger OTS uwzględniają wszystkie zagadnienia rozważane w tych rozdziałach.

16.2.1 Czystość

- **Ciecze elektroizolacyjne są niebezpieczne.** Należy unikać kontaktu skóry z tymi substancjami. Instrumenty pomiarowe powinny być tak skonstruowane, by minimalizować ryzyko rozlania cieczy i ułatwić sprawne usunięcie problemu, jeśli wystąpi.



- **Łatwość czyszczenia naczyń pomiarowych.** Naczynie pomiarowe powinny być pozbawione kątów, ponieważ w tych miejscach gromadzi się brud i trudno go stamtąd usunąć.



- **Odporność chemiczna.** Naczynie pomiarowe powinny być wykonane z materiału wysoko odpornego na substancje chemiczne. Szkło nie jest najlepszym rozwiązaniem ze względu na kruchość. Naczynie wytłoczone z właściwie skomponowanego materiału nie będzie miało wpływu na wynik pomiaru. Należy zauważyć, że nawet naczynia szklane posiadają wytłaczane elementy wsporcze dla elektrod, które mają kontakt z próbką. Naczynia pomiarowe nowej serii testerów Megger OTS wykonane są z materiału, który jest praktycznie materiałem nietłukącym, szeroko stosowanym w branży chemicznej ze względu na doskonałą odporność chemiczną. Naczynia zostały gruntownie przetestowane, by potwierdzić ich odporność na substancje, które mogą występować w procesie badania oleju elektroizolacyjnego.

Łatwość wylewania próbki z naczyń. Należy wybierać takie naczynia, które mają dzióbek ułatwiający wylewanie cieczy.



- **Badanie według ASTM D1816.** Należy pamiętać, że ta metoda wymaga mieszania próbki mieszadłem z napędem elektrycznym a także wymaga, by pokrywa naczynia posiadała przegrodę chroniącą próbkę oleju przed kontaktem z powietrzem. W przypadku wielu instrumentów pomiarowych przegroda pokrywy dociska próbkę w naczyniu przemieszczając olej, co powoduje rozlewanie cieczy. Najlepiej wybrać naczynie, które nie ma tego problemu.

Pokrywa naczynia z napędem mieszadła w testerach nowej serii Megger OTS posiada wyjątkowo przemyślaną konstrukcję. Jeśli naczynie jest wypełnione olejem równo z linią zaznaczoną na ścianie, po nałożeniu pokrywy z mieszadłem płaska przezroczysta przegroda pod pokrywą tylko dotyka powierzchni, nie przemieszczając oleju. Olej nie jest rozlewany i nie trzeba sprzątać.



- **Łatwość czyszczenia komory pomiarowej.** Podobnie jak naczynie pomiarowe, wnętrze komory pomiarowej nie powinno mieć kątów, w których mogłyby gromadzić się zanieczyszczenia i brud.



- **Usuwanie oleju rozlanego w komorze pomiarowej.** Trudno całkowicie uniknąć rozlania oleju w komorze pomiarowej. W przypadku wielu instrumentów jedynym sposobem usunięcia rozlanego oleju jest zebranie oleju ściereczką albo chusteczkami higienicznymi, co jest niewygodne i czasochłonne. Można sobie ułatwić życie wybierając instrument posiadający komorę pomiarową wyposażoną w prosty mechanizm szybkiego odprowadzenia rozlanego oleju.



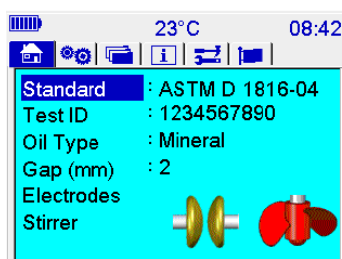
16.2.2 Łatwość obsługi

Instrument pomiarowy, którego obsługa jest trudna irytuje, marnuje czas użytkownika i zmniejsza produktywność. Stąd warto wybrać urządzenie posiadające jednoznaczny, prosty w obsłudze interfejs użytkownika. Obsługa instrumentu pomiarowego powinna być intuicyjna i niewymagająca ciągłego sprawdzania procedur w instrukcji. Jest to szczególnie ważne, jeśli instrument pomiarowy jest wypożyczany innym użytkownikom, albo jest używany przez osoby, które nie wykonują tego typu pomiarów regularnie. Poniżej przedstawione są kryteria wyboru warte rozważenia.

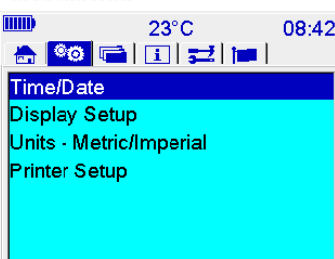
- **Interfejs użytkownika.** Użytkownik powinien łatwo odnaleźć i uzyskać dostęp do podstawowych funkcji urządzenia, takich jak wybór metody pomiaru, konfiguracja sekwencji pomiarowej, funkcje pamięci i ustawienia instrumentu, na przykład wybór języka interfejsu.

Interfejs użytkownika urządzeń nowej serii Megger OTS AF posiada czytelny i łatwy do opanowania system menu, z prostą nawigacją przyciskami funkcyjnymi. Interfejs składa się z sześciu podstawowych okien otwieranych poprzez wybór zakładki, jak na rysunku poniżej. Nawigację pomiędzy zakładkami wykonuje się przyciskami strzałek na klawiaturze.

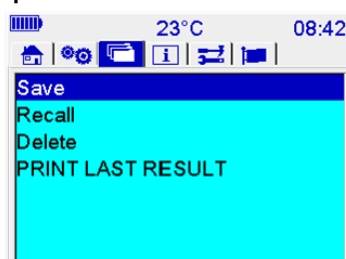
Ekran podstawowy - konfiguracja pomiaru



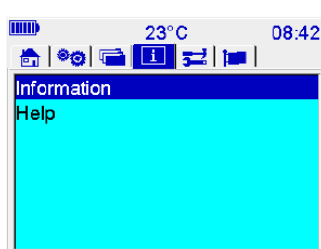
Ustawienia parametrów instrumentu



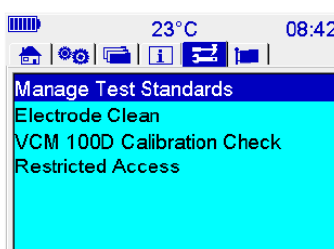
Funkcje pamięci i zarządzania plikami



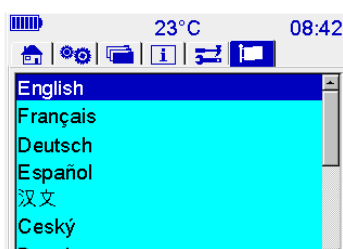
Informacje - pomoc ekranowa



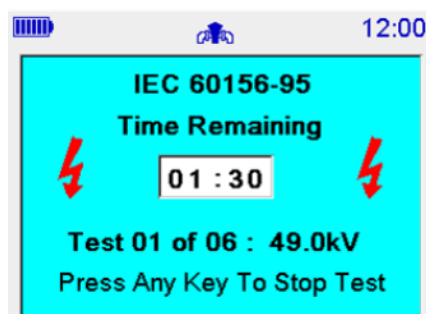
Narzędzia - funkcje dodatkowe



Wybór języka interfejsu



- **Wyświetlacz.** Wyświetlacz instrumentu pomiarowego powinien być jasny i czytelny, najlepiej kolorowy. Wyświetlacz jest oknem, przez które użytkownik obserwuje działanie instrumentu – im większy i czytelniejszy, tym lepiej.
- **Dostęp do komory pomiarowej.** Wygodny dostęp do komory pomiarowej ułatwia obsługę i czyszczenie instrumentu. Głębokie i ciemne komory są złym rozwiązaniem, nie tylko dlatego, że utrudniają obserwację procesów zachodzących w komorze pomiarowej, ale także ze względu na trudność zauważenia brudu wewnątrz komory. Większość użytkowników wybiera urządzenia z najlepszym możliwym dostępem do komory pomiarowej.
- **Automatyzacja pomiarów.** Większość współczesnych instrumentów pomiarowych uwzględnia możliwość wykonania testów automatycznie i przeprowadza procedurę pomiarową zgodnie z metodą określoną w wybranej normie bez interwencji albo z niewielką interwencją użytkownika. Niskokosztowe urządzenia z wyłącznie ręczną obsługą są nadal dostępne na rynku, należy jednak starannie rozważyć, czy są one właściwym rozwiązaniem dla przewidywanego sposobu użytkowania. Prawidłowe przeprowadzenie pomiarów z całkowicie ręczną obsługą wymaga dużej wiedzy i doświadczenia.



16.2.3 Koszty eksploatacji

- **Dodatkowe i wymienne naczynia pomiarowe.** Jak wspomniano wcześniej, norma IEC 60156 zaleca używanie osobnych naczyń dla różnych typów cieczy elektroizolacyjnych. Laboratoria zazwyczaj stosują się do tego zalecenia i posiadają sześć lub więcej naczyń pomiarowych. Przed zakupem zestawu testowego ważne jest więc sprawdzenie ceny zapasowych naczyń pomiarowych. Niektóre naczynia mogą być bardzo drogie, zwiększając znacząco koszt eksploatacji.
- **Możliwość rozbicia naczynia pomiarowego.** Poprzednie uwagi dotyczące ceny naczyń pomiarowych dotyczą również problemu rozbitych naczyń. Należy zauważyć, że naczynia wytłaczane z materiału nietłukącego są znacznie mniej kruche niż naczynia szklane. Naczynia wytłoczone z odpowiednio skomponowanego materiału mają zalety naczyń szklanych z dodatkowymi, korzystnymi cechami, a jednocześnie są tańsze.



16.2.4 Pomiar temperatury próbki

- Instrument pomiarowy z wbudowaną funkcją automatycznego pomiaru temperatury próbki oleju ma istotne zalety. W takich urządzeniach czujnik temperatury ma stały kontakt z cienkim fragmentem dna naczynia pomiarowego. Inaczej niż to ma miejsce w przypadku konwencjonalnego termometru, czujnik nie ma bezpośredniego kontaktu z próbką, co eliminuje ryzyko jej zanieczyszczenia. Użytkownik mając możliwość obserwacji odczytu temperatury na bieżąco ma również mniejszą pokusę rozpoczęcia pomiaru przed ostygnięciem próbki do odpowiedniej temperatury. Ponadto nie występuje ryzyko złamania kruchego termometru.



Czujnik temperatury zamontowany w komorze pomiarowej testera nowej serii Megger OTS

16.2.5 Sprawdzanie napięcia probierczego

- **Sprawdzanie napięcia probierczego w okresie między kalibracjami instrumentu pomiarowego.** Wyniki pomiarów mogą być tylko tak dokładne, jak dokładna jest kontrola i pomiar napięcia probierczego przez instrument pomiarowy, stąd dobrą praktyką jest sprawdzanie działania urządzenia między kolejnymi rutynowymi kalibracjami. Nie dlatego, że instrumenty tracą z czasem dokładność, ale ze względu na fakt, że jeśli cokolwiek spowoduje pogorszenie skalibrowanych parametrów i nie zostanie to w porę zauważone, wiele pomiarów będzie trzeba powtórzyć ponosząc dodatkowe koszty.

- **Mierniki do sprawdzania napięcia probierczego.** Wielu producentów testerów oleju elektroizolacyjnego ma w swojej ofercie mierniki do sprawdzania napięcia probierczego, które można zamontować w instrumencie w miejsce naczynia pomiarowego. Użycie takiego miernika pozwala użytkownikowi porównać wartość napięcia wskazywaną na skali miernika z napięciem wskazywanym na wyświetlaczu instrumentu pomiarowego. Mierniki sprawdzające napięcie probiercze nie mają takiej dokładności, by wskazywane wartości można było uznać za wzorcowe, ale pozwalają wykryć odstępstwa napięcia probierczego od wartości skalibrowanych. Użytkownik powinien notować odczyty napięcia uzyskane miernikiem za każdym razem, gdy taki pomiar jest wykonywany. Pozwoli to na szybkie wykrycie rozbieżności. W przypadku ujawnienia poważnego odstępstwa od wartości skalibrowanej, takiego instrumentu pomiarowego nie powinno się używać do czasu ponownej kalibracji urządzenia u producenta.

Miernik do sprawdzania napięcia probierczego VCM100D firmy Megger można użyć z każdym modelem z nowej serii OTS, przenośnym lub laboratoryjnym. Ponieważ miernik napięcia nie jest wypełniony olejem, nie ma niebezpieczeństwa wycieku. Miernik posiada jasny, łatwy do odczytu cyfrowy wyświetlacz LED.



16.2.6 Zmiany w normach pomiarowych

- Wybierając instrument pomiarowy trzeba mieć pewność, że można go dostosować do ewentualnych przyszłych zmian w istniejących normach pomiarowych lub do nowych norm. Instalacja sekwencji pomiarowych opartych na nowych lub zaktualizowanych normach powinna być łatwa. Warto sprawdzić, czy w oferowanym nam instrumencie istnieje możliwość programowania sekwencji pomiarowych przez użytkownika.

Testery serii Megger OTS pozwalają na aktualizację fabrycznie zainstalowanych metod pomiarowych i dodawanie metod zgodnych z nowo wydanymi normami. Aktualizacji dokonuje się korzystając ze standardowej pamięci przenośnej USB. Zaktualizowane i nowe metody pomiarowe można pobrać ze strony internetowej firmy Megger.



16.2.7 Wiarygodność i dokładność wyników pomiarów

Uwaga: można wyodrębnić pięć kluczowych czynników, które mają wpływ na zdolność instrumentu pomiarowego do zapewnienia dokładnych wyników pomiarów. Są to: zachowanie czystości, metoda detekcji przebiccia, szybkość, z jaką instrument wyłącza napięcie probiercze po wystąpieniu przebiccia, dokładność pomiaru napięcia i dokładność mechanizmu regulacji szerokości szczeliny międzyelektrodowej. Kwestie czystości i sprawdzania dokładności napięcia probierczego zostały już przedyskutowane. Pozostałe kwestie omówione są poniżej.

- **Detekcja przebiecia.** Wybierając zestaw pomiarowy należy sprawdzić, czy użyta metoda detekcji przebiecia jest zgodna z normą (lub normami), która będzie stosowana. Zestawy serii Megger OTS wykrywają przebiecie zarówno na podstawie spadku napięcia probierczego jak też wzrostu i utrzymywania się prądu na określonym poziomie przez zdefiniowany okres czasu. Metody detekcji przebiecia obsługiwane w miernikach Megger OTS są zatem zgodne z normami ASTM i IEC.
- **Czas wyłączenia napięcia probierczego.** Im szybciej po wystąpieniu przebiecia wyłączone jest napięcie probiercze, tym lepiej. Wynika to z faktu, że wyładowanie łukowe w oleju, które trwa do momentu wyłączenia napięcia, powoduje lokalną dekompozycję oleju tworząc produkty uboczne, które mogą wpływać na wyniki kolejnych pomiarów tej samej próbki. Z tego względu norma IEC 60156 wymaga, by napięcie probiercze było wyłączane w czasie krótszym niż 10 ms dla oleju mineralnego i 1 ms dla oleju silikonowego. Normy ASTM określają maksymalną energię wyładowania 20 mJ dla oleju silikonowego, co wymaga bardzo szybkiego wyłączenia napięcia. Czas wyłączenia napięcia probierczego w miernikach serii Megger OTS typowo wynosi 10 μ s, czyli 100 razy szybciej niż jest to wymagane do zminimalizowania dekompozycji oleju silikonowego.
- **Regulacja szerokości szczeliny międzyelektrodowej.** Dokładnie ustawiona szerokość szczeliny międzyelektrodowej jest niezwykle istotna dla uzyskania dokładnych wyników pomiaru. Jeśli szczelina jest zbyt szeroka, wyniki pomiaru będą zawyżone i odwrotnie, w przypadku zbyt wąskiej szczeliny wyniki będą zaniżone. Im łatwiej użytkownikowi wyregulować szerokość szczeliny, tym większe prawdopodobieństwo, że będzie ona ustawiona precyzyjnie.
- **Łatwość regulacji szczeliny międzyelektrodowej.** Najpopularniejszą metodą regulacji szerokości szczeliny międzyelektrodowej jest regulacja pokrętłem nastawczym. Takie rozwiązanie eliminuje konieczność użycia dodatkowych narzędzi i pozwala na dokładne ustawienie żądanej szerokości szczeliny.
- **Niepożądane przemieszczanie się elektrod.** Powszechnym problemem jest przemieszczanie się elektrod przy poruszaniu, przenoszeniu czy też czyszczeniu naczynia pomiarowego, co skutkuje zmianą ustawienia szerokości szczeliny międzyelektrodowej. Szczególnie dotyczy to instrumentów, w których szerokość szczeliny regulowana jest pokrętłami nastawczymi, które można przypadkowo poruszyć. Ponadto luzy w mechanizmie regulacji mogą powodować, że ruch elektrod nie jest konsekwentnie jednakowy za każdym razem, co utrudnia ich precyzyjne ustawienie i korzystanie z zaznaczonej podziałki. Z tego powodu wielu użytkowników testerów oleju reguluje szerokość szczeliny codziennie, a nawet przed każdym pomiarem. Niektóre starsze urządzenia posiadają zacisk śrubowy blokujący ruch elektrod, który jest skuteczny, ale trudny do zauważenia i użycia.

Nowe testery OTS firmy Megger wyposażone są w wygodny mechanizm regulacji szerokości szczeliny międzyelektrodowej wykorzystujący pokrętła nastawcze. W mechanizmie wyeliminowano luzy poprzez wstępne naprężenie zespołu elektrod oraz zastosowano prosty mechanizm blokujący, który nie pozwala na przypadkowe przemieszczenie się elektrod po precyzyjnym ustawieniu szerokości szczeliny.

Precyzyjna regulacja szerokości szczeliny międzyelektrodowej za pomocą pokręteł nastawczych



Blokowanie nastawionej szerokości szczeliny za pomocą unikalnego mechanizmu



16.3 Kryteria wyboru instrumentów laboratoryjnych

Użytkownicy zestawów tetowych do badania olejów elektroizolacyjnych pracujący w laboratorium priorytetowo traktują określone cechy urządzeń pomiarowych, które różnią zestawy laboratoryjne od przenośnych. W środowisku laboratoryjnym na przykład ciężar urządzenia zazwyczaj nie ma znaczenia, natomiast zdecydowanie ważna jest zdolność instrumentu pomiarowego do przeprowadzania dużej liczby testów następujących po sobie krótkim czasie. Z tego względu firma Megger oferuje osobne rodziny testerów przeznaczonych odpowiednio do badań laboratoryjnych i terenowych. W tym rozdziale omówione są cechy urządzeń laboratoryjnych.

Dostęp do komory pomiarowej

Jeśli wykonywana jest duża liczba badań, łatwy dostęp do komory pomiarowej jest niezbędny. Dlatego też instrumenty typu laboratoryjnego serii Megger OTS AF posiadają komorę pomiarową dużych rozmiarów, która jest wygodna w użyciu i łatwa do czyszczenia.

**Komora pomiarowa
urządzenia serii OTS PB**



**Komora pomiarowa
urządzenia serii OTS AF**

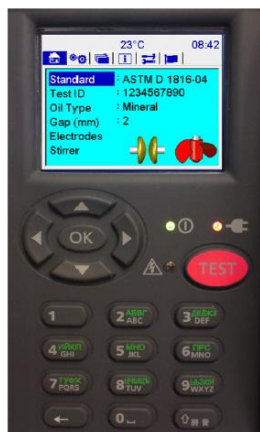


Rejestrowanie wyników pomiarów

Rejestrowanie wyników pomiarów i tworzenie protokołów z badań należą do najbardziej czasochłonných czynności w laboratorium. Szybkość i łatwość wprowadzania danych jest zatem jednym z kluczowych kryteriów wyboru instrumentu pomiarowego. Sprawą indywidualnych preferencji jest kwestia, czy dane powinny być wprowadzane bezpośrednio do komputera, czy też do pamięci instrumentu pomiarowego, ale w każdym przypadku czynność ta powinna być szybka i nieskomplikowana. Jeśli w laboratorium używa się systemu zarządzania instrumentami pomiarowymi (LIMS), ważne jest sprawdzenie, czy oferowany zestaw pomiarowy generuje dane w formacie kompatybilnym z używanym systemem zarządzania.

Instrumenty laboratoryjne serii Megger OTS AF posiadają klawiaturę specjalnie zaprojektowaną do szybkiego wprowadzania danych. Wszystkie instrumenty rodziny OTS umożliwiają przenoszenie danych z pamięci urządzenia do komputera PC za pośrednictwem standardowej pamięci przenośnej USB (typu pendrive). Dodatkowo wraz z testerem OTS użytkownik otrzymuje bezpłatne oprogramowanie Megger PowerDB w wersji Lite, które pozwala tworzyć raporty w sposób szybki i łatwy a także eksportuje dane w formatach Excel i CSV. Wszystkie instrumenty OTS są kompatybilne z pełną wersją oprogramowania PowerDB.

Klawiatura testera serii OTS AF



Skanowanie kodów kreskowych

Możliwość skanowania kodów kreskowych jest funkcją, którą warto rozważyć przy wyborze zestawu testowego do badania oleju, jako że umożliwia szybkie i bezbłędne wprowadzanie numerów lub symboli ewidencyjnych próbek.

Instrumenty serii OTS AF współpracują z opcjonalnym skanerem kodów kreskowych.



16.4 Kryteria wyboru instrumentów przenośnych

Dla użytkowników urządzeń przenośnych ważne są cechy fizyczne i funkcjonalne testerów oleju odróżniające tego typu instrumenty od laboratoryjnych w kilku istotnych obszarach. Główne elementy, na które należy zwrócić uwagę to:

16.4.1 Ciężar urządzenia

Urządzenia przenośne zazwyczaj przenoszone są z samochodu pomiarowego na miejsce pracy transformatora. Masa urządzenia ma więc w tym przypadku istotne znaczenie, szczególnie jeśli pomiary wykonuje tylko jedna osoba. W kraju użytkownika lub w przedsiębiorstwie, w którym jest zatrudniony mogą obowiązywać przepisy określające maksymalny ciężar, jaki może przenosić jedna osoba. Często jest to 25 kilogramów. Jednak z punktu widzenia użytkownika, im lżejszy instrument pomiarowy, tym lepiej.

Firma Megger dołożyła wszelkich starań, by zminimalizować ciężar urządzeń najnowszej serii testerów napięcia przebicia OTS. Masa tych urządzeń rozpoczyna się od zaledwie 15,4 kg dla modelu OTS60PB i mieści się swobodnie w granicach zalecanych przez wytyczne określone w większości krajowych przepisów BHP.

16.4.2 Łatwość przenoszenia

Istotną cechą urządzeń powinna być łatwość ich przenoszenia. Uchwyty na bokach instrumentu są najwygodniejszym rozwiązaniem, ponieważ zapewniają bardziej naturalną pozycję człowieka przy unoszeniu przedmiotu niż jeden uchwyt na górze.



16.4.3 Wytrzymałość mechaniczna

Uszkodzenie instrumentu skutkuje wstrzymaniem badań do czasu naprawy. Urządzenia przenośne są szczególnie narażone na uszkodzenia mechaniczne w czasie transportu i użytkowania, stąd muszą być odporne na trudne warunki pracy. W czasie transportu w samochodzie mogą na urządzenie spadać różne przedmioty, stąd warto rozważyć wybór takiego instrumentu pomiarowego, który został zaprojektowany z myślą o podobnych zdarzeniach.

Testery nowej serii Megger OTS mają zaokrągloną górną część obudowy, która amortyzuje uderzenia spadających przedmiotów. Ponadto pokrywa komory pomiarowej i szybka ochronna wyświetlacza wykonane są z mocnego, odpornego na uderzenia, przezroczystego tworzywa poliwęglanowego. Pokrywa komory pomiarowej jest zatem nie tylko wytrzymała mechanicznie, ale także pozwala bez przeszkód obserwować procesy zachodzące wewnątrz komory podczas pomiarów.



Zdarza się, że urządzenia pomiarowe spadają z wysokości. Najczęstszym rodzajem uszkodzenia testera upuszczonego na ziemię z niedużej wysokości są zgniecione narożniki i/lub wykrzywiona rama nośna urządzenia. Testery napięcia przebicia olejów elektroizolacyjnych posiadają wewnątrz ciężki transformator, który wymaga odpowiedniego wsparcia. Krótkie spojrzenie na spód urządzenia da nam w miarę dobry pogląd, czy konstrukcja instrumentu pomiarowego cechuje się odpowiednią wytrzymałością strukturalną. W szczególności należy sprawdzić narożniki pod względem odporności na uderzenia. Warto też wziąć pod uwagę fakt, że lżejsze instrumenty pomiarowe są mniej narażone na tego typu uszkodzenia.

Testery Megger OTS posiadają gumowe stopki i chronione narożniki.



16.4.4 Przenoszenie danych z pamięci

Przy wyborze instrumentu pomiarowego warto rozważyć wygodę przenoszenia wyników pomiarów z pamięci instrumentu pomiarowego do komputera PC. Lepszym rozwiązaniem niż bezpośrednie łączenie urządzenia pomiarowego z komputerem jest możliwość przenoszenia danych za pośrednictwem pamięci USB typu pendrive. Ta metoda transferu danych jest najwygodniejsza, jako że nie wymaga każdorazowego transportowania testera do biura w celu pobrania danych pomiarowych.

We wszystkich testerach nowej serii Megger OTS dane przenoszone są z pamięci urządzenia pomiarowego do komputera za pośrednictwem pamięci flash USB, czyli popularnego pendriva. Jest to sposób prosty i wygodny.



16.4.5 Źródła zasilania

Wiele przenośnych instrumentów pomiarowych zasilanych jest wyłącznie z wewnętrznego akumulatora. Biorąc pod uwagę fakt, że ładowanie akumulatora do pełnej pojemności trwa zazwyczaj cztery godziny, zasilanie urządzenia tylko z akumulatora może być niewygodne. Nierzadko zdarzają się sytuacje, w których tester potrzebny jest pilnie do wykonania zleconych pomiarów, a tu okazuje się, że akumulator jest rozładowany. Może też wystąpić konieczność wykonania dużej liczby pomiarów w ciągu krótkiego czasu, w którym badana aparatura jest wyłączona z ruchu. Lepiej jest więc wybrać taki instrument pomiarowy, który może być zasilany zarówno z wewnętrznego akumulatora i bezpośrednio z sieci elektrycznej.

Testery z nowej serii urządzeń przenośnych Megger OTS PB mogą być zasilane alternatywnie z sieci elektrycznej lub wewnętrznego akumulatora. Akumulator można ładować zarówno z sieci elektrycznej, jak też – korzystając z ładowarki 12 V dostarczanej w standardzie – ze źródła napięcia stałego 12 V w samochodzie.

		Nowa seria testerów Megger OTS					Wcześniej szy model
		Urządzenia typu laboratoryjnego			Urządzenia przenośne		
Cecha ogólna	Cecha szczegółowa	OTS60AF	OTS80AF	OTS100AF	OTS60PB	OTS80PB	OTS60SX
Pomiar napięcia przebicia	Maks. napięcie probiercze	60 kV	80 kV	100 kV	60 kV	80 kV	60 kV
	Bezpośredni pomiar napięcia na wyjściu	■	■	■	■	■	
	Szybkość narastania napięcia	0,1 – 5 kV/s	0,1 – 5 kV/s	0,1 – 5 kV/s	0,1 – 5 kV/s	0,1 – 5 kV/s	0,5; 2; 3 kV/s
	Czas wyłączenia po wykryciu przebicia	< 10 µs	< 10 µs	< 10 µs	< 10 µs	< 10 µs	nie określ.
	Automatyczna detekcja przebicia na podstawie stanu wyjścia	■	■	■	■	■	
	Detekcja przebicia na podstawie wartości napięcia (ASTM) i prądu (IEC)	■	■	■	■	■	
	Dokładność pomiaru napięcia ± 1 kV lub lepsza	■	■	■	■	■	■
	Dokładność pomiaru napięcia ± 0,1 kV lub lepsza	■	■	■	■	■	■
Pomiar temperatury oleju	Wbudowany czujnik temperatury	■	■	■	■	■	
Naczynie pomiarowe	Wytłaczane, z nietłukącego tworzywa	■	■	■	■	■	■
	Mieszadło magnetyczne	■	■	■	■	■	
	Mieszadło z napędem elektrycznym	Opcja*	Opcja*	Opcja*	Opcja*	Opcja*	Opcja
	Automatyczne podłączenie zasilania dla mieszadła elektrycznego	■	■	■	■	■	
	Dziobek ułatwiający wylewanie	■	■	■	■	■	■
Komora pomiarowa	Odpyływ rozlanego oleju	■	■	■	■	■	
Regulacja szerokości szczeliny międzyelektr.	Regulacja mikrometryczna pokrętelem nastawczym	■	■	■	■	■	
	Ustawienie szczeliny blokowane	■	■	■	■	■	
Zasilanie	Z sieci elektrycznej	■	■	■	■	■	■
	Akumulator NiMH						
	Czas pracy na akumul. NiMH						
	Akumulator kwasowo-ołowiowy				Opcja*	Opcja*	
	Zasilanie ze źródła 12 VDC w samochodzie				10 godz.	10 godz.	
Interfejs użytkownika	Wielojęzyczny					Opcja*	
	Wprowadzanie opisów	■	■	■	■	■	
	Klawiatura wieloprzyciskowa	■	■	■			
	Podświetlenie	■	■	■	■	■	LED
	Wyświetlacz kolorowy TFT	■	■	■	■	■	
Automatyczne sekwencje pomiarowe	ASTM	■	■	■	■	■	Ręcznie
	IEC i pochodne	■	■	■	■	■	Ręcznie
	Programowane przez użytkownika	■	■	■	■	■	Ręcznie
Typy badanych olejów	Uwzględnia oleje silikonowe	■	■	■	■	■	
Zarządzanie wynikami pomiarów	Zapis wyników w wewnętrznej pamięci	■	■	■	■	■	
	Przenoszenie wyników do pamięci zewnętrznej USB	■	■	■	■	■	
	Oprogramowanie PowerDB Lite	■	■	■	■	■	
Inne dane	Ustawianie daty i godziny w instrumencie pomiarowym	■	■	■	■	■	
Drukarka	Wbudowana	Opcja*	Opcja*	Opcja*	Opcja*	Opcja*	
	Zewnętrzna	Opcja (niezależna od konfiguracji)	Opcja (niezależna od konfiguracji)	Opcja (niezależna od konfiguracji)	Opcja (niezależna od konfiguracji)	Opcja (niezależna od konfiguracji)	

* konfiguracja określana przy zamówieniu – sprzęt wyposażany zgodnie z zamówioną konfiguracją

		Nowa seria testerów Megger OTS					Wcześniej szy model
		Urządzenia typu laboratoryjnego			Urządzenia przenośne		
Cecha ogólna	Cecha szczegółowa	OTS60AF	OTS80AF	OTS100AF	OTS60PB	OTS80PB	OTS60SX
Parametry środowiskowe	Temperatura robocza	0 do +50°C	0 do +50°C	0 do +50°C	0 do +50°C	0 do +50°C	0 do +40°C
	Temperatura przechowywania	-30 do +65°C	-30 do +65°C	-30 do +65°C	-30 do +65°C	-30 do +65°C	-40 do +70°C
Parametry fizyczne (mm)	Wymiary (szer x wys x głęb)	580 x 420 x 290	580 x 420 x 290	580 x 420 x 290	520 x 340 x 290	520 x 380 x 290	400 x 330 x 290
	Masa bez naczynia pomiarowego (od min. do maks. w zależności od konfiguracji sprzętowej)	29,58 kg do 30,04 kg	29,58 kg do 30,04 kg	29,58 kg do 30,04 kg	15,38 kg do 17,94 kg	19,48 kg do 25,54 kg	17,5 kg
	Masa z naczyniem pomiarowym (od min. do maks. w zależności od konfiguracji sprzętowej)	30,38 kg do 31,14 kg	30,38 kg do 31,14 kg	30,38 kg do 31,14 kg	16,48 kg do 19,04 kg	20,58 kg do 26,54 kg	nie określono
Akcesoria na wyposażeniu	Futerał ochronny transportowy				Opcja*	Opcja*	Opcja
	Naczynie pomiarowe	■	■	■	■	■	Opcja
	Zestaw szczelinomierzy	■	■	■	■	■	■
	Komplet elektrod (IEC, ASTM albo uniwersalny)	wybór typu zestawu przy zamówieniu	wybór typu zestawu przy zamówieniu	wybór typu zestawu przy zamówieniu	wybór typu zestawu przy zamówieniu	wybór typu zestawu przy zamówieniu	Opcja
	Kabel zasilania z sieci elektrycznej z wtyczką	Użytkownik określa przy zamówieniu typ wtyczki	Użytkownik określa przy zamówieniu typ wtyczki	Użytkownik określa przy zamówieniu typ wtyczki	Użytkownik określa przy zamówieniu typ wtyczki	Użytkownik określa przy zamówieniu typ wtyczki	
	Walizka transportowa				Opcja (niezależna od konfiguracji)	Opcja (niezależna od konfiguracji)	
Możliwość zamówienia (dodatkowo) miernika do sprawdzania napięcia probierczego	Wyświetlacz cyfrowy	■	■	■	■	■	

* konfiguracja określana przy zamówieniu – sprzęt wyposażany zgodnie z zamówioną konfiguracją

Autorzy wyrażają nadzieję, że niniejszy przewodnik wyjaśnia większość kwestii związanych a pomiarem napięcia przebicia cieczy elektroizolacyjnych. Dodatkowe informacje można uzyskać od lokalnego dystrybutora sprzętu pomiarowego firmy Megger.

Informacje dotyczące najnowszej serii testerów serii Megger OTS AF i OTS PB znajdują się również na stronie internetowej www.megger.com

Firma Megger zastrzega sobie prawo zmiany specyfikacji technicznych produktów bez powiadomienia.

Ważna informacja

Celem niniejszego przewodnika technicznego jest wyjaśnienie ogólnych zasad pomiarów napięcia przebicia cieczy elektroizolacyjnych wraz z użytecznymi wskazówkami, a także prezentacja zalet i możliwości testerów serii Megger OTS.

Lektura tej publikacji nie zwalnia użytkownika od zapoznania się z treścią odnośnych norm i stosowania postanowień tych norm podczas wykonywania pomiarów wytrzymałości elektrycznej cieczy elektroizolacyjnych.