

Polski Rejestr Statków

PUBLIKACJA INFORMACYJNA NR 9/I

MATERIAŁY ELEKTROIZOLACYJNE

2007

Publikacje I (Informacyjne) wydawane przez Polski Rejestr Statków
mają charakter instrukcji lub wyjaśnień przydatnych przy stosowaniu
Przepisów PRS



GDAŃSK

Publikacja Informacyjna Nr 9/I – Materiały elektroizolacyjne – 2007 została zaakceptowana przez Dyrektora Okręgowego Polskiego Rejestru Statków S.A. w dniu 22 marca 2007 r.

© Copyright by Polski Rejestr Statków, 2007

PRS/HW, 05/2007

ISBN 978-83-60629-39-0

SPIS TREŚCI

	str.
1 Postanowienia ogólne	5
1.1 Zakres stosowania	5
1.2 Określenia.....	5
1.3 Warunki normalne	6
2 Materiały elektroizolacyjne	8
2.1 Tworzywa termoutwardzalne	6
2.1.1 Żywice melaminowo-formaldehydowe (MeF).....	7
2.1.2 Żywice fenolowo-formaldehydowe (FF)	7
2.1.3 Żywice epoksydowe (ŻE, ER)	7
2.2 Tworzywa termoplastyczne	8
2.2.1 Polichlorek winylu PVC/A (PCV oraz dawniej PCW)	8
2.2.2 Poliamid (PA).....	8
2.2.3 Polietylen (PE)	9
2.2.4 Polipropylen (PP).....	9
2.2.5 Poliwęglan (PW, PC)	9
2.2.6 Poliformaldehyd (POM, PF)	10
2.2.7 Tworzywa bezhalogenowe	10
2.3 Tworzywa chemoutwardzalne, kauczuki.....	10
2.3.1 Kauczuk silikonowy	10
2.3.2 Kauczuk butylowy.....	11
2.3.3 Kauczuk chloroprenowy	11
2.3.4 Kauczuk etylenopropylenodienowy (EPDM)	11
2.4 Lakiery elektroizolacyjne	11
2.4.1 Lakiery nasycające	12
2.4.2 Lakiery i emalie pokrywające	12
2.5 Dielektryki gazowe.....	12
2.5.1 Powietrze.....	13
2.5.2 Sześćfluorek siarki (SF ₆).....	13
2.6 Materiały warstwowe (laminaty).....	13
2.6.1 Mika i materiały mikowe	14
2.7 Ceratki, taśmy, folie	14
2.8 Materiały ceramiczne	14
2.9 Wybrane zastosowania materiałów elektroizolacyjnych.....	15
2.9.1 Głowice kablowe.....	15
2.9.2 Mufy kablowe	15
2.9.3 Maty dielektryczne oraz środki ochrony indywidualnej	15

3	Właściwości materiałów elektroizolacyjnych i stawiane im wymagania	15
3.1	Podział właściwości materiałów	15
3.1.1	Właściwości dielektryczne	16
3.1.2	Własności mechaniczne	18
3.1.3	Własności cieplne.....	18
3.1.4	Własności fizyko-chemiczne.....	18
3.2	Przegląd właściwości materiałów elektroizolacyjnych	19
3.3	Klasy ciepłoodporności	21
3.4	Wymagania stawiane materiałom izolacyjnym	21
3.5	Materiały elektroizolacyjne kabli elektroenergetycznych	22
4	Próby materiałów elektroizolacyjnych	24
4.1	Próby nieniszczące	24
4.1.1	Pomiary rezystywności skrośnej i powierzchniowej.....	24
4.1.2	Pomiary przenikalności elektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych	26
4.2	Próby niszczące	29
4.2.1	Próby wytrzymałości elektrycznej	29
4.2.2	Próby odporności na prądy pełzające	32
4.2.3	Próby odporności na łuk elektryczny	37
4.2.4	Próby wytrzymałości na rozciąganie.....	39
4.2.5	Próby wytrzymałości na zginanie.....	42
4.2.6	Oznaczanie udarności metodą Charpy	44
4.2.7	Próba niepalności (Incombustibility test).....	47
4.2.8	Próba nierozprzestrzeniania płomienia (Flame-retardant test).....	48
4.2.9	Próba odporności na wilgotność (Moisture-resistance test)	49
4.2.10	Próby ciepłoodporności oraz starzenia.....	50
5	Załącznik	50
5.1	Powołania normatywne	50
5.2	Bibliografia.....	54

1 POSTANOWIENIA OGÓLNE

1.1 Zakres stosowania

Niniejsze przepisy definiują materiały elektroizolacyjne wchodzące w skład:

- kabli i przewodów,
- aparatów elektrycznych,
- transformatorów,
- maszyn elektrycznych,

przeznaczonych do zainstalowania na statkach morskich i przedstawiają warunki przeprowadzania prób tych materiałów.

Ogólnie, wszystkie urządzenia elektryczne instalowane na statkach powinny być zbudowane z (nierozprzestrzeniających płomienia i odpornych na wilgoć) materiałów trwałych, których jakość nie ulega pogorszeniu w atmosferze morskiej i temperaturach, na które mogą być narażone.

Odstępy (zarówno powierzchniowe, jak i powietrzne) między elementami o różnych potencjałach, a uziemioną obudową metalową, powinny być odpowiednie do napięcia roboczego z uwzględnieniem właściwości materiału elektroizolacyjnego i warunków pracy.

1.2 Określenia

Izolacja żyły – ma na celu odizolowanie poszczególnych żył przewodów między sobą, ochrony przewodów przed wpływami środowiska oraz ochrony otoczenia przed skutkami zetknięcia się z żyłami przewodów.

Kabel – przewód izolowany jedno- lub wielożyłowy otoczony wspólną powłoką. Kable służą do trwałego połączenia urządzeń zasilających i odbiorników.

Korozja naprężeniowa – pękanie naprężonego materiału pod wpływem środków powierzchniowo czynnych.

Materiał elektroizolacyjny – (EIM, *Electrical Insulating Material*) materiał w stanie skupienia stałym lub płynnym o nieznacznej przewodności lub występujący jako komponent izolatora, używany do odseparowania przewodzących części o zróżnicowanych potencjałach.

Megatest – pomiar stanu izolacji elektrycznych urządzeń okrętowych zainstalowanych na jednostce pływającej.

Napięcie probiercze – napięcie, przy którym, w warunkach określonych odpowiednią normą, badana izolacja nie powinna ulec uszkodzeniu.

Palność – zdolność materiału do podtrzymania ognia przy dostępie odpowiedniej ilości tlenu.

Powłoka ochronna kabla – zewnętrzna osłona kabla chroniąca przed przedostaniem się wilgoci lub innych substancji szkodliwie działających na izolację żył oraz przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Próbka – pobrany z odcinka próbnego wycinek materiału określonego kształtu i wymiarów, który poddaje się wymaganym badaniom.

Przewód – służy do przewodzenia prądu elektrycznego w liniach elektroenergetycznych i instalacjach elektrycznych; umożliwia połączenie odbiorników energii elektrycznej, przyrządów pomiarowych, kontrolnych, sygnalizacyjnych i innych ze źródłami zasilania.

Rezystywność powierzchniowa – (*Surface Resistivity*, oporność właściwa powierzchniowa) wyrażana w Ω , określa rezystancję kwadratu powierzchni dielektryka o boku 1 m. Jej wartość zależy od rodzaju powierzchni i od warunków środowiskowych.

Rezystywność skrośna – (*Volume Resistivity*, oporność właściwa skrośna) wyrażana w $\Omega\cdot m$, określa właściwości przewodzące wnętrza dielektryka. Jej wartość zależy od właściwości i rodzaju materiału.

Układ elektroizolacyjny – (*EIS, Electrical Insulating System*) struktura izolacyjna zawierająca jeden lub więcej materiałów elektroizolacyjnych (EIM) wraz ze związanymi z nią częściami przewodzącymi, stosowana w urządzeniu elektrycznym.

Wskaźnik szybkości płynięcia – (*MFI, Melt Flow Index*) ilość polietyleny w gramach, jaka wypłynęła z dyszy aparatu w ciągu 10 min, w warunkach normalnych.

Wskaźnik tlenowy – (*Oxygen Index*) określa procentową zawartość tlenu w powietrzu.

1.3 Warunki normalne

Jeżeli w niniejszej publikacji nie postanowiono inaczej, to jako normalne warunki atmosferyczne należy przyjąć następujące parametry:

temperatura:	$25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,
wilgotność względna:	$60\% \pm 30\%$,
ciśnienie atmosferyczne:	$960\text{ hPa} \pm 10\text{ hPa}$.

2 MATERIAŁY ELEKTROIZOLACYJNE

Poniżej opisano materiały najczęściej stosowane na izolację elektryczną. Wymienione materiały cechują się rezystywnością w warunkach normalnych większą lub równą $10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$.

2.1 Tworzywa termoutwardzalne

Tworzywa termoutwardzalne (duroplasty) poprzez nagrzewanie nabierają właściwości plastycznych, dzięki czemu można je formować w odpowiednie kształty, a następnie twardnieją, gdyż stają się bardziej usieciowane. W przeciwieństwie do termoplastów omówionych w 2.2, zachodzą w nich zmiany chemiczne, powodując trwałe, nieodwracalne utwardzenie materiału.

Duroplasty stanowią grupę materiałów mających bardzo szerokie zastosowanie zwłaszcza w aparatach elektrycznych i osprzęcie instalacyjnym, głównie dzięki swej odporności cieplnej i trudnozapalności.

2.1.1 Żywic melaminowo-formaldehdowe (MeF)

Żywic te obecnie są rzadko stosowane. W stanie utwardzonym są trudno zapalne, a tworzywa na ich osnowie z napełniaczem nieorganicznym można uważać za niepalne. Są odporne na działanie łuku i wyładowania powierzchniowe. Cechują się dobrą odpornością cieplną i na działanie wody, zwłaszcza gorącej; właściwości ich nie ulegają zmianie nawet po kilkunastogodzinnym pozostawieniu we wrzącej wodzie. Najczęściej stosowane są w połączeniu z napełniaczem celulozowym, mineralnym, skrawkami tkanin, azbestem lub włóknami szklanymi jako tłoczywa.

W środowisku morskim (występowanie mgły solnej, zwiększona wilgotność), żywice melaminowo-formaldehdowe cechują się lepszymi własnościami izolacyjnymi od żywic opisanych w punkcie 2.1.2.

2.1.2 Żywic fenolowo-formaldehdowe (FF)

Żywic fenolowo-formaldehdowe, tak zwane fenoplasty, używa się do wyrobów klejów i lepiszczy lub do wyrobu tłoczyw, jednakże obecnie nie znajdują szerokiego zastosowania. Odznaczają się dobrą wytrzymałością na udarność i dzięki swojej sprężystości pozwalają na wprasowywanie dużych zaprasek metalowych przy małych grubościach ścianek. Niestety, posiadają mierne właściwości dielektryczne oraz brak odporności na łuk i prądy pełzające. Są także wrażliwe na światło słoneczne, ich rozkład następuje w temperaturze 150 °C. Najczęściej stosuje się je w połączeniu z napełniaczami – mączką drzewną, włóknem celulozowym lub bawełnianym, skrawkami papieru lub tkaniny lub mączką mineralną.

2.1.3 Żywic epoksydowe (ŻE, ER)

Żywic epoksydowe należą do tworzyw chemoutwardzalnych, proces sieciowania przestrzennego rozpoczyna się po wymieszaniu żywicy z utwardzaczem i ewentualnie napełniaczami. Żywic epoksydowe cechują się dobrą przyczepnością do powierzchni materiałów elastycznych oraz na przykład do metali, co wykorzystuje się podczas łączenia elementów konstrukcyjnych lub izolacji. Charakterystyczny jest także mały skurcz przy utwardzaniu.

Własności żywic epoksydowych można modyfikować przez dodatki zmiękczaczy i napełniaczy. Poprzez modyfikację włóknem szklanym można uzyskać materiał cechujący się dużą odpornością cieplną. Żywic epoksydowe dianowe charakteryzują się dobrymi własnościami mechanicznymi, szczególnie udarnością, natomiast żywice epoksydowe oparte na związkach cykloalifatycznych wykazują większą lepkość i odporność chemiczną, a także odporność na promieniowanie ultrafioletowe. Żywic epoksydowe cechują się dobrymi właściwościami dielektrycznymi. Stosowane są jako kleje i lakiery oraz do odlewów elektrotechnicznych.

2.2 Tworzywa termoplastyczne

Tworzywa termoplastyczne (termoplasty) stanowią grupę materiałów izolacyjnych syntetycznych, powstających w procesie polimeryzacji, czyli łączenia się wielu cząsteczek podstawowych (monomerów) w związek wielocząsteczkowy (polimer). Tworzywa termoplastyczne są polimerami, które dają się doprowadzić przez nagrzewanie do stanu o zwiększonej plastyczności lub do stanu płynnego. Po obniżeniu temperatury przechodzą one z powrotem w stan stały. Zmiany temperatury termoplastu nie wpływają na zmiany struktury chemicznej.

2.2.1 Polichlorek winylu PVC/A (PCV oraz dawniej PCW)

Termoplastyczne tworzywo sztuczne otrzymywane przez polimeryzację emulsyjną perełkową chlorku winylu. W zależności od odpowiednich proporcji plastyfikatorów, otrzymuje się polichlorek winylu, zmiękczonej polwinit, twardej winydurowanej lub np. igelit, koreseal, mipolam.

Ze względu na rodzaj technologii, polichlorek winylu można podzielić na dwa gatunki: emulsyjny o dużej chłonności wody i suspensyjny o lepszych właściwościach dielektrycznych i mniejszej chłonności wody. W elektrycznych urządzeniach okrętowych najszersze zastosowanie znalazł suspensyjny plastyfikowany polichlorek winylu, jako izolacja przewodów. Temperatura zapalenia PVC jest rzędu 435-557 °C, natomiast topnienia 75-110 °C. Spalany w warunkach pożaru polichlorek winylu wydziela 280 litrów trującego chlorowodoru.

Dla kabli o izolacji PVC przyjmuje się, iż maksymalna temperatura żyły kabla obciążonego w warunkach normalnych nie powinna przekraczać 60 °C, a dla warunków pracy zwarciowej 150 °C. Jednakże specjalne gatunki stabilizowane cieplnie mogą pracować w temperaturach wyższych (75 °C), jest to tak zwany polichlorek winylu ciepłoodporny. PVC jest powszechnie stosowany na izolację przewodów i kabli o napięciu do 10 kV.

2.2.2 Poliamid (PA)

Poliamidy są tworzywami o strukturze krystalicznej, ich właściwości mechaniczne i elektryczne zależą od stopnia zawilgocenia. Dopuszczalna temperatura pracy niektórych odmian PA wynosi 140 °C. Charakteryzują się znaczną chłonnością wody, co ma wpływ na właściwości mechaniczne i dielektryczne tworzywa.

Poliamidy posiadają bardzo dobre właściwości mechaniczne, natomiast ich wadą jest słaba odporność na starzenie, szczególnie na promieniowanie słoneczne i narażenia klimatyczne (powietrze, woda). PA są stosowane na łożyska, powłoki kabli i przewodów ze względu na dobre właściwości mechaniczne, odporność na czynniki korozyjne, paliwa płynne, oleje i smary.

2.2.3 Polietylen (PE)

Spotykane są dwa podstawowe typy polietylenu w zależności od metody polimeryzacji etylenu:

- wysokociśnieniowy, okreśłany również jako polietylen o małej gęstości (LDPE – *Low Density Polyethylene*), tzw. politen, elastyczny, wytwarzany pod ciśnieniem do 200 MPa i w temperaturze ok. 200 °C.
- niskociśnieniowy, okreśłany również jako polietylen o dużej gęstości (HDPE – *High Density Polyethylene*), tzw. kepolen, sztywny, bardziej wytrzymały mechanicznie, odporny na działanie czynników chemicznych, wytwarzany pod ciśnieniem do 5 MPa i w temperaturze ok. 120 °C.

Na statkach wykorzystuje się głównie polietylen wysokociśnieniowy do izolowania kabli energetycznych o napięciu do 30 kV, jak również kabli i przewodów komunikacyjnych. Polietylen pali się i podtrzymuje palenie. W celu uzyskania polietylenu trudno zapalnego stosuje się napełniacze z wodorotlenku glinu lub antyutleniaczy.

Polietylen mięknie w temperaturze ok. 90 °C, jednakże po podaniu procesowi sieciowania (np. napromieniowanie promieniami Rentgena lub promieniami γ) staje się odporny na korozję naprężeniową, a temperatura mięknięcia podnosi się do 145 °C. Polietylen usieciowany (XLPE) ma konsystencję tworzyw kauczukowych i struktura jego gwarantuje zachowanie własności mechanicznych nawet w dosyć wysokich temperaturach.

2.2.4 Polipropylen (PP)

Polipropylen jest stosunkowo lekkim tworzywem, utlenia się dosyć łatwo w temperaturach powyżej 90 °C, ale jest mniej zapalny niż polietylen. Innymi słowy PP ma wyższą temperaturę pracy niż PE, a poza tym ma zbliżone własności dielektryczne oraz podobne zastosowanie jak PE.

2.2.5 Poliwęglan (PW, PC)

Poliwęglan wykazuje wiele cennych zalet w stosunku do innych tworzyw termoplastycznych. Jest to tworzywo twarde, sztywne i sprężyste o dobrych własnościach cieplnych (temperatura pracy w zakresie od -140 °C do +135 °C). Własności dielektryczne są gorsze od polietylenu, ale bardzo zależą od temperatury i wilgotności.

Poliwęglan charakteryzuje się małą chłonnością wody oraz odpornością na podwyższone temperatury i procesy starzenia, działanie oleju mineralnego i promieniowania świetlnego (m.in. promieni nadfioletowych), promieniowania jonizującego oraz czynników atmosferycznych. Własności fizyczne poliwęglanu są bardzo dobre również w niskich temperaturach. Ze względu na małą chłonność wody, poliwęglan znalazł szerokie zastosowanie w elektrycznych urządzeniach okrętowych, głównie w postaci kształtek, listew zaciskowych, osłon aparatury elektrycznej oraz folii izolacyjnej.

2.2.6 Poliformaldehyd (POM, PF)

Poliformaldehyd jest tworzywem termoplastycznym charakteryzującym się dużą sprężystością, twardością i wytrzymałością mechaniczną. Własności tego tworzywa o strukturze krystalicznej i temperaturze topnienia ok. 175 °C są zbliżone do własności metali lekkich, przy jednocześnie dobrych własnościach elektroizolacyjnych. Cenną zaletą poliformaldehydu jest stabilność kształtów w warunkach wysokiej wilgotności; przy długotrwałym przebywaniu w wodzie zmiana wymiarów dochodzi zaledwie do 0,4 %. W przypadku narażenia na promieniowanie ultrafioletowe, poliformaldehyd musi być odpowiednio stabilizowany.

Poliformaldehydu używa się do wyrobu elementów izolacyjno-konstrukcyjnych, od których wymaga się dobrych własności mechanicznych i dużej odporności zmęczeniowej.

2.2.7 Tworzywa bezhalogenowe

Tworzywa bezhalogenowe nie rozprzestrzeniają płomienia (*Flame Retardant* lub *Halogen Free*). Ich skład nie zawiera związków z pierwiastkami grupy chlorowców i podczas spalania nie wydzielają szkodliwych dymów. Zawierają natomiast substancje, które podczas spalania wydzielają wodę, utrudniając przez to palenie się i rozprzestrzenianie płomienia. Ich własności mechaniczne i elektryczne podobne są do polwinitów.

2.3 Tworzywa chemoutwardzalne, kauczuki

Kauczuk pozyskiwany z soku drzewa kauczukowego (lateksu) nie ma zastosowania w okrętownictwie, gdyż w temperaturze poniżej 0 °C jest twardy i bardzo kruchy. Produktem użytkowym jest guma, wykorzystywana w produkcji kabli i przewodów. Guma otrzymywana jest w procesie wulkanizacji (usięciowania) z następujących kauczuków, np.: butylowy, butadienowy, chloroprenowy, etylenowo-propylenowy.

W zależności od procentowej zawartości siarki, otrzymuje się gumy miękkie oraz gumy twarde zwane ebonitem. Gumy miękkie są palne i charakteryzują się dużą elastycznością, ulegają dosyć szybkiemu starzeniu pod wpływem światła i podwyższonej temperatury. Stosuje się je m.in. do izolowania kabli i przewodów, uszczelek i dławic.

Gumy twarde wytwarzane są w postaci płyt, rur, prętów i gotowych elementów. Są one podatne na obróbkę skrawaniem i nieodporne na działanie oleju mineralnego.

2.3.1 Kauczuk silikonowy

W elektrotechnice okrętowej na izolację kabli i przewodów znalazły zastosowanie kauczuki syntetyczne. Na przykład kauczuk silikonowy, który ma dobre własności elektryczne i cieplne, ale słabe własności mechaniczne. Jest on niepalny i odporny na podwyższone temperatury, narażenia klimatyczne i działanie mikroorganizmów. Ma również dobrą odporność chemiczną i na starzenie klimatyczne.

Silikony o wysokim stopniu polimeryzacji, występujące w stanie ciekłym, po wymieszaniu z materiałami modyfikującymi pod wpływem środków sieciujących podlegają wulkanizacji. Proces ten może zachodzić w temperaturze pokojowej (RTV – *Room Temperature Vulcanized*) lub podwyższonej (HTV – *High Temperature Vulcanized*). Wulkanizacja na gorąco polepsza właściwości mechaniczne.

2.3.2 Kauczuk butylowy

Wulkanizowany kauczuk butylowy wykazuje dobre własności dielektryczne, dużą odporność na starzenie cieplne oraz odporność na działanie czynników atmosferycznych, ozonu i odczynników chemicznych z wyjątkiem olejów.

2.3.3 Kauczuk chloroprenowy

Kauczuki te wulkanizuje się, podobnie jak kauczuki naturalne. Charakteryzują się dużą odpornością na czynniki atmosferyczne, ozon oraz oleje mineralne. Są niepalne, dzięki czemu nadają się na powłoki kabli okrętowych.

2.3.4 Kauczuk etylenopropylenodienowy (EPDM)

EPDM otrzymuje się w procesie kopolimeryzacji w obecności katalizatorów Zieglera-Natty, opartych na związkach wanadu i aktywatorach alkiloglinowych. Kauczuki EPDM wyróżniają się bardzo dobrą odpornością na działanie tlenu i ozonu, czynników atmosferycznych oraz starzenie cieplne. Wykazują ponadto dobrą elastyczność, w tym również w niskiej temperaturze. Do EPDM można dodać znaczną ilość napełniaczy, mogących wpływać na poprawę właściwości eksploatacyjnych, przy zachowaniu łatwości przetwórstwa i niskich kosztów. Nie są odporne na oleje i paliwa, wykazują małą ognioodporność i ograniczoną mieszalność.

2.4 Lakiery elektroizolacyjne

W zależności od warunków suszenia rozróżnić można lakiery schnące w normalnych warunkach oraz lakiery utwardzające się w podwyższonej temperaturze (lakiery piecowe) – o lepszych własnościach izolacyjnych. Natomiast pod względem udziału rozpuszczalnika, lakiery można podzielić na rozpuszczalnikowe i bezrozpuszczalnikowe. Ponadto, w zależności od zastosowania w urządzeniach elektrycznych oraz produkcji materiałów izolacyjnych, można wyodrębnić następujące grupy lakierów:

- lakiery nasycające, stosowane do nasycania izolacji uzwojeń oraz tkanin, taśm i koszulek izolacyjnych,
- lakiery i emalie pokrywające, stosowane do ochrony zewnętrznej układów izolacyjnych,
- lakiery pokrywające, stanowiące izolację elektryczną przewodów nawojowych i blach magnetycznych,
- lakiery klejące, stanowiące lepiszcze do łączenia tworzyw warstwowych, np. płatki miki ze sobą i nośnikiem.

W publikacji ograniczono się do lakierów nasycających oraz lakierów i emalii pokrywających. Wymagania stawiane lakierom zostały przedstawione w normie wieloarkuszowej PN-EN 60464-1.

2.4.1 Lakiery nasycające

Lakiery nasycające stosuje się do zabezpieczenia dielektryków stałych przed zawilgoceniem oraz narażeniami klimatycznymi: powietrzem, mgłą solną. Przed impregnacją materiał izolacyjny powinien być wysuszony pod ciśnieniem atmosferycznym, w celu usunięcia z niego wilgoci. Następnie w procesie impregnacji zanurzony w lakierze i wysuszony, w efekcie lakier twardnieje w porach materiału izolacyjnego, jak i na jego powierzchni. Wypełnienie porów stwardniałym lakierem polepsza przewodnictwo cieplne izolacji, ułatwiając odprowadzenie ciepła z uzwojenia oraz usztywnia i zwiększa wytrzymałość mechaniczną.

Lakiery rozpuszczalnikowe takie jak lakiery olejne, olejno-żywiczne i asfaltowo olejne zawierają około 50 % rozpuszczalników, które w procesie suszenia odparowują. Lakiery rozpuszczalnikowe są coraz częściej wypierane przez lakiery syntetyczne, takie jak żywice estrowo-imidowe, epoksydowe, poliuretanowe i silikonowe. Lakiery bezrozpuszczalnikowe odznaczają się lepszymi własnościami technologicznymi, mechanicznymi i cieplnymi.

2.4.2 Lakiery i emalie pokrywające

Lakiery pokrywające mają na celu odizolowanie pokrywanej powierzchni od otoczenia. Po wyschnięciu tworzą błonę o dużej wytrzymałości elektrycznej oraz dużej rezystywności skrośnej. Powinna być ona odporna na wilgoć, mgłą solną, oleje mineralne oraz nie powinna zmieniać swoich właściwości mechanicznych pod działaniem temperatury.

Pokrywanie lakierem odbywa się przez jedno- lub wielokrotne zanurzenie danego elementu lub uzwojenia w lakierze. Przy pokrywaniu większych powierzchni stosuje się metodę natryskową.

Najczęściej do izolowania przewodów (zwanymi emaliowanymi) służą lakiery: poliwinylacetale, poliamidowe, epoksydowe, poliuretanowe, poliestrowe i poliimidowe.

2.5 Dielektryki gazowe

Większość gazów, z wyjątkiem silnie zjonizowanych, ma właściwości izolacyjne. W elektrotechnice okrętowej wykorzystuje się gazy zarówno naturalne (powietrze), jak również otrzymywane w wyniku syntezy, np. sześćofluorek siarki.

Generalnie gazy charakteryzują się znaczną rezystywnością i bardzo małą stratnością. Dla dielektryków gazowych charakterystyczne jest, iż po przebiciu następuje całkowita regeneracja własności dielektryka.

2.5.1 Powietrze

Powietrze jest w głównej mierze mieszkanką azotu (78 %) oraz tlenu (21 %). W zależności od ciśnienia, temperatury oraz wilgotności zmieniają się jego właściwości izolacyjne. Można przyjąć, iż wytrzymałość elektryczna zależy wprost proporcjonalnie od jego gęstości (ciśnienia), a odwrotnie od temperatury.

$$E_p = \frac{Q_{pow}}{T}$$

2.5.2 Sześćciofluorek siarki (SF₆)

SF₆, w przeciwieństwie do powietrza, jest gazem syntetycznym i powinien spełniać wymagania normy PN-EN 60376. Jego właściwości izolacyjne są lepsze niż powietrza, gdyż jest gazem elektryczniejemnym. Ponadto, sześćciofluorek siarki jest gazem niepalnym, nietoksycznym i trwałym do temperatury 500 °C. Wytrzymałość elektryczna układów izolacyjnych z SF₆ jest zależna od stanu powierzchni elektrod oraz zanieczyszczenia w komorze.

W elektrycznych urządzeniach okrętowych gaz ten stosowany jest w komorach gaszeniowych wyłączników. Dzięki zastosowaniu go jako medium izolacyjnego umożliwiona jest miniaturyzacja urządzeń elektrycznych.

Procesom łączeniowym towarzyszy powstawanie związków toksycznych, z tego względu podczas przeglądu styków wyłącznika należy zastosować maski gazowe z właściwym pochłaniaczem. Wyłącznik można rozszczelnić tylko w pomieszczeniu odpowiednio wentylowanym, zachowując odpowiednie środki ostrożności. SF₆ jest gazem o dużej gęstości i pozostaje on przez długi czas przy powierzchni podłogi, wypierając powietrze. Jego obecność może wywołać duszności u osób przebywających w tym pomieszczeniu.

2.6 Materiały warstwowe (laminaty)

Materiały warstwowe są materiałami składającymi się z szeregu warstw nośnika i lepiszcza żywicznego, prasowanymi w podwyższonej temperaturze w postaci płyt albo zwijanymi w postaci prętów lub rur. Jako nośnik stosuje się papiery celulozowe, tkaniny bawełniane, jedwabne lub szklane. Za lepiszcze najczęściej służą żywice fenolowe, poliuretanowe, melaminowe, epoksydowe i silikonowe. Materiały warstwowe mają właściwości anizotropowe, to znaczy, że ich wytrzymałość elektryczna mierzona poprzecznie do warstw nośnika jest zwykle większa niż wzdłuż warstw. Ponadto, wilgoć łatwiej przenika w kierunku wzdłużnym laminatu, w związku z czym należy stosować powłoki lakierowane, chroniące przed wodą.

Do celów elektroizolacyjnych w elektrycznych urządzeniach okrętowych zaleca się stosowanie laminatów szkło-epoksydowych. Charakteryzują się one dobrymi właściwościami elektrycznymi w powietrzu o podwyższonej wilgotności. Ich najwyższa temperatura pracy ciągłej wynosi 130-150 °C.

Laminaty z nośnikiem papierowym lub z tkaniny bawełnianej oraz szklanej na żywicy fenolowej lub melaminowej nie powinny być stosowane w okrętownictwie na elementy elektroizolacyjne ze względu na dużą chłonność wody.

Materiały elektroizolacyjne giętkie wielowarstwowe powinny spełniać wymagania normy wieloarkuszowej PN-EN 60626, natomiast papier i preszpan nasącany olejem normy PN-EN 60814.

2.6.1 Mika i materiały mikowe

W elektrotechnice okrętowej mają zastosowanie dwie odmiany miki: muskowit i flugopit. Zaletą miki jest niezmiennosc jej właściwości w czasie. Flugopit jest bardziej elastyczny, ale słabszy mechanicznie.

Z miki wyrabiane są tradycyjne materiały elektroizolacyjne: mikanity komutatorowe, mikanity do kształtowania, mikanity grzejnikowe i mikafolie. Często stosowana jest jako napełniacz tworzyw polimerowych stosowanych w elektrotechnice.

Pochodnym produktem miki, najczęściej muskowitu, jest papier mikowy, który jest produktem wyjściowym wielu półwyrobów (samika), które zastępują obecnie produkowane mikanity wykonywane z płatków miki.

Materiały elektroizolacyjnych zawierające mikę powinny spełniać wymagania normy PN-EN 60371.

2.7 Ceratki, taśmy, folie

W produkcji maszyn i aparatów dla okrętownictwa zaleca się stosowanie ceratek, taśm i koszulek na nośniku szklanym. Jako syciwo służą najczęściej lakiery poliuteranowe, epoksydowe i silikonowe. Folie z tworzyw sztucznych powinny spełniać wymagania normy PN-EN 60674.

2.8 Materiały ceramiczne

Do ważniejszych materiałów ceramicznych stosowanych w elektrotechnice zalicza się porcelanę elektrotechniczną i steatyt. Pokrycie szkliwem polepsza własności mechaniczne wyrobów i zmniejsza chłonność wody.

Na ogół nie obserwuje się w materiałach ceramicznych występowania procesów starzeniowych i zmęczenia mechanicznego.

Wadą materiałów ceramicznych jest ich bardzo trudna obrabialność (szlifowanie) po procesie wypalania końcowego i niemożność osiągnięcia dowolnych kształtów oraz duży ciężar.

Materiały ceramiczne i szklane powinny spełniać wymagania określone w normie PN-EN 60672.

2.9 Wybrane zastosowania materiałów elektroizolacyjnych

2.9.1 Głowice kablowe

Głowica jest elementem izolacyjnym o charakterze przepustowym, stosowanym na końcu kabla w celu przyłączenia go do urządzenia rozdzielczego. Konstrukcja głowic musi być dostosowana do konstrukcji kabla, a wytrzymałość ich izolacji nie może być mniejsza niż wytrzymałość izolacji kabla. Obecnie stosuje się najczęściej głowice z taśm izolacyjnych samospawalnych, rur termokurczliwych i zimnokurczliwych.

2.9.2 Mufy kablowe

Mufy kablowe służą do łączenia ze sobą różnych odcinków kabli. Podobnie jak głowice, mufy są dostosowane do rodzaju kabli. Wyróżnia się mufy z taśm samospajalnych do kabli z izolacją polietylenową na napięcie do 20 kV i mufy do kabli olejowych oraz polietylenowych na napięcie do kilkuset kilowoltów.

Połączenia kablowe (mufy i głowice kablowe) powinny spełniać wymagania normy IEC 61035, natomiast kształtki termokurczliwe normy PN-EN 62329.

2.9.3 Maty dielektryczne oraz środki ochrony indywidualnej

Oprócz wyżej wymienionych zastosowań w okrętownictwie stosuje się materiały elektroizolacyjne na chodniki dielektryczne. Zgodnie z konwencją SOLAS II-1/45.2 podłogi przy rozdzielnicach głównych i awaryjnych, zasilanych napięciem wyższym niż 50 V, należy pokryć matą izolacyjną przed i za tymi rozdzielnicami. Chodniki elektroizolacyjne powinny spełniać wymagania przedstawione w normie PN-IEC 61111.

Obuwie elektroizolacyjne do prac przy instalacjach niskiego napięcia powinno spełniać wymagania normy PN-EN 50321.

3 WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW ELEKTROIZOLACYJNYCH I STAWIANE IM WYMAGANIA

3.1 Podział właściwości materiałów

Podstawowe właściwości materiałów elektroizolacyjnych określone są odpowiednimi parametrami, które można podzielić na następujące:

- dielektryczne,
- mechaniczne,
- cieplne,
- fizyko-chemiczne.

Najistotniejsze właściwości materiałów izolacyjnych stosowanych w elektrycznych urządzeniach okrętowych podane są w poniższych punktach.

3.1.1 Właściwości dielektryczne

Ważniejsze właściwości dielektryczne materiałów elektroizolacyjnych to: rezystywność skrośna i powierzchniowa, współczynnik strat dielektrycznych, przenikalność elektryczna, wytrzymałość elektryczna, odporność na prądy pełzające i odporność na łuk elektryczny.

3.1.1.1 Rezystywność skrośna, ρ_v (IEC 60093)

Jest to stosunek napięcia stałego przyłożonego do elektrod do wartości ustalonej natężenia prądu płynącego między elektrodami na wskroś próbki, z wyłączeniem tej części prądu, która płynie po powierzchni próbki – odniesiony do 1 m² powierzchni elektrody pomiarowej i do 1 m grubości próbki.

Jednostką oporności właściwej skrośnej jest $\Omega \cdot m$.

3.1.1.2 Rezystywność powierzchniowa, ρ_s (IEC 60093)

Jest to stosunek napięcia stałego przyłożonego do elektrod do wartości ustalonej natężenia prądu płynącego przez warstwę zaabsorbowanej na powierzchni próbki wilgoci i innych przewodzących zanieczyszczeń oraz częściowo przez wnętrze próbki – odniesiony do 1 m długości elektrod i do 1 m odległości między elektrodami.

Jednostką oporności właściwej powierzchniowej jest Ω .

3.1.1.3 Współczynnik strat dielektrycznych, $\text{tg } \delta$ (IEC 60250)

Jest to ilość energii rozproszonej w jednostce czasu na 1 cm³ dielektryka. Stratność dielektryczna wyraża się tangensem kąta δ , dopełniającego do 90° kąt przesunięcia fazowego między prądem a napięciem.

$$\text{tg } \delta = \frac{I_R}{I_C}, \text{ gdzie}$$

I_R – składowa czynna prądu,

I_C – składowa bierna prądu.

3.1.1.4 Przenikalność elektryczna, ε (IEC 60250)

Jest to wielkość, która określa ilość energii elektrycznej gromadzonej w jednostce objętości materiału przy jednostkowym natężeniu pola elektrycznego.

W praktyce podaje się najczęściej względną przenikalność elektryczną jako jednostkę bezwymiarową:

$$\varepsilon_r = \frac{C_x}{C_o}, \text{ gdzie}$$

C_x – pojemność kondensatora, w którym przestrzeń między elektrodami jest wypełniona badanym materiałem elektroizolacyjnym,

C_o – pojemność rozmieszczonych w ten sam sposób elektrod w próżni.

Zależność pomiędzy ε a ε_r jest następująca:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$$

przenikalność próżni $\varepsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12}$ F/m

3.1.1.5 Wytrzymałość elektryczna, E_p (PN-EN 60243-1)

Wytrzymałość definiowana jest zgodnie z powyższą normą jako „utrata, przynajmniej chwilowa, właściwości elektroizolacyjnych ośrodka pod wpływem natężenia pola elektrycznego”. Wytrzymałość elektryczna dielektryka jest określana jako stosunek wartości napięcia przebicia U_p do średniej grubości badanej próbki dielektryka d , zgodnie ze wzorem:

$$E_p = \frac{U_p}{d} \text{ [V/mm]}, \text{ gdzie}$$

U_p – jest napięciem przebicia wyrażonym w wartości skutecznej dla napięć sinusoidalnych lub wartością maksymalną dla napięć nieokresowych, [V],

d – jest grubością próbki w miejscu przebicia, [mm]

Przy próbach wytrzymałości elektrycznej materiałów stałych wykonuje się zazwyczaj pomiary napięcia przebicia próbek nie przekraczających 3 mm.

Definiuje się również *długotrwałą wytrzymałość elektryczną*, gdzie napięcie jest zmieniane skokowo i utrzymywane przez pewien okres, na przykład 1 min. W ten sposób napięcie jest podwyższane, aż do napięcia przebicia próbki układu izolacyjnego. W przypadku próbek zawilgoconych, wydzielone ciepło w wyniku występowania strat dielektrycznych spowoduje osuszenie próbki i napięcie przebicia może zostać podwyższone.

3.1.1.6 Odporność na prądy pełzające (PN-EN 60112, 61302)

Jest to zdolność dielektryku do przeciwstawiania się powstawaniu śladów pełznych. Miarą odporności przy niskich napięciach do (1 kV) jest porównawczy wskaźnik odporności na prądy pełzające (CTI, *Comparative Tracking Index*), czyli napięcie, przy którym zwarcie między elektrodami powstaje po opadnięciu na próbkę 50 kropli roztworu przewodzącego, a głębokość śladu pełznego nie przekracza 1 mm.

Przy określaniu odporności dla wysokich napięć, miarą odporności na prądy pełzające jest osiągnięta klasa napięciowa (2,5; 3,5 lub 4; 5 kV) i głębokość erozji.

3.1.1.7 Odporność na łuk elektryczny (PN-EN 61621)

Jest to zdolność dielektryka do przeciwstawiania się powstawaniu mostków przewodzących trwale lub przejściowo, rozkładowi chemicznemu lub zniszczeniu mechanicznemu (np. pęknięciom).

W zależności od metody badania odporności na działanie łuku, jest odpowiednio określany czas próby w sekundach (badanie odporności na łuk elektryczny o małym natężeniu prądu przy wysokim napięciu) lub liczba uderzeń łuku elektrycznego, zainicjowanego przewodem zapłonowym do powstania ścieżki przewodzącej (badanie przy dużym natężeniu prądu i niskim napięciu).

3.1.2 Własności mechaniczne

Najważniejsze własności mechaniczne materiałów izolacyjnych to: wytrzymałość na rozciąganie, wytrzymałość na zginanie, udarność.

3.1.2.1 Wytrzymałość na rozciąganie, R_r (PN-EN ISO 527-1)

Jest to największa wartość naprężenia, przy którym następuje zerwanie znormalizowanej próbki. Wytrzymałość na rozciąganie wyrażana jest w MPa.

3.1.2.2 Wytrzymałość na zginanie, R_g (PN-EN ISO 178)

Jest to największa wartość naprężenia, przy którym następuje złamanie znormalizowanej próbki. Wytrzymałość na zginanie wyrażana jest w MPa.

3.1.2.3 Udarność, R_u (PN-EN ISO 179-1)

Jest to praca niezbędna do dynamicznego złamania znormalizowanej próbki przy pomocy młota wahadłowego, wyrażana w kJ/m².

3.1.3 Własności cieplne

Do ważniejszych własności cieplnych materiałów elektroizolacyjnych dla elektrycznych urządzeń okrętowych zaliczyć można: dopuszczalną temperaturę pracy i palność.

3.1.3.1 Dopuszczalna temperatura pracy, θ_p (PN-EN 60085)

Dopuszczalna temperatura pracy stanowi miarę odporność cieplnej materiału. Jest to temperatura, przy której dany materiał może pracować w określonym środowisku przez dany okres.

3.1.3.2 Trwałość (PN-EN 60505)

Trwałość jest określana jako średni czas, po upływie którego własności materiału na skutek procesów starzeniowych ulegają skrajnie dopuszczalnemu pogorszeniu.

3.1.3.3 Palność (IEC 60092-101)

Materiały izolacyjne, poza mineralnymi i ceramicznymi, są określane jako palne albo trudno zapalne. Sklasyfikowanie materiału jako trudno zapalnego zależy od przyjętej metody badawczej, patrz p. 4.2.7.

3.1.4 Własności fizyko-chemiczne

Do ważniejszych własności fizykochemicznych elektrycznych urządzeń okrętowych, pracujących w środowisku morskim, można zaliczyć: chłonność wody oraz odporność na działanie mgły solnej.

3.1.4.1 Chłonność wody (nasiąkliwość) W_H

Jest to bardzo ważna własność fizyczna dla elektrycznych urządzeń okrętowych. Chłonność wody tworzyw sztucznych określa się przyrostem masy próbki po i przed zanurzeniem w destylowanej wodzie.

Dla niektórych materiałów, takich jak lakiery (powłoki lakierowe), materiały ceramiczne, materiały warstwowe, ceratki, folie, itp. chłonność wody, nazywana również nasiąkliwością, określana jest w procentach przyrostu masy.

3.1.4.2 Odporność na działanie odczynników chemicznych

Ważną cechą materiałów elektroizolacyjnych jest ich odporność na działanie odczynników chemicznych.

Oddziaływanie takich odczynników, jak rozpuszczalniki do lakierów elektroizolacyjnych, kwasy, zasady, roztwory soli – wiąże się z penetracją tych odczynników w głąb danego materiału i może powodować zmianę cech elektrycznych i mechanicznych tego materiału.

Badanie odporności polega na określaniu oddziaływania odczynnika chemicznego w ustalonym czasie na oporność powierzchniową lub skrośną, względnie wytrzymałość dielektryczną badanego materiału.

3.2 Przegląd właściwości materiałów elektroizolacyjnych

Ważniejsze właściwości materiałów izolacyjnych mających zastosowanie w elektrycznych urządzeniach okrętowych podano w tabelach 3.2-1 oraz 3.2-2.

Tabela 3.2-1
Wybrane właściwości materiałów elektroizolacyjnych

Właściwość	Materiał					
	LDPE	HDPE	XLPE	PVC, Polwinit	EPDM	ŻE
Gęstość, g/cm ³	0,91÷0,92	0,94÷0,96	0,91÷0,92	1,25÷1,35	1,4	1,11÷1,22
Rezystywność skrośna, Ω·cm	10 ¹⁶ ÷10 ¹⁷	10 ¹⁵ ÷10 ¹⁶	10 ¹⁵	10 ¹³ ÷10 ¹⁴	10 ¹²	10 ¹⁴ ÷10 ¹⁶
Przenikalność dielektryczna względna, ϵ_r	2,3	2,3	2,3÷2,5	4÷8	3,2	3,5÷6
Współczynnik strat dielektrycznych, tgδ	≤0,0005	≤0,001	≤0,004	≤0,1	0,04	0,01÷0,1
Wytrzymałość dielektryczna, kV/mm	20÷30	16÷24	20÷30	10÷40	≥20	35
Wytrzymałość na rozciąganie (min), MPa	10	37	12,5	12,5	4,2÷8,5	60÷80
Wydłużenie przy zerwaniu (min), %	300	500	200	150	200	≈0
Zmiana masy po moczeniu przez 336 h w wodzie o temp. 85 °C, mg/cm ³	1	1	1	10	5	0,25-0,45 [%]

Tabela 3.2-1 dotyczy wybranych materiałów stałych, których właściwości w większości spełniają wymagania stawiane materiałom stosowanym w urządzeniach okrętowych.

Tabela 3.2-2 podaje właściwości wybranych lakierów elektroizolacyjnych zalecanych dla wyrobów w wykonaniu morskim.

Tabela 3.2-2
Wybrane właściwości lakierów elektroizolacyjnych

Lp.	Rodzaj lakieru lub emalii	Klasa izolacji	Właściwości elektryczne		Chłonność wody zimnej po 24 h, %
			$\rho_v, \Omega\cdot m$	$E_p, kV/mm$	
1	Lakier alkilowo-fenolowy RDB	B	10^{12}	100	0,7
2	Lakier izoftalowo-fenolowy Izofeny	B	10^{12}	100	0,5
3	Lakier poliestrowy bezrozpuszczalnikowy IPS	B, F	10^{14}	66	0,32
4	Lakier poliestrowy bezrozpuszczalnikowy 1135 FN	B, F	10^{13}	90	0,14
5	Lakier silikonowy Silalak 40	F, H	10^{14}	100	0,2
6	Emalia alkilowo-melaminowa ME-10 i TE-10	E, B	b.d.	90	1,2
7	Lakier olejno-żywiczny SPS-3	E, B	b.d.	100	1,0
8	Lakier poliuretanowy DDL-2	E, B	b.d.	112	2,0
9	Lakier poliwinyl-acetalowy MND	b.d.	b.d.	2	<14

Poszczególne własności podane w tabelach określone zostały dla normalnych warunków otoczenia. W czasie eksploatacji warunki otoczenia najczęściej odbiegają znacznie od warunków normalnych, w związku z czym poszczególne parametry mogą ulegać znacznym zmianom i na ogół w kierunku niekorzystnym dla materiału.

Bardzo ważnym czynnikiem jest degradacja materiałów elektroizolacyjnych na skutek działania narażeń środowiskowych, jakim podlegają one w czasie eksploatacji w środowisku morskim. Właściwości elektryczne materiałów nowych i po kilkuletniej eksploatacji na ogół znacznie się różnią. Zwłaszcza, jeśli materiał był narażony na bezpośrednie działanie atmosfery morskiej na pokładzie otwartym lub w siłowni, dziobówce, pomieszczeniu sterowni, itp.

Oporność właściwa powierzchniowa już po trzech latach eksploatacji może spaść o około pół rzędu, a wytrzymałość dielektryczna obniżyć się o kilka kV/mm.

Stawiając wymagania dla określonej konstrukcji, należy uwzględnić czynniki mające wpływ na parametry materiału lub całego układu izolacyjnego.

3.3 Klasy ciepłoodporności

Materiały elektroizolacyjne mogą być sklasyfikowane do poszczególnych klas ciepłoodporności, czyli temperatur, przy których materiał nie ulega uszkodzeniu w znamionowych warunkach eksploatacji urządzenia elektrycznego.

Tabela 3.3
Klasy termiczne

RTE	Klasa termiczna, [°C]	Oznaczenie wg PN-EN 60085
< 90	70	
>90-105	90	Y
>105-120	105	A
>120-130	120	E
>130-155	130	B
>155-180	155	F
>180-200	180	H
>200-220	200	200
>220-250	220	220
>250	250	250

W oparciu o normę PN-EN 60085 dokonuje się klasyfikacji materiałów elektroizolacyjnych, podczas gdy normy PN-EN 62114 oraz PN-EN 61857 mają zastosowanie do klasyfikacji układów elektroizolacyjnych oraz ich prób.

3.4 Wymagania stawiane materiałom izolacyjnym

Wymagania stawiane materiałom izolacyjnym można podzielić na dwie grupy:

- .1 dotyczące parametrów technicznych określonych odpowiednią normą lub warunkami technicznymi;
- .2 dotyczące funkcji spełnianych przez ten materiał w konkretnym urządzeniu i w określonym środowisku pracy na statku.

O ile wymagania wymienione w .1 są jednoznacznie sprecyzowane, o tyle wymagania w .2 są trudne do określenia w sensie ogólnym, ponieważ nie można jednoznacznie określić wymagań dla materiału, który może mieć wielorakie zastosowanie.

Ten sam materiał może być stosowany w różnych konstrukcjach, w których czasami ważniejsze są własności dielektryczne, a czasami mechaniczne – lub równocześnie ważne są własności dielektryczne i mechaniczne; a więc materiał o określonych własnościach, który nadaje się do jednej konstrukcji, może być zupełnie nieodpowiedni do innej konstrukcji. Nie ma materiałów idealnych, które by odpowiadały wszystkim zastosowaniom.

Wymagania funkcjonalne przedstawione w punkcie .2, stawiane elektrycznym urządzeniom okrętowym, powinny uwzględniać takie podstawowe czynniki jak:

- wysokość napięcia i rodzaj sieci,
- moc urządzenia,

- rodzaj urządzenia,
- rodzaj układu elektroizolacyjnego,
- wymiary i odstępki izolacyjne,
- stopień ochrony przed czynnikami zewnętrznymi,

jak również wymagania natury eksploatacyjnej, które powinny uwzględniać narażenia środowiska morskiego, przedstawione w *Publikacji 11/P – Próby środowiskowe wyposażenia statków*. Czynniki natury eksploatacyjnej wiążą się ze specyficznymi narażeniami występującymi w środowisku morskim i one dyktują wymagania, które są omawiane w niniejszej *Publikacji*.

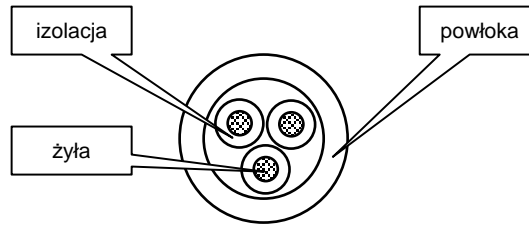
Zestawienie najważniejszych narażeń występujących na statkach i własności materiałów, co do których powinny być postawione wymagania przedstawia tabela 3.4-1.

Tabela 3.4-1
Narażenia występujące na statkach i własności materiałów

Narażenie	Podstawowa własność						
	Odporność właściwa powierzchniowa	Wytrzymałość dielektryczna	Odporność na prądy pełzające	Wytrzymałość na zginanie	Udarność	Chłonność wody	Palność
Podwyższona temperatura	X	X	–	X	X	–	X
Zmiany temperatury, możliwość wystąpienia wody	X	X	X	–	–	X	X
Podwyższona temperatura i wilgotność względna	X	X	X	–	–	X	X
Niska temperatura	–	–	–	X	X	–	–
Drgania i wstrząsy	–	–	–	X	X	–	–
Zasolenie	–	–	X	–	–	X	X
Agresywne czynniki chemiczne	X	X	X	–	–	–	–

3.5 Materiały elektroizolacyjne kabli elektroenergetycznych

W skład kabli energetycznych wchodzi zasadniczo trzy podstawowe elementy. Powłoka, czyli zewnętrzna osłona kabla, izolacja żyły oraz sama żyła. W kablach okrętowych stosuje się tylko i wyłącznie żyły wielodrutowe i niedopuszczalne jest zastosowanie żył jednodrutowych, spotykanych na przykład w instalacjach podtynkowych w budownictwie mieszkaniowym. Poniższy schemat ilustruje omówione nazewnictwo.



Rys. 3.5 Przekrój kabla

Powłoka ma na celu ochronę żył i ich izolację przed wpływem czynników zewnętrznych, takich jak naprężenia mechaniczne występujące podczas układania kabla i/lub w czasie jego eksploatacji, wilgoć, oleje i rozpuszczalniki, ozon, promieniowanie słoneczne, podwyższona lub obniżona temperatura. Innym zagrożeniem mogą być gryzonie, np. szczury. W klimacie tropikalnym zagrożeniem mogą być grzyby. Powłoka powinna być szczelna i odporna na działanie każdego z czynników, jaki może wystąpić podczas układania kabla i podczas eksploatacji, wzdłuż tras kablowych.

W okrętownictwie stosuje się tylko i wyłącznie żyły wykonane z miedzi, natomiast materiały izolacyjne są zróżnicowane, co ilustruje poniższa tabela.

Tabela 3.5
Rodzaje materiałów elektroizolacyjnych stosowanych na izolację kabli

Rodzaje materiałów izolacyjnych	Skrócone oznaczenie izolacji kabli okrętowych:		Maksymalna temperatura żyły kabla [°C]	
	stosowanych w Polsce	wg normy PN-IEC 60092-351	Warunki pracy normalne	Warunki pracy zwarciowej
z polichloroku winylu lub kopolimeru chloroku winylu i octanu winylu	Y	PVC/A PVC/D	60	150
	Yc		75	
	Yw		90	
	Yn			
z gumy etylenowo-propylenowej lub podobnej (EPM lub EPDM)	G	EPR	85	250
z polietylenu usieciowanego	X Xn	XLPE (PRC)	85	250
z gumy silikonowej	XS	S 95	95	
z gumy etylenowo-propylenowej lub podobnej (EPM lub EPDM) bezchlorowcowej	G	XF EPR	85	250
z polietylenu usieciowanego bezchlorowcowego	G	XF XLPE	85	250
z gumy silikonowej bezchlorowcowej	G	HF S 95	95	
z usieciowanych poliolefin do kabli bezchlorowcowych		HF 85	85	250

4 PRÓBY MATERIAŁÓW ELEKTROIZOLACYJNYCH

W niniejszym rozdziale przedstawiono próby materiałów stosowanych na izolację urządzeń elektrycznych. Konstrukcyjne materiały niemetalowe stosowane w okrętownictwie, takie jak laminaty wzmocnione, materiały tekstylne powlekane oraz liny powinny spełniać wymagania publikacji Nr 40/P – *Materiały i wyroby niemetalowe* i nie są przedmiotem tego opracowania.

4.1 Próby nieniszczące

4.1.1 Pomiary rezystywności skrośnej i powierzchniowej

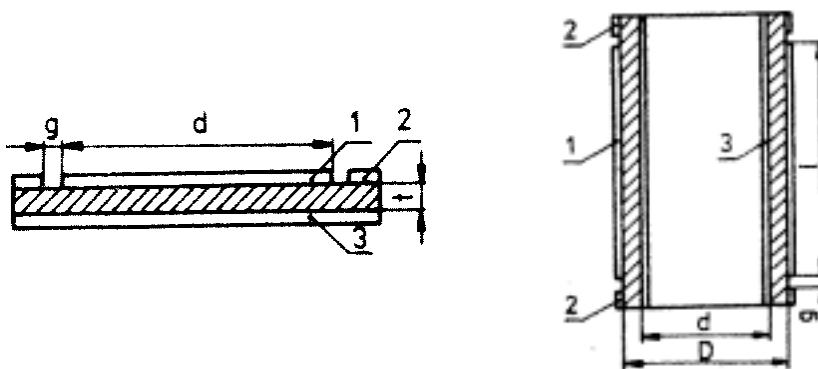
Pomiary rezystywności należy wykonać zgodnie z normą IEC 60093.

4.1.1.1 Próbki

Należy przygotować próbki płaskie o wymiarach boku kwadratu lub średnicy koła od 50 do 150 mm i grubości ≤ 10 mm, względnie próbki rurowe o długości ≥ 150 mm, średnicy wewnętrznej ≥ 5 mm i grubości 10 mm. Dla oznaczenia należy przygotować co najmniej 3 próbki.

4.1.1.2 Elektrody

Stosuje się układy trójelektrodowe.



Rys. 4.1.1.2 Elektrody do pomiaru próbek płaskich i rurowych

Tabela 4.1.1.2
Rodzaje elektrod do badania rezystywności

Rodzaj elektrody	Pomiar oporności skrośnej	Pomiar oporności powierzchniowej
Pomiarowa	1	1
Ochronna	2	3
Napięciowa	3	2

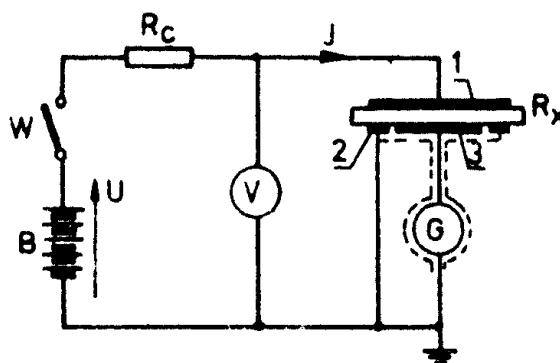
Średnica elektrody pomiarowej dla próbek płaskich powinna wynosić co najmniej czterokrotną wartość grubości próbki i odpowiadać jednej z wartości: 10, 25, 50 lub 100 mm. Długość elektrody pomiarowej dla próbek rurowych powinna wynosić co najmniej 100 mm. Szerokość szczeliny między elektrodami powinna wynosić $2 \text{ mm} < g < 2t$. Szerokość elektrody „2” powinna wynosić $S \geq 10 \text{ mm}$.

Elektrody powinny być wykonane:

- z folii aluminiowej o grubości $\leq 0,02 \text{ mm}$, przyklejone czystym olejem parafinowym, transformatorowym lub silnikowym,
- z grafitu koloidalnego, srebra koloidalnego lub farb półprzewodzących,
- z rtęci w przypadku próbek rurowych o średnicach wewnętrznych $< 20 \text{ mm}$.

4.1.1.3 Wykonanie pomiarów

Pomiary wykonuje się w normalnych warunkach otoczenia. W zależności od zakresu mierzonej oporności, stosuje się albo metodę techniczną z użyciem galwanometru dla oporności mniejszych $10^{13} \Omega$, albo powyżej $10^{13} \Omega$ – metodę techniczną z użyciem elektrometru.



Rys. 4.1.1.3 Schemat układu do pomiaru rezystywności próbki metodą techniczną przy użyciu galwanometru.

B – źródło napięcia, W – wyłącznik, R_c – opornik ograniczający, V – woltomierz, G – galwanometr, R_x – badana próbka

Napięcie pomiarowe dobiera się tak, aby natężenie pola elektrycznego w próbce wynosiło od 0,1 do 1kV/mm i odpowiadało jednej z wartości 1, 10, 50, 100, 250, 500, 1000, (2500, 5000 10 000), wartości w nawiasie nie są zalecane.

Pomiar należy wykonać po ustabilizowaniu mierzonej wartości prądu. Rezystywność oblicza się ze wzorów podanych w tabeli 4.1.1.3.

Tabela 4.1.1.3
Wzory służące do obliczania rezystywności próbek

Określenie	Wzór obliczeniowy	Jednostka miary
rezystywność skrośna, ρ_v :	$\rho_v = \frac{\pi(d+g)^2}{4t} R_x$	Ωm
– próbki płaskie		
– próbki rurowe	$\rho_v = 2,73 \frac{L+g}{D} R_x$ $\lg \frac{L}{d}$	
rezystywność powierzchniowa, ρ_s :	$\rho_s = \frac{\pi(d+g)}{g} R_x$	Ω
– próbki płaskie		
– próbki rurowe	$\rho_s = \frac{2\pi D}{g} R_x$	

Za wynik pomiaru należy przyjąć średnią geometryczną wszystkich pomiarów danej rezystywności mierzonej.

4.1.2 Pomiary przenikalności elektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych

Pomiary przenikalności elektrycznej oraz współczynnika strat dielektrycznych należy wykonać zgodnie z normą IEC 60250.

4.1.2.1 Próbki

Próbki poddawane pomiarom przy częstotliwości nie większej od 5 MHz powinny mieć wymiary podane w poniższej tabeli.

Tabela 4.1.2.1

Wymiary próbek do pomiarów przenikalności elektrycznej oraz współczynnika strat dielektrycznych

ϵ_r materiału próbki	próbki płaskie		próbki rurowe	
	średnica próbki, [mm]	grubość próbki, [mm]	długość, [mm]	grubość ścianki, [mm]
≤ 10	25 – 150	≤ 10	50 – 150	<10
> 10	≤ 50	≤ 6		

Wymiary próbek i elektrod należy dobrać tak, aby przy częstotliwości do 100 kHz pojemność próbki była większa od 50 pF.

Próbki do pomiarów przy częstotliwości powyżej 5 MHz powinny mieć tak dobrane wymiary, aby pojemność mieściła się w zakresie pojemności możliwych do zmierzenia na będącej do dyspozycji aparaturze pomiarowej. Najczęściej stosowany jest zakres pojemności od 20 do 50 pF. Próbki powinny być przed pomiarem kondycjonowane w warunkach normalnych. Jeżeli próbki są poddawane działaniu określonych środowisk (np. moczenie w wodzie), to pomiary powinny być wykonane nie później niż po 5 minutach od wyjęcia próbki z danego środowiska. Do oznaczenia należy przygotować co najmniej 3 próbki.

4.1.2.2 Elektrody i doprowadzenia

4.1.2.2.1 Elektrody sztywne w postaci płytek

Powierzchnie elektrod stykające się z badanym materiałem powinny być metalicznie czyste i gładkie. W celu zapewnienia lepszego przylegania elektrod do próbki – między elektrodami a próbką zaleca się umieszczać podkładki z miękkiej folii metalowej o grubości 0,005 do 0,01 mm. Liczba podkładek z obu stron powinna być jednakowa i powinna wynosić po 3 z każdej strony. Nacisk elektrod na próbkę powinien wynosić co najmniej 10 kPa. Przy częstotliwościach większych od 100 kHz nie należy stosować elektrod sztywnych z podkładkami.

4.1.2.2.2 Elektrody naklejane z folii metalowej

Należy stosować je wyłącznie w przypadku badań materiałów o przenikalności elektrycznej ≤ 10 i grubości próbki ≥ 1 mm. Elektrody powinny być wykonane z folii cynowej, ołowianej lub ich stopów – o grubości 0,005 do 0,05 lub z folii aluminiowej – o grubości 0,005 do 0,01 mm. Wymiary elektrod powinny być równe lub mniejsze od wymiarów próbki. Elektrody należy przykleić do próbki przy pomocy oleju parafinowego, wazelinowego lub silikonowego.

4.1.2.2.3 Elektrody otrzymywane przez metalizowanie lub wypalanie

Do ich wykonania należy stosować takie metale jak srebro, miedź, cynk, aluminium, platynę. Grubość elektrod powinna wynosić co najmniej 0,005 mm.

4.1.2.2.4 Elektrody z past przewodzących

Nie zaleca się ich stosować przy częstotliwościach większych od 10 MHz.

4.1.2.2.5 Elektrody grafitowe

Mogą być stosowane wyjątkowo do materiałów nienasiąkliwych przy częstotliwościach ≤ 50 Hz.

4.1.2.2.6 Wykonanie doprowadzeń do elektrod

Doprowadzenie do elektrod powinno mieć indukcyjność i pojemność własną możliwą do pominięcia, a oporność (mierzona prądem stałym) nie powinna przekraczać 0,1 Ω . W celu wyeliminowania uchybów powodowanych doprowadzeniami, należy wykonać dwa pomiary pojemności i tg δ (dla próbki z doprowadzeniami i dla samego doprowadzenia).

Poprawną wartość współczynnika strat $\text{tg } \delta$ należy obliczać ze wzoru:

$$\text{tg } \delta = \left(\frac{I + C_u}{C_d} \right) \text{tg } \delta_w - \frac{C_u}{C_d} \text{tg } \delta_u, \text{ gdzie}$$

$\text{tg } \delta_w$ – współczynnik strat układu próbki wraz z doprowadzeniami,

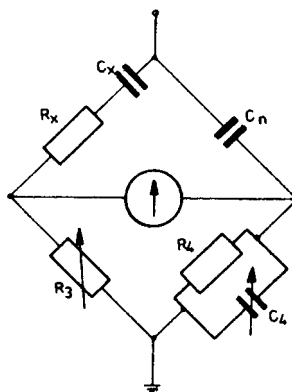
$\text{tg } \delta_u$ – współczynnik strat samego doprowadzenia,

C_u – pojemność samego doprowadzenia, [pF],

C_d – pojemność badanego kondensatora, [pF].

4.1.2.3 Wykonanie pomiarów

Do pomiaru współczynnika strat dielektrycznych, $\text{tg } \delta$, oraz do pomiaru względnej przenikalności elektrycznej, ϵ_r , stosuje się w zakresie częstotliwości od 50 Hz do 10^6 Hz metody mostkowe; od 10^6 Hz do 10^8 Hz metody rezonansowe, a od 10^8 Hz do 10^{11} Hz – technikę mikrofalową. Schemat mostka Scheringa przedstawiony jest poniżej.



Rys. 4.1.2.3 Schemat niskonapięciowego mostka Scheringa

Stan równowagi mostka charakteryzuje układ równań:

$$R_3 C_x = R_4 C_4$$

$$R_x C_x = R_3 C_4$$

Stąd wielkości mierzone:

$$C_x = C_n \frac{R_4}{R_3}$$

$$\text{tg } \delta = R_x C_x \omega = R_4 C_4 \omega$$

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_o}$$

Oblicza się pojemność C_o (kondensatora powietrznego o tych samych wymiarach co C_x). Za wynik pomiaru należy przyjąć średnie arytmetyczne z pomiarów otrzymanych na wszystkich badanych próbkach.

4.2 Próby niszczące

4.2.1 Próby wytrzymałości elektrycznej

Próby przebicia elektrycznego należy wykonać zgodnie z normą PN-IEC 60243-1 dotyczącą badań przy częstotliwości sieciowej. Próbę wytrzymałości elektrycznej można wykonać za pomocą napięć elektrycznych wywołanych powtarzającymi się impulsami zgodnie z normą PN-EN 62068.

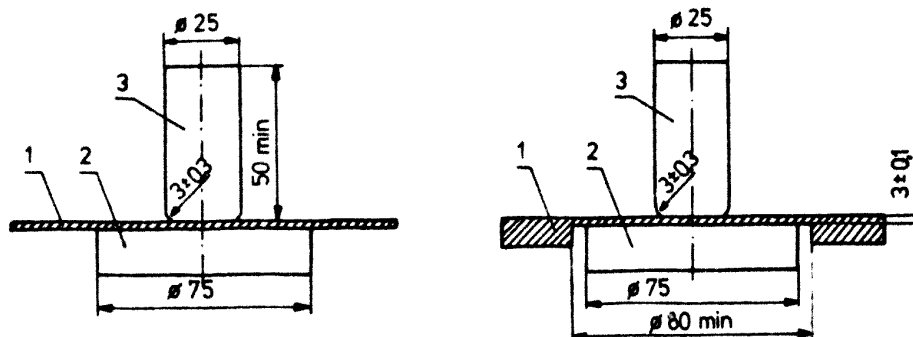
4.2.1.1 Próbki

Próbki mogą być płaskie, rurowe o ścianie do 3 mm (w przypadku ścian grubszych należy rurę otoczyć na szerokości 30 mm do grubości $3 \pm 0,2$ mm), z taśmy oraz w postaci rur giętkich i koszulek izolacyjnych. Przed badaniem próbki powinny być kondycjonowane przez 24 godziny w powietrzu o temperaturze $50 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej nie przekraczającej 20%.

4.2.1.2 Elektrody

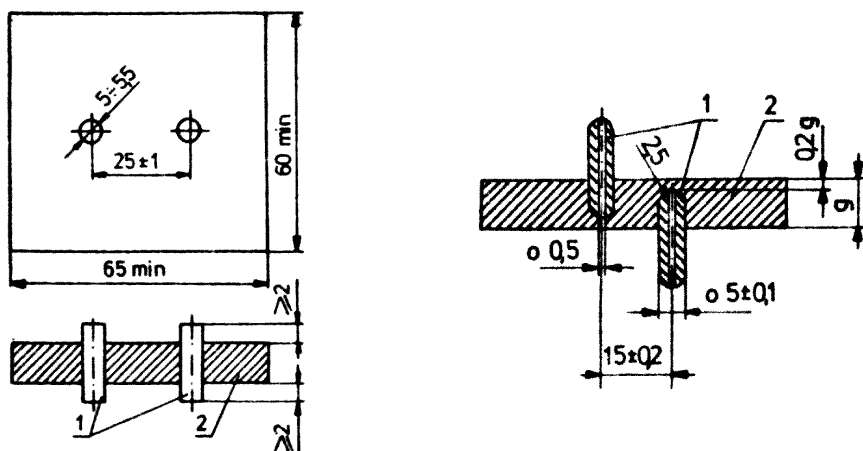
4.2.1.2.1 Elektrody do badań próbek płaskich

Elektrody do badań próbek płaskich przedstawiono na rys. 4.2.1.2.1a oraz 4.2.1.2.1b. Nacisk górnej elektrody na próbkę powinien wynosić 10 kPa.



Rys. 4.2.1.2.1a Układ elektrod do badań próbek płaskokształtnych prostopadle do warstw

1 – próbka, 2 – elektroda dolna, 3 – elektroda górna.

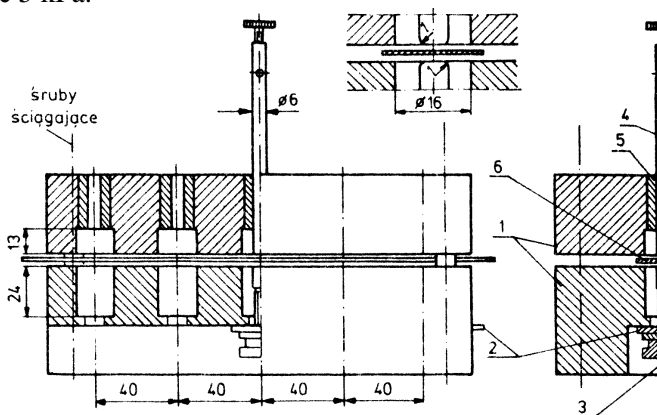


Rys. 4.2.1.2.1b Układ elektrod do badań próbek równoległych do warstw

1 – elektrody, 2 – próbka.

4.2.1.2.2 Elektrody do badania taśm

Stosuje się układ przedstawiony na rys. 4.2.1.2.2. Nacisk górnej elektrody powinien wynosić 5 kPa.



Rys. 4.2.1.2.2 Układ elektrod dla próbki z taśmy o średnicy 6 mm

1 – bloki z materiału izolacyjnego, 2 – taśma miedziana o szerokości 25 mm łącząca wszystkie dolne elektrody, 3 – elektroda dolna, 4 – elektroda górna, 5 – tulejka miedziana, 6 – próbka.

4.2.1.2.3 Elektrody do badań rur giętkkich i koszulek

Dla próbek o średnicy wewnętrznej do 12 mm elektrodą wewnętrzną powinien być pręt metalowy ściśle wsunięty do próbki, a elektrodą zewnętrzną – pasek opasujący próbkę dookoła. Próbki o średnicy większej od 12 mm należy rozciągnąć wzdłuż i badać przy użyciu elektrod według 4.2.1.2.2.

4.2.1.2.4 Elektrody do badania rur sztywnych

- .1 W przypadku rur o średnicy wewnętrznej do 100 mm i grubości ścianki do 3 mm elektrodą wewnętrzną powinien być dopasowany pręt, folia lub pasek metalowy. Elektrodą zewnętrzną powinien być pasek z folii metalowej o szerokości 25 mm, opasujący próbkę dookoła. Elektroda wewnętrzna powinna być szersza, aby wystawała co najmniej 25 mm poza brzegi elektrody zewnętrznej. Rury o ściankach grubszych należy obtoczyć na szerokość 30 mm do grubości $3 \pm 0,2$ mm.
- .2 W przypadku rur o średnicy wewnętrznej większej od 100 mm i grubości ścianki do 3 mm elektrodą zewnętrzną powinien być pasek z folii metalowej o szerokości 75 mm, opasujący ciasno próbkę dookoła. Elektrodą wewnętrzną powinien być krążek o średnicy 25 mm wykonany z folii metalowej. W przypadku rury o większej grubości należy ją obtoczyć zewnątrz na szerokości 80 mm do grubości $3 \pm 0,2$ mm.

4.2.1.3 Układ i aparatura pomiarowa

Źródło napięcia powinno zapewniać doprowadzenie do elektrod napięcia praktycznie sinusoidalnego w całym zakresie mierzonych napięć. Moc transformatora probierczego powinna zapewnić doprowadzenie do próbki prądu o wartości co najmniej 40 mA w całym zakresie napięć probierczych.

4.2.1.4 Wykonanie badań

W zależności od sposobu przyłożenia i czasu działania rozróżniamy wytrzymałość dielektryczną doraźną, jednonminutową oraz 20-sekundową.

4.2.1.4.1 Pomiar wytrzymałości dielektrycznej doraźnej, E_p

Napięcie probiercze podnosi się z jednostajną szybkością od zera do napięcia przebiccia, które powinno być osiągnięte w czasie 10 do 20 s od chwili rozpoczęcia próby.

4.2.1.4.2 Pomiar wytrzymałości dielektrycznej 1-minutowej, E_{p60}

Początkowe napięcie probiercze wynoszące 50% napięcia przebiccia wytrzymałości doraźnej należy utrzymywać przez 1 min., po czym podnosić skokami o wartość równą 10% napięcia początkowego zaokrąglając wartość do 1 kV, utrzymując je na każdym stopniu przez 1 min., aż do osiągnięcia przebiccia. Czas przejścia na następny stopień nie powinien przekraczać 10 s.

4.2.1.4.3 Pomiar wytrzymałości dielektrycznej 20-sekundowej, E_{p20}

Początkowe napięcie probiercze należy osiągnąć w czasie nie dłuższym niż 10 s, podnosząc napięcie od zera do wartości wybranej ze znormalizowanego szeregu napięć probierczych (patrz tabela 4.2.1.4.3) najbliższej 40% napięcia wytrzymałości doraźnej.

Początkowe napięcie probiercze utrzymuje się przez 20 s, po czym podnosi się skokami, utrzymując je na każdym stopniu po 20 s, aż do napięcia przebicia. Czas przejścia na następny stopień nie powinien przekraczać 2 s i jest wliczany do czasu utrzymania napięcia na poszczególnych stopniach.

Tabela 4.2.1.4.3
Znormalizowany szereg napięć probierczych, kV

0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95					
1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9					
2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5					
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19					
20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100				
110	120	130	140	150	160	170	180	190	200					

4.2.1.5 Obliczanie wytrzymałości dielektrycznej

Próby wykonuje się na 5 do 10 próbkach, a wytrzymałość dielektryczną oblicza się jako średnią arytmetyczną wartości określonych ze wzoru

$$E_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{U_i}{a_i}, \quad \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$$

n – liczba pomiarów napięcia przebicia,

U_i – napięcie przebicia [V],

a_i – średnia arytmetyczna pomiarów grubości próbki w miejscu przyłożenia elektrody, [m].

4.2.2 Próby odporności na prądy pełzające

Wykonuje się próby odporności na prądy pełzające dla napięć niskich oraz dla napięć wysokich zgodnie z normą PN-EN 60112 oraz PN-EN 61302. Obydwie metody badania stosuje się wyłącznie dla porównawczej oceny przydatności stałych materiałów elektroizolacyjnych do pracy w środowisku o zwiększonej wilgotności, zawierającym substancje przewodzące prąd elektryczny.

4.2.2.1 Próba odporności na prądy pełzające metodą kropłową

Miarą odporności materiału w metodzie kropłowej jest porównawczy wskaźnik odporności na prądy pełzające CTI, czyli napięcie, przy którym zwarcie elektrod powstaje po opadnięciu na próbkę pięćdziesięciu kropli roztworu przewodzącego, a głębokość śladu pełznego nie przekracza 1 mm.

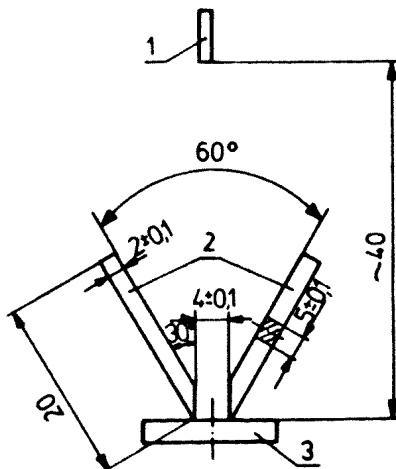
4.2.2.1.1 Próbki

Jako próbkę można użyć dowolną część kształtki wykonanej z badanego materiału, o gładkiej płaskiej powierzchni i tak dobranych wymiarach, aby roztwór w czasie pomiaru nie spływał poza krawędzie próbki.

Zaleca się, aby grubość próbki była większa od 3 mm. Przed próbą należy kondycjonować próbki w warunkach normalnych.

4.2.2.1.2 Urządzenie probiercze

Elektrody powinny być platynowe, jednak dopuszcza się stosowanie innych metali. Kształt, wymiary oraz sposób ustawienia elektrod na próbce przedstawia rys. 4.2.2.1.2. Elektrody powinny stykać się z powierzchnią próbki wzdłuż całej długości ostrza. Nacisk każdej elektrody na próbkę powinien wynieść około 1 N.



Rys. 4.2.2.1.2 Kształt, wymiary i sposób ustawienia elektrod na próbce

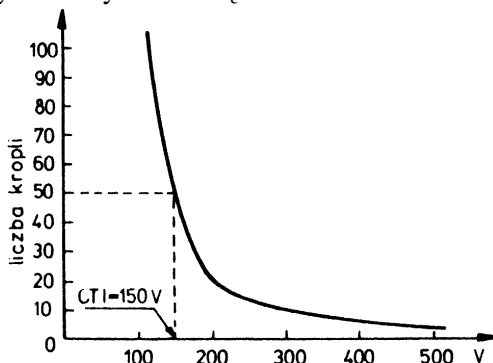
Urządzenie dozujące powinno dozować krople o objętości $20 \pm 5 \text{ mm}^3$ z częstotliwością co $30 \pm 5 \text{ s}$. Środkiem zwilżającym jest 0,1% roztwór chlorku amonowego (NH_4Cl) w wodzie destylowanej. Układ zasilający o regulowanym napięciu prądu przemiennym 50 Hz powinien mieć moc wyjściową 500 V, a wyłącznik automatyczny powinien wyłączać prąd zwarcia $1 \pm 0,1 \text{ A}$ oraz po 2 s działania prądu o natężeniu 0,5 A dla napięć probierczych do 500 V i po 10 s dla napięć wyższych. Czujnik mikrometryczny do pomiaru głębokości śladu pełzającego powinien mieć dokładność co najmniej 0,01 mm i stopkę pomiarową o średnicy 1 mm i promieniu zaokrąglenia 0,5 mm.

4.2.2.1.3 Wykonanie próby

Próbkę należy wykonać w warunkach normalnych. Dla każdego napięcia należy wykonać co najmniej 5 pomiarów. Na próbkę składa się:

.1 Wyznaczenie porównawczego wskaźnika odporności na prądy pełzające (CTI)

W celu wyznaczenia wskaźnika CTI należy wykonać pomiary kolejno przy różnych napięciach, notując liczbę kropli do zwarcia elektrod. Na podstawie uzyskanych dla każdego napięcia probierczego średnich wartości liczby kropli wykreśla się zależność przedstawioną przykładowo na rys. 4.2.2.1.3, z wykresu wyznacza się CIT.



Rys. 4.2.2.1.3, Wyznaczenie wskaźnika CTI

.2 Wyznaczenie odporności na prądy pełzające przy określonym napięciu probierczym

Dopuszcza się stosowanie uproszczonego sposobu wyznaczenia odporności na prądy pełzające, polegającego na przyłożeniu do elektrod wymaganego napięcia (CTI) i pomiarze liczby kropli do zwarcia. Materiał uważa się za spełniający wymagania, jeżeli nie nastąpi zwarcie między elektrodami po opadnięciu co najmniej 50 kropli roztworu.

.3 Wyznaczenie głębokości śladu pełznego

Niektóre materiały, zwłaszcza termoplastyczne, wykazują znaczną erozję bez wystąpienia zwarcia. W takich przypadkach należy ocenić odporność materiału po opadnięciu 50 kropli roztworu, mierząc czujnikiem mikrometrycznym głębokość śladu pełznego. Materiał uważa się za odporny (pod względem głębokości śladu pełznego) przy danym napięciu, jeżeli największa głębokość śladu pełznego nie przekracza 1 mm.

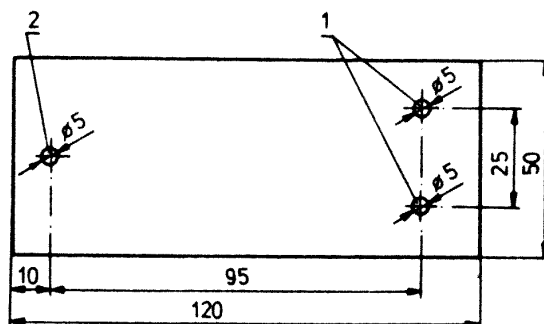
4.2.2.2 Próby odporności na prądy pełzające przy wysokim napięciu i pochyłej próbce

Próby należy przeprowadzić zgodnie z wytycznymi podanymi w normie PN-EN 60112. Miarą odporności materiału jest osiągnięta klasa napięciowa oraz głębokość erozji. W metodzie tej wyróżnia się 3 klasy napięciowe, odpowiadające przyjętym stopniom badania oraz wpływie środowiska zwilżającego:

1 stopień badania	2,5 kV, 0,15 cm ³ /min,
2 stopień badania	3,5 kV, 0,30 cm ³ /min,
3 stopień badania	4,5 kV, 0,60 cm ³ /min.

4.2.2.2.1 Próbki

Próbki powinny być wykonane według rys. 4.2.2.2.1, powinny być płaskie, o grubości 6 mm. Dopuszcza się inne grubości, lecz nie mniejsze od 3 mm.



Rys. 4.2.2.2.1 Wymiary próbki do badania odporności na prądy pełzające

1 – otwory do mocowania elektrody górnej,

2 – otwór do mocowania elektrody dolnej.

Dla każdego stopnia badania należy przygotować 5 próbek.

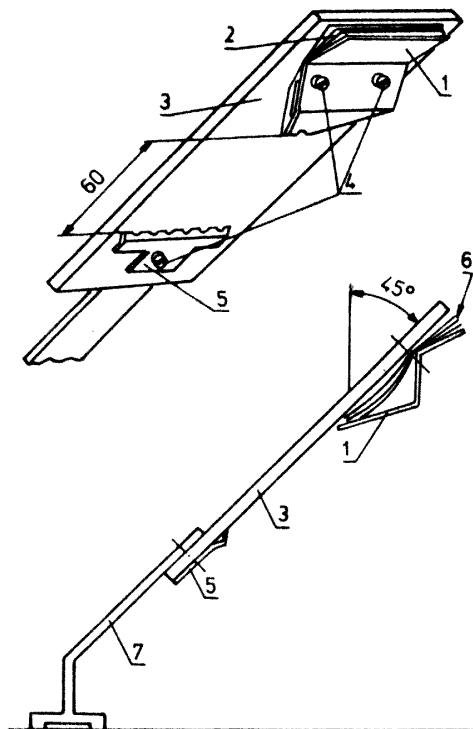
4.2.2.2.2 Urządzenie probiercze

Kształt elektrod podaje rys. 4.2.2.2.2. Elektrody, uchwyty i śruby mocujące powinny być wykonane ze stali nierdzewnej.

Urządzenie dozujące roztwór przewodzący powinno zapewniać wpływ cieczy z dokładnością $\pm 10\%$. Środkiem zwilżającym jest 0,1% roztwór chlorku amonowego (NH_4Cl) w wodzie destylowanej z dodatkiem 0,02% niejonowego środka zwilżającego (np. Fotonal).

Układ pomiarowy powinien składać się: z autotransformatora regulującego napięcie w zakresie 0-250 V i o prądzie znamionowym nie mniejszym niż 10 A, z transformatora wysokiego napięcia o napięciu co najmniej 5 kV i o prądzie zwarcia nie mniejszym niż 10 mA oraz z woltomierza elektrostatycznego co najmniej klasy 1,5.

Układ powinien być wyposażony w wyłącznik nadmiarowo prądowy działający z opóźnieniem 2 s przy wzroście prądu do 60 ± 10 mA.



Rys. 4.2.2.2.2 Kształt elektrod i sposób ich zamocowania

1 – elektroda górna, 2 – pakiet bibuły filtracyjnej, 3 – próbka,
 4 – śruby stalowe, 5 – dolna elektroda, 6 – miejsce wkraplania roztworu,
 7 – statyw do mocowania.

4.2.2.2.3 Wykonanie próby

Próby należy wykonać w warunkach normalnych. Próby rozpoczyna się od stopnia pierwszego na wszystkich 5 próbkach jednocześnie. Jeżeli w czasie krótszym niż 6 godzin jakkolwiek z próbek zostanie uszkodzona (zadziałanie wyłącznika nadmiarowo-prądowego), przyjmuje się wynik próby jako negatywny.

Jeżeli 5 próbek nie będzie uszkodzonych w czasie 6 godzin, dokonuje się pomiaru głębokości erozji. Następnie na nowych pięciu próbkach należy przeprowadzić próbę na drugim stopniu, przyjmując sposób postępowania jak dla stopnia pierwszego.

Jeżeli próbki przeszły drugi stopień próby z wynikiem pozytywnym, należy przeprowadzić próbę (na nowych próbkach) na trzecim stopniu badania. Wynikiem próby jest osiągnięta przez materiał klasa napięciowa oraz największa ze zmierzonych podczas badań głębokości erozji.

4.2.3 Próby odporności na łuk elektryczny

Próby odporności na łuk elektryczny należy wykonać zgodnie z normą PN-EN 61621 przy:

- 1) dużym natężeniu prądu i niskim napięciu oraz
- 2) małym natężeniu prądu przy wysokim napięciu.

Obydwie metody badań przeznaczone są do porównawczej oceny odporności na łuk stałych materiałów elektroizolacyjnych.

4.2.3.1 Próba odporności na łuk elektryczny przy dużym natężeniu prądu i niskim napięciu

Odporność na łuk określa się liczbą uderzeń łuku zainicjowanego przewodem zapłonowym, pod wpływem których wytwarza się na powierzchni próbki ścieżka przewodząca.

4.2.3.1.1 Próbki

Należy stosować próbki pomiarowe w kształcie płaskich krążków o średnicy co najmniej 80 mm lub kwadratów o boku co najmniej 80 mm. Grubość próbek powinna być ≥ 3 mm. Próbki powinny być przed pomiarem kondycjonowane w warunkach normalnych.

4.2.3.1.2 Urządzenie probiercze

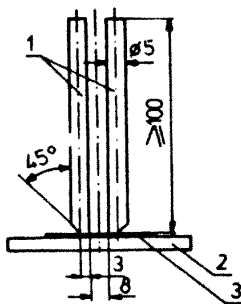
Należy stosować elektrody węglowe według rys. 4.2.3.1.2, przy czym każda z elektrod powinna być dociskana do próbki z siłą 5 N.

Przed wykonaniem pomiaru na kolejnej próbce, stykające się z próbką końce elektrod należy oczyścić i doszlifować do wymaganego kształtu.

Układ pomiarowy powinien być zasilany ze źródła prądu stałego o napięciu 220 ± 20 V pozwalającego na uzyskanie uderzeń prądu o natężeniu równym 100 A.

Automatyczne sterowanie powinno działać według następującego cyklu:

- załączanie przez czas $0,20 \pm 0,02$ s,
- wyłączenie przez czas $2,0 \pm 0,2$ s,
- załączanie przez czas $0,20 \pm 0,02$ s.



Rys. 4.2.3.1.2 Elektrody, kształt i wymiary oraz ustawienie na próbce do badania odporności na łuk elektryczny

1 – elektrody, 2 – próbki, 3 – miedziany przewód zapłonowy $\varnothing 0,05$ mm.

4.2.3.1.3 Wykonanie próby

Po wyregulowaniu natężenia prądu do wartości 100 ± 5 A należy ustawić elektrody, próbkę i przewód zapłonowy zgodnie z rys. 4.2.3.1.2, a następnie uruchomić automatyczne sterowanie według cyklu podanego w 4.2.3.1.2.

Po wymianie przewodu inicjującego – czynności należy powtarzać aż do wystąpienia łuku wywołanego przewodnością materiału próbki. Wymiana przewodu inicjującego nie powinna trwać dłużej niż 30 s.

Za wynik przyjmuje się średnią arytmetyczną z co najmniej 5 prób.

4.2.3.2 Próba odporności na łuk elektryczny o małym natężeniu prądu przy wysokim napięciu

Próbkę należy wykonać zgodnie z normą PN-EN 61621. Odporność na łuk elektryczny wyraża się czasem w sekundach, który upłynął od chwili powstania łuku na powierzchni badanego materiału do chwili zniszczenia tej powierzchni na skutek powstania ścieżki przewodzącej, erozji, topnienia się materiału lub zapalenia się.

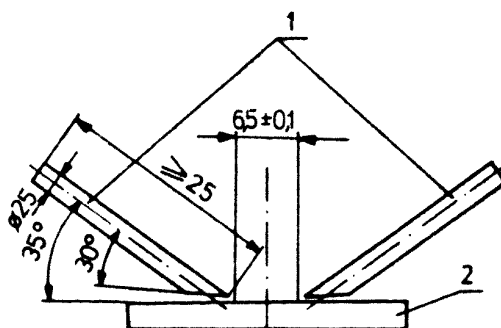
4.2.3.2.1 Próbki

Próbkę może stanowić dowolna część kształtki wykonanej z badanego materiału o płaskiej gładkiej powierzchni. Zaleca się, aby próbki były nie cieńsze niż 3 mm i o takich wymiarach powierzchni, aby odległość elektrod od brzegu próbki nie była mniejsza niż 8 mm.

Przed kondycjonowaniem próbki należy oczyścić wodą lub odpowiednim rozpuszczalnikiem i przetrzeć suchą szmatką. Próbki należy kondycjonować przez 24 h w temperaturze 50°C przy wilgotności względnej 20%, a następnie przez 48 h w warunkach normalnych.

4.2.3.2.2 Urządzenie probiercze

Elektrody przedstawione na rys. 4.2.3.2.2, względnie tylko końcówki na długości 10 mm, powinny być wykonane z wolframu.



Rys. 4.2.3.2.2 Kształt i ustawienie elektrod

1 – elektrody, 2 – próbki.

Przed każdym pomiarem należy elektrody oczyścić z sadzy i zabrudzeń. Nacisk każdej elektrody na próbkę powinien wynosić około 0,5 N. Układ pomiarowy powinien zapewniać wysokie napięcie regulowane do 15 kV i prąd 100 mA, z możliwością regulacji prądu łuku za pomocą oporników.

4.2.3.2.3 Wykonanie próby

Badanie należy wykonać w normalnych warunkach otoczenia. Napięcie probiercze przemienne powinno wynosić 12,5 kV. Próbę przeprowadza się stosując 7 stopni badania. Pierwsze trzy stopnie charakteryzują się łukiem impulsowym, a pozostałe – stałym. Stopnie badania odporności na łuk wykonuje się według tabeli 4.2.3.2.3.

Tabela 4.2.3.2.3
Próba odporności na łuk elektryczny

Stopień próby	Prąd łuku, [mA]	Czas trwania, [s]		Czas trwania stopnia, [s]	Łączny czas pomiaru, [s]
		łuku	przerwy		
I	10	¼	1 ¾	60	60
II	10	¼	¾	60	120
III	10	¼	¼	60	180
IV	10	ciągły	–	60	540
V	20	ciągły	–	60	300
VI	30	ciągły	–	60	360
VII	20	ciągły	–	60	420

Jeżeli materiał nie ulegnie zniszczeniu w czasie I stopnia, należy przejść na II, a potem kolejno na III, IV, V, VI i VI stopień próby. Jeżeli materiał nie został zniszczony, pomiar należy zakończyć i przyjąć odporność na łuk większą od 420 s.

Jeżeli w ciągu 420 s nie wystąpi ścieżka przewodząca ani zapalenie się materiału, ale materiał eroduje lub topi się, należy pomiar przerwać po umownym czasie 240 s i zmierzyć maksymalną głębokość ubytku.

Należy wykonać 10 pomiarów i obliczyć średnią arytmetyczną, przy czym należy podać w sekundach wartość minimalną w przypadku powstania ścieżki przewodzącej – albo maksymalną głębokość ubytku w przypadku erozji lub topienia się materiału.

4.2.4 Próby wytrzymałości na rozciąganie

Próby wytrzymałości na rozciąganie należy wykonać zgodnie z normą PN-EN ISO 527-1.

Obok wyznaczania wytrzymałości na rozciąganie określa się takie cechy wytrzymałościowe jak:

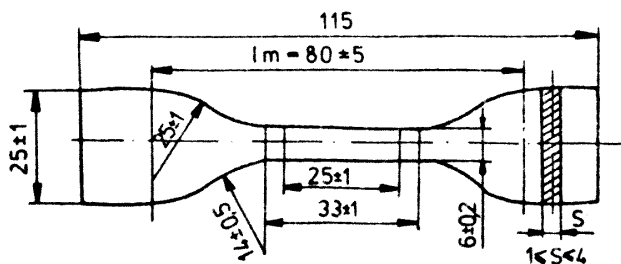
- granicę plastyczności, tj. najmniejsze naprężenie rozciągające, przy którym następuje szybki wzrost odkształceń plastycznych bez zauważalnego wzrostu naprężenia;

- procentowe wydłużenie względne przy zerwaniu, tj. wyrażony w procentach stosunek wydłużenia bezwzględnego w chwili zerwania próbki do pierwotnej długości próbki.

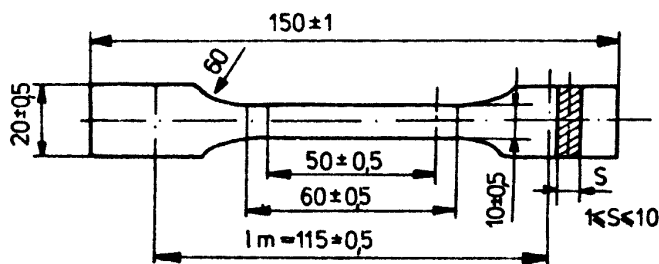
4.2.4.1 Próbki

Dla tworzyw sztucznych stosuje się trzy typy próbek:

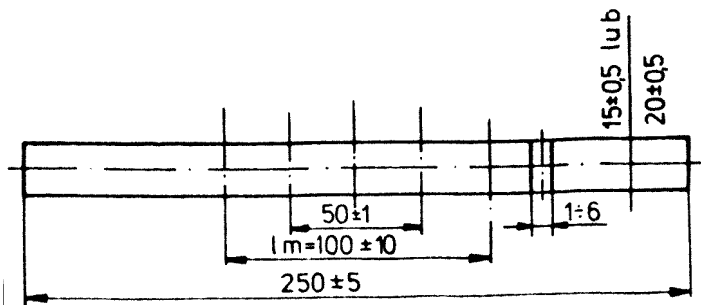
- do badania tworzyw o dużym wydłużeniu przy zerwaniu, (np. polietylen, uplastyczniony polichlorek winylu), rys. 4.2.4.1-1,
- do badania tworzyw o małym wydłużeniu przy zerwaniu, rys. 4.2.4.1-2,
- do badania tworzyw warstwowych wzmocnionych włóknem szklanym, rys. 4.2.4.1-3



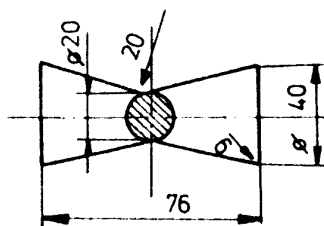
Rys. 4.2.4.1-1 Próbki do badania tworzyw o dużym wydłużeniu przy zerwaniu



Rys. 4.2.4.1-2 Próbki do badania tworzyw o małym wydłużeniu przy zerwaniu



Rys. 4.2.4.1-3 Próbki do badania tworzyw warstwowych wzmocnionych włóknem szklanym



Rys. 4.2.4.1-4 Próbki do badania materiałów ceramicznych

Przygotowane próbki powinny mieć powierzchnie gładkie, bez rys i uszkodzeń mechanicznych. Przed przystąpieniem do prób, próbki należy poddać kondycjonowaniu przy temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej powietrza $65 \pm 5\%$. Liczba próbek powinna wynosić co najmniej 5.

4.2.4.2 Urządzenie probiercze

Do badania należy wykorzystać maszynę wytrzymałościową, umożliwiającą pomiar siły rozrywającej z dokładnością większą niż 1% mierzonej wielkości. Maszyna powinna umożliwiać pracę przy ustalonych prędkościach posuwu uchwytu.

Do pomiaru wydłużenia próbek przy odkształceniu należy stosować tensometr, umożliwiający pomiar przy odkształceniu co najmniej 0,5 mm – z dokładnością do 0,1%, a przy odkształceniu powyżej 10 mm – z dokładnością do 1%.

Do pomiaru grubości i szerokości próbek należy stosować mikrometr o dokładności do 0,01 mm.

4.2.4.3 Wykonanie próby

Próbę wykonuje się w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej powietrza $65 \pm 5\%$. Próbki mierzy się co najmniej w 3 miejscach z dokładnością do 0,01 mm, przy czym próbki, których wymiary minimalne i maksymalne różnią się o więcej niż 0,2 mm, należy odrzucić. Jeżeli próbki otrzymywane przez prasowanie wykazują technologiczną zależność, do obliczenia przekroju należy przyjąć szerokość w połowie grubości próbki. Próbkę mocuje się w uchwytach maszyny wytrzymałościowej w ten sposób, aby odległość między uchwytami odpowiadała wartości l_m .

Na ogół stosuje się jedną z niżej podanych prędkości posuwu uchwytu:

- 1 mm/min $\pm 50\%$,
- 5 mm/min $\pm 20\%$,
- 50 mm/min $\pm 10\%$,
- 100 mm/min $\pm 10\%$,
- 500 mm/min $\pm 10\%$.

Za wynik przyjmuje się średnią arytmetyczną wykonywanych oznaczeń.

4.2.4.4 Obliczanie wyników

4.2.4.4.1 Napężenie zrywające:

$$R_r = \frac{P_r}{A_0}, \text{ [MPa]}$$

P_r – siła zrywająca, [N],

A_0 – pole pierwotnego przekroju poprzecznego, [mm²].

4.2.4.4.2 Granica plastyczności:

$$R_{plr} = \frac{P_{plr}}{A_0}, \text{ [MPa]}$$

P_{plr} – siła rozciągająca na granicy plastyczności, [N].

4.2.4.4.3 Procentowe wydłużenie względne przy zerwaniu:

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta l}{l_0} 100, \text{ [%]}$$

Δl – wydłużenie bezwzględne, [cm],

l_0 – pierwotną długość pomiarowa próbki, [cm].

4.2.5 Próby wytrzymałości na zginanie

Próbkę należy wykonać zgodnie z normą PN-EN ISO 178. Metoda badania polega na wyznaczeniu wytrzymałości doraźnej na zginanie, tj. największej wartości napężenia, przy której następuje złamanie próbki.

4.2.5.1 Próbki

Próbki powinny mieć kształt prostopadłościanu o wymiarach:

długość 80 mm,

szerokość $10 \pm 0,3$ mm,

grubość $4 \pm 0,2$ mm.

Dopuszcza się stosowanie próbek o innych wymiarach z zachowaniem proporcji przekroju próbki określonych w poniższej tabeli.

Tabela 4.2.5.1

Przekroje próbek poddawanych badaniu wytrzymałości na zginanie

Grubość t , [mm]	Szerokość b , [mm]
od 1 do 3	$25 \pm 0,5$
powyżej 3 do 5	$10 \pm 0,5$
powyżej 5 do 10	$15 \pm 0,5$
powyżej 10 do 20	$20 \pm 0,5$
powyżej 20 do 35	$35 \pm 0,5$
powyżej 35 do 50	$50 \pm 0,5$

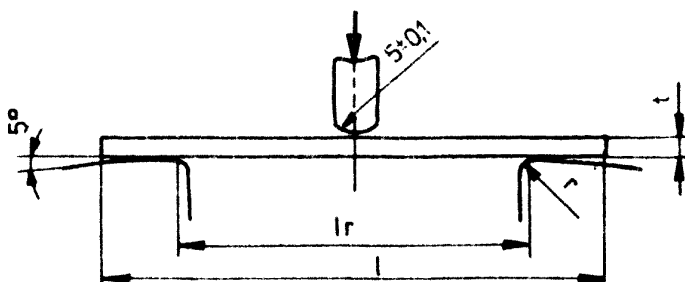
Próbki powinny być wykonane w zależności od rodzaju materiału, metodą prasowania, wtrysku lub wycinania.

Przed przystąpieniem do próby, próbki należy poddać kondycjonowaniu przy temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej powietrza $65 \pm 5\%$. Badania przeprowadza się na co najmniej 5 próbkach.

4.2.5.2 Urządzenie probiercze

Do próby stosuje się maszynę wytrzymałościową o dokładności wskazań $\pm 1\%$, pozwalającą na ciągłe równomierne zwiększanie nacisku z równoczesnym pomiarem jego wielkości.

Kształt podpór i trzpienia naciskającego powinien być zgodny z rys 4.2.5.2. Rozstaw podpór powinien wynosić $l_r = 16t \pm 0,5$; $r = 0,3 \pm 0,2$ mm przy grubości próbek do 3 mm, $r = 2,0 \pm 0,2$ mm grubości próbek większej od 3 mm.



Rys. 4.2.5.2 Urządzenie probiercze próby wytrzymałości na zginanie

4.2.5.3 Wykonanie próby

Próbę wykonuje się przy temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej powietrza $65 \pm 5\%$. W połowie próbki należy zmierzyć jej szerokość z dokładnością do 0,1 mm i grubość z dokładnością do 0,02 mm.

Trzpień naciskający powinien stykać się z płaszczyzną próbki liniowo i znajdować się w środku rozstawienia punktów podparcia. Zginanie należy wykonać naciskając równomiernie trzpieniem na próbkę z prędkością $2 \pm 0,2$ mm/min aż do złamania próbki.

4.2.5.4 Obliczenie wyników

Wytrzymałość doraźna na zginanie wynosi:

$$R_g = \frac{3 \cdot P \cdot l_r}{2 \cdot b \cdot t^2}, \quad [\text{MPa}]$$

- P – siła występująca podczas zginania w chwili złamania próbki, [N],
- l_r – rozstaw podpór, [mm],
- b – szerokość próbki, [mm],
- t – grubość próbki, [mm],

Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną wyników wykonanych oznaczeń.

4.2.6 Oznaczenie udarności metodą Charpy

Oznaczenie udarności metodą Charpy należy wykonać zgodnie z normą PN-EN ISO 179-1. Stosuje się je do takich materiałów elektroizolacyjnych, jak tłoczywa, żywice lane oraz inne tworzywa sztuczne i tworzywa warstwowe.

4.2.6.1 Próbki

Próbki z tłoczyw, żywic i tworzyw termoutwardzalnych wykonuje się przez prasowanie, odlewanie lub wtrysk. Próbki z arkuszy i płyt termoplastycznych oraz tworzyw warstwowych, a także próbki z wyrobów gotowych wykonuje się przez obróbkę skrawaniem.

Stosuje się próbki trzech typów:

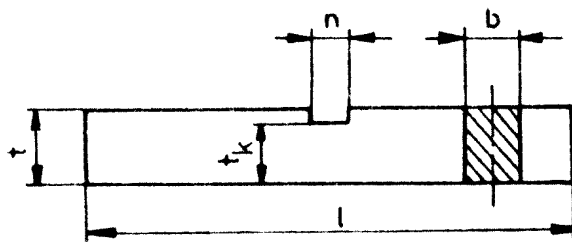
- bez karbu o wymiarach według tabeli 4.2.6.1-1,
- z dwoma typami karbu o wymiarach według tabeli 4.2.6.1-2 i rysunków 4.2.6.1-1 i 4.2.6.1-2.

Tabela 4.2.6.1-1
Wymiary próbki bez karbu

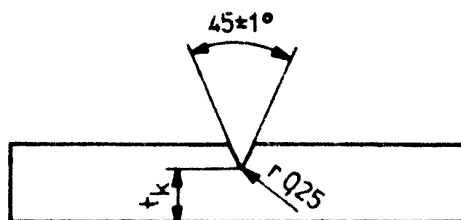
Typ próbki	Wymiary próbek, [mm]			Rozstaw podpór, d [mm]
	długość, l	szerokość, b	grubość, t	
1	120 ± 2	$15 \pm 0,5$	$10 \pm 0,5$	70
2	80 ± 2	$10 \pm 0,5$	$4 \pm 0,2$	60
3	50 ± 1	$6 \pm 0,2$	$4 \pm 0,2$	40

Tabela 4.2.6.1-2
Wymiary próbki z dwoma typami karbów

Typ próbki	Typ karbu	Grubość pod karbem t_k , [mm]	Szerokość karbu n , [mm]
1	A	$6,7 \pm 0,3$	$2 \pm 0,2$
	B	$8,0 \pm 0,3$	-
2	A	$2,7 \pm 0,2$	$2 \pm 0,2$
	B	$3,2 \pm 0,2$	-
3	A	$2,7 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,1$
	B	$3,2 \pm 0,2$	-



Rys. 4.2.6.1-1 Karb typu A



Rys. 4.2.6.1-2 Karb typu B

Jeżeli próbki wycina się z płyt i arkuszy, grubość płyty w zakresie 3 do 10 mm jest grubością próbki. Jeżeli grubość płyty przekracza 10 mm, należy próbkę obrobić dwustronnie skrawaniem.

Przy stosowaniu próbek o wymiarach niestandardowych, głębokość karbu powinna być proporcjonalna do grubości próbki:

$$t_k = \frac{2}{3}t, \text{ przy karbie typu A,}$$

$$t_k = 0,8t, \text{ przy karbie typu B.}$$

Liczba próbek do jednego oznaczenia powinna wynosić co najmniej 10. Przed przystąpieniem do oznaczania – próbki należy podać kondycjonowaniu przy temperaturze 20 ± 2 °C i wilgotności względnej powietrza $65 \pm 5\%$.

4.2.6.2 Urządzenie probiercze

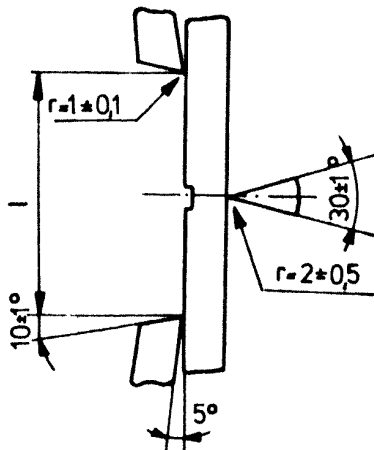
Do wykonania oznaczenia stosuje się młot wahadłowy o sztywnej konstrukcji, umożliwiający oznaczenie energii zużytej na złamanie próbki. Wartość energii zużytej na złamanie stanowi różnicę początkowej energii potencjalnej młota wahadłowego i energii pozostałej po załamaniu próbki. Podstawowe dane charakterystyczne przyrządu podano w poniższej tabeli.

Tabela 4.2.6.2
Dane charakterystyczne urządzenia probierczego do badania udarności metodą Charpy

Energia udaru, [J]	Prędkość młota w chwili udaru, [m/s]	Maksymalne dopuszczalne straty na tarcie, [%]	Dopuszczalny błąd po korekcie I
0,5	$2,9 \pm 0,29$	4	0,01
1,0		2	0,01
2,0		1	0,01
4,0		0,5	0,02
5,0		0,5	0,02
7,5	$3,8 \pm 0,29$	0,5	0,05
15,0			0,05
25,0			0,10
50,0			0,10

Ostrze młota powinno mieć kształt klina o kącie wewnętrznym $30 \pm 1^\circ$ i zaokrągleniu o promieniu $r = 2 \pm 0,5$ mm. Ostrze powinno przechodzić w środku między podporami próbki z tolerancją $\pm 0,2$ mm i powinno stykać się z próbką na całej szerokości.

Podpory próbki powinny stanowić dwa sztywne bloki – tak ustawione, aby oś wzdłużna spoczywającej na nich idealnie prostokątnej próbki znajdowała się w położeniu poziomym z tolerancją $\pm 0,5\%$. Kształt podpór podano na rys. 4.2.6.2.



Rys. 4.2.6.2 Ostrze młota i podpory próbki (widok z góry)

4.2.6.3 Wykonanie próby

Należy wybrać według tabeli 4.2.6.2 młot o odpowiednim zapasie energii, aby na złamanie próbki zostało zużyte nie mniej niż 10% i nie więcej niż 80% zapasu energii młota. Przed próbą należy przeprowadzić próby kontrolne (bez próbek) w celu sprawdzenia, czy całkowite straty na tarcie nie są większe niż dopuszczalne.

4.2.6.4 Obliczanie wyników

Do obliczenia należy przyjąć tylko próbki całkowicie złamane, jak również próbki pęknięte, których obie części łączy cienka błonka naskórka prasowniczego.

4.2.6.4.1 Udarność próbek bez karbu

$$a_n = \frac{A_n}{b \cdot t} 10^3, \left[\frac{\text{J}}{\text{mm}^2} \right]$$

A_n – energia udaru zużyta na złamanie próbki, [J],

b – szerokość próbki, [mm],

t – grubość próbki, [mm].

4.2.6.4.2 Udarność próbki z karbem

$$a_k = \frac{A_k}{b \cdot t_k} 10^3, \left[\frac{\text{J}}{\text{mm}^2} \right]$$

A_k – energia udaru zużyta na złamanie próbki z karbem, [J],

b – szerokość próbki, [mm],

t_k – grubość próbki pod karbem, [mm].

4.2.6.4.3 Udarność względna

$$KZ = \frac{a_k}{a_n} 100, [\%]$$

4.2.7 Próba niepalności (*Incombustibility test*)

Próbie niepalności należy wykonać zgodnie z normą IEC 60092-101 pkt. 2.28.1. Próba ta ocenia zdolność do podtrzymania ognia przez badany materiał i nie ma zastosowania do kabli elektrycznych, dla których istnieją inne próby. Szczególnymi cechami tej próby są: pomiar czasu, po upływie którego następuje samogaśnięcie podpalonej próbki, jak również pomiar długości, na jakiej próbka uległa spaleniu.

4.2.7.1 Zasady próby

Materiał elektroizolacyjny poddawany próbie niepalności należy umieścić w komorze podgrzanej do 750 °C i ocenić reakcję materiału na wpływ gorąca w zależności od tego, czy ulegnie zapaleniu i płomień będzie podtrzymywany.

4.2.7.2 Komora destylacyjna

Komora powinna mieć kształt cylindra o średnicy 76 mm i wysokości 250 mm. Górna część powinna być ogrzewana na długości co najmniej 125 mm, na przykład za pomocą opornika elektrycznego przez ściankę z izolacji ogniotrwałej (rura grzewcza). W dnie komory powinno być wywierconych dziewięć otworów o średnicy 3 mm. Pokrywa powinna być wyposażona pośrodku w regulowaną szczelinę od 6 mm do 8 mm i długości równej pełnej średnicy komory destylacyjnej.

Temperaturę należy mierzyć za pomocą termopary umieszczonej w środku komory destylacyjnej w połowie odległości między badaną próbką a wewnętrzną powierzchnią komory. Próbka powinna być zawieszona w środku rury grzewczej przez cały czas trwania próby.

4.2.7.3 Przygotowanie próbek

Całkowita objętość próbki powinna zawierać się w granicach od 4 cm³ do 6 cm³. Znormalizowane wymiary: około 50 mm x 20 mm. Jeżeli materiał ma grubość mniejszą niż 3 mm, wymagana objętość powinna być uzyskana przez złożenie kawałków o wymiarach 50 mm x 25 mm w pakiet mocno związany drutem miedzianym.

4.2.7.4 Przebieg próby

Komora destylacyjna powinna być podgrzana do 750 °C i próbka powinna przebywać w komorze przez 10 minut.

4.2.7.5 Wyniki próby

Materiał nie można uznać za niepalny jeśli:

- materiał pali się samoistnie wewnątrz komory destylacyjnej;
- płomień inicjujący, którego początkowa wysokość powinna wynosić 10 ± 2 mm, osiąga wysokość 30 mm z charakterystyczną zmianą barwy.

Niewielka zmiana barwy płomienia, której nie towarzyszy znaczące zwiększenie wysokości, nie oznacza, że materiał jest palny.

4.2.8 Próba nierozprzestrzeniania płomienia (*Flame-retardant test*)

Próbę nierozprzestrzeniania płomienia należy wykonać zgodnie z normą IEC 60092-101 pkt. 2.28.2. Próba ta nie ma zastosowania do kabli elektrycznych, dla których istnieją inne próby.

4.2.8.1 Zasady próby

Próbkę należy poddać działaniu płomienia w odstępach czasowych, a nierozprzestrzenianie płomienia ocenia się na podstawie ilości spalonego lub uszkodzonego materiału.

4.2.8.2 Opis aparatury

Należy zastosować zwykły palnik typu Bunsena zasilany gazem, którego płomień wyregulowany w spokojnym powietrzu, w pozycji pionowej ma przybliżoną wysokość 125 mm, a długość błękitnej części płomienia wynosi około 35 mm.

Próbka powinna być przymocowana do cienkiego drutu metalowego w taki sposób, aby jej oś wzdłużna była nachylona pod kątem około 45° do poziomu, a jej oś poprzeczna była pozioma.

4.2.8.3 Próbka

Próbkę stanowi sztabka lub pasek o długości co najmniej 120 mm, szerokości 10 mm i grubości 3 mm. Próbki o innych wymiarach podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS. W przypadku rur lub kształtek, których poprzeczny przekrój nie jest znacząco większy niż prostokąt o wymiarach 10 mm x 3 mm, próbka może być wykonana na odcinku niniejszego przedmiotu o długości 120 mm. Próbka powinna mieć grubość 10 mm.

4.2.8.4 Przebieg próby

Próba powinna być przeprowadzana w temperaturze otoczenia z dala od przeciągów. Oś palnika typu Bunsena powinna być ustawiona w sposób, aby koniec błękitnej części płomienia ledwie dotykał dolnego końca próbki. Płomień należy przyłożyć pięć razy przez 15 s w odstępach 15 sekundowych. Po ostatnim przyłożeniu płomienia należy pozwolić próbce na wypalenie się.

4.2.8.5 Wynik próby

Materiał jest uważany za nierozprzestrzeniający płomienia, jeżeli spalona lub uszkodzona część próbki ma długość nie większą niż 60 mm.

4.2.9 Próba odporności na wilgotność (*Moisture-resistance test*)

Próbie odporności materiałów elektroizolacyjnych na wilgoć należy wykonać zgodnie z normą IEC 60092-101 pkt. 2.28.3. Próba ta nie ma zastosowania do kabli elektrycznych, dla których istnieją inne próby.

4.2.9.1 Zasada próby

Odporność na wilgoć materiału elektroizolacyjnego jest oceniana przez określenie rezystancji izolacji próbki po zanurzeniu w wodzie.

4.2.9.2 Sposoby pomiaru odporności izolacji

Odporność izolacji powinna być określona odpowiednimi metodami podanymi w IEC 60167 z niżej podanymi zmianami oraz zgodnie z 4.2.9.3. Wymiary próbek powinny być takie, jak podano w poniższej tabeli.

Tabela 4.2.9.2
Wymiary próbek do badania odporności na wilgotność

Rodzaje elektrod	Kształt materiału	Wymiary próbek
ostro zakończony kołek	plyty	50 mm x 75 mm
ostro zakończony kołek	rury i pręty	długość 75 mm
farba przewodząca	plyty	60 mm x 150 mm
farba przewodząca	rury i pręty	długość 60 mm
pręt	plyty	szerokość 25 mm

4.2.9.3 Przebieg próby

4.2.9.3.1 Przygotowanie próbek

Elektrody należy przymocować lub przyłożyć do próbki przed czynnościami według 4.2.9.3.2 i 4.2.9.3.3. Tam, gdzie normalnie praktykuje się stosowanie specjalnych środków chroniących przed wnikaniem wilgoci, na przykład pokrywanie lakierami, próbkę należy przygotować w taki sam sposób przed przymocowaniem lub przyłożeniem elektrod i przed czynnościami według 4.2.9.3.2 i 4.2.9.3.3.

4.2.9.3.2 Kondycjonowanie wstępne

Próbkę należy wysuszyć w przewietrzanej suszarce w temperaturze $50\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ i wilgotności względnej niższej niż 20 % przez 24 h, a następnie ochłodzić do temperatury otoczenia (od 15 °C do 25 °C).

4.2.9.3.3 Zanurzenie w wodzie

W ciągu 1 h po kondycjonowaniu wstępnym i ochłodzeniu według 4.2.9.3.2 próbkę należy zanurzyć w wodzie destylowanej o temperaturze $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 24 h.

4.2.9.3.4 Pomiar oporności izolacji po zanurzeniu w wodzie

Po zanurzeniu według 4.2.9.3.3 próbkę należy wyjąć z wody i usunąć nadmiar wody z jej powierzchni przez dociśnięcie suchej szmatki lub bibuły filtracyjnej. Następnie jak najszybciej należy zmierzyć oporność izolacji. Czas od wyjęcia próbki z wody do rozpoczęcia pomiaru nie powinien przekroczyć 2 min. Wartość oporności izolacji powinna być odczytana po upływie 1 min od przyłożenia napięcia.

Wartość minimalnej rezystancji izolacji będzie każdorazowo rozpatrywana przez PRS.

4.2.10 Próby ciepłoodporności oraz starzenia

Próby ciepłoodporności powinny być wykonane zgodnie z wieloarkusową normą PN-EN 60216-1 oraz PN-EN 60544. Ocenę prób starzeniowych i kwalifikację układów elektroizolacyjnych należy wykonać w oparciu o normę PN-EN 60505.

5 ZAŁĄCZNIK

5.1 Powołania normatywne*

1. IEC 60093:1980 Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials.
2. IEC 60095-101:2002 Electrical installations in ships – Part 101: Definitions and general requirements.
3. IEC 60095-350:2001 Electrical installations in ships – Part 350: Shipboard power cables – General construction and test requirements.
4. IEC 60095-351:2004 Electrical installations in ships – Part 351: Insulating materials for shipboard and offshore units, power, control, instrumentation, telecommunication and data cables.
5. IEC 60167:1964 Methods of test for the determination of the insulation resistance of solid insulating materials.
6. IEC 60250:1969 Recommended methods for the determination of the permittivity and dielectric dissipation factor of electrical insulating materials at power, audio and radio frequencies including metre wavelengths.
7. IEC 61035-1:1990 Specification for conduit fittings for electrical installations – Part 1: General requirements.

* Aktualne w chwili druku. Proszę sprawdzić aktualność norm przed stosowaniem.

8. IEC 61035-2-2 Specification for conduit fittings for electrical installations – Part 2: Particular specifications – Section 2: Conduit fittings of insulating material.
9. PN-EN 50321:2002 Obuwie elektroizolacyjne do prac przy instalacjach niskiego napięcia.
10. PN-EN 60076-3:2002 Transformatory – Część 3: Poziomy izolacji, próby wytrzymałości elektrycznej i zewnętrzne odstępstwa izolacyjne w powietrzu.
11. PN-EN 60085:2005(U) Izolacja elektryczna – Klasyfikacja termiczna.
12. PN-EN 60112:2003 (U) Metoda wyznaczania wskaźników porównawczych i odporności na prądy pełzające materiałów elektroizolacyjnych stałych.
13. PN-EN 60216-1:2005 Materiały elektroizolacyjne – Oznaczanie ciepłoodporności – Część 1: Procedury starzenia i ocena wyników badania.
14. PN-EN 60216-2:2006 (U) Materiały elektroizolacyjne – Oznaczanie ciepłoodporności – Część 2: Określanie ciepłoodporności materiałów elektroizolacyjnych – Dobór kryterium badania.
15. PN-EN 60216-3:2006 (U) Materiały elektroizolacyjne – Oznaczanie ciepłoodporności – Część 3: Instrukcje obliczania charakterystyk ciepłoodporności.
16. PN-EN 60216-5:2003 (U) Materiały elektroizolacyjne – Oznaczanie ciepłoodporności – Część 5: Wyznaczenie wskaźnika względnej odporności cieplnej (RTE) materiału izolacyjnego.
17. PN-EN 60216-6:2007 (U) Materiały elektroizolacyjne – Oznaczanie ciepłoodporności – Część 6: Wyznaczenie wskaźników odporności cieplnej (TI i RTE) materiału izolacyjnego metodą ustalonego czasu.
18. PN-EN 60243-1:2002 (U) Metody badań wytrzymałości elektrycznej materiałów elektroizolacyjnych stałych – Część 1: Badania przy częstotliwości sieciowej.
19. PN-EN 60371-1:2004 (U) Wymagania techniczne dotyczące materiałów elektroizolacyjnych zawierających mikę – Część 1: Definicje i wymagania ogólne.
20. PN-EN 60371-2:2005 (U) Wymagania techniczne dotyczące materiałów elektroizolacyjnych zawierających mikę – Część 2: Metody badań.
21. PN-EN 60376:2006 (U) Wymagania dotyczące technicznego sześćiofluorku siarki (SF6) przeznaczonego do urządzeń elektrycznych.
22. PN-EN 60464-1:2003 Lakiery elektroizolacyjne – Część 1: Definicje i wymagania ogólne.
23. PN-EN 60464-2:2002 (U) Lakiery stosowane na izolację elektryczną – Część 2: Metody badań.
24. PN-EN 60464-3-1:2002 (U) Lakiery stosowane na izolację elektryczną – Część 3-1: Wymagania dla poszczególnych materiałów – Lakiery impregnacyjne utwardzane w temperaturze otoczenia.
25. PN-EN 60464-3-2:2002 (U) Lakiery stosowane na izolację elektryczną – Część 3-2: Wymagania dla poszczególnych materiałów – Lakiery impregnacyjne utwardzane na gorąco.
26. PN-EN 60505:2005 (U) Ocena i kwalifikacja układów elektroizolacyjnych.

27. PN-EN 60544-1:2002 (U) Materiały elektroizolacyjne – Określanie oddziaływań promieniowania jonizującego – Część 1: Oddziaływanie promieniowania i dozymetria.
28. PN-EN 60544-4:2004 (U) Materiały elektroizolacyjne – Wyznaczenie wpływu promieniowania jonizującego – Część 4: System klasyfikacji materiałów pracujących w środowisku narażonym na promieniowanie.
29. PN-EN 60544-5:2003 (U) Materiały elektroizolacyjne – Wyznaczenie wpływu promieniowania jonizującego – Część 5: Sposoby oceny wpływu na starzenie materiałów podczas eksploatacji.
30. PN-EN 60626-1:2002 (U) Materiały elektroizolacyjne giętkie wielowarstwowe – Definicje i wymagania ogólne.
31. PN-EN 60626-3:2002 (U) Materiały elektroizolacyjne giętkie wielowarstwowe – Część 3: Wymagania techniczne dla poszczególnych materiałów.
32. PN-EN 60664-1:2006 Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia – Część 1: Zasady, wymagania i badania.
33. PN-EN 60664-3:2006 Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia – Część 3: Stosowanie pokrywania, zalewania lub prasowania do ochrony przed zanieczyszczeniem.
34. PN-EN 60664-4:2006 (U) Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia – Część 4: Wpływ napięcia o wielkiej częstotliwości na koordynację izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia.
35. PN-EN 60664-5:2006 Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia – Część 5: Kompleksowa metoda ustalania odstępów izolacyjnych powietrznych i powierzchniowych równych 2 mm lub mniejszych.
36. PN-EN 60672-1:2002 (U) Materiały izolacyjne ceramiczne i szklane – Część 1: Definicje i klasyfikacja.
37. PN-EN 60672-2:2002 (U) Materiały izolacyjne ceramiczne i szklane – Część 2: Metody badań.
38. PN-EN 60672-3:2002 (U) Materiały izolacyjne ceramiczne i szklane – Część 3: Wymagania techniczne dla poszczególnych materiałów.
39. PN-EN 60674-1:2002(U) Folie z tworzyw sztucznych do celów elektrycznych.
40. PN-EN 60674-2:2002 (U) Folie z tworzyw sztucznych do celów elektrycznych – Część 2: Metody badań.
41. PN-EN 60814:2002 (U) Ciecze izolacyjne – Papier i preszpan nasycane olejem – Oznaczanie wody za pomocą automatycznego miareczkowania kulometrycznego Karla Fischera.
42. PN-EN 61006:2005 (U) Materiały elektroizolacyjne – Metody wyznaczania temperatury zeszklenia materiałów.
43. PN-EN 61198:2002 (U) Mineralne oleje izolacyjne – Metody oznaczania 2-furfuralu i związków pokrewnych.
44. PN-EN 61302:2002 (U) Materiały elektroizolacyjne – Metoda oceny odporności na prądy pełzające i erozję – Próba na kole obrotowym.

45. PN-EN 61621:2002 (U) Materiały elektroizolacyjne stałe suche – Odporność na wyładowania łukowe wysokonapięciowe, niskoprądowe.
46. PN-EN 61857-1:2005 (U) Układy elektroizolacyjne – Procedury oceny termicznej – Część 1: Wymagania ogólne – Niskie napięcie.
47. PN-EN 61857-21:2005 (U) Układy elektroizolacyjne – Procedury oceny termicznej – Część 21: Wymagania szczegółowe dla modeli ogólnego przeznaczenia – Zastosowania do uzwojeń przewodów.
48. PN-EN 61857-22:2003 (U) Układy elektroizolacyjne – Procedury oceny termicznej – Część 22: Wymagania szczegółowe dotyczące modelu zwoju zamkniętego w obwodzie – Układ indukcyjny przewodu nawojowego (EIS).
49. PN-EN 62068-1:2004 (U) Układy elektroizolacyjne – Napięcia elektryczne wywołane powtarzającymi się impulsami – Część 1: Ogólna metoda oceny wytrzymałości elektrycznej.
50. PN-EN 62114:2002 (U) Układy elektroizolacyjne (EIS) – Klasyfikacja termiczna.
51. PN-EN 62329-1:2006 (U) Termokurczliwe kształtki formowane – Część 1: Definicje i wymagania ogólne.
52. PN-EN 62329-2:2007 (U) Termokurczliwe kształtki formowane – Część 2: Metody badań.
53. PN-EN ISO 178:2006 Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości przy zginaniu.
54. PN-EN ISO 179-1:2004 Tworzywa sztuczne – Oznaczanie udarnośći metodą Charpy'ego – Część 1: Nieinstrumentalne badanie udarnośći.
55. PN-EN ISO 3915:2002 Tworzywa sztuczne. Pomiar rezystywnośći przewodzących tworzyw sztucznych.
56. PN-EN ISO 472:2002 (U) Tworzywa sztuczne. Terminologia.
57. PN-EN ISO 527-1:1998 Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwośći mechanicznych przy statycznym rozciąganiu – Zasady ogólne.
58. PN-EN ISO 527-2:1998 Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwośći mechanicznych przy statycznym rozciąganiu – Warunki badań tworzyw sztucznych przeznaczonych do prasowania, wtrysku i wytłaczania.
59. PN-EN ISO 527-3:1998 Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwośći mechanicznych przy statycznym rozciąganiu – Warunki badań folii i płyt.
60. PN-EN ISO 527-4:2000 Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwośći mechanicznych przy statycznym rozciąganiu – Warunki badań kompozytów tworzywowych izotropowych i ortotropowych wzmocnionych włóknami.
61. PN-EN ISO 527-5:2000 Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwośći mechanicznych przy statycznym rozciąganiu – Warunki badań kompozytów tworzywowych wzmocnionych włóknami jednokierunkowo.
62. PN-IEC 60092-101:2001 Instalacje elektryczne na statkach. Definicje i wymagania ogólne.

63. PN-IEC 60092-353:1999 Instalacje elektryczne na statkach – Kable elektroenergetyczne jedno- i wielożyłowe o polu niepromieniowym z izolacją wytłaczaną na napięcia znamionowe 1 kV i 3 kV.
64. PN-IEC 60243-1:2002 (U) Metody badań wytrzymałości elektrycznej materiałów elektroizolacyjnych stałych – Część 1: Badania przy częstotliwości sieciowej.
65. PN-IEC 61111:2002 Chodniki elektroizolacyjne.

5.2 Bibliografia

1. Celiński Zdzisław, *Materiałoznawstwo elektrotechniczne*, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
 2. Informator techniczny na stronie <http://www.technokabel.com.pl>.
 3. Jaskólska Z., Nieroda B. *Technologia stosowania lakierów elektroizolacyjnych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1969.
 4. Kolbiński K., Słowikowski J. *Materiałoznawstwo elektrotechniczne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1978.
 5. *Laboratorium podstaw inżynierii materiałowej* pod redakcją Jerzego Rutkowskiego http://www.dbc.wroc.pl/Content/1148/Podstawy_inzynierii.pdf
 6. *Leksykon Materiałoznawstwa* pod redakcją prof. Leszka A. Dobrzańskiego, Wydawnictwo VERLAG DASHOFER Sp. z o.o.
 7. Lisowski Michał, *Pomiary rezystywności i przenikalności elektrycznej dielektryków stałych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej Wrocław 2004 <http://www.dbc.wroc.pl/Content/1172/Lisowski popr.pdf>.
 8. Piórczyński W., Dobkowski Z., *Porównanie zagrożenia pożarowego stwarzanego przez wybrane materiały naturalne i tworzywa sztuczne*, Polimery 1996, nr 4, str. 226-231.
 9. *Poradnik inżyniera elektryka*, T I, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
 10. Rychtera M., Bartáková, *Tropikalizacja urządzeń elektrycznych*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1966.
 11. Żenkiewicz M., *Wybrane właściwości i zastosowanie materiałów polimerowych modyfikowanych radiacyjnie*, Polimery 2003, nr 10, str. 667-677.
-