



Jerzy STANKIEWICZ, Zbigniew ŚWIERZYNA

Instytut Elektrotechniki, Oddział Technologii i Materiałoznawstwa Elektrotechnicznego, Wrocław

Ocena skuteczności ochrony izolacyjnych materiałów konstrukcyjnych pokrytych elastomerami silikonowymi

Streszczenie. Referat zawiera wyniki badań skuteczności ochrony materiałów stosowanych do wytwarzania wysokonapięciowych elementów izolacyjnych przed działaniem narażeń atmosferycznych metodami znormalizowanymi (prądy pełzające, prąd upływu, łuk elektryczny). Ochronę materiałów wykonano przez pokrycie ich warstwą elastomerów silikonowych. Badania wykonano na płaskich płytkach i na modelach wykonanych z kompozycji epoksydowej, laminatu epoksydowo – szklanego i z porcelany elektrotechnicznej.

Abstract. (Evaluation of silicon elastomers effectiveness in protecting of insulating constructive materials). The different silicon elastomers' covers effectiveness in protecting against environmental hazards of materials used for processing the high-voltage insulating elements has been studied using the standardized methods of testing (creeping currents, leakage current, electric arc). The testing was performed on plain plates and models made of epoxy resin, glass-epoxy laminate and electrotechnical porcelain.

Słowa kluczowe: izolacja elektryczna, kompozyty, elastomery silikonowe, badania.

Keywords: electric insulation, composite, silicone elastomers, investigation.

Wstęp

Celem pracy było sprawdzenie skuteczności ochrony materiałów stosowanych do wytwarzania wysokonapięciowych elementów izolacyjnych przed działaniem narażeń atmosferycznych. Materiałem ochronnym były elastomery silikonowe. Program badań przewidywał badania na płaskich płytkach wykonanych z kompozycji epoksydowej (lanej), laminatu epoksydowo – szklanego (GFK) i z porcelany elektrotechnicznej w stanie wyjściowym oraz po pokryciu ich powierzchni elastomerem silikonowym. Zakres prac obejmował cykliczne narażenia (starzenie) promieniowaniem o zakresie widma zbliżonym do słonecznego oraz sprawdzenie właściwości pokryw z elastomeru silikonowego metodami rutynowymi (prądy pełzające, prąd upływu, łuk elektryczny). Starzenie wykonywano na urządzeniach symulujących narażenia środowiskowe, będących w posiadaniu IEL-OTIME, tj. komorze z lampą ksenonową z promieniowaniem UV. Zastosowane metody badania są ogólnie przyjęte i uznane za właściwe do oceny materiałów elektrotechnicznych stosowanych do wytwarzania izolatorów WN pracujących w warunkach napowietrznych [1, 2, 3]. Wykonana w 2003 roku praca (Opracowanie technologii nanoszenia powłok z elastomeru silikonowego na izolatory porcelanowe) została pozytywnie oceniona i między innymi dlatego istniała potrzeba wykonania prac badawczych uzasadniających stosowanie pokryw z elastomerów silikonowych na powierzchniach izolatorów wysokonapięciowych [4]. Badania te pozwoliły na modyfikację zastosowanej metody badawczej dla oceny jakości pokryw silikonowych na wysokonapięciowych konstrukcjach izolacyjnych. Efektem końcowym wykonanych prac był wybór optymalnych materiałów izolacyjnych stosowanych na pokrycia izolatorów wysokonapięciowych eksploatowanych w agresywnych środowiskach.

Badania

Do badań sporządzono płaskie próbki z trzech materiałów konstrukcyjnych:

- kompozycji epoksydowej do odlewania
- laminatu szklano-epoksydowego
- porcelany elektrotechnicznej, rodzaju 120 ze szkliwem

Do pokrywania płaskich próbek warstwą elastomeru silikonowego zastosowano metodę natrysku pistoletem powietrznym. Płaskie próbki z materiałów konstrukcyjnych pokryto powłokami z trzech elastomerów silikonowych, sprawdzonych z trzech firm chemicznych (A, B, C).

Tabela 1. Zestawienie badanych materiałów

Nr próbki	Materiał podłoża	Pokrycie – elastomer silikonowy
1	Porcelana	A
2	Porcelana	B
3	Porcelana	C
4	Kompozycja epoksydowa	A
5	Kompozycja epoksydowa	B
6	Kompozycja epoksydowa	C
7	Laminat szkło-epoksyd	A
8	Laminat szkło-epoksyd	B
9	Laminat szkło-epoksyd	C

Na płaskich płytkach wykonano badania starzeniowe w warunkach narażeń klimatycznych w komorze klimatycznej Weather-Ometer Ci 65 firmy ATLAS ELECTRIC DEVICES COMPANY z promieniowaniem o zakresie zbliżonym do promieniowania słonecznego. Warunki klimatyczne w komorze zgodnie z PN-EN ISO 4892-2:2001 Tworzywa sztuczne. Metody ekspozycji na laboratoryjne źródło światła. Część 2: Źródła ksenonowe o wyładowaniu łukowym, według cyklu obrotowego 120-minutowego przy zraszaniu próbek wodą są następujące:

- 102 min - czas naświetlania na sucho.
- 18 min - zraszanie zdejonizowaną wodą.
- Temperatura w komorze: 40 °C (na powierzchni próbek ok. 55 °C).

Naświetlanie próbek lampą ksenonową 6,5 kW; natężenie promieniowania: 0,35 W/m².

Zakres promieniowania: 300 - 800 nm (stanowi 90 % słonecznego promieniowania).

Starzenie wytypowanych materiałów trwało 1000 h, a po starzeniu sprawdzono odporność na prądy pełzające przy wysokim napięciu i pochyłej próbce według PN-89/E-04442 i IEC 587 [5] oraz odporność na łuk elektryczny według PN-74/E-04441 IEC 61621 [6].

Do porównawczej oceny wpływu materiału podłoża na odporności elastomerów silikonowych na prądy pełzające zastosowano metodę badania na pochyłej próbce przy wysokim napięciu do 4,5 kV. Ujmuje ją norma PN-89/E-04442 merytorycznie zgodna z normą IEC 587. Poniżej podano parametry układu elektrycznego oraz zwilżania próbki:

Tabela 2. Parametry układu elektrycznego oraz zwilżania próbki

Napięcie probiercze	Rezystancja Szeregowa	Prędkość wypływu roztworu
kV	kΩ	ml/min
-	1	0,075
2,5	10	0,150
3,5	22	0,300
4,5	33	0,600
-	33	0,900

Stanowisko pomiarowe jest urządzeniem wykonanym w OTIME Instytutu Elektrotechniki i przystosowanym do ciągłej rejestracji prądu płynącego przez badaną próbkę. W badaniach stosowano zwilżający roztwór przewodzący o stężeniu 0,1 % NH₄Cl z dodatkiem niejonowego środka zwilżającego. Rezystywność roztworu przewodzącego wynosiła 370 – 400 Ωcm. Do próbek przykręcono elektrody z pakietem bibuły i statywem do zamocowania próbki.



Fot. 1. Próbką pokrycia silikonowego na płytce z porcelany elektrotechnicznej z elektrodami podczas trwania badania odporności na prądy pełzające.



Fot. 2. Wygląd próbki po wykonaniu badania odporności na prądy pełzające.

Wyniki badania odporności materiałów podłoża na prądy pełzające przy wysokim napięciu i pochyłej próbce podano w tabeli 3, a odporności pokryć z elastomerów silikonowych na prądy pełzające przy wysokim napięciu i pochyłej próbce podano w tabeli 4.

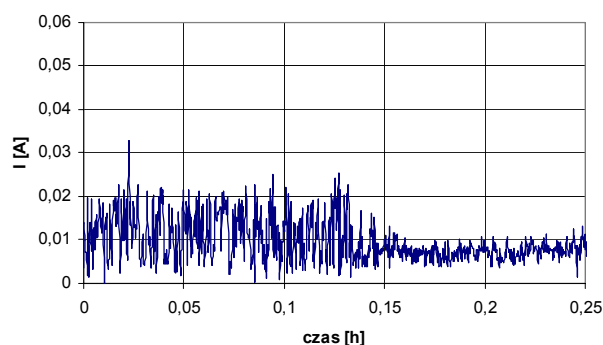
Tabela 3. Wyniki badań odporności materiałów podłoża na prądy pełzające przy wysokim napięciu i pochyłej próbce; U - napięcie probiercze; t - czas do powstania śladu pełzającego i wyłączenia układu probierczego

Próbka	Materiał podłoża	U	t	Uwagi
-	-	kV	h	-
10	Porcelana	>4,5	6,0	-
11	Tworzywo epoksydowe	2,5	1,5	Ścieżka przewodząca
12	Laminat szkło-epoksyd	2,5	0,5	Ścieżka przewodząca

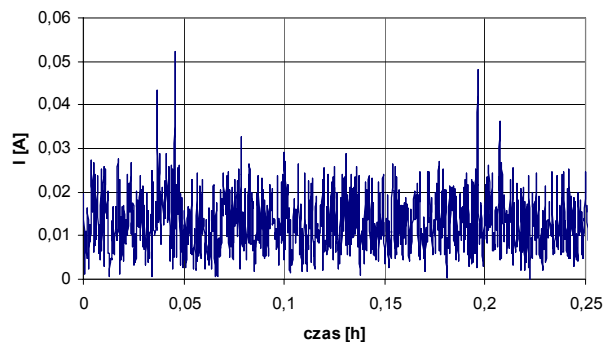
Tabela 4. Wyniki badań odporności pokryć z elastomerów silikonowych na prądy pełzające przy wysokim napięciu i pochyłej próbce; U = 4,5 kV w ciągu 6 godzin

Próbka	Materiał podłoża	Pokrycie - elastomer silikonowy	Głębokość ubytku, g
-	-	-	mm
1	Porcelana	A	< 0,2
2	Porcelana	B	< 0,2
3	Porcelana	C	< 0,2
4	Kompozycja epoksydowa	A	< 0,2
5	Kompozycja epoksydowa	B	< 0,2
6	Kompozycja epoksydowa	C	< 0,2
7	Laminat szkło-epoksyd	A	< 0,2
8	Laminat szkło-epoksyd	B	< 0,2
9	Laminat szkło-epoksyd	C	< 0,2

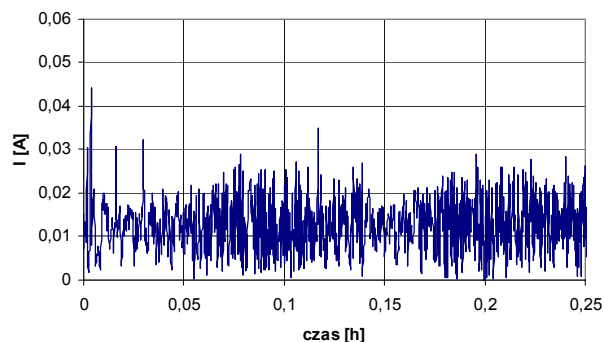
Charakterystyki prądowe w funkcji czasu rejestrowane w trakcie badania odporności na prądy pełzające przy pochyłej próbce przedstawiono na poniższych rysunkach:



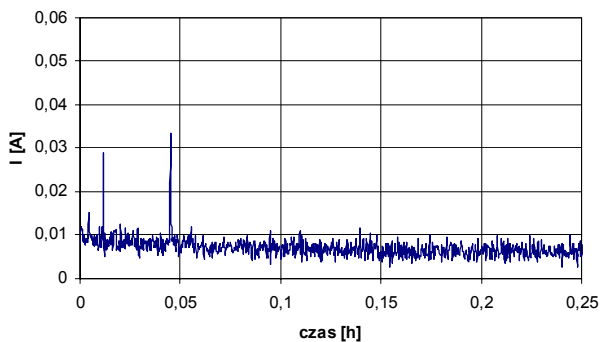
Rys. 1. Prąd upływu w czasie testu porcelany na prądy pełzające wg IEC 587



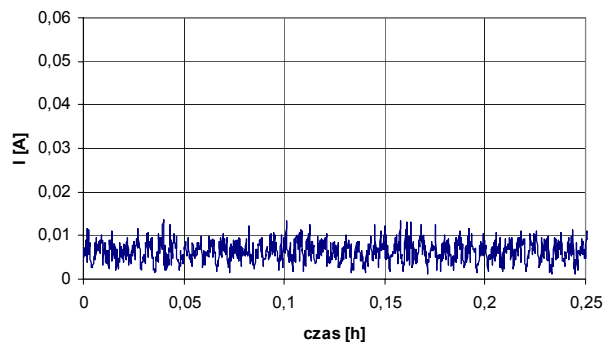
Rys. 2. Prąd upływu w czasie testu kompozycji epoksydowej na prądy pełzające wg IEC 587



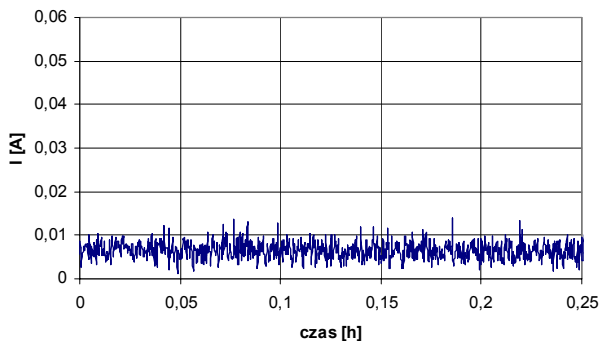
Rys.3. Prąd upływu w czasie testu laminatu szkło-epoksyd na prądy pełzające wg IEC 587



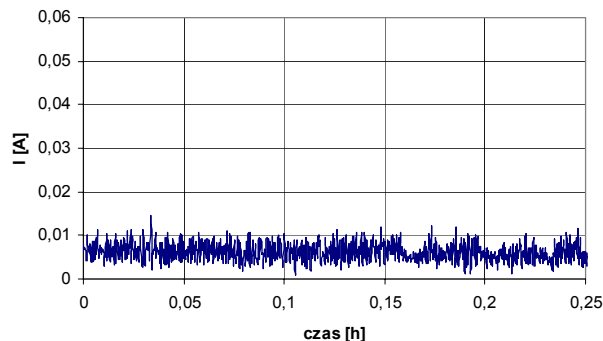
Rys. 4. Prąd upływu w czasie testu porcelany pokrytej silikonem B na prądy pelzające wg IEC 587 przed starzeniem



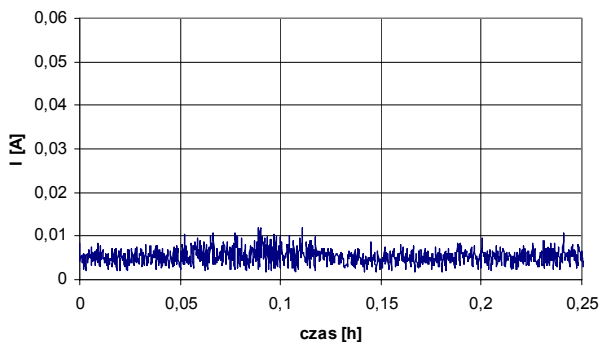
Rys. 8. Prąd upływu w czasie testu kompozycji epoksydowej pokrytej silikonem B na prądy pelzające wg IEC 587 po starzeniu



Rys. 5. Prąd upływu w czasie testu kompozycji epoksydowej pokrytej silikonem B na prądy pelzające wg IEC 587 przed starzeniem

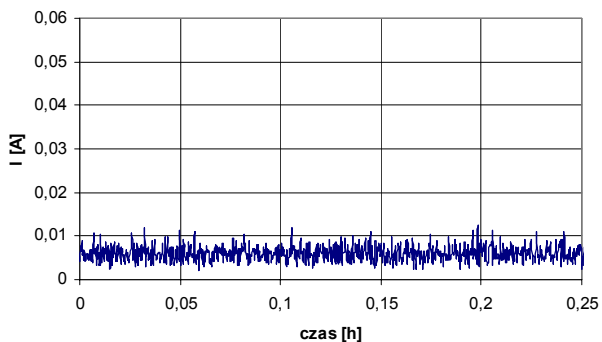


Rys. 9. Prąd upływu w czasie testu laminatu szkło-epoksyd pokrytego silikonem B na prądy pelzające wg IEC 587 po starzeniu



Rys. 6. Prąd upływu w czasie testu laminatu szkło-epoksyd pokrytego silikonem B na prądy pelzające wg IEC 587 przed starzeniem

Badane próbki pokryć z elastomerów silikonowych mają wysoką odporność na prądy pelzające przy wysokim napięciu i pochyłej próbce, wytrzymując klasę 1-4,5 kV bez wystąpienia prądu w obwodzie próbki o wartości 60 mA w ciągu 2 sekund. Próbkę materiałów nie różnią się między sobą głębokością erozji powierzchniowej, która jest niższa od 0,2 mm zarówno próbek starzonych 1000 godzin w komorze klimatycznej Weather-Ometer jak i nie starzonych. Na podanych charakterystykach prądów pelzających w funkcji czasu trwania próby także nie zaobserwowano istotnego wpływu starzenia na wartość prądu upływu (prądu pelzającego).



Rys. 7. Prąd upływu w czasie testu porcelany pokrytej silikonem B na prądy pelzające wg IEC 587 po starzeniu



Fot. 3. Wygląd fragmentu próbki po wykonaniu badania odporności na łuk elektryczny

Badania odporności na łuk elektryczny o małym natężeniu prądu przy wysokim napięciu wykonano zgodnie z normą PN-74/E-04441 na stanowisku pomiarowym produkcji węgierskiej. Umożliwia ono badania przy napięciu probierczym 12,5 kV oddziaływania łuku na materiał izolacyjny w 7-miu stopniach. W pierwszych trzech

stopniach łuk jest przerywany, a w pozostałych czterech ciągle, ale o wzrastającym prądzie łuku od 10 mA do 40 mA. Badanie to polega na określeniu czasu od chwili powstania łuku na powierzchni badanego materiału do czasu jego zniszczenia. Zniszczenie materiału utożsamiane jest z powstaniem ścieżki przewodzącej (także zapalenie się, erozji, topienia) między elektrodami i prowadzące do zgaszenia łuku oraz wzrostu prądu w obwodzie wtórnym transformatora probierczego. Jako wynik podano średnią arytmetyczną z co najmniej 10 pomiarów czasu oraz wartość minimalną.

Wyniki badań odporności na łuk elektryczny zestawiono w tabelach; t_{sr}/t_{min} - czas t średni / czas t minimalny,

Tabela 5. Odporność na łuk elektryczny próbek materiałów, z których wykonano podłoża do pokrywania elastomerami silikonowymi

Porcelana szkliona	Kompozycja epoksyd.	Laminat szkło-epoksyd
t_{sr}/t_{min}	t_{sr}/t_{min}	t_{sr}/t_{min}
s/s	s/s	s/s
> 480/>480	132/110	79/74

Tabela 6. Odporność na łuk elektryczny próbek materiałów silikonowych na podłożu porcelanowym

Porcelana +A	Porcelana +B	Porcelana +C
t_{sr}/t_{min}	t_{sr}/t_{min}	t_{sr}/t_{min}
s/s	s/s	s/s
192/190	185/182	27/10

Tabela 7. Odporność na łuk elektryczny próbek materiałów silikonowych na podłożu z kompozycji epoksydowej

Kompozycja epoksyd. +A	Kompozycja epoksyd. +B	Kompozycja epoksyd. +C
t_{sr}/t_{min}	t_{sr}/t_{min}	t_{sr}/t_{min}
s/s	s/s	s/s
185/182	183/180	183/180

Tabela 8. Odporność na łuk elektryczny próbek materiałów silikonowych na podłożu z laminatu SE

Laminat SE +A	Laminat SE +B	Laminat SE +C
t_{sr}/t_{min}	t_{sr}/t_{min}	t_{sr}/t_{min}
s/s	s/s	s/s
126/125	74/70	12/10

Badane próbki pokryć z elastomerów silikonowych mają zróżnicowaną odporność na łuk elektryczny. Zależy ona od rodzaju materiału podłoża, na które naniesiono powłokę z elastomeru silikonowego. Najwyższą odporność na łuk elektryczny mają próbki pokryć naniesionych na szklioną porcelanę elektrotechniczną i dianową kompozycję epoksydową, przy czym wyraźnie niższą odporność na łuk elektryczny ma pokrycie wykonane z elastomeru silikonowego C. Najniższą odporność na łuk elektryczny mają próbki pokryć naniesionych na laminat szkło-epoksydowy. Nie stwierdzono wpływu narażania 1000 godzin w komorze klimatycznej Weather-Ometer na odporność na łuk elektryczny we wszystkich badanych przypadkach.

Omówienie wyników i wnioski

- Do badań wykonano próbki z materiałów elektroizolacyjnych stosowanych w technice wysokich napięć:
 - porcelany elektrotechnicznej, która jest materiałem odpornym na prądy pełzające i erozję w warunkach napowietrznych; pokrywanie jej elastomerem silikonowym stosuje się w celu poprawy samooczyszczalności izolatorów i zmniejszenia prądów upływu przy dużym zabrudzeniu i zawilgoceniu
 - kompozycji epoksydowej dianowej do odlewania i laminatu SE jako reprezentantów materiałów izolacyjno-konstrukcyjnych, które mają niską odporność na prądy pełzające i erozję oraz nie mogą pracować jako izolatory napowietrzne bez specjalnych pokryć; są również słabo odporne na promieniowanie UV
- Uzyskane wyniki wykazały znaczną poprawę odporności na prądy pełzające i erozję próbek z kompozycji epoksydowej i laminatu SE po pokryciu ich warstwą około 0,5 mm elastomeru silikonowego
- Pokrycie elastomerem silikonowym zabezpiecza również materiały o niskiej odporności na narażanie promieniowaniem UV w warunkach napowietrznych, jak kompozycja epoksydowa i laminat SE
- Technologia pokrywania elastomerem silikonowym umożliwia zastosowanie tanich materiałów konstrukcyjno-izolacyjnych do wykonywania izolacji WN pracującej w warunkach napowietrznych
- Pokrycia z elastomerów silikonowych oceniono pod kątem:
 - właściwości elektrycznych: najlepszym tworzywem okazał się materiał A; wysoką odporność uzyskano dzięki zawartości w tym pokryciu ATH (uwodnionego tlenku glinu); materiał ten sprawia trudności technologiczne podczas nanoszenia na powierzchnię podłoża
 - technologicznym, gdzie najlepiej zachowują się materiały B i C; materiały te łatwiej jest nanieść na powierzchnie izolatorów w równomiernej warstwie
- Biorąc pod uwagę wszystkie właściwości materiału i cenę najlepszym do stosowania jest materiał B.

LITERATURA

- [1] J. Wańkowicz, S. M. Gubański, W. D. Lampe. Loos and recovery of hydrophobicity on RTV coating surfaces, *IEEE Trans. on D and EI*, vol. 1, no. 4, 1994, 604
- [2] J. Wańkowicz, E. Strużewska, K. Kobyliński, R. Przybyłowski. Modernizacja izolacji linii blokowych 400 kV w elektrowni Kozienice z wykorzystaniem stałych powłok z elastomerów silikonowych RTV, Konferencja NIWE 2000 r.
- [3] W. Maj, J. Gdula, Z. Świerzyzna. Podwyższenie odporności na warunki napowietrzne elementów izolacyjno-konstrukcyjnych z dianowych żywic epoksydowych, *Dokumentacja Techniczna IEL-OTIME*, 1995 r.
- [4] J. Stankiewicz, Z. Świerzyzna, M. Kapuściński, Opracowanie technologii nanoszenia powłok z elastomeru silikonowego na izolatory porcelanowe, *Dokumentacja Techniczna IEL-OTIME*, 2003 r.
- [5] PN-89/E-04442 Materiały elektroizolacyjne stałe. Badanie odporności na prądy pełzające przy wysokim napięciu i pochyłej próbce
- [6] PN-74/E-04441 Materiały elektroizolacyjne stałe. Badanie odporności na łuk elektryczny o małym natężeniu prądu przy wysokim napięciu

Autorzy: mgr inż. Jerzy Stankiewicz, Instytut Elektrotechniki, Oddział Technologii i Materiałoznawstwa Elektrotechnicznego, ul. M. Skłodowskiej-Curie 55-61, 50-369 Wrocław, e-mail: jistank@iel.wroc.pl; mgr inż. Zbigniew Świerzyzna, jw.