

doi:10.15199/48.2017.02.53

Próby rdzeni izolatorów kompozytowych wsporczych SN, zbrojonych włóknem szklanym w osnowie żywicy epoksydowej

Streszczenie. Artykuł zawiera opis prac wykonanych przez autorów dotyczących prób i oceny rdzeni szkłoepoksydowych stosowanych w izolatorach kompozytowych napowietrznych średniego napięcia. Autorzy wykonali szereg pomiarów i sprawdzeń rdzeni o różnych średnicach, obejmujących próby według wytycznych zawartych w normach, a także dodatkowych prób opracowanych wg własnego programu. Publikacja zawiera opisy i wyniki wykonanych badań prętów i rdzeni szkłoepoksydowych.

Abstract. The article contains description of tests and rating GFRP cores for composite insulators. Authors have done many measurements and checks of cores with different diameters, including tests according to the guidelines contained in the standards, as well as additional tests designed by them. The publication contains descriptions and results of the fiber glass cores tests. (**Medium voltage glass fibre reinforced plastic insulator cores test**)

Słowa kluczowe: rdzenie szkłoepoksydowe, izolatory kompozytowe, izolatory wsporcze średniego napięcia,
key words: dielectric core, composite insulator, post insulators of medium voltage, dielectric cores tests

Wstęp

Wysokie wymagania norm dotyczące metod badawczych i kryteriów oceny izolatorów kompozytowych, mają na celu uzyskanie jak największej ich niezawodności przy różnych narażeniach eksploatacyjnych. Przy opracowywaniu nowych konstrukcji izolatorów, niezbędne są szerokie badania materiałów wytrzymałości elektrycznej i mechanicznej, właściwości dielektrycznych oraz zastosowanej technologii wykonania. Metody badań umożliwiające ocenę elementów składowych, jak również całych izolatorów są prowadzone od wielu lat przez kilka znaczących ośrodków naukowych i badawczych. W ramach tych prac prowadzone są badania konstruktorskie znormalizowane i pozanormowe oraz badania diagnostyczne izolatorów eksploatowanych [5-8].

Jednym z etapów projektowania nowego izolatora kompozytowego wsporczego średniego napięcia lub sprawdzenia istniejącego izolatora jest zbadanie własności rdzeni szkłoepoksydowych. W ramach prowadzonych prac badawczo-rozwojowych dotyczących pracowania nowego izolatora wsporczego SN przeprowadzono szereg sprawdzeń i prób materiału rdzenia i okuć [1]. Sprawdzeniem poddano pręty dwóch różnych producentów - pierwszego (oznaczone jako X) o średnicach $\varnothing 31$ i $\varnothing 40$ oraz producenta drugiego (oznaczone jako Y) o średnicach $\varnothing 32$ i $\varnothing 40$. Założono przeprowadzenie prób zgodnie z wytycznymi zawartymi w normach związanych oraz prób dodatkowych według programu opracowanego przez autorów.

Próby te obejmowały następujące zagadnienia:

- Próby penetracji barwnikiem
- Próby dyfuzji wody
- Pomiar twardości prętów według Shore'a skali D
- Sprawdzenie znamionowego obciążenia zginającego SCL
- Sprawdzenie znamionowych obciążeń zginających i rozciągających dla różnych technologii osadzania okuć i ich długości
- Próba obciążenia długotrwałego MDCL
- Sprawdzenie znamionowego obciążenia rozciągającego STL
- Pomiar strzałek ugięcia dla obciążeń zginających.

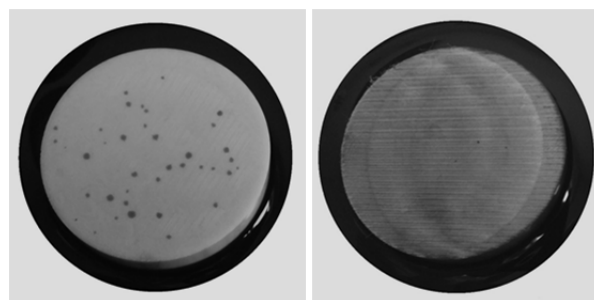
Podczas prób stosowano różnej długości okucia w celu sprawdzenia wpływu długości okucia na wytrzymałość całego izolatora. Zmieniano również sposób osadzenia rdzenia w okuciu. Zastosowano różne połączenia tych

elementów obejmujące pasowanie na wcisk lub pasowanie luźne, zaciskanie okucia na rdzeniu z siłą ok. 400 kN.

Próby materiału rdzenia

Próby penetracji barwnikiem przeprowadzono za pomocą dwóch różnych rodzajów penetratorów: Astrazon Red 6B rozpuszczony w etanolu oraz penetrator czerwony BDR (do badań nieniszczących metodą penetracyjno-barwną). Próbie penetracji poddano próbki prętów przygotowanych zgodnie z normą PN-EN 62217:2013. Przygotowano próbki o grubości 10 mm z przeszlifowaną papierem ściernym powierzchnią zewnętrzną [2].

Próby prętów X i Y za pomocą penetratora Astrazon Red 6B dostarczyły pozytywnych wyników. W celu dokładniejszego zbadania próbek wykorzystano penetrator czerwony BDR. Na próbkach producenta pierwszego już po upływie 1 minuty pojawiały się wyraźne zabarwienia sygnalizujące przeniknięcie penetratora przez próbkę na wskroś. Po upływie 15 minut widoczne były wyraźne ślady przeniknięcia penetratora. W przypadku próbek producenta drugiego ślady penetratora pojawiły się po upływie około 5 minut i objęły kilka miejsc. Na rysunku 1 pokazane zostały próbki prętów X i Y, po upływie 15 minut penetracji barwnikiem.



Rys.1. Próbki prętów po upływie 15 minut badania przy użyciu penetratora czerwonego BDR (od lewej: X i Y)

Próbki rdzeni do próby dyfuzji wody przygotowano zgodnie z normą PN-EN 62217:2013. Pręty zostały pocięte na krążki o grubości 30 mm. Poddano je gotowaniu w wodzie przez 100 h po czym przeprowadzono badania napięciowe. Próby napięciowe wykonano zgodnie z normą, przy napięciu probierczym o wartości skutecznej 12 kV, w czasie 1 min [2]. Zarówno próbki X i Y spełniły wymagania normy. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1.

Otrzymane wyniki próbek Y pokazują niższe wartości prądów upływu, od próbek X. W przypadku próbek 1 i 3 producenta Y wynik wahał się na poziomie błędów wskazań przyrządu pomiarowego.

Tabela 1. Wyniki napięciowe prób dyfuzji wody

Producent	Numer próbki	Prąd upływu [mA]
X	1	0,08
	2	0,08
	3	0,09
Y	1	0-0,05
	2	0,07
	3	0-0,05

Badanie twardości rdzenia wykonano na specjalnie przygotowanych próbkach. Z rdzenia odcięto krążki o grubości ok. 10 mm. Następnie powierzchnie wewnętrzne przeszlifowano papierem ściernym w celu uzyskania gładkiej powierzchni. Pomiaru dokonano twardościomierzem Shore'a w skali D firmy Sauter GmbH. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki pomiaru twardości rdzeni

Nr pomiaru	próbka X	próbka Y
1	95	96
2	93	97
3	94	97

Badaniu twardości poddano również próbki po próbie dyfuzji wody. Wyniki pomiaru przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki twardości rdzeni, po próbie dyfuzji wody

Nr pomiaru	próbka X	próbka Y
1	93	96
2	93	95
3	92	95

Próby wytrzymałościowe

Próbom wytrzymałościowym poddano wiele prętów z różnymi okuciami i różnym sposobem ich osadzenia. Zastosowano następujące oznaczenia badanych próbek: X – rdzeń producenta pierwszego, Y – rdzeń producenta drugiego

31 – rdzeń o średnicy 31 mm, 32 – rdzeń o średnicy 32 mm, 40 – rdzeń o średnicy 40 mm

D 40 – okucie dolne, w którym rdzeń osadzony jest na głębokość 40 mm

D 50 – okucie dolne, w którym rdzeń osadzony jest na głębokość 50 mm

L – pomiędzy okuciem a rdzeniem zastosowano pasowanie luźne

W – rdzeń osadzono w okuciu z wciskiem 0,1mm

Z – po osadzeniu rdzenia w okuciu zaciśnięto je na prasie hydraulicznej z siłą ok. 400 kN.

Przykładowe oznaczenie: Y32D50WZ – zastosowano rdzeń producenta drugiego o średnicy 32 mm; rdzeń osadzono w okuciu na głębokość 50 mm; rdzeń został osadzony w okuciu z wciskiem 0,1mm, a następnie zaciśnięty na prasie hydraulicznej.

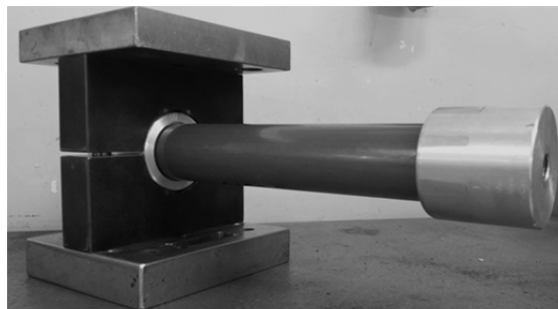
Do zaciskania okuć na rdzeniach opracowano i wykonano specjalny przyrząd ze stali NC6 o twardości ok. 60 HRC. Kształt otworu wykonano jako wielokąt foremny w celu jak najbardziej równomiernego rozłożenia siły zaciskającej. Sposób zaciskania okucia obrazuje rysunek 2.

Po wykonaniu kilku próbek sprawdzono, czy zacisk okucia z siłą ok. 400 kN nie uszkadza rdzenia. W tym celu przecięto kilka próbek wzdłuż i sprawdzono strukturę wewnętrzną rdzenia zwracając szczególną uwagę na wszelkiego rodzaju przebarwienia, pęknięcia czy odkształcenia. Na rysunkach 3 i 4 pokazano elementy rdzeni, po zastosowaniu zaciskania okuć.

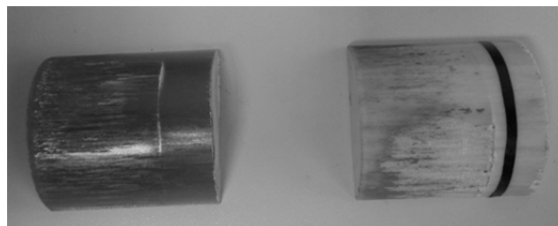
Niezwykle istotnym wydaje się być dobór sposobu i wielkości siły zaciskającej okucia, ze względu na możliwość

uszkodzenia włókien prętów. Im większa jest twardość rdzenia, tym takie uszkodzenie jest mniej prawdopodobne.

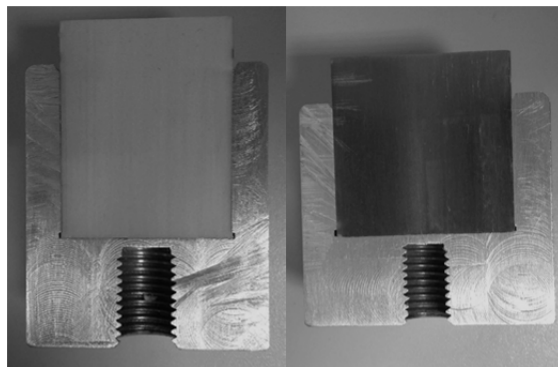
Wyznaczenie znamionowego obciążenia zginającego SCL przeprowadzone zostało zgodnie z normą PN-EN 62231:2008 [3] na maszynie wytrzymałościowej produkcji IEZD Białystok. Wyniki badania przedstawiono w tabeli 4.



Rys.2. Zaciskanie okucia na rdzeniu



Rys.3. Wygląd pręta po zdjęciu okucia zaciśniętego z siłą ok. 400 kN



Rys.4. Przekrój okuć i prętów po zaciśnięciu (od lewej: X, Y)

Tabela 4. Wyniki sprawdzenia znamionowego obciążenia zginającego SCL

Próbka	SCL [kN]	Uwagi
X31D50W	7	pęknięcie rdzenia
Y32D40W	9,5	zerwanie gwintu M16 z dolnego okucia
Y32D50W	9,5	zerwanie gwintu M16 z dolnego okucia
Y40D40WZ	10	zerwanie gwintu M16 z dolnego okucia

Na rysunku 5 przedstawiono maszynę wytrzymałościową przystosowaną do wyznaczenia znamionowego obciążenia zginającego SCL.

Próby weryfikujące maksymalne projektowe obciążenie zginające MDCL wykonano dla trzech izolatorów Y \varnothing 32. Próby przeprowadzono zgodnie z PN-EN 61952:2010 p.10.4.1 oraz PN-EN 62231:2008 p.8.3.1. Obciążenie probiercze 1,1 MDCL = 4,4 kN. Czas trwania próby 96 h [4]. W tabeli 5 przedstawiono wyniki pomiarów ugięć izolatorów.

Po wykonanych próbach nie stwierdzono odkształcenia resztkowego, trwałych odkształceń, pęknięć i rozwarstwień. Próby penetracji barwnikiem po próbach zginania nie wykazały pęknięć rdzenia.



Rys.5. Maszyna wytrzymałościowa przystosowana do wyznaczenia znamionowego obciążenia zginającego SCL

Tabela 5. Wyniki pomiaru ugięcia izolatora w próbie obciążenia zginającego MDCL

Próbka Y \varnothing 32	24 h	48h	72 h	96 h
1 w mm	16	17	17	17
2 w mm	15	15	15	15
3 w mm	14	14	14	14

Wyznaczenie znamionowego obciążenia rozciągającego STL przeprowadzone zostało na maszynie wytrzymałościowej produkcji IEZD Białystok, zgodnie z normą PN-EN 62231:2008. Wyniki badania przedstawiono w tabeli 6.

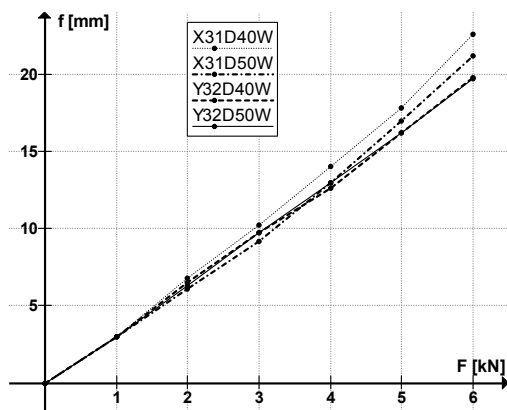
Tabela 6. Wyniki pomiarów znamionowego obciążenia rozciągającego STL

Próbka	STL [kN]
Y40D50LZ nr1	25
Y40D50LZ nr2	27
X40D50W	40
X40D50WZ nr1	76
X40D50WZ nr2	74
Y40D50W	70
Y40D50WZ nr1	76
Y40D50WZ nr2	78
X31D40W	38
Y32D50W	88

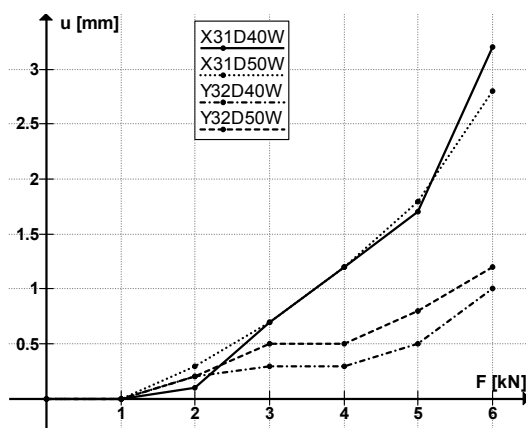
Tabela 7. Pomiary strzałki ugięcia oraz ugięcia plastycznego trwałego badanych izolatorów w mm

Próbka	Obciążenie [kN]			
	1	3	5	6
Y40D40WZ	1,2 (0)	4,8 (0)	8,9 (0,8)	11,3 (1)
X40D40WZ	1,6 (0)	5 (0,5)	9,1 (1)	12,2 (1,7)
X40D50WZ	1,6 (0)	6,1 (1,2)	10,2 (1,9)	12,2 (2,2)
Y40D50WZ	1,4 (0)	4,9 (1,1)	8,8 (1,5)	10,5 (1,5)
Y40D40WZ	1,5 (0)	4,9 (0,3)	8,9 (0,6)	11,3 (1)
Y32D50W	3 (0)	9,7 (0,5)	16,2 (0,8)	19,7 (1,2)
Y32D40W	3 (0)	9,7 (0,3)	16,2 (0,5)	19,8 (1)
X31D40W	3(0)	10,2(0,7)	17,8 (1,7)	22,6 (3,2)
X31D50W	3(0)	9,2(0,7)	17 (1,8)	21,2 (2,8)

Pomiary strzałki ugięcia przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej produkcji IEZD Białystok. Jeden koniec izolatora został za pomocą śruby M16 zamocowany na stałe do konstrukcji wsporczej, a do drugiego poprzez przegub przykładano obciążenie. Do badanej próbki na przemian przykładano obciążenie i je całkowicie zdejmowano. Na każdym etapie mierzono strzałkę ugięcia na końcu izolatora oraz ugięcie resztkowe, które pozostawało po zdjęciu obciążenia. Wyniki umieszczono w tabeli 7. Pierwsza liczba to strzałka ugięcia, a liczba w nawiasie to ugięcie resztkowe. Wartości w tabeli podano w milimetrach. Wyniki te przedstawiono również na wykresach z podziałem na średnicę rdzenia (Rys. 6, 7).



Rys.6. Strzałki ugięcia rdzeni \varnothing 31 i \varnothing 32



Rys.7. Ugięcie resztkowe rdzeni \varnothing 31 i \varnothing 32

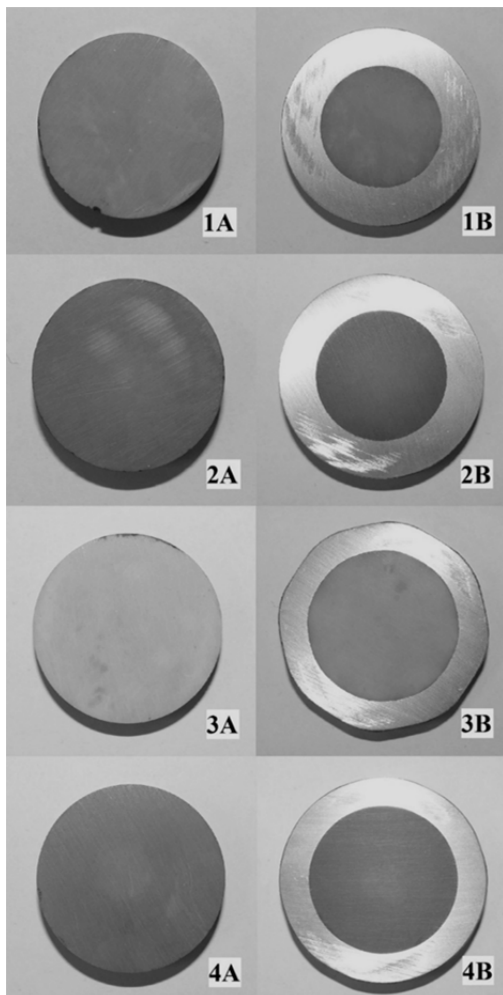
Próby penetracji barwnikiem po badaniach wytrzymałościowych

W celu dokładnego zbadania rdzeni różnych producentów przygotowano próbki wykonane z wcześniej poddanych badaniom wytrzymałościowym prętów. Próbki wykonano poprzez odcięcie krążków o grubości 10 mm wraz z częścią okucia. Do badań przygotowano 8 próbek (rys. 8). W przypadku połowy próbek zdjęto z nich metalowy pierścień (fragment okucia). W ten sposób sprawdzono wpływ siły zaciskającej rdzeń na próbę penetracji barwnikiem. W tabeli 8 przedstawiono zestawienie próbek.

Przed rozpoczęciem prób na penetrację barwnikiem zwrócono uwagę na wszelkiego rodzaju odcięcia próbek i odkształcenia rdzeni po osadzeniu okuć. W przypadku rdzeni Y zauważono, że zarówno pręty zaciskane jak i wciskane są wewnątrz wyraźnie jaśniejsze. Przebarwienie to nie zniknęło po zdjęciu fragmentu okucia, pomimo, że średnica zewnętrzna rdzenia wróciła do wartości sprzed osadzania pręta w okuciu. W przypadku rdzenia producenta X, swobodnego i wciskanego w okucie (próbki - 1A, 1B) nie zauważono żadnych zmian. Wyraźne przebarwienia na obwodzie pręta zaobserwowano w przypadku rdzenia X zaciskanego na prasie z siłą ok. 400 kN (próbka - 3B). W miejscach, w których następowała deformacja, krawędź pręta była ciemniejsza, zaś w miejscach nieobciążonych zdecydowanie jaśniejsza. Dodatkowo zaciskanie okucia na prasie spowodowało deformację samego rdzenia. Odkształcenia te okazały się być plastyczne, gdyż owalizacja po zdjęciu fragmentu okucia wyniosła aż 0,5 mm. Wynika z tego, że pomimo niewielkiej różnicy twardości rdzeni, wynoszącej 3 punkty w skali Shore'a D, pręt producenta Y jest znacznie mniej podatny na trwałe odkształcenia.

Tabela 8. Zestawienie próbek do badań na penetrację barwnikiem (próbki A – bez okucia, próbki B – z fragmentem okucia).

Nr próbki	Sposób osadzenia okucia	Próby jakim poddano pręt
1A, 1B	Pasowanie wciskowe	Rozciąganie (STL)
2A, 2B	Pasowanie wciskowe	Rozciąganie (STL)
3A, 3B	Pasowanie wciskowe i zacisk na prasie z siłą ok. 400 kN	Zginanie (wyznaczenie strzałki ugięcia)
4A, 4B	Pasowanie wciskowe i zacisk na prasie z siłą ok. 400 kN	Zginanie (SCL)



Rys.8. Wyniki próby penetracji barwnikiem

Próbie penetracji barwnikiem przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 62217:2013 przy użyciu roztworu 0,1% Astrazonu Red 6B rozpuszczonego w etanolu. W próbkach 3A i 3B po upływie ok. 1 minuty zaczęły pojawiać się bardzo drobne, punktowe przebarwienia. Po upływie 15 minut było ich ok. 10. Ponadto w przypadku próbki 3B po czasie 10 minut barwnik wnikał w szczelinę pomiędzy okuciem, a rdzeniem. Pozostałe badane próbki przeszły test pozytywnie. Warto zwrócić uwagę, że próbki 4A i 4B pomimo poddania ich wcześniej próbom na wyznaczenie znamionowego obciążenia zginającego SCL, które wyniosło ok. 10 kN, przeszły test na penetrację barwnikiem pozytywnie.

Z przeprowadzonego doświadczenia wynikało, że odpowiadające sobie próbki A i B dawały zawsze takie same wyniki. Usunięcie fragmentu okucia nie zmieniło wyników badań w żadnym przypadku.

Podsumowanie

W ramach pracy zbadano własności rdzeni szkłoepoksydowych z dwóch firm, stosowanych m. in. w

konstrukcji izolatorów wsporczych kompozytowych średniego napięcia. Próby przeprowadzono na rdzeniach o średnicy $\varnothing 31$, $\varnothing 32$, $\varnothing 40$. Zastosowano okucia ze stopów aluminium. Oprócz wybranych, istotnych prób normatywnych, autorzy opracowali i wykonali dodatkowe próby rdzeni. Pomiar twardości prętów wg Shore'a D dostarczyły różnych wyników pomiarów w zależności od sposobu zastosowanej technologii przez różne firmy. Pręty szkłoepoksydowe o wyższej twardości uzyskały zdecydowanie lepsze wyniki w próbie penetracji barwnikiem typu BDR. Opracowane i zastosowane różne technologie osadzania okuc prętów pokazały wpływ tych technologii na uzyskane wielkości znamionowych obciążeń zginających i rozciągających. Próbki Y o wyższej twardości pozwoliły na uzyskanie wyższych wyników obciążenia zginającego SCL i obciążenia rozciągającego STL (o ok. 30%). Zastosowanie dodatkowej technologii zaciskania okuc na prasie hydraulicznej w specjalnym przyrządzie, nie wpłynęło na zmianę wyników (podwyższenie) obciążenia rozciągającego przy rdzeniach Y, natomiast zdecydowanie wpłynęło na zwiększenie obciążenia rozciągającego STL przy rdzeniach X (o ok. 70-80%). Ważnym elementem zastosowania tej technologii jest odpowiednia konstrukcja przyrządu i dobór sił docisku okuc, zapobiegający uszkodzeniu prętów szkłoepoksydowych. Wykonane pomiary, na wielu próbkach, strzałek ugięcia pokazały zależność tych wielkości od rodzaju badanej próbki X lub Y. Próbki Y cechowały się mniejszą strzałką ugięcia (o ok. 12-30%) od próbek X, jednocześnie ugięcia resztkowe także różniły się o ok. 10-30%. Szczególnie zauważalny wzrost różnic strzałek ugięcia występował przy wyższych obciążeniach zginających. Wykonane w ramach pracy, próby rdzeni szkłoepoksydowych mogą stanowić wytyczne do oceny i doboru prętów na rdzenie izolatorów kompozytowych, wsporczych i innych SN. Mogą być również zastosowane przy ocenie własności izolatorów zamontowanych w sieciach i urządzeniach SN. Przedstawione opracowanie może być podstawą ogólnej oceny prętów szkłoepoksydowych, ich własności mechanicznych i elektrycznych.

Autorzy: dr inż. Stanisław Kiszło, e-mail: s.kiszlo@iezd.pl, mgr inż. Michał Szymański, e-mail: m.szymanski@iezd.pl, Instytut Energetyki – Zakład Doświadczalny w Białymstoku, ul. Św. Rocha 16, 15-879 Białystok

LITERATURA

- [1] Wańkowicz J., Bielecki J., Izolatory kompozytowe do linii średnich napięć i 110kV. Zalecane właściwości i badania oraz wytyczne doboru., *PTPIREE* (2012).
- [2] PN-EN 62217:2013 Wnętrzowe i napowietrzne wysokonapięciowe izolatory polimerowe – Ogólne definicje, metody badań i kryteria oceny.
- [3] PN-EN 62231:2008 Kompozytowe wsporcze izolatory stacyjne na napięcia przemienne powyżej 1000V do 245 kV – Definicje, metody badań i kryteria oceny.
- [4] Instytut Energetyki, Laboratorium Wysokich Napięć. Sprawozdanie z badań nr EWN/86/E/15. Badania kompozytowych izolatorów wsporczych SN, wrzesień 2015.
- [5] Wieczorek K., Fleszyński J., Metody badań wysokonapięciowych izolatorów kompozytowych., *PAK* vol. 55, nr 1/2009.
- [6] Fleszyński J., Tymań A., Bretuj W., Metoda badania właściwości izolacyjnych rdzeni izolatorów kompozytowych. VI Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna NIWE 2000. Materiały konferencyjne, Wrocław, s.150-155, 2000.
- [7] Bretuj W., Fleszyński J., Wieczorek K., Diagnostyka izolatorów kompozytowych eksploatowanych w liniach elektroenergetycznych. *Przegląd elektrotechniczny R88*, nr 5a, s.51-54, 2012
- [8] Bielecki J., Wańkowicz J., Wytrzymałość kompozytowych wsporczych izolatorów stacyjnych przy obciążeniu zmiennym. *Przegląd elektrotechniczny R88*, nr 11b, s.122-125, 2012.