

doi:10.15199/48.2018.10.44

## Wpływ bariery dielektrycznej na wytrzymałość elektryczną powietrznych układów izolacyjnych

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano rezultaty badań i analiz dotyczących wpływu bariery dielektrycznej na wytrzymałość elektryczną powietrznych układów izolacyjnych. Badania przeprowadzono na układzie ostrzowym bez bariery oraz z barierą w postaci przegrody z papieru aramidowego. Analizie poddano różne geometrie układu elektrod ostrzowych oraz dokonano oceny zachodzących korelacji względem przyłożonego napięcia zasilania.

**Abstract.** The article presents the results of research and analysis regarding the impact of dielectric barriers on the electrical resistance of air in insulation systems. The tests were carried out on a blade systems without barriers and with a barrier made of aramid paper. The various geometries of the blade electrode system were analyzed and the correlation with the applied supply voltage was assessed. (**Influence of dielectric barrier on the electrical resistance of air in insulation systems**).

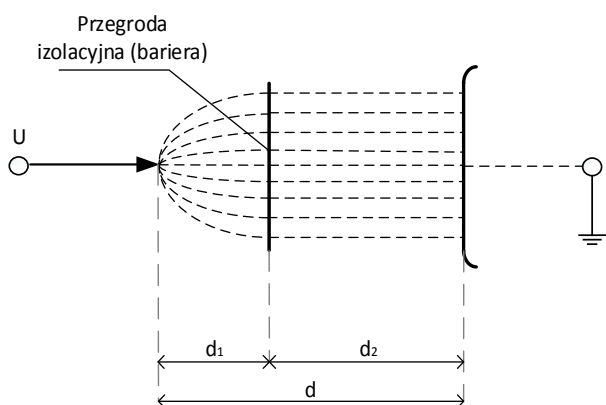
**Słowa kluczowe:** bariery dielektryczne, wytrzymałość elektryczna powietrzna, układy izolacyjne.

**Keywords:** dielectric barriers, electrical resistance of air, insulation systems.

### Wprowadzenie

Przegrody izolacyjne (bariery) są wykorzystywane jako jedna z najważniejszych technik zwiększania wytrzymałości elektrycznej układów izolacyjnych. W pierwszej kolejności dotyczy to układów olejowych, ale jest również wykorzystywane w powietrznych układach izolacyjnych [1-3]. Efekt zwiększenia wytrzymałości elektrycznej przez wykorzystanie barier występuje zarówno przy zasilaniu napięciem przemiennym jak i napięciem stałym [4]. Najczęściej wykorzystywanym dielektrykiem stałym z którego wykonywane są bariery izolacyjne jest celuloza [5, 6]. Wykorzystuje się cienkie arkusze celulozy ale także preszpany o grubości aż do 12,0 mm. W ostatnich kilkunastu latach inżynieria materiałowa umożliwiła opracowanie nowych materiałów dielektrycznych, z których mogą być wykonywane bariery izolacyjne. Jednym z takich materiałów jest papier aramidowy [7].

Wpływ bariery wykonanej z papieru aramidowego na wytrzymałość elektryczną powietrznego układu izolacyjnego przy napięciu przemiennym (AC) zbadano w układzie ostrze- płyta.



Rys.1. Rozkład linii sił pola elektrycznego w układzie typu ostrze- płyta z barierą dielektryczną

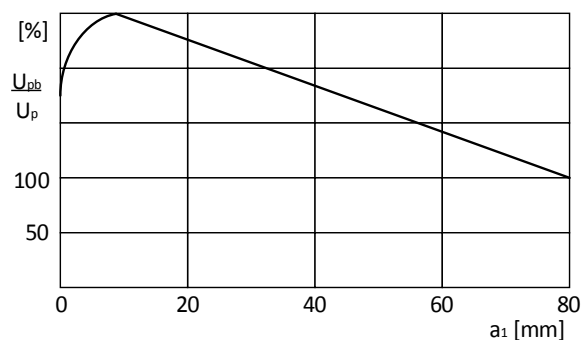
### Wytrzymałość elektryczna układu ostrze- płyta z barierą

W powietrznych układach izolacyjnych oddziaływanie barier polega na dyslokacji ładunków w polu elektrycznym, wynikającej z ograniczenia ich swobodnego ruchu. W układach ostrze- płyta najbardziej skuteczne oddziaływanie bariery występuje wówczas, gdy jest ona umieszczona w po-

bliżu elektrody ostrzowej [8-11]. Na rysunku 1 przedstawiono w poglądowy sposób wpływ bariery na rozkład pola elektrycznego w powietrznym układzie typu ostrze- płyta.

Na rysunku 2 przedstawiono wpływ przegrody na wartość napięcia przebicia  $U_p$  w funkcji odległości bariery od elektrody ostrzowej.

Korzystny efekt oddziaływania bariery na wytrzymałość głównie zależy od odległości umieszczenia jej od elektrody ostrzowej. Bariera wprowadzona do pola niejednostajnego dzieli obszar między elektrodami na dwie części. Wokół elektrody ostrzowej rozkład pola pozostaje silnie niejednostajny i występują w nim wyładowania typu iskrowego. W przestrzeni między elektrodą płaską a barierą rozkład pola zbliża się do jednostajnego.



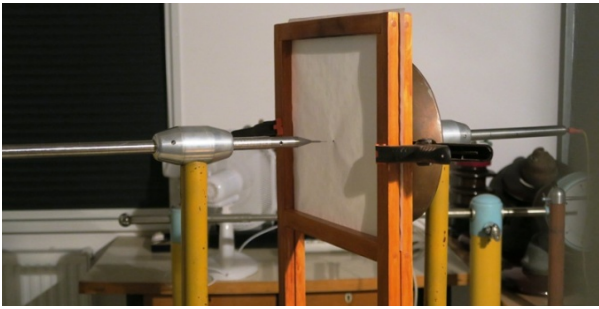
Rys.2. Przykładowa wytrzymałość układu ostrze- płyta z barierą dielektryczną w powietrzu [12]

### Układ wyładowczy

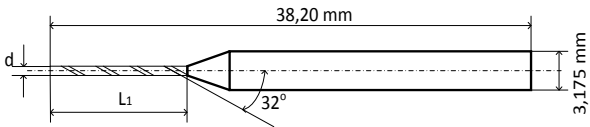
Na rysunku 3 przedstawiono zdjęcie stosowanego układu ostrze- płyta z barierą dielektryczną.

Do wykonywania badań wybrano elektrody ostrzowe typu wiertłowego o średnicach: 0,5 mm, 1,0 mm i 1,5 mm. Szkic elektrody przedstawiono na rysunku 4.

Długości ( $L_1$ ) wynosiły odpowiednio: 7,0 mm, 8,5 mm i 10,5 mm. Dla mocowania elektrod wiertłowych zastosowano sworznie o średnicy wewnętrznej 3,2 mm. Na rysunku 5 przedstawiono zdjęcie iskiernika pomiarowego z zamocowanymi elektrodami wiertłowymi.



Rys.3. Zdjęcie układu typu ostrze- płyta z przegrodą



Rys.4. Szkic ostrzowej elektrody wiertłowej



Rys.5. Widok ogólny iskiernika ostrze-ostrze z elektrodami typu wiertłowego

Konstrukcję uchwytu bariery (przegrody) przedstawiono na rysunku 6. Uchwyt wykonano z drewna. Okno uchwytu ma wymiary 30,0 x 30,0 cm. Marginesy uchwytu, dociskające ściankami badane przegrody, miały szerokość równą 2,0 cm. Przegrodę z uchwytem uwidoczniiono na rysunku 3.



Rys.6. Ogólny widok układu mocującego z umieszczoną przegrodą

### Metodyka i zakres pomiarów

Podjęte badania obejmowały pomiary wytrzymałości elektrycznej powietrza w układzie ostrze-płyta, w opcjach bez przegrody oraz z przegrodą [13-14].

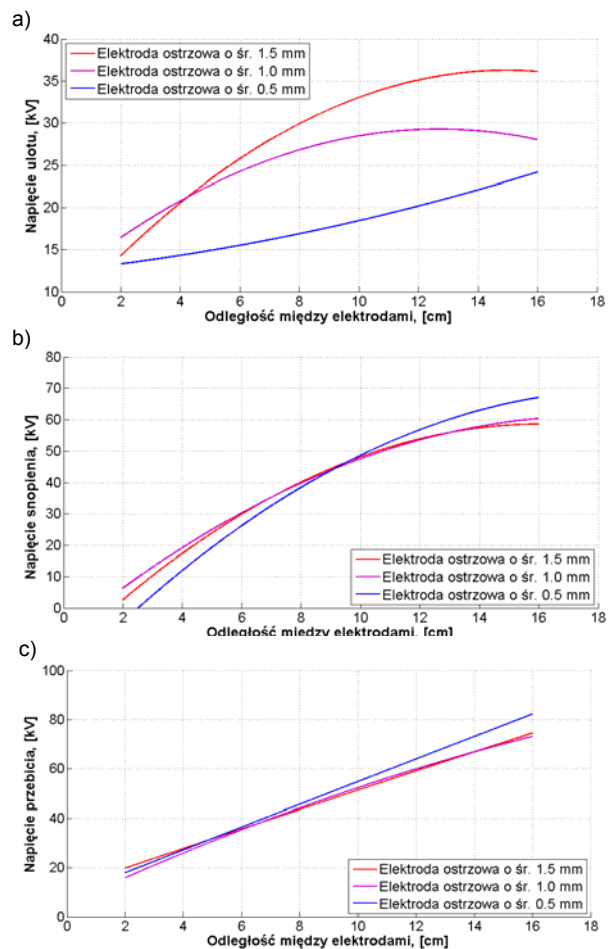
Wszystkie pomiary wykonano w standardowym układzie pomiarowym do badań przy napięciu przemiennym. Badania w układach bez przegród, wykonywano dla różnych odległości  $d$  pomiędzy elektrodami, zmieniając ją w przedziale od 2,0 cm do 16,0 cm, z krokiem co 2,0 cm. Dla

każdej odległości wykonano trzy pomiary każdego z napięć charakterystycznych. Jako napięcia charakterystyczne przyjęto: napięcie ulotu –  $U_o$ , napięcie snopienia –  $U_s$  oraz napięcie przebicia –  $U_p$ . W podanych wynikach pomiarów uwzględniono warunki atmosferyczne. Dla uzyskanych wyników wyznaczono odchylenie standardowe, oraz wielomianowy model regresji (model trendu) [15].

Badania w układzie z przegrodami wykonano tylko dla trzech różnych odległości między elektrodami  $d$ , które kolejno wynosiły: 5,0 cm; 6,0 cm; i 7,0 cm. Odległość bariery izolacyjnej od elektrody ostrzowej była stała i równa  $d_1 = 1,5$  cm. Badanie wytrzymałości elektrycznej wykonywano dla trzech, wcześniej wybranych elektrod ostrzowych (o średnicach: 0,5 mm i 1,0 mm i 1,5 mm. Dla każdej konfiguracji układu pomiarowego i dla każdego z napięć charakterystycznych pomiary wykonano trzykrotnie.

### Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów otrzymane w układzie bez przegród przedstawiono na rysunku 7.

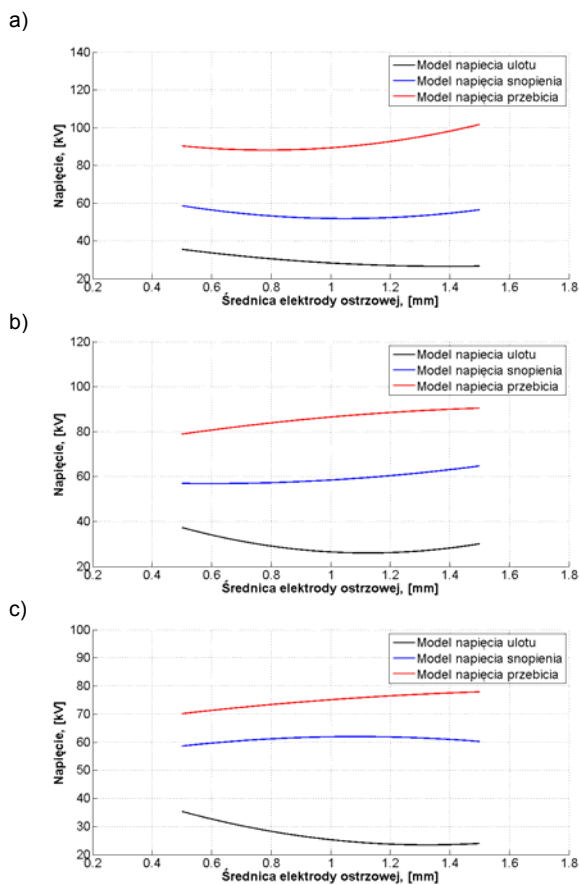


Rys.7. Zależność napięcia ulotu –  $U_o$  (a), snopienia –  $U_s$  (b) i przebicia –  $U_p$  (c), dla badanych układów typu ostrze-płyta

Wyniki uzyskane w układzie typu ostrze-płyta z przegrodą aramidową zaprezentowano na rysunkach 8 i 9. Poszczególne charakterystyki odnoszą się do układów w których odległości między elektrodami  $d$  wynosiły odpowiednio: 7,0 cm; 6,0 cm i 5,0 cm.

Przebiegi przedstawione na rys. 8a i 9a wskazują, że w zakresie małych średnic elektrody ostrzowej (od 0,5 do 1,0 mm) przebiegi napięcia ulotu mają taki sam trend i zbliżone wartości. Przy średnicach większych od 1,0 mm modele napięcia ulotu przybierają różne wartości. Np. dla średnicy

elektrody ostrzowej wartości napięcia ulotu wynoszą 30,0 kV (dla odległości między elektrodami równej 6,0 cm), 26,5 kV (dla odległości między elektrodami 7,0 cm) i 24,0 kV (dla odległości między elektrodami 5,0 cm). Ogólny trend zmian krzywych jest malejący: im większa średnica elektrody ostrzowej, tym wartość napięcia ulotu mniejsza.

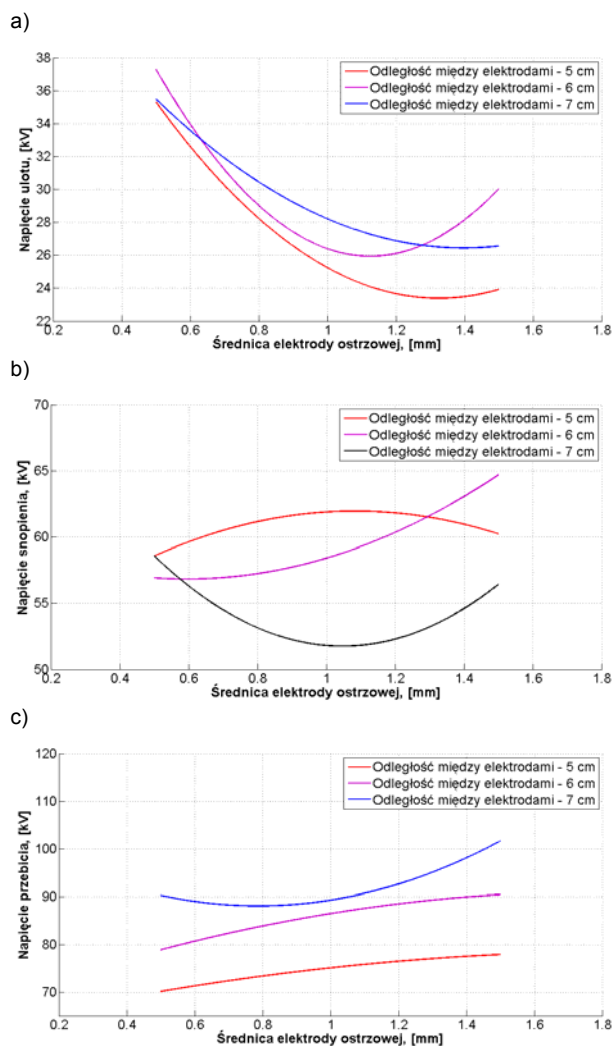


Rys.8. Charakterystyki napięciowe dla układu typu ostrze-płyta z przegrodą z papieru aramidowego dla odległości między elektrodami:  $d = 7,0$  cm (a);  $d = 6,0$  cm (b);  $d = 5,0$  cm (c)

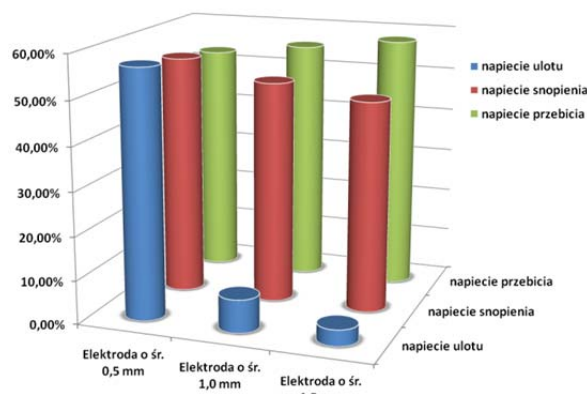
Na rysunkach 8b i 9b przedstawiono przebiegi napięcia snopienia w układzie z przegrodą aramidową 0,06 mm. Przy średnicy elektrody ostrzowej 0,5 mm wartości napięcia ulotu różnią się nieznacznie: 59,0 kV, 62,0 kV i 60,0 kV. Jednakże różnice w tych przebiegach występujących w układzie w którym elektroda ostrzowa ma większą średnicę, są znaczne i odpowiednio wynoszą: 60,0 kV, 65,0 kV i 56,0 kV.

Na rysunkach 8c i 9c przedstawiono z kolei porównawcze przebiegi modeli napięcia przebicia zarejestrowane w układzie z przegrodą aramidową. Trend zmian wszystkich modeli jest monotonicznie rosnący. Występują natomiast zrozumiałe różnice w wartościach napięcia przebicia w zależności od odległości pomiędzy elektrodami. Najwyższe wartości napięć  $U_p$  występują w układzie z odległością 7,0 cm, wartości pośrednie w układzie z odległością 6,0 cm i najniższe w układzie z odległością 5,0 cm.

Na podstawie uzyskanych rezultatów oszacowano procentowy przyrost wytrzymałości elektrycznej obserwowany dla układów typu ostrze-płyta z przegrodą z papieru aramidowego (rys. 10 i 11). Wartości procentowe odniesione są do układu o identycznych parametrach geometrycznych lecz bez bariery dielektrycznej.



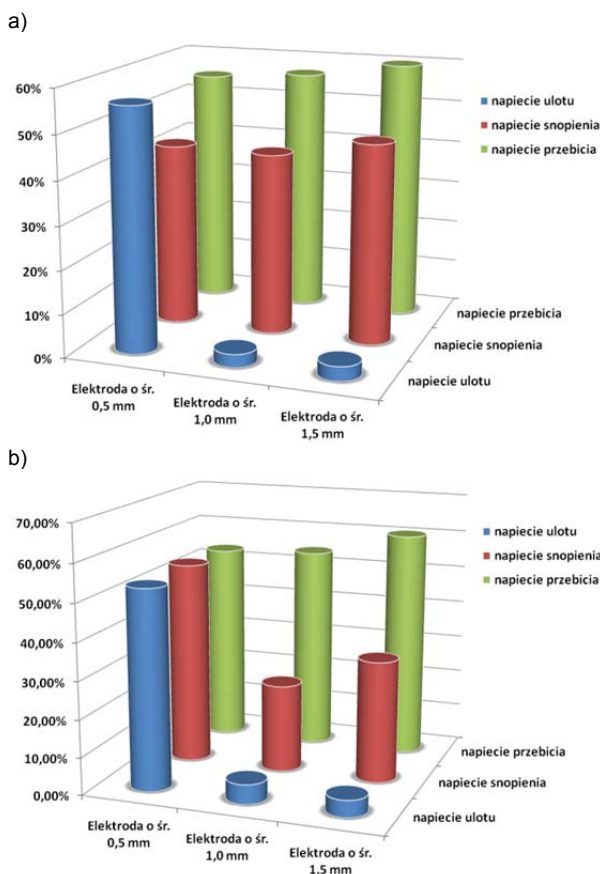
Rys.9. Zależność napięcia ulotu (a), snopienia (b) i przebicia (c) dla układu ostrze-płyta, dla przegrody z papieru aramidowego



Rys.10. Procentowy wzrost wytrzymałości elektrycznej dla układu ostrze-płyta z przegrodą z papieru aramidowego o gr. 0,06 mm w odniesieniu do układu bez przegrody dla odległości między elektrodami  $d = 5,0$  cm

## Wnioski

Przedstawione porównawcze wyniki otrzymane w różnych układach mogą być wykorzystywane w projektowaniu i budowie powietrznych układów izolacyjnych z przegrodami wykonywanymi z dielektryków stałych, a zwłaszcza w tych, w których wykorzystuje się na przegrody papier aramidowy.



Rys. 11. Procentowy wzrost wytrzymałości elektrycznej dla układu ostrze-płyta z przegrodą w odniesieniu do układu bez przegrody dla odległości między elektrodami:  $d = 6,0$  cm (a) i  $d = 7,0$  cm (b)

Wyniki uzyskane podczas badań z wykorzystaniem barier wykonanych z cienkiego papieru aramidowego i przedstawione w niniejszym artykule, potwierdzają bardzo wysoką wytrzymałość elektryczną powietrznych układów z tego rodzaju barierami. Kolejne planowane pomiary będą dotyczyły grubszych barier aramidowych, szeregowo uwarstwionych, cienkich barier impregnowanych różnymi olejami izolacyjnymi i dokładniejszego zoptymalizowania odległości bariery aramidowej od elektrody ostrzowej.

**Autorzy:** Anna Koźmic, E-mail: [anna.m.kozmic@gmail.com](mailto:anna.m.kozmic@gmail.com); dr inż. Michał Kozioł, E-mail: [m.kozioł@po.opole.pl](mailto:m.kozioł@po.opole.pl), prof. dr. hab. inż. Jerzy Skubis, E-mail: [j.skubis@po.opole.pl](mailto:j.skubis@po.opole.pl), Politechnika Opolska, Instytut Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej, ul. Prószkowska 76, 46-758 Opole

#### LITERATURA

- [1] Foruzan E., Akmal A.A.S., Niayesh K., Lin J., Sharma D.D., Comparative study on various dielectric barriers and their effect on breakdown voltage, *High Volt.*, (2018), 3, (1), 51–59
- [2] Schueller M., Blaszczyk A., Krivda A., Smajic J., Influence of the surface conductivity of a single glass barrier on the breakdown voltage in an air insulated rod plane arrangement, *Annu. Rep. - Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenomena, CEIDP*, (2016) December, 428-431
- [3] Morańda H., Krzysztof W., Mościcka-Grzesiak H., Wytładowania niezupełne w układzie izolacyjnym celulozowej mineralny oraz celuloza-ester syntetyczny, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2016), 92, (10), 155-157
- [4] Mościcka-Grzesiak, H. (red.), Inżynieria wysokich napięć w elektroenergetyce, Tom 2, *Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej* (1999)
- [5] Celiński Z., Materiałoznawstwo elektrotechniczne, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa (1998)
- [6] Kolbiński K., Słowikowski J., Materiałoznawstwo elektrotechniczne, *WNT*, Warszawa, (1988)
- [7] Szpulak P., Measuring system enabling electric field distribution, *ZN PO, Elektryka* z. 75, nr kol. 365/2017, (2017) 99-100
- [8] Kędzia J., Brzostek E., Skubis J., Durchschlagsspannung von Luftisolierungen mit Isolierstoffbarrieren, *Elektrie* 32 (1978), 667-668
- [9] Praca zbiorowa pod red. Szczepański Z., Układy izolacyjne urządzeń elektroenergetycznych, *WNT*, Warszawa, (1978)
- [10] Skubis T., Opracowanie wyników pomiarów. Przykłady, *Wyd. Pol. Śl.*, Gliwice, (2003)
- [11] Magiera M., Wymysło M., Wybrane metody badawcze izolacji papierowej transformatorów, *XI Konf. N-T, Zarządzanie Eksploatacją Transformatorów, Wisła-Jawornik*, (2018), 129-134
- [12] Flisowski Z., Technika wysokich napięć, *WNT Warszawa* (2005)
- [13] Szpor S., Dzierżek H., Winiarski W., Technika wysokich napięć, *PWN*, Warszawa (1978)
- [14] Mościcka-Grzesiak H. (red.), Inżynieria wysokich napięć w elektroenergetyce, Tom 1, *Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej* (1996)
- [15] Koźmic A., Wpływ przegród izolacyjnych na wytrzymałość elektryczną powietrznych układów izolacyjnych, *Praca magisterska*, Politechnika Opolska, (2018)