

Stanisław Wyderka

## WPLYW UKŁADU MODELOWEGO NA INTENSYWNOŚĆ WYŁADOWAŃ NIEZUPERNYCH

### 1. Wstęp

Układy modelowe, stosowane do badań odporności dielektryków syntetycznych na wyładowania niezupełne /wnz/, zwykle różnią się znacznie od praktycznych układów izolacyjnych. Wynika to często z chęci uzyskania łatwo mierzalnych wyładowań, tzn. odpowiednio intensywnych i stabilnych w czasie, oraz ułatwienia pomiaru wielkości charakteryzujących postęp degradacji izolacji. Znaczne różnice między parametrami geometrycznymi i fizycznymi wtrącin modelowanych i rzeczywistych wpływają zarówno bezpośrednio, jak i pośrednio /przez wpływ na charakter i intensywność wyładowań/ na wyniki badań odporności izolacji na wnz.

Postanowiono zbadać wpływ niektórych czynników związanych z geometrią i sposobem wykonania układu modelowego na napięcie początkowe wnz oraz na wartość ładunku pozornego, będącego jedną z wielkości charakteryzujących intensywność wnz.

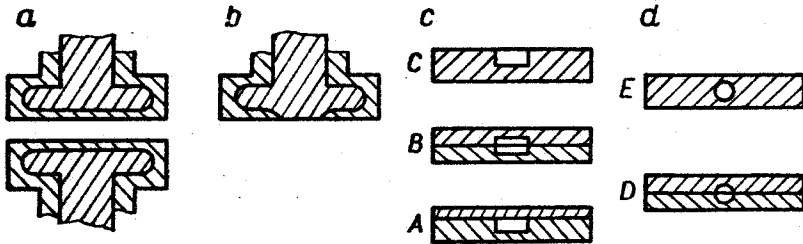
### 2. Pomiary i obliczenia

Pomiary wartości ładunku pozornego  $q_p$  oraz napięcia początkowego wnz /przemienne, 50 Hz/ przeprowadzono w układzie elektrod podobnym do stosowanego przez Luczynskiego [3] /rys.1/. Mierzono dwie wartości

---

Mgr inż. Stanisław Wyderka, Zakład Urządzeń Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki Politechniki Rzeszowskiej im. I. Łukasiewicza

napięcia początkowego wnz:  $U_{on}$  - /wyładowań nieciągłych - linie przerywane na rys.3/ najmniejsza wartość napięcia, przy którym w ogóle miały miejsce w ciągu minuty;  $U_{oc}$  - /wyładowań ciągłych - linie ciągłe na rys.3/ najmniejsza wartość napięcia, przy którym w każdym okresie zmian napięcia w ciągu minuty występowały wnz. Wartość maksymalną  $q_p$  mierzono przy  $U_{oc}$ .



Rys.1. Elektrody i próbki do badań modelowych wnz: a zespół elektrod zatopionych w żywicy do próbek typu A, B, D i E; b górna elektroda do próbek typu C; c próbki z wtrącinami walcowymi: A - dzielonymi niesymetrycznie, B - dzielonymi symetrycznie, C - przy elektrodzie metalowej; d próbki z wtrącinami kulistymi: D - wierconymi i odlewanyymi, E - wdmuchiwanymi.

Przebadano próbki z żywicy epoksydowej /Epidian 5, utwardzacz Z-1/ z wtrącinami walcowymi wierconymi i odlewanyymi /rys.1c/: dzielonymi niesymetrycznie - typ A, dzielonymi symetrycznie - typ B oraz usytuowanymi przy elektrodzie - typ C. Wysokości wtrącin walcowych  $h_w = 0,5$  mm i 3 mm, średnice  $d_w = 1, 2, 4, 6$  mm, grubość izolacji szeregowej do wtrącin  $h_s = 4$  mm. Przebadano również próbki z tej samej żywicy z wtrącinami kulistymi /rys.1d/: wierconymi i odlewanyymi - typ D oraz wdmuchiwanymi - typ E. Średnice wtrącin kulistych  $d_k = 1, 2, 4$  i 6 mm;  $h_s$  - jak wyżej.

Do odlewania próbek stosowano formy z polimetakrylanu metylu i teflonu. Wtrącinę wierconą wykonywano za pomocą odpowiednio ukształtowa-

nych wiertel i frezów. Wtrąciny odlewane wykonywano za pomocą modeli teflonowych, a wtrąciny wdmuchiwane - metodą podobną do stosowanej przez Weldingha [6].

Na wykresach  $q_p = f/d_w$  /rys.2/ naniesiono wartości  $q_p$  obliczone z zależności:

$$q_p = U_w \cdot C_s \quad (1)$$

gdzie:  $U_w = f/h_w$  - z krzywej Paschena,

$C_s = \text{wg. Ollendorffa [5]}$  :

$$C_s = \frac{4 \epsilon_0 \epsilon_w d_w}{1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \left( \frac{d_w}{2 \sqrt{0,25d_w^2 + 4h_s^2}} \right)} \quad (2)$$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$ ,  $\epsilon_w$  - przenikalność diel.wzgl. żywicy.

Podobnie na wykresie  $q_p = f/d_k$  /rys.2/ naniesiono wartości  $q_p$  obliczone z zależności 1, przy czym  $U_w$  i  $C_s$  obliczono zastępując wtrąciny kuliste wtrącinami walcowymi, przy założeniu:

$$d_w = h_w = \sqrt[3]{\frac{2}{3}} d_k$$

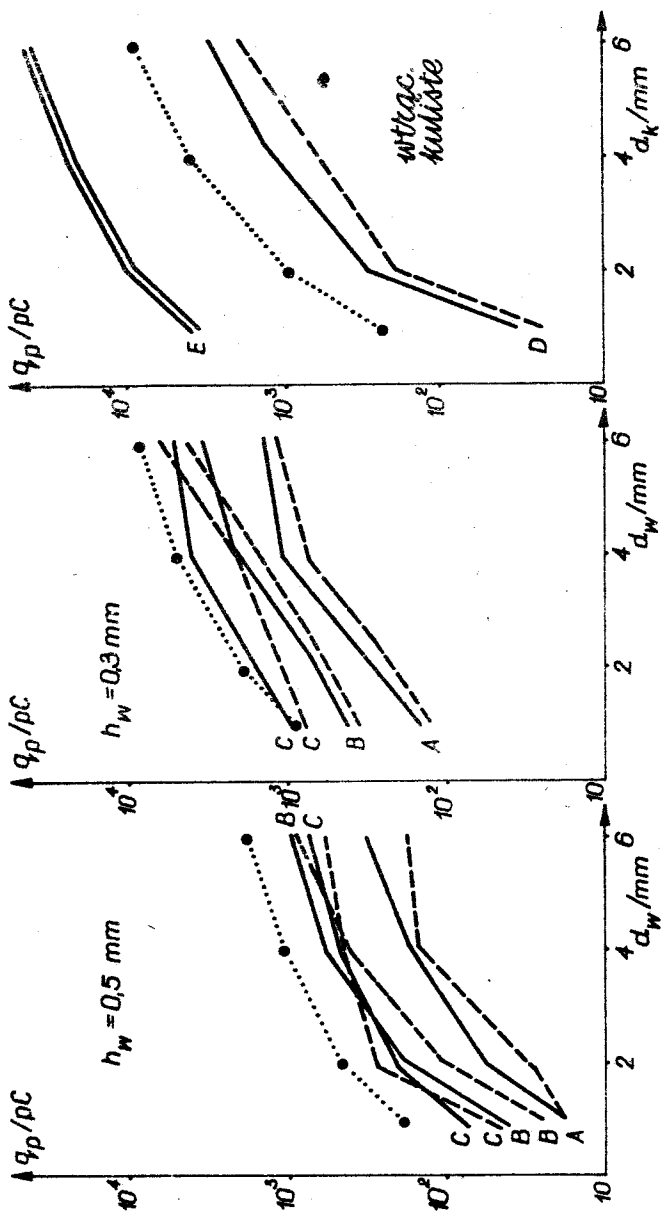
Natomiast na wykresach  $U_o = f/d_k$  /rys.3/ naniesiono wartości  $U_{oo}$  obliczone według [2] z zależności:

$$\frac{U_w}{U_o} = \frac{\left(1 + \frac{h_s}{h_w}\right) \epsilon_w^{1,6} + \epsilon_w \left(\frac{d_w}{h_w}\right)^{1,5} \left(\epsilon_w + \frac{h_s}{h_w}\right)}{\left(1 + \frac{h_s}{h_w}\right)^2 \epsilon_w^{1,6} + \left(\frac{d_w}{h_w}\right)^{1,5} \left(\epsilon_w + \frac{h_s}{h_w}\right)^2} \quad (3)$$

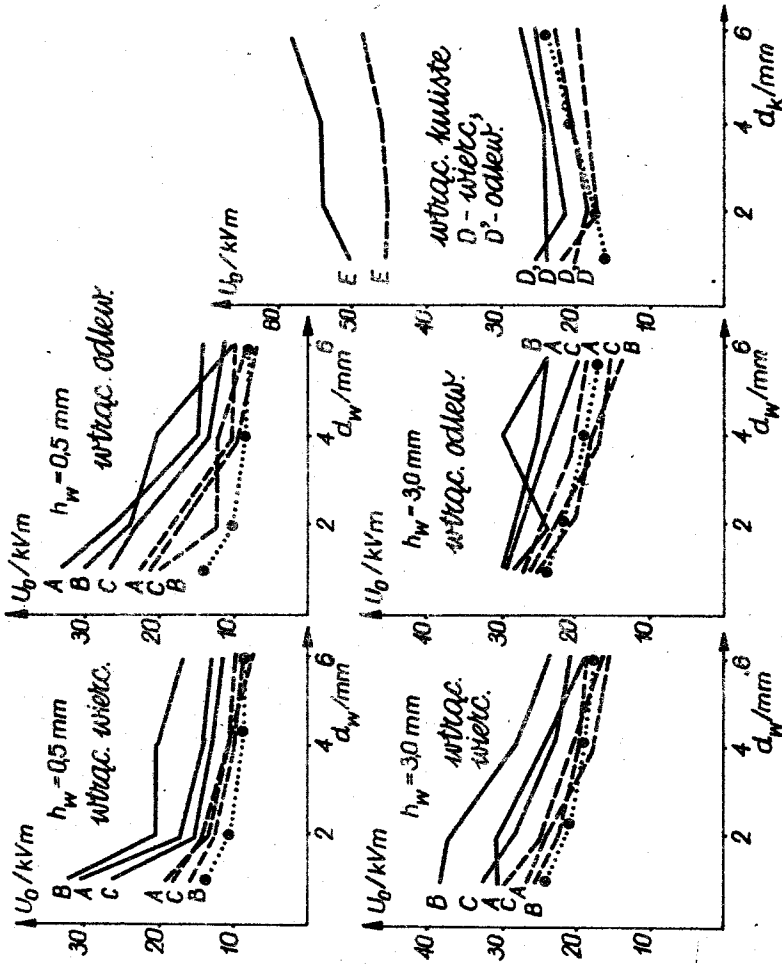
Na wykresie  $U_o = f/d_k$  /rys.3/ naniesiono wartości  $U_{oo}$  obliczone ze wzoru

$$U_{oo} = U_w \frac{h_s + d_k}{d_k} \cdot \frac{1 + 2\epsilon_w}{3\epsilon_w}$$

który otrzymano z zależności między natężeniem pola we wtrącinie kulistej  $/K_w/$  a natężeniem pola w otaczającym dielektryku  $/K/$



Rys.2. Zależność maksymalnego ładunku pozornego wnz od średnicy wtrąciny: a) a wtrącin walcowych -  $q_p = f/d_w$  / i wtrącin kulistych -  $q_p = f/d_k$  ; linie przerywane - wtrąciny wiercone, linie ciągłe - wtrąciny odlewane, linia podwójna - wtrąciny wdmuchiwane, linie kropkowe - wartości  $q_p$  obliczone: A,B,..... E - typ próbki



Rys. 3. Zależność napięcia początkowego wznz od średnicy wtrącin: dla wtrącin walcowych  $U_o = f/d_w$  i wtrącin kulistych -  $U_o = f/d_k$ ; linie przerywane  $U_{on}$  /wyład.nie-  
ciągłych/, linie ciągłe -  $U_{oc}$  /wyład.ciągłych/, linie kropkowe -  $U_{oc}$  /obliczone/  
A, B, ..... E - typ próbki

$$K_w = K \frac{3 \mathcal{E}_w}{1 + 2 \mathcal{E}_w}$$

podstawiając

$$K_w = \frac{U_w}{d_k} \quad \text{i} \quad K = \frac{U_{oc}}{h_s + d_k}$$

### 3. Omówienie wyników badań

Porównując wartości  $q_p$  dla wtrącin walcowych dzielonych niesymetrycznie i symetrycznie /krzywe A i B na rys.2/, łatwo stwierdzić, że  $q_p$  dla tych pierwszych ma znacznie mniejsze wartości niż dla tych drugich. Nie jest wykluczone, że przyczyną tego jest szybsza ucieczka wodoru z mniej szczelnych wtrącin dzielonych przy dnie, niż z wtrącin dzielonych w połowie ich wysokości. Za mniejszą koncentracją  $H_2$  w tych pierwszych przemawiają również większe wartości  $U_{on}$ . Wprawdzie wartości  $U_{oc}$  dla wtrącin dzielonych niesymetrycznie są w większości przypadków mniejsze /co również jest przyczyną mniejszych wartości  $q_p$ /, niż dla tych drugich, ale może to być spowodowane znacznym zanieczyszczeniem /na skutek elektryzacji przed złożeniem modelu / powierzchni cienkiej płytki, której część środkowa stanowi jedno z den wtrąciny dzielonej niesymetrycznie. Ten mechanizm zanieczyszczenia ma mniejsze znaczenie w przypadku dna wtrąciny położonego w głębi próbki.

W przypadku wtrącin przy elektrodzie metalowej mniejsza praca wyjścia elektronów wtórnych z metalu oraz brak odizolowania wtrąciny od elektrody wpływa na zwiększenie  $q_p$  /krzywe C na rys.2/ oraz zmniejszenie  $U_{on}$  i  $U_{oc}$ . Wpływ ten na napięcie początkowe dla małych  $d_w$  jest mniejszy, co może wiązać się z silnym wpływem ścianek bocznych na natężenie pola we wtrącinie zgodnie z wzorem 3.

Większe nierówności powierzchni wtrącin wierconych /tak walcowych jak i kulistych/ są przyczyną mniejszych wartości  $U_{on}$  i  $U_{oc}$  niż dla wtrącin odlewanych /rys.3/. Mniejsze wartości  $U_{oc}$  powodują, że wartości  $q_p$  dla wtrącin wierconych są również mniejsze niż dla odlewanych.

Porównując wartości napięć początkowych obliczonych  $U_{00}$  ze zmierzonymi  $U_{on}$  dla wtrącin walcowych /rys.3/ łatwo stwierdzić ich dość dobrą zgodność dla większych  $d_w$ . Jedną z przyczyn większych wartości  $U_{on}$  od  $U_{00}$  dla małych  $d_w$  może być większy, niż wynika z /3/, wpływ ścianek bocznych na rozkład pola elektrycznego we wtrącinie.

W przypadku wtrącin kulistych  $U_{on}$  dla wtrącin wdmuchiwanym  $/U_0 = f/d_k/$  na rys.3/ jest ok. 2,5 raza większe od  $U_{on}$  dla wtrącin wierconych i odlewanych. Zgodnie z [1] można to wyjaśnić brakiem, przy pierwszym podnoszeniu napięcia, wolnych elektronów we wtrącinie. Duże wartości  $U_{oc}$  są jedną z przyczyn dużych wartości  $q_p$  dla wtrącin typu  $E/q_p = f/d_k/$  na rys.2/. Duże  $q_p$  może być spowodowane również znacznym wzrostem w krótkim czasie /pomiar w ciągu minuty/ liczby cząstek naładowanych w tego rodzaju wtrącinach.

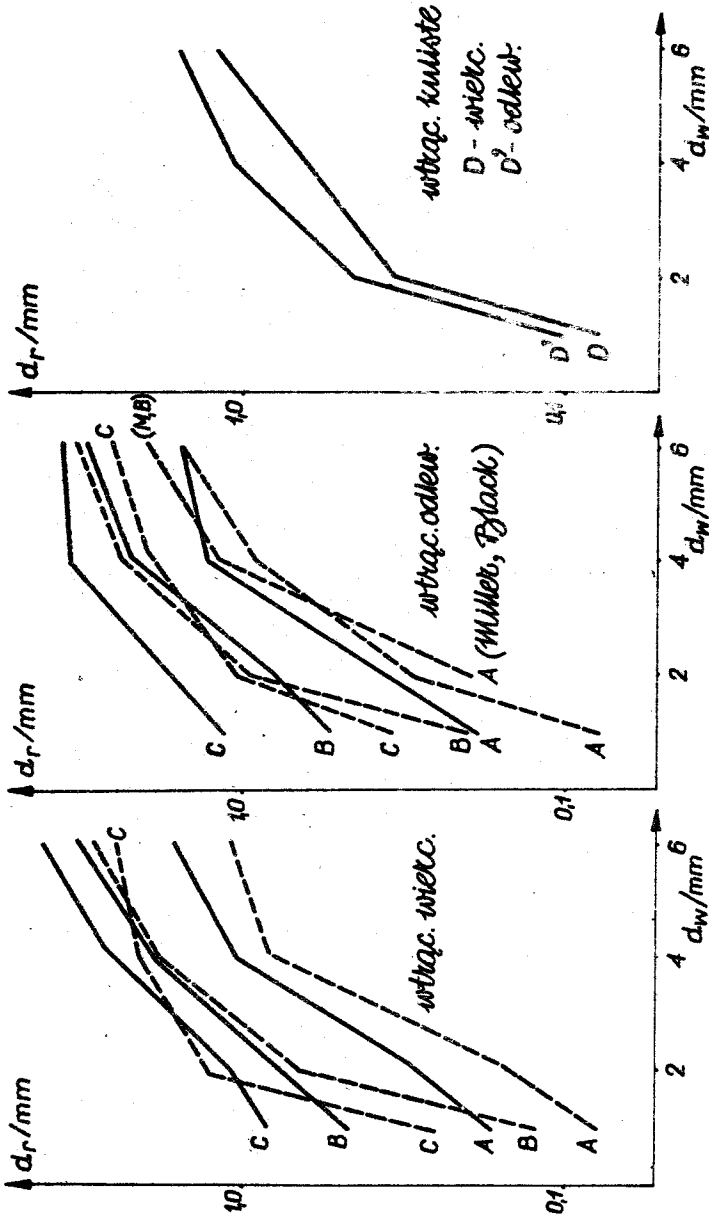
Na rysunku 4 przedstawiono zależności średnicy powierzchni rozładowującej się podczas jednego wyładowania od średnicy wtrąciny wyznaczone na podstawie /1/ i /2/, zastępując  $d_w$  przez  $d_r$ . Dla porównania wyznaczono w podobny sposób  $d_r$  na podstawie rezultatów otrzymanych przez Millera i Blacka [4] .

Małe  $d_r$  dla wtrącin walcowych  $h_w = 0,5$  mm i  $d_w = 1$  mm oraz wtrącin kulistych  $d_k = 1$  mm wskazują na mechanizm Townsenda rozwoju wyładowań. Malejące różnice między  $d_r$  dla  $h_w = 0,5$  mm i 3 mm w miarę wzrostu  $d_w$  danego typu wtrącin walcowych mogą świadczyć o podobnym mechanizmie wyładowań w tych wtrącinach. Prawdopodobnie jest to mechanizm kanałowy skojarzony z wyładowaniami powierzchniowymi na dnie wtrąciny.

#### 4. Wnioski

Wykazany wpływ parametrów układu modelowego na intensywność wyładowań, niekiedy znaczny nawet w przypadku niewielkich różnic w wykonaniu próbek, wskazuje na konieczność ostrożnego podejścia do wyboru układów modelowych mających służyć do badań odporności izolacji na wnz.

Duże różnice między wynikami pomiarów dla wtrącin kulistych typu D



Rys. 4. Zależność średnicy powierzchni rozładującej się od średnicy wtrącin: dla wtrącin walcowych /  $h_w = 0,5$  mm - linie przerywane,  $h_w = 3$  mm - linie ciągłe / -  $d_r = f/d_w$ , oraz wtrącin kulistych -  $d_r = f/d_k$ ; A, B, ..... E - typ próbki.



i E wskazują na małą przydatność tych pierwszych, jako modeli wtrącin w izolacji rzeczywistej. Lepszym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie próbek z wtrącinami wdmuchiwanymi dzielonymi do badań modelowych, w których nie można użyć próbek z wtrącinami typu E.

#### LITERATURA

1. Goliński J.: Przebiecie jonizacyjne stałych polimerów. Postępy TWN, Warszawa 1965, PWN, z.4.
2. Hall H.C., Russek R.M.: Discharge Inception and Extinction in Dielectric Voids, Proc.IEE, 1954, No 1, vol.101.
3. Luczynski B.: The Measurement of the Temporal Development of Fast Discharge Currents, Int. H V Symp., 1975, Zurich.
4. Miller R., Black I.A.: Partial Discharge Measurements Over the Frequency Range 0,1 Hz to 50 Hz. IEEE Trans.Electr.Insul., 1977, No 3, vol. EI-12.
5. Ollendorff F.: Potentialfelder der Elektrotechnik, Berlin 1932.
6. Weldingh H.: Internal Discharges in Spherical Cavities in Epoxy Resins. Publ. No 7702, 1977, Techn.Univ. of Denmark.

#### Summary

#### INFLUENCE OF A MODEL SYSTEM ON A INTENSITY OF PARTIAL DISCHARGES

Influence of some factors combined with geometry and technology of a model system of an epoxy insulation with a void on an apparent charge and an inception voltage of partial discharges is investigated. Diameters of regions of a surface combined with single discharges into a void are determined.