

Marek Ścibisz  
Katedra Podstaw Techniki  
Akademia Rolnicza w Lublinie

## KOMPUTEROWA ANALIZA WPLYWU GEOMETRII UZWOJEŃ NA SKUTECZNOŚĆ FILTRU BIFILARNEGO

### Streszczenie

Odpylaczem spełniającym warunki pracy w strefie wybuchowej jest filtr bifilarny. Jego działanie oparte jest na wytworzeniu niejednorodnego pola elektrycznego, powodującego przyciąganie cząstek dielektryka jakim jest pył organiczny. Skuteczność działania odpylacza bifilarnego uzależniona jest od rozkładu pola elektrycznego wokół jego uzwojeń. Rozkład pola zmienia się w zależności od sposobu nawinięcia przewodów uzwojenia jak i w zależności od wymiarów geometrycznych tych uzwojeń. Ocenę przydatności poszczególnych układów wykonania uzwojenia można dokonać na podstawie analizy teoretycznej rozkładu pola, wykorzystując specjalizowane programy komputerowe. Takim programem jest QuickField firmy Terra Analyses. W artykule przedstawiono wyniki analizy rozkładu potencjału elektrycznego i natężenia pola elektrycznego przy uwzględnieniu zmiany wymiarów geometrycznych uzwojenia oraz sposobu ich ułożenia.

**Słowa kluczowe:** pole elektryczne, symulacja komputerowa, odpylanie

### Wykaz oznaczeń

$U$	– napięcie zasilania uzwojeń, V
$\varepsilon_1$	– względna przenikalność dielektryczna izolacji uzwojeń, -
$\varepsilon_2$	– względna przenikalność dielektryczna karkasu, -
$b$	– grubość karkasu, mm
$a$	– odległość przewodów uzwojeń, mm
$d_1, d_3, d_w$	– średnica wewnętrzna przewodów uzwojeń, mm
$d_2, d_4, d_z$	– średnica zewnętrzna przewodów uzwojeń, mm
$E$	– natężenie pola elektrycznego, V/m
$\lambda$	– współczynnik wykorzystania pola elektrycznego, -
$S_a$	– obszar czynny pola elektrycznego, m <sup>2</sup>
$S_c$	– obszar całkowity pola elektrycznego, m <sup>2</sup>

## Wprowadzenie

W przemyśle rolno-spożywczym ważnym zagadnieniem jest odpylanie. Powstające w zakładach produkcyjnych pyły usuwane są przy wykorzystaniu filtrów tkaninowych. Materiały filtracyjne muszą być systematycznie oczyszczane, co wiąże się z koniecznością wyłączenia filtru. Tej niedogodności pozwalają uniknąć elektrofiltry. Są one powszechnie stosowane w przemyśle energetycznym.

Jednakże elektrofiltrów nie można przenieść bezpośrednio do przedsiębiorstw rolno-spożywczych (młyny, kaszarnie). Występujący w tych zakładach pył ma charakter wybuchowy, a w elektrofiltrach występuje zjawisko wyładowania niezupełnego, co może doprowadzić do wybuchu. Stąd wymagane jest stosowanie odpylaczy pracujących poniżej zakresu wyładowania koronowego.

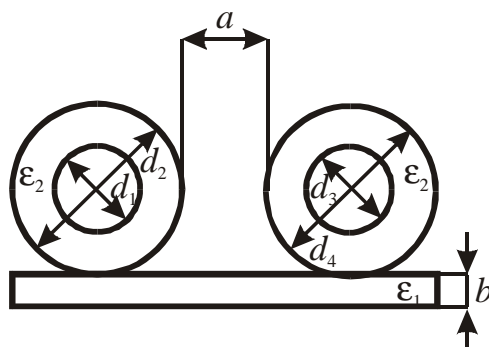
Odpylaczem spełniającym warunki pracy w strefie wybuchowej jest filtr bifilarny. Jego działanie oparte jest na wytworzeniu niejednorodnego pola elektrycznego, powodującego przyciąganie cząstek dielektryka jakim jest pył organiczny [Pietrzyk 2003]. Skuteczność działania odpylacza bifilarnego uzależniona jest od rozkładu pola elektrycznego wokół jego uzwojeń. Rozkład pola zmienia się w zależności od sposobu nawinięcia przewodów uzwojenia jak i w zależności od wymiarów geometrycznych tych uzwojeń.

Ocenę przydatności poszczególnych układów wykonania uzwojenia można dokonać na podstawie analizy teoretycznej rozkładu pola. W celu uproszczenia obliczeń można wykorzystać specjalizowane programy komputerowe, przeznaczone do analizy rozkładu pola elektrycznego. Takim programem jest QuickField firmy Terra Analyses.

## Opis i założenia metody analizy

Obliczenia oparte są tu na metodzie elementu skończonego. Rozwiązanie dokonywane jest w obszarze dwuwymiarowym (2-D). Wyniki obliczeń są prezentowane w postaci graficznej, przedstawiającej rozkład potencjału skalarnego lub rozkład natężenia pola w analizowanym modelu odpylacza bifilarnego [Ścibisz, 2004]. Analizie poddano niżej przedstawiony ogólny model uzwojenia filtru bifilarnego.

We wszystkich przypadkach przyjęto, że żyły przewodów uzwojenia wykonane zostały z miedzi, natomiast przenikalność izolacji (polwinit) wynosiła  $\epsilon_2 = 4,25$ , a przenikalność dielektryczna karkasu (polichlorek winylu, winidur) wynosiła  $\epsilon_1 = 3,6$  [Poradnik 2005]. Uzwojenia były zasilane napięciem  $U = 6\ 000\ \text{V}$ .



Rys. 1. Model do analizy wpływu wymiarów geometrycznych uzwojenia filtru bifiliarnego i sposobu jego ułożenia na wartość natężenia pola elektrycznego

Fig. 1. The model to analyses influence of lead's dimension and method lead's wind-up on electric field intensity

### Analiza rozkładu pola elektrycznego

W początkowej analizie przyjęto, że uzwojenia stykają się ze sobą ( $a = 0$ ). Zmieniało natomiast rozmiary przewodów. Przeanalizowano przypadki uzwojeń wykonanych przewodami o wymiarach:

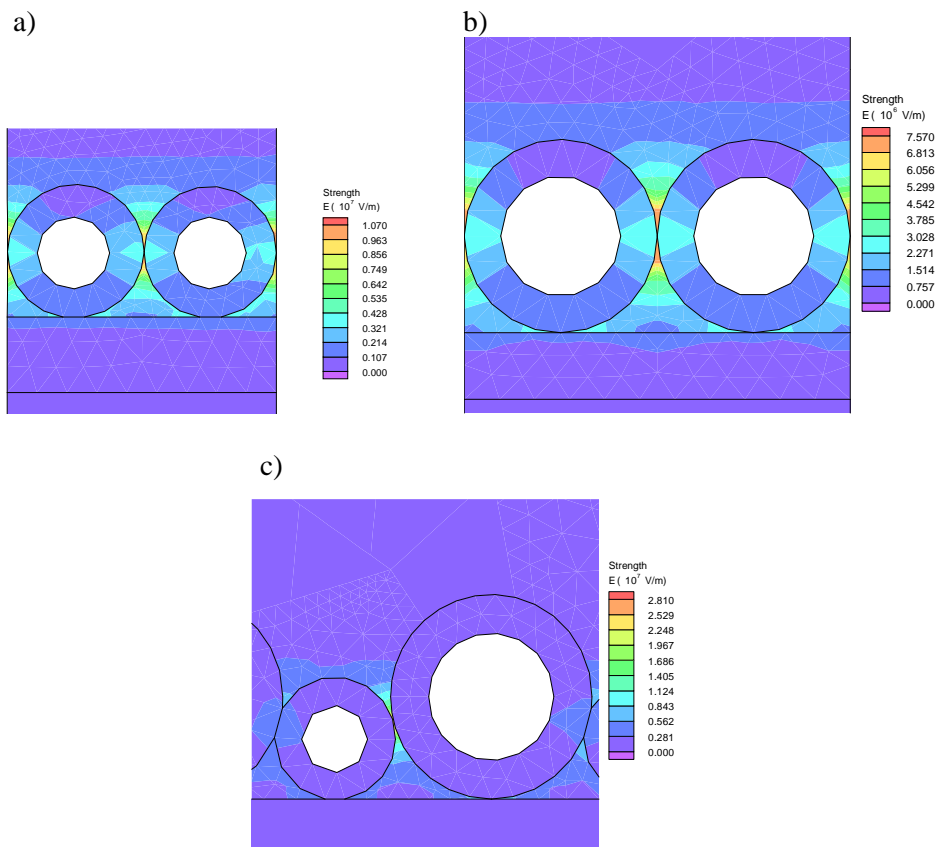
1.  $d_1 = d_3 = d_w = 1,8 \text{ mm}$ ;  $d_2 = d_4 = d_z = 3,4 \text{ mm}$
2.  $d_1 = d_3 = d_w = 3,6 \text{ mm}$ ;  $d_2 = d_4 = d_z = 5,8 \text{ mm}$
3.  $d_1 = 1,8 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 3,4 \text{ mm}$ ,  $d_3 = 3,6 \text{ mm}$ ,  $d_4 = 5,8 \text{ mm}$ .

Przyjęte wymiary dotyczą typowych przewodów elektroinstalacyjnych DY 2,5 mm<sup>2</sup> oraz DY 10 mm<sup>2</sup>. Obraz rozkładu pola elektrycznego dla poszczególnych przypadków przedstawiono na rys. 2.

Analizie poddano wartości osiąganego natężenia pola elektrycznego oraz obszar efektywnego oddziaływania pola na cząstkę dielektryka (pyłu). W tym celu wprowadzono pojęcie współczynnika wykorzystania pola  $\lambda$ . Współczynnik wykorzystania pola  $\lambda$  określa stosunek powierzchni czynnej pola  $S_a$  do powierzchni całkowitej  $S_c$  wytworzonego pola elektrycznego:

$$\lambda = \frac{S_a}{S_c}. \quad (1)$$

Obszar czynny  $S_a$  pola elektrycznego określa powierzchnię (analiza 2-D) obszaru pola, w którym może ono oddziaływać na cząstkę dielektryka.



Rys. 2. Rozkład natężenia pola elektrycznego wokół uzwojenia bifilarnego wykonanego przewodami o różnych wymiarach geometrycznych: a) przypadek 1, b) przypadek 2, c) przypadek 3

Fig. 2. The distribution of electric field intensity around the bifilar lead made of different conductors: a) example 1, b) example 2, c) example 3

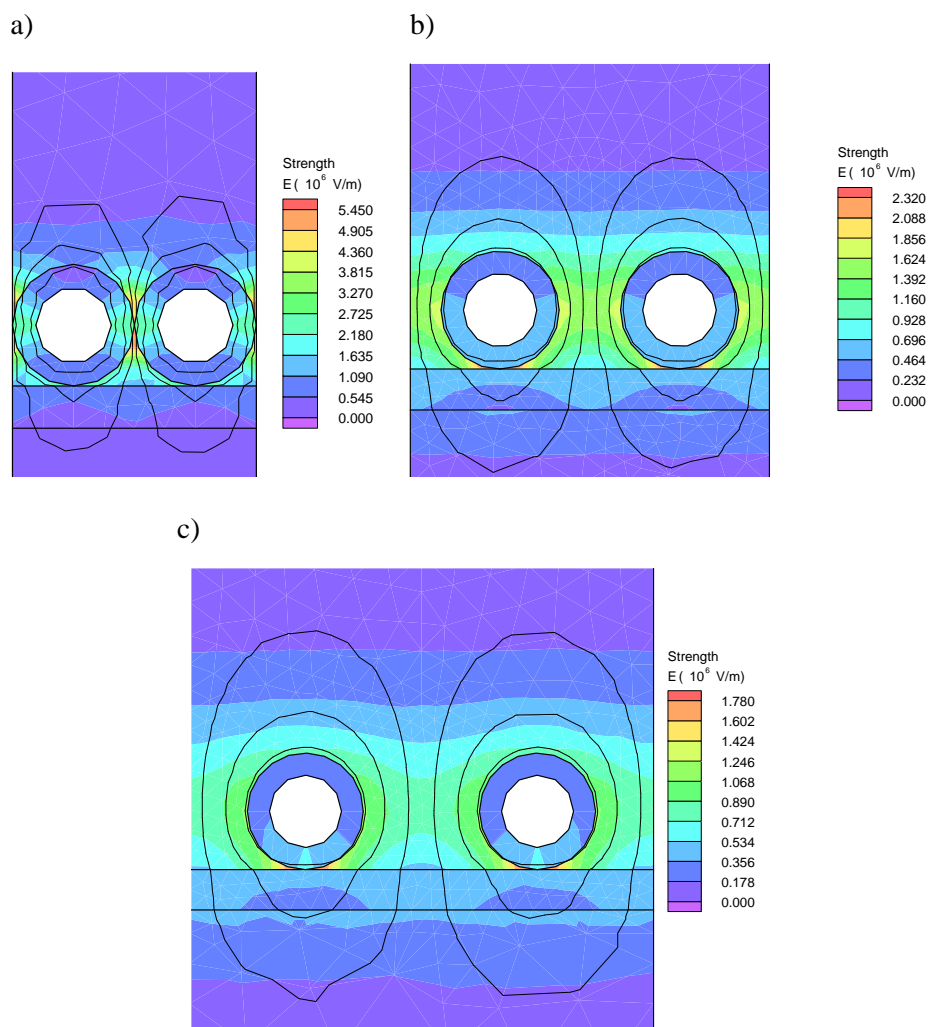
Przedstawione wyniki analizy pola elektrycznego wykazały zależność maksymalnego natężenia pola elektrycznego od wymiarów geometrycznych przewodów zastosowanych do wykonania uzwojenia bifilarnego. Największą wartość natężenia pola,  $E = 2,81 \cdot 10^7$  V/m, otrzymano dla uzwojenia wykonanego przewodami o różnej średnicy zewnętrznej ( $d_z = 5,8$  mm,  $d_z = 3,4$  mm). W przypadku uzwojeń wykonanych jednakowymi przewodami natężenie pola osiągało wartość  $E = 1,07 \cdot 10^7$  V/m dla  $d_4 = 3,4$  mm oraz  $E = 7,57 \cdot 10^6$  V/m dla  $d_2 = 5,8$  mm.

We wszystkich przypadkach największy gradient pola elektrycznego obserwowano w przestrzeni wokół powierzchni styku obu przewodów. Obszar czynny pola elektrycznego znajdował się tylko w niewielkiej odległości od powierzchni przewodów uzwojenia, przy czym był on największy dla uzwojenia wykonanego jednakowymi przewodami o średnicy zewnętrznej  $d_z = 5,8$  mm. Natomiast współczynnik wykorzystania pola był największy dla modelu wykonanego przewodami o  $d_z = 3,4$  mm i wynosił  $\lambda = 0,35$ . W przypadku uzwojenia wykonanego przewodami o  $d_z = 5,8$  mm współczynnik wykorzystania pola był o 20% mniejszy i wynosił  $\lambda = 0,26$ . W przypadku uzwojenia wykonanego przewodami o różnej średnicy współczynnik ten był znacznie mniejszy i wynosił  $\lambda = 0,13$ .

Na zmianę rozkładu potencjału wokół uzwojenia bifilarnego, a tym samym i na rozkład natężenia pola elektrycznego, wpływa sposób ułożenia przewodów. Przewody uzwojenia bifilarnego mogą się stykać ze sobą lub mogą być ułożone w pewnej odległości. Wpływ takiej zmiany sposobu nawinięcia uzwojenia przedstawiono na rys. 3. Analizie poddano model uzwojenia wykonany przewodami o wymiarach:  $d_w = d_1 = d_3 = 3,6$  mm i  $d_z = d_2 = d_4 = 5,8$  mm, przy napięciu zasilającym  $U = 6\ 000$  V, dla trzech wartości odległości między przewodami:  $a = 0$ ,  $a = d_z/2$ ,  $a = d_z$ .

Z przedstawionej analizy wynika, że największą wartość ( $E = 5,45 \cdot 10^6$  V/m) osiąga natężenie pola elektrycznego dla uzwojenia wykonanego przewodami stykającymi się. W tym przypadku maksymalne natężenie pola występuje w obszarze styku przewodów. Natomiast dla przewodów uzwojeń oddalonych od siebie, maksymalne natężenie pola występuje w obszarze styku przewodów z karkasem (dla przewodów uzwojenia oddalonych o  $a = d_z/2$  natężenie pola elektrycznego osiągało wartość  $E = 2,32 \cdot 10^6$  V/m, natomiast dla odległości  $a = d_z$  -  $E = 1,78 \cdot 10^6$  V/m).

W tych układach zwiększa się również powierzchnia obszaru czynnego pola elektrycznego. Największą wartość współczynnik wykorzystania pola osiąga dla przewodów uzwojenia oddalonych o  $a = d_z$  i wynosi on  $\lambda = 0,80$ . W miarę zbliżania przewodów współczynnik  $\lambda$  maleje osiągając wartość  $\lambda = 0,71$  dla przewodów ułożonych w odległości  $a = d_z/2$  oraz  $\lambda = 0,35$  dla  $a = d_z$ .



Rys. 3. Rozkład natężenia pola elektrycznego wokół uzwojenia bifilarnego wykonanego przewodami o wymiarach:  $d_w = 3,6$  mm i  $d_z = 5,8$  mm, przy napięciu zasilającym  $U = 6\ 000$  V ułożonych w odległości: a)  $a = 0$ ; b)  $a = 1/2 d_z$ ; c)  $a = d_z$

Fig. 3. The distribution of electric field intensity around the bifilar lead made of conductor with parameters:  $d_w = 3,6$  mm and  $d_z = 5,8$  mm;  $U = 6\ 000$  V and separation: a)  $a = 0$  b)  $a = 1/2 d_z$  c)  $a = d_z$

## **Podsumowanie**

Wyniki analizy wykazały, że do budowy urządzeń filtrujących najkorzystniejszym byłoby zastosowanie uzwojeń bifilarnych wykonanych przewodami o jednakowej średnicy. Przedstawiona analiza pozwala stwierdzić, że praktyczne zastosowanie w filtrach powinny znaleźć uzwojenia bifilarne wykonane z przewodów ułożonych w odległości  $a \leq d_z$  od siebie. Wyznaczone wartości natężeń pola elektrycznego wokół przewodnika pokazują, że najbardziej narażoną na uszkodzenia elektryczne („przebiecie”) jest strefa przewodów stykających się ze sobą lub z podłożem na którym są one nawinięte.

## **Bibliografia**

Pietrzyk W. i in. 2003. Uzwojenia bifilarne do odpylania w przemyśle rolnospożywczym, *Acta Agrophysica* – 43.

Poradnik inżyniera elektryka 2005. Praca zbiorowa. WNT.

Ścibisz M. 2004. Komputerowa analiza rozkładu pola elektrycznego wokół uzwojenia bifilarnego. Materiały konferencyjne. VII Krajowa Konferencja Naukowa „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie” Kazimierz Dolny, 19-20.IV.2004r. ISBN 83-7270-231-4, s. 102-103.

## **COMPUTER ANALYSES OF LEAD'S GEOMETRY INFLUENCES ON BIFFILAR FILTER EFFICIENCY**

### **Summary**

The dust filter which can work in explosive area is biffilar filter. Its work is consider with generating of non-homogeneous electrical field. This field attracts dust's particles. Biffilar filter efficiency depends on distribution of electrical field around the leads. This distribution is changing due to the method of lead wind-up and due to lead's dimensions. The paper presents method and results of computer simulation of electrical field around the leads of biffilar dusts filter.

**Key words:** electrical field, computer simulation, dust filtrate