

## Zastosowanie modelowania komputerowego pola elektrycznego do oceny zagrożeń związanych ze zjawiskiem elektryczności statycznej

### Streszczenie

Wyładowania elektrostatyczne z powierzchni materiałów nieprzewodzących, mające charakter wyładowań snopiastych, uwalniają energię dostateczną do spowodowania zapłonu szeregu mieszanin wybuchowych, w tym mieszaniny metanu z powietrzem. W artykule omówiono procedurę postępowania podczas oceny bezpieczeństwa stosowania materiałów nieprzewodzących w oparciu o normę PN-EN 13463-1. Zaprezentowano typową sytuację zagrożenia, jaka może wystąpić w kopalni węgla kamiennego. Przedstawiono możliwość zastosowania modelowania komputerowego do oceny zagrożeń związanych ze zjawiskiem elektryczności statycznej na podstawie modelu zagrożenia. Zaprezentowano wyniki symulacji pod kątem jego oceny.

### Summary

Electrostatic discharge from the surface of non-conductive materials, which has a character of brush discharges, releases the enough energy to cause ignition of explosive mixtures, including the mixture of methane and air. Procedure for assessment of safety of using the non-conductive materials, based on the PN-EN 13463-1 Standard, is discussed. Typical hazardous situation, which can take place in hard coal mine, is given. Possibility of using the computer modelling for assessment of hazards associated with static electricity is given on the example of model of hazard. Results of the simulations are presented in the context of assessment of such a hazard.

**Słowa kluczowe:** zagrożenia w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, wyładowania elektrostatyczne, modelowanie komputerowe

**Keywords:** hazards in the areas threatened by explosion hazard, electrostatic discharges, computer modelling

## 1. Wprowadzenie

Materiały nieprzewodzące wykonane z tworzyw sztucznych są powszechnie stosowane w przemyśle. W przemyśle górniczym występują samodzielnie oraz jako części składowe urządzeń mechanicznych i elektrycznych. Materiały te są podatne na gromadzenie się na ich powierzchniach ładunku elektrostatycznego, co może powodować wyładowania elektrostatyczne o charakterze wyładowań snopiastych. Takie wyładowania uwalniają energię dostateczną do spowodowania zapłonu mieszaniny metanu z powietrzem [1, 2]. Stanowią zatem potencjalne źródło zapłonu atmosfery wybuchowej w podziemiach kopalń.

Metody oceny bezpieczeństwa stosowania materiałów nieprzewodzących w przestrzeniach zagrożonych wybuchem opracowywano na przestrzeni wielu ostatnich lat na podstawie badań naukowych. W ciągu kolejnych dziesięcioleci zmieniały się i były one ciągle doskonalone [3]. Ulrich von Pidoll w swojej pracy [3] wskazał, że modelowanie komputerowe, oparte na metodach elementów skończonych wraz z automatyzacją procesu badania przeniesionego ładunku, będą stanowić istotne elementy składowe oceny zagrożeń w XXI wieku. Stan obecny w zakresie oceny materiałów nieprzewodzących omówiono w ramach niniejszego artykułu.

Obecnie modelowanie komputerowe stanowi narzędzie, po które coraz częściej sięgają eksperci prowadzący ocenę zagrożeń związanych ze zjawiskiem elektryczności statycznej. Martin Gloor w pracy [4] zaprezentował zastosowanie modelowania komputerowego do analizy i oceny zagrożeń dla kilku wybranych przypadków praktycznych. W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki modelowania pola elektrycznego, przydatne w ocenie zagrożeń związanych ze zjawiskiem elektryczności statycznej.

## 2. Wytyczne do oceny zagrożeń związanych z elektrycznością statyczną w przestrzeniach zagrożonych wybuchem

Wytyczne do oceny zagrożeń związanych z elektrycznością statyczną w przestrzeniach zagrożonych wybuchem znajdują się w normie PN-EN 13463-1:2010 [5]. W przypadku urządzeń grupy I zakłada się, że jeżeli największe pole powierzchni rzutu materiału nieprzewodzącego, na której potencjalnie może zostać zgromadzony ładunek, nie przekracza  $100 \text{ cm}^2$ , wówczas zagrożenie nie występuje. Dla pozostałych sytuacji należy spełnić następujące wymagania:

- rezystancja powierzchniowa materiału nie powinna przekraczać wartości  $10^9 \Omega$ ,
- rozmiar, kształt i układ jest taki, że wystąpienie ładunków elektrostatycznych nie jest prawdopodobne,

- c) nieprzewodzący materiał może stanowić powłokę na uziemionym metalu o grubości nie większej niż 2 mm.

Wymaganie b) mówiące, że rozmiar, kształt i układ jest taki, że wystąpienie ładunków elektrostatycznych nie jest prawdopodobne, weryfikuje się poprzez wykonanie badania przeniesionego ładunku. Sposób postępowania opisano w załączniku D do normy [5]. Badanie polega na rozładowaniu naelektryzowanej próbki materiału badanego elektrodą kulistą do kondensatora o znanej pojemności i na pomiarze występującego na nim napięcia. Pozwala to na obliczenie wartości przeniesionego ładunku,  $Q$  na podstawie zależności (1):

$$Q = C \cdot U_C \quad (1)$$

gdzie:

- $C$  – pojemność kondensatora,  
 $U_C$  – napięcie na kondensatorze.

Tak obliczona wartość przeniesionego ładunku zostaje porównana z wartością krytyczną, która dla mieszaniny metanu z powietrzem wynosi 60 nC i na tej podstawie dokonana zostaje ocena zagrożenia. Wyniki badania przeniesionego ładunku cechuje jednak duży rozrzut, uzyskiwany w badaniach międzylaboratoryjnych [6, 7], co jest istotną wadą opisywanej metody.

W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG podjęte zostały prace badawcze mające na celu opracowanie metody badań, która pozwalałaby oszacować wartość przeniesionego ładunku w sposób bardziej dokładny i powtarzalny [8].

### 3. Model zagrożenia w środowisku górnictwem

W ramach niniejszego artykułu, zaprezentowano następującą typową sytuację zagrożenia: górnik trzymający w lewej dłoni pręt, przebywający

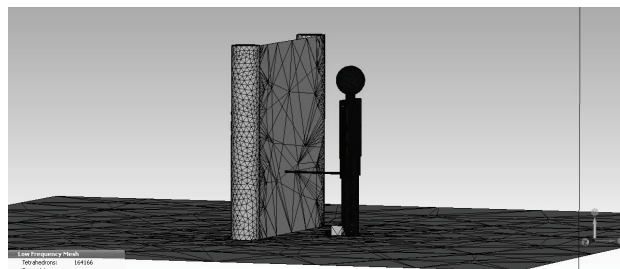


Rys.1. Widok tamy zamontowanej w kopalni węgla kamiennego [9]

w bezpośredniej bliskości tamy z tkaniny wykonanej z tworzywa sztucznego. Widok tamy zaprezentowano na rysunku 1.

### 4. Zastosowanie modelowania pola elektrycznego do oceny zagrożeń

Celem przeprowadzenia oceny zagrożenia z zastosowaniem metod komputerowych zbudowano model analizowanej sytuacji, służący do modelowania pola elektrycznego, który został zaprezentowany na rysunku 2.



Rys.2. Model analizowanej sytuacji: górnik z prętem w dłoni przebywający w bezpośredniej bliskości tamy [10]

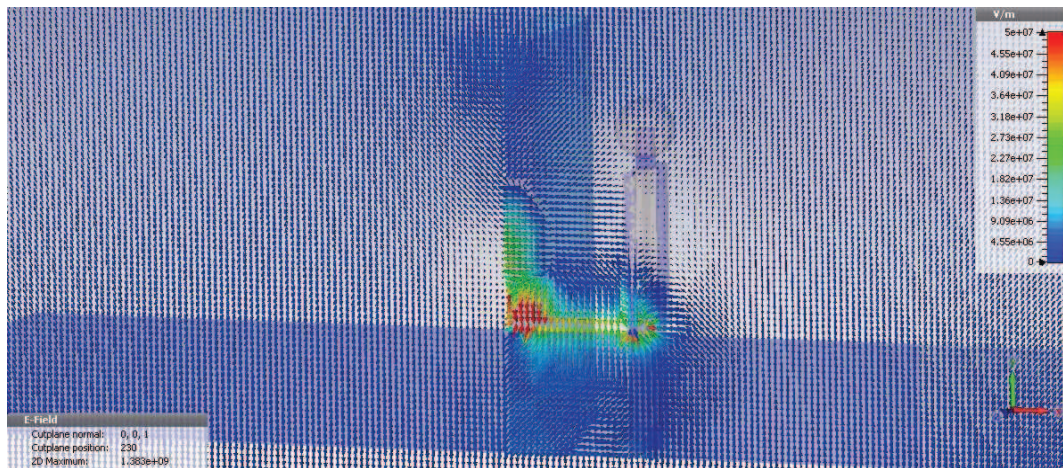
Potencjalne zagrożenie wynika z faktu zgromadzenia ładunku na powierzchni materiału nieprzewodzącego. Ładunek ów stanowi źródło pola elektrycznego. Wprowadzenie pręta do tego pola elektrycznego spowoduje lokalny wzrost natężenia pola w okolicy końcówki pręta. W momencie, gdy natężenie pola między końcówką pręta a powierzchnią tkaniny przekroczy wartość wytrzymałości dielektrycznej powietrza, może nastąpić wyładowanie elektrostatyczne. Wytrzymałość dielektryczna powietrza, przy ciśnieniu atmosferycznym w temperaturze 0°C, pomiędzy płaskimi elektrodami wynosi 32 kV/cm [11]. Wartość tą przyjęto jako kryterium oceny do dalszych analiz. Widok rozkładu natężenia pola elektrycznego całego modelu zaprezentowano na rysunku 3.

Prowadzone analizy miały za zadanie wykazać, przy jakiej wartości gęstości powierzchniowej ładunku na powierzchni tkaniny, wytrzymałość dielektryczna powietrza między końcówką pręta a powierzchnią tkaniny nie zostanie przekroczona. Założono, że odległość między końcówką pręta a powierzchnią tkaniny wynosi 10 mm. Gęstość powierzchniową ładunku,  $\rho$  zmieniano w zakresie od 5  $\mu\text{C}/\text{m}^2$  do 0,1  $\mu\text{C}/\text{m}^2$ . Wyniki symulacji zaprezentowano na rysunku 4.

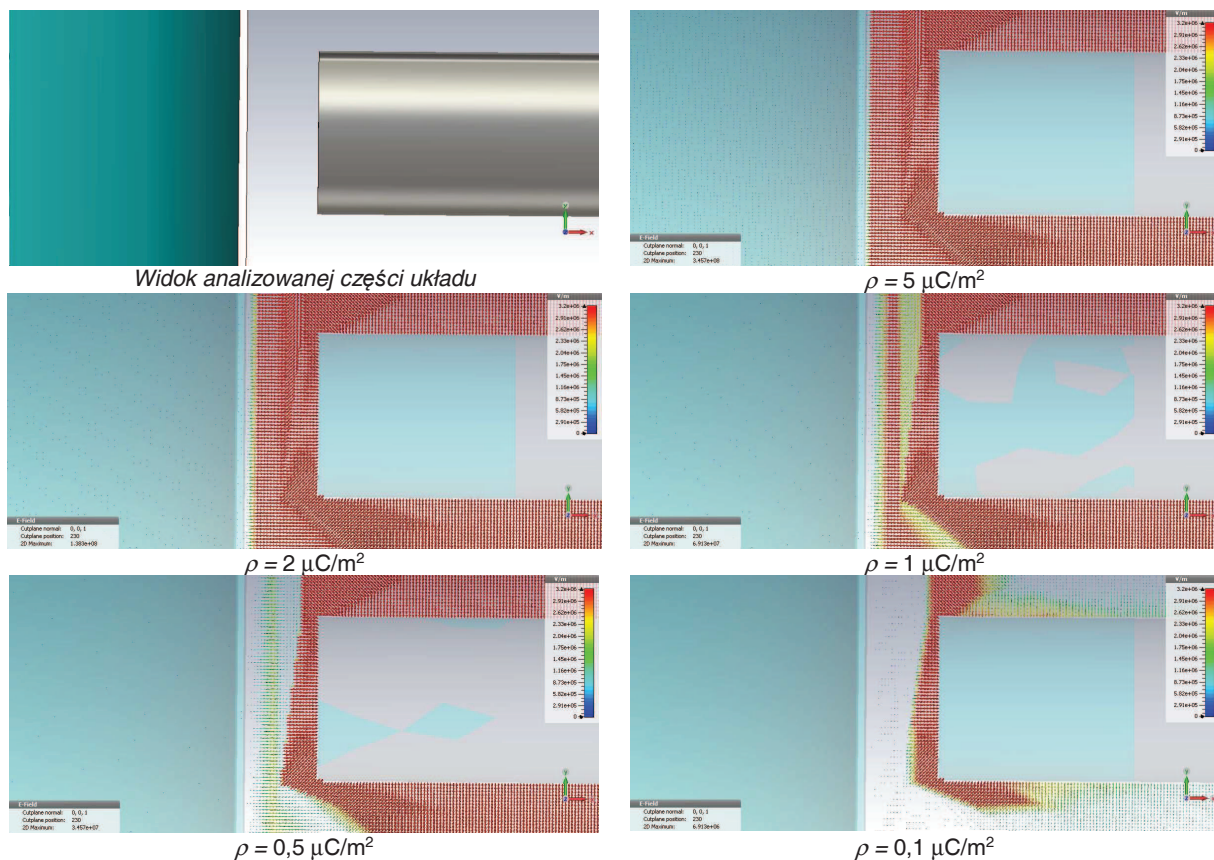
Można zauważyć, że dla gęstości powierzchniowej ładunku wynoszącej co najmniej 2  $\mu\text{C}/\text{m}^2$  wytrzymałość dielektryczna powietrza została przekroczona w całej długości szczeliny między końcówką pręta a powierzchnią tkaniny, stąd wniosek że wyładowanie elektrostatyczne wystąpi dla takich wartości gęstości powierzchniowej ładunku. W przypadku wartości 1  $\mu\text{C}/\text{m}^2$  wprawdzie wytrzymałość dielektryczna powietrza nie została

przekroczona w całej długości szczeliny, niemniej może utworzyć się „ścieżka”, widoczna na rysunku, powodująca przebite powietrza i w konsekwencji wystąpienie wyładowania elektrostatycznego. Dopiero dla gęstości powierzchniowej ładunku wynoszącej  $0,5 \mu\text{C}/\text{m}^2$  założono, że wyładowanie elektrostatyczne nie wystąpi, gdyż wytrzymałość dielektryczna powietrza nie została przekroczona w całej długości szczeliny oraz nie ma możliwości utworzenia się „ścieżki” powodującej przebite powietrza.

Badanie gęstości powierzchniowej ładunku, jaka może zostać wygenerowana na powierzchni materiału można przeprowadzić na stanowisku badawczym w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG. Pozwala ono na pomiar potencjału powierzchniowego materiału nieprzewodzącego, metodą bezkontaktową w zakresie  $\pm 20\text{kV}$  z dokładnością  $\pm 0,1\%$  zakresu pomiarowego. Sposób obliczenia gęstości powierzchniowej ładunku na podstawie pomiaru potencjału powierzchniowego omówiono w [12].



Rys.3. Rozkład natężenia pola elektrycznego w płaszczyźnie równoległej do osi x w osi symetrii pręta trzymanego w lewej dłoni



Rys.4. Zmiana natężenia pola elektrycznego podczas zmniejszania gęstości powierzchniowej ładunku na powierzchni tkaniny

## 5. Podsumowanie i wnioski

Modelowanie komputerowe jest użytecznym narzędziem wspomagającym ocenę zagrożenia związanego ze zjawiskiem elektryczności statycznej w strefach zagrożonych wybuchem. W artykule zaprezentowano wyniki symulacji rozkładu natężenia pola elektrycznego w typowej sytuacji zagrożenia mogącej wystąpić w kopalni węgla kamiennego.

Kryterium wystąpienia wyładowania elektrostatycznego przyjęto na podstawie wartości wytrzymałości dielektrycznej powietrza. Przeprowadzone symulacje pozwoliły ocenić bezpieczną gęstość powierzchniową ładunku na powierzchni tkaniny, wynoszącą w analizowanym przypadku  $0,5 \mu\text{C}/\text{m}^2$ . Pomiar gęstości powierzchniowej ładunku można przeprowadzić na stanowisku badawczym w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG. Modelowanie komputerowe pozwala również na zlokalizowanie w układzie potencjalnego miejsca niebezpiecznego w bardziej złożonych układach.

Uzyskane wyniki symulacji należy traktować jako orientacyjne, ponieważ wartość wytrzymałości dielektrycznej powietrza wynoszącą  $32 \text{ kV}/\text{cm}$  została wyznaczona dla układu płaskich elektrod w ściśle określonych warunkach atmosferycznych. Dopiero po zwalidowaniu modelu na drodze porównania wyników symulacji komputerowych z badaniami laboratoryjnymi możemy potwierdzić skuteczność metody. Na tym etapie pracy model nie został zwalidowany, będzie to przedmiotem przyszłych prac prowadzonych w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG.

Wyniki symulacji, zaprezentowane w artykule, uzyskano z pomocą oprogramowania CST EM STUDIO wersja edukacyjna, dostarczonego przez CST – Computer Simulation Technology AG.

## Literatura

1. Trenczek S.: Inicjaty zapłonu metanu w aspekcie poziomu zagrożenia metanowego. Przegląd Górniczy 2007, nr 3, s. 39-44.
2. Trenczek S., Wojtas P.: Zagrożenia techniczne w aspekcie możliwości inicjacji wybuchu w kopalniach. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa KOMTECH 2014, ITG KOMAG, Gliwice 2014, s.275-289.
3. Pidoll U.: Helmut Krämer memorial lecture: Electrostatic assessment of products and processes – A view backwards and forwards, J. Electrostatics 71 (2013) 586-590.
4. Glor M., Pey A.: Modelling of electrostatic ignition hazards in industry examples of improvements of hazards assessment and incident investigation, J. Electrostatics 71 (2013) 362-367.
5. Polska Norma PN-EN 13461-1:2010 Urządzenie nielektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Część 1: Podstawowe założenia i wymagania.
6. Talarek M., Orzech L.: Results of an interlaboratory comparison on the measuring of transferred charges, W: Electrostatics 2013, 12<sup>th</sup> European Conference on Electrostatics.
7. Orzech Ł., Talarek M.: Badania międzylaboratoryjne z zakresu właściwości elektrostatycznych materiałów nieprzewodzących stosowanych w górnictwie, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. 2012 Nr 1 s. 29-34.
8. Talarek M.: Badania energii wyładowań elektrostatycznych z powierzchni materiałów nieprzewodzących pod kątem oceny ich zapalności, ITG KOMAG Gliwice 2014, praca nie publikowana.
9. Dokumentacja fotograficzna ITG KOMAG Gliwice.
10. Talarek M., Lesiak K.: Modelowanie pola elektrycznego w procesie analizy zagrożeń związanych ze zjawiskiem elektryczności statycznej w przestrzeniach zagrożonych wybuchem pyłów i gazów, ITG KOMAG Gliwice 2014, praca nie publikowana.
11. Antoniewicz J.: Własności dielektryków, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 1971.
12. Talarek M.: Badania rozkładu potencjału elektrostatycznego na powierzchni dielektryków stałych, Maszyny Górnicze Nr 2 (2012) s. 22-26.

*Artykuł wpłynął do redakcji w grudniu 2014 r.*