

Małgorzata KOZDRÓJ-WEIGEL

ZJAWISKA ELEKTROKINETYCZNE TOWARZYSZĄCE ZMIANOM STANU NAPRĘŻENIA W POKŁADZIE WĘGLA

Streszczenie. W artykule omówiono zjawiska elektrokinetyczne towarzyszące przepływowi wody przez ośrodki porowate, w szczególności pokłady węgla. Oszacowano liczbowo wielkości charakteryzujące przepływ i przedyskutowano możliwość praktycznego wykorzystania zjawisk.

1. Wprowadzenie

Ogólna zasada realizowana przy stosowaniu aktywnych środków zwalczania wstrząsów w pokładach węgla polega na zniszczeniu struktury pokładu lub zmianie jego własności fizykomechanicznych w celu obniżenia jego wytrzymałości i zdolności akumulacji energii sprężystej. Wśród aktywnych środków zwalczania tapani stosuje się w ostatnich latach coraz szerzej nawadnianie pokładów. W zakresie technologii wtłaczania wody do pokładu dla robót wybierkowych opracowano dwie metody nawadniania:

- metodę krótkich otworów prostopadłych do oszoła wybierki,
- metodę długich otworów wykonanych równoległe do oszoła frontu wybierki.

Wprowadzenie nawadniania pokładów jako środka zapobiegania wstrząsom uzasadnia się [1] spadkiem wytrzymałości doraźnej, spadkiem energii sprężystej, akumulowanej w pokładzie oraz spadkiem wartości wskaźnika energetycznego, skłonności do tapani pod wpływem przyrostu wilgotności w węglu. Nie wyjaśniono natomiast przebiegu zjawisk zachodzących w pokładzie, jak również różnej skuteczności nawadniania pokładu jako metody zwalczania wstrząsów.

Opracowanie poniższe jest próbą wyjaśnienia zjawisk zachodzących podczas przepływu wody przez pokład węgla z uwzględnieniem możliwości wykorzystania zjawiska do ewentualnego zapobiegania wstrząsom.

2. Zjawiska fizyczne towarzyszące przepływowi cieczy przez pokład węgla

Przepływ wody przez pokład węgla powoduje powstanie różnorodnych zjawisk fizycznych. Do najważniejszych należy zaliczyć zjawiska elektrokinetyczne, które będą przedmiotem niniejszych rozważań.

Zjawiska elektrokinetyczne powstają dzięki istnieniu podwójnej warstwy elektrycznej na powierzchni ciała stałego. Warstwa ta składa się z warstwy jonów ściśle przytwierdzonych do cząstki stałej oraz z dyfuzyjnej ruchomej warstwy wchodzącej w fazę cieplą. Pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego następuje przesuwanie się jednej fazy w stosunku do drugiej, albo powstaje różnica potencjałów w kierunku względnego ruchu faz spowodowanego przez siły mechaniczne.

Różne typy zjawisk elektrokinetycznych, jak:

- elektroforeza,
- elektroosmoza,
- zjawisko Dorna,
- powstawanie różnicy potencjału pomiędzy końcami kapilary,

występują równocześnie bądź pojedynczo w zależności od charakteru środowiska, w którym zachodzą.

Jeśli warstwa, ciało stałe - ciecz znajduje się w odpowiednio ukształtowanym polu elektrycznym (równoległym do warstwy), to możliwy staje się ruch warstwy cieczy. Jest to podstawa zjawiska elektroosmozy, tzn. przepływu cieczy przez porowatą przesłonę pod wpływem pola elektrycznego.

Ilościowa analiza wszystkich wielkości występujących w tym zjawisku (zewnętrzne pole elektryczne, potencjał kontaktowy na styku ciało stałe - ciecz, lepkość ośrodka) prowadzi do następującego wyrażenia na gęstość strumienia przepływającej cieczy [2]:

$$j_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 \xi}{\eta} \text{ grad } \varphi \quad (1)$$

gdzie:

- j_0 - gęstość strumienia przepływającej cieczy,
- ξ - potencjał zeta (różnica potencjału elektrycznego na styku ciało stałe - ciecz),
- η, ϵ - odpowiednio lepkość i przenikalność elektryczna cieczy,
- ϵ_0 - przenikalność elektryczna próżni.

Należy zauważyć, że ruchowi cieczy towarzyszy ruch ładunków elektrycznych, a więc przepływ prądu.

Zjawiskiem odwrotnym jest powstanie pola elektrycznego na skutek ruchu cieczy wywołanej przestrzennymi zmianami ciśnienia w ośrodku. Natężenie powstałego w ten sposób pola elektrycznego wynosi:

$$\text{grad } p = - \frac{\epsilon \epsilon_0 \xi}{\eta \delta} \text{ grad } p \quad (2)$$

gdzie:

- δ - przewodność elektryczna cieczy,
- p - ciśnienia wywierane na ciecz,
- φ - potencjał pola elektrycznego.

Równania (1) i (2) dotyczą prostych przypadków przepływu cieczy przez kapilary. W przypadku ośrodka porowatego sytuacja jest bardzo skomplikowana. Scheidegger [3] zaproponował, aby ośrodek taki traktować jako zbiór prostych kapilar, wchodzących do ośrodka z jednej strony i wychodzących z drugiej. Takie modelowe potraktowanie ośrodka jest bardzo daleko idącym uproszczeniem. Pozwala to jednak uzyskać stosunkowo proste wyrażenia na wielkości opisujące omawiane zjawiska i dokonać przybliżonego oszacowania ilościowego.

W oparciu o powyższe założenie i równania (1), (2) można otrzymać wyrażenia na gęstość strumienia cieczy i ładunku pod wpływem gradientów ciśnienia i pól elektrycznych:

$$j_q = \phi \sigma \text{ grad } \varphi - \frac{\phi \ell \epsilon_0 \xi}{\eta} \text{ grad } p \quad (3)$$

$$j_o = - \frac{\phi \ell \epsilon_0}{\eta} \sigma \text{ grad } \varphi + \frac{k}{\eta} \text{ grad } p \quad (4)$$

gdzie:

ϕ - porowatość ośrodka,

k - przepuszczalność ośrodka, równa iloczynowi porowatości ośrodka i przepuszczalności właściwej kapilary.

Oszacujemy wartości wielkości j_q i j_o . Należy jednak zaznaczyć, że ze względu na bardzo różne wartości, jakie mogą przyjmować stałe charakteryzujące ośrodek porowaty, oszacowania należy traktować bardzo ostrożnie.

Poniżej podano typowe wartości wielkości występujących w równaniach (3) i (4):

współczynnik lepkości wody

$$\eta = 10^{-3} \left[\frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \right]$$

przewodnictwo elektryczne wody

$$\sigma = 10^{-4} - 10^{-2} \left[\frac{\text{s}}{\text{m}} \right]$$

przenikalność elektryczna wody

$$\epsilon = 80$$

potencjał kontaktowy

$$\xi = 10^{-2} - 10^{-1} \text{ [V]}$$

przepuszczalność ośrodka

$$k = 10^{-13} - 10^{-10} \left[\text{m}^2 \right]$$

porowatość ośrodka

$$\bar{\phi} = 10^{-3} - 10^{-2} [\%].$$

Gradient ciśnienia i natężenia pola elektrycznego przyjęto typowe dla warunków laboratoryjnych:

$$\text{grad } \varphi = 10^4 \text{ V/m},$$

$$\text{grad } p = 10^4 \text{ N/m}^3.$$

Otrzymujemy:

$$\begin{aligned} j_{\text{q}} &= 10^{-2} \cdot 10^{-3} \frac{1}{\Omega \text{ m}} \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}} - \frac{10^{-2} \cdot 80,8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2} \cdot 10^{-2} \text{ V}}{10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}} \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} = \\ &= 0,1 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} - 7 \cdot 10^{-6} \frac{\text{A}}{\text{m}^2} = 0,1 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} j_{\text{o}} &= - \frac{10^{-2} \cdot 80,8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2}}{10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}} \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}} + \frac{10^{-11} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}} \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} = \\ &= -7 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} + 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned} \quad (6)$$

Warto zwrócić uwagę, że gęstość natężenia prądu jest uwarunkowana głównie polem elektrycznym: gradient ciśnienia daje zaś bardzo nieznaczny wkład do całkowitej wartości j_{q} . Strumień cieczy jest w przybliżeniu w jednakowym stopniu uwarunkowany zewnętrznym polem elektrycznym i gradientem ciśnienia.

Interesujące jest wyznaczenie natężenia pola elektrycznego, dla którego $j_{\text{o}} = 0$. Natężenie to, wyliczone z wyrażenia (4), wynosi:

$$\text{grad } \varphi = \frac{k}{\phi \epsilon \epsilon_0} \text{ grad } p \quad (7)$$

Podstawiając użyte do obliczeń wartości liczbowe, otrzymujemy $\text{grad } \varphi = 1,4 \cdot 10^4 \text{ V/m}$.

Wydaje się, że w rzeczywistych warunkach najważniejszą przyczyną przepływu cieczy jest gradient ciśnienia. Wówczas podaną wyżej wartość $\text{grad } \varphi$ ($1,4 \cdot 10^4 \text{ V/m}$) można traktować jako natężenie zewnętrznego pola elektrycz-

nego, które może uniemożliwić przepływ cieczy. Natomiast gęstość prądu w tych warunkach (tzn., gdy przyczyną ruchu cieczy jest gradient ciśnienia) wynosi około $10^{-5} \text{ A/m}^2 = 10^{-9} \text{ A/cm}^2$. Taka wartość gęstości prądu jest możliwa do pomiaru, przynajmniej w warunkach laboratoryjnych, co powinno być przedmiotem badań.

3. Możliwość praktycznego wykorzystania zjawisk elektrokinetyki

Wnioski

Przeprowadzone rozważania pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- a) przepływ wody w ośrodku porowatym może być regulowany zewnętrznym polem elektrycznym,
- b) przepływowi cieczy towarzyszy ruch ładunków elektrycznych, a więc w konsekwencji powstanie lokalnych pól elektrycznych i magnetycznych.

Można postawić pytanie, czy zjawiska te mogą być wykorzystane przy badaniach ruchu górotworu w kopalniach.

Obserwacje zjawisk zachodzących w pokładzie przed wystąpieniem tąpnięcia wskazują na występowanie szmerów i trzasków, odpryskiwanie drobnych kawałków węgla z osza i ociosów wyrobiska oraz innych zjawisk sugerujących zachodzenie zmian objętościowych w pokładzie.

Powyższe dane pozwalają na postawienie hipotezy, że przed wystąpieniem tąpnięcia następuje spękanie pokładu węgla, któremu, jeśli górotwór jest nawodniony, towarzyszyć musi przepływ wody, nawet bez wtłaczania.

Przykładem może być fakt, że po silnym wstrząsie, który miał miejsce w kopalni "Dymitrow" (18.06.1982 r.) nastąpiło bardzo intensywne wykraplanie się wody ze skał stropowych, którego przed wstrząsem nie było.

Ponieważ przepływowi cieczy towarzyszy przepływ prądu, to - wykorzystując metody elektryczne - można również wskazać kierunek przepływu wody i w konsekwencji wskazać epioentrum wstrząsu.

Pewne obserwacje tapani wskazują na fakt, że wtłaczanie wody do pokładu w określonych okolicznościach powodować mogło przyspieszenie występowania wstrząsu. Na podstawie hipotezy dyfuzji-dylatacji stwierdzono możliwość wywołania kontrolowanych trzęsień ziemi za pomocą wtłaczania wody do otworów wierciarskich w rejonie będącym potencjalnym epioentrum trzęsienia. Badania laboratoryjne oraz próby w warunkach kopalni powinny potwierdzić, czy opisane zjawisko występowania napływu wody przed wystąpieniem tąpnięcia jest odwracalne, to znaczy czy np. za pomocą odpowiedniego sterowania kierunkiem i wielkością przepływu wody da się częściowo kontrolować czas występowania tąpnięcia, co miałoby duże znaczenie.

Sterowanie przepływem wody w pokładzie można by zrealizować za pomocą odpowiedniego pola elektrycznego.

Jednak możliwość praktycznego wykorzystania zjawisk elektrokinetyki do przewidywań i analiz ruchu górotworu wymaga przeprowadzenia wielu badań laboratoryjnych. Badania takie ze względu na wagę zagadnienia podjęto na Wydziale Górniczym Politechniki Śląskiej.

LITERATURA

- [1] Poradnik Górnika: Tom 2. "Śląsk" Katowice 1975.
- [2] Mituzani H., Ishide T., Yokokura T., Ohnishi S.: Electrokinetic phenomena associated with earthquakes, Geophysical Research Letters Vol. 3, no 7, July 1976.
- [3] Scheidegger A.E.: The physics of flow through porous media, Third addition, Univ. of Toronto Press, pp. 126-129, 1974.
- [4] Hobler M.: Projektowanie i wykonywanie robót strzelniczych w górnictwie podziemnym. "Śląsk", Katowice 1981.
- [5] Domowska R., Namyga A., Teisseyre R.: Electro and electrokinetic fields of an earthquake source. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. So. A-4 (115) 1977.

Recenzent: Prof. dr inż. Adam Szustrowski

Wpłynęło do redakcji w lipcu 1983 r.

ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ СОПУТСТВУЮЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯМ СОСТОЯНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ПЛАСТЕ УГЛЯ

Резюме

В работе оговорены электрокинетические явления сопутствующие протеканию воды через пористую породу, в частности через пласты угля. Дана численная оценка величин характеризующих протекание и оговорена возможность практического использования явлений.

ELECTROKINETIC PHENOMENA ACCOMPANYING CHANGES OF A STRESS STATE IN A COAL BED

Summary

Electrokinetic phenomena accompanying water flow through porous media particularly through coal beds. Quantities characterizing the flow have been estimated and possibilities of a practical use of the phenomena have been discussed.