



Krzysztof MANIAK*, Remigiusz MYDLIKOWSKI**

System pomiaru samoistnej emisji elektromagnetycznej na osuwisku

Streszczenie: Przedstawiono istotę zjawisk elektromagnetycznych występujących na osuwiskach w stanie aktywnym. Omówiono mechanizm powstawania samoistnej emisji elektromagnetycznej z osuwisk oraz stosowane metody do jej pomiaru. Szczególną uwagę poświęcono polom elektromagnetycznym o charakterze impulsowym określanym w literaturze jako PEE (ang. *Pulsed Electromagnetic Emission*). Autorzy zaproponowali własny system do pomiaru emisji elektromagnetycznej z osuwisk o charakterze ciągłym, jak i impulsowym. Badania wymagają dysponowania odwiertami pomiarowymi wykonanymi w osuwisku i przecinającymi płaszczyznę poślizgu. Istotne jest, by przewód rurowy stanowiący obudowę odwiertu pomiarowego wykonany był z materiału nietłumiącego pól elektromagnetycznych. System pomiarowy, prócz swego pierwotnego przeznaczenia, tj. rejestracji aktywności elektromagnetycznej osuwisk w postaci impulsowej lub ciągłej może zostać wykorzystany do badania niejednorodności budowy warstw skalnych poddanych działaniu znacznych naprężeń. Zaprezentowano również wyniki badań osuwisk aktywnych i nieaktywnych na terenie Polski oraz sklepienia jaskini powyrobowiskowej na terenie kopalni magnezytu SMZ Jelsava w miejscowości Jelsava na Słowacji. Następnie porównano otrzymane wyniki z równoległe mierzonym czynnikiem powodującym zwiększoną aktywność osuwiska, którym był poziom opadów atmosferycznych w miesiącach obserwacji emisji elektromagnetycznej z osuwiska. W przypadku jaskini powyrobowiskowej dokonano porównania kształtu profili emisji elektromagnetycznej z przekrojami dolomitowego płaszcza skalnego posiadającego wtrącenia bloków magnezytowych. Rejestrowano zwiększony poziom natężenia pola elektromagnetycznego w miejscach występowania bloków magnezytowych.

Słowa kluczowe: osuwisko, emisja elektromagnetyczna, płaszczyzna poślizgu

Measurement system for the registration of spontaneous electromagnetic emission from active landslides

Abstract: The mechanism of spontaneous electromagnetic emission generation in active landslides and measuring techniques are described. Special attention is given to pulsed electromagnetic emission fields, called PEEs (*Pulsed Electromagnetic Emission*). The authors propose an original system for measuring both the continuous

* Dr inż., Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy, Wrocław; e-mail: krzysztof.maniak@pwr.edu.pl

** Dr inż., Politechnika Wrocławska, Wrocław.

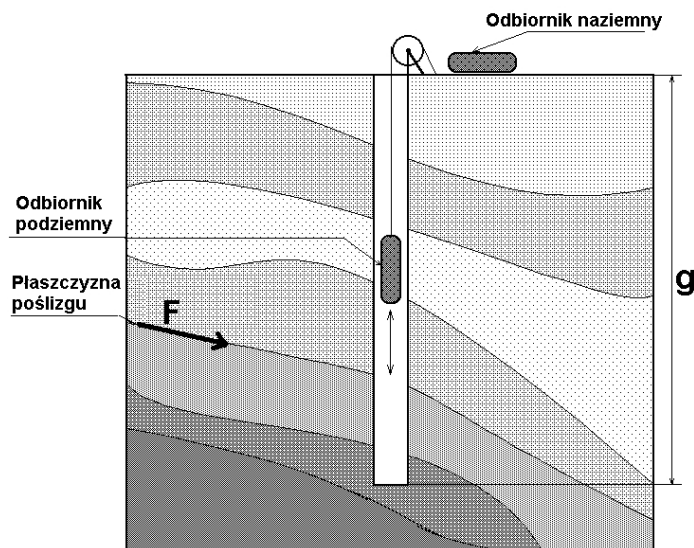
and pulsed electromagnetic emission of the landslides. For such measurements, boreholes must be drilled in the landslide. It is essential that the tubing constituting the borehole's lining be made of a material which does not attenuate electromagnetic fields. The borehole should cut a slip plane of the active landslide. Apart from its primary function, i.e. the registration of landslide electromagnetic activity, the system can be used to examine the structural inhomogeneity of rock strata subjected to considerable stresses. The results of electromagnetic examinations of active and inactive landslides in Poland are presented. The post-extraction cave in the SMZ Jelsava Mine in Jelsava in Slovakia is also presented. The cave consists of dolomite with the inclusion of a magnesite block. The variation of electromagnetic field strength versus depth in the borehole drilled in the cave in Jelsava shows increasing electromagnetic radiation at the depth where the magnesite blocks are situated. Obtained measurement results on the active landslide were compared with results achieved by means of other measurement methods. The correlation between the strength level of electromagnetic emissions and the increasing monthly rainfall levels is observed on the active landslides.

Keywords: electromagnetic emission, landslide, slope stability, slip plane, sliding-down force

Wprowadzenie

Osuwiska, podobnie jak erupcje wulkanów, trzęsienia ziemi i powodzie stanowią poważne zagrożenie dla ludzi i ich infrastruktury (Jarraud i Sapir 2014). Uproszczony, użyty do rozważań, model przedstawia osuwisko jako strukturę złożoną z warstw geologicznych, które w przypadku aktywności osuwiska przemieszczają się wzdłuż płaszczyzny poślizgu pod wpływem siły zsuwającej F (rys. 1) (Westen i Soeters 2006).

Stwierdzono, że osuwiska w stanie aktywnym są źródłem promieniowania elektromagnetycznego. Spowodowane jest to istnieniem znacznych naprężeń mechanicznych w strefie osuwiska oraz występowaniem siły tarcia na granicy powierzchni poślizgu osuwiska. W wyniku tych procesów dochodzi do uwolnienia energii m.in. pod postacią promieniowania elektromagnetycznego. Promieniowanie elektromagnetyczne ma często charakter impulsowy



Rys. 1. Sposób pomiaru pól PEE

Fig. 1. Field measuring technique

o natężeniu zależnym od budowy geologicznej osuwiska oraz intensywności zachodzących procesów osuwiskowych. Zależnie od konstrukcji sprzętu pomiarowego, rejestrowana jest składowa elektryczna lub magnetyczna pola elektromagnetycznego. Emisja pól elektromagnetycznych z osuwiska poprzedza (nawet do kilku dni) widoczne ruchy osuwiska.

Na podstawie obserwacji ustalono, że emisja elektromagnetyczna występuje w zakresie niskich częstotliwości i praktycznie widmo sygnału nie przekracza częstotliwości 50 kHz. Można przekonać się o tym na przykładzie badań prowadzonych na osuwisku Stawlichar, przedstawionych w pracy Mastowa i in. (1989a). Obserwowano tu emisję pola magnetycznego o charakterze impulsowym o maksymalnej częstotliwości 10 kHz. Istotne jest, że wzmożona aktywność osuwisk ma miejsce po dłuższych okresach opadów atmosferycznych (Westen i Soeters 2006). Podobne wnioski zawarte są w pracy Mastowa i in. (1989b), gdzie przedstawiono wyniki długoterminowych badań prowadzonych na osuwisku Krasnaja Dubrawa. Rejestrowana była tu emisja pola magnetycznego w zakresie częstotliwości 1–50 kHz. Na uwagę zasługuje fakt, że największe poziomy emisji rejestrowano w przypadkach, gdy w strefie osuwiska występowały duże, blisko siebie położone bloki skalne. Podobne obserwacje poczyniono na osuwisku położonym w dolinie rzeki Uzh (Kharkhalis 1995). Jak wspomniano, emisja elektromagnetyczna osuwisk występuje najczęściej w postaci impulsowej. Zjawisko to nosi nazwę PEE (ang. *Pulsed Electromagnetic Emission*). Szczegółowe informacje na ich temat przedstawione są w pracach (Kharkhalis 1995; Blaha 2002; Vybiral 2002). Pomiary pól PEE polegają na rejestracji liczby impulsów elektromagnetycznych w jednostce czasu. Najczęściej stosowaną jednostką są impulsy na sekundę [imp/s]. Rejestracja emisji PEE odbywa się za pomocą sondy prowadzonej w odwiercie pomiarowym, reagując na składową elektryczną lub magnetyczną pola elektromagnetycznego, co zostało przedstawione na rysunku 1. Istotne jest, by obudowa rurowa odwiertu wykonana była z materiału nietłumiącego pól elektromagnetycznych. Często stosowany jest drugi odbiornik, umieszczony na powierzchni, bezpośrednio przy odwiercie pomiarowym, który rejestruje naziemne pola elektromagnetyczne traktowane z punktu widzenia prowadzonych badań jako zakłócenia. W przypadku silnych pól emitowanych przez osuwiska odległe od infrastruktury ludzkiej możliwe jest użycie jedynie anteny naziemnej. Rozwiązanie takie zostało przedstawione w pracy Mastowa i in. (1989a), gdzie ekranowana za pomocą metalowej obudowy od pól naziemnych antena magnetyczna podłączona została do licznika impulsów o zmiennej czułości toru pomiarowego w zakresie 20–50 mV. Liczba zarejestrowanych impulsów określała intensywność procesów osuwiskowych. Innym ciekawym rozwiązaniem przyrządu pomiarowego jest urządzenie Cereskop (Krumbholz i in. 2012). Jest to odbiornik pola magnetycznego o maksymalnej czułości dla $f = 12,8$ kHz, zliczający impulsy w czasie 100 ms. Urządzenie umożliwia zapis wyników na karcie pamięci RAM.

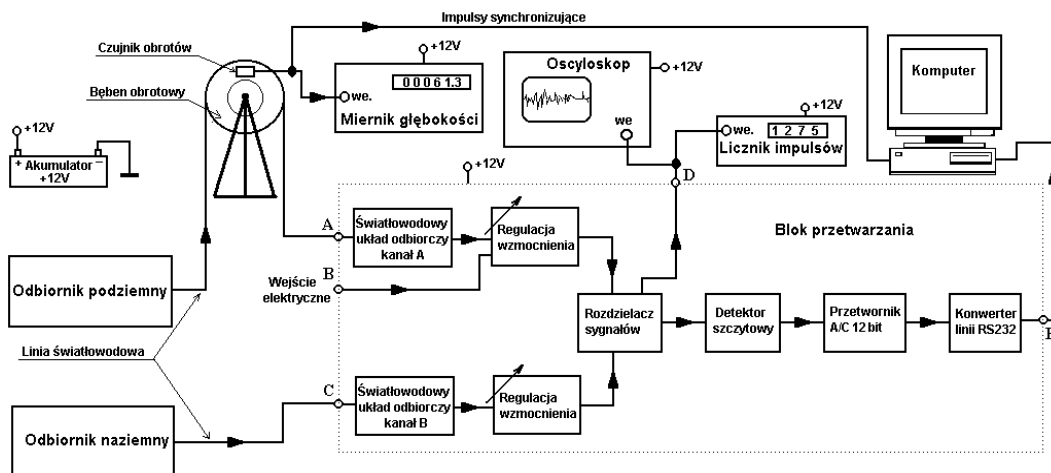
Jako główne źródła emisji elektromagnetycznej z osuwisk aktywnych można wskazać: efekt piezoelektryczny, tworzenie się mikropęknięć oraz elektryczny potencjał strumieniowy (ang. *streaming potential*). Zjawisko piezoelektryczne dominuje w osuwiskach z dużą zawartością piasku, żwiru oraz wtrąceń litych skał (Gershenzo i Bambakidis 2001). Pod wpływem dużych naprężeń w sąsiedztwie płaszczyzny poślizgu powstają liczne mikropęknięcia w materiale skalnym, stając się źródłem promieniowania elektromagnetycznego (Rabinovitch i in. 2000a; Rabinovitch i in. 2000b; Koktavy i Sikula 2004; Takeuchi i Nagahama 2006). W strefie poślizgu osuwiska występuje gradient ciśnienia wytworzony przez przepływającą ciecz, którą można traktować jako elektrolit przemieszczający się w porowatym

ośrodka. Mechanizm ten prowadzi do powstania elektrycznej warstwy podwójnej EDL (ang. *Electrical Double Layer*) (Pride i Morgan 1991; Reppert i in. 2001). Przepływ elektrolitu przez ośrodek nie jest laminarny, dochodzi do turbulencji i oscylacji cząsteczek cieczy w kapilarach. Zjawiska te wskazywane są jako źródła emisji elektromagnetycznej (Kormiltsev i in. 1998; Adler 2001; Fedorov i in. 2001; Eccles i in. 2005; Fedorov i in. 2001; Heister i in. 2005).

1. Budowa systemu pomiarowego do badania aktywności elektromagnetycznej osuwisk

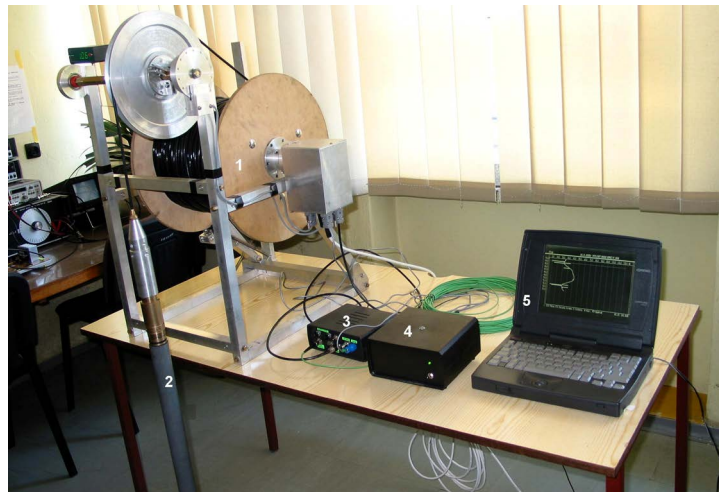
Prezentowany system pomiarowy umożliwia rejestrację składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego, zarówno o charakterze impulsowym, jak i ciągłym, wzdłuż odwiertu pomiarowego o głębokości g . Dokładny opis systemu pomiarowego ze szczegółowym przedstawieniem sposobu prowadzenia badań zawarty jest w zgłoszeniu patentowym (Prafat i in. 2004) oraz pracy doktorskiej (Maniak 2008). Pomiarów mogą być wykonywane przy pomocy jednego lub dwóch odbiorników. Odbiornik podziemny prowadzony jest w odwiertcie pomiarowym z zadaniem krokiem pomiaru Δg przecinając przewidywaną płaszczyznę poślizgu (rys. 1). W modelowym urządzeniu krok pomiarowy wynosi 5 cm. Drugi odbiornik stale rejestruje pole magnetyczne na powierzchni terenu w pobliżu odwiertu, które z punktu widzenia prowadzonych pomiarów traktowane jest jako sygnał zakłócający. Stwierdzono, że wiele z aktywnych obszarów osuwiskowych posiada wąski zakres częstotliwości wzmożonej emisji pola magnetycznego. Wynika z tego, że sonda pomiarowa winna posiadać właściwości pasmowego odbiornika pola magnetycznego o częstotliwości środkowej f_o odpowiadającej częstotliwości, dla której najwyraźniej obserwowana jest aktywność elektromagnetyczna osuwiska. Po licznych eksperymentach laboratoryjnych (Maniak 2008), dla modelowego rozwiązania przyjęto środkową częstotliwość pracy $f_o = 14,5$ kHz. Czułość odbiornika wynosi $4 \cdot 10^{-6}$ A/m. Dodatkowo przewidziano możliwość pracy odbiornika pomiarowego z częstotliwością środkową f_o przestrajaną w zakresie 7–19 kHz (Maniak 2008). Schemat blokowy omawianego systemu pomiarowego przedstawiony jest na rysunku 2. Sygnały z odbiorników pomiarowych transmitowane są przewodami światłowodowymi, co znacznie ogranicza wrażliwość systemu na zakłócenia elektromagnetyczne. Gniazda A i C stanowią wejścia odbiorników optycznych odpowiednio dla odbiornika podziemnego oraz naziemnego. Po przetworzeniu sygnału optycznego na analogowy sygnał elektryczny następuje jego wzmacnianie w zakresie 1–10 V/V. Dla sygnału z odbiornika podziemnego przewidziano również bezpośrednie wejście elektryczne (gniazdo B). Kolejnym blokiem jest układ rozdzielania sygnałów o wzmacnieniu jednostkowym. Sygnał wyjściowy z rozdzielacza doprowadzony jest do modułu detektora szczytowego. Istnieje możliwość kontrolnej obserwacji sygnału mierzonego przy pomocy oscyloskopu (wyjście D). Do wyjścia D podłączony może zostać też licznik impulsów, którego wskazanie bezpośrednio określa aktywność osuwiska na głębokości g . Napięcie stałe odpowiadające chwilowej wartości szczytowej przebiegu przetwarzane jest w przetworniku analogowo-cyfrowym, dającym na wyjściu informację cyfrową w standardzie RS232. Uzyskana wartość napięcia stałego informuje o natężeniu pola magnetycznego w danym punkcie, co odpowiada bezpośrednio intensywności zachodzących procesów osuwiskowych. Sygnał pomiarowy (wyjście E) doprowadzony jest do komputera

i rejestrowany na dysku synchronicznie z aktualnym położeniem odbiornika podziemnego. System pomiarowy w warunkach terenowych zasilany jest napięciem 12 V z akumulatora. Wyjątek stanowią odbiorniki pomiarowe posiadające własne zasilanie bateryjne 9 V. Widok systemu pomiarowego przedstawiono na fotografii 1.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu do pomiaru aktywności magnetycznej osuwisk

Fig. 2. Block diagram of system for measuring electromagnetic activity of landslides



Fot. 1. Widok systemu do pomiaru aktywności elektromagnetycznej osuwisk

1 – bęben obrotowy ze światłowodem; 2 – odbiornik podziemny; 3 – blok przetwarzania;
4 – odbiornik naziemny; 5 – komputer

Phot. 1. General view of the measuring system

1 – revolving drum with optical fibre; 2 – underground receiver; 3 – processing block; 4 – ground receiver; 5 – computer

2. Pomiary terenowe

Wstępne badania terenowe przeprowadzone z użyciem systemu do pomiaru aktywności magnetycznej z osuwisk wykonano na osuwisku Falkowa w Nowym Sączu (rys. 3) w sierpniu 2005 roku.



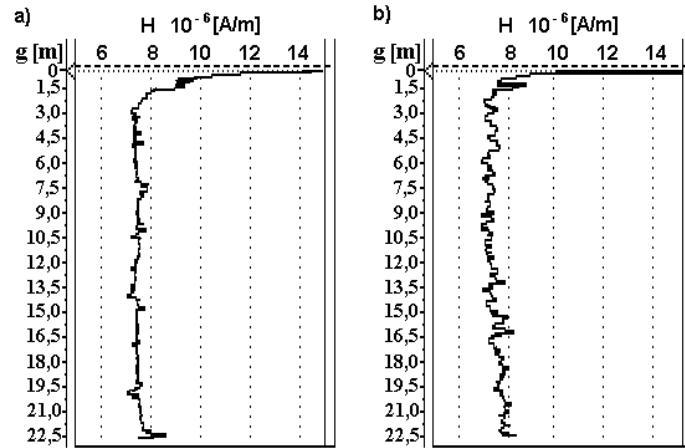
Rys. 3. Lokalizacja badanych obiektów Jarosłów, Nowy Sącz (Polska) oraz Jelsava (Słowacja)

Fig. 3. Measurement object location: Jarosłów, Nowy Sącz (Poland) and Jelsava (Slovakia)

Odbiornik podziemny wprowadzany był do odwiertów pomiarowych wykonanych dla potrzeb badań inklinometrycznych. Odwierty obudowane są plastikowym przewodem rurowym niepowodującym tłumienia pól elektromagnetycznych. W okresie badań osuwisko wykazywało minimalną aktywność, co potwierdzały prowadzone równoległe pomiary inklinometryczne. Powodem niskiej aktywności osuwiska był brak długotrwałych opadów deszczu w okresie poprzedzającym badania. Z drugiej strony osuwisko zbudowane jest wyłącznie z płynącej w całej swej objętości masy iłu bez wyraźnie zaznaczonych płaszczyzn poślizgu. Uzyskane przebiegi zmian pola magnetycznego wzdłuż profili odwiertów o nazwach O1, O2 przedstawiono na rysunku 4.

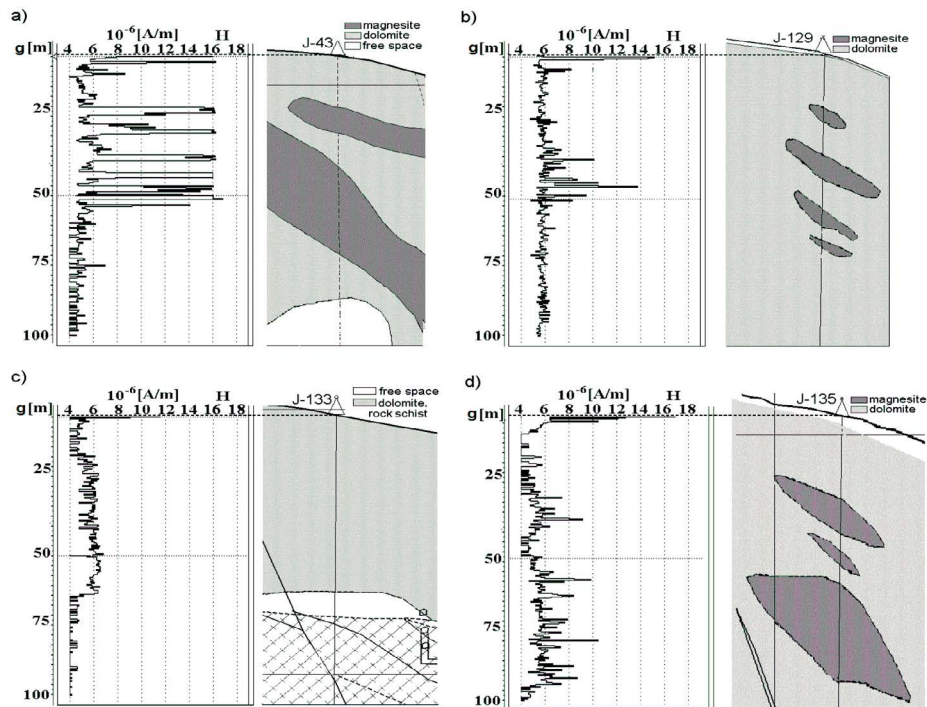
Kolejne pomiary wykonano na terenie kopalni magnezytu SMZ Jelsava w miejscowości Jelsava (Słowacja). Badania prowadzono w odwiertach wykonanych w sklepieniu jaskini powyrobowiskowej, powstałej w wyniku wyeksploatowania złoża magnezytu. Sklepienie utworzone jest głównie z dolomitu szarego, w którym znajdują się bloki lub skupiska bloków magnezytowych. Wyniki pomiarów emisji magnetycznej przedstawiono na rysunku 5. Dodatkowo, przebiegi emisji uzupełniono przekrojami płaszcza skalnego okalającego jaskinię.

Długotrwałe pomiary aktywności elektromagnetycznej czynnego osuwiska prowadzono w miejscowości Jarosłów (rys. 3). Osuwisko rozwinęło się w warstwach iłu z wtrąceniami



Rys. 4. Emisja pola magnetycznego wzdłuż odwiertów O1 (a) i O2 (b) na osuwisku Falkowa, dla $f_0 = 14,5$ [kHz]

Fig. 4. Variation of magnetic field strength versus depth along O1 (a) and O2 (b) borehole on the Falkowa landslide, at $f_0 = 14,5$ [kHz]



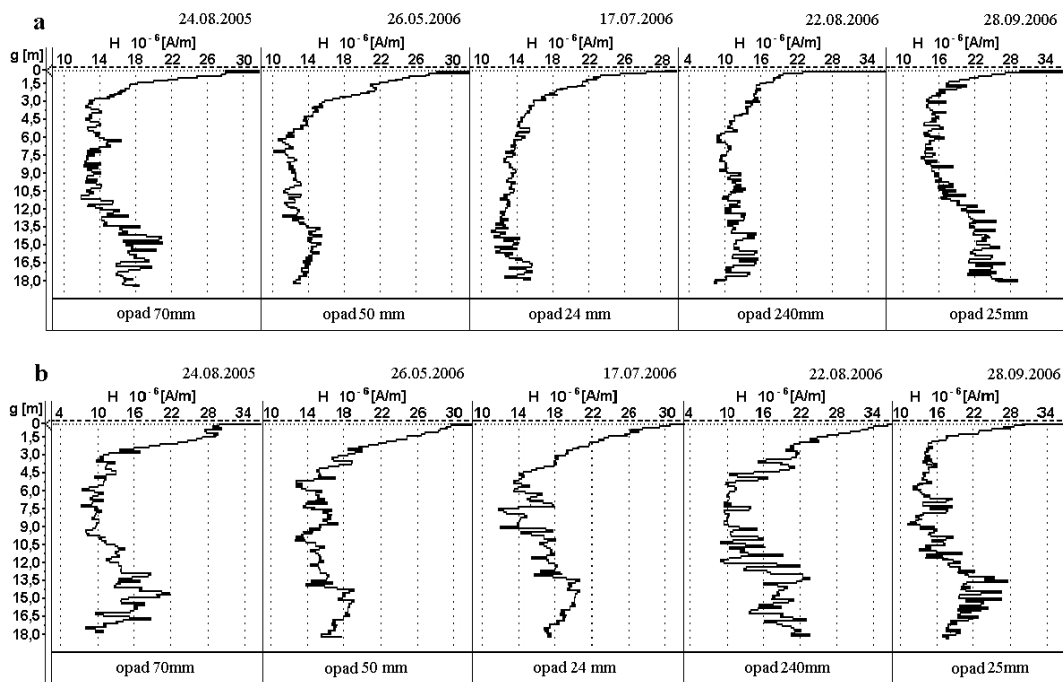
Rys. 5. Emisja pola magnetycznego wzdłuż odwiertów J43 (a), J129 (b), J133 (c) i J135 (d) wykonanych w sklepieniu jaskini powyrobiskowej w miejscowości Jelsava, $f_0 = 14,5$ [kHz]

Fig. 5. Variation of magnetic field strength versus depth along the J43 (a), J129 (b), J133 (c) and J135 (d) borehole drilled in the roof of a cave in Jelsava, at $f_0 = 14,5$ [kHz]



Fot. 2. Widoczne na powierzchni skutki ruchów osuwiskowych w Jaroszwie

Phot. 2. Surface and local road degradation on the Jarosów landslide



Rys. 6. Zmiana natężenie pola magnetycznego wzdłuż odwiertów B1 (a) i B3 (b) na osuwisku w Jaroszwie wraz z miesięcznym poziomem opadów, dla $f_0 = 7$ [kHz]

Fig. 6. Variation of magnetic field strength versus depth along B1 (a) and B3 (b) borehole on the Jarosów landslide, at $f_0 = 7$ kHz and rainfall levels

bloków piaskowca i dolomitu. Prowadzone badania geologiczne wykazały istnienie płaszczyny poślizgu pomiędzy 10 a 17 metrem głębokości. Na fotografii 2 ukazano deformacje terenu spowodowane aktywnością osuwiska, a na rysunku 6 uzyskane przebiegi zmian pola magnetycznego wzdłuż odwiertów B1 i B3. Podano również poziom opadów w miesiącach, w których prowadzone były pomiary emisji magnetycznej z osuwiska. Przedstawione tu wyniki badań zawarte są również w pracy doktorskiej (Maniak 2008).

Podsumowanie

Na wszystkich profilach pola magnetycznego zarejestrowanych na osuwiskach Falkowa i Jarosów oraz w czaszy jaskini powyrobiskowej na terenach kopalni SMZ Jelsava widoczny jest początkowy szybki wzrost natężenia pola magnetycznego, przybierający postać zanikającego impulsu. Już na głębokości około 1–3 m następuje powrót pola magnetycznego do aktualnego poziomu tła, charakterystycznego dla braku procesów osuwiskowych. Wyraźnie widać to na profilach O1 i O2 (osuwisko Falkowa). Omawiane zjawisko wynika z zakłóceń elektromagnetycznych wnikających pod powierzchnię terenu, pochodzących od różnorodnych naziemnych pól elektromagnetycznych. Zastosowanie w tym przypadku pomocniczego odbiornika naziemnego nie eliminuje całkowicie tych zakłóceń. Często obserwowane są również pojedyncze piki na tle ustabilizowanej wartości emisji elektromagnetycznej (rys. 4). Piki te z reguły nie są rejestrowane w kolejnym pomiarze. Przyczyną tego są uderzenia odbiornika o ściankę odwiertu lub o jego dno, wywołujące dobrze znany efekt „mikrofonowania” cewki odbiorczej.

Prowadzone pomiary na osuwisku Falkowa, niewykazującym mierzalnej aktywności elektromagnetycznej, umożliwiły jedynie obserwację przypowierzchniowych sygnałów zakłócających. Brak rejestracji w otworach emisji pola magnetycznego na głębokościach występowania płaszczyn poślizgu wynikał z dwóch faktów. Po pierwsze osuwisko Falkowa zbudowane jest głównie z warstw iłu. W strefie objętej procesem osuwiskowym brak większych bloków skalnych, a właśnie naprężenia powstające na kontaktach warstw i bloków skalnych są najsilniejszym źródłem emisji pola magnetycznego. Potwierdzeniem tej tezy mogą być pomiary prowadzone w kopalni magnezytu w Jelsavie, gdzie obserwowano wyraźną emisję magnetyczną na kontaktach warstw skalnych w których występowały większe naprężenia. Istotna jest również szybkość oraz ciągłość ruchu osuwiska. Osuwisko Falkowa wykazuje okresową wzmózoną aktywność, głównie po długotrwałych opadach deszczu. Z dotychczasowych badań inklinometrycznych wynika, że szybkość ruchu osuwiska jest mała, dochodząc maksymalnie do 70 mm na rok.

Analizując pomiary wykonane w czaszy jaskini powyrobiskowej w miejscowości Jelsava, można zauważyć, że każdy z badanych odwiertów ma swój charakterystyczny kształt przebiegu natężenia pola magnetycznego w funkcji głębokości. Rozpatrując wyniki otrzymane w odwiercie J135 zauważyć można wzmózony wzrost aktywności emisji pola magnetycznego na głębokościach 30–40 oraz 55–90 metrów. W przekroju geologicznym widać, że na tych głębokościach występują bloki magnezytu ulokowane w dolomicie. Na podstawie natężenia rejestrowanej emisji magnetycznej można wnioskować o rozmiarach nieciągłości w budowie płaszczka skalnego. Podobnie analizując profil emisji pola magnetycznego w odwiercie J129 widać, że pomiędzy 35 a 55 metrem jego głębokości występuje wyraźnie

zarysowana anomalia powstała w wyniku zalegania w warstwie dolomitu czterech blisko siebie położonych bloków magnezytu. Porównując natomiast zmierzony profil emisji magnetycznej z przekrojem geologicznym odwiertu J43, można zauważyć trudność w rozróżnieniu metodą emisji magnetycznej zarysów blisko siebie położonych bloków magnezytu. Dochodzi tu do nakładania się pól magnetycznych pochodzących od poszczególnych warstw magnezytu. Podobny wniosek można wysnuć w przypadku odwiertu J129.

Emisja pola magnetycznego w odwiercie J133 wykazuje wyraźny podział na dwie strefy. Pierwsza ciągnąca się od powierzchni terenu do około 55 m głębokości wykazuje zwiększoną emisję magnetyczną, czemu w budowie geologicznej odpowiada głównie dolomit z nieznacznymi wtrąceniami innych materiałów skalnych. Brak jest tu obecności bloków magnezytowych. Strefa druga pozbawiona jest praktycznie emisji, czego powodem jest istnienie niszy powyroboiskowej mającej swój początek na 55 metrze głębokości odwiertu J133. Ogólnie, wszystkie pomiary wykazywały brak rejestrowanej emisji magnetycznej w pustkach powyroboiskowych. Wydaje się to oczywiste ze względu na znaczne, przy tak małych natężeniach pola magnetycznego, odległości od źródeł emisji, którymi są warstwy skalne. Przyczyną emisji pola magnetycznego jest wzajemne parcie wywierane przez bloki skalne różnych typów np. blok magnezytu ściskany warstwami dolomitu. Największe naprężenia występują na kontaktach bloków skalnych, stając się zalążkiem procesów osuwiskowych oraz emisji pól elektromagnetycznych. Zwiększoną emisję pola magnetycznego z poddanych ściskaniu bloków magnezytowych potwierdzają obserwacje laboratoryjne (Maniak 2008), w trakcie których zgniatanne próbki magnezytu wykazywały większą emisję magnetyczną w porównaniu z próbkami dolomitu.

Obserwując przebiegi emisji pola magnetycznego w odwiertach B1 i B3 na osuwisku w Jarosławie można zauważyć czasowe podobieństwo kształtu profilu dla danego odwiertu. Zmianie ulega jedynie zakres rejestrowanych natężeń pola magnetycznego. Przykładowo, dla odwiertu B1 (rys. 6a) na głębokości 15 m obserwowano czasowe zmiany (maj 2005–wrzesień 2006) natężenia pola magnetycznego w zakresie 14–22 A/m. Z prowadzonych wcześniej badań geologicznych ustalono, że poślizg osuwiska występuje na głębokości 10–17 m. Na tych właśnie głębokościach obserwowano wzmożoną emisję pola magnetycznego w przypadku obydwu odwiertów. Łatwo też zauważyć, że wysoki poziom opadów w sierpniu 2006 roku wpłynął na wzmożenie ruchów osuwiskowych, a co za tym idzie na podwyższenie poziomu emisji magnetycznej rejestrowanej we wrześniu 2006 roku.

Należy zaznaczyć, że nie sposób wykluczyć obecności rozchodzących się w ośrodku geologicznym składowych pola magnetycznego pochodzących od innych źródeł, nie związanych z bezpośrednią aktywnością badanych procesów osuwiskowych. Obecność takich pól należy potraktować jako dodatkowe źródło zakłóceń. Rozważania na ten temat zawarte są w pracach Tsutsui (2002) i Singha i in. (2003).

Literatura

- Adler, P.M. 2001. Macroscopic electroosmotic coupling coefficient in random porous media. *Mathematical Geology* Vol. 33, s. 63–93.
- Błaha, P. i Duras, R. 2002. Time distribution of natural electromagnetic impulses. *Laboratory and Field Observation in Seismology and Engineering Geophysics* Vol. 1, s. 261–269.

- Eccles i in. 2005 – Eccles, D., Sammonds, P.R. i Clint, O.C. 2005. Laboratory studies of electrical potential during rock failure. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* No. 42, s. 933–949.
- Fedorov i in. 2001 – Fedorov, E., Pilipenko, V. i Uyeda, S. 2001. Electric and magnetic fields generated by electrokinetic processes in a conductive crust. *Physics and Chemistry of the Earth* vol. 26, No. 10–12, s. 793–799.
- Gershenzon, N. i Bambakidis, G. 2001. Modeling of seismo-electromagnetic phenomena. *Russian Journal of Earth Sciences* Vol. 3, No. 4, s. 247–275.
- Heister i in. 2005 – Heister, K., Kleingeld, P.J., Keijzer, T.J.S. i Loch, G. 2005. A new laboratory set-up for measurement of electrical, hydraulic and osmotic fluxes in clays. *Engineering Geology* no. 77, s. 295–303.
- Jarraud, M. i Sapir, D.G. red. 2014. *Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970–2012)*. Geneva: World Meteorological Organization, 44 s.
- Kharkhalis, N.R. 1995. Manifestation of natural electromagnetic pulse emission on landslide slopes. *Geophysical Journal* Vol. 14, No. 4, s. 437–443.
- Koktavy, P. i Sikula J. 2004. Physical model of electromagnetic emission in solids. *European Working Group on Acoustic Emission*. Praga, 15–17 sierpnia 2004. Proceedings of EWGAE, s. 899–904.
- Kormiltsev i in. 1998 – Kormiltsev, V.V., Ratushnyak, A.N. i Shapiro, V.A. 1998. Three dimensional modeling of electric and magnetic fields induced by the fluid flow in porous media. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* No. 105, s. 109–118.
- Krumbholz i in. 2012 – Krumbholz, M., Bock, M., Burchardt, S., Kelka, U. i Vollbrecht, A. 2012. A critical discussion of the electromagnetic radiation (EMR) method to determine stress orientations within the crust. *Solid Earth* No. 3, s. 401–414.
- Maniak, K. red. 2008. *Badanie zjawisk elektromagnetycznych występujących na osuwiskach*. Wrocław: Rozprawa doktorska. Politechnika Wroclawska, 154 s.
- Mastow i in. 1989a – Mastow, R.Sz., Jaworowicz, W.L. i Gold, R.M. 1989a. Electromagnetic activity during rock fracture. *Engineering Geology* nr 2, s. 121–124 (in Russian).
- Mastow i in. 1989b – Mastow, R.Sz., Rudko, G.I. i Sałomatin, W.N. 1989b. Electromagnetic activity in clay landslides. *Engineering Geology* nr 6, s. 119–122 (in Russian).
- Prałat i in. red. 2004 – Prałat, A., Maniak, K. i Wójtowicz, S. red. 2004. *Urządzenie do pomiaru elektromagnetycznej aktywności osuwisk oraz sposób jej pomiaru*. Warszawa: Zgłoszenie Patentowe nr P.366412, 4 s.
- Pride, S.R., i Morgan, F.D. 1991. Electrokinetic dissipation induced by seismic waves. *Geophysics* Vol. 56, No. 7, s. 914–925.
- Rabinovitch i in. 2000a – Rabinovitch, A., Frid, V., Bahat, D. i Goldbaum, J. 2000a. Fracture area calculation from electromagnetic radiation and its use in chalk failure analysis. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science* No. 37, s. 1149–1154.
- Rabinovitch i in. 2000b – Rabinovitch, A., Frid, V., Bahat, D. i Goldbaum, J. 2000b. Decay mechanism of fracture induced electromagnetic pulses. *Journal of Applied Physics* Vol. 93, No. 9, s. 5085–5090.
- Reppert i in. 2001 – Reppert, P.M., Morgan, F.D., Lesmes, D.P. i Jouniax, L. 2001. Frequency dependent streaming potentials. *Journal of Colloid and Interface Sciences* no. 234, s. 194–203.
- Singh i in. 2003 – Singh, B., Hayakawa, M., Mishra, P.K., Singh, R.P. i Lakshmi, D.R. 2003. VLF electromagnetic noise bursts observed in a borehole and their relation with low-latitude hiss. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* No. 65, s. 269–276.
- Takeuchi, A. i Nagahama, H. 2006. Electric dipoles perpendicular to a stick-slip plane. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* No. 155, s. 208–218.
- Tsutsui, M. 2002. Detection of earth-origin electric pulses. *Geophysical Research Letters* Vol. 29, No. 8, s. 35–39.
- Vybiral, V. red. 2002. *The PEE method helps assess slope stability*. Ostrava: Laboratory and Field Observations in Seismology and Engineering Geophysics, 8s.
- Westen, C.J. i Soeters, A.R. 2006. Landslide hazard and risk zonation – why is it still so difficult. *Bulletin Engineering Geology Environment* No. 65, s. 167–184.

