

## AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko.

**Beata Orlecka-Sikora**

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

Doktor Nauk o Ziemi  
2005

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Studium Doktoranckie na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tytuł rozprawy doktorskiej: *„Zastosowanie technik ponownego losowania do poprawy dokładności wyników probabilistycznej analizy hazardu sejsmicznego”*, promotor – prof. dr hab. Stanisław Lasocki.

Doktorat wyróżniony przez Radę Wydziału GGiOŚ AGH.

Magister inżynier  
2000

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, specjalność: Inżynieria środowiska, tytuł pracy magisterskiej: *„Analiza wymiarów uogólnionych i widma osobliwości lokalnej sejsmiczności indukowanej pracami górnictwami na przykładzie KWK Halemba”*, promotor – dr hab. inż. Zofia Mortimer.

Praca wyróżniona w konkursie Studenckiego Towarzystwa Naukowego pt. *„Najlepsza praca dyplomowa w kategorii prac teoretycznych”*.

1998 - 2000

Międzywydz. Studium Przygotowania Pedagogicznego, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

od 2010

Adiunkt, Zakład Sejsmologii i Fizyki Wnętrza Ziemi, Instytut Geofizyki PAN, od 04.2010 kierownik Zespołu Badawczego Sejsmiczności Indukowanej i Hazardu Sejsmicznego.

2005 – 2009                      Adiunkt, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.

2004 – 2005                      Asystent, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa),

Tytuł wspólny prac: *"Rola transferu naprężeń statycznych w różnoskalowym procesie sejsmogenicznym"*

[4I] Orlecka-Sikora, B, Papadimitriou, E.E., Kwiatek, G. A study of the interaction among mining induced seismic events in the Legnica-Glogow Copper District, Poland, 2009, *Acta Geophysica*, vol. 57, z. 2, doi: 10.2478/s11600-008-0085-z.

[4II] Orlecka-Sikora, B. Ocena istotności wpływu transferu naprężeń statycznych wywołanych przemieszczeniem kosejsmicznym wstrząsów górniczych na proces sejsmogeniczny w kopalniach. Significance of static stress transfer caused by coseismic slip of mining-induced seismic events In seismicity generation process in mines, 2009, *Geologia*, 35, z. 2/1, 519-525.

[4III] Orlecka-Sikora, B, Perspectives of Coulomb Stress Transfer Approach in Studies of the Interaction Among Mining-Induced Seismic Events. 2009. In: *Controlling Seismic Hazard and Sustainable Development of Deep Mines*, C. Tang (Ed.): Proc. Seventh Int. Symp. on Rockburst and Seismicity in Mines 21-23 August 2009, Dalian, China, Rinton Press, New York, 59-72.

[4IV] Orlecka-Sikora, B. The role of static stress transfer in mining induced seismic events occurrence, a case study of the Rudna mine in the Legnica-Glogow Copper District in Poland, 2010, *Geophys. J. Int.* 182, 1087–1095, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04672.x.

[4V] Leptokarpoulos, K. M., Papadimitriou E. E., Orlecka–Sikora, B, Karakostas V. G. Seismicity rate changes in association with time dependent stress transfer in the region

of Northern Aegean Sea, Greece. 2010, *Bull. Geol. Soc. Greece*, XLIII, 2093–2103, 12th International Congress, Patras, Greece, 2010.

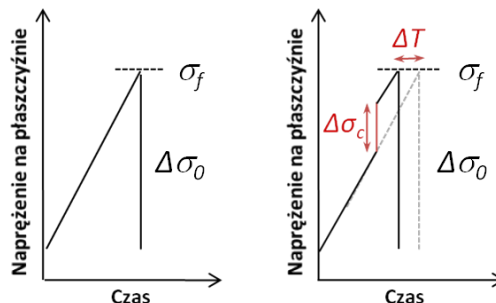
[4VI] Orlecka-Sikora B., Lizurek G., Rudziński Ł. Statyczny Transfer Naprężeń w procesie sejsmogenicznym na przykładzie kopalni Rudna (Static stress transfer in the seismogenic process in Rudna Mine), 2011, *Przegląd Górniczy*, 6/2011, 76-85.

[4VII] Leptokaropoulos, K. M., Papadimitriou E. E., Orlecka–Sikora, B, Karakostas V. G. Time dependent seismicity rate changes in association with stress transfer in the region of Northern Aegean Sea, Greece, 2011, *Geophys. J. Int.* doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05337.x.

b) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

"Rola transferu naprężeń statycznych w różnoskalowym procesie sejsmogenicznym"

Głównym tematem siedmiu prac stanowiących osiągnięcie naukowe jest *rola transferu naprężeń statycznych w różnoskalowym procesie sejsmogenicznym*. Transfer naprężeń to redystrybucja naprężeń wywołana wstrząsem sejsmicznym, obserwowana w obszarze znacznie większym niż strefa uskokowa (np. Chinnery, 1963). Zmiana naprężeń spowodowana jest propagacją fal sejsmicznych oraz przemieszczeniem kosejsmicznym wzdłuż płaszczyzny rozrywu. Pierwsza przyczyna jest przejściowa i prowadzi do chwilowych zmian naprężeń w strefie oddziaływania wstrząsu, nazywanych *transferem naprężeń dynamicznych*. Druga przyczyna jest trwała, a spowodowana przez nią zmiana naprężeń nazywana jest *transferem naprężeń statycznych*. Transfer naprężeń statycznych uważa się obecnie za główny powód interakcji trzęsień ziemi (np. King i inni, 1994; King i Cocco, 2001). Jeśli strefa sejsmogeniczna znajdzie się pod wpływem transferu naprężeń statycznych wywołanego innym trzęsieniem ziemi, to w strefie tej może wzrosnąć lub spaść naprężenie, co w konsekwencji przyspieszy lub opóźni pojawienie się kolejnych wstrząsów, (rys.1). Nawet niewielkie zmiany naprężenia statycznego na danym obszarze mogą wpływać na przyszłą aktywność sejsmiczną regionu (np. Das i Scholz, 1981; Stein i Lisowski, 1983). Teoria transferu naprężeń statycznych zrewolucjonizowała podejście do zagadnienia zmiennego w czasie zagrożenia sejsmicznego (np. Parson, 2000). Od kilku lat analiza transferu naprężeń statycznych należy do podstawowej grupy metod wykorzystywanych w predykcji trzęsień ziemi przez międzynarodowe *Centra Współpracy Do Przewidywania Trzęsień Ziemi* (tzw. *CSEP - Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability*).



Rys. 1. Schemat oddziaływania transferu naprężeń statycznych na hipotetyczną płaszczyznę przyszłego wstrząsu.  $\sigma_f$  - naprężenie krytyczne,  $\Delta\sigma_0$  - spadek naprężenia,  $\Delta\sigma_c$  - zmiana naprężenia wywołana innym wstrząsem,  $\Delta T$  - zmiana czasu osiągnięcia naprężenia krytycznego.

Zmiany naprężenia statycznego wywołane przemieszczeniem kosejsmicznym wstrząsów oblicza się w oparciu o równanie dyslokacji w sprężystej i izotropowej półprzestrzeni. W takich warunkach pole przemieszczeń,  $u_k$ , dla jednorodnej dyslokacji  $U$  wzdłuż płaszczyzny  $\Sigma$  może być określone na podstawie równania (Steketee, 1958a, b):

$$u_k = \frac{U_i}{8\pi\mu} \iint_{\Sigma} w_{ij}^k v_j d\Sigma \quad (1)$$

gdzie  $\mu$  jest modułem sztywności ośrodka,  $v_j$  są kosinusami kierunkowymi normalnej płaszczyzny dyslokacji,  $U_i$  jest  $i$ -tą składową  $U$ ,  $w_{ij}^k$  to funkcje Greena.

Pole przemieszczeń i odkształceń otrzymuje się po scałkowaniu równania (1) (Okada, 1985, 1992). Naprężenie jest oszacowane na podstawie odkształcenia zgodnie z równaniem Hooke'a.

Wstrząs pojawia się, gdy naprężenie na płaszczyźnie uskoku przekroczy wytrzymałość ośrodka skalnego. Jako kryterium wytrzymałości górotworu w zagadnieniu transferu naprężeń statycznych przyjmuje się kryterium Coulomba (Jaeger and Cook, 1979). Według tego kryterium wstrząs sejsmiczny pojawia się, gdy naprężenie ścinające na płaszczyźnie rozrywu,  $\tau$ , zrównoważy naprężenie normalne na tej płaszczyźnie,  $\sigma_n$ , które ze współczynnikiem tarcia,  $\mu$ , blokuje uskok przed poślizgiem. Równowaga ta jest opisana funkcją zniszczenia Coulomba (*Coulomb Failure Function, CFF*):

$$CFF = \tau - \mu \cdot (\sigma_n - p) - c \quad (2)$$

gdzie  $p$  jest ciśnieniem porowym,  $c$  kohezją,  $\tau$  jest dodatnie w kierunku poślizgu na płaszczyźnie rozrywu,  $\sigma_n$  jest dodatnie dla rozciągania.

W praktyce rzeczywiste wartości naprężeń ścinającego i normalnego na danej płaszczyźnie nie są znane, ale wielkość ich zmian spowodowana wystąpieniem wstrząsu sejsmicznego może zostać oszacowana i wykorzystana do obliczenia zmian funkcji zniszczenia:

$$\Delta CFF = \Delta \tau - \mu \cdot (\Delta \sigma_n - \Delta p), \quad (3)$$

gdzie  $\Delta \tau$  oznacza zmianę naprężenia ścinającego, dodatnią w kierunku poślizgu na płaszczyźnie rozrywu,  $\Delta \sigma_n$  jest zmianą naprężenia normalnego na rozpatrywanej płaszczyźnie, dodatnią dla rozciągania,  $\Delta p$  oznacza zmianę ciśnienia porowego.

Przyjmuje się, że zmiany ciśnienia porowego są proporcjonalne do zmian naprężenia normalnego (Cocco i Rice, 2002) i są włączone w efektywny współczynnik tarcia,  $\mu'$ :

$$\mu' = \mu \cdot (1 - B) \quad (4)$$

gdzie  $B = \frac{\Delta p}{\Delta \sigma_n}$  jest parametrem Skempton.

Wówczas  $\Delta CFF$  ma postać:

$$\Delta CFF = \Delta \tau - \mu' \cdot \Delta \sigma_n \quad (5)$$

Dodatnie zmiany  $CFF$  powodują wzrost prawdopodobieństwa pojawienia się kolejnego wstrząsu, natomiast negatywne zmiany  $CFF$  zmniejszają to prawdopodobieństwo.

W sejsmiczności naturalnej zjawisko transferu naprężeń badane jest od ponad 25 lat. Taki model interakcji pomiędzy trzęsieniami ziemi był źródłem znaczących sukcesów prognostycznych, jak na przykład przewidzenie miejsca wystąpienia trzęsienia ziemi na Sumatrze w 2005 roku (McCloskey i inni, 2005). W pracach, których wyniki przedstawione są w publikacjach, stanowiących podstawę mojego wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego, zajmowałam się badaniem możliwości wykorzystania modelu transferu naprężeń statycznych zarówno w sejsmiczności naturalnej, jak i w sejsmiczności indukowanej działalnością człowieka. W 2007 roku rozpoczęłam, kontynuowane do chwili obecnej, badania roli transferu naprężeń w sejsmiczności indukowanej pracami górniczymi oraz możliwości wykorzystania tej koncepcji w analizie zagrożenia sejsmicznego. Badania te były pierwszą w świecie próbą zastosowania koncepcji transferu naprężeń w sejsmiczności indukowanej. Wyniki badań przedstawione są w publikacjach oznaczonych jako [4I] – [4IV] i [4VI], oraz w pracy złożonej do *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* i będącej po pierwszej rundzie recenzji: Orlecka-Sikora B., Lasocki, S., Lizurek G., Rudziński Ł. „Response of seismic activity in mines to the stress changes due to mining induced strong seismic events”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*.

Sejsmiczność na obszarach górniczych pojawia się w odpowiedzi na zmiany naprężenia wywołane eksploatacją, porównywalne co do wielkości do spadków naprężeń podczas wstrząsów górniczych (np. McGarr i Simpson, 1997). Wiele badań czasowej i przestrzennej struktury procesu sejsmogenicznego na terenach górniczych dostarcza dowodów na istnienie związków pomiędzy wstrząsami. Do nich należą między innymi zjawisko grupowania się wstrząsów w czasoprzestrzenne klastry, roje (np. Gibowicz, 1997; Orlecka-Sikora i Lasocki, 2002), istnienie pamięci w procesie występowania wstrząsów (np. Kijko 1997; Węglarczyk i Lasocki, 2009), dyfuzja naprężenia i jego wpływ na występowanie silnych zdarzeń (Marsan *i inni*, 1999), pojawianie się dubletów i multipletów (np. Gibowicz, 2006). Jednym z mechanizmów odpowiedzialnych za związki pomiędzy wstrząsami górniczymi może być, podobnie jak w sejsmiczności naturalnej, transfer naprężeń statycznych. Najważniejszym ogólnym wnioskiem moich badań jest stwierdzenie, że pomimo tego, iż w sejsmiczności indukowanej pracami górniczymi dominującą rolę w redystrybucji pola naprężeń odgrywa eksploatacja, transfer naprężeń statycznych wynikający z uprzednich wstrząsów istotnie modyfikuje rozkład naprężeń wokół wyrobisk górniczych i w znacznej części determinuje dalszy przebieg procesu sejsmicznego. Silne wstrząsy sejsmiczne powodują zmianę naprężeń statycznych w obszarze większym niż samo ognisko, przez co mogą przyspieszyć lub opóźnić pojawienie się następnych wstrząsów górniczych. Silny związek pomiędzy zmianami naprężeń statycznych, a lokalizacją sejsmiczności wskazuje, że transfer naprężeń statycznych powinien zostać włączony do oceny zagrożenia sejsmicznego na obszarach górniczych. Estymacja zmian naprężeń statycznych pomoże w przewidywaniu zmian aktywności sejsmicznej oraz w określeniu obszarów zwiększonego prawdopodobieństwa wystąpienia przyszłych silnych wstrząsów. Szczegółowa analiza transferu naprężeń statycznych zintegrowana z charakterystyką tektoniczną pola eksploatacji może także pomóc w optymalizacji prac górniczych z punktu widzenia stabilności otoczenia wyrobiska.

Prace dotyczące transferu naprężeń statycznych w górotworze kopalnianym są całkowicie nowym wkładem do rozwoju modelu transferu naprężeń statycznych z dwóch powodów. Przede wszystkim jako pierwsze wykazały wpływ przemieszczeń kosejsmicznych na proces generowania wstrząsów w kopalniach tąpniętych. Po drugie dotyczą one mniejszego zakresu magnitud, a co za tym idzie, mniejszych wartości zmian naprężeń statycznych. Pokazują, że takie mniejsze zmiany naprężeń mają również wyzwalający wpływ w procesie sejsmicznym. Stanowią więc uzupełnienie wyników badań transferu naprężeń w sejsmiczności naturalnej i wpisują się w nurt prac poświęconych niezależności procesu rozrywu od skali zjawiska. Wszystkie te prace były kierowane i w znacznej części przygotowane przeze mnie. Uzyskane wyniki tych prac, wzbudziły znaczne zainteresowanie w grupach badawczych zajmujących się tak sejsmicznością indukowaną działalnością człowieka jak i badających interakcje pomiędzy

naturalnymi trzęsieniami ziemi. Między innymi z inicjatywy dr. Massimo Cocco (INGV Rzym), jednej z kluczowych postaci wprowadzających transfer naprężeń statycznych do seismologii, jesteśmy w kontakcie, dyskutując wyniki moich prac i ich konsekwencje.

Wnioski na temat wpływu małych zmian naprężeń na proces seismogeniczny, zebrane w badaniach sejsmiczności górniczej, były dla mnie podstawą do rozpoczęcia badań zagadnienia transferu naprężeń w sejsmiczności naturalnej. Badania te umożliwiła wieloletnia współpraca z seismologami z Uniwersytetu Arystotelesa w Thessalonikach w Grecji. Wraz z prof. Eleftherią Papadimitriou, prof. Vassilisem Karakostasem oraz doktorantem Konstantinosem Leptokarpoulosem prowadzimy badania dotyczące wpływu transferu naprężeń statycznych na czasową ewolucję sejsmiczności na obszarze Grecji. W pracach [4V] i [4VII] po raz pierwszy wykorzystana została koncepcja transferu naprężeń statycznych do oceny zmian w czasie aktywności sejsmicznej w rejonie Północnego Morza Egejskiego. Analiza danych sejsmicznych i znaczna część tekstu prac została przygotowana przez doktoranta Konstantinosa Leptokarpoulosa. Od 2009 roku jestem członkiem Komitetu Doradczego ds. doktoratu Konstantinosa Leptokarpoulosa. Mój wkład w załączone prace to współudział w koncepcji badań i prac, włączenie metod statystycznych do oceny istotności uzyskanych wyników i ich niepewności, dyskusja wyników, udział w redagowaniu prac, uczestnictwo w procesie recenzje/rewizja prac. W okresie 16.11.2010-15.12.2010 doktorant przebywał w Instytucie Geofizyki PAN u mnie na konsultacjach, podczas których pod moją opieką testował różne modele sejsmiczności Grecji oraz wpływ wartości parametrów na wyniki analizy. Pobyt ten zasadniczo przyczynił się do powstania pracy [4VII].

Udział naukowy współautorów w każdej z wymienionych prac jako osiągnięcie naukowe został opisany w załączonych oświadczeniach. Poniżej przedstawiono opis celu naukowego każdej z prac oraz wkładu do rozwoju wiedzy o transferze naprężeń statycznych.

[4I] Orlecka-Sikora, B, Papadimitriou, E.E., Kwiatek, G. A study of the interaction among mining induced seismic events in the Legnica-Glogow Copper District, Poland, 2009, *Acta Geophysica*, vol. 57, z. 2, doi: 10.2478/s11600-008-0085-z.

W pracy przedstawiono pierwsze wyniki badań transferu naprężeń statycznych dla sejsmiczności indukowanej pracami górniczymi. Do analizy wybrano serię zjawisk sejsmicznych o energii od  $1.0 \cdot 10^5$  J, zarejestrowanych przez Kopalnianą Stację Geofizyki Zakładów Górniczych Rudna w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym. W pracy

badano sumaryczne zmiany naprężeń statycznych wywołane kolejnymi wstrząsami sejsmicznymi w serii oraz ich wpływ na czas i miejsce wystąpienia przyszłej sejsmiczności. Zjawiska sejsmiczne modelowane były jako źródła prostokątne o wymiarach odpowiadających promieniowi źródła oszacowanemu w analizie spektralnej. Aby ocenić, czy lokalizacja kolejnych silnych wstrząsów w serii miała związek ze zmianami naprężeń statycznych spowodowanymi wcześniejszymi zjawiskami sejsmicznymi,  $\Delta CFF$  szacowano na płaszczyźnie reprezentującej płaszczyznę uskokową przyszłego wstrząsu. Jeśli wstrząs pojawił się w obszarze, gdzie naprężenia statyczne wzrosły, przyjmowano, że czas pojawienia się wstrząsu mógł zostać przyspieszony na skutek dodatkowych naprężeń na płaszczyźnie uskokowej, powodujących przekroczenie wytrzymałości ośrodka skalnego. Ponad 60% analizowanych wstrząsów pojawiło się w rejonach o dodatnich zmianach naprężeń statycznych. Takie wyniki sugerowały, że transfer naprężeń statycznych może wpływać również na proces sejsmogeniczny w kopalniach i zachęcały do dalszych badań tego zjawiska.

[4II] Orlecka-Sikora, B. Ocena istotności wpływu transferu naprężeń statycznych wywołanych przemieszczeniem kosejsmicznym wstrząsów górniczych na proces sejsmogeniczny w kopalniach. Significance of static stress transfer caused by coseismic slip of mining-induced seismic events In seismicity generation process in mines, 2009, *Geologia*, 35, z. 2/1, 519-525.

W pracy zaprezentowano wyniki analizy wpływu transferu naprężeń statycznych wywołanego wystąpieniem silnych wstrząsów sejsmicznych w 30-sto dniowych oknach na miejsce i czas wystąpienia przyszłych wstrząsów. Takie podejście podyktowane było obserwacją, że proces sejsmogeniczny na obszarach górniczych jest zależny od eksploatacji i przez to jest zmienny w czasie. Zmiany naprężenia statycznego są trwałe, ale w warunkach górniczych również podlegają wpływom zmiennych w czasie prac eksploatacyjnych. Badania serii wstrząsów górniczych pokazały jednak, że aktywność sejsmiczna zmienia się w czasie na tyle wolno, że w krótkich odcinkach czasu proces sejsmiczny jest stacjonarny. W takich okresach wpływ zmienności prac górniczych na kosejsmiczne zmiany naprężeń statycznych można uznać w średniej za nieistotny. Proporcja analizowanych w pracy wstrząsów, zlokalizowanych na obszarach wzrostu naprężeń statycznych na skutek przeszłej aktywności sejsmicznej wyniosła 53%, natomiast dla silniejszych wstrząsów, 58%. Opracowany dla badanej serii zjawisk test statystyczny dowiódł na poziomie istotności 5%, że dla obszarów, na których naprężenia statyczne wzrosły przynajmniej o 0.002 MPa na skutek przeszłej aktywności sejsmicznej, istnieje statystycznie istotny związek pomiędzy lokalizacją przyszłych wstrząsów a  $\Delta CFF$ . Oznacza to, że na obszarze kopalni Rudna silniejsze wstrząsy górnicze zmieniają pole



naprężeń i przez to mogą zwiększyć prawdopodobieństwa pojawienia się kolejnego silnego wstrząsu.

[4III] Orlecka-Sikora, B, Perspectives of Coulomb Stress Transfer Approach in Studies of the Interaction Among Mining-Induced Seismic Events. 2009. In: *Controlling Seismic Hazard and Sustainable Development of Deep Mines*, C. Tang (Ed.): Proc. Seventh Int. Symp. on Rockburst and Seismicity in Mines 21-23 August 2009, Dalian, China, Rinton Press, New York, 59-72.

Artykuł przedstawia próbę zastosowania modelu rate/state z transferem naprężeń statycznych w sejsmiczności indukowanej do oceny czasowej zmienności aktywności sejsmicznej. Model sejsmiczności zakładający prawo rate/state (Dieterich, 1992, 1994) z transferem naprężeń statycznych pozwala badać wpływ kolejnych skoków naprężeń związanych z wieloma źródłami sejsmicznymi na aktywność sejsmiczną oraz analizować ten efekt w czasie i w przestrzeni. Według tej teorii, nagły wzrost naprężeń statycznych powoduje wzrost aktywności sejsmicznej, która z czasem wraca do swojego pierwotnego poziomu, natomiast nagły spadek naprężeń powoduje gwałtowne osłabienie aktywności sejsmicznej, która również wraca w czasie do poziomu poprzedzającego skok naprężeń. W takim modelu procesu sejsmogenicznego ewolucja sejsmiczności zależy również od poziomu referencyjnego aktywności sejsmicznej przed zmianą naprężeń, od parametru konstytutywnego, od prędkości zmian naprężeń. Wszystkie te wielkości zostały opisane zmienną stanu, która po nagłym skoku naprężeń zmienia swoją wartość, przechodząc w kolejną, nową zmienną stanu. Im niższa zmienna stanu przed skokiem naprężenia, tym większy wpływ zmian naprężeń na poziom aktywności sejsmicznej.

Do badań przedstawionych w pracy [4III] wybrano serię zdarzeń sejsmicznych zlokalizowanych w jednej ze stref sejsmicznych wydzielonych na obszarze kopalni Rudna, w której wystąpiły dwa silne zjawiska sejsmiczne o magnitudach lokalnych 4.1 i 3.7. Oba zjawiska pojawiły się w niewielkim odstępie czasu od siebie, powodując wzrost aktywności sejsmicznej w rejonie. Wyniki wstępnych badań pokazały, że modelowane zmiany aktywności sejsmicznej zarówno w czasie jak i w przestrzeni odpowiadają zaobserwowanym zmianom aktywności sejsmicznej po wystąpieniu silnych wstrząsów. Wyniki te wskazują na potencjał podejścia rate/state dla oceny zagrożenia sejsmicznego. Po wystąpieniu silnego zjawiska można oszacować, które obszary są narażone na wzrost aktywności sejsmicznej, jak zmieni się poziom aktywności sejsmicznej i po jakim czasie można się spodziewać powrotu aktywności sejsmicznej do poziomu sprzed wystąpienia silnego wstrząsu sejsmicznego.

[4IV] Orlecka-Sikora, B. The role of static stress transfer in mining induced seismic events occurrence, a case study of the Rudna mine in the Legnica-Glogow Copper District in Poland, 2010, *Geophys. J. Int.* 182, 1087–1095, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04672.x.

W pracy przedstawiono wyniki testowania statystycznej istotności oddziaływania transferu naprężeń statycznych na proces sejsmogeniczny w kopalni Rudna. Podstawę analizy stanowiła sekwencja 153 wstrząsów z kopalni Rudna o  $M_L$  od 2.0, z okresu od 01.07.2005 do 12.12.2006. Przemieszczenie kosejsmiczne wywołane wstrząsami obliczono zakładając źródła sejsmiczne jako źródła punktowe. Mechanizm przyspieszający (wyzwalający) i mechanizm opóźniający pojawienie się przyszłego wstrząsu określony został ilościowo przez proporcję zdarzeń sejsmicznych zlokalizowanych na obszarach o odpowiednio dodatnich i ujemnych zmianach naprężeń statycznych. Aby ocenić statystyczną istotność związku  $\Delta CFF$  z lokalizacją wstrząsów opracowano test statystyczny na podstawie 2000 serii kontrolnych utworzonych z permutacji oryginalnej sekwencji wstrząsów. Dla każdej serii kontrolnej oszacowano w taki sam sposób jak dla oryginalnego zbioru danych proporcję zdarzeń zlokalizowanych na obszarach dodatnich  $\Delta CFF$  i proporcję zjawisk na obszarach ujemnych  $\Delta CFF$ . Następnie, rzeczywistą proporcję zjawisk porównywano z odpowiednimi kwantylami empirycznego rozkładu proporcji syntetycznych i na tej podstawie oceniono istotność statystyczną otrzymanych różnic proporcji. Na przyjętym poziomie istotności 5% test statystyczny potwierdził, że dodatnie zmiany naprężeń statycznych od 0.005 MPa istotnie uczestniczą w procesie sejsmogenicznym na obszarze ZG Rudna. Test nie potwierdził istotnego wpływu negatywnych zmian naprężeń statycznych na aktywność sejsmiczną w ZG Rudna. W pracy zbadano również wpływ niejednoznaczności i błędu rozwiązań mechanizmu ogniska wstrząsów na wyniki testu.

[4V] Leptokaropoulos, K. M., Papadimitriou E. E., Orlecka-Sikora, B, Karakostas V. G. Seismicity rate changes in association with time dependent stress transfer in the region of Northern Aegean Sea, Greece. 2010, *Bull. Geol. Soc. Greece*, XLIII, 2093–2103, 12th International Congress, Patras, Greece, 2010.

Praca przedstawia wstępne wyniki modelowania zmian aktywności sejsmicznej na obszarze Północnego Morza Egejskiego od 1964 do 2008 roku na podstawie zmian pola naprężeń kosejsmicznych i naprężeń generowanych ruchem płyt tektonicznych w podejściu rate/state. Ewolucję pola naprężeń oceniono na podstawie 11 wstrząsów o moment magnitudzie  $M_w > 5.8$ . Oczekiwane zmiany aktywności sejsmicznej, jakie powinny być skutkiem ewolucji pola naprężeń porównano z zaobserwowanymi zmianami aktywności wstrząsów o  $M_w > 3.8$ . Zgodność tych dwóch parametrów oceniono na podstawie wartości współczynnika korelacji Pearsona. Uzyskane wyniki pokazały, że dla okresów kompletnych katalogów sejsmologicznych zastosowane

podejście może w ponad 70% tłumaczyć obserwowaną aktywnością sejsmiczną, co ma duże znaczenie dla oceny zmiennego w czasie zagrożenia sejsmicznego na badanym obszarze.

[4VI] Orlecka-Sikora B., Lizurek G., Rudziński Ł. Statyczny Transfer Naprężeń w procesie sejsmogenicznym na przykładzie kopalni Rudna (Static stress transfer in the seismogenic process in Rudna Mine), 2011, *Przełąd Górniczy*, 6/2011, 76-85.

W pierwszej części pracy zamieszczono przegląd uzyskanych wcześniej wyników badań zjawiska transferu naprężeń w sejsmiczności górniczej. Druga część pracy zawiera wyniki analizy zmian naprężeń statycznych w polu G-11/8 ZG Rudna i jej wpływ na rozwój słabszej aktywności sejsmicznej w okresie kilku miesięcy. Przykład oddziały G-11/8 pokazuje, że oprócz wpływu dodatnich zmian *CFF*, co zostało wcześniej potwierdzone statystycznie, obserwuje się również wpływ ujemnych zmian *CFF* na przyszłą aktywność wstrząsów górniczych. Ujemne wartości  $\Delta CFF$  spowodowały osłabienie lub zatrzymanie aktywności sejsmicznej w strefie koncentracji naprężeń eksploatacyjnych w otoczeniu wyrobiska. Takie wyniki rozszerzają możliwości praktycznego zastosowania transferu naprężeń statycznych w ocenie poziomu aktywności sejsmicznej w kopalniach.

[4VII] Leptokarpoulos, K. M., Papadimitriou E. E., Orlecka-Sikora, B, Karakostas V. G. Time dependent seismicity rate changes in association with stress transfer in the region of Northern Aegean Sea, Greece, 2011, *Geophys. J. Int.* doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05337.x.

Praca prezentuje wyniki oceny zmian średniej aktywności sejsmicznej w czasie na obszarze Północnego Morza Egejskiego w oparciu o formułę rate/state Dietericha (1994). Obszar analizy podzielono na 4 strefy sejsmogeniczne. Według przyjętego modelu sejsmiczności zmiany pola naprężeń, spowodowane przemieszczeniem kosejsmicznym podczas wstrząsów o  $M_w > 5.8$  z okresu 12.1981-08.2010 oraz ruchem płyt tektonicznych, wywołały skokowe zmiany aktywności sejsmicznej na badanym obszarze. Zmiany te, estymowane na podstawie modelu rate/state dla każdej strefy sejsmogenicznej, porównano z obserwowaną aktywnością sejsmiczną w okresie objętym analizą. Przeprowadzono jakościową i ilościową ocenę zgodności estymowanych i rzeczywistych zmian średniej aktywności sejsmicznej. W pracy zamieszczono również ocenę wpływu wartości poszczególnych parametrów modelu na uzyskane wyniki. Przyjęty model oddziaływania zmian naprężeń statycznych na aktywność sejsmiczną regionu Północnego Morza Egejskiego dał satysfakcjonującą zgodność pomiędzy

estymowaną a obserwowaną aktywnością sejsmiczną i stanowi istotny wkład w ocenę zmiennego w czasie zagrożenia sejsmicznego badanego obszaru.

Poza problemami poruszonymi w wymienionych wyżej pracach, analizowano również wpływ wartości efektywnego współczynnika tarcia na wyniki modelowań zmian naprężeń statycznych w kopalniach, co zostało przedstawione na konferencji Międzynarodowego Związku Sejsmologii i Fizyki Wnętrza Ziemi, IASPEI, 10-16.01.2009, Cape Town, RPA w referacie pt. *„Significance of Static Stress Transfer in Mining-Induced Seismicity Generation Process, the Case Study of Rudna Mine in the Legnica-Głogów Copper District in Poland”*. Aby przyjąć najbardziej właściwy horyzont wpływu zmian naprężeń statycznych na przyszłą sejsmiczność indukowaną testowano różne modele wzajemnego oddziaływania wstrząsów, budowane na podstawie różnej długości serii danych sejsmicznych. Wyniki tego etapu prac prezentowane były w formie dwóch referatów, pierwszego pt. *„Study of the interaction among mining induced seismic events in the Legnica Głogów Copper District, Poland”* na 31 Zgromadzeniu Ogólnym Europejskiej Komisji Sejsmologicznej (ESC) w Hersonissos w Grecji, 07–14.09.08, oraz drugiego pt. *„Triggering Effect of the Static Stress Transfer in Mining-Induced Seismicity from Rudna Mine in the Legnica-Głogów Copper District, in Poland”* na Spotkaniu Amerykańskiej Unii Geofizycznej w San Francisco w USA, 15-19.12.08.

Wyniki badań oddziaływania transferu naprężeń statycznych na proces generowania wstrząsów górniczych prezentowane były również na konferencjach sejsmologicznych:

1. International Workshops on Statistical Seismology (STATSEI7), Fira, Grecja, 25-27.05.2011, referat: Orlecka-Sikora, B. *"Mining induced seismicity changes due to event-event triggering"*;
2. European Geosciences Union (EGU), Wiedeń, Austria, 03-09.04.2011, referat: Orlecka-Sikora B., Lasocki, S., Lizurek G., Rudziński Ł. *"Response of seismic activity in mines to the stress changes due to mining induced strong seismic events"*;
3. International Workshop on Deep Scientific Drilling at Koyna, India, National Geophysical Research Institute, Hyderabad, India, March 21-25.2011, referat: Lasocki, S., Orlecka-Sikora, B. *"Induced Seismicity in Mines: Some Collective Properties"*;
4. European Geosciences Union General Assembly 2010, Wiedeń, Austria, 02-07.05.2010, referat: Lasocki, S., Karakostas, V.G., Papadimitriou, E.E., Orlecka-Sikora, B. (2010) Keynote lecture: *"Stress shadows - a controversial topic"*;
5. ESC 2010, 32nd General Assembly, Montpellier, France, 6-10.09.2010, referat: Orlecka-Sikora, B., Lasocki, S., Wiejacz, P., Urban, P., Koziarz, E. *"Static Stress Transfer and Event Clusters In Mining Induced Seismicity"*;

6. 32nd Polish-Czech-Slovakian Symposium on Mining and Environmental Geophysics, 20-22.05.2009, Piechowice, referat: Orlecka-Sikora, B. "*Preliminary study of the role of rate/state stress transfer in mining-induced seismicity*";

oraz jako „invited talk” w referacie pt. "*Static stress transfer due to mining induced seismic events and its implications on seismogenic process on mining areas*" na warsztatach projektu *MINE: MINing Environments: continuous monitoring and simultaneous inversion* finansowanego przez BMBF/DFG Programme Geotechnologien, Tomographie des Nutzbaren Untergrundes, Niemcy (Uniwersytet w Hamburgu, 29.11-1.12.2010).

Wyniki badań wpływu transferu naprężeń statycznych na proces generowania trzęsień ziemi na obszarze Grecji prezentowane były również na konferencjach sejsmologicznych:

1. International Workshops on Statistical Seismology (STATSEI7), Fira, Grecja, 25-27.05.2011, referat: Leptokarpoulos, K. M., Papadimitriou E. E., Orlecka-Sikora, B., Karakostas V. G. "*Stress interactions among active fault zones of the Aegean Sea and their impact on seismicity rate changes and time-dependent seismic hazard*";
2. The 19th Carpathian Balkan Geological Association Congress, Thessaloniki, Grecja, 23-26.09.2010, referat: Leptokarpoulos, K. M., Papadimitriou E. E., Orlecka-Sikora, B. and Karakostas V. G. "*Study of time dependent earthquake occurrence in Greece: Relationship between seismicity rate changes and stress transfer and implications for time dependent seismic hazard assessment*".

## Literatura

- Chinnery, M. A. (1963) The state of stress changes that accompany strike-slip faulting, *Bull. Seism. Soc. Am.* 53, 921-932.
- Cocco, M., Rice, J.R., (2002) Pore pressure and poroelasticity effects in Coulomb stress analysis of earthquake interactions, *J. Geophys. Res.*, 107, B2, 2030, doi:10.1029/2000JB000138.
- Das, S. and C.H. Scholz (1981) Theory of time-dependent rupture in the earth, *J. Geophys. Res.* 86B, 6039-6051.
- Dieterich, J.H. (1992) Earthquake nucleation on faults with rate- and state-dependent friction, *Tectonophysics*, 211, 115-134.
- Dieterich, J. H. (1994) A constitutive law for rate of earthquake production and its application to earthquake clustering, *J. Geophys. Res.*, 99, 2601-2618.
- Gibowicz, S.J. (1997) An anatomy of a seismic sequence in a deep gold mine, *Pure appl. Geophys.*, 150, 393-414.
- Gibowicz, S.J. (2006) Seismic doublets and multiplets at the Polish coal and copper mines, *Acta Geophys.*, 54, 142-157, doi:10.2478/s11600-006-0014-y.
- Jaeger, J.C., Cook, (1979) N.G.W.: Fundamentals of Rock Mechanics, 3rd ed., Chapman and Hall, London.

- Kijko, A. (1997) Keynote lecture: seismic hazard assessment in mines, in *Rockbursts and Seismicity in Mines*, pp. 247–256, ed. Gibowicz, S.J. & Lasocki, S., Balkema, Rotterdam.
- King, G.C.P., Cocco, M., (2001) Fault interaction by elastic stress changes: new clues from earthquake sequences, *Adv. Geophys.*, 44, 1–38.
- King, G.C.P., Stein, R.S., Lin, J., (1994) Static stress changes and the triggering of earthquakes, *Bull. seism. Soc. Am.*, 84, 935–953.
- McGarr, A., Simpson, D.W. (1997) Keynote lecture: a broad look at induced seismicity, in *Rockbursts and Seismicity in Mines*, pp. 385–396, eds Gibowicz, S.J. & Lasocki, S., Balkema, Rotterdam.
- McCloskey, J., Nalbant, S., Steacy, S. (2005) Indonesian earthquake: Earthquake risk from co-seismic stress. *Nature*, 434 (7031): 291-291, DOI: 10.1038/434291a.
- Okada, Y. (1985) Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bull. Seism. Soc. Am.* 75, 1135–1154.
- Okada, Y. (1992) Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bull. Seism. Soc. Am.* 82, 1018–1040.
- Orlecka-Sikora, B., S. Lasocki (2002), Clustered structure of seismicity from the Legnica–Głogów copper district, *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, M–24 (340), 105–119.
- Stein, R. S. and M. Lisowski (1983) The 1979 Homestead Valley earthquake sequence, California: Control of aftershocks and postseismic deformation, *J. Geophys. Res.* 88, 6477–6490.
- Steketee, J.A. (1958a) On Volterra's dislocations in a semi-infinite elastic medium. *Can. J. Phys.* 36, 193–205.
- Steketee, J.A. (1958b) Some geophysical applications of the elasticity theory of dislocations. *Can. J. Phys.* 36, 1168–1198.
- Węglarczyk, S., Lasocki, S. (2009) Studies of short and long memory in mining-induced seismic processes, *Acta Geophys.*, 57, 696–715.

#### 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.

Obszar moich zainteresowań badawczych skoncentrowany jest wokół procesów sejsmicznych i oceny zagrożenia sejsmicznego. Pierwsza grupa dotyczy oceny niepewności estymacji rozkładów wielkości źródeł sejsmicznych dla potrzeb probabilistycznej analizy zagrożenia sejsmicznego. W ramach swojej pracy doktorskiej dla polepszenia jakości nieparametrycznej estymacji dystrybuanty magnitud zastosowałam techniki ponownego losowania, polegające na kombinacyjnym generowaniu wielu prób z jednego zbioru danych pomierzonych. Techniki te były wcześniej bardzo rzadko wykorzystywane w sejsmologii, a zastosowanie ich do zagadnień analizy hazardu sejsmicznego w sposób zaproponowany przeze mnie było zupełnie nowym podejściem w badanej dziedzinie (prace [5I]-[5VI]).

W 2003 roku otrzymałam stypendium Marie Curie w ramach 5. Programu Ramowego Unii Europejskiej we Włoszech i wzięłam udział w międzynarodowym projekcie badawczym *“Estimates of ground motion and hazard assessment through earthquake scenarios”* pod kierownictwem prof. Petera Suhadolca w Katedrze Nauk o Ziemi na Uniwersytecie w Trieście we Włoszech. W trakcie realizacji projektu prowadziłam prace badawcze w zakresie deterministycznej analizy zagrożenia sejsmicznego ([5VII]).

W 2007 roku rozpoczęłam badania interakcji trzęsień ziemi i wstrząsów górniczych. Od roku 2009 prowadzę projekt badawczy MNiSW nr N N307 234937 *„Analiza transferu naprężeń statycznych wywołanych przemieszczeniem kosejsmicznym wstrząsów górniczych i jego roli w procesie sejsmogeniczny”*. Poza osiągnięciem naukowym opisanym w punkcie 4, przygotowałam razem ze współautorami pracę opisującą ewolucję aktywności sejsmicznej w jednym z oddziałów ZG Rudna w kontekście skumulowanych zmian naprężeń statycznych wywołanych dwoma silnymi wstrząsami w tym rejonie [5VIII]. Publikacja ta przeszła pierwszy etap recenzji.

Od początku swojej pracy naukowej specjalizuję się w zagadnieniu probabilistycznej analizy zagrożenia sejsmicznego. Na podstawie prowadzonych analiz przygotowałam wraz ze współautorami publikacje do recenzowanych czasopism, [5IX] - [5XI] oraz 3 rozdziały w polskojęzycznej monografii *“Geneza i charakterystyka zagrożenia sejsmicznego w GZW”* pod redakcją prof. W.M. Zuberka ([5XII]-[5XIV]). W latach 2001 – 2005 byłam wykonawcą projektu badawczego, finansowanego przez KBN *„Ilościowa analiza wielomodalnej struktury rozkładu energii/magnitudy sejsmiczności naturalnej i indukowanej i jej implikacji dla estymacji hazardu sejsmicznego”*, kierowanego przez prof. S. Lasockiego, oraz grantu promotorskiego nr 5 T12A 046 25 KBN *“Zastosowanie technik ponownego losowania do poprawy dokładności wyników probabilistycznej analizy hazardu sejsmicznego”*. W latach 2007 - 2009 byłam wykonawcą projektu badawczego nr PBS-Grecja/10/2007 *„Badanie zmienności w czasie zagrożenia sejsmicznego dla sejsmiczności naturalnej i indukowanej w kopalniach, z wykorzystaniem metod nieparametrycznych”*, a od 2010 roku wykonawcą projektu MNiSW nr 3935/B/T02/2010/39 *“Analiza interakcji pomiędzy wstrząsami w sejsmiczności naturalnej i indukowanej pracami górniczymi dla oceny zmiennego w czasie zagrożenia sejsmicznego”*, oba projekty kierowane przez prof. S. Lasockiego. Ponadto brałam udział w 9 projektach badawczych dotyczących problemu rozbudowy zbiornika odpadów poflotacyjnych *“Żelazny Most”*, w 3 projektach dotyczących prognozy aktywności sejsmicznej i wielkości drgań gruntu na obszarze miasta Polkowice oraz w 2 projektach dotyczących oszacowania zagrożenia sejsmicznego na obszarach kopalń Knurów i Piekary.

W 2007 roku podpisałam akces założycielski i od tamtej pory jestem członkiem grupy roboczej *Triggered and Induced Seismicity (TAIS)* działającej w ramach International

Association of Seismology and Physics of the Earth Interior (IASPEI). W roku 2010 zainicjowałam i obecnie współtworzę światową inicjatywę „*THAIS - Teamwork for Hazard Estimation for Triggered and Induced Seismicity*”. Inicjatywa ta zakłada tworzenie aktywnych międzynarodowych grup badawczych, skupionych wokół fizycznych problemów zagrożeń spowodowanych sejsmicznością indukowaną. Dzięki nowoczesnym technologiom komunikacyjnym zostaną stworzone warunki umożliwiające naukowcom w różnych punktach świata efektywną współpracę w ramach jednej grupy roboczej. Nowa inicjatywa otrzymała formalne wsparcie infrastrukturalne największego europejskiego projektu infrastrukturalnego w dziedzinie nauk o Ziemi *European Plate Observing System (EPOS)*. Inicjatywę tę prezentowałam na specjalnych spotkaniach otwartych podczas Zgromadzenia Ogólnego ESC w Montpellier oraz podczas Warsztatów Sejsmiczności Indukowanej ECGS-FKPE w Luxembourg. Obecnie inicjatywa zgromadziła dziewięciu partnerów z EU i ośmiu z poza EU oraz wsparcie IASPEI.

Cytowane prace:

[5I] Orlecka-Sikora, B. (2008) Resampling methods for evaluating the uncertainty of the nonparametric magnitude distribution estimation in the Probabilistic Seismic Hazard Analysis. *Tectonophysics*, 456, 38-51, doi:10.1016/j.tecto.2007.01.026.

[5II] Orlecka-Sikora B. (2006) Resampling methods for improving the accuracy of probabilistic seismic hazard analysis. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad Sci.* M-29, (395), 63-76.

[5III] Orlecka-Sikora, B. (2005) Zastosowanie metody bootstrap w nieparametrycznej reprezentacji źródła dla poprawy dokładności ocen probabilistycznej analizy hazardu sejsmicznego. *Sprawozdania z posiedzenia Komisji Nauk Geologicznych PAN*, tom XLVII/1, ISSN 0079-354X, 161–165.

[5IV] Orlecka-Sikora, B. (2004) Resampling methods in nonparametric seismic hazard estimation, *Acta Geophys. Pol.*, vol. 52, No. 1. 15 – 27.

[5V] Orlecka-Sikora, B., Lasocki, S. (2005) Nonparametric characterization of mining induced seismic sources. The Sixth International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines "*Controlling Seismic Risk*" Proceedings (Y. Potvin, M. Hudyma, eds.) ACG, Perth, 555-560.

[5VI] Orlecka-Sikora, B. (2004) Bootstrap and jackknife resampling for improving in the nonparametric seismic hazard estimation. The IUGG 2003 Proceedings Volume "*Earthquake. Hazard, Risk, and Strong Ground Motion*" (Y.T. Chen, G.F. Panza, Z.L. Wu., eds.), Seismological Press, 81-92.



- [5VII] Moratto, L., Orlecka-Sikora, B., Costa, G., Suhadolc, P., Papaioannou, Ch., Papazachos, C.B. (2007) A deterministic seismic hazard analysis for shallow earthquakes in Greece. *Tectonophysics*, 442, 66-82.
- [5VIII] Orlecka-Sikora B., Lasocki, S., Lizurek G., Rudziński Ł. (2011) Response of seismic activity in mines to the stress changes due to mining induced strong seismic events, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* (w recenzji).
- [5IX] Orlecka-Sikora B., Lasocki S. (2002) Strefowa struktura sejsmiczności Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad Sci. M-27* (340), 105-119.
- [5X] Lasocki S., Orlecka-Sikora B. (2002) Prognoza drgań gruntu na terenie miasta Polkowice dla okresu 2001-2013. *Mat. XXV Zimowej Szkoły Mechaniki Górniczej*. Kraków 2002, *Geotechnika i Budownictwo Specjalne*, 369-384.
- [5XI] Lasocki, S., Orlecka-Sikora B. (2008) Seismic hazard assessment under complex source size distribution of mining-induced seismicity. *Tectonophysics*, 456, 28-37, doi: 10.1016/j.tecto.2006.08.013.
- [5XII] Lasocki, S., Orlecka-Sikora, B. (2010) Testowanie złożoności rozkładu wielkości źródeł sejsmicznych na obszarze GZW. W: W.M. Zuberek, K. Jochymczyk (red.), *Geneza i charakterystyka zagrożenia sejsmicznego w GZW*. Wydawnictwo Uniwersytetu śląskiego, Katowice 2010.
- [5XIII] Mirek, J., Orlecka-Sikora, B., Lasocki, S. (2010) Badanie kierunków migracji ognisk wstrząsów „tektonicznych” dla wyjaśnienia uwarunkowań i mechanizmów ich powstawania. W: W.M. Zuberek, K. Jochymczyk (red.), *Geneza i charakterystyka zagrożenia sejsmicznego w GZW*. Wydawnictwo Uniwersytetu śląskiego, Katowice 2010.
- [5XIV] Orlecka-Sikora, B., Lasocki, S. (2010) Estymacja górnego ograniczenia wielkości źródła sejsmicznego na obszarze Siodła Głównego. W: W.M. Zuberek, K. Jochymczyk (red.), *Geneza i charakterystyka zagrożenia sejsmicznego w GZW*. Wydawnictwo Uniwersytetu śląskiego, Katowice 2010.

Ilościowe zestawienie wszystkich publikacji

		Rodzaj publikacji			
		Prace publikowane w czasopismach naukowych	Prace publikowane w recenzowanych materiałach konferencyjnych	Rozdziały w monografiach	Streszczenia konferencyjne
Liczba publikacji	przed doktoratem (przed 06.2005)	2	4	0	5
	po doktoracie (od 06.2005)	9	2	3	20
	Razem	11	6	3	25

*B. Biedrzycka*