

AUTOREFERAT

**przedstawiający opis dorobku i osiągnięć
naukowych**

dr inż. Krystyna STEC

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
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.)	3
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	3
4.2. Zestawienie jednotematycznych publikacji stanowiących podstawę pracy habilitacyjnej (autor/autorzy, tytuł, rok wydania, nazwa wydawnictwa) ----	4
4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania	5
4.3.1. <i>Zarys fizycznych podstaw zastosowanej metody badań</i>	6
4.3.2. <i>Zastosowanie wyników badań mechanizmu ognisk wstrząsów do charakterystyki oddziaływania wstrząsów na górnicze wyrobiska podziemne</i>	11
4.3.3. <i>Wykorzystanie parametrów mechanizmu ognisk do określenia oddziaływania wstrząsów na infrastrukturę powierzchniową</i> -----	30
4.3.4. <i>Podsumowanie</i>	34
5. Omówienie pozostałych osiągnięć w pracy naukowo-badawczej	36
6. Informacja o całości publikacji	49
7. Wykaz krajowych i międzynarodowych projektów badawczych oraz ważniejszych prac badawczych realizowanych w GIG	50
8. Udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych	52
9. Działalność popularyzująca naukę i osiągnięcia dydaktyczne oraz organizacyjne	53
10. Odbyte staże badawcze i szkoleniowe do krajowych i zagranicznych ośrodków naukowych	54
11. Członkostwo w organizacjach i towarzystwach naukowych oraz odznaczenia	55

1. Imię i nazwisko

Imię i nazwisko: Krystyna Stec
Data i miejsce urodzenia: 20.01.1956, Gorlice
Adres domowy: ul. Jesionowa 14/9, Katowice

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

Nazwa: **doktor nauk technicznych**,
Miejsce uzyskania: Główny Instytut Górnictwa, Plac Gwarków 1, 40 - 166 Katowice
Rok uzyskania: 1994
Tytuł rozprawy doktorskiej: „Wpływ parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów górniczych na ocenę zagrożenia sejsmicznego w kopalniach węgla kamiennego”

Nazwa: **magister inżynier**,
Rok uzyskania: 1980
Miejsce uzyskania: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geologiczno-Poszukiwawczy
specjalność: geofizyka stosowana

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

od 15.05.1980 do nadal – Główny Instytut Górnictwa, Zakład Geologii i Geofizyki
Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice
zajmowane stanowiska
01.07.1994 – do nadal – adiunkt
01.05.1982 – 30.06.1994 – asystent
01.10.1980 – 30.04.1982 – inżynier
15.05.1980 – 30.09.1980 – stażysta

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.)**4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego**

Geoinżynierskie zastosowanie badań mechanizmu ognisk wstrząsów górniczych

* Oświadczenia współautorów określające indywidualny wkład w pracach stanowiących osiągnięcie naukowe znajdują się w załączniku nr 6 do Wniosku

4.2. Zestawienie jednotematycznych publikacji stanowiących podstawę pracy habilitacyjnej (autor/autorzy, tytuł, rok wydania, nazwa wydawnictwa)

1. Dubiński J., **Stec K.**, 2001: *Relationship between focal mechanism parameters of mine tremors and local strata tectonics*. [w]: "Dynamic rock mass response to mining", Proc. of the 5th Int. Symp. on Rockbursts and Seismicity in Mines (Eds: G. Van Aswegen, R.J. Durrheim, W.D. Ortlepp), The South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, pp. 113-118. [udział własny 50 %].
2. Dubiński J., Lurka A., **Stec K.**, 2005: *Influence of the mining tremor source radiation directivity in the distribution of the seismic interactions with surface*. [w]: "Mining and Sustainable Development", Proc. of the 20th World Mining Congress Vol. 2. Teheran. pp. 889-894. [udział własny 50 %].
3. Lurka A. **Stec K.**, 2005: *Charakterystyka radiacji fal sejsmicznych w obszarze epicentralnym dla wstrząsów w LGOM*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 6 (130), Wyd. WUG, Katowice, str. 37-39. [udział własny 80 %].
4. **Stec K.**, 2007: *Characteristics of Seismic Activity of the Upper Silesian Coal Basin in Poland*. Geophysical Journal International, Blackwell Publishing Ltd, V.168, nr 2 pp. 757-768. (IF=2,583).
5. **Stec K.**, Błaszczuk E., 2008: *Charakterystyka procesów zachodzących w ogniskach wysokoenergetycznych wstrząsów występujących w czasie eksploatacji ściany 17 w pokładzie 361 w KWK „Knurów”*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 24, Zeszyt 2/3 Wyd. SIGMiE PAN, Kraków, str. 226-244, (IF=0,262) [udział własny 90 %].
6. **Stec K.**, 2009: *Metody wyznaczania mechanizmu ognisk wstrząsów*. Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko Nr 4/1, Katowice, str. 223-236.
7. **Stec K.**, 2009: *Characteristics of the processes taking place at the sources of high energy tremors occurring in the Upper Silesian Coal Basin in Poland – regional character*. [w]: "Controlling Seismic Hazard", Proc. of the 7th Int. Symp. on Rockbursts and Seismicity in Mines, (Ed. C. Tang), Dalian, China, Renton Press, New York/New Jersey, pp. 415-426.
8. **Stec K.**, Lurka A., 2010: *Wpływ kierunkowości radiacji fal sejsmicznych wysokoenergetycznego wstrząsu o energii $1,6 \cdot 10^{10}$ J na powierzchnię w kopalni węgla brunatnego „Belchatów”*. Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko, Nr 4/4, Katowice, str. 101-110. [udział własny 80 %].
9. **Stec K.**, Masny W., 2011. *Dynamiczne oddziaływanie wstrząsów górotworu na wyrobiska korytarzowe w zależności od orientacji płaszczyzny pękania w ognisku wstrząsu*. Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko, Nr 2, Katowice, str. 101-114. [udział własny 75 %].

10. **Stec K.**, Masny W., 2012. *Analiza numeryczna dynamicznego oddziaływania wstrząsów górotworu na wyrobisko korytarzowe w zależności od położenia płaszczyzny pęknięcia w ognisku wstrząsu*. Przegląd Górniczy nr 7, Katowice, str. 48-56 [udział własny 75%].
11. **Stec K.**, 2012. *Określenie stanu naprężeń w strefach zagrożenia sejsmicznego na podstawie parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów*. Przegląd Górniczy nr 2, Katowice, str. 8-15.
12. **Stec K.**, Drzewiecki J., 2012. *Mine Tremor Focal Mechanism: An Essential Element for Recognizing the Process of Mine Working Destruction*. Acta Geophysica, Vol. 60, No. 2, DOI: 10.2478/s11600-011-0036-y, pp. 449-471, (IF=0,667). [udział własny 60 %].
13. **Stec K.**, 2012. *Focal Mechanisms of Mine-induced Seismic Events an explanation of Geomechanical Processes in the Area of Longwall 6, Seam 510 in Hard Coal Mine Bobrek-Centrum*. Archives of Mining Sciences, (IF=0,35), w druku* .

* Informacja Wydawnictwa Archives of Mining Sciences o przyjęciu artykułu do druku załączona jest do kserokopii publikacji – załącznik nr 4 do Wniosku.

Udział naukowy współautorów w wymienionych pracach jako osiągnięcie naukowe, został przedstawiony w załączonych oświadczeniach znajdujących się w załączniku nr 6 do Wniosku.

4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania

Tematykę powyższych 13 opublikowanych prac, zestawionych w ujęciu chronologicznym, w których jestem autorem lub współautorem, można ująć pod wspólnym tytułem „*Geoinżynierskie zastosowanie badań mechanizmu ognisk wstrząsów górniczych*”. Uważam, że opracowane rozwiązania, opisane powyższym tytułem, stanowią oryginalne osiągnięcie naukowe w zakresie dyscypliny górnictwo i geologia inżynierska, szczególnie w specjalności geofizyka górnicza.

Rozwiązania te opierają się na wykorzystaniu wyników badań mechanizmu ognisk wstrząsów górniczych i można je przyporządkować do następujących dwóch obszarów badawczych:

- oddziaływanie wstrząsów górniczych na wyrobiska podziemne,
- oddziaływanie wstrząsów górniczych na powierzchniową infrastrukturę budowlaną.

Pierwszy z nich jest przedstawiony w pracach 1, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13. Obejmuje on wykorzystanie parametrów mechanizmu ognisk do określenia typów zjawisk sejsmicznych w celu ustalenia genezy tych zjawisk, a także do oceny stanu zagrożenia sejsmicznego i powiązanego z nim zagrożenia tąpnięciami.

Drugi obszar badawczy został przedstawiony w pracach 2, 3 i 8. Dotyczy on określenia jak mechanizm ogniska wstrząsu górniczego, determinujący kierunkowość radiacji sejsmicznej, może wpływać na rozkład intensywności drgań mający wpływ na powierzchniową infrastrukturę budowlaną.

Poniżej, w podrozdziale 4.3.1, został omówiony zarys podstaw fizycznych stosowanej metodyki określenia mechanizmu ognisk wstrząsów górotworu. Natomiast w kolejnych podrozdziałach 4.3.2 i 4.3.3 jest przedstawiony opis istoty każdego z problemów badawczych, który został oparty na przedmiotowych publikacjach usystematyzowanych w odpowiednie grupy tematyczne. Grupy te odpowiadają specjalnym problemom geoinżynierskim, dla rozwiązania których są wykorzystane parametry opisujące mechanizm ognisk wstrząsów indukowanych przez działalność górnictwem. Podrozdział 4.3.4 zawiera podsumowanie dotyczące zastosowania badań mechanizmu ognisk wstrząsów w kilku ważnych zagadnieniach geoinżynierskich.

4.3.1. Zarys fizycznych podstaw zastosowanej metody badań

Sejsmologia górnicza jest najbardziej rozpowszechnioną metodą geofizyczną, która jest stosowana dla oceny zagrożenia tąpnięciami zarówno w polskim jak i światowym górnictwie. Dotyczy to zarówno górnictwa węgla kamiennego jak i innych surowców mineralnych, np. rud miedzi czy złota, platyny i innych metali. W zdecydowanej większości sytuacji wskazania sejsmologii górnicznej dobrze monitorują zmiany stanu naprężeniowo-deformacyjnego, zachodzące w obserwowanym fragmencie górotworu wskutek prowadzonej działalności górnicznej. Z zadawalającą dokładnością można identyfikować miejsca rozwoju procesu dynamicznego niszczenia struktury ośrodka skalnego oraz określać poziom energetyczny występujących zjawisk sejsmicznych. Ponadto, w warunkach dobrze zaprojektowanej geometrii kopalnianej sieci sejsmologicznej, dysponującej nowoczesną bazą aparaturową, istnieje możliwość realizacji szeregu specjalistycznych analiz, które są niezbędne dla rozwoju i zwiększenia efektywności tej metody. Ich istotą jest wdrożenie nowych, ruchowych rozwiązań prognostycznych opartych na wyznaczeniu dodatkowych parametrów charakteryzujących proces pęknięcia ośrodka skalnego w ognisku. To właśnie do nich należą, między innymi, parametry fizyczne opisujące źródło drgań oraz parametry charakteryzujące mechanizm ognisk wstrząsów.

Poznanie przebiegu i osobliwości procesów pęknięcia zachodzących w źródle, to jest w strefie formowania się ogniska przyszłego wstrząsu wysokoenergetycznego, jest bowiem niezbędne do opracowywania bardziej efektywnych technik prognozowania i oceny ryzyka ich wystąpienia oraz działań w zakresie przeciwdziałania i zwalczania zagrożenia tąpnięciami. Problematyka ta jest szczególnie istotna w odniesieniu do wstrząsów górnicznych, gdyż posiada istotny wpływ na bezpieczeństwo pracy i na efekty prowadzonej działalności górnicznej. Doświadczenia wielu lat powszechnego stosowania w polskich kopalniach sejsmologii górnicznej jednoznacznie wskazują na potrzebę zróżnicowania technologii profilaktyki tąpniowej w zależności od rodzaju ogniska wstrząsu, który może być przyczyną zaistnienia tąpnięcia. Wstrząsy „pokładowe” o ogniskach położonych w wybranym pokładzie węgla charakteryzują się najczęściej eksplozywnym mechanizmem i wymagają odmiennej profilaktyki niż wstrząsy nazwane „stropowymi” o ogniskach znajdujących się poza pokładem, głównie w mocnych warstwach wstrząsogennych. W przypadku tych wstrząsów w strefie ogniskowej dominują siły ścinające opisane odmiennym typem mechanizmu ogniska.

Powyższe różnice wskazują jak ważnym jest problem prawidłowej identyfikacji wymienionych rodzajów wstrząsów, możliwy w realizacji właśnie poprzez określenie typu mechanizmu ognisk wstrząsów dominujących w danym rejonie kopalni. Określenie to można wykonać w oparciu o cyfrowe sejsmogramy wstrząsów stosując tzw. metodę inwersji tensora momentu sejsmicznego.

Tensor momentu sejsmicznego (TMS) opisuje układ sił występujących w źródle sejsmicznym jako liniową kombinację par sił z momentem. Przemieszczenia w dalekim polu falowym u_k wywołane przez system sił występujących w źródle sejsmicznym są sumą przemieszczeń wywołanych przez poszczególne pary sił (Aki i Richards, 1980)¹. Można to zapisać następująco:

$$u_k = M_{ij} \frac{\partial G_{ki}}{\partial x_j} = M_{ij} * G_{ki,j} \quad (1)$$

gdzie:

- M_{ij} – moment pary sił działającej w kierunku osi x_i , o ramieniu zgodnym z osią x_j ,
- G_{ki} – funkcja Greena (funkcja opisująca odpowiedź impulsową ośrodka na drodze przebytej przez falę sejsmiczną),
- $G_{ki,j}$ – pochodna funkcji Greena względem współrzędnej j po przecinku w indeksie,
- * – oznacza operacje konwolucji.

W metodzie inwersji TMS zakłada się punktowy charakter źródła (rozmiary źródła są małe w porównaniu do obserwowanych długości fal sejsmicznych) oraz przyjmuje się, że wszystkie składowe tensora momentu zależą w taki sam sposób od czasu (wprowadza się funkcję źródła). W takim przypadku mamy do czynienia ze źródłem synchronicznym, czyli generującym jednakowe zmiany w czasie we wszystkich kierunkach. Wówczas pole przemieszczeń można zapisać jako:

$$u_k(x, t) = M_{ij} [G_{ki,j} * s(t)] \quad (2)$$

gdzie:

$s(t)$ – funkcja źródła (funkcja charakteryzująca emisję sejsmiczną ze źródła w czasie).

Pole przemieszczeń u_k jest liniową funkcją składowych tensora momentu sejsmicznego oraz wyrazów w nawiasie kwadratowym w powyższej zależności. Przyjmując, że funkcją źródła jest funkcja Diraca, pole przemieszczeń u_k można opisać w następujący sposób:

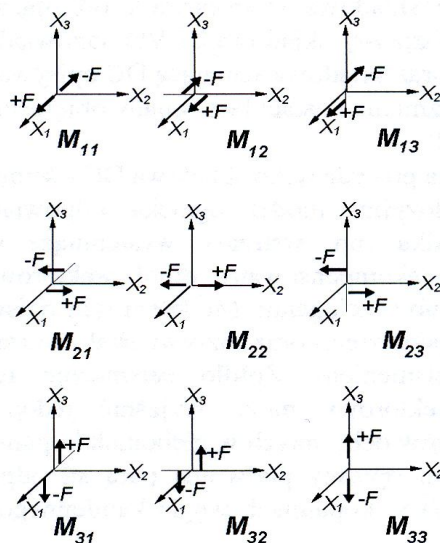
$$u_k(x, t) = M_{ij} G_{ki,j} \quad (3)$$

Zbiór wszystkich dziewięciu składowych M_{ij} zapisany w postaci macierzy M o wymiarze 3×3 reprezentuje właśnie tensor momentu sejsmicznego:

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

W tensorze tym składowe diagonalne, czyli takie, dla których $i = j$ opisują pary sił bez momentów, które są skierowane wzdłuż odpowiednich osi układu współrzędnych. Tensor momentu sejsmicznego można również przedstawić w sposób graficzny jako układ dziewięciu par sił równoważnych M_{ij} działających w ognisku wstrząsu (rys. 1).

¹ Aki K., Richards P.G. 1980: "Quantitative Seismology - Theory and Methods", vol. 1,2, W.H. Freeman and Co., San Francisco.



Rys. 1. Układ dziewięciu par sił równoważnych M_{ij} działających w ognisku wstrząsu

Tensor momentu sejsmicznego można rozłożyć na następujące dwie części:

- izotropową (opisującą zmiany objętości w źródle),
- dewiatorową, która jest złożeniem podwójnej pary sił i skompensowanego liniowo dipola wektorowego (Ben-Menahem, Singh, 1981)²:

$$\begin{aligned}
 M = M_{ij}e_i e_j = & \frac{1}{3}(M_{11} + M_{22} + M_{33})(e_1 e_1 + e_2 e_2 + e_3 e_3) \rightarrow \text{centrum kompresji} \\
 & + \frac{1}{3}(2M_{11} - M_{22} - M_{33})e_1 e_1 \\
 & + \frac{1}{3}(2M_{22} - M_{33} - M_{11})e_2 e_2 \\
 & + \frac{1}{3}(2M_{33} - M_{11} - M_{22})e_3 e_3 \left. \vphantom{\frac{1}{3}} \right\} \text{ trzy dipole} \\
 & + \frac{1}{2}(M_{32} + M_{23})(e_3 e_2 + e_2 e_3) \\
 & + \frac{1}{2}(M_{32} - M_{23})(e_3 e_2 - e_2 e_3) \\
 & + \frac{1}{2}(M_{13} + M_{31})(e_1 e_3 + e_3 e_1) \\
 & + \frac{1}{2}(M_{13} - M_{31})(e_1 e_3 - e_3 e_1) \left. \vphantom{\frac{1}{2}} \right\} \text{ trzy podwójne} \\
 & + \frac{1}{2}(M_{21} + M_{12})(e_2 e_1 + e_1 e_2) \\
 & + \frac{1}{2}(M_{21} - M_{12})(e_2 e_1 - e_1 e_2) \left. \vphantom{\frac{1}{2}} \right\} \text{ pary sił} \\
 & \left. \vphantom{\frac{1}{2}} \right\} \text{ trzy skręcenia} \\
 & \left. \vphantom{\frac{1}{2}} \right\} \text{ wokół osi} \\
 & \left. \vphantom{\frac{1}{2}} \right\} \text{ układu} \\
 & \left. \vphantom{\frac{1}{2}} \right\} \text{ współrzędnych}
 \end{aligned} \tag{5}$$

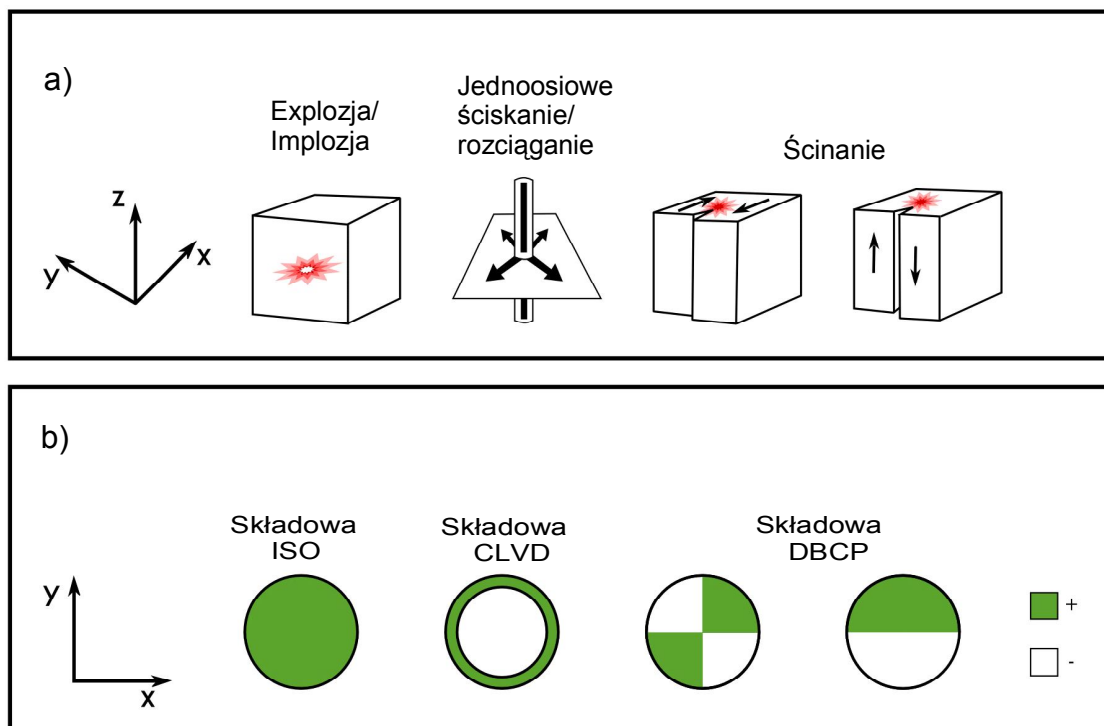
gdzie:

e_i, e_j – wersory wzdłuż osi x_i i x_j .

² Ben-Menahem A., Singh S. J.: “*Seismic Waves and Sources*”, Springer-Verlag, New York, 1981,

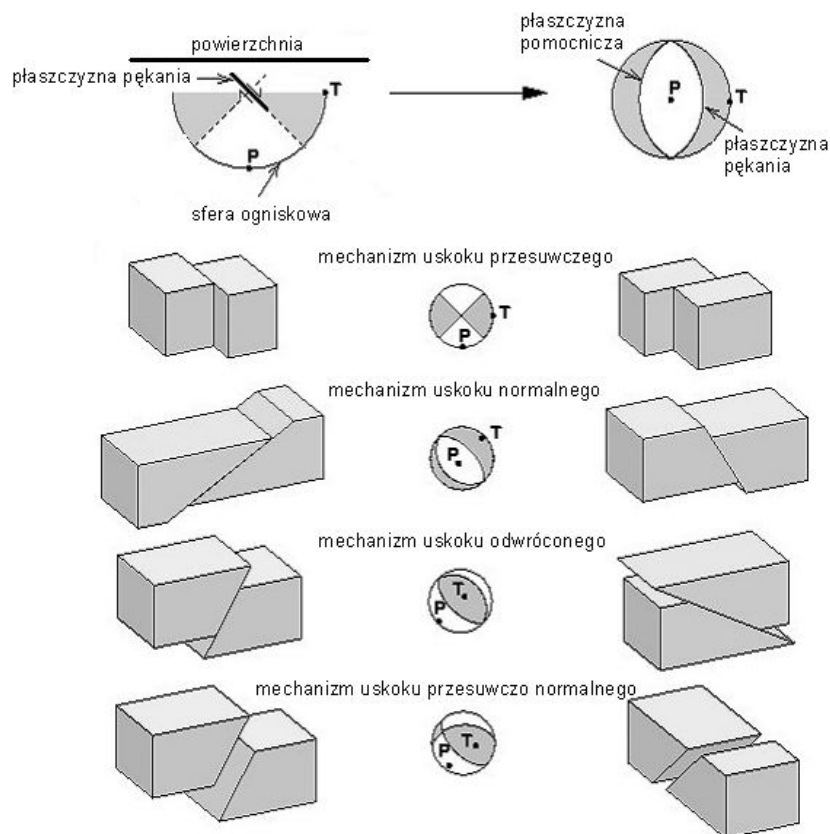
Pierwszy wyraz po prawej stronie równania (5) opisuje procesy kompresji w źródle, kolejne wyrazy opisują odpowiednio 3 dipole wzdłuż osi układu współrzędnych, 3 podwójne pary sił oraz 3 skręcenia dookoła osi układu współrzędnych.

Ponieważ tensor momentu sejsmicznego jest symetryczny (zgodnie z zasadą zachowania momentu obrotowego równoważnych sił w źródle), czyli $M_{ij} = M_{ji}$, skręcenia dookoła osi układu współrzędnych znikają. Dekompozycja tensora momentu sejsmicznego na część izotropową, na liniowy skompensowany dipol i na podwójną parę sił jest najczęściej przyjmowanym opisem źródła sejsmicznego. Graficzny obraz modelu powstawania pęknięcia skał dla poszczególnych składowych tensora momentu sejsmicznego przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Korelacja pomiędzy modelem powstawania pęknięcia w ośrodku skalnym (a) a projekcją stereograficzną rozchodzenia się fal sejsmicznych na półkuli ogniskowej (b)

W przypadku dominacji składowej ścinania określa się orientację przestrzenną płaszczyzny ogniskowej, na której ma miejsce proces niszczenia, to jest jej azymut i upad oraz kierunek i zwrot przemieszczenia na tej płaszczyźnie. Uzyskuje się również dane o azymucie i zanurzeniu osi naprężeń kompresyjnych P i tensyjnych T. Graficzne odwzorowanie (rzut stereograficzny) oraz sposób pęknięcia warstw w ognisku dla ścinającego mechanizmu ognisk przedstawione jest na rys. 3.



Rys. 3. Podstawowe typy ścinającego mechanizmu ognisk wstrząsów sejsmicznych

W prowadzonych badaniach do obliczeń tensora momentu sejsmicznego wykorzystywany były specjalistyczne programy: do 2008 roku program SMT (Wiejacz, 1994)³, a następnie od 2009 roku program Foci (Kwiatek, 2009)⁴. Programy te umożliwiły uzyskiwanie trzech modeli ogniska wstrząsu, opisanych przez trzy rodzaje tensora momentu sejsmicznego:

- tensor ogólny,
- tensor dewiatoryczny,
- tensor czystego ścinania.

Tensor ogólny posiada składową izotropową I , która opisuje zmiany objętości w ognisku (eksplozja $/+$ lub implozja $/-$), składową CLVD odpowiadającą jednoosiowemu ścisaniu $/-$ / lub rozciąganiu $/+$ oraz składową ścinającą DBCP opisywaną przez podwójną parę sił (patrz rys. 2).

Tensor dewiatoryczny (związany ze zmianą postaci bez zmiany objętości) posiada dwie składowe, tj. CLVD i DBCP.

Natomiast **tensor czystego ścinania** posiada tylko składową DBCP.

³ Wiejacz P. 1994: „The SMT software”, (niepublikowane).

⁴ Kwiatek G. 2009: „Foci – Tensor momentu sejsmicznego – Parametry Spektralne” opis programu (publikacja internetowa www.sejsmologiagornicza.pl/foci/).

4.3.2. Zastosowanie wyników badań mechanizmu ognisk wstrząsów do charakterystyki oddziaływania wstrząsów na górnicze wyrobiska podziemne

Wykorzystanie wyników badań mechanizmu ognisk wstrząsów do analizy oddziaływania wstrząsów górniczych na wyrobiska podziemne można podzielić na cztery grupy tematyczne:

- I. Udowodnienie istnienia zjawiska modalności sejsmiczności górniczej – wydzielenie różniących się typów genetycznych wstrząsów sejsmicznych.
- II. Określenie przyczyn i genezy zaistniałych tąpnięć.
- III. Badanie lokalnego pola naprężeń.
- IV. Charakterystyka dynamicznego oddziaływania wstrząsów górniczych na wyrobiska podziemne.

I. Udowodnienie istnienia zjawiska modalności sejsmiczności górniczej – wydzielenie różniących się typów genetycznych wstrząsów sejsmicznych

Naukowa wartość tego geoinżynierskiego rozwiązania polega na:

- zastosowaniu nowoczesnych procedur obliczeniowych mechanizmu ognisk wstrząsów w odniesieniu do analizy reprezentatywnego i zróżnicowanego zbioru wstrząsów górniczych, jakie wystąpiły w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego,
- oryginalnym opracowaniu uzyskanych wyników z wykorzystaniem danych o lokalizacji ognisk wstrząsów oraz informacji geologicznej, geomechanicznej i górniczej,
- empirycznym potwierdzeniu hipotezy o istnieniu zjawiska modalności w sejsmiczności górniczej GZW.

Na początku lat 80-tych ubiegłego stulecia, na podstawie analizy empirycznych rozkładów ekstremalnych energii sejsmicznych sformułowana została hipoteza o istnieniu zjawiska bimodalności sejsmiczności obserwowanej w polskich kopalniach węgla kamiennego. Uważano, że jego przyczyną może być różna geneza wydzielonych dwóch grup wstrząsów. Przyjęto, że jedna grupa jest odpowiedzialna za niskoenergetyczną komponentę rozkładu, natomiast druga generuje komponentę wysokoenergetyczną. Podział ten był wyłącznie intuicyjny i opisowy (Kijko 1986)⁵.

Przeprowadzone przez autorkę badania mechanizmu ognisk dużego zbioru wstrząsów o różnych energiach sejsmicznych (kilkaset wstrząsów) jednoznacznie potwierdziły fakt występowania wstrząsów górniczych o różniących się mechanizmach ognisk, co jednoznacznie potwierdziło powyższą hipotezę o występowaniu zjawiska modalności w sejsmiczności górniczej. Ponadto, wyniki tych badań wyraźnie potwierdzały, że mechanizm tworzenia się ognisk wstrząsów górniczych zależy od wielu czynników geologiczno-górniczych, których wzajemna korelacja ma decydujący wpływ na powstawanie wstrząsów określonego typu. Stwierdzono także, że zmienność mechanizmów ognisk

⁵ Kijko A., 1986: „Bimodalny charakter ekstremalnych rozkładów zjawisk sejsmicznych w kopalniach”. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-8 (191), s. 91-101.

wstrząsów jest silnie zależna od cech tektonicznych rejonu, położenia ogniska wstrząsu względem frontu ścianowego i istniejących w danym rejonie zaszczości eksploatacyjnych.

W oparciu o wyniki przedmiotowych badań autorka zaproponowała ogólny podział wstrząsów górniczych na trzy grupy. Charakterystykę wstrząsów oraz przyczyny ich występowania w każdej z grup zostały opisane w kilkunastu publikacjach (Dubieński i inni 1994, 1996, 1999; Dubieński i Stec 1995, 1999, 2000, 2001; Mutke i Stec 1997; Stec 2005, 2007, 2009, 2010, 2011; Stec i Błaszczak 2008; Stec i Drzewiecki 2000, 2012; Stec i Rożkiewicz 2008; Stec i Wojtecki 2011)⁶.

Pierwszą grupę stanowią wstrząsy o poślizgowym i ścinającym mechanizmie ognisk, powstającym w wyniku działania podwójnej pary sił. Wstrząsy tego typu nazwane „stropowymi” powstają w czasie postępującej eksploatacji na wskutek pęknięcia występujących w stropie pokładu grubych i zwięzłych kompleksów skalnych, o dużej sztywności i wytrzymałości. W większości przypadków azymuty ich płaszczyzn rozrywu oraz ich upady korelują się z rozciągłością frontu eksploatacyjnego lub krawędzi wybranych wcześniej pokładów.

Drugą grupę tworzą wstrząsy „pokładowe”, charakteryzują się nieścinającym typem mechanizmu ognisk. Ten typ wstrząsów odpowiada procesom objętościowego niszczenia struktury ośrodka skalnego. Wstrząsy o tym typie ognisk są głównie zlokalizowane bezpośrednio w pokładzie węgla i w sąsiedztwie czynnych frontów eksploatacyjnych. Mechanizm ich ognisk odzwierciedla procesy związane z destrukcją struktury pokładu węgla lub jego bezpośredniego otoczenia. W szczególności sytuacja taka dotyczy wstrząsów prowokowanych strzelaniami wstrząsowymi, mającymi miejsce w pokładzie węgla lub strzelaniami torpedującymi zlokalizowanymi w stropie bezpośrednim lub spągu pokładu, jakie są prowadzone w ramach profilaktyki tąpaniowej. Wstrząsy tego typu mogą także powstawać w wyniku narastającego nacisku nadległych warstw skalnych na pokład węglowy.

Trzecią grupę wyróżnionych wstrząsów stanowią wstrząsy tzw. „regionalne”, charakteryzujące się najwyższymi energiami, występujące zazwyczaj w strefach tektonicznych, często daleko od czynnych wyrobisk górniczych. Mechanizmem ich ognisk jest to mechanizm poślizgowy, normalny lub rewersyjny, często z zaznaczającym się poziomym przesunięciem w ognisku wstrząsu. Dla tej grupy zjawisk, azymuty płaszczyzn rozrywu i ich upady dość dobrze korelują się z rozciągłością i upadem uskoku, w pobliżu których zlokalizowane były ogniska wstrząsów. Najczęściej przyczyną powstawania tych zjawisk jest współdziałanie tektonicznych naprężeń rezydualnych istniejących w analizowanym obszarze z naprężeniami wywołanymi pracami górniczymi.

Ze zbioru wyszczególnionych publikacji składających się na przedmiotowe rozwiązanie geoinżynierskie wybrano cztery, które najpełniej przedstawiają wyjaśnienie zjawiska modalności sejsmiczności górniczej na podstawie badań mechanizmu ognisk wstrząsów. Numeracja wybranych prac odpowiada numeracji podanej w punkcie 4.2 – Zestawienie jednotematycznych publikacji stanowiących podstawę pracy habilitacyjnej (autor/autorzy, tytuł, rok wydania, nazwa wydawnictwa).

⁶ Wykaz wymienionych publikacji znajduje się w załączniku nr 7 do Wniosku

Publikacja 4. Stec K., 2007: *Characteristics of Seismic Activity of the Upper Silesian Coal Basin in Poland*. Geophysical Journal International, Blackwell Publishing Ltd, V.168, pp. 757-768. (IF=2,583).

W pracy tej przedstawiono historyczny rys rozwoju Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej, działającej bez przerwy od 1974 roku i pełniącej rolę nadrzędną w stosunku do sieci kopalnianych wraz z ogólną charakterystykę aktywności sejsmicznej rejestrowanej w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym w latach 1950-2005. Charakterystykę tę odniesiono do budowy tektonicznej GZW, głównie w aspekcie występowania kompaktacji tektonicznej oraz rezydualnych naprężeń tektonicznych. Wyniki badań mechanizmu ognisk wstrząsów występujących w strefie tektonicznej (uskok kłodnicki) oraz wstrząsów występujących w rejonie niezaburzonym tektonicznie wykazały dwa różniące się rodzaje sejsmiczności, a mianowicie tzw. górnico-tektonicznej i górnicej. Cechy sejsmiczności występującej w strefach tektonicznych określono na podstawie wyników badań wstrząsów górnicyznych z kopalń Śląsk i Halemba.

Kopalnia Śląsk – obliczenia wykonano dla zbioru 60 wstrząsów o energii sejsmicznej $E \geq 10^5$ J, w tym 11 zjawisk wysokoenergetycznych ($E > 10^6$ J) i kilkudziesięciu zjawisk o niższych energiach. Wystąpiły one w czasie eksploatacji dwóch równoległych ścian 1 i 2 w pokładzie 502 w okresie styczeń – wrzesień 1998 r. Charakterystyczną cechą grupy zjawisk o energii sejsmicznej $E > 10^6$ J, była wyraźnie odmienna głębokość ich hipocentrow, określana wstępnie od 100 do 150 m poniżej poziomu eksploatacji. Takie występowanie zjawisk sejsmicznych jest rzadkim przypadkiem w warunkach górnicej sejsmiczności indukowanej. Dla uzyskania potwierdzenia prawidłowości wyznaczenia głębokości ognisk, podjęto próbę jej oceny na podstawie błędów wyznaczenia tensora momentu sejsmicznego (TMS). Oparto ją na analizie współczynników jakości rozwiązań składowych TMS. Dla analizowanych zjawisk sejsmicznych przeprowadzono obliczenia TMS w przedziale głębokości ognisk od - 600 do - 900 m npm. Najlepsze rozwiązanie, czyli najmniejszy błąd wyznaczenia TMS oraz najwyższy współczynnik jakości rozwiązania, uzyskano dla przedziału głębokości - 800 do - 850 m npm. Fakt ten potwierdził tezę o głębszym w stosunku do poziomu eksploatacji (poziom eksploatacji wynosił - 700 m npm.) położeniu ognisk wstrząsów. W większości analizowanych ognisk dominowały procesy ścinania zachodzące na uskoku normalnym. Jako płaszczyznę prawdopodobnego pęknięcia w ognisku przyjęto płaszczyznę zorientowaną zgodnie z rozciągłością i upadem uskoku kłodnickiego, to jest kierunek E-W. Mechanizm ognisk wstrząsów w przypadku rozwiązania pełnego tensora zawierał około 10 % implozji, około 10 % składowej jednoosiowego ściskania oraz około 80 % składowej ścinającej. Pozostałe rozwiązania (tensor dewiatoryczny i para sił) wskazywały na czysty proces ścinania na uskoku normalnym, gdyż składowa jednoosiowego ściskania wynosiła maksymalnie 10 %. Ze względu na głębokość ognisk analizowanych zjawisk oraz charakter przesunięć odpowiadających mechanizmowi uskoku normalnego założono, że w ogniskach wstrząsów miały miejsce procesy związane z naruszeniem dotychczasowej równowagi, zachodzące w obszarze strefy tektonicznej uskoku kłodnickiego. Przeprowadzone w tym rejonie rozpoznanie geologiczne potwierdziło możliwość występowania ognisk poniżej poziomu eksploatacji, co zostało potwierdzone dodatkowymi badaniami sejsmologicznymi. W tym celu została zainstalowana poniżej pokładu 502 sonda geofonowa, która pozwoliła na udokładnienie lokalizacji pionowej składowej ognisk wstrząsów w tym rejonie (Mutke, 1999)⁷.

⁷ Mutke, G., Stacha, G., Bubala, Cz., 1999: „O głębokości ognisk wstrząsów zaistniałych podczas eksploatacji ściany 1 i 2 w pokładzie 502/K w KWK Śląsk”, [w:] Materiały VI konferencji Naukowo-Technicznej z cyklu Tapania'99, Wyd. GIG, Katowice, s. 113-122.

Drugi rejon badań położony był w kopalni Halemba. Analizą objęto kilkadziesiąt wstrząsów o energii sejsmicznej $E \geq 10^5$ J, które wystąpiły w latach 1999-2000 w rejonie uskoku kłodnickiego i uskoków towarzyszących (uskoki II, III, IV i V). Wyniki obliczeń mechanizmu ognisk przedmiotowych wstrząsów jednoznacznie wskazały na dominację procesów ścinania jakie zachodziły na uskokach normalnych, a kierunek azymutu płaszczyzn pęknięcia w ogniskach potwierdzał ich związek z kierunkiem struktur uskokowych, w pobliżu których zlokalizowane były ogniska wstrząsów.

Przywołana publikacja przedstawia również badania mechanizmu ognisk wstrząsów występujących w rejonie niezaburzonym tektonicznie. Były to wstrząsy z kopalni Bielszowice, indukowane przez eksploatację ściany N-303, położonej w pokładzie 507, zalegającym na głębokości - 650 m npm. W tym rejonie, w odległości 60 – 70 m nad pokładem 507, występował 50 metrowy kompleks piaskowców. Badanie mechanizmu ognisk wykonano dla 158 najsilniejszych wstrząsów i wydzielono trzy typy ognisk o zbliżonych parametrach uzyskanych z rozwiązań ich mechanizmu. W oparciu o przeprowadzaną analizę danych dotyczących budowy górotworu, rodzaju skał i struktury ich naruszenia oraz wynikowe rozwiązania mechanizmu ognisk wysunięto następujące wnioski:

- przeprowadzone analizy geomechaniczne dotyczące zasięgów stref rozwarstwiania górotworu, spowodowane prowadzoną i dokonaną eksploatacją w rejonie ściany N- 303 wskazywały, że na jej wybiegu istniał obszar o znacznej powierzchni, w którym występowała dynamiczna propagacja już istniejących nieciągłości równoległych do uwarstwienia połączona z odspojeniem i przemieszczeniem warstw piaskowcowych na południe w kierunku zrobów ściany,
- geomechaniczny model destrukcji górotworu w obszarze występujących nad pokładem 507 warstw piaskowcowych potwierdził mechanizm ognisk wysokoenergetycznych wstrząsów,
- występowały dwie grupy ognisk związane z dwoma horyzontami głębokościowymi: jedna występująca na głębokości około - 550 m npm. i druga lokalizowana bliżej pokładu 507 (głębokość od - 600 do - 650 m npm.),
- wstrząsy z grupy pierwszej charakteryzowały się mechanizmem poślizgowym normalnym (I typ ognisk), gdzie jako płaszczyznę prawdopodobnego pęknięcia w ognisku przyjęto płaszczyznę o azymucie około $120^\circ (\pm 10^\circ)$ i upadzie około $60^\circ (\pm 10^\circ)$. Wstrząsy te mogły powstać w wyniku uginania się, a następnie pęknięcia warstw piaskowca wzdłuż linii przebiegającej pod kątem około 45° w stosunku do naroża filara. Następnie mógł występować proces zsuwania się w kierunku południowym popękanych fragmentów, wzdłuż horyzontów rozsłojenia, do wytworzonej w trakcie eksploatacji pustki zawałowej,
- druga grupa wstrząsów występowała na głębokości od - 600 do - 650m i związana była z niszczeniem pokładu lub jego bezpośredniego otoczenia. W tym zbiorze zjawisk rozróżniono kolejne dwa typy mechanizmu ognisk. Typ II stanowiły ogniska o mechanizmie poślizgowym normalnym z płaszczyzną pęknięcia przebiegającą równoległe do azymutu frontu ściany, odzwierciedlające pęknięcie warstw stropu bezpośredniego. Typ III były to wstrząsy o dużym udziale składowej nieścinającej, eksplozywnej związane z procesami destrukcyjnymi zachodzącymi w samym pokładzie 507. Rozwiązanie pełnego tensora zawierało od 20 % do 45 % eksplozji, od 20 % do 45 % składowej jednoosiowego ściskania oraz bardzo mały udział składowej ścinającej

(około 10 %). Wyszczególnione typy wstrząsów skorelowano z wynikami analizy geomechanicznej.

Kolejny rejon badawczy, opisany w przedmiotowej publikacji, położony był w kopalni Wujek i był związany z eksploatacją prowadzoną w pokładzie 510 ścianą 15a. W polu ściany przebiegała diagonalnie dyslokacja o lokalnym zasięgu i niewielkim zrzucie około 1,5 m. Poziom sejsmiczności w tej ścianie był wysoki i w okresie od stycznia do sierpnia 2000 roku zarejestrowano 420 wstrząsów o energii sejsmicznej powyżej 10^3 J, w tym 22 zjawiska silniejsze o energii $E \geq 10^5$ J. Największa aktywność sejsmiczna występowała w okresie zbliżania się i przechodzenia ściany 15a pod resztką pozostawioną w pokładzie 504, leżącym około 50 m powyżej pokładu 510.

Wyniki badań mechanizmu ognisk wstrząsów z tego rejonu wskazały na występowanie następujących prawidłowości:

- dla zjawisk niskoenergetycznych (energia sejsmiczna $10^3 - 10^4$ J) głębokość ognisk odpowiadała głębokości eksploatowanego pokładu 510 i mechanizm ognisk zawierał średnio 25 % eksplozji, 25 % składowej jednoosiowego ściskania oraz 50% składowej ścinającej,
- dla wstrząsów o wyższych energiach sejsmicznych (energia ponad 10^5 J) głębokość ognisk wskazywała na ich stropowe pochodzenie, szczególnie w strefie oddziaływania resztki pokładu 504 i związek tych zjawisk z procesem niszczenia tej resztki w wyniku jej podbierania przez ścianę 15a. Mechanizm ognisk zawierał 45 – 50% eksplozji i tyle samo składowej jednoosiowego ściskania (składowa ścinająca była tutaj bardzo mała – poniżej 10 %).

Reasumując, wyniki udokumentowanych w tej pracy badań mechanizmu ognisk wstrząsów z różnych rejonów GZW jednoznacznie wskazały, że wstrząsy górnicze charakteryzują się różnymi typami ognisk, co stanowi cenną informację o procesach destrukcji górotworu naruszonego prowadzoną eksploatacją górniczą.

Publikacja 5. Stec K., Błaszczuk E., 2008: *Charakterystyka procesów zachodzących w ogniskach wysokoenergetycznych wstrząsów występujących w czasie eksploatacji ściany 17 w pokładzie 361 w KWK „Knurów”*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 24, Zeszyt 2/3 Wyd. SIGMiE PAN, Kraków, str. 226-244, (IF=0,262) [udział własny 90 %].

Mój udział w publikacji wynosił 90 % i polegał na opracowaniu metodyki badań, wykonaniu obliczeń parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów i korelacji wyników z warunkami geologiczno-górnictwymi w rejonie badań. Współautorka opracowała charakterystykę budowy geologicznej rejonu badań.

W czwartym kwartale 2007 roku w KWK Knurów po wschodniej stronie ściany 17 eksploatowanej w pokładzie 361 wystąpiły cztery wysokoenergetyczne wstrząsy (energia tych zjawisk wynosiła od $6 \cdot 10^6$ do $5 \cdot 10^8$ J), dla których obliczono parametry mechanizmu ogniska metodą inwersji TMS oraz parametry źródła. Wstrząsy te charakteryzowały się mechanizmem ognisk poślizgowym odwróconym. Udział składowej ścinającej wynosił od 71 do 89 % a azymuty płaszczyzn nodalnych były równoległe do rozciągłości strefy uskokowej, która ograniczała od wschodu i południa rejon ściany 17. Wyjątkowo duży udział składowej ścinającej świadczył, że w tym rejonie było bardzo duże oddziaływanie naprężeń pochodzących od struktur uskokowych. Typ mechanizmu ogniska poślizgowy-odwrócony

może wskazywać, że mogło dojść do wyrównania naprężeń w tym rejonie na skutek „odciążenia” górotworu, ze względu na to, że w rejonie eksploatowanej ściany 17, zarówno w północno-zachodniej części KWK Knurów, jak i po stronie wschodniej w KWK Budryk zostało wybranych kilka pokładów. Otrzymane wartości parametrów źródła takie jak niska częstotliwość narożna (średnio 6 Hz) oraz bardzo wysoki spadek naprężeń (od $8,06 \cdot 10^5$ do $1,74 \cdot 10^7$ Pa) i bardzo duże przemieszczenie w ognisku (od $1,38 \cdot 10^{-3}$ do $4,24 \cdot 10^{-2}$ m) wskazywały również na udział czynnika tektonicznego w genezie tych zjawisk.

Przeprowadzone badania wykazały, że przyczyną zaistniałych wysokoenergetycznych wstrząsów mogło być nałożenie się naprężeń eksploatacyjnych wywołanych prowadzoną eksploatacją oraz naprężeń rezidualnych występujących w strefie uskokowej położonej na wschód i południe od eksploatowanej ściany 17.

Publikacja 6. Stec K., 2009: *Metody wyznaczania mechanizmu ognisk wstrząsów*. Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko Nr 4/1, Katowice, str. 223-236.

W artykule przedstawiono rozwój metod wyznaczania mechanizmu ognisk wstrząsów oraz przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń TMS dla wstrząsów z kopalni Mysłowice-Wesoła. Obliczenia mechanizmu ognisk wstrząsów wykonano dla 66 wstrząsów z rejonu filara granicznego pomiędzy partią D ruchu Wesoła a partią wschodnią ruchu Mysłowice. Analizowane wstrząsy, które występowały od 1999 r. do połowy grudnia 2005 r. dla pełnego rozwiązania tensora momentu sejsmicznego charakteryzowały się mechanizmem poślizgowym normalnym z około 60 % udziałem składowej ścinającej. Ogniska tych wstrząsów zawierały średnio około 20 % składowej eksplozyjnej, 20 % składowej jednoosiowego rozciągania i 60 % składowej ścinającej. Kierunek azymutu płaszczyzn nodalnych można było korelować z kierunkiem krawędzi znajdujących się w nadległych pokładach lub kierunkiem struktur tektonicznych w tym rejonie. Mechanizm tych wstrząsów był typowy dla wstrząsów, które powstają w wyniku destrukcji utworów piaskowcowych znajdujących się nad eksploatowanymi pokładami węgla. Pozostałe analizowane wstrząsy występujące od drugiej połowy grudnia 2005 r. charakteryzowały się zupełnie innym mechanizmem. W ogniskach tych wstrząsów występowały zupełnie inne procesy. Charakteryzowały się one bardzo dużym udziałem składowej eksplozyjnej i jednoosiowego ściskania. Wyjątkowo duży udział tych składowych świadczył o dużym nacisku warstw stropowych. Prawdopodobnie wynikało to z układu wyeksploatowanej części złoża do pozostawionej części nienaruszonego górotworu. Zmiana mechanizmu wstrząsów związana była z zatrzymaniem ścian 401 G i 402 G i ponownym uruchomieniu ściany 402 G.

Wykazanie różnych procesów pękania w źródle jest bowiem niezbędne do opracowywania technik prognozowania, zwalczania i przeciwdziałania zjawiskom dynamicznym. Problematyka ta jest szczególnie ważna dla kopalń, ponieważ wstrząsy pokładowe o mechanizmie eksplozyjnym wymagają innej profilaktyki niż wstrząsy, w których dominują siły ścinania a ogniska lokalizują się poza pokładem.

Publikacja 7. Stec K., 2009: *Characteristics of the processes taking place at the sources of high energy tremors occurring in the Upper Silesian Coal Basin in Poland – regional character*. [w]: “Controlling Seismic Hazard”, Proc. 7th Int. Symp. on Rockbursts and Seismicity in Mines, (Ed. C. Tang), Dalian, China, Renton Press, New York/New Jersey, pp. 415-426.

W 2007 i 2008 roku pod miastem Bytom wystąpiły dwa wysokoenergetyczne wstrząsy: pierwszy w dniu 09.02.2007 r. o energii $E = 1 \cdot 10^9$ J a drugi w dniu 19.12.2008 r. o energii $E = 7 \cdot 10^8$ J. Wstrząsy te nie spowodowały skutków w wyrobiskach eksploatowanej ściany 1 w pokładzie 503, ale w wyniku ich oddziaływania na powierzchnię wystąpiły uszkodzenia w kilkudziesięciu budynkach w Bytomiu (spękania i rysy na ścianach i sufitach, spadanie pojedynczych dachówek i uszkodzenia kominów) oraz były one silnie odczute na dużym obszarze w promieniu do 12 – 15 km. W celu zbadania charakteru i genezy tych zjawisk wykonano szereg analiz geofizycznych. Do tego celu wykorzystano sejsmogramy wstrząsów uzyskane na podstawie rejestracji kopalnianej sieci sejsmologicznej KWK Bobrek i Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej GIG oraz wyniki przeprowadzonej ankietyzacji o makroskopowych odczuciach wstrząsów w obszarze Górnego Śląska. Mechanizm ognisk ww. wstrząsów wykazał dominację składowej ścinania (odpowiednio 91 % i 87 %), nad eksplozją – tylko (3,0 % i 10 %) i jednoosiowym ściskaniem (6 % i 3 %) i dla obu wstrząsów był to mechanizm typu uskoku odwróconego – „revers”. Płaszczyzny nodalne miały azymut NW – SE. Naprężenia główne ściskające P były prawie poziome i miały azymut zbliżony do kierunku NE – NW a naprężenia rozciągające T były zbliżone do pionowych i miały azymut odpowiadający kierunkowi NW – SE. Po przeanalizowaniu mechanizmu ognisk tych wstrząsów w odniesieniu do badań prowadzonych przez Tepera (1998)⁸ dotyczących modelu sejsmotektonicznego północnej części GZW stwierdzono, że układ naprężeń działających w ognisku wstrząsu i naprężeń determinujących stan odkształceń górotworu uformowany podczas najmłodszej orogenezy, wynikający z analizy strukturalnej, cechują się wzajemnym podobieństwem. Z porównania z opisanym modelem naprężeniowym GZW wynikało, że kierunek naprężeń ściskających P w ognisku odpowiadał kierunkowi kompresji K wyznaczonej tektonofizycznie, a kierunek naprężeń rozciągających T w ognisku kierunkowi tensji T wyznaczonej tektonofizycznie. Ponadto kierunek uskoków rewersyjnych w tym rejonie był zbliżony do azymutów płaszczyzn nodalnych określonych w rozwiązaniu mechanizmu ogniska. Dane te pozwoliły na hipotetycznie wnioskowanie, że rozwiązanie mechanizmu ognisk odzwierciedla układ naprężeń rezidualnych bądź neotektonicznych występujący w głębokich strukturach GZW. Potwierdzenie zależności występowania silnych zjawisk sejsmicznych od czynnika tektonicznego przedstawia również publikacja oparta na badaniach obejmujących aktywność sejsmiczną, tektonikę i geodynamikę obszaru GZW oraz parametry eksploatacji górniczej (Zuberek i inni 1996)⁹. Za główne współczesne struktury sejsmogeniczne autorzy uznali nieciągłości cokołu krystalicznego przebiegających subrównoleżnikowo stref granicznych drugiego rzędu między segmentami masywu górnośląskiego zwanymi blokami: Tarnowskich Gór, Bytomia i centralnym. Na północy jest to nieciągłość pod osią synkliny Bytomia a na południu nieciągłość w rejonie uskoku kłodnickiego.

Regionalny charakter analizowanych zjawisk potwierdziły również wyniki analizy parametrów źródła sejsmicznego. Częstotliwość narożna była niska i wynosiła 3.6 Hz dla wstrząsu z dnia 09.02.2007 r. o energii $E = 1 \cdot 10^9$ J i 4,5 Hz dla drugiego wstrząsu z dnia 19.12.2008 r. o energii $E = 7 \cdot 10^8$ J. Z reguły dla wstrząsów typowo eksploatacyjnych częstotliwość narożna jest zdecydowanie wyższa. Moment sejsmiczny wynosił odpowiednio $4,7 \cdot 10^{14}$ Nm i $8,5 \cdot 10^{14}$ Nm. Jest to moment bardzo wysoki jak dla wstrząsów z obszaru

⁸ Teper L. 1998: „Wpływ nieciągłości podłoża karbonu na sejsmotektonikę północnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego”. Wyd. Uniw. Śląski, Katowice.

⁹ Zuberek W.M., Teper L., Idziak A.F., Sagan G. 1996: “Tectonophysical approach to the description of mining induced seismicity in the Upper Silesia”. [w:] Tectonophysics in Mining Areas. (Ed A. Idziak), Wyd. Uniw. Śl., Katowice, s. 79-98.

GZW. Promień ogniska, wyniósł 185 m i 228 m. Przesunięcie w ognisku było wyjątkowo duże i wynosiło 0,12 m i 0,99 m. Wysoki spadek naprężeń w ognisku wstrząsu, który wynosił $2,4 \cdot 10^7$ Pa i $3,1 \cdot 10^7$ Pa, świadczył o dużej koncentracji naprężeń początkowych w obszarze ogniskowym. Duże przesunięcie w ognisku oraz wysoki moment sejsmiczny jest charakterystyczny dla wstrząsów tektonicznych o charakterze regionalnym.

Reasumując, duży rozmiar ognisk wstrząsów, duży spadek naprężeń w ogniskach oraz bardzo duża energia sejsmiczna wskazują, że wstrząsy te nie mogły wystąpić w odległości mniejszej niż 500-1000 m od wyrobisk podziemnych ściany 1 położonej w pokładzie 503, ponieważ spowodowałyby zniszczenie tych wyrobisk.

Dla ustalenia genezy wstrząsów bardzo istotne jest określenie głębokości ich ognisk. Obliczenia mechanizmu ognisk badanych wstrząsów przeprowadzono dla przedziału głębokości od -200 do -1200 m npm (od -480 m do -1480 m licząc od powierzchni terenu). Najlepsze rozwiązanie TMS określone na podstawie analizy współczynnika jakości rozwiązania Q oraz najmniejszego błędu ERR uzyskano dla głębokości około -1280 m licząc od poziomu powierzchni, czyli ponad 500 m pod poziomem zalegania pokładu 503 w rejonie ściany 1. Głębokie ogniska analizowanych wstrząsów tłumaczą również ich silne odczucia na dużym obszarze (odczuty w promieniu 12 – 15 km od epicentrum), oraz stosunkowo niskie amplitudy przyspieszenia drgań powierzchni w epicentrach, jak na tak wysoką energię sejsmiczną (około 600 mm/s^2). Przy słabszych i płytszych wstrząsach eksploatacyjnych, niejednokrotnie rejestrowano w obszarze epicentralnym impuls przyspieszeniowy o wyższej amplitudzie (nawet do 1500 mm/s^2). Impuls taki rejestruje się przy płytkich wstrząsach, na niedużym obszarze wokół epicentrum, po czym ulega on silnemu tłumieniu i w odległości kilku km jest już w ogóle nie odczuwalny. Dużą głębokość ognisk tych wstrząsów potwierdziły obliczenia zależności intensywności drgań, I_0 , od odległości i głębokości. Przy przyjęciu makroskopowych danych po wstrząsie z dnia 09.02.2007 r. uzyskano dla głębokości 1250 m od powierzchni ziemi 4 stopień intensywności, I_0 , w odległości 2,5 km od epicentrum. Jest to wynik zgodny z obserwacjami makrosejsmicznymi. Natomiast przy przyjęciu hipotetycznej głębokości ogniska na poziomie eksploatowanego pokładu 503 tj. -750 m od powierzchni ziemi, intensywność I_0 w odległości 2,5 km od epicentrum można określić na granicy 2 i 3 stopnia intensywności. Wynik ten nie pokrywa się absolutnie z obserwacjami makrosejsmicznymi, co stanowi kolejny dowód potwierdzający głębokość ogniska wstrząsu, znacznie większą niż poziom eksploatowanego pokładu 503, a zarazem jego regionalny charakter.

Badania te wykazały, że parametry mechanizmu ognisk (rozciągłość płaszczyzn nodalnych i przebieg osi naprężeń głównych) odzwierciedlają występujący w głębokich strukturach GZW układ naprężeń rezidualnych bądź neotektonicznych odtworzony na podstawie badań tektonofizycznych GZW. Duża głębokość ognisk wstrząsów ponad 500 m poniżej poziomu eksploatacji, brak jego skutków w rejonie prowadzonych robót górniczych oraz duży zasięg odczuć na powierzchni, świadczył o regionalnym charakterze tych zjawiska. Podobne wstrząsy występowały w rejonie dna niecki bytomskiej w poprzednich dziesięcioleciach, a nawet w poprzednich wiekach. Może to świadczyć o występowaniu w tym obszarze niezrelaksowanych do końca naturalnych naprężeń związanych z budową głębszych struktur podłoża karbońskiego uaktywnionych prowadzoną wielopokładową eksploatacją na dużym obszarze.

W publikacji tej przedstawiono również wyniki analizy mechanizmu ognisk z kopalni Staszic. W dniu 23.02.2008 r. o godzinie 19:30 i 19:32 wystąpiły dwa wysokoenergetyczne wstrząsy, pierwszy o energii $8 \cdot 10^6$ J i drugi o energii $2 \cdot 10^7$ J, które doprowadziły do utraty funkcjonalności wyrobisk w rejonie ściany I (przekop Asea, pochylnia odstawcza). Dla

tych dwóch wstrząsów oraz pozostałych wstrząsów o energii $E \geq 5 \cdot 10^3$ J z okresu 08.12.2007 – 29.03.2008 r. wykonano obliczenia mechanizmu ognisk metodą inwersji TMS. Z analizowanej grupy, 23 wstrząsy charakteryzowały się ścinającym typem mechanizmu ogniska. Proces pęknięcia w przypadku tych wstrząsów zachodził na uskoku normalnym a w ich mechanizmie dominowała wyraźnie składowa ścinająca (od 60 do 75%). Kierunek płaszczyzn nodalnych i odpowiadający mu kierunek pęknięcia w ognisku dla wstrząsów powodujących tąpnięcie z 23.02.08 r. oraz dwóch z 25.02.08 r. i 29.03.08 r. miał przebieg NE–SW lub N–S. Kierunek ten, w granicach błędów obliczeń $\pm 20^\circ$ był równoległy do przebiegu przekopu Asea i pochylni odstawczej oraz linii frontu eksploatowanej ściany.

Dla 12 zjawisk niskoenergetycznych (energia poniżej 10^4 J) uzyskano typ ognisk o charakterze eksplozyjnym. Pełny tensor zawierał od 44 do 55% eksplozji, od 43 do 50% składowej jednoosiowego rozciągania oraz od 0,5 do 17% składowej ścinającej. Duży udział składowych eksplozyjnej i jednoosiowego rozciągania w mechanizmie tego typu ognisk wskazuje na dominację procesów eksplozyjnych w pokładzie na skutek nacisku warstw nadkładu wyżej położonych.

W świetle przeprowadzonej analizy stwierdzono, że przyczyną wstrząsów powodujących tąpnięcie w polu wschodnim mogło być przekroczenie naprężeń w warstwach piaskowcowych występujących nad pokładem 501, w pozostawionym pasie niewybranego górotworu między krawędziami w pokładzie 510, które były równoległe do wyrobisk prowadzonych w pokładzie 501.

II. Określenie przyczyn i genezy zaistniałych tąpnięć

Tąpnięcia należą do najbardziej niebezpiecznych zjawisk jakie mają miejsce w podziemnych kopalniach różnych surowców mineralnych. W polskim górnictwie towarzyszą eksploatacji pokładów węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym oraz eksploatacji złoża rud miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Przemysłowym. Wraz ze wzrostem głębokości eksploatacji zwiększa się potencjalne zagrożenie tapaniami oraz ryzyko ich wystąpienia. Zjawisko tąpnięcia z uwagi na swój dynamiczny charakter powoduje zazwyczaj określone skutki w wyrobiskach objętych jego zasięgiem. Dotyczą one zarówno zaistnienia zdarzeń wypadkowych wśród pracujących górników jak i szkód materialnych w postaci zniszczonych lub uszkodzonych maszyn i urządzeń górniczych oraz samych wyrobisk górniczych, które tracą swoją funkcjonalność. Niestety często są to zdarzenia mające znamiona katastrofy górniczej, a więc ma miejsce wypadek zbiorowy, w którym są ofiary śmiertelne i ciężkie. Z tego względu prowadzone są w wielu ośrodkach naukowo-badawczych w Polsce i na świecie prace badawcze nad rozwojem bardziej skutecznych metod profilaktycznych, które pozwoliłyby na ograniczenie tego zagrożenia.

Jak wiadomo, zjawisko tąpnięcia jest wywoływane przez wstrząs sejsmiczny, który poprzez propagację fali sejsmicznej w sposób dynamiczny oddziałuje na górotwór, w tym także na wyrobiska górnicze. Impuls dynamiczny powoduje, że w sposób gwałtowny następuje przekroczenie wytrzymałości struktury ośrodka skalnego, np. pokładu węgla, któremu towarzyszy wyrzucenie mas skalnych do przestrzeni roboczej.

Kluczowym problemem przed którym stoi od lat nauka i praktyka górnicza jest postęp w identyfikowaniu bezpośrednich przyczyn zaistnienia tąpnięcia, szczególnie w fazie dotyczącej powstania wspomnianego impulsu dynamicznego związanego z wstrząsem sejsmicznym. Wówczas można prowadzić bardziej skuteczne działania profilaktyczne

przeciwdziałające tąpniom. Zjawiska sejsmiczne i związane z nimi zagrożenie tąpnięciami w danym polu eksploatacyjnym jest bowiem determinowane szeregiem czynników naturalnych i technicznych, z których dominujące to parametry wytrzymałościowe węgla i skał otaczających oraz wielkości naprężeń w otoczeniu prowadzonych robót górniczych i wyrobisk. Stan naprężeń jest zazwyczaj kształtowany przez dokonaną i prowadzoną eksploatacją w danym pokładzie oraz w pokładach sąsiednich.

Przeprowadzone badania wskazują, że analiza budowy górotworu, jego tąpliwości, rozwoju i przemieszczeń obszarów wysokich naprężeń oraz obszarów krytycznych deformacji warstw sprężystych wsparta wynikami badań mechanizmów ognisk wstrząsów sejsmicznych umożliwia zarówno zdefiniowanie czynników górniczych i geologicznych decydujących o lokalizacji i energii wstrząsów jak i daje informacje o przyczynach oraz genezie tąpnięcia. Okazuje się, że wstrząsy o różnych mechanizmach ogniska, a więc różniące się przestrzennym oddziaływaniem sejsmicznym mogą mieć odmienny wpływ na proces niszczenia struktury górotworu i utratę jego stabilności na istniejących lub tworzących się płaszczyznach jego osłabienia. Stąd analiza mechanizmu ognisk wstrząsów, szczególnie wysokoenergetycznych zjawisk sejsmicznych zaczęła odgrywać w ostatnich latach istotne znaczenia w określeniu przyczyn i genezy powstawania wstrząsów, a w odniesieniu do zaistniałych tąpnięć stała się standardową procedurą.

Reasumując, naukowa wartość przedmiotowego rozwiązania geoinżynierskiego polega na wykorzystaniu metodyki określania mechanizmu ognisk wstrząsów do specjalistycznej analizy sejsmologiczno-geomechanicznej, która wyjaśnia, często bardzo złożony, przebieg procesu zaistnienia tąpnięcia. Rozpoczyna się on bowiem w strefie przyszłego ogniska wstrząsu, który spowodował tąpnięcie i jest kontynuowany poprzez kierunkową propagację fali sejsmicznej, determinowaną typem mechanizmu ogniska, do miejsca gdzie zaistniały skutki tąpnięcia.

Przedmiotowe rozwiązanie geoinżynierskie zostało przedstawione na przykładzie dwóch publikacji, które są scharakteryzowane poniżej.

Publikacja 12. **Stec K.,** Drzewiecki J., 2012: *Mine Tremor Focal Mechanism: An Essential Element for Recognizing the Process of Mine Working Destruction*. Acta Geophysica, Vol. 60, No. 2, DOI: 10.2478/s11600-011-0036-y, pp. 449-471, (IF=0,667).

Mój współudział w publikacji będącej podsumowaniem badań dotyczących określenia przyczyn i genezy tąpnięcia w kopalni Rydułtowy-Anna wynosił 60 % i polegał na wykonaniu analizy warunków geologiczno-górniczych w rejonie badań, obliczeń oraz analiz sejsmologicznych a udział współautora polegał na wykonaniu analiz geomechanicznych.

W artykule, na wybranym przykładzie wstrząsu, który spowodował tąpnięcie w kopalni Rydułtowy-Anna, w dniu 24.03.2010 r. w pochylni II przedstawiono wykorzystanie mechanizmu ognisk wstrząsów dla zbudowanego modelu fizycznego ośrodka i wyjaśniono jak mogło dojść do zniszczenia wyrobiska w znacznej odległości od ogniska wstrząsu. Zostało przeprowadzonych szereg analiz odnoszących się do szeroko pojętego środowiska ściany A, tj. warunków geologiczno-górniczych rejonu ściany, sejsmiczności, ciśnień i deformacji warstw nadległych oraz obliczono mechanizm ognisk dla 5 wstrząsów o energii sejsmicznej $E \geq 1 \cdot 10^4$ J z rejonu tąpnięcia.

Dwa analizowane wstrząsy charakteryzowały się mechanizmem ścinającym a trzy eksplozywnym. Głębokość ognisk analizowanych wstrząsów obliczona metodą TMS była

na poziomie eksploatowanego pokładu 713/1-2, co oznacza, że wstrząsy te mogły powstawać w wyniku pęknięcia warstw znajdujących się bezpośrednio otoczeniu pokładu. Wstrząsy o mechanizmie ścinającym zlokalizowane bezpośrednio w obszarze strefy uskokowej przyległej do zrobów ściany A, mogły wystąpić w wyniku pęknięcia uginanych warstw sprężystych nad obszarami wytworzonych zrobów ścian B oraz A. Strefy granicznych krzywizn mogły być wytworzone zarówno w obszarach stropu jak i spągu takich warstw. Pozostałe wstrząsy, między innymi wstrząs, który spowodował tąpnięcie, charakteryzowały się mechanizmem eksplozywnym. Były to zjawiska sprowokowane rozpadem węgla po strzelaniach MW oraz o ogniskach tożsamyh ze strefą eksplozywnego rozpadu pokładu. Mechanizm eksplozywny rozpadu fragmentu pokładu może mieć miejsce zarówno w sytuacji narastającego jego dociążenia jak i zaistnienia silnego udaru skał nadległych, czyli dostarczeniu energii udaru powodującej jego lokalny dynamiczny rozpad. Brak wcześniejszych i jednoznacznych wskazań o narastającym stanie wyężenia pokładu wskazywał, że w analizowanym przypadku eksplozywny rozpad pokładu następował w wyniku jego dynamicznego dociążenia przez nacisk skał nadległych.

W oparciu o wykonane analizy i obliczenia można było tutaj postawić tezę, że opracowane mechanizmy ognisk wstrząsów były pomocne dla zdefiniowania najbardziej prawdopodobnych czynników górniczych i geologicznych decydujących o lokalizacji, energii oraz przyczynach tąpnięcia. Analiza geomechaniczna wykazała, że w tym rejonie warstwy nadległe mogły ulegać wielokierunkowemu zginaniu. Mogły one pękać w przypadku, kiedy ich deformacje osiągnęły wartości krytyczne, albo w miarę postępu ściany A coraz intensywniej obciążać caliznę pokładu w strefie uskokowej. Dla skrajnych warunków obciążenia mogło dochodzić do dynamicznego rozpadu fragmentu pokładu w wyniku czego nastąpiła utrata podporności warstw nadległych, w tym piaskowców, połączona z ich dynamicznym przemieszczeniem.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz stwierdzono, że opracowanie mechanizmów ognisk wstrząsów poprzedzających tąpnięcie jak i wstrząsu inicjującego tąpnięcie, było w pełni zasadne i dostarczyło nowych, dodatkowych informacji. Tym samym pozwoliło na ocenę jaki mógł być scenariusz zdarzeń prowadzący do zniszczenia wyrobiska.

Publikacja 13. Stec K., 2012: *Focal Mechanisms of Mine-induced Seismic Events and explanation of Geomechanical Processes in the Area of Longwall 6, Seam 510 in Hard Coal Mine Bobrek-Centrum*. Archives of Mining Science, (IF=0,35) – w druku*

* Informacja Wydawnictwa Archives of Mining Sciences o przyjęciu artykułu do druku jest załączona do kserokopii publikacji znajdującej się w załączniku 4 do Wniosku.

Artykuł przedstawia przykład powiązania wyników obliczania parametrów charakteryzujących mechanizm ognisk wstrząsów z geomechaniczną analizą przyczyn zaistnienia tąpnięcia. Rejonem badawczym była parcela eksploatacji ściany 6, w pokładzie 510, w kopalni Bobrek-Centrum. Eksploatacji tej towarzyszyła bardzo wysoka aktywność sejsmiczna. W okresie styczeń 2011 – czerwiec 2012 r. wystąpiło prawie 3500 wstrząsów o energii sejsmicznej $10^2 \div 10^4$ J oraz 95 wstrząsów o energii sejsmicznej $10^5 \div 10^6$ J. Jeden z tych wstrząsów, w dniu 19.07.2011 r. o energii sejsmicznej $8 \cdot 10^6$ J, spowodował bezpośrednie zagrożenie dla prowadzonej eksploatacji, przejawiające się wystąpieniem tąpnięcia w postaci zniszczeń w ścianie 6 na długości 42 m oraz wypadków zagrażających życiu pracujących górników. Dla poznania przyczyn tego tąpnięcia oraz charakteru

sejsmiczności występującej w tym rejonie przeprowadzono obliczenia parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów, które następnie analizowano pod kątem geomechanicznym.

Jak wiadomo stan naprężeń w danym polu eksploatacyjnym jest wynikiem wzajemnego oddziaływania naprężeń litostatycznych, tektonicznych oraz tzw. „eksploatacyjnych” związanych z prowadzoną eksploatacją. Na podstawie uzyskanego zbioru danych opisujących mechanizm ognisk wstrząsów z badanego rejonu zostało odtworzone lokalne pole naprężeń głównych, które jest determinowane przez wspomniane naprężenia „eksploatacyjne”.

Wyróżniono trzy okresy eksploatacji ściany 6 różniące się typem mechanizmu ognisk wstrząsów. Wstrząsy, które wystąpiły w I i III okresie eksploatacji charakteryzowały się mechanizmem poślizgowym normalnym, przy czym azymut rozciągłości płaszczyzny pęknięcia w I okresie eksploatacji zbliżony był do kierunku N-S, a w III okresie do kierunku W-E. Tak więc wstrząsy o tym typie mechanizmu ognisk występowały w wyniku dominacji pionowych naprężeń głównych σ_1 oraz poziomych naprężeń pośrednich σ_2 i minimalnych σ_3 . W obydwu wyróżnionych okresach naprężenia ścinające działały w kierunku zbliżonym do rozciągłości frontu. Oś ściskania - rozciągania, która jest kierunkiem największego wyężenia w danym rejonie, skierowana była pionowo, a jej azymut można było odnieść do linii frontu ściany. Naprężenie horyzontalne było tutaj naprężeniem rozciągającym o kierunku NNW-SSE. Przeprowadzona geomechaniczna analiza wskazała, że taki układ, charakteryzujący lokalny stan zachowania górotworu, ukształtował się w wyniku pęknięcia i załamywania piaskowcowych warstw wstrząsogennych w stropie, powstających w wyniku przemieszczającego się frontu eksploatacji. Można więc przyjąć hipotezę, że tego typu sejsmiczność pomimo występowania wstrząsów wysokonergetycznych rzędu 10^5 i 10^6 J nie stanowiła bezpośredniego zagrożenia dla robót górniczych prowadzonych w pokładzie 510.

Istotne było pojawienie się w II okresie eksploatacji wstrząsów o odmiennym typie mechanizmu ogniska. Był to okres zmiany kierunku biegu ściany z kierunku NE-SW na kierunek E-W, związany z tzw. „skosowaniem” frontu ścianowego ściany 6. Obliczenia geomechaniczne wykazały, że w rejonie zaistnienia tąpnięcia w dniu 19.07.2011 r. warstwy położone nad i pod pokładem 510 w rejonie przedmiotowej ściany były lokalnie bardzo silnie odkształcone, powodując ściskanie określonych fragmentów górotworu. Analizy mechanizmów wstrząsów z okresu poprzedzającego tąpnięcie jak i w następnym okresie po jego zaistnieniu, wykazały nieścinający lecz eksplozywny typ ognisk. Można przypuszczać, że tego typu mechanizm wstrząsów mógł występować w wyniku nagłego obciążenia pokładu przez nadległe warstwy stropowe, co mogło prowadzić dla skrajnych warunków obciążenia i do dynamicznego rozpadu pewnych fragmentów pokładu.

Przeprowadzona analiza geomechaniczna w odniesieniu do parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów sejsmicznych i wynikającego z nich rozkład lokalnego pola naprężeń, pozwoliła na zdefiniowanie najbardziej prawdopodobnych przyczyn wysokiej aktywności sejsmicznej i zaistniałego tąpnięcia. Innymi słowy, w oparciu o wykonane obliczenia mechanizmu ognisk wstrząsów, można postawić tezę, że ich znajomość jest niezwykle pomocna dla analizy procesu destrukcji górotworu.

III. Charakterystyka lokalnego pola naprężeń

Znajomość lokalnego pola naprężeń jest kluczową dla prowadzenia różnego rodzaju analiz geomechanicznych związanych z prowadzeniem efektywnej i bezpiecznej eksploatacji złóż surowców mineralnych. Pomimo ważności tego problemu jest bardzo niewiele metod

i technik pomiarowych, które pozwalają na szybkie i dokładne uzyskiwanie wyników w tym zakresie. Należy dodać, że w przypadku miejsc odległych od czynnych wyrobisk górniczych możliwości pomiarowe drastycznie maleją. Wyniki badań oraz doświadczenia ostatnich lat wskazują, że powyższe informacje o lokalnym polu naprężeń można efektywnie uzyskać wykorzystując dane seismologiczne w połączeniu z ich odpowiednią interpretacją. Bowiem w seismogramach wstrząsów jest zakodowana informacja o stanie struktury ośrodka skalnego w strefie ogniskowej, która jest kształtowana również przez lokalne pole naprężeń. Osobliwości i parametry tego pola odzwierciedla mechanizm ognisk wstrząsów. W ten sposób geomechanika górnicza otrzymuje nowe, oryginalne narzędzie pomiarowe, które umożliwi ocenę lokalnego pola naprężeń, także w miejscach znacznie oddalonych. Ponadto, otrzymuje możliwość pozyskiwania bezcennych informacji o kształtowaniu się przedmiotowego pola i jego zmianach zachodzących w strefach formowania się ognisk wstrząsów, np. we wstrząsogennych warstwach stropowych.

Stosowanie tego rozwiązania geoinżynierskiego bazującego na mechanizmie ognisk wstrząsów górniczych przedstawiono na przykładzie dwóch artykułów.

Publikacja 1. Dubiński J., Stec K., 2001: *Relationship between focal mechanism parameters of mine tremors and local strata tectonics*. [w]: Dynamic rock mass response to mining, Proc. of the 5th Int. Symp. on Rockbursts and Seismicity in Mines (Eds: G. Van Aswegen, R.J. Durrheim, W.D. Ortlepp), The South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg. pp. 113-118. [udział własny 50 %].

Mój udział w badaniach dotyczących korelacji pomiędzy parametrami ognisk wstrząsów a lokalnym polem naprężeń polegał na opracowaniu metody analizy, wykonaniu obliczeń parametrów ognisk 40 wstrząsów z rejonu kopalń Halemba i Śląsk i na ich podstawie obliczeniu rozkładu lokalnego pola naprężeń. Udział współautora polegał na współuczestnictwie w tworzeniu części teoretycznej oraz dyskusji otrzymanych wyników.

Celem badań było określenie korelacji pomiędzy lokalnym polem naprężeń tektonicznych uzyskanym na podstawie badań tektonofizycznych, a rozkładem naprężeń σ_1 , σ_2 , σ_3 odtworzonym w oparciu seismologiczną analizę parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów. Badania zostały przeprowadzone w rejonie struktury siodła głównego charakteryzującej się rozwiniętą tektoniką uskokową i wysoką aktywnością sejsmiczną. W siodle głównym występuje ciąg elewacji i kopuł o zgodnych osiach, oddzielonych elewacjami lub podobnymi do nich strukturami poprzecznymi o osiach przesuniętych. Dodatkowo przecina je szereg uskoków normalnych i odwróconych, często o charakterze kulisowym. Jednym z takich uskoków jest uskok kłodnicki o przebiegu zbliżonym do równoleżnikowego, charakteryzujący się zmienną amplitudą zrzutu i kątem nachylenia płaszczyzny uskokowej. Towarzyszy mu sieć uskoków o bardzo zmiennych zrzutach, kierunkach przebiegu i wielkościach. Wyróżniono wśród nich trzy systemy uskoków: południkowy, równoleżnikowy i o kierunku NE-SW, które jak wynika z analizy tektonofizycznej, powstały w zmiennym polu naprężeń tektonicznych. Naprężenia te miały wpływ nie tylko na ukształtowanie się tektoniki obszaru, ale również na powstanie określonych własności skał towarzyszących pokładom węgla, decydujących o obecnym charakterze indukowanej sejsmiczności górniczej.

Przeszła i aktualnie prowadzona eksploatacja pokładów węgla w omawianym obszarze, prowadzona z różnym natężeniem w północnym skrzydle uskoku kłodnickiego, spowodowała

nierównomierne podbieranie pokładów węgla czego wynikiem było występowanie wysokiej aktywności sejsmicznej. Odtworzenie lokalnego rozkładu pola naprężeń wykonano w oparciu o wyniki badań mechanizmu ognisk 40 wstrząsów z rejonu kopalń Halemba i Śląsk. Poziom sejsmiczności w tych dwóch rejonach był bardzo wysoki, co przejawiało się występowaniem wstrząsów wysokoenergetycznych, o energii sejsmicznej powyżej 10^6 J oraz tąpnięć, jak również bardzo licznymi zjawiskami sejsmicznymi o niższych energiach. Określona płaszczyzna ogniskowa dla wstrząsów występujących pomiędzy uskokami I i II miała azymut zbliżony do południkowego, a dla ognisk położonych w rejonie uskoku III charakteryzowała się azymutem o kierunku NE-SW. Natomiast płaszczyzna ogniskowa wstrząsów występujących w rejonie uskoku kłodnickiego miała azymut o kierunku E-W, a więc zbliżonym do rozciągłości tej struktury w tym rejonie. Można zatem jednoznacznie stwierdzić, że istniała wyraźna korelacja położenia płaszczyzn pęknięcia w ognisku wstrząsów z rozciągłością tych uskoków. Najczęściej mechanizm ognisk przedmiotowych wstrząsów, w przypadku rozwiązania pełnego tensora, zawierał poniżej 10 % implozji, około 10 % składowej jednoosiowego ściskania oraz od 75 do 90 % składowej ścinającej. Pozostałe rozwiązania (tensor dewiatoryczny i para sił) wskazywały na dominację procesu czystego ścinania na uskoku normalnym, gdyż składowa jednoosiowego ściskania wynosiła maksymalnie do 15 %. Najlepsze dopasowanie rozwiązania osiągnęto dla przedziału głębokości ognisk wstrząsów od -800 do -900 m npm. Uzyskane rozwiązania mechanizmu ognisk wstrząsów podzielono na trzy zbiory charakteryzujące się zbliżoną lokalizacją ognisk. Zbiór 1 występował w rejonie uskoku kłodnickiego zaliczonym do równoleżnikowego systemu spękań, natomiast zbiór 2 stanowiły wstrząsy występujące w rejonie uskoku I i II (południkowy system spękań), a zbiór 3 tworzyły wstrząsy, które występowały w rejonie uskoku III (subrównoleżnikowy system spękań).

W wyniku obliczeń uzyskano dla każdego zbioru danych parametry katowe kierunków osi naprężeń głównych σ_1 , σ_2 , σ_3 , (azymut i zanurzenie) oraz współczynnik R charakteryzujący względne relacje naprężeń ($\sigma_2 - \sigma_3 / \sigma_1 - \sigma_3$) przy założeniu, że $\sigma_1 = 1$ i $\sigma_3 = 0$. Parametry te skorelowano z polem naprężeń tektonicznym charakterystycznym dla każdego systemu spękań. Błąd dopasowania dla uzyskanych wyników wynosił $\pm 20^\circ$. Otrzymano zależności potwierdzające, że na występowanie wstrząsów górotworu indukowanych działalnością górniczą mogą mieć wpływ te same pola naprężeń, które wpływały na formowanie się tektoniki w tym rejonie. Można założyć, że występuje tutaj zjawisko tzw. „pamięci górotworu”.

Dla 1 zbioru wstrząsów, występujących w rejonie uskoku kłodnickiego, rozkład lokalnego pola naprężeń uzyskany z analizy mechanizmów ognisk wstrząsów, był zbliżony do regionalnego pola naprężeń w tym rejonie. W rejonie tym dominowały naprężenia rozciągające o czym świadczyła wartość współczynnika R wynosząca 0,8. Maksymalne naprężenia ściskające σ_1 były zbliżone do pionowych, gdyż miały zanurzenie około 70° , naprężenie medialne σ_2 i minimalne σ_3 były zbliżone do poziomego; kąt ich zanurzenie wynosił odpowiednio 5° i 22° . Kierunek osi naprężenia σ_2 był zbliżony do E-W (azymut 268°), a naprężenia σ_3 do N-S (azymut 176°). Dominującym typem mechanizmu ognisk w tym zbiorze był mechanizm poślizgowy normalny, o azymucie płaszczyzny pęknięcia E-W i kącie upadu wynoszącym około 60° . Analiza tektonofizyczna dla tego rejonu wykazała występowanie w nim głównie procesów rozciągających. Naprężenia σ_3 były rozciągające, a ich trajektoria miała przebieg o kierunku N-S.

Odmienne pole naprężeń charakteryzowało rejon występowania wstrząsów w strefie o południkowym systemie przebiegu uskoku I i II (zbiór 2). Lokalne pole naprężeń obliczone z mechanizmów ognisk wstrząsów górotworu wskazywało na dominację procesów ściskania. Współczynnik R wynosił 0,2. Naprężenie ściskające σ_1 miało przebieg ukośny (zanurzenie ok. 55°), naprężenie medialne σ_2 o azymucie 350° było zbliżone do poziomego,

a naprężenie minimalne σ_3 również było zbliżone do poziomego i miało przebieg E-W. Mechanizm ognisk, który występował w większości wstrząsów był typu poślizgowego normalnego. Azymut wybranej płaszczyzny ogniskowej posiadał przebieg NW-SE, a jej upad wynosił około 85° . Tektoniczne pole naprężeń w tym rejonie wykazuje cechy typowo ściskające, gdyż jest to obszar kompaktacji tektonicznej. Trajektoria naprężeń tektonicznych σ_3 ma przebieg zbliżony do kierunku E-W.

Lokalne pole naprężeń powodujące występowanie wstrząsów górotworu w obszarze subrównoleźnikowego systemu struktur tektonicznych (3 zbiór wstrząsów) jest pograniczem stref tensji i kompresji. Współczynnik R wynosił tutaj 0,6. Maksymalne naprężenia σ_1 (azymut 215° , upad 16°) były prawie poziome, naprężenie medialne σ_2 (azymut 316° , upad 33°) i minimalne σ_3 (azymut 103° , upad 52°) miały przebieg ukośny. Analizując tektoniczne pole naprężeń w rejonie uskoku III zauważono, że wzdłuż uskoku III przebiega granica kompaktacji tektonicznej, co prawdopodobnie miało odzwierciedlenie w typie mechanizmu ognisk wstrząsów górotworu. Wybrane płaszczyzny pęknięcia w ognisku posiadały azymut o kierunku NS-SW i cechowały się stromym kątem upadu wynoszącym około 85° . Mechanizm ognisk był typu normalnego z zaznaczającym się poziomym ruchem przesuwczym.

Przeprowadzona korelacja pomiędzy rozkładem tektonicznego pola naprężeń uzyskanego z badań tektonofizycznych i lokalnego pola naprężeń uzyskiwanego z rozwiązania mechanizmu ognisk wstrząsów górotworu wykazuje, że tektoniczne pole naprężeń może być w pewnych rejonach jednym z czynników formujących procesy zachodzące w ogniskach wstrząsów. Ponadto, znajomość rozkładu lokalnego pola naprężeń może być przydatną informacją dla celów prognostycznych i oceny zagrożenia sejsmicznego w kopalniach.

Publikacja 11. *Stec K., 2012: Określenie stanu naprężeń w strefach zagrożenia sejsmicznego na podstawie parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów. Przegląd Górniczy nr 2, Katowice, str. 11-36.*

W artykule tym przedstawiono zarys metody oraz wyniki obliczenia względnych lokalnych zmian pola naprężeń przy zastosowaniu programu My-Fault. Pole naprężeń było wyznaczone w oparciu o parametry mechanizmu ognisk wstrząsów indukowanych eksploatacją ściany 15 w kopalni Knurów-Szczygłowice. Ściana ta była eksploatowana w okresie marzec 2010 r. – październik 2011 r. w pokładzie 401/1. Głębokość zalegania pokładu 401/1 w tym rejonie wynosiła od - 720 m do - 790 m n.p.m., a miąższość około 2,7 m. W rejonie pokładu 401/1 nie występowały zaburzenia tektoniczne ani sedymentacyjne. Uskoki występowały tylko wzdłuż wschodniej i zachodniej granicy tej partii złoża. Zaburzenia sedymentacyjne w postaci zmniejszenia miąższości pokładu, jego całkowitego wymycia lub rozszczepienia na dwa niezależne pokłady miały miejsce natomiast w wyżej leżących pokładach 358, 358/1, 357 i 356. Były one powodem zatrzymania ścian lub odpowiedniego kształtowania geometrii pól wybierania, dostosowanego do tektoniki i budowy geologicznej złoża, co zaskutkowało występowaniem układu licznych krawędzi.

W trakcie eksploatacji ściany 15/401/1 zostały zarejestrowane 136 wstrząsy w zakresie energii sejsmicznej od $1 \cdot 10^3$ J do $2 \cdot 10^7$ J. Rozkład energetyczny tych wstrząsów nie spełniał podstawowego założenia rozkładu Gutenberga-Richtera, ponieważ liczba wstrząsów nie była liniowo zależna od wielkości energii sejsmicznej czy też magnitudy wstrząsów. Najwięcej wstrząsów zarejestrowano w klasie magnitud 1,2–1,6 (tj. od energii sejsmicznej $1 \cdot 10^4$ J do $7 \cdot 10^4$ J). Praktycznie w ogóle brakuje wstrząsów w klasie magnitud 1,8–2,2, tj. wstrząsów o energiach rzędu $1 \cdot 10^5$ J. Wstrząsów najsłabszych o magnitudach z zakresu 0,4–1,2 tj.

o energiach sejsmicznych rzędu $1 \cdot 10^3$ J, zarejestrowano mniej niż wstrząsów o energiach rzędu $1 \cdot 10^4$ J czy nawet o energiach najwyższych, rzędu od $1 \cdot 10^7$ J do $2 \cdot 10^7$ J.

Obliczono mechanizm ognisk wysokoenergetycznych wstrząsów o energii $E \geq 1 \cdot 10^5$ J oraz kilkunastu o energii sejsmicznej poniżej $1 \cdot 10^4$ J. Dominującym typem mechanizmu ognisk wstrząsów wysokoenergetycznych był mechanizm poślizgowy normalny. Ogniska tych zjawisk zawierały średnio do 20 % implozji, do 20 % składowej jednoosiowego rozciągania oraz od 60 do 80% składowej ścinającej. Dla zdecydowanej większości zjawisk, w granicach błędu dopasowania wynoszącego 20° , azymut rozciągłości jednej z płaszczyzn nodalnych skierowany był pod kątem około 45° do rozciągłości frontu a dla kilku wstrząsów był równoległy do frontu. Kierunek ten można skorelować również z rozciągłością strefy uskokowej, która ogranicza od północy rejon ściany 15. Biorąc po uwagę typ mechanizmu ognisk można przypuszczać, że aktywność sejsmiczna odzwierciedlała typowe procesy destrukcyjne zachodzące w wyniku pęknięcia, czy też poślizgu, na płaszczyznach osłabienia warstw stropowych w obszarze objętym oddziaływaniem ściany eksploatacyjnej. Ze względu na dużą odległość od frontu ściany wysokoenergetyczne wstrząsy nie stanowiły bezpośredniego zagrożenia dla prowadzonej eksploatacji.

Drugą grupę stanowiły zjawiska o energii sejsmicznej $E < 1 \cdot 10^5$ J. W tym zbiorze występowały dwa typy mechanizmu ognisk. Jeden typ charakteryzował się dużym udziałem składowej nieścinającej. Rozwiązanie pełnego tensora zawierało średnio 40 % eksplozji, 40 % składowej jednoosiowego ściskania oraz bardzo mały udział składowej ścinającej (około 20 %). Wstrząsy te występowały w wyniku prowadzonych strzelań urabiających. Drugi typ ognisk, to wstrząsy samoistne o mechanizmie poślizgowym normalnym z maksymalnie 60 % udziałem składowej ścinającej. Wstrząsy o tym typie mechanizmu mogły powstawać w wyniku pęknięcia bezpośrednich warstw stropowych.

Na podstawie wstrząsów o poślizgowym, ścinającym mechanizmie ognisk obliczono średnie lokalne pole naprężeń w rejonie ściany 15, opisane przez kierunki osi naprężeń głównych σ_1 , σ_2 , σ_3 (azymut i zanurzenie) oraz pozostałe parametry charakteryzujące pole naprężeń. Dla analizowanych wstrząsów główne naprężenie σ_1 skierowane było pionowo, a główne naprężenie pośrednie σ_2 oraz minimalne σ_3 były poziome. Tego typu stan naprężeń o dominacji głównego naprężenia σ_1 skierowanego pionowo, odpowiada typowym warunkom odzwierciedlającym oddziaływanie warstw nadległych, ulegających pękaniu i załamywaniu się w czasie postępującej eksploatacji ścianowej. Względna wartość maksymalnego naprężenia ścinającego wynosiła 0,23, a jego azymut miał kierunek prostopadły do rozciągłości frontu ściany. Współczynnik tarcia wynosił 0,57 (kąt tarcia $\Phi = 30^\circ$). Naprężenie horyzontalne było naprężeniem rozciągającym, a jego dominujący kierunek NE-SW skierowany był prostopadle do linii frontu ściany. Oś ściskania – rozciągania, która jest kierunkiem wyteżenia w danym obszarze, skierowana była pionowo pod kątem około 45° do linii frontu. Taki układ obliczonych parametrów może wynikać z sposobu pęknięcia nadległych warstw piaskowcowych.

Zastosowana metoda obliczeń pozwala również na przedstawienie względnego stanu naprężeń w oparciu teorię Coulomba-Mohra w układzie współrzędnych naprężenia normalnego σ i naprężenia ścinania τ . Przy określonym układzie naprężeń σ_1 , σ_2 , σ_3 osiągany jest pewien stan krytyczny i następuje zniszczenie struktury skały w wyniku pęknięcia kruchego. Dla większości wstrząsów stan naprężeń w rejonie ognisk wskazywał, że wartość naprężenia normalnego σ była mniejsza niż naprężenia ścinania τ . Stan taki oznacza ośrodek charakteryzujący się większą wytrzymałością na ścinanie, w którym wstrząsy cechują się silniejszym oddziaływaniem dynamicznym, co stanowi większe zagrożenie dla prowadzonej eksploatacji.

Na podstawie przedmiotowej metody określono rozkład względnego naprężenia ścinania (w czasie) dla kolejno występujących wstrząsów. Dla analizowanych wstrząsów wartości

względne naprężenia ścinającego wynosiły 0,2 w początkowym etapie eksploatacji ściany 15, a następnie osiągnęły wartości do 0,5 w rejonie występowania krawędzi i resztek w pokładach sąsiednich. Dla wstrząsów, które wystąpiły pod koniec eksploatacji tej ściany wartości tego parametru uległy zmniejszeniu do 0,15.

Przeprowadzone badania dały obiecujące wyniki, wskazujące, że na ich podstawie można oceniać skłonność górotworu do generowania wstrząsów, ponieważ określenie większych wartości naprężenia ścinającego będzie charakteryzowało górotwór o wyższej wytrzymałości.

Ponadto badania te potwierdziły, że możliwość określania, na drodze ukierunkowanych analiz danych sejsmologicznych, względnych wartości naprężeń jest szczególnie cenna, bowiem ani na nauka ani praktyka nie dysponuje dotychczas innymi technikami bezpośredniej i równie szybkiej oceny parametrów pola naprężeń, a szczególnie obserwacji jego zmian w czasie eksploatacji aktywnych sejsmicznie partii złoża.

IV. Charakterystyka dynamicznego oddziaływania wstrząsów na wyrobiska górnicze

Bez wątpliwości główną przyczyną podjęcia w szerokim zakresie badań w obszarze sejsmiczności indukowanej działalnością górnictwem jest to, że wstrząsy górnicze są bezpośrednią przyczyną występowania zagrożenia tąpnięciami. Nieodłączną cechą tąpnięć jest gwałtowne i dynamiczne wyrzucenie mas skalnych do wyrobisk górniczych i związane z tym różnorodne konsekwencje, o których już wspomniano w niniejszym autoreferacie.

Proces utraty stateczności przez wyrobiska górnicze może być analizowany zarówno od strony geomechanicznej jak i sejsmologicznej. Z wyników badań mechanizmu ognisk wstrząsów wynika jednoznacznie, co zostało już przedstawione, że występują różne mechanizmy ognisk wstrząsów. W przypadku wysokoenergetycznych zjawisk sejsmicznych o ogniskach znajdujących się blisko frontu eksploatacyjnego, a więc tych których wystąpienie stwarza największe ryzyko zaistnienia tąpnięcia istotne jest określenie położenia płaszczyzny pęknięcia, na której następuje przemieszczenie się mas skalnych. Przestrzenna orientacja tej płaszczyzny determinuje kierunkowość radiacji sejsmicznej, a tym samym możemy mówić o kierunkowości oddziaływania wstrząsu górniczego na określone miejsca w górotworze jak również na wyrobiska górnicze.

Należy podkreślić, że ten kierunek badań i ich geoinżynierskiego zastosowania jest całkowicie nowym i oryginalnym w wymiarze światowym. W chwili obecnej brak jest doniesień literaturowych w tym zakresie, szczególnie w obszarze rozwiązań ilościowych. Pewne nieliczne informacje można znaleźć jedynie w pracach z obszaru tektonofizyki i odnoszą się one do sfery trzęsień ziemi.

Rozwiązanie to i uzyskane wyniki badań zostały przedstawione na podstawie dwóch artykułów, których charakterystyka została przedstawiona poniżej.

Mój udział w badaniach, których dotyczą dwie poniższe publikacje wynosił 75 % i polegał na zaprojektowaniu badań, opracowaniu metodyki badań, określeniu warunków geologiczno-górnictwowych w rejonie badań, obliczeniach parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów i rozkładu radiacji sejsmicznej oraz interpretacji wyników. Udział współautora polegał na wykonaniu obliczeń dotyczących modelowania numerycznego.

Publikacja 9. Stec K., Masny W., 2011: *Dynamiczne oddziaływanie wstrząsów górotworu na wyrobiska korytarzowe w zależności od orientacji płaszczyzny pęknięcia w ognisku wstrząsu*. Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko, Nr 2, Katowice, str. 101-114. [udział własny 75 %].

Artykuł przedstawia wyniki teoretycznego modelowania dynamicznego oddziaływania wstrząsów o ścinającym mechanizmie ognisk na wyrobiska korytarzowe. Przy wykorzystaniu programu FLAC 2D został opracowany model górotworu, w którym symulowano dynamiczne oddziaływanie sinusoidalnego impulsu przyłożonego do płaszczyzny utożsamianej z płaszczyzną ogniskową, będącą płaszczyzną pęknięcia w ognisku wstrząsu. Płaszczyzna ta była usytuowana wariantowo pod kątem 0° , 45° , 60° i 90° w stosunku do stropu wyrobiska korytarzowego. Obliczone wartości prędkości drgań PPV (peak particle velocity) odniesione do stropu wyrobiska porównano z teoretycznym rozkładem radiacji sejsmicznej fali poprzecznej S dla poślizgowego modelu ogniska wstrząsu. Stwierdzono, że uzyskane teoretyczne wartości PPV w stropie wyrobiska, były wyraźnie uzależnione od kąta orientacji płaszczyzny pęknięcia i można je było skorelować z rozkładem radiacji sejsmicznej fali S. Najsilniejsze oddziaływanie na wyrobiska górnicze posiadał impuls dynamiczny przyłożony do płaszczyzny pęknięcia położonej poziomo względem stropu wyrobiska górniczego. Wynik ten jest zgodny z radiacją sejsmiczną fali S przy poślizgowym modelu ogniska wstrząsu. Z kolei najmniejsza radiacja sejsmiczna dla fali S względem poziomej płaszczyzny wyrobiska występuje przy pionowym położeniu płaszczyzny pęknięcia w ognisku. W tym przypadku wartości PPV również były najniższe.

Przedstawiona w przedmiotowym artykule wstępna analiza teoretycznego modelowania dynamicznego oddziaływania wstrząsów na wyrobiska korytarzowe wykazała jednoznaczny wpływ typu mechanizmu ogniska. Na podstawie wyników obliczeń numerycznych można bowiem stwierdzić, że przestrzenna orientacja płaszczyzny pęknięcia w ognisku wpływa na sposób radiacji sejsmicznej, co tym samym przekłada się na różne wartości PPV określane w stropie wyrobiska korytarzowego. Z kolei różne wartości maksymalnej prędkości drgań cząstek górotworu, które były charakterystyczne dla analizowanych orientacji płaszczyzn pęknięć powodowały określone zmiany zarówno w górotworze otaczającym wyrobiska korytarzowe, jak i w samej obudowie wyrobiska. Można zatem stwierdzić, że typ mechanizmu ogniska posiada istotne znaczenie w przypadku oceny stateczności wyrobiska górniczego, które poddane będzie oddziaływaniu dynamicznemu wstrząsów górotworu.

Publikacja 9. Stec K., Masny W., 2012: *Analiza numeryczna dynamicznego oddziaływania wstrząsów górotworu na wyrobiska korytarzowe w zależności od położenia płaszczyzny pęknięcia w ognisku wstrząsu*. Przegląd Górniczy nr 7, Katowice, str. 48-56. [udział własny 75 %]

Eksploatacji górniczej w kopalni Bobrek-Centrum, prowadzonej w latach 2009 – 2010 ścianą 3 w pokładzie 503, towarzyszyła bardzo wysoka aktywność sejsmiczna stanowiąca potencjalne duże zagrożenie tąpnięciami. Oprócz wstrząsów niskoenergetycznych wystąpiło 98 zjawisk o energii sejsmicznej rzędu $1 \cdot 10^5$ J, 13 o energii rzędu $1 \cdot 10^6$ J, dwa wstrząsy posiadały energię sejsmiczną rzędu $1 \cdot 10^7$ J i jeden $1 \cdot 10^8$ J. Ze względu na tak wysoką aktywność sejsmiczną problem sejsmicznego oddziaływania wstrząsów na wyrobiska górnicze w tym rejonie był niezwykle ważnym. Wstrząsy poprzez swoje dynamiczne działanie na strukturę górotworu wpływają bowiem na zmiany naprężeń i deformacji w otoczeniu wyrobisk górniczych. Do określenia tych zmian zastosowano analizę

numeryczną dynamicznego oddziaływania wstrząsów charakteryzujących się różnym położeniem płaszczyzn pękania w ogniskach..

Z analizy mechanizmu ognisk zarejestrowanych wstrząsów uzyskano trzy grupy, które posiadały zbliżone parametry mechanizmu ognisk, ale różniły się głębokością położenia ognisk. Dla kilkunastu wstrząsów o ścinającym mechanizmie ognisk, wykonano modelowanie dynamicznego ich oddziaływania na wyrobisko korytarzowe przy wykorzystaniu programu FLAC 2D. Został opracowany model górotworu, w którym symulowano dynamiczne oddziaływanie impulsu przyłożonego do płaszczyzny utożsamianej z płaszczyzną pękania w ognisku wstrząsu. Podstawę przyjętych w modelu parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych warstw skalnych, stanowiły wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych w Głównym Instytucie Górnictwa. Próbkę pobrane zostały z rdzenia otworu wiertniczego wykonanego w rejonie wspomnianych badań.

Wyniki obliczeń z fazy statycznej były bazowymi dla kolejnych obliczeń numerycznych z uwzględnieniem obciążeń dynamicznych, w których wprowadzono dodatkowe obciążenia związane ze zjawiskami dynamicznymi – wstrząsami. Do opisu sygnałów dynamicznych wykorzystano rzeczywiste pomiary prędkości drgań cząstek górotworu PPV uzyskane dla 13 wysokoenergetycznych wstrząsów. Odpowiednie pomiary sejsmometryczne wykonano na podziemnych stanowiskach zainstalowanych w dowieczni 3 badawczej i dowieczni 4 badawczej.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń numerycznych dotyczących wpływu zjawisk dynamicznych na wyrobiska korytarzowe ogólnie można stwierdzić, że wartości prędkości drgań cząstek górotworu PPV mniejsze od 0,05 m/s nie wpływały na stateczność wyrobisk korytarzowych. Potwierdzają to również wyniki pomiarów *in situ* oraz kryterium empiryczne, według którego uszkodzenia tego typu wyrobisk przy wartościach PPV mniejszych od 0,05 m/s nie występują (Mutke 2011)¹⁰. Jedynie w przypadku sytuacji ekstremalnej, to jest w momencie kiedy obciążenie pochodzące od strony górotworu było znaczne już w fazie statycznej i przez to obudowa pracowała na granicy swej nośności, dodatkowy czynnik dynamiczny sumując się ze statycznym może w efekcie powodować negatywne skutki.

Przeprowadzone obliczenia wykazały również, że oprócz maksymalnej wartości prędkości drgań gruntu PPV, niezwykle istotne znaczenie ma częstotliwość impulsu dynamicznego. Mianowicie, mniejsze wartości PPV przy jednoczesnym występowaniu częstotliwości dominujących mniejszych niż 10 Hz, mogą spowodować skutki jednakowe lub nawet większe, w stosunku do sytuacji gdzie na analizowane wyrobisko korytarzowe wpływ miał impuls o większej wartości PPV i równocześnie o wyższych częstotliwościach dominujących.

Wstępne wyniki korelacji położenia płaszczyzny pękania w ognisku z pomierzonymi wartościami PPV wykazały pewne prawidłowości. Stwierdzono, że wartości PPV były większe od wstrząsów charakteryzujących się ogniskiem typu poślizgowego odwróconego i położeniem płaszczyzny pękania pod małym kątem względem stropu wyrobiska. Mniejsze wartości PPV wykazały wstrząsy typu poślizgowego normalnego i przy zbliżonym do pionowego położeniu płaszczyzny pękania w ognisku. Z kolei jak wykazały obliczenia numeryczne, większa wartość PPV przekłada się bezpośrednio na przyrost wielkości stref zniszczonych wokół wyrobiska korytarzowego, przyrost konwergencji pionowej i poziomej oraz przyrost wartości naprężeń zredukowanych w kształtowniku odrzwi obudowy podporowej.

Pomimo wstępnych wyników, metoda analizy numerycznej uwzględniająca przestrzenne położenie płaszczyzny pękania w ognisku może się przyczynić się do pełniejszego

¹⁰ Mutke G. 2011: „Ocena stopnia potencjalnego zagrożenia stateczności wyrobisk trzyścianowych poddanych oddziaływaniu wstrząsów górotworu”. Prace Naukowe GIG, Kwartalnik Górnictwo i Środowisko, nr 4/2/2011, s. 327-335.

wykorzystania metody sejsmologicznej w ocenie zagrożenia tąpnięciami, ze względu na uzyskanie dodatkowej informacji o stateczności wyrobiska górniczego, które poddane jest oddziaływaniu dynamicznemu wstrząsów górotworu.

4.3.3. Wykorzystanie parametrów mechanizmu ognisk do określenia oddziaływania wstrząsów na infrastrukturę powierzchniową

Obszary górnicze zarówno Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) jak i Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) charakteryzują się wysoką aktywnością sejsmiczną, która stwarza zagrożenie dla podziemnych wyrobisk jak również jest powodem dyskomfortu i uciążliwości dla mieszkańców tych rejonów. Wiążą się one nie tylko z odczuwaniem drgań jakie związane są z wstrząsami górniczymi, ale także z występowaniem uszkodzeń, o różnej wielkości, głównie w obiektach budowlanych różnych typów. Stąd ważnym problemem jest poznanie zarówno samego zjawiska jak również opracowanie procedur w zakresie obiektywnej oceny wielkości oddziaływań sejsmicznych. Są one bowiem podstawą dla tworzenia metod i technologii łagodzących skutki tych oddziaływań na powierzchnię.

Określenie oddziaływań sejsmicznych wstrząsów górniczych na powierzchnię jest zagadnieniem niezwykle złożonym. Wynika to z faktu iż o wielkości efektu sejsmicznego na powierzchni decydują następujące czynniki:

- parametry ogniska wstrząsu, czyli źródła sejsmicznego, w tym jego typ jak i fizyczne wielkości opisujące ognisko,
- parametry ośrodka skalnego na drodze rozchodzenia się fal sejsmicznych,
- parametry sejsmogeologiczne przypowierzchniowej warstwy podłoża gruntowego w punkcie odbioru drgań.

Złożoność ta powoduje, że trudno jest opisać zmienność rozkładu mierzonych parametrów charakteryzujących wielkość oddziaływań sejsmicznych (prędkość czy też przyspieszenie drgań) tylko w funkcji parametrów standardowo określanych przez kopalniane stacje sejsmologiczne, takich jak: energia sejsmiczna wstrząsu, odległość epicentralna do obiektu. Ponadto pomimo tego, że jedną z ważniejszych przyczyn obserwowanej lokalnej zmienności oddziaływań sejsmicznych wstrząsów górniczych na powierzchni jest amplifikacja drgań przez przypowierzchniową warstwę podłoża gruntowego, to uwzględnienie tego zjawiska nie rozwiązuje całkowicie obserwowanych zmienności w rozkładzie wymienionych powyżej parametrów opisujących intensywność wstrząsu górniczego.

Stąd podjęte zostały badania nad tym jak mechanizm ogniska wstrząsu górniczego, determinujący kierunkową charakterystykę radiacji sejsmicznej, może wpływać na powierzchniowy rozkład intensywności drgań. Przedmiotem badań była korelacja parametrów mechanizmu ognisk z rozkładem amplitud przyspieszeń drgań gruntu na powierzchni (zredukowanych o współczynnik amplifikacji drgań), które zostały zarejestrowane na sejsmometrycznych stanowiskach powierzchniowych.

Została opracowana unikalna metodologia badań w zakresie przedmiotowego rozwiązania geoinżynierskiego. Wykorzystano w niej tensor momentu sejsmicznego do opisu parametru kierunkowości radiacji sejsmicznej z ogniska wstrząsu, ponieważ TMS w swojej istocie fizycznej bazuje właśnie na efekcie powyższej kierunkowości. Dla określenia rozkładu współczynnika radiacji na powierzchni terenu został opracowany algorytm pozwalający na przedstawienie przestrzennej radiacji amplitud z ogniska wstrząsu z użyciem biblioteki do obrazowania przestrzennego (OpenGL - open graphics library). Ponadto, wprowadzono

parametr $RP/(r/h)$, określany dla fali poprzecznej S, który posiada tą zaletę, że jego wartości w różnych punktach powierzchni terenu mogą być ze sobą porównywane. Uzyskane wyniki wykazały, że tam gdzie wartości współczynnika $RP/(r/h)$ są proporcjonalnie większe, większa jest również amplituda zarejestrowanych amplitud przyspieszenia, co z kolei jest ściśle powiązane z mechanizmem ognisk. Zaobserwowano także, że dla poszczególnych analizowanych wstrząsów kierunek maksymalnej radiacji był prostopadły do rozciągłości struktur uskokowych w danym rejonie.

Opracowane rozwiązanie geoinżynierskie jest oryginalnym osiągnięciem naukowym w wymiarze światowym. Na podstawie powstałych w tym zakresie publikacji został otwarty nowy obszar badań, który aktualnie jest rozwijany w innych ośrodkach badawczych.

Wyniki analizy wpływu parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów górniczych na rozkład oddziaływań sejsmicznych na powierzchni syntetycznie ujmuję monografia pt. „*Oddziaływanie wstrząsów sejsmicznych na powierzchnię w zależności od ich parametrów fizycznych*” (Dubiński i in. 2005)¹¹ oraz przedstawione poniżej wybrane trzy publikacje.

Publikacja 2. Dubiński J., Lurka A., Stec K., 2005: *Influence of the mining tremor source radiation directivity in the distribution of the seismic interactions with surface*. [w]: „Mining and Sustainable Development”, Proc. of the 20th World Mining Congress, Vol. 2. Teheran. pp. 889-894.

Mój udział w publikacji przedstawiającej określenie wpływu radiacji sejsmicznej na intensywność oddziaływania wstrząsów na powierzchnię terenu wynosił 50 % i polegał na współpracowaniu metodyki badań, obliczeniach parametrów mechanizmu ogniska wstrząsu, oraz analizie danych sejsmometrycznych i dyskusji wyników. Udział współautorów polegał na współuczestnictwie w tworzeniu części teoretycznej i wykonaniu obliczeń dotyczących określenia radiacji sejsmicznej.

Powierzchniowa rejestracja drgań występujących w strefie epicentralnej wstrząsów górniczych z obszaru Legnicko Głogowskiego-Okręgu Miedziowego, wykazywała często na wyraźną zmienność i zróżnicowanie rejestrowanych amplitud przyspieszenia drgań na stanowiskach zlokalizowanych blisko siebie. Badania dotyczące określenia zjawiska radiacji sejsmicznej przeprowadzono na bazie analizy silnych wstrząsów górniczych związanych z eksploatacją rud miedzi w ZG Rudna. Rejon ten charakteryzuje się wysoką aktywnością sejsmiczną, która w przypadku wysokoenergetycznych wstrząsów powodowała liczne uszkodzenia w infrastrukturze powierzchniowej oraz była powodem dyskomfortu i uciążliwości dla mieszkańców tego obszaru. W pracy przedstawiono zarys budowy geologicznej oraz rozkład współczynnika amplifikacji w rejonie badań.

Na przykładzie silnego wstrząsu z 03.10.2005 r. o energii sejsmicznej $3 \cdot 10^8$ J, jaki miał miejsce w ZG Rudna, przedstawiono zagadnienie przestrzennego obrazowania radiacji źródła sejsmicznego w strefie dalekiej. Dla tego wstrząsu zarejestrowano bardzo zróżnicowane amplitudy przyspieszeń drgań na stanowiskach powierzchniowych położonych blisko siebie. Amplitudy przyspieszeń drgań bezpośrednio pomierzonych a_p oraz amplitudy przyspieszeń drgań po ich redukcji uwzględniającej współczynnik amplifikacji drgań, W_f , wykorzystano do opracowania zredukowanej mapy izolinii przyspieszenia drgań. W tym przypadku izolinie nie były regularnymi okręgami, co świadczyło o istnieniu dodatkowego czynnika, który posiada wpływ na efekt sejsmiczny obserwowany na powierzchni. Dla analizowanego

¹¹ Dubiński J., Stec K., Lurka A., 2005: „*Oddziaływanie wstrząsów sejsmicznych na powierzchnię w zależności od ich parametrów fizycznych*”, Wyd GIG, Katowice.

wstrząsu obliczono parametry mechanizmu ognisk metodą inwersji tensora momentu sejsmicznego, na podstawie sejsmogramu zarejestrowanego na 32 stanowiskach kopalnianej sieci sejsmologicznej ZG Rudna. Ognisko charakteryzowało się mechanizmem typu ścinającego odwróconego, w którym dominującym procesem w ognisku było ścinanie gdyż udział składowej ścinającej DBCP wynosi 73 %. Następnie określono rozkład współczynnika $RP/r/h$ dla fali poprzecznej S, którego korelacja z danymi z pomiarów sejsmometrycznych na poszczególnych stanowiskach, wyjaśniła obserwowane dysproporcje w pomierzonych wartościach maksymalnych amplitud jako efekt kierunkowej radiacji energii ze źródła sejsmicznego. Efekt ten przedstawiono, dla wybranej płaszczyzny pęknięcia w ognisku, na trójwymiarowych rozkładach radiacji RP dla fali poprzecznej S. Otrzymane rozkłady potwierdziły fakt, że promienie sejsmiczne na drodze ognisko - stanowisko pomiarowe, wykazywały o wiele większe wartości na stanowisku nr 4 niż na stanowisku nr 2, pomimo, że stanowiska te położone były w takiej samej odległości epicentralnej (około 2,5 km).

Przeprowadzone badania wskazały, że ocena wpływu drgań gruntu w przypadku wstrząsów górniczych w oparciu o ogólne zależności uwzględniające energię sejsmiczną wstrząsu, odległość epicentralną oraz amplifikację powinna uwzględniać także, przynajmniej w przypadku bardzo silnych wstrząsów, kierunkowość radiacji sejsmicznej ogniska wstrząsu.

Publikacja 3. Lurka A. Stec K., 2005: *Charakterystyka radiacji fal sejsmicznych w obszarze epicentralnym dla wstrząsów w LGOM*, Wyd. WUG Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 6 (130), Katowice, str. 37-39.

Mój udział w publikacji przedstawiającej określenie wpływu radiacji sejsmicznej na intensywność oddziaływania wstrząsów na powierzchnię terenu wynosił 80 % i polegał na współpracowaniu metodyki badań, obliczeniach parametrów mechanizmu ogniska wstrząsu, oraz analizie danych sejsmometrycznych i dyskusji wyników. Udział współautora polegał na wykonaniu obliczeń dotyczących określenia radiacji sejsmicznej.

Artykuł jest streszczeniem referatu przedstawionego na Konferencji „Warsztaty Górnicze” z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, organizowanej przez PAN IGSMiE, Kraków w 2005 roku i w całości opublikowanego w materiałach konferencyjnych¹². Dotyczy zagadnienie przestrzennego obrazowania radiacji źródła sejsmicznego w strefie dalekiej dla mechanizmu podwójnej pary sił, z równoczesnym uwzględnieniem amplifikacji drgań, dla silnego wstrząsu z ZG Rudna, zaistniałego pod miastem Polkowice w dniu 20.02.2002 r. o energii $E=1,5 \cdot 10^9$ J. W przypadku tego wstrząsu zarejestrowano bardzo zróżnicowane wartości amplitud przyspieszeń drgań na powierzchniowych stanowiskach sejsmometrycznych położonych blisko siebie. Po uwzględnieniu współczynnika amplifikacji, otrzymano dużą różnicę w wartościach amplitud przyspieszenia drgań położonych w zbliżonej odległości epicentralnej. Mianowicie, amplitudy przyspieszenia drgań na stanowisku nr.1 przy ul. Hubala (stanowisko nad uskokiem – odległość epicentralna 675 m) były o ponad połowę mniejsze niż amplitudy przyspieszenia zarejestrowane na stanowisku nr. 2 (ul. Miedziana – odległość epicentralna 840 m) i na stanowisku nr. 3 (ul. Sosnowa – odległość epicentralna 680 m). Odległości epicentralne stanowisk są tutaj bardzo zbliżone, a różnica w ich lokalizacji polega na tym, że stanowisko 2 i 3 leżą poza uskokiem Rudna

¹² Lurka A., Stec K., 2005: „Charakterystyka radiacji fal sejsmicznych w obszarze epicentralnym dla wstrząsów w LGOM”, [w] „Zagrożenia naturalne w górnictwie” Materiały Konferencji Warsztaty Górnicze 2005, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 391-404.

Główna. Przyjęto, że przyczyną takich wyników rejestracji może być silna kierunkowość radiacji sejsmicznej. Obliczony mechanizm ogniska tego wstrząsu - poślizgowy normalny - wskazywał na kierunek rozrywu przebiegający wzdłuż uskoku Rudna Główna. Obliczone przestrzenne obrazy radiacji amplitud fali „S” (fale o największych amplitudach w strefie epicentralnej) wykazały, że promienie sejsmiczne na drodze ognisko-stanowisko wykazują ponad dwukrotnie większe wartości na stanowiskach nr 2 i 3 niż na stanowisku nr 1. Określony rozkład radiacji amplitud drgań emitowanych z ogniska wstrząsu wyraźnie pokazał, że nie jest on równomierny, lecz występują w nim pewne uprzywilejowane kierunki. O tym właśnie świadczyły wspomniane rejestracje na stanowiskach nr 1, 2 i 3.

Wyniki tych badań potwierdziły, że zjawisko radiacji sejsmicznej jest szczególnie ważne w przypadku występowania wysokoenergetycznych wstrząsów górniczych. To właśnie to zjawisko pozwala dobrze tłumaczyć rozbieżności w rozkładzie amplitud przyspieszenia drgań na powierzchni, występujących po konkretnym wstrząsie.

Publikacja 8. **Stec K.,** Lurka A., 2010: *Wpływ kierunkowości radiacji fal sejsmicznych wysokoenergetycznego wstrząsu o energii $1,6 \cdot 10^{10}$ J na powierzchnię w kopalni węgla brunatnego „Bełchatów”*, Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko, Nr 4/4, Katowice, str. 101-110. [udział własny 80 %].

Mój udział w publikacji przedstawiającej określenie wpływu radiacji sejsmicznej na intensywność oddziaływania wstrząsów na powierzchnię terenu w rejonie KWB „Bełchatów” wynosił 80 % i polegał na współpracowaniu metodyki badań, analizie wyników obserwacji makrosejsmicznych, obliczeniach parametrów mechanizmu ogniska wstrząsu, oraz analizie danych sejsmometrycznych i dyskusji wyników. Udział współautora polegał na wykonaniu obliczeń dotyczących określenia radiacji sejsmicznej.

W artykule przedstawiono analizę efektu sejsmicznego na powierzchni ziemi, który został wywołany przez wysokoenergetyczny wstrząs o energii sejsmicznej $E = 1,6 \cdot 10^{10}$ J (magnituda $M = 4,4$). Wstrząs ten wystąpił w dniu 22.01.2010 r. w KWB „Bełchatów”. Charakteryzował się on mechanizmem poślizgowym normalnym, z dużym udziałem składowej ścinającej wynoszącym 86%. Płaszczyzna pęknięcia o azymucie 109° i kierunku zapadania na północ odpowiadała rozciągłości i upadowi strefy uskoku brzeżnego południowego.

Typ poślizgowy mechanizmu ogniska wstrząsu, azymut i upad płaszczyzny pęknięcia korelującej się z przebiegiem i upadem uskoku brzeżnego południowego oraz głębokość ogniska około 2 km wskazywały, że wstrząs ten miał charakter słabego bardzo płytkiego trzęsienia ziemi. Potwierdziły to również odczucia wstrząsu i uszkodzenia w budynkach w miejscowościach znacznie oddalonych od granic odkrywki „Bełchatów”. Uszkodzenia w budynkach nie występowały w równomiernym obszarze kołowym ale wyraźnie można było wyodrębnić uprzywilejowany kierunek NE-SW, gdzie było ich najwięcej. Uszkodzenia te nie zależały również od współczynnika amplifikacji drgań, w związku z tym taki rozkład uszkodzeń w budynkach można było wytłumaczyć tylko występowaniem kierunkowości radiacji sejsmicznej fali poprzecznej S. Wykazywała ona bowiem wyraźną kierunkowość NE-SW widoczną również w danych pomiarowych. Najwyższe wartości przyspieszeń drgań gruntu (zakres częstotliwościowy do 10 Hz) wynoszące 693 mm/s^2 i 589 mm/s^2 występowały odpowiednio na stanowiskach Zielęcín i Chabielice, natomiast na stanowisku w Dębiniu, które położone było w podobnej odległości, przyspieszenia drgań wynosiły już tylko 56 mm/s^2 . Tak duże zróżnicowanie wartości amplitud przyspieszeń drgań na stanowiskach w Chabielicach i Zielęciniu oraz w Dębiniu nie wynikało z różnicy odległości epicentralnej

do tych stanowisk ani z rozkładu współczynnika amplifikacji. Na pozostałych stanowiskach położonych w kierunku wschodnim od ogniska wstrząsu przyspieszenia drgań były znacznie poniżej 50 mm/s^2 .

Ten przypadek bardzo silnego wstrząsu z zupełnie innego rejonu Polski to kolejny przykład jak istotnym parametrem jest kierunkowość radiacji sejsmicznej z ogniska wstrząsu, a o której decyduje właśnie mechanizm ogniska.

4.3.4. Podsumowanie

Przedstawione publikacje dotyczące **zastosowania badań mechanizmu ognisk wstrząsów w kilku ważnych zagadnieniach geoinżynierskich** potwierdzają naukowe i praktyczne znaczenie badań jakie prowadziłam w tym zakresie. Zarówno problematyka sejsmiczności i tąpnięć jak i oddziaływań sejsmicznych wstrząsów górniczych na powierzchnię jest kluczową w badaniach prowadzonych w Polsce i na świecie. Przedmiotowe rozwiązania geoinżynierskie, których wspólną cechą jest wykorzystanie nowoczesnych możliwości pomiarowych współczesnej sejsmologii górniczej i komputerowej realizacji procesu obliczeniowego mechanizmu ognisk wstrząsów, wnoszą wiele nowych informacji cennych tak z punktu widzenia geofizyki górniczej jak i geomechaniki. Posiadają także istotne znaczenie w problematyce bezpieczeństwa pracy, gdyż tąpnięcia to nadal jedno z najbardziej groźnych zagrożeń naturalnych w górnictwie.

Do najważniejszych wyników przedkładanego cyklu publikacji zaliczam:

1. Opracowanie metod opartych na obliczaniu mechanizmów ognisk wstrząsów do pełniejszego określenia przyczyn występowania sejsmiczności górotworu poddanego wpływom działalności górniczej i jej oddziaływań na wyrobiska górnicze.
2. Opracowanie metody mającej na celu rozszerzenie oceny i prognozy zagrożenia sejsmicznego infrastruktury powierzchniowej o badanie wpływu parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów, determinujących charakterystykę kierunkową radiacji sejsmicznej.

Ad 1.

Wykazano, że występowanie wstrząsów górniczych zależy od wielu czynników geologiczno-górnich (budowa tektoniczna rejonu, położenie frontu ścianowego, istniejące zaszczości eksploatacyjne), których wzajemna korelacja ma decydujący wpływ na powstawanie wstrząsów o różnym mechanizmie ognisk. Wstrząsy sejsmiczne podzielono ogólnie na trzy grupy: „stropowe”, „pokładowe” i „regionalne”. Określenie przyczyn występowania danego typu wstrząsów ma podstawowe znaczenie dla oceny zagrożenia sejsmicznego w danym rejonie, ponieważ poznanie procesów pęknięcia w źródle jest niezbędne do opracowywania technik prognozowania, zwalczania i przeciwdziałania zjawiskom dynamicznym. Wstrząsy tzw. „pokładowe” o mechanizmie eksplozyjnym wymagają innej profilaktyki niż wstrząsy „stropowe”, w których dominują siły ścinania, a ogniska lokalizują się poza pokładem. Wykazano również, że wysokoenergetyczne wstrząsy (energia sejsmiczna $10^8 \div 10^9 \text{ J}$) o charakterze regionalnym, zależą od występowania naprężeń rezydualnych w głębokich strukturach GZW i z reguły nie wpływają na wzrost zagrożenia

w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobisk górniczych. W przypadku analizy wstrząsów powodujących tąpnięcia stwierdzono, że opracowanie mechanizmów ognisk wstrząsów poprzedzających tąpnięcie (foreshocks) oraz wstrząsu, który go wywołał, pozwala na bardziej obiektywną ocenę przebiegu zdarzeń, które doprowadziły do wystąpienia tąpnięcia w danym rejonie. Tego typu informacje są również bardzo przydatne dla prawidłowej interpretacji wyników dotyczących określenia przyczyn zaistniałych tąpnięć oraz podejmowania decyzji o ponownym wznowieniu eksploatacji górniczej, która powinna zachować wszelkie warunki bezpieczeństwa.

Wykazano również, że możliwość określania na drodze specjalistycznych analizy danych sejsmologicznych względnych wartości naprężeń, jest szczególnie cenna ze względu na informację użyteczną dla celów prognostycznych i oceny zagrożenia sejsmicznego w kopalniach gdzie eksploatacji towarzyszy wyraźna sejsmiczność górotworu. Na podstawie parametrów opisujących stan naprężeń w danym rejonie można określić skłonność górotworu do generowania wstrząsów, ponieważ większe wartości naprężenia ścinającego charakteryzują górotwór o wyższej wytrzymałości. Aktualnie ani na nauka ani praktyka nie dysponuje innymi technikami bezpośredniej i równie szybkiej oceny parametrów pola naprężeń, a szczególnie obserwacji jego zmian w czasie wybierania aktywnej sejsmicznie partii górotworu.

Metoda analizy numerycznej wykorzystująca przestrzenne położenie płaszczyzny pęknięcia w ognisku przy szacowaniu obciążeń dynamicznych na wyrobiska górnicze, pozwala na zrozumienie różnic występujących w dynamice drgań w różnych fragmentach górotworu. Wyniki tych badań mogą przyczynić się do pełniejszego wykorzystania metody sejsmologicznej w ocenie zagrożenia tąpnięciami, ze względu na uzyskanie dodatkowej informacji, przydatnej dla określenia stateczności wyrobiska górniczego, które poddane jest oddziaływaniom dynamicznym przez wstrząsy górotworu.

Ad 2.

Badania wpływu parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów determinujących charakterystykę kierunkową radiacji sejsmicznej, które polegały na korelacji rozkładu radiacji wyznaczonej w oparciu o parametry płaszczyzny pęknięcia z rozkładem amplitud przyspieszeń drgań gruntu na powierzchni (zredukowanych o współczynnik amplifikacji drgań) określonym z rejestracji na sejsmometrycznych stanowiskach powierzchniowych wykazały, że ocena i prognoza wpływu drgań gruntu na powierzchnię w oparciu o ogólne zależności uwzględniające energię sejsmiczną, odległość epicentralną oraz amplifikację drań przez przypowierzchniową warstwę podłoża gruntowego, powinna uwzględniać także kierunkowość radiacji ogniska wstrząsu (źródła sejsmicznego).

Uzyskane rozwiązania w tym zakresie posiadają nie tylko znaczenie poznawcze ale także praktyczne, gdyż ze względu na wysoką sejsmiczność indukowaną działalnością górniczą niezwykle istotnym problemem jest bardziej dokładna charakterystyka tych oddziaływań. Stanowi ona bowiem ważny element zarówno ochrony środowiska jak i kształtowania partnerskiego układu pomiędzy górnictwem a lokalnymi społecznościami, szczególnie w aspekcie akceptacji działalności górniczej.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć w pracy naukowo-badawczej

Od początku mojej pracy w Laboratorium Geologii i Geofizyki w Głównym Instytucie Górnictwa zajmowałam się zagadnieniami mającymi na celu rozwój i doskonalenie górniczej metody sejsmologicznej. Jest to metoda szeroko stosowana zarówno w górnictwie podziemnym do oceny zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciami oraz oceny skuteczności profilaktyki tąpniowej jak i do oceny wpływu wstrząsów górotworu na zabudowę na powierzchni. Istotą metody sejsmologii górniczej jest rejestracja, interpretacja i analiza wstrząsów górotworu. Tymi zagadnieniami zajęłam się od początku mojej pracy zawodowej w Laboratorium Sejsmologii Głównego Instytutu Górnictwa. Jednym z działań laboratorium było monitorowanie aktywności sejsmicznej z Górniośląskiego Zagłębia Węglowego przez Górniośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną (GRSS). W ramach prac badawczych GIG opracowywałam katalog wstrząsów górotworu rejestrowanych przez GRSS. Oprócz archiwizowania danych sejsmologicznych, zaczęłam badać związki pomiędzy energią wstrząsów a technicznymi czynnikami eksploatacji. Do tych analiz zastosowałam metodę taksonomii stochastycznej. Wyniki tych prac przedstawione przeze mnie na **XX Polsko-Czeskim Sympozjum Geofizyki Górniczej** zostały opublikowane w materiałach Polskiej Akademii Nauk pt.: „*Badanie związków Technicznych Eksploatacji z procesem wyzwiania energii sejsmicznej*”¹³. Następnie moje zainteresowania naukowe skierowały się na poznanie procesów fizycznych zachodzących w ogniskach trzęsień ziemi. Zaadaptowałam metodę obliczeń mechanizmu ognisk trzęsień ziemi do analizy dużej liczby wstrząsów górniczych. W literaturze w tym czasie można było znaleźć tylko wzmianki o analizie pojedynczych zjawisk górniczych. Z tego okresu pochodzą publikacje pt.: „*Results of the study of mechanism of tremors in the Szombierki coal mine*”¹⁴ oraz „*Corelation between the parameters of mining tremors focal mechanism and the seismic hazard state based on an example of the Wujek coal mine*”¹⁵, wydane przez Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Górotworu Czeskiej Akademii Nauk – Acta Montana. Publikacje te zawierały wyniki obliczeń mechanizmu ognisk większej liczby wstrząsów górniczych.

W latach 1992/1993 uczestniczyłam w studiach podyplomowych z geomechaniki i górnictwa w **Ecole des Mines de Nancy**, we Francji. Zakres studiów dotyczył zagadnień związanych z górniczymi technikami eksploatacyjnymi oraz zagrożeniami naturalnymi występującymi w czasie eksploatacji różnych surowców mineralnych. Doświadczenia naukowe zdobyte podczas studiów we Francji oraz wyniki dalszych analiz mechanizmu ognisk wstrząsów pozwoliły mi na sfinalizowanie tego etapu badań dotyczących zastosowania metody obliczeń mechanizmu ognisk trzęsień ziemi do analizy wstrząsów górniczych. Rezultatem była rozprawa doktorska pt.: „*Wpływ parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów górniczych na ocenę zagrożenia sejsmicznego w kopalniach węgla kamiennego*”, której skrót został opublikowany w Pracach Naukowych GIG¹⁶. Pracę tę, której promotorem był prof. dr hab. inż. Józef Dubiński obroniłam z wyróżnieniem w 1994 r.

¹³Stec K., Holeczek G., 1992: „*Badanie związków Technicznych Eksploatacji z procesem wyzwiania energii sejsmicznej*”. Pubs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-16 (245), str. 177–187.

¹⁴Stec K., 1992: „*Results of the study of mechanism of tremors in the Szombierki coal mine*”, Acta Montana, No 1 (84), pp. 43–50.

¹⁵Stec K., Dubiński J., Nowak J., 1992: „*Corelation between the parameters of mining tremors focal mechanism and the seismic hazard state based on an example of the Wujek coal mine*”, Acta Montana, No 2 (88), pp. 145–160.

¹⁶Stec K., 1994: „*Wpływ parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów górniczych na ocenę zagrożenia sejsmicznego w kopalniach węgla kamiennego*”, Prace Naukowe GIG nr 818.

Badania prowadzone po doktoracie ukierunkowane na praktyczne zastosowanie metody sejsmologii górniczej skupiały się w kilku obszarach tematycznych:

- I. Badania mechanizmu ognisk wstrząsów górotworu.
- II. Kierownictwo Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej oraz analiza aktywności sejsmicznej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.
- III. Badania nad rozwojem nowych metod interpretacyjnych dla oceny zagrożenia sejsmicznego.
- IV. Badania dotyczące oceny intensywności oddziaływania wstrząsów górniczych na zabudowę powierzchni.
- V. Ocena ryzyka sejsmicznego.

I. Badanie mechanizmu ognisk wstrząsów górotworu

Najważniejszy obszar moich zainteresowań zawodowych, w ciągu całego okresu pracy w Głównym Instytucie Górnictwa to analiza mechanizmu ognisk wstrząsów górotworu. Wyniki analiz udokumentowane w rozprawie doktorskiej oparte były na **metodzie graficznej**, dającej rozwiązanie tylko dla modelu podwójnej pary sił. Metoda ta była istotna na pewnym etapie rozwoju badań tego problemu, ze względu na możliwości techniczne istniejących w tym okresie aparatów sejsmologicznych. Aparatury te umożliwiały tylko analogową rejestrację wstrząsów, w wyniku której uzyskiwano sejsmogramy wydrukowane na papierze. Nowe podejście w rozwiązywaniu mechanizmu ognisk wstrząsów umożliwiła zmiana w połowie lat dziewięćdziesiątych systemu rejestracji wstrząsów z zastosowaniem techniki komputerowej i cyfrowego przetwarzania danych sejsmicznych. Od tego czasu możliwym stało się do określenia mechanizmu ognisk wstrząsów zastosowanie **metody inwersji tensora momentu sejsmicznego**. Do badania tego zagadnienia skłoniły mnie dwie przesłanki. Mianowicie, dotychczas nie było analiz prowadzonych tą metodą na szeroką skalę dla dużej ilości wstrząsów górniczych i po drugie, zagadnienie to było bardzo ważne dla rozwoju metody sejsmologii górniczej. Założyłam, że poznanie procesów zachodzących w ogniskach wstrząsów pozwoli na zdefiniowanie ich przyczyn, co będzie pomocne dla określenia zagrożenia zarówno dla wyrobisk górniczych (tąpania) jak i zdefiniowania oddziaływania wstrząsów na powierzchnię terenu. Zaczęłam prowadzić obliczenia mechanizmu ognisk dla dużej liczby zjawisk sejsmicznych. Wyniki tych prac zawarłam w 40 publikacjach (zestawienie w załączniku 7). Z prac tych został wybrany wyszczególniony w rozdziale 4, zbiór publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe pod wspólnym tytułem „*Geoinżynierskie zastosowanie badań mechanizmu ognisk wstrząsów górniczych*”.

Ponadto, oprócz wymienionych publikacji, wyniki badań przedstawione zostały na międzynarodowych konferencjach, dotyczących zastosowań metod geofizycznych do badania cech górotworu, sejsmiczności indukowanej i tąpnięć, mechaniki górotworu. Były one przyjmowane z dużym zainteresowaniem przez badaczy z innych instytutów naukowych i zostały opublikowane w materiałach konferencyjnych. Konferencje te organizowane były przez kilka światowych instytutów naukowych i odbywały się:

w 1994 r. w ST. Petersburgu¹⁷, w 1995 r. w Atenach¹⁸, w 1997 r. w Krakowie¹⁹, w 1999 r. w Paryżu²⁰, w 2000 w Pradze²¹, w 2005 r. w Perth²², w 2009 w Dalian²³.

Metoda inwersji tensora momentu sejsmicznego do analiz ognisk wstrząsów znalazła również zastosowanie w licznych pracach badawczych i ekspertyzach dla przemysłu górniczego. Ekspertyzy wykonywane na zlecenia z kopalń dotyczyły zarówno badań mechanizmu ognisk wstrząsów związanych z prowadzeniem wyrobisk ścianowych jak i wstrząsów, których następstwem były tapnięcia. Przykładem tych prac, które zawierają wyniki analiz wstrząsów występujących w wyniku postępującej eksploatacji są opracowania zrealizowane między innymi dla kopalń: Bielszowice²⁴, Knurów²⁵, Piast²⁶, Śląsk²⁷, Szczygłowice²⁸. Głównym celem tych prac była obserwacja zmian typu mechanizmu ognisk w czasie postępującego cyklu eksploatacyjnego w aspekcie oceny zagrożenia sejsmicznego w danym rejonie. W przypadku zaistniałych tapnięć powodujących uszkodzenia wyrobisk, bardzo istotnym było szybkie określenie ich przyczyn, w czym między innymi również pomocne były analizy mechanizmu ognisk. Przykładem są zrealizowane w ostatnich latach

¹⁷Dubiński J., Mutke G., **Stec K.**, 1994: "Focal mechanism of mining tremors in the light of seismological studies carried out in the Upper Silesian Coal Field". Proc. Symp. on "Rock Bursts and Sudden Outbursts: Theory, Prevention and Protection of miners". St Petersburg ECE/UN, pp.67–75.

¹⁸Dubiński J., **Stec K.**, 1995: "Variation of certain parameters of regional stress tensor under conditions of rockburst hazard", European Seismological Commission, XXIV General Assembly, Athens 1994, Proc. in Activity Report 1992- 1994, Vol III, University of Athens, Greece, pp. 1290-1305.

¹⁹Mutke G., **Stec K.**, 1997: "Seismicity in the Upper Silesian Coal Basin, Poland: Strong regional seismic events", Proc. of the 4 th International Symposium on rockburst and seismicity in mines (ed. S.J. Gibowicz, S. Lasocki) Balkema/Rotterdam/Brookfield, pp.213–218.

²⁰Dubiński J., Mutke G., **Stec K.**, 1999: "Source characteristics of the mine tremors from the Upper Silesian Coal Basin – Poland", Proc. 9 th International Congress on Rock Mechanics. Vol.2, Balkema/Rotterdam/Brookfield, pp.1030–1047.

²¹**Stec K.**, Drzewiecki J., 2000: "Relationship between mine tremor focal mechanism and local mining and geological conditions", Acta Montana, ser. A. No 16 (118), Praha, pp.189–202.

²²**Stec K.**, Siata R., 2005: "Hard coal mining application of seismic transmission tomography as the way to locate mine tremor hazard zones" Proc. 6th International Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines, Perth, Australia. pp. 503 – 508.

²³**Stec K.**, 2009: "Characteristics of the processes taking place at the sources of high energy tremors occurring in the Upper Silesian Coal Basin in Poland – regional character". [w:] "Controlling Seismic Hazard" . C. Tang (Ed): Proc. Seventh Int. Symp. on Rockbursts and Seismicity in Mines. Dalian, China, Renton Press New York/New Jersey, pp. 415–426.

²⁴**Stec K.** i inni, 2002 ÷ 2008: „Określenie mechanizmu wstrząsów wysokoenergetycznych oraz badanie rozkładów naprężeń w skalach stropowych metodą tomografii pasywnej w rejonie ścian 772, w pokładzie 502, N-814 w pokładzie 418 oraz 306 w pokładzie 507”, kwartalne opracowania cykliczne w latach 2002 ÷ 2008. Praca badawczo-usługowa GIG, nr 41106262-123, Katowice.

²⁵**Stec K.**, Mutke G., 2007: „Geofizyczna analiza trzech wysokoenergetycznych wstrząsów z KWK Knurów – obliczenie mechanizmu ognisk i parametrów źródła”. Praca badawczo-usługowa GIG, nr 58136347-120, Katowice.

²⁶Mutke G., **Stec K.** i inni. 2010: „Wyznaczenie zasięgu szkodliwego oddziaływania wstrząsów wysokoenergetycznych wywołanych eksploatacją KWK Piast na infrastrukturę i obiekty budowlane na powierzchni w aspekcie odpowiedzialności KW S.A. za szkody spowodowane tymi wstrząsami wraz z analizą mechanizmu i parametrów źródła wstrząsu zaistniałego w obszarze KWK Piast w dniu 09.02.2010”. Praca badawczo-usługowa GIG, nr 58113530-123, Katowice.

²⁷**Stec K.** i inni, 2004: „Badanie wstrząsów pod kątem wartości maksymalnych przyspieszeń zarejestrowanych przez stanowiska pomiarowe w Katowicach wraz z wyznaczaniem mechanizmu ognisk wstrząsów za okres IV kw. 2003 i I kw. 2004”. Praca badawczo-usługowa GIG, nr 41123-64-123, Katowice.

²⁸**Stec K.** i inni, 2008: „Analiza mechanizmu ognisk i parametrów źródła wstrząsów wysokoenergetycznych zaistniałych na OG Szczygłowice dla KW S.A. CW Zachód Oddział KWK Szczygłowice”. Praca badawczo-usługowa GIG, nr 58123878-120, Katowice.

z moim współdziałaniem opracowania dla kopalń: Halemba-Wirek²⁹, Rydułtowy-Anna³⁰, Marcel³¹.

Wyniki obliczeń parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów powodujących tąpnięcia przedstawiałam na posiedzeniach Komisji ds. Zagrożeń i Tąpań, na które wielokrotnie byłam zapraszana. Informacje te były bardzo pomocne w ustaleniach tych Komisji odnośnie określenia warunków podejmowania dalszej eksploatacji górniczej w rejonach o szczególnym zagrożeniu tąpnięciami.

II. Kierownictwo Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej oraz badanie aktywności sejsmicznej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Drugą bardzo ważną działalnością związaną z moją pracą naukową jest kierowanie Górnośląską Regionalną Siecią Sejsmologiczną (GRSS). Rozwój i wykorzystanie GRSS przedstawiłam w monografii pt.: *„Badania geofizyczne w kopalniach”*³². Monografia opracowana w 2001 r. przedstawia ocenę na koniec XX wieku poziomu merytorycznego podstawowych rozwiązań metodologicznych poszczególnych metod geofizycznych wraz ze wskazaniem ich możliwości w zastosowaniach w przemyśle górniczym. Podstawowym zadaniem GRSS będącej siecią nadrzędną w stosunku do sieci kopalnianych, jest monitorowanie zagrożenia sejsmicznego w obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. GRSS jako jedyne stanowisko badawcze od 1977 r. na bieżąco dostarcza kompleksowej informacji o poziomie aktywności sejsmicznej z obszaru Górnego Śląska. W ciągu kolejnych lat dokonywano zmian w konfiguracji GRSS dostosowując jej rozmieszczenie do nowo występujących miejsc aktywności sejsmicznej. Utrzymanie i rozwój metodologiczny GRSS prowadzony jest od wielu lat pod moim kierownictwem w ramach zadań badawczych działalności statutowej pt.: *„Utrzymanie i rozwój metodologiczny i aparaturowy Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej GG”*³³. Aktualnie w GRSS pracuje w systemie monitoringu ciągłego 12 trójskładowych stanowisk pomiarowych z komórkowym systemem przesyłania danych. Sygnały sejsmiczne odbierane ze stanowisk sejsmometrycznych rozmieszczonych w różnych miejscach na obszarze GZW przesyłane są do centrum rejestrującego znajdującego się w Głównym Instytucie Górnictwa. Bieżąca analiza zarejestrowanych sejsmogramów wstrząsów o energii sejsmicznej od $1 \cdot 10^5$ J polegająca na obliczeniu podstawowych parametrów sejsmologicznych wykonywana jest przeze mnie codziennie, od początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku.

²⁹Drzewiecki J. i inni, 2008: *„Analiza przyczyn tąpnięcia i stanu zagrożenia tąpnięciami w rejonie ściany 21/A w pokładzie 504 oraz ustalenie możliwości bezpiecznego wznowienia robót górniczych i ustalenie zasad bezpiecznego ich prowadzenia dla KW S.A. O/KWK „Halemba-Wirek”*. Praca badawczo-usługowa GIG nr 581 61608-141, Katowice.

³⁰Drzewiecki J. i inni, 2010: *„Analiza warunków zalegania złoża w rejonie N-N2 w Kompanii Węglowej S.A. Oddział KWK „Rydułtowy-Anna” w Rydułtowach pod kątem zagrożeń naturalnych, ze szczególnym uwzględnieniem zagrożenia sejsmicznego i tąpnięciami podczas prowadzenia robót górniczych w pokładzie 713/1-2 + 712/1-2 celem określenia zakresu dalszej eksploatacji”*. Praca badawczo-usługowa GIG nr 581 51180-141, Katowice.

³¹Drzewiecki J. i inni, 2012: *„Sprawdzenie prawidłowości stosowanych i przewidzianych do stosowania rozwiązań przy projektowaniu oraz prowadzeniu eksploatacji pokładu 707/2 ścianą M-12 w Kompanii Węglowej S.A. Oddział KWK „Marcel” w Radlinie, w kontekście zaistniałego w dniu 08.03.2012r. tąpnięcia i wypadku zbiorowego, w rejonie tej ściany”*. Praca badawczo-usługowa GIG nr 581 15482-141, Katowice.

³²Stec K., 2001: *„Rozwój i wykorzystanie Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej” w: Monografia: „Badania geofizyczne w kopalniach”* (Dubiniński J., Pilecki Z., Zuberek W. (red), Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, str. 179–184.

³³Stec K. i inni, 1996 – 2010: *„Utrzymanie i rozwój metodologiczny i aparaturowy Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej GIG”*. Dokumentacje Prac Statutowych GIG z lat 1996 – 2011.

Należy podkreślić, że poziom sejsmiczności w GZW jest wysoki i stanowi zagrożenie bezpieczeństwa pracy załóg górniczych pracujących pod ziemią (tąpania) a drgania wywoływane na powierzchni są źródłem dużej uciążliwości dla lokalnej społeczności i często są przyczyną materialnych uszkodzeń w obiektach budowlanych i infrastrukturze technicznej. Wyniki rejestracji GRSS, stanowią źródło informacji dla przemysłu górniczego w aspekcie bezpieczeństwa pracy, oraz dla administracji lokalnych informację o poziomie zagrożenia sejsmicznego i jego trendach. Na bieżąco, zgodnie z wymaganiami instrukcji „**Zasady i zakres stosowania kompleksowej metody oceny stanu zagrożenia tąpaniem w zakładach wydobywających węgiel kamienny**” na podstawie rejestracji GRSS wykonuję dla wszystkich kopalń, w których występuje zagrożenie sejsmiczne, weryfikację energii sejsmicznej wysokoenergetycznych wstrząsów ($E \geq 10^5$ J). Parametr energii sejsmicznej posiada podstawowe znaczenie w procesie oceny zagrożenia tąpaniem, różnego rodzaju analizach geomechanicznych jak i analizie oddziaływań sejsmicznych na powierzchnię. Metody obliczania energii sejsmicznej przedstawiłam w publikacji pt.: „**Metody obliczania energii sejsmicznej – rozwój metod i stan aktualny**”³⁴ wchodzącej w skład wymienionej monografii pt. „**Badania geofizyczne w kopalniach**”.

Dane uzyskiwane z rejestracji sejsmologicznych GRSS wykorzystywane są do licznych prac o charakterze badawczo-usługowym prowadzonych pod moim kierownictwem, Bardzo ważne znaczenie mają prace, które polegają na obserwacji aktywności sejsmicznej w obszarze górniczym kopalń nie posiadających własnych sieci sejsmicznych. Przykładem jest prowadzony od wielu lat monitoring obszaru górniczego ZG Sobieski³⁵ oraz rozpoczęta w 2012 r. obserwacja w ZG Janina³⁶.

Na podstawie ciągłego monitoringu aktywności sejsmicznej w GZW przez GRSS opracowuję od lat dziewięćdziesiątych w ramach działalności statutowej „**Bank wstrząsów górotworu**”³⁷. Bank ten składa się z bazy cyfrowych sejsmogramów oraz z bazy parametrów sejsmologicznych wstrząsów górotworu. Parametry wstrząsów obejmują datę i czas wystąpienia zjawiska, energię sejsmiczną, magnitudę, współrzędne epicentrum w układzie Sucheń Góry, nazwę pokładu, wyrobiska i kopalni. Aktualnie bank zawiera parametry sejsmologiczne ponad 56 000 silnych wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J z okresu 1977 – 2011 r. Dane te przekazywane są Instytutowi Geofizyki Polskiej Akademii Nauk i wykazywane następnie w światowych biuletynach sejsmologicznych oraz w formie opracowań naukowych i zestawień udostępniane są innym instytucjom naukowo-badawczym (Uniwersytet Śląski, Politechnika Krakowska, Politechnika Wrocławska, Politechnika Częstochowska) a także organom nadzoru górniczego (Wyższy Urząd Górniczy, Okręgowe Urzędy Górnicze) i lokalnym władzom administracyjnym (Urzędy Miast i Gmin). Z wymienionymi instytucjami istnieje ścisła współpraca w ramach projektów badawczych oraz prac użytecznych. Archiwizowana przeze mnie baza sejsmogramów wstrząsów oraz ich parametrów sejsmologicznych była wykorzystana do bardzo wielu analiz dotyczących charakterystyki aktywności sejsmicznej w GZW, wykonywanych pod moim kierownictwem

³⁴Stec K., 2001: „*Metody obliczania energii sejsmicznej - rozwój metod i stan aktualny*”, w: Monografia: „*Badania geofizyczne w kopalniach*” (Dubieński J., Pilecki Z., Zuberek W. (red), Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, str. 103–116.

³⁵Stec K. i inni, 2001 ÷ 2011: „*Opracowanie parametrów sejsmologicznych zarejestrowanych wstrząsów górotworu w rejonie OG PKW S.A. ZG Sobieski*”. Dokumentacje prac badawczo-usługowych GIG dla ZG Sobieski z lat 2001 ÷ 2011.

³⁶Stec K. Lurka A., 2012: „*Monitorowanie wstrząsów w rejonie ścian pokładu 2007 w partii G przy pomocy systemu obserwacji sejsmologicznej SOS*”. Praca badawczo-usługowa GIG w realizacji.

³⁷Stec K., 2011: „*Bank wstrząsów górotworu w GZW w 2011 roku*”, Dokumentacja pracy badawczej GIG, nr 11834052-123 (przykład dokumentacji).

w zakresie działalności statutowej GIG, oraz przez zespoły badawcze GIG w projektach badawczych własnych, celowych i zamawianych jak i w opracowaniach dla potrzeb przemysłu węglowego. Przykładowo, dane te w celu prognozy aktywności sejsmicznej w rejonach projektowanej eksploatacji, od bardzo wielu lat są wykorzystywane przy opracowaniu Kompleksowych Projektów Eksploatacji wykonywanych przez Zakład Geologii i Geofizyki oraz Zakład Tapań GIG.

Od 2010 roku na podstawie moich analiz, zestawienie parametrów wysokoenergetycznych wstrząsów o magnitudzie $M \geq 2,2$ wykazywane jest na stronie internetowej www.grss.gig.eu/pl/ dotyczącej Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej, przez co dostępne jest dla szerokiej rzeszy odbiorców.

Ogólną charakterystykę aktywności sejsmicznej w GZW opartą o dane z banku silnych wstrząsów przedstawiłam w Pracach Naukowych GIG „*Górnictwo i Środowisko*” – publikacja z 2002 r. pt.: „*Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*”³⁸ i z 2007 r. pt.: „*Skala zagrożenia sejsmicznego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*”³⁹ oraz w Przeglądzie Górniczym – publikacja pt.: „*Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego - 30 lat ciągłej obserwacji przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną*”⁴⁰. Analizy te wykazały, że aktywność sejsmiczna nie występuje na całym obszarze GZW. Epicentra wstrząsów górotworu występują w rejonach należących do różnych jednostek strukturalnych charakteryzujących się stosunkowo głębokim zaleganiem pokładów węgla, występowaniem w ich otoczeniu mocnych i grubych kompleksów piaskowcowych oraz silnie rozwiniętą tektoniką. Jednostkami tymi są: niecka bytomska, siodło główne, niecka kazimierzowska, niecka główna, niecka jejkowicka. Poziom aktywności sejsmicznej w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego wieku w GZW był bardzo wysoki. Występowało od 2000 do blisko 4000 wstrząsów górotworu roczne, wśród których kilkadziesiąt zjawisk charakteryzowało się energią sejsmiczną $E \geq 10^7$ J. Średnia liczba tąpnięć w tym okresie wynosiła ponad 20 rocznie. Od 1989 roku miała miejsce wyraźna trwająca do 1995 roku tendencja zniżkowa w ilości występujących wstrząsów (około 550 zjawisk rocznie). Od 1996 roku do 2003 obserwuje się wzrost liczby wstrząsów górotworu. Poziom aktywności sejsmicznej w okresie 1996 – 2006 ulegał zmianom. Od 1997 do 2003 wykazywał wzrost, jednak w 2004 roku zaznaczył się wyraźny spadek ilości zjawisk o energii $E \geq 10^5$ J, wystąpiły tylko 973 wstrząsy. Natomiast w 2005 roku wystąpiło 1451 wstrząsów a w 2006 r. 1172 zjawiska. Zjawisko zmniejszenia się ilości wstrząsów w porównaniu z latami osiemdziesiątymi ubiegłego stulecia można tłumaczyć zmniejszającym się wydobywaniem węgla oraz szeroką profilaktyką tapaniową obejmującą dobór odpowiednich systemów i metod eksploatacji oraz sposobu kierowania stropem a także odprężanie górotworu przez stosowanie metod aktywnych (strzelania wstrząsowe, nawadnianie pokładów, ukierunkowanie hydroszczelinowanie). Najaktywniejszym sejsmicznie rejonem był rejon uskoku kłodnickiego w siodle głównym. Drugim rejonem była niecka bytomska do momentu występowania tam wzmożonej eksploatacji górniczej czyli do 2000 r. W kopaniach zlikwidowanych sejsmiczność nie występowała, natomiast w pozostałych po roku 2000 nasilała się w miarę pogorszenia się warunków wydobywania

³⁸Stec K., 2002: „*Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*”, *Górnictwo i Środowisko*, Prace Naukowe GIG nr 3, str. 43–58.

³⁹Stec K., 2007: „*Skala zagrożenia sejsmicznego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*”, *Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko* nr 3/2007, str. 22-75.

⁴⁰Stec K., 2007: „*Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego – 30 lat ciągłej obserwacji przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną*”, *Przegląd Górniczy* 7-8, Katowice, str. 14–22.

(zwiększanie głębokości eksploatacji, eksploatacja w strefach uskokowych, filarach ochronnych, resztkach).

Do analizy aktywności sejsmicznej zastosowałam również specjalistyczne metody statystyczne, które poznałam w latach 2009 – 2010 podczas dwu semestralnych studiów podyplomowych na Politechnice Śląskiej z zakresu statystyki. Wiedzę z zakresu analizy statystycznej wykorzystałam w badaniach prowadzonych pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Antoniego Kidybińskiego w ramach projektu badawczo-rozwojowego Nr R0900701 pt.: **„Klasyfikacja stateczności górotworu przy obciążeniach statyczno-dynamicznych wraz z metodą i instrukcją doboru stalooszczędnej obudowy wyrobisk korytarzowych w aktywnych sejsmicznie obszarach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego”**. Wyniki analiz tych zostały opublikowane w Przeglądzie Górniczym w artykule pt.: **„Statystyczne określenie zależności między aktywnością sejsmiczną górotworu a parametrami eksploatacji górniczej na przykładzie kopalń eksploatujących w siodle głównym Górnośląskiego Zagłębia Węglowego”**⁴¹. Artykuł przedstawia korelację wysokoenergetycznej aktywności sejsmicznej od technicznych parametrów eksploatacji przy wykorzystaniu metod statystycznych. Analizą objęto okres występowania silnych wstrząsów górotworu w latach 1997 – 2006 w kopalniach eksploatujących w rejonie uskołu kłodnickiego: Bielszowice, Halemba, Śląsk, Pokój, Wirek, Wujek. Analizę korelacyjną danych sejsmologicznych oraz czynników górniczych wykonano dwoma metodami statystycznymi, a mianowicie regresją krokową i regresją wielokrotną. Metody te pozwalają na wykrycie prawidłowości zachodzących w zbiorach opisanych dużą liczbą zmiennych. Wyniki regresji krokowej wykazały, że istotny wpływ na występowanie aktywności sejsmicznej mają: objętość i powierzchnia zrobów danej ściany, postępowanie frontu, głębokość zalegania pokładu i długość wyrobisk ścianowych. Nie mają wpływu natomiast takie parametry jak: wysokość ściany, miąższość pokładu i kąt nachylenia pokładu. Na podstawie przeprowadzonej regresji wielokrotnej stwierdzono, że ilościowa korelacja parametrów aktywności sejsmicznej z poszczególnymi technicznymi parametrami eksploatacji uwzględnianymi łącznie nie ma wysokich współczynników korelacyjnych i przedstawia tylko pewien trend zmienności. Uzyskano natomiast po uśrednieniu parametrów aktywności sejsmicznej dobrą korelację pomiędzy poszczególnymi parametrami aktywności sejsmicznej liczonymi oddzielnie tylko dla jednego parametru. Poziom aktywności sejsmicznej rośnie wraz ze wzrostem objętości i powierzchni pokładu zrobów danej ściany, wzrostem postępu frontu, głębokości zalegania pokładu i wzrostem długości wyrobisk ścianowych. Istotnym argumentem przemawiającym za podejmowaniem tego typu analiz jest wskazanie dodatkowej metody dla celów prognostycznych. Wykazałam że metoda ta, oparta na statystycznej analizie danych empirycznych może być przydatną dla oceny zagrożenia sejsmicznego w projektowanych rejonach eksploatacyjnych. Ponadto rezultatem badań ww. projekcie jest wykazanie przeze mnie wyraźnych zależności poziomu aktywności sejsmicznej od budowy geologicznej GZW. Zależności te zostały przedstawione w rozdziale pt.: **„Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jej związek z geologicznymi właściwościami górotworu i parametrami eksploatacji”**⁴² zawartym w monografii **„Stateczność górotworu obudowy przy łącznym obciążeniu statycznym i dynamicznym”**. Analiza budowy litologicznej górotworu wykazała, że górotwór ze względu na charakterystykę warstw piaskowcowych w aspekcie jego zdolności do indukowania wstrząsów sejsmicznych można podzielić na trzy typy. Górotwór typu I występuje

⁴¹ Stec K., 2008: *„Statystyczne określenie zależności między aktywnością sejsmiczną górotworu a parametrami eksploatacji górniczej na przykładzie kopalń eksploatujących w siodle głównym Górnośląskiego Zagłębia Węglowego”*, Przegląd Górniczy 4, Katowice, str.26–34.

⁴² Stec K., 2009: *„Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jej związek z geologicznymi właściwościami górotworu i parametrami eksploatacji”*, [w]: *Stateczność górotworu obudowy przy łącznym obciążeniu statycznym i dynamicznym* (red. A. Kidybiński), Wyd GIG, Katowice, str. 8-45.

w kopalniach eksploatujących obszar niecki bytomskiej oraz południowym skłonie siodła głównego. Charakteryzuje się naprzemianległymi ławicami piaskowców gruboziarnistych, średnioziarnistych i drobnoziarnistych, wśród których występują pokłady węgla oraz ilowce i mułowce. Aktywność sejsmiczna tego typu górotworu występowała podczas eksploatacji prowadzonej w warstwach siodłowych, rudzkich i porębskich. Jako potencjalne warstwy wstrząsogenne w 150 m profilu wyzwalające wstrząsy o energiach powyżej 10^5 J zaliczono 5 warstw piaskowców o miąższościach od 10 – 30 m i wytrzymałościach na jednoosiowe ściskanie od 48 – 92 Mpa, których średni procentowy udział wynosi 67 %. Górotwór typu II występuje w niecce głównej. Warstwy piaskowcowe w tym rejonie GZW charakteryzują się dużymi miąższościami w zakresie od 30 – 100 m ale bardzo niską wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie w granicach od 16 – 30 MPa (średnio 20 MPa) jak dla tego typu utworów co wskazuje, że utwory te nie są zdolne do wydzielania bardzo wysokoenergetycznych wstrząsów. Jednak wysokoenergetyczne wstrząsy o energiach powyżej 10^5 J występowały głównie podczas eksploatacji warstw łaziskich. W tym rejonie pomimo występowania wysokoenergetycznych wstrząsów o energii rzędu 10^7 – 10^9 J, zagrożenie tapaniami poszczególnych pokładów nie jest duże. Ogniska tych wstrząsów wg analizy ekspertów ds. tapani położone są wysoko nad eksploatowanymi pokładami, głównie w pobliżu występujących struktur tektonicznych. Górotwór typu III określono dla eksploatacji prowadzonej w niecce jejkowickiej, gdzie zasadnicze znaczenie dla poziomu aktywności sejsmicznej ma obecność warstw piaskowcowych o dużych miąższościach i wytrzymałościach na jednoosiowe ściskanie (średnio 75 MPa) zalegających w dużych odległościach wynoszących od 200 – 300 m od prowadzonej eksploatacji. Sumowanie się wpływów wielopokładowej eksploatacji poniżej tych warstw powoduje ich załamywanie się i generowanie wysokoenergetycznych wstrząsów o energii rzędu 10^7 , 10^8 J. Zjawiska te nie powodują bezpośredniego zagrożenia eksploatowanych pokładów ale mocno są odczuwane na powierzchni. Wyniki te są niezwykle przydatne dla prognozy aktywności sejsmicznej wykonywanej dla oceny zagrożenia sejsmicznego związanego z projektowaniem przyszłej eksploatacji górniczej. Prognozę taką należy wykonywać w zależności od typu górotworu i okresu planowanej eksploatacji dwoma metodami. Dla górotworu typu I można stosować zależności empiryczne oparte na analizie warunków geologiczno-górnich i czasoprzestrzennym projekcie eksploatacji. W przypadku górotworu typu II i III na podstawie analizy danych z przeszłości przy wykorzystaniu rozkładów probabilistycznych można obliczyć statystyczne wskaźniki pozwalające na ocenę globalnego zagrożenia sejsmicznego w danym rejonie.

Zagrożenie sejsmiczne w GZW pomimo spadku wydobycia węgla od kilkunastu lat utrzymuje się na wysokim poziomie w związku ze zmniejszającymi się zasobami kopalń i wynikającą stąd koniecznością wybierania węgla z parcel uprzednio pomijanych bądź z partii resztkowych. Informacje o poziomie zagrożenia oraz o postępie naukowo-technicznym w metodzie sejsmologii górniczej przedstawiane były przeze mnie od 1998 r. do nadal, w rocznych raportach pt.: „**Raport o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego**”⁴³. Raporty te zawierają dane statystyczne o poszczególnych zagrożeniach między innymi zagrożeniu sejsmicznym oraz informację o postępie naukowo-technicznym w tej metodzie.

⁴³Stec K., 1997 – 2011: „Zagrożenie sejsmiczne” [w:]„Raport o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego” (red) W. Knopko, Wyd GIG, Katowice.

III. Badania nad rozwojem nowych metod interpretacyjnych dla oceny zagrożenia sejsmicznego

Prowadząc badania aktywności sejsmicznej w GZW brałam udział w badaniach, które przyczyniły się do opracowania nowych metod interpretacyjnych mających na celu doskonalenie seismologicznych kryteriów oceny stanu zagrożenia sejsmicznego. Przy koncepcji opracowania nowych technik interpretacyjnych wykorzystałam doświadczenie zawodowe oraz wieloletnie wyniki badań własnych. W zespole, którego byłam członkiem realizowane były rozwiązania projektowe, techniczne i metodyczne związane z opracowaniem i wdrożeniem nowoczesnych sieci seismologicznych do kopalń podziemnych^{44, 45}. Opracowany nowy system obserwacji seismologicznych SOS działa w kilku kopalniach. Badania te prowadzone były w ramach działalności statutowej⁴⁶ oraz w latach 2007 – 2008 w ramach realizacji europejskiego projektu badawczego w programie RFCS (contract RFCS-CT-2005-00001), pt.: „**Advances In Exploration Methods and Applications –ADEMA**”. Nowoczesna aparatura pomiarowa o odpowiedniej dynamice wraz z odpowiednim oprogramowaniem do analizy wstrząsów stworzyła możliwości wdrożenia nowych metod interpretacyjnych do standardowo prowadzonych analiz w kopalnianych sieciach seismologicznych. Metody m.in. takie jak obliczanie parametrów źródła, współczynnika tłumienia fal i dobroci, wykorzystane zostały w wielu pracach badawczo-usługowych mających na celu poprawę lokalizacji ognisk wstrząsów oraz wyznaczenia ich energii. Przykładem może być analiza wykonana dla kopalni Szczygłowice-Knurów⁴⁷. Głównym celem opracowanych metod była poprawa bezpieczeństwa w kopalniach.

W latach 2009 - 2011 brałam czynny udział w pracach dotyczących weryfikacji i opracowania nowych seismologicznych kryteriów oceny stanu zagrożenia tąpnięciami prowadzonych w wieloletnim zadaniu badawczym pt.: „**Rozwój nowych metod prognozy zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciami z wykorzystaniem rejestracji wstrząsów**”⁴⁸ oraz w projekcie własnym nr MNiSW-R0903003 pt.: „**Metoda oceny stanu zagrożenia tąpnięciami wyrobisk górniczych w zakładach wydobywających węgiel kamienny**”

Na podstawie prowadzonych analiz zostały zweryfikowane obowiązujące od kilkunastu lat w kopalniach seismologiczne kryteria oceny stanu zagrożenia tąpnięciami. Zespół autorski z moim udziałem opracował nowe kryteria, które zawarte zostały w załączniku nr 2 pt.: „**Metoda seismologii górniczej oceny stanu zagrożenia sejsmicznego i tąpnięciami**” do Instrukcji GIG nr 22 pt.: „**Zasady stosowania metody kompleksowej i metod szczegółowych oceny stanu zagrożenia tąpnięciami w kopalniach węgla kamiennego**”. Wymieniona Instrukcja obowiązująca we wszystkich kopalniach, w których występuje

⁴⁴Dubiński J., Mutke G., Stec K., 1999: „*Rozwiązania w seismologii górniczej poprawiające efektywność oceny stanu zagrożenia sejsmicznego*”, Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Geologia t.25, Kraków, str. 45 – 58.

⁴⁵Mutke G. Lurka A. Stec K., 2005: „*Aktualne rozwiązania w metodzie seismologii górniczej poprawiające efektywność oceny zagrożenia sejsmicznego*”. Wyd. WUG Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 8 (132), str. 37 – 43.

⁴⁶Mutke G. Lurka A. Stec K., Logiewa H., 2006, 2007: „*Opracowanie nowej, kompleksowej metody z wykorzystaniem technik informatycznych i urządzeń geofizycznych do oceny zagrożenia sejsmicznego w kopalniach głębinowych*”, Praca badawcza GIG nr. 12010466-120, Katowice.

⁴⁷Lurka A. i zespół, 2009: „*Wykonanie opracowania optymalizacji sieci seismometrycznej w odniesieniu do aktualnie prowadzonej i projektowanej eksploatacji wraz z wykonaniem badań parametrów źródła z obliczeniem współczynnika tłumienia fal sejsmicznych oraz współczynnika dobroci dla KWK Knurów-Szczygłowice Ruch Knurów*”. Praca badawczo-usługowa GIG, nr 58154959-123.

⁴⁸Mutke G., i zespół 2009 – 2011: „*Rozwój nowych metod prognozy zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciami z wykorzystaniem rejestracji wstrząsów*”, Praca badawcza GIG nr 11020299-120.

zagrożenie tąpnięciami jest podstawą oceny i prognozy zagrożenia tąpnięciami w oparciu o rejestracje prowadzone przez Kopalniane Stacje Sejsmologiczne.

IV. Badania oceny intensywności oddziaływania wstrząsów górniczych na zabudowę powierzchni

Kolejnym istotnym zagadnieniem związanym z moją pracą naukową było prowadzenie badań dotyczących prognozy parametrów drgań powierzchni do oceny intensywności oddziaływania wstrząsów górniczych na zabudowę powierzchni. Badania tego typu podjęłam ze względu na to, że w GZW występowały i nadal występują wstrząsy górotworu o wysokiej energii, które są przyczyną uszkodzeń budynków i powodują duże zaniepokojenie mieszkańców. Od kilkunastu lat brałam udział w pracach mających na celu określenie czynników geologicznych i fizycznych parametrów wstrząsów wpływających na efekt sejsmiczny na powierzchni. W latach 1999 – 2001 prowadzony był pod moim kierownictwem projekt badawczy nr PB9T12B04117 pt.: „*Geologiczne przyczyny wzmacniania drgań w nadkładzie serii węglowej na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*”⁴⁹ dotyczący określenia czynników geologicznych mających wpływ na zjawisko amplifikacji drgań gruntu pochodzących od wstrząsów górotworu oraz pośrednich metod jego szacowania na drodze rozwiązań analitycznych. Badania polegały na pomiarach prędkości fal sejsmicznych w strefie przypowierzchniowej oraz pomiarach amplitud prędkości drgań na powierzchni terenu i na twardym podłożu w kilku wybranych rejonach GZW. Uzyskane wyniki badań przedstawione również w 2002 r. na **XXVIII Czesko-Polsko-Słowackiej Konferencji Geofizyki Górniczej** i opublikowane w Materiałach Polskiej Akademii Nauk⁵⁰ dały możliwość dokonywania bardziej wiarygodnych prognoz zagrożenia sejsmicznego dla zabudowy powierzchni w GZW. Jednak amplifikacja drgań nie rozwiązywała całkowicie obserwowanych niejednorodności w rozkładzie parametrów drgań na powierzchni opisujących intensywność wstrząsu górniczego. Dlatego w kolejnych, prowadzonych w latach 2003 – 2005 badaniach, zrealizowanych w ramach projektu badawczego własnego nr 5T12A057 24 pt.: „*Analiza wpływu parametrów fizycznych ognisk wstrząsów górniczych na rozkład oddziaływań sejsmicznych na powierzchni*” (kierownik prof. dr hab. inż. Józef Dubiński) było poznanie i wyjaśnienie wpływu innych, dodatkowych czynników na obserwowane anomalie parametrów drgań rejestrowanych na powierzchni. Będąc członkiem zespołu autorskiego w ww. projekcie prowadziłam analizę mającą na celu korelację parametrów mechanizmu ogniska z rozkładem amplitud przyspieszeń drgań gruntu na powierzchni (zredukowanych o współczynnik amplifikacji drgań) na poszczególnych stanowiskach. Analiza ta wskazywała wyraźnie, że przyczyną różnic zarejestrowanych amplitud drgań na stanowiskach o zbliżonej odległości epicentralnej oprócz amplifikacji drgań jest kierunkowość radiacji fal sejsmicznych zależna od mechanizmu ogniska wstrząsu. Częściowe, początkowe wyniki tych prac zostały przedstawione przeze mnie w 2005 r. na Sympozjum „**Warsztaty Górnicze**” z cyklu „**Zagrożenia naturalne w górnictwie**”. Wygłoszony przeze mnie referat, opublikowany w materiałach konferencyjnych oraz jako skrót w Miesięczniku WUG „**Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie**”, został wybrany jako najciekawszy referat, za co otrzymałam wyróżnienie

⁴⁹Stec K. (red) 2001: „*Geologiczne przyczyny wzmacniania drgań w nadkładzie serii węglowej na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*”, Wyd. GIG, Katowice.

⁵⁰Dubiński J., Stec K., 2002: „*Wzmacnianie drgań w warstwie przypowierzchniowej w świetle badań geologicznych i geofizycznych z obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*”, Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. M-27 (352), str. 91 – 105.

„Złotej Lampki”⁵¹. Końcowy efekt prac badawczych zawiera współautorska monografia pt.: „*Oddziaływanie wstrząsów sejsmicznych na powierzchnię w zależności od ich parametrów fizycznych*”⁵² oraz publikacja w materiałach XX Światowego Kongresu Górniczego mającego miejsce w Teheranie w 2005 r.⁵³.

Znajomość sejsmometrycznej aparatury pomiarowej oraz zagadnień związanych z analizą danych pomiarowych pozwoliły mi na reprezentowanie Głównego Instytutu Górniczego w 2006 r. na międzynarodowym konkursie wynalazków „*Concours Lepine*” w Paryżu. Odpowiednie przedstawienie przeze mnie danych technicznych i możliwości interpretacyjnych aparatury AMAX-99 (produkcja GIG, Laboratorium Sejsmologii i Sejsmiki Górniczej) kilkuosobowemu zespołowi oceniającemu, pozwoliło na uzyskanie srebrnego medalu dla tej aparatury. Nadmienić należy, że był to prestiżowy konkurs różnorodnych wynalazków z bardzo wielu krajów.

W kolejnych latach pracy byłem członkiem zespołu badawczego kierowanego przez prof. dr hab. inż. Józefa Dubińskiego, który w wyniku realizacji w latach 2006-2007 pracy badawczej⁵⁴ opracował założenia **Górnicy Skali Intensywności GSI-GZW** stosowanej do oceny drgań wywołanych wstrząsami indukowanymi przez działalność górnictwem. Była to pierwsza w świecie oryginalna empiryczna skala opracowana w wyniku korelacji zarejestrowanych w różnych obszarach GZW parametrów drgań z rzeczywistymi skutkami w budynkach, które wystąpiły od danych wstrząsów. Skala ta została pozytywnie zaopiniowana i dopuszczona do stosowania uchwałą nr 3/2008 Komisji ds. Ochrony Powierzchni przy Wyższym Urzędzie Górniczym. Mój współdziałanie w opracowaniu oraz we wstępnej weryfikacji skali GSI-GZW polegał na obliczeniu parametrów drgań (przyspieszenie, prędkość i czas trwania) dla kilkuset danych sejsmometrycznych i ich korelacji z rzeczywistymi uszkodzeniami w budynkach. Na podstawie tych wyników zostały wyznaczone poszczególne stopnie intensywności wstrząsów. Założenia do skali GSI-GZW (jestem współautorem tej skali) i wyniki oceny drgań gruntu dla wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu zawierają współautorskie publikacje^{55, 56, 57}.

⁵¹Stec K., Denysenko S., 2003: „*Charakterystyka wstrząsów górotworu rejestrowanych w strefie uskoku kłodnickiego – Katowice Panewniki*”, Wyd. WUG Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górniczym 5 (105), Katowice str. 25-27.

⁵²Dubiński J., Stec K., Lurka A., 2005: „*Oddziaływanie wstrząsów sejsmicznych na powierzchnię w zależności od ich parametrów fizycznych*”, Wyd. GIG, Katowice.

⁵³Dubiński J., Stec K., Lurka A., 2005: „*Influence of the mining tremor source radiation directivity on the distribution of the seismic interaction with surface*”, [w:] Proc. 20th World Mining Congress, “Mining and sustainable development”, Teheran, Iran, pp. 889 – 894.

⁵⁴Mutke G. i zespół, 2007: „*Skala oceny oddziaływań wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego na powierzchnię dla obszarów kopalń Kompanii Węglowej*”, Praca badawczo-usługowa GIG, nr 58121526-120, Katowice.

⁵⁵Dubiński J., Mutke G., Stec K., Lurka A., Barański A., 2009: „*Górnicy Skala Intensywności GSI-GZW do oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego w Zakładach Górniczych Kompanii Węglowej S.A. na obiekty budowlane i na ludzi*”. Prace Naukowe GIG Górniczo i Środowisko, Nr 2/2/2009, str. 73 – 90.

⁵⁶Uszko M., Barański A., Mutke G., Stec K., 2009: „*Dwa lata weryfikacji skali intensywności drgań GSI-GZW_{KW} w kopalniach Kompanii Węglowej S.A.*”. Prace Naukowe GIG Górniczo i Środowisko, Nr 4/2/2009, str. 353 – 372.

⁵⁷Stec K., Barański A., 2010: „*Charakterystyka i ocena skutków drgań wstrząsów w kopalniach Kompanii Węglowej S.A. o pikowym przyspieszeniu drgań gruntu powyżej 0,5 m/s²*”. Prace Naukowe GIG Górniczo i Środowisko, Nr 4/4/2010, str. 81 – 100.

Ważnym zagadnieniem na terenie GZW jest prognoza parametrów drgań gruntu (wartość amplitudy prędkości PGV_{H10} , lub przyspieszenia, PGA_{H10} , i czasu trwania) dla oceny ich wpływu na istniejące lub dla nowo projektowane obiekty budowlane. Wspólnie z dr. hab. inż. G. Mutke, prof. GIG opracowałam metodę prognozowania tych parametrów w oparciu o lokalne relacje tłumienia wyznaczone metodą regresji wielokrotnej z uwzględnieniem zredukowanego współczynnika amplifikacji drgań. Założenia opracowanej metody przedstawiłam w 2008 r. i 2010 r. na Konferencjach nt.: „**Bezpieczeństwo i ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych**”. W opublikowanym artykule⁵⁸ przedstawione zostały zasady wykonywania krótkookresowych i długookresowych prognoz wstrząsów górniczych. W górnictwie prognozy krótkookresowe wykonuje się dla bieżącego planu eksploatacji (okres czasu 3 ÷ 5 lat) w oparciu o znajomość warunków geologiczno-górnicznych. Prognozy te wykorzystywane są do oceny potencjalnych skutków projektowanej eksploatacji w zabudowie powierzchniowej, przy wykorzystaniu empirycznych skal intensywności drgań. Wykonuje się je dwuetapowo. W pierwszym etapie wyznaczane jest ryzyko sejsmiczne w aspekcie wyznaczenia energii sejsmicznej wstrząsów. W drugiej kolejności obliczane są parametry drgań podłoża dla prognozowanych wstrząsów. Prognozy długookresowe wykonuje się w oparciu o badania statystyczne rozkładu wartości ekstremalnych, z wykorzystaniem istniejących baz danych o wstrząsach. Prognoza długoterminowa to jedyna prognoza, która może być stosowana do określania parametrów drgań dla warunków projektowanej zabudowy w danym terenie. Normatywy EUROKOD 8 zalecają opracowanie prognozy na okres 50 lub 95 lat, co wydaje się rozsądne również dla sejsmiczności górniczej, uwzględniając czas eksploatacji złoża i żywotność obiektów budowlanych.

Ocenę estymowanych wartości parametru PGA_{H10} z wartościami pomierzonymi zawiera kolejna współautorska publikacja dotycząca tego zagadnienia⁵⁹. W artykule przedstawiono przykład lokalnej prognozy drgań gruntu w oparciu o liniowe relacje tłumienia, opracowane na bazie 650 górniczych wstrząsów eksploatacyjnych zarejestrowanych w obszarze górniczym kopalni Bielszowice dla trzech powszechnie stosowanych w GZW metod:

- zastosowanie regionalnych relacji tłumienia drgań skalnego podłoża i uwzględnienie rozkładu współczynnika amplifikacji drgań obliczonego analitycznie,
- zastosowanie lokalnego wzoru empirycznego z uwzględnieniem czasów trwania głównej fazy drgań i bez uwzględnienia rozkładu współczynnika amplifikacji drgań,
- zastosowanie lokalnego wzoru empirycznego z podziałem na czasy trwania i uwzględnieniem rozkładu zredukowanego współczynnika amplifikacji drgań obliczonego analitycznie.

Weryfikacja ww. metod została wykonana na podstawie wstecznej analizy danych pomiarowych z OG KWK Bielszowice z lat 2007 – 2010 (I półrocze). Prognozowane wartości przyspieszeń drgań gruntu PGA_{H10} porównano z maksymalnymi wartościami pomierzonymi na poszczególnych stanowiskach sejsmometrycznych. Wykazano, że wartości pomiarowe bardzo dobrze korelują się z danymi prognozowanymi wg zależności lokalnych

⁵⁸Mutke G., Stec K., 2008: „*Prognozowanie drgań powierzchni i ich pomiarowa weryfikacja*”. Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko, Nr VI/2008, Katowice, str.331 – 350.

⁵⁹Stec K., Mutke G., 2010: „*Prognoza parametrów drgań powierzchni do oceny intensywności oddziaływania wstrząsów górniczych z wykorzystaniem skali GSI-GZW*”. Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko, Nr 4/1/.2010, str. 322 – 337.

obliczonych dla wstrząsów z podziałem na ich czas trwania po uwzględnieniu zredukowanego współczynnika amplifikacji drgań

Metoda ta ma zastosowanie do prognozowania drgań powierzchni wywołanych wstrząsami górnictwymi w dużej ilości prac badawczych realizowanych na zlecenie przemysłu węglowego oraz do opracowania opinii sejsmologicznych opracowanych na zlecenie sądów.

V. Ocena ryzyka sejsmicznego

W dotychczasowej pracy zajmowałam się także problematyką oceny ryzyka zawodowego wynikającego z występowania zagrożenia sejsmicznego. W 1999 r. ukończyłam kurs w zakresie „**Wprowadzenie do analizy ryzyka**” prowadzony przez AEA Technology-Consulting. W dokumentacji pt.: „**Analiza ryzyka sejsmicznego dla wyrobisk podziemnych i obiektów powierzchniowych**”⁶⁰ opracowanej na bazie pracy naukowo-badawczej GIG przedstawiłam metodę analizy ryzyka sejsmicznego dla infrastruktury powierzchniowej i wyrobisk podziemnych. Praca ta była pierwszym opracowaniem podającym w pełny sposób analizę oceny ryzyka sejsmicznego rozumianego jako funkcję prawdopodobieństwa wystąpienia niebezpiecznych zdarzeń i wynikających z nich skutków (kosztów). Prawdopodobieństwo aktywizacji zagrożenia sejsmicznego dla infrastruktury powierzchniowej określiłam na podstawie rozkładów statystycznych, a dla zagrożenia tąpnięciami zastosowałam metodę opracowaną w Zakładzie Tąpnięć GIG. Skutki wystąpienia prognozowanych zdarzeń w odniesieniu do zabudowy powierzchniowej oszacowane zostały na podstawie map rozkładów przyspieszeń maksymalnych i skali MSK-64, a dla przypadku zagrożenia tąpnięciami oparto się na danych z kopalni. Wyniki tych analiz zostały opublikowane w monografii „**Badania geofizyczne w kopalniach**”⁶¹ Przeprowadzona ocena ryzyka sejsmicznego wykazała celowość podejmowania tego tematu w analizie decyzyjnej w górnictwie, ponieważ zagrożenie sejsmiczne obejmuje wiele aspektów związanych z obiektami powierzchniowymi jak i wyrobiskami podziemnymi. Zaproponowałam przy analizie ryzyka sejsmicznego wyraźnie rozgraniczyć działanie zagrożenia na powierzchnię na terenach górniczych od działania na wyrobiska podziemne ze względu na kategorie skutków. Na podanym przykładzie wybranej kopalni obliczone koszty związane ze stratami poniesionymi w wyniku działania zagrożenia sejsmicznego wynosiły 0,15 % jednostkowej ceny węgla przy uwzględnieniu profilaktyki tąpniowej. Jest oczywiste, że w wyniku działań profilaktycznych mających na celu redukcję zagrożenia tąpnięciami, zagrożeń mogących spowodować określone szkody (katastrofy w kopalniach) jest o wiele mniej. Prowadzenie tego typu działań profilaktycznych jest konieczne, gdyż pozwala unikać ponoszenia dużych kosztów finansowych i humanitarnych.

⁶⁰ Stec K., 1999: „*Analiza ryzyka sejsmicznego dla wyrobisk podziemnych i obiektów powierzchniowych*”. Dokumentacja badawcza GIG, nr 11501009-123, Katowice.

⁶¹ Pilecka E., Stec K., 2001: „*Ocena ryzyka sejsmicznego w analizie decyzyjnej*” [w]: *Badania geofizyczne w kopalniach* (red) J. Dubliński, Z. Pilecki, W. Zuberek, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 163-169.

6. Informacja o całości publikacji

Wyniki wspólnych i własnych badań publikowane zarówno w czasopismach krajowych jak i zagranicznych, przedstawiane były w formie referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych.

W okresie przed doktoratem byłam współautorką 4 publikacji, z czego 2 to publikacje w czasopismach zagranicznych.

Po doktoracie byłam autorką lub współautorką 70 publikacji (w tym 13 publikacji samodzielnych) w czasopismach naukowych krajowych i zagranicznych. Część artykułów i oryginalnych prac naukowych opublikowana została w języku angielskim (15 artykułów).

Łączna ilość punktów obliczona zgodnie z Komunikatem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w sprawie wykazu czasopism naukowych, z dnia 17.09.2012 r., za całość publikacji wynosi 260.

W czasopismach z listy filadelfijskiej opublikowane zostało 5 artykułów, w tym 2 artykuły samodzielne.

Sumaryczny *impact factor* według listy Journal Citation Reports wynosi 5.265

Moje prace cytowane były w czasopismach zagranicznych i krajowych.

W czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej całkowita lista cytowań według bazy „Web of Science” wynosi 8.

Indeks Hirscha opublikowanych publikacji wg. „Web of Science” jest równy 2.

W czasopismach krajowych całkowita liczba cytowań wynosi 107.

W recenzowanych materiałach konferencji międzynarodowych zamieszczonych zostało 6 artykułów współautorskich i jeden samodzielny.

W recenzowanych materiałach konferencyjnych krajowych ukazało się 12 artykułów, których jestem współautorką.

Jestem autorką lub współautorką kilkunastu rozdziałów w 13 monografiach.

Zestawienie tabelaryczne oraz wykaz wszystkich publikacji zestawionych w poszczególnych grupach przedstawione jest w załączniku nr 7 do wniosku.

Byłam proszona o recenzję artykułów w czasopismach naukowych. Wykonywałam recenzje artykułów do czasopisma Acta Geodynamika et Geomaterialia Czeskiej Akademii Nauk, Prac Naukowych Głównego Instytutu Górnictwa oraz do materiałów konferencyjnych.

7. Wykaz krajowych i międzynarodowych projektów badawczych oraz ważniejszych prac badawczych realizowanych w GIG

Doświadczenie zawodowe i rezultaty prowadzonych przeze mnie badań naukowych umożliwiły mi uczestnictwo w realizacji 12 krajowych projektów badawczych. W trzech z nich byłam kierownikiem zespołu realizującego projekt. Wykaz projektów poniżej.

Typ	Tytuł projektu	Numer	Charakter udziału	Termin wykonania
Projekt własny	Metoda określania krótkoterminowych prekursorów wstrząsów górniczych na podstawie obserwacji sejsmologicznych w poszerzonym paśmie częstotliwości	9T12A 04811	Kierownik	1998 r.
Projekt własny	Opracowanie zasad wykorzystania pomocniczych metod rozpoznania stanu zagrożenia tąpnięciami - geotomografia i metody analityczne w ocenie kompleksowej	09/T12/96/11	Główny wykonawca	1998 r.
Projekt własny	Geomechaniczne i sejsmologiczne modele ognisk wstrząsów górniczych	9T12A00710	Główny wykonawca	1999 r.
Projekt własny	Geologiczne przyczyny wzmacniania drgań w nadkładzie serii węglowej na obszarze GZW	9T12B04117	Kierownik	2001 r.
Projekt własny	Charakterystyka i prognoza drgań sejsmicznych na wyrobiska zlokalizowane w obszarze występowania ognisk wstrząsów	PB9T12A0601 9	Główny wykonawca	2003 r.
Projekt własny	Analiza wpływu parametrów fizycznych ognisk wstrząsów górniczych na rozkład oddziaływań sejsmicznych na powierzchni	PB5T12A0572 4	Główny wykonawca	2005 r.
Projekt celowy	Systemy oceny oddziaływań sejsmicznych na powierzchnię wywołanych przez eksploatację złoża rud miedzi w zakładach górniczych LGOM	6T1200632002 C/05870	Wykonawca	
Projekt własny	Metoda oceny stanu zagrożenia tąpnięciami wyrobisk górniczych w zakładach wydobywających węgiel kamienny	PB2-KBN- 104/T12/203	Wykonawca	2010 r.
Projekt zamawiany	Geneza i charakterystyka zagrożenia sejsmicznego w GZW	PBZ-KBN- 104/T12/2003	Wykonawca	2010 r.
Projekt rozwojowy	Klasyfikacja stateczności górotworu przy obciążeniach statyczno-dynamicznych wraz z metodą i instrukcją doboru stalooszczędnej obudowy wyrobisk korytarzowych w aktywnych sejsmicznie obszarach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego	R0900701	Wykonawca	2009 r.
Projekt rozwojowy	Metoda oceny stanu zagrożenia tąpnięciami wyrobisk górniczych w zakładach wydobywających węgiel kamienny	R0903003	Wykonawca	2010 r.
Projekt własny	Wykorzystanie parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów w modelowaniu numerycznym stanu naprężeniowo-deformacyjnego w strefach zagrożenia sejsmicznego	N N524360838	Kierownik	w realizacji

Ponadto brałam udział w pracach badawczych realizowanych w ramach współpracy międzynarodowej.

W latach 1991 –1997 byłam członkiem zespołu realizującego badania w ramach funduszu *Polish-American Maria Skłodowska-Curie Joint Fund I and II* (współpraca badawcza pomiędzy Zakładem Geologii i Geofizyki GIG a Burea of Mines USA) w temacie:

„Dynamic Phenoma – rockbursts and outbursts in coal mine”

a w kolejnych latach brałam udział w realizacji **3 projektów europejskich**:

- Projekt europejski **“Advance in exploration methods and Applications” ADEMA**, (contract RFCS-CT-2005-00001), zakończony 2010,
- Projekt europejski **“Development of Novel Technologies for Predicting and Combating Gas Outbursts and Uncontrolled Emissions In Trick Seam Coal Mining”** - projekt w ramach funduszu Badawczego Węgla i Stali (koordynator ze strony GIG - dr hab. inż. G. Mutke prof. GIG), w realizacji.
- Projekt europejski **“Complex mining eksploataction: optimizing mine design and reducing the impact in humain environment” COMEX** (kontrakt RFCR-CT-2012-00003) - projekt w ramach funduszu Badawczego Węgla i Stali (koordynator ze strony GIG - dr hab. inż. G. Mutke prof. GIG), w realizacji, w realizacji.

W całym okresie pracy w Głównym Instytucie Górnictwa brałam czynny udział w badaniach wykonywanych w ramach prac statutowych. Jako przykład najważniejszych badań prowadzonych pod moim kierownictwem mogę zaliczyć następujące tematy:

- „Monitoring i analiza aktywności obszaru GZW przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną GIG”, coroczne dokumentacje z lat 1996 – 2004,
- „Utrzymanie i rozwój metodologiczny oraz aparaturowy Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej”, coroczne dokumentacje z lat 2000 – 2011,
- „Bank wstrząsów górotworu i tępai w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym”, coroczne dokumentacje z lat 2000 – 2011,
- „Zastosowanie poszerzonej interpretacji sejsmologicznej w wybranej kopalni – wyznaczenie parametrów opisujących ognisko wstrząsu i strefę ogniskową dla lepszej charakterystyki ryzyka sejsmicznego”, 2003,
- „Modernizacja Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej – inwestycja aparaturowa” coroczne dokumentacje z lat 2008 – 2009,
- „Określenie lokalnego pola naprężeń na podstawie badań mechanizmu ognisk wstrząsów górotworu”, 2009,
- „Określenie stanu naprężeń w strefach zagrożenia sejsmicznego z wykorzystaniem parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów”, 2010,
- „Wykorzystanie parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów do oceny stanu naprężeń w strefach zagrożenia sejsmicznego”, 2011.

Praca „Wykorzystanie parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów do oceny stanu naprężeń w strefach zagrożenia sejsmicznego” z 2011 r. została oceniona przez Komisję Odbiorów Prac GIG jako najlepszą pracę stanowiącą osiągnięcie naukowe.

Jestem również autorem lub współautorem kilkudziesięciu opracowań badawczo-usługowych. Poniżej przedstawiam kilka prac z ostatnich lat, dotyczących kilku różnych zagadnień.

- Projekt typu foresight – „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywania i przetwórstwa węgla brunatnego” – zadanie 10.1 „Ocena zagrożeń sejsmicznych w rejonie udostępnienia i usytuowania wkopu i zwałowiska złoża Legnica”, 2007, główny autor,
- „Ocena i prognoza zjawisk sejsmicznych w rejonie kopalni Bełchatów – aktualizacja i weryfikacja”, 2008, 2011, członek zespołu,
- „Geofizyczna analiza dwóch wysokoenergetycznych wstrząsów z KWK „Knurów-Szczygłowice” – obliczenie mechanizmu ognisk i parametrów źródła”, 2010, kierownik pracy,
- „Optymalizacja systemu pomiarowego sieci sejsmologicznej w KW S.A. Oddział KWK „Bobrek-Centrum” Ruch „Bobrek” wraz z wyznaczeniem prędkości kierunkowych z poszczególnych rejonów sejsmicznych do stanowisk sejsmometrycznych oraz wyznaczenie funkcji tłumienia górotworu (współczynnika dobroci)”, 2009, członek zespołu,
- Wykonanie badań parametrów źródła sejsmicznego wraz z obliczeniem współczynników tłumienia fal sejsmicznych oraz współczynnika dobroci w KWK „Bobrek-Centrum”, 2011, członek zespołu,
- „Wykonanie badań parametrów źródła sejsmicznego wraz z obliczeniem współczynników tłumienia fal sejsmicznych w KWK Knurów”, 2010, członek zespołu,
- „Prognoza oddziaływania wstrząsów górniczych na obiekty powierzchniowe dla projektowanej eksploatacji kopalń OKD a.s. w latach 2011–2013 z uwzględnieniem Górniczej Skali Intensywności drgań GSI”, 2010, członek zespołu,
- „Określenie parametrów drgań wywołanych wstrząsami górotworu oraz ich wpływu na powierzchnię terenu objętego oddziaływaniem eksploatacji KW S.A. Oddział KWK „Marcel” w okresie 2008 r. i 2009 r.”, członek zespołu,
- „Skala oceny oddziaływań wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego na powierzchnię dla obszarów kopalń Kompanii Węglowej, 2006–2007 członek zespołu.

8. Udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych

Wielokrotnie reprezentowałam Instytut na konferencjach i sympozjach zarówno w kraju jak i za granicą gdzie przedstawiałam wyniki badań własnych i zespołowych. Brałam udział w 19 międzynarodowych i w 19 krajowych konferencjach naukowych, na których wygłosiłam 24 referaty. Część z tych konferencji odbywało się cyklicznie. Pełny wykaz konferencji wraz z informacją o moim udziale przedstawiony jest w **załączniku 7** do Wniosku.

Ogólne podsumowanie przedstawiam poniżej.

W 1997 roku uczestniczyłam w światowej konferencji **„Rockburst and Seismicity in Mines”** RaSiM4 odbywającej się w Krakowie, na której wygłosiłam referat pt.: *„Seismicity in the Upper Silesian Coal Basin, Poland: Strong regional seismic events”* a w 2009 roku przedstawiłam poster nt.: *“Characteristics of the processes taking place at the sources of high energy tremors occurring in the Upper Silesian Coal Basin in Poland – regional character of the phenomenon”* na konferencji z tego samego cyklu **„Rockburst and Seismicity in Mines”** RaSiM7 odbywającej się w Dalian (Chiny).

W 2006 roku brałam udział w „**First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology**” w Genewie.

Zagadnienia na tych konferencjach przedstawiane przez sejsmologów z całego świata dotyczyły różnych metod badawczych i wyników analiz trzęsień ziemi, górniczej aktywności sejsmicznej i tąpnięć oraz analiz geomechanicznych.

Od 1994 r. uczestniczyłam w 9 cyklicznie odbywających się **Czechosłowacko-Polskich** a następnie **Polsko-Czesko-Słowackich Sympoziach na temat „Geofizyki Górniczej”**. Konferencje te odbywały się na zmianę w Polsce i Republice Czeskiej. Na konferencjach tych wygłosiłam 6 referatów.

Kolejnym cyklem Konferencji, w których brałam udział od 1994 r. były Konferencje Naukowo-Techniczne organizowane przez Główny Instytut Górnictwa z cyklu „**Tąpnięcia**” Wzięłam udział w 10 konferencjach, na których wygłosiłam 8 referatów i w 2012 r. miałam wykład na temat „*Wykorzystanie rozwiązania mechanizmu ognisk wstrząsów w charakterystyce oddziaływania sejsmiczności indukowanej na wyrobiska podziemne i infrastrukturę powierzchniową*”.

Brałam również udział w 8 konferencjach z cyklu „**Warsztaty Górnicze**” organizowanych przez Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk. Na konferencjach tych przedstawiłam 3 referaty, 2 postery i w 2009 r. miałam jeden wykład zamawiany na temat „*Mechanizm ogniska wstrząsu i sposób jego wyznaczenia*”.

Głównym celem konferencji z cykli „**Tąpnięcia**” jak i „**Warsztaty**” była prezentacja stanu badań w zakresie nauk górniczych i geofizycznych oraz wymiana doświadczeń pomiędzy instytucjami naukowymi a przedstawicielami przemysłu górniczego.

Byłam również współorganizatorem i uczestnikiem 5 konferencji organizowanych przez Główny Instytut Górnictwa dotyczących zagadnień geologii, hydrogeologii i geofizyki w rozwiązywaniu problemów współczesnego górnictwa i ochrony środowiska. Na konferencjach tych wygłosiłam 3 referaty.

W latach 2009 i 2010 uczestniczyłam w organizacji dwóch sympoziów dotyczących wymiany doświadczeń z stosowania Górniczej Skali Intensywności (GSI-GZW) do oceny wpływu wstrząsów na infrastrukturę powierzchni.

Zagadnienia bezpieczeństwa i ochrony obiektów budowlanych na terenach górniczych były prezentowane przeze mnie na jednej konferencji.

9. Działalność popularyzująca naukę i osiągnięcia dydaktyczne oraz organizacyjne

Czynny udział w konferencjach polegający na wygłoszeniu referatów oraz współuczestnictwie w ich organizowaniu przedstawiłam w punkcie 8 oraz w szczegółowym wykazie znajdującym się w załączniku 7 do Wniosku.

Zagadnienia związane z zastosowaniem nowych rozwiązań w metodzie sejsmologicznej do praktyki górniczej przedstawiałam od kilku lat na kursach pt.: „**Dla nowo zatrudnionych**”

osób dozoru ruchu, których zakres czynności obejmuje sprawy zagrożenia tąpniętami oraz dla dyspozytorów stacji geofizyki górniczej” organizowanych raz w roku przez Główny Instytut Górnictwa dla kadry inżynierskiej kopalń.

W roku 2010 r. byłam zaproszona przez EMAG do wygłoszenia wykładu dla kilku osobowej delegacji kopalń z Ukrainy, dotyczącego możliwości interpretacyjnych w sejsmologii górniczej przy zastosowaniu polskich aparatów sejsmologicznych.

Wykłady popularyzujące zagadnienie naturalnej aktywności sejsmicznej (trzęsień Ziemi) oraz sejsmiczności górniczej zwłaszcza ich genezy i skutków prowadziłam dla młodzieży Liceum ogólnokształcącego w Siemianowicach Śląskich. Zaproszono mnie na sesję naukową i przedstawienie wykładu „Ziemia – Planeta Żywiołów” po wystąpieniu tragicznego trzęsienia ziemi w 2005 r. na Sumatrze.

Corocznie od bardzo wielu lat, dla studentów Akademii Górniczo-Hutniczej i Uniwersytetu Śląskiego przedstawiam wykład dotyczący zagadnień związanych z działalnością Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej GIG oraz zadaniami i metodami oceny stanu zagrożenia sejsmicznego w kopalniach.

Swoją wiedzę i doświadczenie zawodowe przekazywałam stażystom zagranicznym z INERIS’u z Francji (Claire HUPE, Stephan Roche) oraz studentom (Wojciech Szafranski, Szymon Kozieł, Agnieszka Pawlik, Joanna Szarek, Jacek Krupanka, Banek Krzysztof, Iwona Kujawińska, Ewelina Mikula) odbywającym praktyki i staże w Laboratorium Sejsmologii i Sejsmiki i piszącym prace magisterskie lub licencjackie na podstawie udostępnionych danych sejsmologicznych. Osoby te były pod moją opieką naukową.

Od 2010 roku dane dotyczące aktywności sejsmicznej w GZW (baza silnych wstrząsów górotworu) na podstawie moich analiz udostępniane są dla ogółu społeczności na stronie internetowej (www.grss.gig.eu/pl/). Informacja o górniczej aktywności sejsmicznej, często wzbudzającej negatywne odczucia i strach zwłaszcza przy bardzo silnych zjawiskach sejsmicznych jest ważna dla lokalnych społeczności.

Jestem członkiem zespołu z Głównego Instytutu Górnictwa wchodzącego w skład programu “THIS – Teamwork for Hazard Estimation for Triggered and Induced Seismicity” . Jest to od 2010 roku tworzona przez dr hab. inż. Beatę Olecką-Sikorę grupa badawcza mająca na celu zbieranie i badanie danych dotyczących problemów zagrożeń spowodowanych sejsmicznością indukowaną. W ramach współpracy, dane o wstrząsach górniczych rejestrowanych przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną, której jestem kierownikiem będą przekazywane europejskim jednostkom badawczym. Program ten działa w ramach International Association of Seismology and Physics of the Earth Interior (IASPEI).

10. Odbyte staże badawcze i szkoleniowe do krajowych i zagranicznych ośrodków naukowych

Pracując w Laboratorium Sejsmologii i Sejsmiki Głównego Instytutu Górnictwa doskonaliłam swoje kwalifikacje, w tym także odbywając szkolenia za granicą.

Swoje kwalifikacje zawodowe podnosiłam na studiach podyplomowych oraz kursach specjalistycznych:

- Roczne studia podyplomowe:
 - Lata 1992 – 1993 – Ecole de Mines, Francja, Nancy w zakresie „**Techniki górnicze i zagrożenia naturalne**”
 - Lata 2009 – 2010 – Politechnika Śląska w zakresie „**Statystyka stosowana**”
- Kilkuniedniowe kursy specjalistyczne:
 - „**Wprowadzenie do analizy ryzyka**” - AEA Technology – Consulting, 1999,
 - „**Zarządzania Projektami w Przedsiębiorstwie**” – Wydział Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej, 2004.

Ponadto uczestniczyłam w kilku spotkaniach roboczych związanych z prowadzonymi tematami badawczymi:

- Francja, Paryż – INERIS, 1995 – spotkanie robocze, 5 dni,
- Francja, Grenoble – Obserwatorium Sejsmologiczne, 1997 – spotkanie robocze, 3 dni.
- Czeska Republika OKD – kilkakrotnie po jednym dniu w latach 2000 - 2012.

11. Członkostwo w organizacjach i towarzystwach naukowych oraz odznaczenia

Należę do organizacji takich jak:

- Stowarzyszenie Techników i Inżynierów Górnictwa,
- Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi,
- Komisja Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk Oddział Katowice,
- Komisja Górnicza Polskiej Akademii Nauk Oddział Katowice.
- W 2001 roku zostałam powołana przez Prezesa Sądu Okręgowego w Katowicach na biegłego sądowego z zakresu sejsmologii górniczej.

Posiadam następujące odznaczenia i stopnie górnicze:

- Inżynier górniczy III, II i I stopnia,
- Dyrektor górniczy III i II stopnia,
- Srebrna Odznaka „Za zasługi dla Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej”,
- Brązowa Odznaka „Zasłużony dla Górnictwa RP”,
- Zasłużony Pracownik GIG,
- Odznaka Honorowa „Zasłużony dla Górnictwa RP”.

Krytyma Stec