

Załącznik nr 2

AUTOREFERAT

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

dr inż. Zbigniew Isakow

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 Informacje 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. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):.....	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 pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania	5
4.4 Podsumowanie	28
5 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.	29
5.1 Okres do obrony doktoratu	29
5.2 Okres po obronie doktoratu	30
5.2.1 Członkostwo w organizacjach i towarzystwach naukowych	32
5.2.2 Publikacje	32
5.2.3 Cytowania	32
5.2.4 Impact Factor	32
5.2.5 Recenzje	32
5.2.6 Udział w konferencjach	32
5.2.7 Działalność popularyzująca naukę i osiągnięcia dydaktyczne	32
5.2.8 Projekty badawcze	33
5.2.9 Nagrody i wyróżnienia	33
5.2.10 Działalność wynalazcza	33
5.2.11 Wdrożenia krajowe i zagraniczne	34
5.2.12 Odznaczenia i odznaki państwowe, wojewódzkie itp.	34
5.2.13 Stopnie górnicze	35
5.2.14 Zbiorcze podsumowanie osiągnięć naukowo badawczych i wdrożeniowych.....	35
5.2.15 Zestawienie publikacji przywoływanych w autoreferacie	36

1 Imię i Nazwisko:

Zbigniew Isakow

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

Studia wyższe:

Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Automatyki - magister inżynier automatyk, specjalność elektroniczne urządzenia automatyki: 04.11.1971

Doktorat:

Wojskowa Akademia Techniczna (WAT), Warszawa, Wydział Elektroniki, doktor nauk technicznych w zakresie elektroniki, specjalność metrologia: 07.07.1989

Tytuł rozprawy doktorskiej:

„Synteza programowanego urządzenia ważącego o podwyższonej dokładności”

3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1971 Zakłady Konstrukcyjno Mechanizacyjne Przemysłu Węglowego ZKMPW (obecna nazwa po kilku zmianach) Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG, Katowice ul. Leopolda 31,

Stanowiska inżyniersko-techniczne:

1971	stażysta	20.11.1971	29.02.1972
1972	automatyk	01.03.1972	30.06.1973

Stanowiska naukowo-badawcze:

1973	asystent	01.07.1973	30.06.1975
1975	starszy asystent	01.07.1975	31.12.1978
1979	adiunkt	01.01.1979	30.04.2011
2011	profesor nadzwyczajny w ITI EMAG	01.05.2011	nadal

Pełnione funkcje:

1975	kierownik zespołu	01.07.1975	11.03.1990
1990	kierownik Zakładu Systemów Dyspozytorskich	12.03.1990	31.01.2008
2008	kierownik Zakładu Systemów Geofizycznych	01.02.2008	31.08.2011
2009	główny inżynier ds. systemów geofizycznych	01.01.2009	30.06.2016
2011	kierownik Centrum Naukowo-Badawczego CNB	01.09.2011	30.06.2012
2012	zastępca Sekretarza Naukowego	01.07.2012	30.06.2014
2016	wiodący specjalista zespołu przemysłowych systemów informatycznych i geofizycznych	01.07.2016	nadal

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. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Udokumentowany publikacjami, wynikami kierowanych projektów badawczo rozwojowych, zgłoszeniami wniosków patentowych, uzyskanymi patentami, nagrodami oraz zakresem wdrożeń krajowych i zagranicznych wieloletni wkład w:

Opracowanie, badanie i rozwój systemów i urządzeń do oceny zagrożenia tąpniętami w kopalniach węgla kamiennego i rud miedzi.

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

Zestawienie publikacji tematycznie związanych z tytułem osiągnięcia zamieszczono tabelarycznie w załączniku nr 3 (Z3) gdzie wyselekcjonowano je z wszystkich publikacji wnioskującego. Kopie wszystkich publikacji zamieszczono w załączniku nr 4 (Z4). Liczba publikacji tematycznie związanych z wnioskiem wynosi 75 i wszystkie je przywołano w końcowej części autoreferatu uzupełniając je do 99 publikacjami z pozostałej działalności naukowo – badawczej wnioskującego. Dla potrzeb wniosku habilitacyjnego i wskazania osiągnięcia wybrano poniżej kilkanaście zasadniczych wykazując ich pozycje [] w załączniku nr 3, 4 i 5 (Z3, Z4 i Z5). Mój udział procentowy i współautorów w opracowaniu wszystkich publikacji przedstawiono w oświadczeniach zamieszczonych w załączniku nr 5 (Z5).

1. [17] Z Isakow: Osiągnięcia Centrum EMAG w opracowywaniu i wdrażaniu w górnictwie podziemnym komputerowych systemów i urządzeń do oceny zagrożenia tąpnięciami, Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa, 8/290, 7-10, 1994, EMAG,
2. [33] Z Isakow: Doświadczenia z eksploatacji w kopalniach węgla kamiennego systemu ARAMIS M z cyfrową transmisją sygnałów sejsmometrycznych DTSS, przeznaczonego do lokalizacji wstrząsów i określania ich energii, Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa, 2/374, 37-42, 2001, EMAG,
3. [50] Z Isakow: Systemy do oceny zagrożeń sejsmicznych w kopalniach. Cz. 2, Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa, 5/400, 9-25, 2004, EMAG,
4. [51] Z Isakow: Systemy do oceny zagrożeń sejsmicznych w kopalniach. Cz. 1, Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa, 4/399, 5-18, 2004, EMAG,
5. [54] Z Isakow: Ocena zagrożeń sejsmicznych w kopalniach w systemach opracowanych przez Centrum EMAG, Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa, 5/412, 41-46, 2005, EMAG,
6. [59] Z Isakow, J Juzwa: Experiences from Using a System for the Evaluation of Dynamic Phenomena Hazards, RaSiM6: Controlling Seismic Risk, Sixth International Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines Proceedings. Edited by: Y Potvin and M Hudyma, 1, 219-226, 2005, Australia, Perth, ACG Australian Centre for Geomechanics,
7. [65] Z Isakow: Safecomine intrinsically safe system for monitoring of hazards in mines related to disturbance of the strata and environment equilibrium, RaSiM7: Controlling Seismic Hazard and Sustainable Development of Deep Mines Edited by C Tang, 2, 1045-1056, 2009, Rinton Press New York / New Jersey,
8. [67] A Leśniak, Z Isakow: Space-time clustering of seismic events and hazard assessment in the Zabrze-Bielszowice coal mine, Poland, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 46/5, 918-928, 2009, Elsevier,
9. [69] Z Isakow: Geotomography with the help of a cutter-loader working organ as a source of imaging waves, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 46/7, 1235-1242, 2009, Elsevier,
10. [70] Z Isakow: autor rozdziału 7, Monografia. Innowacje dla gospodarki pod redakcją S Trenczka. Rozdział 7 - Systemy i urządzenia do monitorowania zagrożeń sejsmicznych w kopalniach i otaczającym środowisku, 1, 162-187, 2010, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG, ISBN 978-83-928970-5-7,
11. [71] Z Isakow: Nowe kierunki rozwoju systemów geofizycznych, Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa, 6/472, 31-36, 2010, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG,
12. [85] Z Isakow: - kierownik projektu i redaktor wydania. Współautor 6 rozdziałów "Nowe innowacyjne rozwiązania w obszarze geofizyki górniczej i ich ochrona ", Monografia - wynik realizacji projektu GEOPATENT, 1, 1-120, 2015, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG, ISBN 978-83-63674-22-9,
13. [86] Z Isakow: - kierownik projektu i współredaktor wydania. Współautor 10 rozdziałów. Autorzy: M Chamarczuk, R Czarny, P Harba, Z Isakow, J Juzwa, A Kubańska, I Kuciara, H Marczak, Z Pilecki K Siciński, P Sierodzki: System LOFRES sejsmiki pasywnej z wykorzystaniem szumu sejsmicznego,

- Monografia - wynik realizacji projektu LOFRES, 1, 1-134, 2015, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG, ISBN 978-83-63674-23-6,
14. [94] Z Isakow: kierownik projektu i współredaktor wydania. Współautorzy rozdziałów: A Augustyniak, A Cianciara, B Cianciara, Z Isakow, J Juzwa, I Kuciara, R Makola, W Piwowarski, A Pysik, K Siciński, P Sierodzki, Z Słoka: Innowacyjne metody i system do oceny zagrożenia tąpnięciami na podstawie probabilistycznej analizy procesu pęknięcia i geotomografii online, Monografia - wynik realizacji projektu INGENEO, 1, 1-156, 2016, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG, ISBN 978-83-63674-27-4,
 15. [96] R Czarny, H Marczak, N Nakata, Z Pilecki, Z Isakow: Monitoring Velocity Changes Caused By Underground Coal Mining Using Seismic Noise, Pure and Applied Geophysics, 173/6, 1907-1916, 2016, Springer,

4.3 Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania

Zasadniczym celem naukowym moich wieloletnich prac badawczo-rozwojowych było opracowanie automatycznie działających systemów i urządzeń do oceny zagrożenia tąpnięciami w kopalniach głębinowych i ciągłe doskonalenie ich parametrów metrologicznych i funkcjonalnych w celu umożliwienia stosowania nowych metod wykrywania tego zagrożenia i zwiększenia wiarygodności jego oceny oraz poprawy dzięki temu skuteczności stosowanej profilaktyki. Ponieważ eksploatacja górnicza niekorzystnie wpływa na otaczające środowisko pracom tym, towarzyszyło również opracowanie i doskonalenie automatycznie działających systemów do oceny zagrożenia powierzchni i infrastruktury jej zabudowy wywołwanego drganiem powodowanymi wstrząsami i deformacjami.

W zamieszczonych w poprzednim podrozdziale 4.2, 15 wybranych zasadniczych publikacjach z opracowanych po uzyskaniu tytułu doktora 75 związanych z tematem osiągnięcia opisano historię opracowania, badań i rozwoju pod moim kierunkiem systemów i urządzeń do oceny zagrożenia tąpnięciami w kopalniach węgla kamiennego i rud miedzi. Publikacje [17,50,51,54,70] opisują te systemy i urządzenia począwszy od pierwszych mało funkcjonalnych z transmisją analogową, ale nowoczesnych jak na tamte czasy stałoprogramowanych i minikomputerowych poprzez systemy mikrokomputerowe różnej generacji z transmisją cyfrową w systemach sejsmicznych [33] i sejsmoakustycznych z sondami trójskładowymi [59], po nowoczesne wieloprocesorowe systemy szerokopasmowe (bez podziału na pasmo sygnałów sejsmicznych i sejsmoakustycznych) z transmisją cyfrową z wykorzystaniem linii teletechnicznych i światłowodowych oraz transmisji bezprzewodowej, dedykowane szczególnie zagrożonym rejonom kopalni takie jak (ściana wydobywcza) [94]. W publikacji [71] opisano nowe w latach 2010 realizowane pod merytorycznym nadzorem autora kierunki rozwoju systemów geofizycznych w tym systemów do oceny zagrożenia tąpnięciami. W publikacji [67] opisano innowacyjne metody oceny zagrożenia zjawiskami dynamicznymi z wykorzystaniem systemu ARAMIS SA z sondami trójskładowymi i kierunkowej lokalizacji zjawisk sejsmoakustycznych w stropie, ich grupowania oraz lokalizowanej funkcji ryzyka, badanego w kopalni Bielszowice. Publikacja ta wydana w renomowanym czasopiśmie z listy Web of Science była dotychczas już 51 razy cytowana w czasopiśmie z listy Web of Science. Mój udział w przygotowaniu publikacji wynosił 45% a wkład merytoryczny polegał na opracowaniu i wdrożeniu systemu pomiarowego i algorytmów działania jego oprogramowania oraz współdziałałem w analizie zarejestrowanych danych. W publikacji [9] opisano innowacyjny system GEOTOMO opatentowany przez autora (100%) i metodę osłabieniowo – tłumieniowej tomografii aktywnej badanej w kopalni Bielszowice z wykorzystaniem organu urabiającego kombajnu, jako źródła fali przeświełającej. Innowacyjne metody i układy (systemy) do ich stosowania opisano w monografii [85] wydanej pod moją redakcją na zakończenie projektu, pt. "Wsparcie ochrony własności intelektualnej tworzonej w Instytucie Technik Innowacyjnych ITI EMAG w wyniku prac B+R z obszaru geofizyki górniczej", którego byłem kierownikiem i w wyniku, którego zgłoszono do ochrony 5 istotnych rozwiązań w postaci 28 wniosków patentowych, w tym 6 w kraju i 22 za granicą i z których 14 już uzyskało patenty w tym 9 za granicą. Mój udział w przygotowaniu monografii wynosił 70% a w opracowaniu wniosków patentowych byłem głównym twórcą z udziałem merytorycznym od 60% do 70%. Innowacyjny system LOFRES opracowany pod moim nadzorem merytorycznym w ramach projektu PBS, którego byłem kierownikiem wykorzystujący metody interferometrii sejsmicznej z wykorzystaniem szumu sejsmicznego do tomografii niskoczęstotliwościowej warstw geologicznych opisano w monografii [86], którą współredagowałem w 45% i w której przygotowaniu mój udział wynosił 20%. Opracowany system i metoda analizy danych z wykorzystaniem interferometrii opisana w publikacji [96] której jestem współautorem (10%) otwiera zupełnie nowe możliwości oceny zagrożenia tąpnięciami w górnictwie poprzez realizację ciągłej tomografii prędkościowej z wykorzystaniem do przeświełania zagrożonych wyrobisk

szumu generowanego przez maszyny i górotwór w zakresie pasma sejsmiki i sejsmoakustyki. Aktualnie trwają intensywne prace nad komercjalizacją wyniku projektu.

Publikacja [94] w postaci monografii wieloautorskiej i przy mojej współredakcji (50%) oraz udziale (35%) w jej przygotowaniu opisuje najnowszej generacji system INGEO opracowany i zrealizowany oraz przebadany w ramach projektu PBS pt. ”Innowacyjne metody i system do oceny zagrożenia tąpnięciami na podstawie probabilistycznej analizy procesu pęknięcia i geotomografii online”. Projekt zrealizowano pod nadzorem merytorycznym autora, jako kierownika projektu. W ramach projektu opracowano, wykonano i przebadano prototyp niekomercyjny systemu INGEO, który przeznaczony jest do oceny zagrożenia tąpnięciami w kopalni, w szczególności w rejonie ściany wydobywczej. System stanowi naturalną kontynuację rozwoju znanych i stosowanych w górnictwie polskim i za granicą, systemów sejsmicznych ARAMIS M/E i sejsmoakustycznych ARES-5/E opracowanych pod kierunkiem autora, jednak cechują go nowe innowacyjne technologie oraz metody analiz. System INGEO wyposażony jest w cyfrową o dużej dynamice transmisję sygnałów na powierzchnię z wykorzystaniem światłowodów, i lokalną w rejonie ściany z wykorzystaniem przewodowych linii teletechnicznych. Szeroki zakres rejestrowanych częstotliwości zapewnia rejestrację zjawisk sejsmoakustycznych i sejsmicznych. System INGEO umożliwia ocenę zagrożenia tąpnięciami metodami standardowymi, sejsmoakustyczną i sejsmologii górniczej, oraz dodatkowo hazardu sejsmoakustycznego i różnego rodzaju metodami tomografii rejonu przed frontem ściany, w tym pasywną (licencja Instytut Geofizyki PAN) z wykorzystaniem wstrząsów górniczych i aktywną z wykorzystaniem sterowanych wzbudników lub organu urabiającego kombajnu, wzbudzającego podczas swojej pracy przeświecającą falę sejsmiczną. System wyposażony jest dodatkowo w otworowe czujniki zmian naprężeń i ultradźwiękowe czujniki deformacji wyrobisk w rejonie ściany z lokalną transmisją radiową danych do kanału cyfrowej transmisji przewodowej i światłowodowej systemu bazowego. System INGEO umożliwia również współbieżną kontrolę deformacji w rejonie wyrobisk wokół ściany wydobywczej z precyzyjną kontrolą deformacji na powierzchni nad rejonem eksploatowanej ściany w celu doskonalenia opracowanych modeli uwzględniających losowy charakter badanych procesów dla predykcji występowania zagrożeń spowodowanych losowymi zdarzeniami, jakimi są wstrząsy górnicze. Uzyskanie miarodajnych rezultatów wymaga jednak dłuższego okresu prowadzenia obserwacji w powiązaniu z wynikami monitorowania w odniesieniu do parametrów zaobserwowanych wstrząsów. Przedstawiany w monografii system INGEO jest nowatorskim systemem do oceny zagrożenia tąpnięciami, przeznaczonym dla kopalń węgla kamiennego zagrożonych metanem. System ma strukturę rozproszoną i może monitorować zarówno obszar całej kopalni z wykorzystaniem sejsmometrów, jak i szczególnie zagrożone rejonu ścian z wykorzystaniem geofonów i nowo opracowanych czujników wybranych parametrów (zmian naprężeń poprzez pomiar deformacji otworów wiertniczych i deformacji wyrobisk – poprzez pomiar konwergencji, czyli zmian odległości strop-spąg w przyścianowych chodnikach). Po komercjalizacji system oferowany będzie dla kopalń węgla kamiennego w kraju i za granicą (CHRL, Rosja, Ukraina). Ze względu na zastosowanie transmisji światłowodowej, precyzyjnie zsynchronizowanej protokołem PTP IEEE 1588 i zegarem GPS, strumieniowej transmisji danych oraz wielorejonowej detekcji zjawisk, system znaleźć może również zastosowanie w rozległych polskich kopalniach rud miedzi. Może być również bardzo pomocny w tworzeniu zbiorczego monitoringu obejmującego obszar sąsiadujących kopalń połączonych w wyniku ich restrukturyzacji.

Ze względu na szeroki zakres prac związanych z realizacją przeze mnie lub pod moim merytorycznym nadzorem zdefiniowanego osiągnięcia opisałem je szczegółowo i chronologicznie w czasie ich opracowywania i badania w dalszej części autoreferatu przywołując związane z nimi wymienione powyżej publikacje główne jak i też inne związane z osiągnięciem opisujące szczegółowo zrealizowane zagadnienia.

W całej swojej 46 letniej działalności naukowo – badawczej związany byłem z górnictwem i głównie zajmowałem się opracowywaniem, badaniem i rozwojem systemów i urządzeń do oceny zagrożenia tąpnięciami w kopalniach węgla kamiennego i rud miedzi oraz monitorowania skutków oddziaływania eksploatacji podziemnej na otaczające środowisko. Przypominając rozwój systemów i urządzeń do oceny zagrożenia tąpnięciami Z3[29] wspomnieć należy o pierwszych systemach transmisji sygnałów sejsmoakustycznych, kilkukanałowej aparaturze SSA1 opracowanej w GIG (M. Trąbik) i produkowanej w ZEG Tychy, w której sygnały z geofonów rejestrowane były za pomocą rejestratorów pisakowych o powolnym przesuwie papieru w postaci kresek o różnej długości, a następnie mozolnie (tysiące impulsów w okresie zmiany) zliczane w „klasach” amplitudowych przez operatorów określających aktywność sejsmoakustyczną.

W zakresie systemów przeznaczonych do rejestracji sygnałów sejsmometrycznych stosowane były systemy z naturalną napięciową transmisją sygnałów i zapisem na papierze światłoczułym oraz aparatury Górnik 1 produkcji GEOPAN z 6-kanałową naturalną napięciową transmisją sygnałów i zapisem analogowym przebiegów na rejestratorze pisakowym. Aparatury wyposażone były w analogową magnetyczną linię opóźniającą, co umożliwiało niezniekształcony zapis sygnałów przy załączaniu rejestratora.

W okresie tym eksploatowano również w kilku kopalniach nowoczesną – jak na tamte czasy – importowaną wielokanałową aparaturę firmy Racal Thermionic. Aparatura wyposażona była w system transmisji z modulacją częstotliwości oraz analogowy ciągły zapis magnetyczny rejestrowanych sygnałów.

Zarejestrowane przebiegi odtwarzane były z opóźnieniem w specjalnym odtwarzaczu. Odszukiwane na taśmie przez operatora zjawiska sejsmiczne były zapisywane na papierze rejestratora (oscylomink).

Rejestracja prowadzona za pomocą aparatów z zapisem światłoczułym, aparatów Górnik 1, ich nowszych wersji 12-kanałowych aparatów Górnik PCM (wyposażonych w transmisję sygnałów z modulacją częstotliwości) oraz aparatów Racal Thermionic, wymagała pracochłonnej analizy wykonywanej przez operatora w celu oceny lokalizacji źródeł wstrząsów oraz określania ich energii. Opisany stan wyposażenia kopalń zastałem w początkowym okresie swojej działalności (1971 rok), kiedy prowadziłem prace związane z opracowaniem, przebadaniem i wdrożeniem w KWK Szombierki pierwszego automatycznego, działającego w czasie rzeczywistym systemu SMC-2s Z3[2] przeznaczonego do klasyfikacji sygnałów sejsmoakustycznych zbudowanego w oparciu o stałoprogramowany rejestrator SMC-2. Wyniki zapisywane były na perforowanej taśmie i drukowane na papierze dalekopisu. Opracowałem wówczas moduł sprzętowy klasyfikujący amplitudy sygnałów sejsmoakustycznych. Praca ta zapoczątkowała późniejsze moje działania związane z opracowywaniem, badaniem i wdrażaniem różnych generacji systemów do oceny zagrożenia tąpnięciami.

W latach 1977-1980 jako **kierownik zespołu i zadania badawczego realizowanego w ramach problemu węzłowego 1.05 pt. „Automatyzacja i sterowanie procesami technologicznymi w zakładach górniczych”** prowadziłem prace związane z opracowaniem i wdrażaniem dla potrzeb górnictwa iskrobezpiecznych automatycznych systemów kontroli parametrów bezpieczeństwa pracy. Brałem udział w opracowaniu i wdrożeniu w polskich kopalniach systemów zbudowanych w oparciu o technikę minikomputerową Z3[1, 3, 4]. Pierwszy modelowy iskrobezpieczny system sejsmoakustyczny wdrożono z aktywnym moim udziałem na terenie KWK Pokój. Zbudowano go z wykorzystaniem programowanego rejestratora sygnałów SMC-3 (pierwszy minikomputer z 16 bitową magistralą równoległą opracowany w górnictwie). System sejsmoakustyczny wyposażony był w iskrobezpieczną naturalną, prądową transmisję sygnałów sejsmoakustycznych TSA-32 (R.Giel, A.Rej) i umożliwiał automatyczną rejestrację sygnałów sejsmoakustycznych, określanie zmian ich energii umownej oraz aktywności w kontrolowanych rejonach kopalni.

Po skonstruowaniu i wdrożeniu do seryjnej produkcji w ZEG Tychy nowej wersji programowanego rejestratora SMC-3 minikomputera PRS-4 prowadziłem prace i aktywnie uczestniczyłem w opracowaniu i przebadaniu nowoczesnego jak na owe czasy pierwszego iskrobezpiecznego w pełni automatycznego programowanego 32-kanałowego systemu sejsmoakustyczny SAK Z3[7, 9, 11] przeznaczonego do oceny zagrożenia tąpnięciami z wykorzystaniem metody sejsmoakustyki.

Dla systemu SAK opracowałem założenia i specjalistyczny kanał 32 wejść analogowych z pamięciami analogowymi w każdym kanale i przetwornikiem A/C. Specjalistyczny kanał wejściowy umożliwiał określanie parametrów szybkozmiennych sygnałów sejsmoakustycznych uzyskiwanych z elektrodynamicznych geofonów DF7G, niezbędnych do dalszego przetwarzania przez stosunkowo wolny minikomputer PRS-4.

System SAK wykorzystywał tak jak jego opracowana wcześniej wersja modelowa analogową transmisję sygnałów TSA-32 z centralnym iskrobezpiecznym zasilaniem części dołowej (nadajników z wzmacniaczami i modulatorem prądu umieszczonych w pobliżu geofonu) z powierzchni. Transmisja umożliwiała przesyłanie sygnałów o częstotliwościach 200-3000Hz przy spadku ich amplitudy na granicach pasma o 6dB.

Za opracowanie systemu zostałem wraz z współautorami wyróżniony w 1980 roku pismem dyrektora EMAG Z7[N5], a w roku 1981 Wojewódzką nagrodą NOT I stopnia Z7[N6] oraz w następnym 1982 roku nagrodą MNSzWiT Z7[N7]. Rozwiązanie systemu SAK chronione było patentem, którego byłem współtwórcą Z10[P3]. System SAK został rozpowszechniony w polskich kopalniach w liczbie 31 sztuk a w chińskich w liczbie 5 sztuk. KNOW-HOW na produkcję systemu SAK w ChRL było przedmiotem korzystnego kontraktu zawartego w 1983 roku i przyniosło duże wpływy dewizowe. Oceniam swój wkład w opracowanie badania i wdrożenie do produkcji systemu SAK na 40%. Mój wkład w przygotowanie patentu wynosił 19%. W latach 1981-1985 prowadziłem zadanie związane z budową, badaniem i wdrożeniem dla potrzeb górnictwa pierwszego działającego w czasie rzeczywistym systemu lokalizacji i analizy wstrząsów sejsmicznych w ramach, którego uczestniczyłem w opracowaniu przebadaniu i wdrożeniu do produkcji w ZEG Tychy z wykorzystaniem minikomputera PRS-4 systemu mikrosejsmologicznego (tak go wówczas nazywano - sejsmicznego) SYLOK Z3[10, 20, 29, 54, 70].

System wyposażony został w iskrobezpieczną, naturalną, prądową transmisję sygnałów sejsmometrycznych TSS (R.Giel, A.Rej) o szerokości pasma częstotliwości transmitowanych sygnałów 0,1 - 50Hz (6dB), ze wzmacniaczami usytuowanymi w pobliżu sejsmometrów typu SPI70 i zasilanych w każdym kanale centralnie z powierzchni przez linie teletechniczne. System jako jeden z pierwszych w kraju umożliwiał automatyczne wykrywanie zjawisk sejsmicznych, ich rejestrację cyfrową oraz pomiar niezbędnych do lokalizacji i określania energii wstrząsów parametrów sygnałów.

System SYLOK oferowany był w wersji 8 kanałowej a później w wersji 16 kanałowej. Przeznaczony był do

lokalizacji wstrząsów wywołanych eksploatacją górnictwem na terenie kopalni i określania ich energii. Dla zwiększenia niezawodności systemu SYLOK automatycznie działający programowany 8 kanałowy układ pomiarowy z zapisem cyfrowym na drukarce został uzupełniony w niezależnie działające stałoprogramowane urządzenie do automatycznego wykrywania i rejestracji wstrząsów UARWS. Urządzenie zapisywało na papierze uruchamianego na czas zapisu rejestratora pisakowego $X(t)$ rejestrowane sygnały. Wyposażone zostało w analogowo cyfrową linię opóźniającą rejestrowane sygnały, dzięki której był czas na załączenie i ustabilizowanie pracy rejestratora przed zapisem. Ponadto wyposażone zostało w zegar synchronizowany drogą radiową do stacji OMA rozsyłającej czas wzorcowy i impulsy synchronizujące, które synchronizowały czas rejestratora cyfrowego i dodatkowo zapisywane były na brzegu taśmy papierowej rejestratora pisakowego.

Dla systemu SYLOK opracowałem koncepcję, założenia i zasługującą na uwagę oryginalną analogowo-cyfrową część pomiarową to jest moduł wejść dla 8 kanałów pomiarowych. Część pomiarowa charakteryzowała się tym, że analiza napięciowych sygnałów sejsmicznych po przetworzeniu na odcinki czasu dokonywana była przez elementy cyfrowe wyłącznie w dziedzinie czasu. Zapewniło to możliwość realizacji systemu o powtarzalnych i stabilnych parametrach metrologicznych przy bardzo ubogiej wówczas bazie elementów analogowych, poprzez zastąpienie ich większą liczbą dostępnych elementów cyfrowych. Opracowałem również założenia i uczestniczyłem w opracowaniu urządzenia UARWS.

Za opracowanie systemu SYLOK zostałem wraz z współautorami nagrodzony w 1984 roku nagrodą MNSzWiT Z7[N9]. Konstrukcja systemu SYLOK, wraz ze specjalistycznym kanałem pomiarowym, którego byłem głównym twórcą chroniona była patentem Z10[P8], a urządzenie UARWS patentem Z10[P7]. System SYLOK wdrożony został w polskich kopalniach w liczbie 17 sztuk, a w chińskich w liczbie 5 sztuk. KNOW-HOW na produkcję systemu SYLOK w ChRL podobnie jak w przypadku systemu SAK było przedmiotem korzystnego kontraktu zawartego w 1983 roku i przyniosło duże wpływy dewizowe. Oceniam swój wkład w opracowanie badania i wdrożenie do produkcji systemu SYLOK na 50%. Mój wkład w przygotowanie patentu Z10[P8] dotyczącego systemu SYLOK wynosił 40% a patentu Z10[P7] dotyczącego urządzenia UARWS 15%. Oba systemy SAK i SYLOK zbudowano na bazie opracowanego w górnictwie minikomputera 16 bitowego PRS-4 którego byłem współtwórcą i którego konstrukcja chroniona była patentem Z10[P5]. Mój wkład w przygotowanie tego patentu wynosił 15%. Oceniam swój wkład w opracowanie badania i wdrożenie do produkcji minikomputera PRS-4 na 15%.

Z okazji wyprodukowania setnego egzemplarza minikomputera PRS-4 w górnictwie zostałem w 1984 roku wyróżniony pismem Naczelnego Dyrektora EMAG Z7[N8].

Za opracowanie cyfrowych systemów sejsmoakustyki i sejsmiki górnictwem wdrożonych w kopalniach głębinowych węgla kamiennego zagrożonych tąpnięciami nagrodzony zostałem w 1986 roku wraz z współautorami Nagrodą zespołową II stopnia przyznaną przez Ministra Górnictwa i Energetyki Z7[N10]. Zajmując się pracami badawczo rozwojowymi i wdrożeniowymi związanymi z systemami SAK i SYLOK równolegle opracowałem, przebadalem i wdrozyłem do produkcji w EMAG modulator sygnałów sejsmometrycznych MEG. Zastępowałem on importowany modulator firmy Racal Thermionic stosowany w kopalnianych stacjach tępnięć do rejestracji zjawisk sejsmicznych, który pracując w trudnych warunkach dołowych był często uszkodzany lub niszczone. Wyprodukowano i wdrożono w kopalniach węgla kamiennego oraz zakładach górniczych ZG Lubin i ZG Rudna 90 sztuk modulatorów. Oceniam swój wkład w opracowanie badania i wdrożenie do produkcji modulatora MEG na 90%. Mój wkład w przygotowanie patentu związanego z konstrukcją modulatora wynosił 15% Z10[P10].

Równolegle w Głównym Instytucie Górnictwa rozpoczęto opracowywanie systemu mikrosejsmologicznego LKZ (J. Tylec, T. Mrozek), który wdrożono do przemysłowego stosowania, a jego nowsza wersja AS1 współpracująca z transmisją analogową TSS lub z transmisją z modulacją częstotliwości Górnika PCM oferowana była w kilku kopalniach.

Od 1985 roku pełniłem funkcję kierownika prac badawczych związanych z opracowaniem przebadaniem i wdrożeniem do produkcji iskrobezpiecznego mikrosejsmologicznego (sejsmicznego) systemu ARAMIS Z3[15, 16, 17, 18, 20, 29, 54, 70] (SYLOK nowej generacji). System zbudowano na bazie opracowanego dla potrzeb górnictwa mikrokomputerowego sterownika PSP-Z80 chronionego patentem, którego byłem współautorem Z10[P9]. Sterownik stanowił również w latach następnych bazę sprzętową systemów kontroli produkcji nowej generacji (mikroHADES) i przenośnej aparatury sejsmicznej PASAT 12N Z3[12], oraz jej wersji iskrobezpiecznej PASAT 12i Z3[14, 29, 54, 70], przeznaczonych do prześwietlania górotworu wzbudzaną falą sejsmiczną. W opracowaniu przenośnych aparatów sejsmicznych jako kierownik zespołu aktywnie uczestniczyłem.

System ARAMIS w stosunku do systemu SYLOK charakteryzował się: większą dynamiką rejestracji i przetwarzania 72 dB (SYLOK 60 dB), różnorodną wizualizacją graficzną przebiegów, większą funkcjonalnością (dwustopniowe przetwarzanie, wizualizacja i archiwizacja w PC, filtracja, analiza widmowa sygnałów, różne metody lokalizacji i współpraca z systemem gromadzenia informacji o wstrząsach AVIA), możliwością synchronizacji podstawy czasu w rejestracji automatycznej ze stacją radiową OMA lub DCF. System

współpracował również z analogową prądową transmisją sygnałów TSS zapewniającą centralne iskrobezpieczne zasilanie części dołowej z powierzchni na odległość do 10 km, której dynamika była ≤ 72 dB a średnio wynosiła 60 dB (słaba izolacja linii, brak symetrii, zakłócenia). Wyposażony był w wewnętrzną pamięć RAM DYSK o pojemności 256 kB, w której zapisywane były cyfrowe wyniki przetwarzania. System umożliwiał automatyczne wykrywanie zjawisk sejsmicznych i wizualizację zarejestrowanych przebiegów na ekranie monitora graficznego z możliwością korekty przez operatora czasów pierwszych wejść sygnałów wykorzystywanych do lokalizacji. System ARAMIS wdrożony został na terenie 15 kopalń. Oceniam swój wkład w opracowanie badania i wdrożenie do produkcji systemu ARAMIS na 50%. Polegał on na opracowaniu założeń, kierowaniu pracami oraz opracowaniu 16 kanałowego przetwornika A/C z pamięciami analogowymi i komutatorem, co zapewniło dynamikę rejestracji i przetwarzania 72 dB.

Przenośna iskrobezpieczna aparatura sejsmiczna PASAT 12i jako pierwsza w górnictwie cechowała się w pełni iskrobezpiecznym wykonaniem. Posiadała szerokie pasmo rejestrowanych sygnałów 10-1000 Hz (6 dB), dużą dynamikę przetwarzania 72 dB i regulacji wzmocnienia do 72 dB. Wykonana była w nowoczesnej technologii (elementy HCMOS, ekran LCD). Cechowała się stosunkowo małymi wymiarami i ciężarem (była dużo lżejsza od aparatury Górnik 4 w obudowie ciśnieniowej wypełnionej helem). Wyposażona była w dużą jak na ówczesne czasy niezawodną elektroniczną pamięć (RAM CMOS o pojemności do 1024 KB) i cyfrową transmisję zarejestrowanych danych do PC w celu archiwizacji, wizualizacji lub przetwarzania (np. tomografia sejsmiczna). Za opracowanie przenośnej nieiskrobezpiecznej aparatury sejsmicznej PASAT 12N nagrodzony zostałem w 1987 roku wraz z współautorami nagrodą Ministra Górnictwa i Energetyki Z7[N11].

Przenośna iskrobezpieczna aparatura sejsmiczna PASAT 12i oraz mikroprocesorowy sterownik PSP-Z80 były chronione patentami Z10[P11] i Z10[P9], których byłem współautorem. Aparatura PASAT 12i wdrożona została do eksploatacji na terenie 10 kopalń.

Oceniam swój wkład w opracowanie badania i wdrożenie do produkcji mikrokomputerowego sterownika PSP-Z80 na 10%. Mój wkład w przygotowanie patentu związanego z tym sterownikiem wynosił również 10%.

Oceniam swój wkład w opracowanie, badania i wdrożenie do produkcji przenośnej aparatury sejsmicznej w wersji iskrobezpiecznej PASAT 12i na 60%. Mój wkład w przygotowanie patentu Z10[P11] związanego z tą aparaturą wynosił 55%. Przyczyniłem się do nowatorskich rozwiązań związanych z wykorzystaniem przetworników C/A w pętli sprzężenia wzmacniaczy sygnału, do precyzyjnego ustawiania wzmocnienia w 12 kanałach aparatury. Brałem aktywny udział w opracowaniu założeń i badaniach oraz wdrożeniu aparatury do produkcji.

W latach 1988 - 1990 współdziałałem w realizacji celu CPBR pt. „Stacjonarna aparatura sejsmoakustyczna średniej wielkości ARES”, w wyniku, którego opracowano iskrobezpieczny system sejsmoakustyczny nowej generacji ARES (następca systemu SAK) z naturalną prądową transmisją sygnałów TSA 3 i piezoceramicznymi czujnikami w obudowie rozpierającej je w otworach wierconych w ociosie lub w stropie. System zbudowano z wykorzystaniem mikroprocesorowego sterownika MS-80. System ARES-3 Z3[14] dedykowany był głównie dla kopalń o małym zagrożeniu tąpnięciami. Umożliwiał on rejestrację i przetwarzanie przebiegów sejsmoakustycznych w 8 kanałach pomiarowych. Ze względu na potrzeby kopalń o dużym zagrożeniu tąpnięciami zapewniono łączenie kilku systemów ARES-3 (maksymalnie 8) w zespoły współpracujące z komputerem nadrzędnym.

System ARES-3 realizował następujące funkcje: (1) przetwarzanie impulsów o częstotliwościach akustycznych generowanych przez górotwór na sygnały elektryczne, (2) wzmacnianie i przesyłanie tych sygnałów na powierzchnię iskrobezpiecznym systemem transmisji, (3) testowanie czujników i transmisji, (4) ciągłą, wielokanałową rejestrację cyfrową sygnałów sejsmoakustycznych, (5) przetwarzanie analogowe sygnałów w celu otrzymania ich obwiedni oraz rejestrację parametrów impulsów sejsmoakustycznych. Rejestracja parametrów obejmowała: (1) detekcję początku impulsu sejsmoakustycznego, (2) detekcję końca impulsu sejsmoakustycznego, (3) określenie amplitudy maksymalnej obwiedni, (4) obliczenie energii umownej impulsu oraz przetwarzanie danych pomiarowych. Przetwarzanie obejmowało wyliczenie: (1) rzeczywistego czasu początku impulsu, (2) czasu trwania impulsu, (3) energii umownej impulsu, (4) maksymalnej amplitudy obwiedni, (5) sumarycznej energii oraz liczby impulsów w odcinkach minutowych, godzinowych i zmianowych, (6) obliczanie energii średniej, (7) odchyłek procentowych oraz gromadzenie danych z raportowaniem i wizualizacją wyników przetwarzania. System zapewniał komunikację z operatorem, komunikację z komputerem nadrzędnym (PC), w którym realizowane było przetwarzanie zgodnie z obowiązującą instrukcją sejsmoakustyczną opracowaną w GIG (realizowaną przez program Ares Ocena) lub nowymi metodami działającymi z wykorzystaniem metod statystycznej oceny (Funkcja Ryzyka).

System ten i jego następna wersja ARES-4 Z3[20, 21, 29, 51, 54, 70] został wdrożony w kopalniach węgla kamiennego i zakładach wydobywczych rud miedzi w liczbie 52 sztuk.

Oceniam swój wkład w opracowanie systemu ARES na 30%.

Zasadniczą niedogodnością stosowanych w latach 80 tych systemów przeznaczonych do oceny zagrożenia

tapaniami była niedoskonałość wykorzystywanych systemów transmisji.

Wszystkie eksploatowane systemy wykorzystywały w swym działaniu analogowe systemy transmisji (sejsmoakustyczne TSA 32, TSA 3, mikrosejsmologiczne (sejsmiczne) TSS lub systemy z modulacją częstotliwości (Thermionic, Górnik PCM).

Transmisje naturalne z modulacją prądu cechowała niewystarczająca odporność na zakłócenia przemysłowe i zmienność parametrów linii transmisyjnej, co uniemożliwiało uzyskanie dużej dynamiki rejestracji > 60 dB.

Transmisje z modulacją częstotliwości były bardziej odporne na zakłócenia przemysłowe, jednak cechowała je zbyt mała dynamika rejestracji (< 60 dB) oraz ograniczone w górnym zakresie pasmo przenoszonych częstotliwości (< 150 Hz) i w związku z tym nie mogły być stosowane w systemach sejsmoakustycznych.

Stosowane wówczas systemy transmisji nie rejestrowały sygnałów w przedziale częstotliwości od 50 Hz do 200 Hz i jak wykazały badania prowadzone w kopalniach węgla kamiennego oraz zakładach górniczych rud miedzi utrudniało to właściwą rejestrację istotnych dla oceny zagrożenia tapaniami zjawisk sejsmicznych.

Od marca 1990 roku do stycznia 2008 roku pełniłem funkcję kierownika Zakładu Systemów Dyspozytorskich w Centrum EMAG a od roku lutego 2008 po zmianie nazwy zakładu pełniłem funkcję kierownika Zakładu Systemów Geofizycznych. **Współdziałalem, jako wykonawca w realizacji projektu celowego** (załącznik nr 6 Z6[1]) **pt. „Cyfrowy iskrobezpieczny system sejsmologiczny dla kopalni węgla kamiennego Wujek”** realizowanego w latach 1993-1994, w którym zapoczątkowałem prace nad opracowaniem cyfrowej transmisji sygnałów sejsmicznych. W wyniku realizacji projektu opracowano dwie wersje cyfrowej transmisji sygnałów sejsmicznych CYTES i DTSS Z3[19, 22]. Obie wersje charakteryzowały się przetwarzaniem analogowo cyfrowym sygnałów sejsmicznych bezpośrednio przy sejsmometrze SPI70 z wykorzystaniem iskrobezpiecznych nadajników dołowych wyposażonych w 14 bitowe przetworniki. Przetworniki synchronizowane były w czasie i zasilane iskrobezpiecznie z powierzchni przez linie teletechniczne o długości 8 km (CYTES) i 10 km (DTSS). Te same linie teletechniczne transmitowały również cyfrowe dane na powierzchnię szeregowo w czasie rzeczywistym. Prototypowe wersje transmisji przebadano przy współpracy z systemem ARAMIS, w którym zastąpiono stosowaną dotychczas transmisję analogową TSS. Ze względu na większą prostotę konstrukcji i mniejszy pobór prądu oraz mocy przez nadajnik, co ułatwiło uzyskanie dopuszczenia do stosowania w kopalniach gazowych oraz niezawodny sposób synchronizacji i większy zasięg transmisji zdecydowano o wyborze do dalszego stosowania w systemie ARAMIS cyfrowej transmisji DTSS. Kolejne usprawnienia transmisji DTSS doskonalili jej parametry Z3[24, 33, 70]. Uzyskano poszerzenie pasma rejestrowanych częstotliwości sygnału w nadajniku dołowym cyfrowej transmisji DTSS do zakresu 0 – 150 Hz.

Ponieważ system transmisji rejestrował składową stałą, to dolną granicę częstotliwości sygnałów sejsmicznych określał wyłącznie stosowany sejsmometr SPI70 lub niskoczęstotliwościowy geofon, którego sygnał wyjściowy lepiej był wykorzystywany, bo do częstotliwości 150 Hz. Zdecydowanie poprawiono dynamikę rejestracji i przetwarzania sygnałów sejsmicznych do 90 dB z nadajnikiem SN i 100 dB z nadajnikiem SN7, co zwiększyło zakres prawidłowo rejestrowanych zjawisk sejsmicznych o energii od 10^2 J do 10^8 J, bez zniekształceń i nasyceń amplitudy sygnałów wysokoenergetycznych zjawisk. Wzrosła również odporność transmisji na zakłócenia przemysłowe.

W latach 1993-1995 **kierowałem i aktywnie uczestniczyłem w realizacji projektu celowego** (załącznik nr 6 Z6[2]) **Nr 798/C.S6-9/93 pt. „System sejsmoakustyczny dla zakładów górniczych Polkowice”** Z3[21, 29].

W Zakładach Górniczych rud miedzi Polkowice większość rudy wydobywano z rejonów silnie zagrożonych tapaniami. W stosowanym systemie komorowego urabiania przy użyciu ładunków wybuchowych większość naprężeń związanych z ciśnieniem górotworu przenosiły filary ochronne i strop. W związku z tym duże znaczenie posiadała profilaktyka tapaniowa oraz poszukiwanie prekursorów zagrożenia w głębokich warstwach stropu, zwłaszcza bezpośrednio po strzelaniach zaburzających równowagę statyczną górotworu.

Uczestniczyłem w zaprojektowaniu i zrealizowaniu układu pomiarowego do prowadzenia badań pilotujących, które miały na celu rejestrację emisji tradycyjnym sejsmoakustycznym systemem pomiarowym ARES wyposażonym w dwa czujniki zamocowane w 10 metrowych otworach usytuowanych w odległości 3 m od siebie. Badania pilotujące ułatwiły sprecyzowanie założeń dla nowego zmodyfikowanego systemu rejestracji.

Na podstawie przeprowadzonej analizy modeli źródeł i propagacji emisji sejsmoakustycznej oraz badań pilotujących w ZG Rudna i ZG Polkowice zdecydowano, że niezbędne jest dokonanie w standardowej aparaturze sejsmoakustycznej ARES modyfikacji: sposobu mocowania czujników, szerokości pasma transmisji, dynamiki i oprogramowania.

Po dokonaniu modyfikacji zainstalowano w ZG Polkowice urządzenie doświadczalne, aparaturę sejsmoakustyczną ARES o poszerzonym paśmie częstotliwości (60 - 3000) Hz, zwiększonej dynamice i zmienionym oprogramowaniu. Wykonawca projektu wytypował wybrane, zagrożone rejonory zakładu górniczego, w których przygotował otwory pod zabudowę geofonów oraz niezbędną instalację teletechniczną. Sieć geofonów sukcesywnie była rozbudowywana do ośmiu.

Prowadzone badania emisji sejsmoakustycznej wykazały, że aktywność emisji jakkolwiek znacznie słabsza niż obserwowana w kopalniach węgla kamiennego jest wystarczająca do prowadzenia interpretacji metodami statystycznymi, a zwiększenie aktywności koreluje się ze wzrostem zagrożenia wstrząsami.

Przeprowadzona analiza widmowa zarejestrowanych sygnałów potwierdziła, iż dokonana modyfikacja systemu pomiarowego była prawidłowa. Główna informacja o zagrożeniu wstrząsami niesiona w emisji zawierała się w dolnym zakresie częstotliwości począwszy od 60 Hz. W trakcie prowadzonych badań okazało się, że rejestrowana emisja zawiera wysoki poziom zakłóceń indukowanych w transmisyjnych liniach teletechnicznych. Stwierdzono, że efektywność eliminacji zakłóceń w dużym stopniu warunkuje pozytywny wynik wykorzystania emisji sejsmoakustycznej do predykcji zagrożenia wstrząsami. Zbiory archiwalne zarejestrowanych sygnałów emisji sejsmoakustycznej umożliwiły prowadzenie badań statystycznych. Zweryfikowano istniejące wstępne modele opisujące emisję. Stwierdzono, że modele te nie opisują emisji dostatecznie dobrze. Podjęto prace zmierzające do zbudowania bardziej adekwatnych modeli w oparciu o tzw. podwójne stochastyczne procesy Coxa. Prowadzona weryfikacja wykazała, że te ostatnie modele, zarówno w odniesieniu do energii jak również do odstępów czasu, w dużo wyższym stopniu od poprzednich, są weryfikowane pozytywnie. Opracowany zunifikowany model stanowił dobry opis emisji w warunkach ZG Polkowice, pod warunkiem, że w maksymalnym stopniu wyeliminowane zostały z sygnału użytecznego zakłócenia.

Do najważniejszych osiągnięć praktycznych uzyskanych w wyniku realizacji projektu celowego zaliczyć należy: opracowanie, wdrożenie do praktycznej eksploatacji i przebadanie doświadczalnego systemu sejsmoakustycznego zdolnego do rejestracji i przetwarzania zjawisk sejsmoakustycznych występujących w stropie w warunkach zakładu górniczego rud miedzi, charakteryzujących się kilkakrotnie mniejszą aktywnością niż w kopalniach węgla kamiennego. Rozwiązano problemy związane ze zwiększeniem czułości i zasięgu pomiarowego czujników poprzez opracowanie nowego czujnika i metody jego montażu w głębokich otworach (o głębokości do 30 metrów) oraz obniżenie dolnej częstotliwości granicznej transmitowanych i rejestrowanych sygnałów z 200 Hz do 60 Hz. Opracowano nowe skuteczniejsze metody filtracji zakłóceń w celu zwiększenia wiarygodności oceny zagrożenia. Rozpoznano w wyniku prowadzonych badań charakter emisji sejsmoakustycznej towarzyszącej zjawiskom pękania w stropie. Opracowano i praktycznie zweryfikowano modele rozkładów statystycznych cech emisji sejsmoakustycznej ze szczególnym uwzględnieniem: rozkładu energii emitowanych sygnałów, rozkładu odstępów czasu między kolejnymi sygnałami, sposobu estymacji parametrów, sposobu estymacji parametrów spektralnych, opisu kryteriów oraz sposobu interpretacji emisji sejsmoakustycznej w oparciu o funkcję ryzyka wystąpienia wstrząsu. Opracowano i wdrożono metody wykrywania prekursorów zagrożeń (funkcja ryzyka) oraz wykonano oprogramowanie przeznaczone do określania optymalnego czasu wyczekiwania po strzelaniach. Skonstruowano, oprogramowano i przebadano w warunkach ruchowych kopalni rud miedzi, prototypowy system sejsmoakustyczny przystosowany do rejestracji emisji sejsmoakustycznej w stropie, zdolny do automatycznego lub półautomatycznego wykrywania, rejestracji i przetwarzania sygnałów sejsmoakustycznych w celu oceny stanu zagrożenia tąpnięciami oraz uzyskano niezbędne doposażenie do stosowania i wdrożono do produkcji nowo opracowany system.

W celu zwiększenia funkcjonalności aparatury ARES-3 zmieniono jej strukturę nie zmieniając zasadniczych jej elementów składowych, takich jak moduły analogowe MS-80, MI-810 i MI-811. Uzupełniono aparaturę ARES-3 o mikroprocesorowy extender REX-32 uzyskując strukturę dwuprocesorową. W nowym rozwiązaniu aparatury ARES-4 sterownik MS-80 realizował wszystkie dotychczasowe funkcje, natomiast zadaniem nowego modułu REX-32 była obsługa dostępu do lokalnej bazy danych z poziomu nadrzędnego komputera PC. Wprowadzone zmiany wyeliminowały zależność szybkości transmisji szeregowej od procesów rejestracji i przetwarzania emisji sejsmoakustycznej w trybie real-time. Uzyskano: trzykrotne zwiększenie pojemności lokalnej bazy danych systemu ARES-4 do 1048 kB, zwiększenie liczby rejestrowanych impulsów sejsmoakustycznych oraz wyników przetwarzania w wewnętrznej pamięci aparatury ARES-4. Zwiększono szybkość transmisji danych do PC z 9600 do 115200 Bodów oraz zapewniono możliwość pracy wieloprocesorowej poprzez umożliwienie współpracy aparatury ARES-4 z dwoma komputerami PC. Udokładniono pomiar czasu rzeczywistego poprzez zastosowanie zegara RTC-72421A, przyspieszono rejestrację impulsów sejsmoakustycznych poprzez wydzielenie odrębnej pamięci dla procesu komutacji zjawisk sejsmoakustycznych. Uzyskano dodatkową wizualizację amplitudy rejestrowanego sygnału sejsmoakustycznego na diodowym wyświetlaczu umieszczonym na płycie czołowej extendera.

Kierowałem i aktywnie uczestniczyłem (lata 1995-1996) w realizacji projektu celowego (załącznik nr 6 Z6[3]) Nr 1329/C.T12-9/95 pt. „Sonda pomiarowa przeznaczona do rejestracji aktywności sejsmoakustycznej górotworu, przystosowana do pracy w głębokich otworach” Z3[23], w którym brałem udział w opracowaniu i przebadaniu metody mocowania jednoskładowych i trójskładowych sond sejsmoakustycznych w głębokich otworach stropu (do 60 m) oraz sposobu cyfrowej transmisji danych z sond trójskładowych na powierzchnię.

Pierwsze próby zainstalowania czujników sejsmoakustycznych w głębokich otworach - do 30 metrów - podjęto pod kierunkiem wnioskodawcy w latach 1994-1995 w ZG Rudna i Polkowice, ale mocowanie czujników na

większych głębokościach zakończyło się niepowodzeniem. Zaistniała potrzeba skonstruowania odpowiedniej sondy, opracowania metody jej mocowania, zasilania i odpornego na zakłócenia przesyłania sygnału. Stanowiło to trudny do rozwiązania problem techniczny wymagający prowadzenia prac naukowo-badawczych.

Analiza eksploatowanych dotychczas systemów i urządzeń wykazała, że bardzo słabe sygnały sejsmoakustyczne niosące najwięcej informacji o zjawiskach poprzedzających tąpnięcia nie są rejestrowane lub są rejestrowane w zniekształconej postaci z powodu występowania różnorodnych, niemożliwych do wyeliminowania zakłóceń w teletechnicznych liniach transmisyjnych, więc wykorzystanie ich do oceny zagrożenia tąpnięciami było utrudnione lub często niemożliwe.

Opracowany w ramach projektu system składał się z jednej trójskładowej sondy pomiarowej, autonomicznego rejestratora sygnałów sejsmoakustycznych AR, dwukierunkowej cyfrowej transmisji sygnałów na powierzchnię zbudowanej z wykorzystaniem odpowiednio zmodyfikowanych standardowych stacji nadawczych SN i stacji powierzchniowych SP oraz kasety systemu transmisji cyfrowej DTSS wraz z systemem SRC rejestracji cyfrowej w PC na powierzchni sygnałów sejsmoakustycznych przesyłanych w sposób cyfrowy. Autonomiczny rejestrator AR zasilany był w sposób iskrobezpieczny z lokalnego iskrobezpiecznego zasilacza ZI. Część powierzchniową przygotowano do obsługi maksymalnie dwóch autonomicznych rejestratorów AR (docelowo obsłużyć mogła do 16). Wykonano i przebadano trójwejściowy autonomiczny rejestrator sygnałów sejsmoakustycznych AR przystosowany do współpracy z sondą trójskładową z transmisją prądową. Szczegóły konstrukcyjne sondy oraz części elektronicznej zamieszczono w Z3[23].

Na uwagę zasługuje fakt, że po raz pierwszy podjęto wówczas próbę oceny stanu zamocowania sondy w górotworze z wykorzystaniem umieszczonego w niej sterowanego elektronicznie piezoceramicznego wzbudnika. Również po raz pierwszy zastosowano jednopłytkowy mikroprocesor sterujący MS GCAT 6000 z modułem wejść analogowych MA GCAT 2600 wyposażonym w trzy analogowe kanały wejściowe umożliwiające maksymalną częstotliwość próbkowania sygnału 5 kHz i dynamikę przetwarzania A/C 72dB, który później stał się bazą sprzętową rozwiązań systemowych do monitorowania zagrożeń powierzchni wywołanych eksploatacją górnictwem.

Analiza zarejestrowanych zjawisk wykazała większą niż w tradycyjnym systemie ARES-4 liczbę rejestrowanych zjawisk słabych w tym rejonie. Wiązało się to z zastosowaniem sond trójskładowych o charakterystyce czułości bardziej zbliżonej do kulowej dzięki czujnikom piezoceramicznym pracującym w osi X, Y i Z.

Stwierdzono również, że dzięki zastosowaniu cyfrowej transmisji sygnałów zdecydowanie zmalała liczba typowych zakłóceń elektrycznych.

Na podstawie uzyskanych doświadczeń dokonano wyboru optymalnego, z punktu widzenia parametrów metrologicznych, rozwiązania preferowanego do praktycznego wdrożenia, którym był system wyposażony w sondę trójskładową z transmisją cyfrową do autonomicznego rejestratora dołowego i na powierzchnię.

W latach 1995 - 1997 jako kierownik prowadziłem realizację grantu (załącznik nr 6 Z6[4]) Nr 9T12A00408 pt. „System przetwarzania na dole kopalni i rejestracji na powierzchni sygnałów charakteryzujących zjawiska sejsmiczne poprzedzające niekontrolowane wyzwolenia energii górotworu (tąpnięcia)”.

Opracowany w ramach grantu system Z3[26, 27] umożliwiał wierne zarejestrowanie w pobliżu czujników sygnałów niosących informacje o prekursorach niekontrolowanych zjawisk wysokoenergetycznych oraz tworzenie bazy danych obejmującej całe zapisy zjawisk lub parametrów je charakteryzujących uzyskiwanych w wyniku stosowania różnych metod, w tym głównie: sejsmoakustycznej, mikrosejsmologicznej, kontroli ciśnienia w stojakach obudowy hydraulicznej, kontroli deformacji otworów wiertniczych.

System cechował się dużym stopniem złożoności i zawierał w każdym kanale pomiarowym kilka współpracujących ze sobą mikroprocesorów. Opracowany system zbliżony był pod względem funkcjonalnym i technicznym do oferowanego wówczas przez RPA nieiskrobezpiecznego systemu ISS (Mendecki). Wyniki badań systemu w zakresie rejestracji i transmisji sygnałów sejsmoakustycznych i mikrosejsmologicznych (sejsmicznych) wykazały zdecydowaną poprawę parametrów metrologicznych systemu w stosunku do systemów stosowanych wcześniej. Uzyskano zasadniczą poprawę dynamiki rejestracji, przetwarzania i transmisji oraz wzrost odporności na zakłócenia.

Zwiększona dynamika rejestracji zjawisk w połączeniu z zastosowaniem trójskładowych sond oraz nowych metod przetwarzania umożliwiła wykrywanie i prawidłową lokalizację słabych prekursorów wysokoenergetycznych zjawisk oraz określanie ich energii, co zapewniło większą precyzję działania funkcji ryzyka wyliczanej dla konkretnych rejonów. Korelowanie na bieżąco zarejestrowanych we wspólnej bazie danych stanowiło podstawę do prowadzenia wiarygodnej oceny zagrożenia tąpnięciami.

W ramach zrealizowanego projektu badawczego przeanalizowano historię rozwoju i stosowania w polskim górnictwie systemów i urządzeń przeznaczonych do oceny zagrożenia tąpnięciami oraz aktualny stan techniki w tej dziedzinie ze szczególnym uwzględnieniem: struktury rozpowszechnionych w polskim górnictwie systemów i urządzeń wykorzystywanych do oceny zagrożenia tąpnięciami, oceny rejestracji i przetwarzania zjawisk w stosowanych systemach sejsmoakustycznych, mikrosejsmologicznych i przenośnych aparaturach sejsmicznych, przewidywanych kierunków rozwoju systemów oceny zagrożeń tąpnięciami nowej generacji. Na podstawie

przeprowadzonej analizy oraz rozpoznania literaturowego, sprecyzowano założenia dla systemu przetwarzania i rejestracji na powierzchni, sygnałów charakteryzujących zjawiska sejsmiczne poprzedzające niekontrolowane wyzwolenia energii górotworu (tąpnięcia). Określono zadania i funkcje opracowywanego kopalnianego systemu oceny zagrożenia tąpnięciami nowej generacji. Dokonano analizy problemów metrologicznych występujących w konstrukcji systemów i urządzeń przeznaczonych do oceny zagrożenia tąpnięciami. Ustalono zakres pomiarów i badań niezbędnych do zapewnienia i utrzymania w czasie niezmienności parametrów metrologicznych, nowo opracowywanych i stosowanych aktualnie w górnictwie systemów do oceny zagrożenia tąpnięciami. Sprecyzowano strukturę systemu pomiarowego.

Dokonano wyboru i zakupiono aparaturę, niezbędną do badania charakterystyk i cechowania kanałów pomiarowych opracowywanego systemu. Przeprowadzono badania emisji sejsmicznej w wybranych kopalniach węgla kamiennego i rud miedzi w celu wyodrębnienia charakterystycznych cech tej emisji i określenia praw statystycznych rządzących ich rozkładem. Badano również inne źródła sygnałów uzyskiwanych w wyniku analizy deformacji otworów wiertniczych i ciśnień statycznych w stojakach obudowy hydraulicznej. Opracowano modele źródeł emisji sejsmicznej występującej w warunkach górnictwa podziemnego oraz metody praktycznej estymacji ich parametrów. Przeanalizowano stosowane w górnictwie podziemnym systemy transmisji cyfrowej i na tej podstawie opracowano założenia dla cyfrowej iskrobezpiecznej transmisji sygnałów w opracowywanym systemie. Dokonano analizy dotychczasowych doświadczeń w zakresie stosowanych metod rejestracji i lokalnego przetwarzania sygnałów charakteryzujących zjawiska sejsmoakustyczne oraz określono parametry charakteryzujące emisję sejsmoakustyczną dla potrzeb lokalnego przetwarzania. Sprecyzowano założenia do budowy dołowych koncentratorów pomiarowych. Określono realizowane przez nie funkcje w systemie oraz zakres wstępnej analizy sygnałów uzyskiwanych z górotworu. Opracowano i wykonano modele iskrobezpiecznych lokalnych koncentratorów dołowych zdolnych do przyjmowania sygnałów z czujników sejsmoakustycznych, sejsmometrycznych, przemieszczeń (deformacji otworów wiertniczych) oraz identyfikacji zjawisk istotnych, analizy sygnału i pracy w przyjętym systemie cyfrowej transmisji. Zaprojektowano i wykonano model koncentratora części powierzchniowej iskrobezpiecznej cyfrowej transmisji sygnałów w systemie. Wykonano oprogramowanie dołowych lokalnych koncentratorów pomiarowych: sejsmometrycznych, sejsmoakustycznych, deformacji otworów wiertniczych, ciśnień w stojakach obudowy hydraulicznej oraz części powierzchniowej iskrobezpiecznej cyfrowej transmisji sygnałów w systemie. Oprogramowanie umożliwiło prawidłową pracę i współpracę wielu mikroprocesorów stosowanych w systemie. Zapewniło wstępne przetwarzanie sygnałów w pobliżu czujników, filtrację, detekcję różnych zjawisk ich buforowanie oraz dwukierunkową cyfrową transmisję rejestracji lub parametrów sterujących do koncentratorów części powierzchniowej transmisji. Wykonano oprogramowanie użytkowe systemu. Opracowano bazy danych podsystemów specjalistycznych, sposób ich powiązania z eksploatowanymi dotychczas na terenie kopalń bazami danych oraz metodę synchronizacji podstawy czasu rejestracji dla różnych podsystemów. Zakończono z wynikiem pozytywnym, wstępne badania na iskrobezpieczeństwo w KD Barbara koncentratora sygnałów sejsmometrycznych wraz z linią transmisyjną i jednolitym dla wszystkich podsystemów specjalistycznych koncentratorom powierzchniowym transmisji. Badania eksploatacyjne prowadzone w reprezentatywnej grupie zakładów wydobywczych umożliwiły weryfikację konstrukcji przetworników pomiarowych i ich dopasowania do źródeł sygnału, parametrów technicznych systemu, poprawności algorytmów i opracowanego na ich podstawie oprogramowania.

Elementy składowe systemu takie jak podsystem do pomiaru deformacji otworów wiertniczych zaoferowane zostały zakładom górniczym rud miedzi, gdzie istniało duże zapotrzebowanie na rozwiązanie problemu ciągłej kontroli tych deformacji. Uzyskane podczas badań wstępne wyniki rejestracji były bardzo zachęcające.

Również bardzo zachęcające były podjęte w ZG Rudna próby lokalizacji zjawisk sejsmicznych przy użyciu koncentratorów sygnałów sejsmoakustycznych wyposażonych w trójskładowe akcelerometryczne sondy mocowane w głębokich warstwach stropu orientowane w przestrzeni przy pomocy strzelań kalibrujących.

Oprócz szerokiego zakresu prac naukowo badawczych zrealizowanych w ramach projektu na uwagę zasługuje jego wybitnie aplikacyjny charakter, ponieważ opracowano, wykonano i praktycznie przebadano w warunkach eksploatacyjnych model systemu.

W 1999 roku opracowałem koncepcję wizualizacji i monitorowania wstrząsów oraz powodowanych przez nie tąpnięć w oparciu o mapy pokładowe w stacji tąpnięć oraz w dyspozytorni Z3[28].

W latach 1999 - 2000 prowadziłem również prace związane z opracowaniem dokumentacji, wykonaniem prototypu oraz wdrażaniem do eksploatacji systemu ARP 2000 Z3[25, 30, 50]. System w różnych wykonaniach przeznaczonego był i jest do zdalnego monitorowania zagrożeń powierzchni Ziemi wywołanych wstrząsami i deformacją, powodowanych oddziaływaniem eksploatacji górniczej. System ten wyposażony w akcelerometryczne czujniki trójosiowe cechuje się bezprzewodową transmisją danych z wykorzystaniem sieci komórkowej GSM (obecnie LTE) modułową budową i rozproszoną strukturą pomiarową, doskonałymi parametrami metrologicznymi oraz przemysłowym wykonaniem. Te cechy systemu ARP 2000 zadecydowały o

zastosowaniu go w wersji ARP 2000 P do rejestracji przyspieszeń drgań gruntu początkowo w 9 a obecnie po modyfikacjach w 16 instalacjach na terenie miasta Polkowice i okolicach, w wersji ARP 2000 SZ do rejestracji przyspieszeń drgań obudowy szybowej w szybach RVI, RIII, RI i RVIII ZG Rudna oraz szybach P3 i P4 ZG Polkowice-Sieroszowice a obecnie po modyfikacjach w szybach (R1, R3, R8, R9, R11). W rozwiązaniach tych jeden koncentrator pomiarowy poprzez przewodową cyfrową transmisję współpracuje z czterema czujnikami trójskładowymi w szybie oddalonymi od niego do 1 km. W wersji ARP 2000 H system zastosowano do rejestracji w bardzo trudnych warunkach polowych przyspieszeń drgań wału hydrotechnicznego zbiornika odpadów poflotacyjnych Żelazny Most w Polkowicach (początkowo w czterech przekrojach, z których każdy wyposażony był w 2 czujniki trójosiowe a obecnie już w 10 przekrojach: 2W, 4N, 7W, 8W, 15W, 16E, 19N, 20S, AKC1 i AKC2).

W latach 2000 - 2001 **uczestniczyłem, jako wykonawca w realizacji projektu celowego** (załącznik 6 Z6[5]) z **KWK Bielszowice Nr 9 T12A 177 2000C/5016 pt. „System analizy zjawisk sejsmicznych i wyłączenia energii w rejonach zagrożonych gwałtownym wpływem metanu po wstrząsie górotworu”**, w którym aktywnie uczestniczyłem w opracowaniu metody wykrywania zagrożeń skojarzonych „tąpnicie + metan” oraz rozwiązań sprzętowych umożliwiających jej stosowanie.

W latach 2000- 2002 uczestniczyłem, **jako Główny Wykonawca 1 w realizacji grantu** (załącznik nr 6 Z6[6]) **Nr 9T12A02319 pt. „Badanie procesu pękania skał w aspekcie oceny zagrożenia tąpnięciami stropowymi”** Z3[31, 37, 41].

Głównym celem badań w realizowanym projekcie, było opracowanie sposobów umożliwiających ocenę rozwoju tendencji pękania górotworu. Zgodnie z obowiązującymi teoriami geomechanicznymi, rozwijające się procesy pękania, w określonych warunkach, mogą prowadzić do wstrząsów. Pęknięcie górotworu posiada skomplikowaną strukturę stochastyczną, oraz nie jest zjawiskiem bezpośrednio obserwowalnym. Poszczególne pęknięcia powodują drgania sprężyste, które są obserwowane w formie emisji sejsmicznej. Dlatego procesy pękania mogą być konstruktywnie badane na drodze analizy rejestrowanej emisji sejsmicznej. Zakłada się, że emisja sejsmiczna ma taką samą strukturę jak wywołujące ją procesy pękania, i może być opisywana w formie punktowego strumienia zdarzeń. Badanie emisji można podzielić na dwa zasadnicze typy, a mianowicie: opis poszczególnych zjawisk na drodze analizy zarejestrowanych sygnałów, oraz badanie populacji zjawisk w celu opisu praw rządzących ich rozkładami statystycznymi.

Przedstawiono opis teoretyczny strumienia emisji, oraz opracowano nowoczesne metody analizy zjawisk sejsmicznych rejestrowanych w układzie trójskładowym. Badaniom statystycznym podlegały cechy reprezentujące zjawiska emisji, a w szczególności ich rozmiary.

Wykorzystując wyniki badań pilotujących, opracowano modele opisujące rozkłady statystyczne cech emisji, oraz anomalie występujące w przebiegu rejestrowanego strumienia emisji, czyli grupowanie się zjawisk zarówno w czasie jak i w przestrzeni. Opracowano również najbardziej efektywne sposoby estymacji parametrów omawianych modeli. Na podstawie tych parametrów zdefiniowano odpowiednie miary opisujące tendencje rozwoju pękania. Miary te przedstawiano w formie tzw. „funkcji ryzyka wystąpienia wstrząsu”. Funkcja ta wraz z określonym układem kryteriów może stanowić podstawę do prowadzenia predykcji wstrząsów oraz ocen stopnia zagrożenia tąpnięciami. Do właściwego odwzorowania przebiegających w górotworze procesów pękania konieczny jest dopływ odpowiedniej informacji pomiarowej. W tym celu, na podstawie prowadzonych pomiarów pilotujących, opracowano metodykę badań oraz zaprojektowano i wykonano odpowiedni układ pomiarowy. Układ ten został zainstalowany w oddziale G-6 ZG Lubin, gdzie prowadzona była ciągła rejestracja emisji sejsmicznej.

W ramach realizowanego projektu zostały opracowane algorytmy i programy analizy rejestrowanej emisji, które umożliwiły zbudowanie systemu interpretacji na bazie wspomnianego wyżej układu pomiarowego.

W efekcie podjęto próby stwierdzenia, jakości działania opracowanego systemu w warunkach przemysłowych. Miały one, między innymi, na celu stwierdzenie, w jakim stopniu jest możliwe śledzenie rozwoju tendencji procesów pękania w okresach poprzedzających wystąpienia wstrząsów. Na podstawie tych prób, stwierdzono przydatność opracowanego systemu do predykcji wstrząsów oraz oceny stanu zagrożenia tąpnięciami.

Pęknięcie górotworu posiada strukturę losową, dlatego śledzenie procesów prowadzących do wstrząsu jest zagadnieniem złożonym. W dużym stopniu proces ten jest zaburzany (zakłócany) nieskorelowanym czynnikiem losowym. Uogólniając, można postawić tezę, że proces pękania składa się z części sygnałowej niosącej informację o tendencji rozwoju pękania, oraz szumu losowego nieniosącego tej informacji. Charakter ten przenosi się na rejestrowaną emisję, która odwzorowuje pęknięcie górotworu. Cała trudność w opracowaniu sposobów oceny zagrożenia tąpnięciami, polega na możliwie jak najlepszym wydzieleniu części sygnałowej. Jak wiadomo z teorii, wstrząsy powodują wytwarzanie się tzw. emisji indukowanej, której poziom zależy od ich energii. Efekt ten dodatkowo utrudnia uzyskiwanie poprawnych ocen zagrożenia. Niezależnie od tego, na

charakter emisji mają znaczny wpływ skutki prowadzonej eksploatacji. Naturalny bieg procesów pękania zaburzany jest pracami strzałowymi, tzw. strzelaniem przodków lub strzelaniem wstrząsowym. Skutkiem tych prac jest prowokowanie wstrząsów i występowanie ich niezgodne z naturalnym biegiem procesów pękania. Aby skompensować te skutki prowadzona w tych warunkach interpretacja wymaga takich danych pomiarowych, które zapewniają możliwość wyznaczenia rozmiarów zjawisk w jak najszerszym zakresie. Dlatego stawiane są bardzo wysokie wymagania odnośnie stosowanego układu pomiarowego, zarówno pod względem dynamiki zapisów, jak i zakresu częstotliwościowego, aby zapewnić dopływ niezbędnej informacji.

Jednym z głównych zagadnień było stwierdzenie czy prototypowy układ pomiarowy zainstalowany w oddziale G-6 ZG Lubin spełnia te wymagania i umożliwi odpowiednią efektywność oceny stanu zagrożenia oraz predykcji wstrząsów. Aby określić omawianą efektywność prowadzono interpretację, rejestrowanej tym układem pomiarowym, emisji w okresie od 2002-01-01 do 2002-05-01. Pomimo przedstawionych wyżej trudności wyniki przeprowadzonej analizy upoważniały do stwierdzenia, że jest możliwe śledzenie rozwoju tendencji procesów pękania. Do oceny stopnia zagrożenia zastosowano odpowiednie miary, które opisują tendencje rozwoju procesów pękania, w formie tzw. funkcji ryzyka.

Należy stwierdzić, że uzyskane wyniki badań nie dawały podstaw do pełnej (ściśle) oceny statystycznej efektywności omawianej metody. Rejestrowana w tym okresie emisja charakteryzowała się bardzo wysokim poziomem dyspersji związanym z prowadzoną eksploatacją oraz profilaktyką, przy jednoczesnej małej aktywności zjawisk (wstrząsów) w wysokich zakresach energii, powyżej 1E4J.

W tych warunkach możliwa była jedynie uproszczona ocena statystyczna efektywności tej metody.

W omawianym okresie wystąpiły trzy wstrząsy o energiach przekraczających poziom 1E8J, w tym dwa wstrząsy, które wystąpiły 2002-01-12 o energii 2.5E8J i 2002-02-28 o energii 1.2E8J zostały zasygnalizowane wzrostem funkcji ryzyka. Natomiast wstrząs z dnia 2002-04-06 o energii 2.4E8J był zasygnalizowany bardzo słabym wzrostem funkcji ryzyka, gdyż prawdopodobnie jego obszar źródłowy w znacznym stopniu leżał poza zasięgiem układu pomiarowego. Stwierdzono że wszystkie te wstrząsy zostały spowodowane strzelaniem przodków i w związku z tym nie była możliwa ocena lokalizacji ich źródeł. Jednocześnie został zaburzony naturalny proces pękania poprzedzający te wstrząsy.

W zakresie energetycznym 1E5J na 11 zaistniałych wstrząsów 9 zostało zasygnalizowanych wzrostami funkcji ryzyka. W tym dwa wstrząsy, z tego zakresu energii, były spowodowane strzelaniem przodków.

Natomiast w zakresie energetycznym 1E4J efektywność ocen wynosiła około 60% wszystkich przypadków.

Stwierdzono, że zdarzały się wzrosty funkcji ryzyka po których nie występowały wstrząsy wysokoenergetyczne. W większości przypadków w okresie występowania tych wzrostów pojawiała się wzmożona aktywność śladowa, której źródła leżały w bezpośrednim zasięgu układu pomiarowego. Niezależnie od tego, występowały okresy w których rejestrowana emisja podlegała przypadkowym zakłóceniom trudnym do wyeliminowania. Zakłócenia te powodowały fikcyjne wzrosty funkcji ryzyka, które osiągały znaczne amplitudy przy jednocześnie krótkich czasach trwania. Prawdopodobnie można by było w dużym stopniu uniknąć tych trudności prowadząc lokalizację źródeł zjawisk sejsmoakustycznych. Istnieje wówczas możliwość wyznaczenia ocen rozmiarów zjawisk na podstawie energii źródeł. Jak wiadomo energia jako wielkość proporcjonalna do kwadratów norm sygnałów jest stosunkowo mało wrażliwa na zakłócenia zapisu.

Podsumowując należy stwierdzić, że uzyskane wyniki na podstawie przeprowadzonych rejestracji były obiecujące. Badania wykazały że pomimo występujących różnorodnych niekorzystnych czynników związanych z eksploatacją złoża jest możliwe, chociaż w ograniczonym stopniu, śledzenie tendencji procesów pękania poprzedzających wstrząsy. Potwierdziły to przedstawione wyniki analizy efektywności ocen stanu zagrożenia wystąpienia wstrząsów zamieszczone w raporcie końcowym grantu.

Inspirowany wynikami opisanych projektów celowych, Z6[1, 2, 3], których realizację koordynowałem lub byłem wykonawcą oraz dwóch grantów Z6[4, 6] w których aktywnie uczestniczyłem w latach 1996-2002 współdziałałem w badaniu i wdrażaniu do eksploatacji nowo opracowanych systemów i urządzeń przeznaczonych do oceny zagrożenia tąpnięciami.

Były to następujące systemy i urządzenia:

- system sejsmoakustyczny ARES-4 z sondami piezoceramicznymi Z3[29],
- system sejsmiczny ARAMIS z analogową transmisją sygnałów TSS Z3[14],
- system sejsmiczny ARAMIS M wyposażony w cyfrową transmisję sygnałów sejsmometrycznych DTSS o dynamice 90dB Z3[33],
- system DEMON do pomiaru deformacji otworów wiertniczych w ZG Rudna,
- najnowszej generacji wówczas system sejsmoakustyczny ARAMIS A przeznaczony do rejestracji w kopalniach rud miedzi przestrzennego pola falowego przy użyciu trójosiowych sond pomiarowych przystosowanych do mocowania w głębokich otworach wierconych w stropie Z3[31, 37, 41, 51],
- iskrobezpieczna przenośna aparatura sejsmiczna PASAT12i Z3[14, 54, 70].

Na zlecenie KGHM w 2002 roku opracowałem nową metodę Z3[34] identyfikacji w warunkach laboratoryjnych parametrów emisji sejsmoakustycznej próbek mocnych skał stropowych poddawanych naprężeniom osiowym zadawanym na sterowanej komputerowo prasie. Prasa i opracowany układ pomiarowy umożliwiał kontrolę sił i deformacji, aż do zniszczenia materiału skalnego, z jednoczesną synchroniczną ciągłą cyfrową rejestracją emisji akustycznej w paśmie od 22.4 Hz do 100 kHz i jej analizą widmową.

Celem prowadzonych badań była identyfikacja w warunkach laboratoryjnych parametrów emisji sejsmoakustycznej próbek mocnych skał stropowych oraz wykrycie występowania zmian w emisji, które mogą być prekursorami gwałtownych procesów niszczenia skały pod wpływem rosnących naprężeń.

Badania laboratoryjne wykazały, że próbki skalne pochodzące ze stropu poddawane naprężeniom generują pasmową emisję sejsmoakustyczną w całym badanym zakresie częstotliwości do 100 kHz. W widmie generowanych częstotliwości, szczególnie dla wysokoczęstotliwościowej jego części, występują prawidłowości polegające na przesuwaniu maksimum widma w kierunku wyższych częstotliwości ze wzrostem naprężeń oraz w kierunku niższych częstotliwości po rozpoczęciu procesu niszczenia struktury skały. Zjawiska te występują zarówno przy szybkim jak i wolnym zadawaniu naprężeń. Przy szybkim zadawaniu naprężeń niszczenie próbek przebiega gwałtowniej. Jak wykazały badania przy wolnym zadawaniu naprężeń lub nawet ich zatrzymaniu niszczenie skały nie zatrzymuje się, przebiega dalej a proces całkowitego zniszczenia zachodzi łagodniej. Wykryte w czasie badań zależności parametrów emisji od naprężeń i stanu próbki są powtarzalne i można je wykorzystać praktycznie jakkolwiek nie jest to proste w skomplikowanym systemie pomiarowym, (którego strukturę zaproponowano w pracy Z3[34]), przeznaczonym do poszukiwania prekursorów wstrząsów wysokoenergetycznych. Zastosowanie tego systemu będzie jednak ograniczone do małego obszaru lub wiązać się będzie z koniecznością zastosowania wielu czujników pomiarowych, głównie ze względu na silne tłumienie emisji wysokoczęstotliwościowej przez górotwór oraz trudności w dobrym zamocowaniu czujnika, zapewniającym prawidłową rejestrację wysokich częstotliwości.

W latach 2000 - 2003 jako współautor brałem udział w przygotowaniu wniosku i kierowałem wykonywaniem projektu celowego zamawianego PCZ-003-20 (załącznik nr 6 Z6[7]) realizowanego wspólnie z Centrum Mechanizacji i Automatyk Górnictwa KOMAG i Głównym Instytutem Górnictwa GIG pt. „System monitorowania i wizualizacji oraz sterowania procesem pracy kompleksu ścianowego w restrukturyzowanych kopalniach węgla kamiennego” Z3[32, 36, 38, 40, 54, 70] w zakresie 2 zadań głównych związanych z opracowaniem i realizacją systemu do tomografii rejonu ściany GEOTOMO oraz systemu ARAMIS SA do kontroli zjawisk dynamicznych przed frontem ściany wydobywczej. Opracowany w ramach projektu iskrobezpieczny system typu GEOTOMO Z3[35, 42, 45, 46, 50, 54, 69, 70] przeznaczony był do kontroli względnych zmian naprężeń w stropie i pokładzie przed frontem ściany. System wykorzystywał do prześwietlania falę sejsmiczną wzbudzaną przez organ urabiający kombajnu. Umożliwiał lokalizację miejsc koncentracji względnych zmian naprężeń i ocenę przyczyn ich powstawania oraz związanych z tym zagrożeń. Opracowany pierwszy w polskim górnictwie iskrobezpieczny system typu ARAMIS SA Z3[43, 44, 46, 51, 54, 58, 59, 67, 70], wykorzystujący sondy trójskładowe przeznaczony był do oceny zagrożenia zjawiskami dynamicznymi przed frontem ściany. System umożliwiał wykrywanie, rejestrację, lokalizację metodą kierunkową, grupowanie oraz ocenę energii zjawisk sejsmicznych. Zapewniał identyfikację miejsc o intensywnym wzroście emisji oraz interpretację zagrożeń zjawiskami dynamicznymi w oparciu o nową funkcję ryzyka. System będący przedmiotem projektu celowego powstawał w ramach 5 zadań głównych, podzielonych na 93 zadania szczegółowe zgodnie z ramowym harmonogramem. Realizacja systemu wymagała szczegółowej koordynacji działań związanych z jego wykonaniem, badaniami i wdrożeniem, rozliczeniem i opracowaniem merytorycznego raportu końcowego przez głównego wykonawcę Centrum EMAG. Wykonana została i przebadana instalacja pilotująca systemu w Kopalni Węgla Kamiennego „BIELSZOWICE” w Rudzie Śląskiej, a ówczesna Rudzka Spółka Węglowa wniosła dofinansowanie zadań badawczych projektu w imieniu jego Wnioskodawcy (Ministerstwo Przemysłu). Poszczególne podsystemy, wchodzące w skład opracowanego systemu będącego przedmiotem projektu, przeszły skomplikowaną drogę badań, atestacji i dopuszczeń do stosowania w kopalniach gazowych. W wyniku realizacji projektu opracowano i wdrożono:

- **unikatowy iskrobezpieczny system GEOTOMO do kontroli względnych zmian naprężeń, wykorzystujący do prześwietlania górotworu emisję sejsmiczną wzbudzaną kombajnem,**
- nowy iskrobezpieczny system monitorowania pracy kombajnu umożliwiający kontrolę jego położenia oraz określanie energochłonności procesu urabiania,
- **unikatowy iskrobezpieczny systemu do oceny zagrożenia zjawiskami dynamicznymi ARAMIS SA związanymi z tapaniami stropowymi** (o innowacyjności tego systemu świadczy zainteresowanie publikacją z listy Web of Science [67], która do dnia dzisiejszego doczekała się 51 cytowań w publikacjach z listy Web of Science),

- unikatowy iskrobezpieczny system monitorowania pracy obudowy zmechanizowanej i sterowania podpornością wstępną oraz roboczą,
- nadrzędny kompleksowy system monitorowania i wizualizacji pracy kompleksu ścianowego, integrującego poszczególne systemy składowe.

Oceńm swój udział w realizacji projektu na 40% (kierowałem opracowaniem 2 z 5 realizowanych w ramach projektu systemów GEOTOMO i ARAMIS SA). Rozwiązania systemu GEOTOMO chronione są patentem Z10[P13] pt. „Układ ciągłej kontroli względnych zmian naprężeń przed frontem górniczej ściany wydobywczej” którego jestem w 100% twórcą.

W kolejnych latach 2001 - 2003 **uczestniczyłem, jako Główny Wykonawca 2 w realizacji grantu** (załącznik nr 6 Z6[8]) **Nr 8T12B04721 pt. „Opracowanie nieniszczącej metody badania stanu zamocowania kotew z wykorzystaniem wzbudzanych w nich drgań sprężystych”** gdzie zajmowałem się opracowaniem prototypu urządzenia do kontroli stanu zamocowania kotew metodą nieniszczącą, działającego z wykorzystaniem metody sejsmoakustyki Z3[39].

W wyniku realizacji grantu opracowano i przebadano model urządzenia Kotew, które przetestowano w zakładach górniczych Rudna Z3[47]. Urządzenie wyposażono w przenośny wzbudnik drgań w badanej kotwi i rejestrator odpowiedzi na pobudzenie oraz odpowiedni program do analizy wyników.

W przypadku kotew rozprężnych głównym czynnikiem decydującym o parametrach rejestrowanych sygnałów było naprężenie kotwy (siła dokręcenia) zaś w przypadku kotew wklejanych – jakość wklejenia.

Jak to zostało szczegółowo przedstawiono w wynikach badań i ich interpretacji poddawano obserwacji następujące trzy parametry estymowane z widma sygnału:

- częstotliwości nośne, estymowane jako środki ciężkości gęstości spektralnych rejestrowanych sygnałów,
- szerokości pasma,
- skośności widma.

Dla każdego z rejestrowanych sygnałów zostały policzone powyższe parametry zaś wartości średnie parametrów z tej samej kotwy były przedmiotem dalszej analizy.

Kotew nienaprężona lub źle wklejona (zgodnie z analizą teoretyczną Z3[39]) miała najniżej zlokalizowane widmo drgań własnych, drgała w najszerszym zakresie i cechowała się największą asymetrią widma z dominującą częścią niskoczęstotliwościową.

Urządzenie umożliwilo dokonywanie szacunkowej oceny jakości zamontowania kotwi jednego typu zamocowanych w danym rejonie bazując na właściwościach statystycznych. Możliwe było wskazanie kotew słabiej naprężonych lub źle wklejonych. Ocena stanu zamocowania wszystkich kotew mogła się również opierać na porównywaniu rejestracji z kolejnych, robionych w pewnych odstępach czasu pomiarach i badaniu zmian obliczanych parametrów w czasie.

Wynik projektu opracowany sposób oceny stanu zamocowania kotew i urządzenie do jego stosowania było przedmiotem patentu Z10[P14], którego byłem w 100% twórcą.

W latach 2002-2004 **współdziałałem w realizacji projektu międzynarodowego EUREKA E!2822** (załącznik nr 6 Z6[9]) **pt. „System kompleksowego monitoringu bezpieczeństwa – SKMB”** opracowanego w ramach współpracy z Instytutem im. Skoczynskiego w Moskwie (w zakresie realizacji systemu kontroli wstrząsów). System SKMB Z3[49, 53] zbudowano na bazie czterech połączonych ze sobą sieciami komputerowymi podsystemów:

- SMP-NT – ciągłe monitorowanie stanu środowiska (atmosfery kopalnianej), funkcje automatycznych blokad (wyłączania energii) i sygnalizacji pożarowej,
- ARAMIS M – monitorowanie zjawisk sejsmicznych, lokalizacja wstrząsów w obrębie kopalni oraz ocena ich energii,
- ARES 5 - kontrola zjawisk sejsmoakustycznych w obrębie wydzielonych małych rejonów (ściana, przodek),
- STAR – ogólnokopalniana łączność telefoniczna, alarmowanie i rozgłaszanie komunikatów.

W ramach projektu odpowiedzialny byłem za udostępnienie rejestracji z podsystemu sejsmicznego i sejsmoakustycznego oraz opracowanie wspólnej funkcjonalności w systemie kompleksowego monitoringu. System umożliwił: automatyczną wymianę informacji pomiędzy podsystemami, co zapewniło szybkie reagowanie na występujące sytuacje krytyczne, łącznie z wyprzedzającym wyłączaniem energii po wstrząsie i automatycznym przesyłaniem głosowych komunikatów ostrzegawczych i ewakuacyjnych oraz organizację wspólnej dla wszystkich zagrożeń bazy danych do kompleksowej analizy stanu zagrożeń naturalnych i planowania długofalowych działań profilaktycznych.

W latach 2002 - 2005 jako Główny Wykonawca 1 współdziałałem w realizacji projektu badawczego (załącznik nr 6 Z6[10]) Nr.5T12A00123 pt. „Metody zarządzania i analizy danych dla systemów monitorowania zagrożeń naturalnych i procesów technologicznych w kopalniach” Z3[76] w którym odpowiedzialny byłem za udostępnienie danych sejsmicznych do analizy z systemów sejsmoakustycznych i sejsmicznych.

Jako kierownik prowadziłem w latach 2004 – 2008 prace związane z realizacją dużego międzynarodowego projektu EUREKA E!3353 (załącznik nr 6 Z6[11]) pt. „System do monitorowania zagrożeń w kopalniach, związanych z naruszeniem równowagi górotworu oraz środowiska” Z3[48, 53, 54, 60, 61, 62, 65, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 77]. Projekt realizowany był przez dwóch zasadniczych partnerów: Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG (Polska), Instytut Problemów Kompleksowego Zagospodarowania Bogactw Naturalnych Rosyjskiej Akademii Nauk (IPKON RAN) w Moskwie i dodatkowo firmę ISS International Limited, Stellenbosch w Republice Południowej Afryki oraz Uniwersytet w Tuzli (UNIT) w Bośni i Hercegowinie na podstawie podpisanej umowy o współpracy.

Realizacja projektu E!3353 umożliwiła osiągnięcie zasadniczego celu, jakim było opracowanie oraz wdrożenie do produkcji i stosowania nowego produktu systemu SAFECOMINE do monitorowania i prognozowania zagrożeń związanych z naruszeniem równowagi górotworu oraz środowiska dla głębinowych i odkrywkowych kopalń wydobywających bogactwa naturalne.

Zagrożenia te przejawiają się występowaniem zjawisk dynamicznych w postaci wstrząsów wysokoenergetycznych powodujących wypadki, niszczenie struktury wyrobisk i infrastruktury kopalni oraz szkodliwe drgania i deformacje powierzchni. Ochrona przed tymi zjawiskami została osiągnięta poprzez opracowanie nowych metod monitorowania stanu górotworu, wykrywania prekursorów wzrostu zagrożeń, alarmowanie w stanach zagrożeń, co umożliwia stosowanie odpowiedniej profilaktyki. System posiadał modułową budowę i składał się z kilku współpracujących podsystemów. W zależności od potrzeb użytkownika ustalało się właściwą do potrzeb jego konfigurację. Opracowane podsystemy rejestrowały na bieżąco parametry fizyczne przestrzennego pola drgań górotworu (prędkość i przyspieszenie), wzbudzanego przez naturalne zjawiska związane z pękaniem górotworu – wstrząsy oraz towarzyszące tym zjawiskom drgania i osiadanie na powierzchni. Kontrolowane były też na bieżąco ciśnienia w stojakach obudowy hydraulicznej kompleksów ścianowych.

Wchodzące w skład systemu urządzenia obiektowe i czujniki, pracujące w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu, były iskrobezpieczne i mogły być zasilane zdalnie z powierzchni. Dzięki temu system zachowywał swe funkcje metrologiczne i wykonawcze w każdych warunkach, niezależnie od stanu dołowej sieci elektroenergetycznej.

W skład opracowanego systemu SAFECOMINE wchodziły następujące podsystemy: iskrobezpieczny sejsmiczny ARAMS M/E z transmisją cyfrową, iskrobezpieczny sejsmoakustyczny ARES-5/E z transmisją analogową, do kontroli podporności w stojakach obudowy hydraulicznej MONSTER/E, sejsmiczny ARAMIS SA/E z cyfrową iskrobezpieczną modemową transmisją sygnałów przeznaczony do rejestracji przy pomocy sond trójskładowych i analizy zjawisk dynamicznych w stropie, geotomografii GEOTOMO/E z transmisją cyfrową sygnałów w wersji iskrobezpiecznej przeznaczony do kontroli względnych zmian naprężeń przed frontem ściany poprzez automatyczną ocenę tłumienia rejestrowanej fali sprężystej wzbudzanej organem urabiającym pracującego kombajnu, sejsmiczny powierzchniowy ARP 2000/E przeznaczony do monitorowania zagrożeń infrastruktury kopalni i powierzchni wywołanych eksploatacją górnictw.

Podsystem ARP 2000/E przeznaczony do rejestracji przyspieszeń drgań i deformacji powierzchni Ziemi wywoływanych wstrząsami górnictwymi oferowany był i jest w różnych wykonaniach (ARP 2000 P/E – monitorowanie drgań powierzchni, SZ/E – monitorowanie drgań obudowy szybowej, H/E – monitorowanie drgań hydrotechnicznych zbiorników poflotacyjnych, O/E – monitorowanie osiadania). Możliwości funkcjonalne podsystemu były doskonałe podczas realizacji projektu jak i w latach następnych Z3[52, 54, 55, 56, 70, 75, 78, 84, 89]

Podsystemy umożliwiały:

- ciągły pomiar i monitorowanie aktywności sejsmicznej w kopalniach głębinowych i odkrywkowych,
- lokalizację wstrząsów i określanie ich energii w obrębie kopalni jak i też w rejonach szczególnie zagrożonych takich jak ściana wydobywczą,
- kompleksową ocenę zagrożenia tapaniami wyrobisk górnictwymi metodami sejsmologii, sejsmoakustyki i wierceń małośrednicowych,
- określanie miejsc koncentracji naprężeń przed frontem ściany metodami geotomografii tłumieniowej z wykorzystaniem kombajnu, jako źródła fali prześwietlającej,
- monitorowanie na bieżąco ciśnień w stojakach obudowy hydraulicznej i stanu pracy obudowy,
- ciągły pomiar i monitorowanie drgań na powierzchni kopalń oraz deformacji powierzchni z wykorzystaniem techniki satelitarnej GPS,
- monitorowanie szkodliwości oddziaływania drgań i deformacji wywołanych eksploatacją i

wstrząsami pochodzenia górniczego na infrastrukturę kopalni (szyby), zabudowę powierzchni (budynki) i zbiorniki hydrotechniczne.

Opracowany system posiadał strukturę zdolną po odpowiedniej konfiguracji do kontroli stanu górotworu w kopalniach głębinowych (w tym metanowych) oraz odkrywkowych różnorodnych bogactw naturalnych (takich jak rudy żelaza, miedzi, soli, soli potasowych, diamentów, złota, srebra, węgla kamiennego i brunatnego). System zapewniał kontrolę szkodliwego oddziaływania procesów technologicznych na stan górotworu.

Umożliwiał kontrolę emisji sejsmicznej górotworu w obrębie całej kopalni lub w miejscach szczególnie zagrożonych wyrobisk oraz gromadzenie w jednym miejscu (centrum monitorowania i analiz) informacji niezbędnych do zobrazowania, oceny i prognozowania zagrożeń związanych z naruszeniem stanu równowagi górotworu oraz zagrożeń powierzchni wywołanych drganiami i osiadaniem.

Oprogramowanie systemu umożliwiało: lokalizację zjawisk dynamicznych określanie ich energii, grupowanie, modelowanie procesu ich występowania (z wykorzystaniem oprogramowania opracowanego w ramach projektu przez IPKON RAN) i prognozowanie prawdopodobieństwa zaistnienia w kontrolowanych rejonach zjawisk wysokoenergetycznych.

Dla kopalń z wydobywaniem ścianowym system umożliwiał kompleksowe monitorowanie pracy kompleksu ścianowego (ciśnień w stojakach obudowy hydraulicznej oraz zjawisk zachodzących w pokładzie i stropie).

System umożliwiał badanie w kontrolowanych rejonach względnych zmian tłumienia drgań sprężystych (w przybliżeniu odwrotnie proporcjonalnych do względnych zmian naprężeń) za pomocą geotomografii pasywnej (z wykorzystaniem naturalnej emisji sejsmicznej) lub aktywnej (z wykorzystaniem do wzbudzania prześwietlającej fali sejsmicznej organu urabiającego kombajnu),

Dla kopalń odkrywkowych system zapewniał lokalizację wstrząsów, określanie ich energii, prognozowanie zjawisk wysokoenergetycznych, kontrolę metodami sejsmiki brzegów wyrobiska oraz prognozowanie obwałów (z wykorzystaniem sprzętu i oprogramowania opracowanego w ISS, Afryka Południowa).

Oprogramowanie systemu umożliwiało udokładnianie danych pomiarowych o przemieszczeniach i monitorowanie zagrożeń powierzchni wywołanych eksploatacją w korelacji z sejsmicznością kopalni.

System zapewniał podejmowanie w jak najkrótszym czasie działań profilaktycznych w wyrobiskach górniczych zabezpieczających ludzi, infrastrukturę kopalni oraz zabudowę powierzchni, co przyczyniało się do minimalizacji kosztów związanych z destrukcyjnym oddziaływaniem górotworu o zaburzonej równowadze statycznej i dynamicznej.

W zakresie ochrony powierzchni zastosowane czujniki pomiarowe GPS, przyjęta struktura systemu z precyzyjnymi stacjami referencyjnymi dowiązаныmi do europejskiej sieci EUREF lub sieci lokalnych, oraz specjalistyczne oprogramowanie do postprocessingu zapewniało uzyskanie dużej dokładności pomiarów w sytuacji, gdy brak było w okolicy stabilnych punktów odniesienia.

Zaproponowany system dokonywania pomiarów przy pomocy ruchomych czujników pomiarowych zapewniał udokładnienie pomiarów wokół stacjonarnego punktu pomiarowego, a tym samym umożliwiał odwzorowanie deformacji w wielu punktach stosunkowo małym kosztem.

Wykrywanie na bieżąco drgań w postaci zjawisk sejsmicznych na powierzchni umożliwiało zasygnalizowanie zaistnienia zjawisk dynamicznych towarzyszących gwałtownemu osiadaniu lub destrukcji budowli spowodowanej łagodnym osiadaniem, co pozwalało zageścić w czasie dokonywanie pomiarów i analiz.

W części powierzchniowej system posiadał rozproszoną przestrzennie strukturę. Elementy systemu w postaci stacjonarnych i referencyjnych stacji pomiarowych powiązane były z centrum monitorowania i analiz za pomocą cyfrowej dwukierunkowej transmisji danych realizowanej za pomocą transmisji przewodowej (ISDN) lub bezprzewodowej (GSM - GPRS).

Oprogramowanie systemu umożliwiało pracę w trybie automatycznym lub półautomatycznym, zbieranie danych oraz pełną zdalną diagnostykę urządzeń pomiarowych.

Opracowano i wdrożono do stosowania nowoczesny zgodny z obowiązującymi normami zunifikowany system oceny zagrożeń górniczych i środowiska wywołanych naruszeniem równowagi górotworu w wyniku prowadzonej eksploatacji dla kopalń głębinowych i odkrywkowych. W konstrukcji systemu wykorzystano najlepsze doświadczenia wiodących producentów systemów sejsmicznych, w tym realizatorów projektu, co zapewniło uzyskanie bardzo dobrych parametrów (w zakresie stosowanych czujników, dynamiki przetwarzania i szerokiego pasma rejestrowanych częstotliwości) i umożliwiło kontrolę emisji sejsmicznej w małych i dużych obszarach.

W ramach projektu opracowano i wdrożono do stosowania nowe, dotychczas niewykorzystywane metody pomiarowe umożliwiające lepszą kontrolę zjawisk zachodzących w górotworze oraz prognozowanie zagrożeń (rejestracja przestrzennego pola falowego, prognozowanie zagrożeń za pomocą metody hazardu sejsmicznego). Opracowany system w rozwiązaniach dla kopalń zagrożonych wybuchem metanu zapewniał iskrobezpieczeństwo. W zakresie ochrony środowiska opracowano jednolite pod względem aparatury pomiarowej i metod transmisji nowoczesne i zgodne z obowiązującymi normami stacjonarne i referencyjne stacje pomiarowe zdolne do pomiaru przy pomocy precyzyjnej satelitarnej techniki pozycjonowania zjawisk towarzyszących osiadaniu i deformacji powierzchni oraz towarzyszących

temu drgań.

Opracowano i przygotowano do wdrożenia jednolite metody udokładniania wyników pomiarów w postprocessingu, dowiązywania stacji referencyjnych do sieci EUREF lub sieci lokalnych, prezentacji wyników rejestracji i przetwarzania oraz oceny szkodliwości rejestrowanych zjawisk dla budowli.

Opracowywany system o wymienionych cechach był pierwszym w świecie tego rodzaju rozwiązaniem, w którym ocena zagrożeń otaczającego środowiska dokonywana była w korelacji z sejsmicznością kopalni, co przyczyniło się do lepszego rozpoznania zjawisk zachodzących na terenach górniczych zagrożonych osiadaniem, deformacją powierzchni i szkodliwymi drganiami.

W zrealizowanym systemie wykorzystano doświadczenia realizatorów i ich osiągnięcia w zakresie przetwarzania, interpretacji, wizualizacji oraz prognozowania zjawisk zachodzących w górotworze i otoczeniu.

Realizacja projektu umożliwiła osiągnięcie, zamierzonych we wniosku o dofinansowanie projektu, jego głównych celów.

W ramach projektu prowadzono badania w zakresie kontroli stanu górotworu dokonywanej metodami sejsmicznymi polegającymi na analizie przestrzennego pola falowego wzbudzanego w sposób naturalny (zjawiska) jak i wymuszony pracą maszyn urabiających. Prowadzono badania w zakresie telemetrii, w tym nowych metod pomiaru deformacji i drgań, transmisji i przetwarzania na różnych poziomach systemu monitorowania zagrożeń powierzchni.

Zrealizowana część badawczo-rozwojowa projektu dotyczyła szczegółowego rozpoznania potrzeb rynku Federacji Rosyjskiej na opracowywany system. Związana była z analizą obowiązujących przepisów i wymagań różnych branż wydobywczych. Obejmowała opracowanie założeń funkcjonalnych systemu uwzględniających specyfikę kopalń różnych bogactw naturalnych w Rosji oraz metod identyfikacji zagrożeń wywołanych zaburzeniem równowagi górotworu w warunkach kopalń rosyjskich dla kopalń głębinowych i odkrywkowych. Opracowano i przeprowadzono badania laboratoryjne modelowej i prototypowej wersji systemu, której elementy (podsystemy) poddano certyfikacji w Polsce, Rosji i Chinach. Opracowano wersję polską, rosyjską, angielską i chińską dokumentacji i oprogramowania systemu dla kopalń. Prowadzono akcję marketingową systemu organizując seminaria w Polsce i za granicą.

Wykorzystując zainteresowanie różnych użytkowników w ramach kontraktu i zleceń doraźnych optymalizowano rozmieszczenie sieci pomiarowych, przygotowano wybrane kopalnie do zabudowy podsystemów w różnych konfiguracjach oraz przeprowadzono ich badania eksploatacyjne.

Opracowano metodę oceny zagrożenia wstrząsami wysokoenergetycznymi z wykorzystaniem rejestracji naturalnej emisji sejsmicznej i analizy hazardu sejsmicznego w kopalniach podziemnych i odkrywkowych.

Z wykorzystaniem doświadczeń ISS (RPA) rozpoznano metodę predykcji osuwisk w oparciu o pomiary naturalnej emisji sejsmicznej w kopalniach odkrywkowych. Udoskonalono algorytmy tomografii aktywnej i pasywnej dla potrzeb określania parametrów ośrodka skalnego oraz sposób oceny zagrożenia tąpnięciami w rejonie wyrobisk górniczych na podstawie analizy emisji sejsmicznej prowadzonej w dziedzinie widmowej. Opracowano algorytmy i oprogramowanie do pasywnej tomografii tłumieniowej realizowanej na podstawie zarejestrowanych energii pochodzących od zjawisk sejsmicznych, orientacji przestrzennej sond trójskładowych z wykorzystaniem strzelań kontrolnych, oraz prognozowania oddziaływania wstrząsów na powierzchnię obszarów górniczych kopalń.

W prowadzonych pracach kierowano się dążeniem do doskonalenia parametrów metrologicznych podsystemów przeznaczonych do kontroli zagrożeń.

W zakresie podsystemów sejsmicznych w dążeniu do umożliwienia analizy przestrzennego pola falowego zwiększono liczbę transmitowanych cyfrowo, z wykorzystaniem jednej zasilającej iskrobezpiecznej linii teletechnicznej składowych sygnału do 3 (X, Y, Z). Rozwiązanie to nie znajduje do dziś odpowiednika na świecie. Dla poprawy dynamiki rejestracji zastosowano w nadajnikach dołowych 24-bitowe przetworniki Sigma Delta. W celu zwiększenia niezawodności cyfrowej transmisji sygnałów i uniezależnienia jej od zmiennych parametrów linii transmisyjnych moduły odbiorników cyfrowych wyposażone zostały w automatycznie działające układy adaptacyjne.

Zastosowane w podsystemach systemu SAFECOMINE oferowanych przez Centrum EMAG precyzyjne określanie podstawy czasu umożliwiło integrację ich zapisów, co zwiększyło możliwości funkcjonalne. Dzięki dowiązywaniu w czasie zapisów uzyskiwanych z różnych integrowanych sieci pomiarowych uzyskuje się udokładnianie lokalizacji składowej „Z” i zwiększenie precyzji lokalizacji na granicach kopalń.

Udoskonalono również programy umożliwiające automatyczne opracowywanie oceny zagrożeń zgodnie z opracowanymi w GIG, obowiązującymi i zatwierdzonymi przez Wyższy Urząd Górniczy metodami interpretacji: sejsmoakustyki, sejsmologii, wierceń małośrednicowych i metodą kompleksową (została opracowana pierwsza wersja oprogramowania Hestia).

Wyniki prac badawczych po weryfikacji w warunkach laboratoryjnych i poligonowych zaimplementowano w wersji prototypowej systemu.

Podsystemy: sejsmiczny ARAMIS M/E i sejsmoakustyczny ARES-5/E w wersji przeznaczonej na rynek rosyjski

uzyskały pozytywną opinię jednostki atestacyjnej SERITUM w Moskwie i na podstawie wydanych przez władze górnicze Federacji Rosyjskiej certyfikatów zostały dopuszczone do stosowania w kopalniach rosyjskich. Podsystem sejsmiczny ARAMIS M/E współpracujący z podsystemem do kontroli zagrożeń powierzchni ARP 2000P/E oraz podsystem ARES-5/E uzyskał dopuszczenie do stosowania w kopalniach ChRL.

Podsystemy sejsmiczny ARAMIS M/E i sejsmoakustyczny ARES-5/E oraz do kontroli zagrożeń powierzchni ARP 2000P/E począwszy od roku 2006 oferowane są na rynku krajowym i zagranicznym w tym na rynku chińskim po ciągłych modyfikacjach do dnia dzisiejszego z wykorzystaniem cyfrowej transmisji sieciowej przewodowej i światłowodowej. Do 2017 roku systemy sejsmiczne ARAMIS M/E i sejsmoakustyczne ARES-5/E zostały szeroko rozpowszechnione w ChRL w liczbie 50 sztuk oraz w Polsce 34 sztuki. Wdrożono również systemy ARAMIS M/E i ARES-5/E po jednej sztuce w Rosji i na Ukrainie.

Iskrobezpiecznej przenośnej aparatury sejsmicznej PASAT M wdrożono w ChRL, Polsce i Rosji łącznie 12 sztuk. Ponadto system do trójskładowej rejestracji przyspieszeń drgań ARP 2000 w różnych wersjach wdrożono w Polsce 65 sztuk. W ChRL wdrożono 3 sztuki ARP 2000 P/E. Zestawienie opisanych wdrożeń zamieszczono w załączniku Z12. Tak szeroki zakres wdrożeń uzyskano dzięki prawidłowo zrealizowanej fazie badawczo-rozwojowej, skutecznie przeprowadzonej akcji marketingowej, dobremu przygotowaniu komercyjnej, wielojęzycznej wersji systemu oraz jego pełnej dokumentacji dla potencjalnych użytkowników w kraju i za granicą.

Kierowany przez autora autoreferatu projekt EUREKA E!3353 przyniósł już w okresie od 2006 do dziś kilkadziesiąt mln złotych przychodu ze sprzedaży. W 2017 roku przedłużono wzajemną umowę w ChRL o kolejne 10 lat na dalszą dostawę systemów w tym ciągle modernizowanych. Oferowane są nowe sejsmometry jedno lub trójskładowe z wyjściem cyfrowym zbudowane z wykorzystaniem niskoczęstotliwościowych geofonów typu GS-1 firmy Geospace oraz zmodyfikowana transmisja cyfrowa w systemie ARAMIS M/E o poszerzonym paśmie transmitowanych częstotliwości do 800 Hz.

Jako wykonawca uczestniczyłem w latach 2007 - 2010 w realizacji projektu międzynarodowego (załącznik nr 6 Z6[12]) PRESIDENCE (Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel), „Prediction and monitoring of subsidence hazards above coal mines” Z3[63, 64, 66, 71, 74, 75], realizowanego przez Centrum EMAG, Katowice Polska oraz firmy z Hiszpanii, Wielkiej Brytanii, Francji i Niemiec). W części projektu „Monitorowanie i kontrola wpływu osiadania na powierzchnię” podjęto prace nad tematyką: Narzędzia do monitorowania oparte o metody geometryczne – w której wykonano (w EMAG) interpretację wybranych zobrażeń satelitarnych pod kątem możliwości oceny wyników osiadania uzyskanych na podstawie badań prototypu systemu opracowanego w zadaniu „Sejsmiczne i oparte o GPS narzędzia do monitorowania zagrożeń powierzchni”.

W zadaniu „Sejsmiczne i oparte o GPS narzędzia do monitorowania zagrożeń powierzchni” zespół w którym uczestniczyłem opracował system do kompleksowej oceny zagrożeń powierzchni spowodowanych skutkami działalności górniczej. Istotną zaletą systemu było to, że był on pierwszym rozwiązaniem uwzględniającym zagrożenia pochodzenia sejsmicznego oraz deformacyjne wynikające z przemieszczeń punktów powierzchni terenu górniczego. W ramach zadania opracowano modele matematyczne aproksymujące procesy sejsmiczne oraz deformacyjne towarzyszące działalności wydobywczej. Z tych względów system może być wykorzystywany zarówno do bieżącej obserwacji terenu na podstawie pomiarów oraz do predykcji zachowania powierzchni na podstawie obliczeń wykonywanych na bazie przyjętych modeli. Prototyp opracowanego z moim udziałem systemu poddano testowaniu na poligonie jednej z kopalń węgla kamiennego. W ramach testowania podjęto próbę znalezienia powiązań pomiędzy zjawiskami deformacyjnymi oraz sejsmicznymi na podstawie wyników przeprowadzonych pomiarów.

System może być wykorzystywany przez właścicieli gruntów na terenach górniczych: kopalń, samorządów i innych użytkowników.

W 2008 w uznaniu zasług w opracowaniu i wdrożeniu do eksploatacji systemów sejsmicznych do oceny zagrożenia tąpnięciami w kopalniach zostałem nagrodzony w Katowicach Nagrodą zespołową NOT I stopnia w 36 edycji w kategorii: rozwiązania techniczne i organizacyjne zastosowane w praktyce, za opracowanie „Systemy sejsmiczne do oceny zagrożenia tąpnięciami w kopalniach” Z7[N12] oraz w Warszawie zespołową Nagrodą I stopnia w Ogólnopolskim Konkursie Poprawy Warunków Pracy w kategorii: rozwiązania techniczne i organizacyjne zastosowane w praktyce, za opracowanie „Systemy sejsmiczne do oceny zagrożenia tąpnięciami w kopalniach” Z7[N13]. Nagroda ta przyznana w konkursie na mój wniosek (występowałem w imieniu zespołu i za jego zgodą - podpisy na wniosku) stanowiła podsumowanie wkładu mojego ocenionego na 45% i współrealizatorów w osobach: mgr inż. Marka Dworaka 25%, mgr inż. Bożeny Hersztowskiej 15%, mgr inż. Marka Mokrosza 10% i mgr Ireny Kuciary 5% w opracowaniu i dotychczasowym wdrożeniu tych systemów w kraju i za granicą.

W 2009 roku uczestniczyłem w opracowaniu i wdrożeniu do produkcji nowej generacji przenośnej aparatury sejsmicznej PASAT M Z3[71, 73, 79, 80].

Aparatura umożliwia uzyskanie, gromadzenie danych oraz ich przesyłanie w postaci cyfrowej do dalszego przetwarzania w celu:

- określenia naprężeń w górotworze oraz ich zmian w czasie i przestrzeni (anomalie naprężeń związane z: krawędziami zatrzymanej eksploatacji, oddziaływaniem resztek węglowych pokładów sąsiednich, czynną eksploatacją ścian, granicą starych zrobów, wyrobiskami korytarzowymi i uskokami),
- wyznaczenia niejednorodności geologicznych przed frontem eksploatacji (pustki, wymycia, uskoki itd.),
- wyznaczenia parametrów opisujących właściwości fizykochemiczne (moduł Younga, stała Poissona), charakteryzujących wytrzymałość i zwięzłość górotworu,
- rozpoznania miejsca do prawidłowego mocowania sond pomiarowych w geofizyce poszukiwawczej,
- rozpoznania gruntu przed rozpoczęciem robót budowlanych,
- gromadzenia innych danych w formie rejestracji sygnałów napięciowych lub prądowych doprowadzonych do aparatury z autonomicznych iskrobezpiecznych źródeł (czujników).

Aparatura wykorzystana może być przy stosowaniu następujących metod pomiarowych:

- profilowanie sejsmiczne podłużne w wyrobiskach górniczych,
- prześwietlanie sejsmiczne pomiędzy wyrobiskami,
- prześwietlanie sejsmiczne pomiędzy otworami,
- sondowanie sejsmiczne,
- karotaż sejsmiczny.

Urządzenie posiada autonomiczne zasilanie, stosunkowo małe wymiary i składa się z sond pomiarowych SP, modułów transmisyjnych MPT, modułu wyzwiania pomiarów MWP i modułu sterowania, wizualizacji, archiwizacji oraz rejestracji PDA. Modułowa budowa urządzenia umożliwia w zależności od potrzeb konfigurowanie zestawu pomiarowego złożonego z wymaganej do prowadzenia pomiarów liczby sond pomiarowych.

Sondy pomiarowe SP wyposażono w dwa geofony (horyzontalne 10Hz), z których jeden zamontowano równoległe do osi sondy, a drugi prostopadle. Wzmacnianie sygnałów, ich filtracja oraz przetwarzanie dokonywane jest w sondzie pomiarowej. Sondy zasilane są z odrębnych akumulatorów. Sterowanie dokonywaniem pomiarów i transmisją danych pomiarowych realizowana jest za pomocą magistrali CAN. Zapewniono separację galwaniczną sond pomiarowych SP. Moduł sterujący i wizualizujący PDA sprzężono z magistralą CAN poprzez moduł wyzwiania pomiarów MWP i sprzężenie Bluetooth, co umożliwia spełnienie wymagań iskrobezpieczeństwa.

Jako współautor przenośnej aparatury sejsmicznej PASAT M zostałem nagrodzony w 2009 roku Srebrnym Medalem w konkursie „Brussels Eureka” Z7[N14] i Główną Nagrodą w kategorii „Poprawa bezpieczeństwa” w konkursie „Innowacyjne rozwiązania w budowie maszyn i urządzeń górniczych” podczas Międzynarodowych Targów Górnictwa, Przemysłu Energetycznego i Hutniczego w Katowicach Z7[N15]. Otrzymałem również w 2010 roku Złoty Medal Międzynarodowych Targów Wynalazczości „Concours Lépine” i towarzyszącego im Salonu Wynalazczości w Paryżu za aparaturę PASAT M Z7[N16] oraz Nagrodę III stopnia zespołową w Ogólnopolskim Konkursie Poprawy Warunków Pracy – w kategorii prace - naukowo-badawcze za opracowanie pt. „Iskrobezpieczna aparatura sejsmiczna PASAT M” Z7[N17].

Jako **kierownik projektu** i współwykonawca uczestniczyłem w latach 2012 – 2016 w realizacji 3 projektów, wykonywanych samodzielnie i w konsorcjach:

- **UDA-WND-POIG.01.03.02-24-054/11-00 pt. „Wsparcie ochrony własności intelektualnej tworzonej w Instytucie Technik Innowacyjnych EMAG w wyniku prac B+R z obszaru geofizyki górniczej, realizowany pod moim kierunkiem** w latach 2012-2015, w wyniku którego zgłoszono 28 wniosków patentowych Z9[1, 2 .. 28] związanych z opracowanymi systemami do oceny zagrożenia tapaniami w Polsce, Rosji, Ukrainie, ChRL, RPA i Australii z których 14 uzyskało już patenty Z10[P15...P28]. Mój udział procentowy w opracowanych wnioskach i uzyskanych patentach wynosił od 60% do 70%.

Głównym celem projektu Z3[85] było przygotowanie i zgłoszenie do ochrony 5 innowacyjnych patentów z dziedziny geofizyki górniczej. Rozwiązania, które były przedmiotem projektu dotyczyły 5 tematów, które zgłoszono do ochrony w wybranych krajach, gdzie przeprowadzono analizy rynku związane z zapotrzebowaniem na tego typu specjalistyczne systemy i metody. Istnieje duże zapotrzebowanie i realna możliwość zastosowania wynalazków przez przedsiębiorców mających siedzibę zarówno w Polsce (Jastrzębska Spółka Węglowa, Centrum Transferu Technologii CTT EMAG Sp. z o. o. itp.) jak i na arenie międzynarodowej (Chiny). Te nowatorskie rozwiązania opracowywane w Instytucie Technik Innowacyjnych ITI EMAG w Katowicach wykorzystywane będą przede wszystkim w kopalniach na

terenie Polski oraz na międzynarodowym rynku górnictwa, w szczególności na Ukrainie, w Australii, w RPA, w Chinach oraz w Rosji. Realizacja projektu umożliwiła ochronę kluczowych rozwiązań, które są oferowane firmom i instytucjom, oraz dalszą ich komercjalizację na otwartym rynku krajowym i międzynarodowym.

Zrealizowano 5 następujących zgłoszeń patentowych:

1 Sposób i układ do pomiaru względnych zmian koncentracji naprężeń przed frontem ściany wydobywczej

Przedmiotem wynalazku jest sposób i układ do pomiaru względnych zmian koncentracji naprężeń przed frontem ściany wydobywczej przeznaczony do bieżącego wykrywania i monitorowania zagrożenia tąpnięciami w rejonie ściany wydobywczej w kopalni głębinowej.

Dzięki zastosowaniu wyżej wymienionego nowego kompleksowego sposobu wyznaczania względnych zmian prędkości i tłumienia fal sejsmicznych i pośrednio, jako w przybliżeniu wprost proporcjonalnych do prędkości i odwrotnie proporcjonalnych do tłumienia względnych zmian koncentracji naprężeń przed frontem ściany wydobywczej sporządzane są uśrednione skumulowane mapy tomograficzne względnych zmian naprężeń i to wielokrotnie w czasie każdej zmiany wydobywczej bez konieczności zatrzymywania eksploatacji ściany wydobywczej i przy wyeliminowaniu ograniczeń wynikających z każdej z tych metod stosowanych oddzielnie. Wynalazek umożliwia bieżącą obserwację zmian prędkości fali sejsmicznej obrazującej miejsca koncentracji wzrostu względnych zmian naprężeń poprzez rejestrację wzrostu prędkości lub destrukcji górotworu w strefach o zmniejszonej prędkości fali sejsmicznej oraz eliminuje występującą w metodzie prześwietlania rejonu ściany falą wzbudzaną głowicą urabiającą kombajnu ścianowego strefę martwą (nieprześwietlaną) w postaci trójkąta przez bieżące prześwietlanie sejsmiczne wykonywane pomiędzy chodnikami przyścianowymi przy pomocy sterowanych z powierzchni impulsowych wzbudników drgań.

2 Sposób i układ do wykrywania i minimalizacji zagrożenia metanowego w rejonie ściany wydobywczej

Przedmiotem wynalazku jest sposób i układ do wykrywania i minimalizacji zagrożenia metanowego w rejonie ściany wydobywczej kopalni lub w rejonie kilku ścian wydobywczych, gdzie prowadzona jest eksploatacja węgla kamiennego w warunkach zagrożenia metanowego i zagrożenia tąpnięciami.

Sposób wykrywania i minimalizacji zagrożenia metanowego w rejonie ściany wydobywczej polega na tym, że na wybiegu ściany dokonuje się okresowo lokalizacji rejonów, w których występują koncentracje względnych zmian naprężeń metodą pasywnej tomografii prędkościowej z wykorzystaniem sejsmometrów i geofonów niskoczęstotliwościowych. Jednocześnie dane te porównuje się z bieżącymi pomiarami sejsmoakustycznymi lokalizującymi miejsca zgrupowania trzasków towarzyszących pękaniu górotworu na wybiegu wyrobiska ścianowego, z pomiarami zawartości metanu i pomiarami przepływu powietrza w tym wyrobisku. Miejsca koncentracji względnych zmian naprężeń przed frontem ściany wydobywczej lokalizuje się poprzez wykonywanie aktywnej tomografii osłabieniowo-tłumieniowej z uwzględnieniem pozycji usytuowania kombajnu ścianowego w wyrobisku ścianowym. Dokonuje się korelacji wyżej wymienionych parametrów w aspekcie czasowym i przestrzennym, a po stwierdzeniu, że współczynnik korelacji przekracza założoną wartość krytyczną realizuje się procedury profilaktyczne minimalizujące zagrożenie metanowe.

Miejsca zmian koncentracji względnych zmian naprężeń wyznaczane są za pomocą tomografii osłabieniowo-tłumieniowej realizowanej z wykorzystaniem analizy sygnałów rejestrowanych przez sejsmiczny system rejestrujący z niskoczęstotliwościowych geofonów rozmieszczonych w chodnikach przygotowawczych. Sygnały te korelowane są bezpośrednio z położeniem kombajnu ścianowego w ścianie wydobywczej poprzez pomiar w czasie rzeczywistym energii drgań generowanych przez jego głowicę urabiającą w cyklu urabiania i określanej geofonami niskoczęstotliwościowymi w wyrobiskach przyścianowych. Po czym po zakończeniu każdego cyklu urabiania porównuje się te wyniki z danymi zarejestrowanymi w poprzednim cyklu urabiania i identyfikuje miejsca o zwiększonej koncentracji względnych zmian naprężeń. Przy czym, dla umożliwienia wyskalowania izolacji zmian naprężeń sygnały z czujników naprężeń przesyła się do sejsmicznego systemu rejestrującego.

3 Sposób i układ do synchronizacji sejsmicznych i sejsmoakustycznych sieci pomiarowych, zwłaszcza kopalnianych sieci iskrobezpiecznych

Przedmiotem wynalazku jest sposób i układ do synchronizacji sejsmicznych i sejsmoakustycznych sieci pomiarowych, zwłaszcza kopalnianych sieci iskrobezpiecznych.

Celem wynalazku jest wyeliminowanie niedoskonałości dotychczas stosowanych sposobów i układów synchronizacji sieci sejsmicznych i sejsmoakustycznych poprzez poprawę synchronizacji tych sieci uwzględniającą korektę czasów opóźnienia w liniach teletransmisyjnych i dodatkowo korektę czasów przetwarzania i filtracji cyfrowej realizowanej w przetwornikach analogowo cyfrowych stosowanych w tych sieciach oraz kompletowania i przesyłania bloków danych.

Rozwiązanie układu i sposobu według wynalazku zapewnia w każdym kanale współpracujących sieci pomiarowych sejsmicznych i sejsmoakustycznych precyzyjną synchronizację uwzględniającą opóźnienie propagacji sygnału w liniach o różnej długości oraz czasy kompletacji i przesyłania szeregowo z nadajnika do odbiornika próbek trzech składowych sygnału drgań z czujnika sejsmicznego i/lub z geofonowej sondy pomiarowej, a także stały czas przetwarzania i filtracji cyfrowej sygnału. Wynalazek w zasadniczy sposób zmniejsza błędy pomiarowe, co jest szczególnie istotne w przypadku wykonywania lokalizacji zjawisk sejsmicznych w małych obszarach górotworu oraz prześwietlania górotworu z wykorzystaniem fal sejsmicznych wzbudzanych tymi zjawiskami lub też wzbudzanych metodami aktywnymi.

4 Sposób i układ do analizy struktury geologicznej i względnych zmian naprężeń w warstwach usytuowanych nad wyrobiskami górniczymi kopalni głębinowej

Przedmiotem wynalazku jest sposób i układ do analizy struktury geologicznej i względnych zmian naprężeń w warstwach usytuowanych nad wyrobiskami górniczymi kopalni głębinowej przeznaczony do określenia stanu zagrożenia infrastruktury powierzchni wynikającego z możliwości wystąpienia wstrząsu wywołanego eksploatacją górniczą w rozpatrywanym rejonie.

Celem wynalazku jest opracowanie nowego o podwyższonej wiarygodności sposobu i układu służącego do bezinwazyjnego rozpoznania struktury geologicznej i względnych zmian naprężeń w warstwach nad wybranymi wyrobiskami kopalnianymi, metodą niskoczęstotliwościowej sejsmiki pasywnej dla umożliwienia alarmowania w sposób okresowy lub na bieżąco o stanach wystąpienia anomalii geologicznych i zwiększonych koncentracji względnych zmian naprężeń poprzedzających tektoniczne wstrząsy regionalne.

Korzystnym skutkiem wynalazku jest umożliwienie bieżącego prowadzenia efektywnej analizy względnych zmian naprężeń w warstwach nad wyrobiskami górniczymi poprzez skorelowane zastosowanie pasywnej metody niskoczęstotliwościowej interferometrii sejsmicznej i metody pasywnej tomografii sejsmicznej z wykorzystaniem wstrząsów sejsmicznych generowanych eksploatacją górniczą, co zwiększa funkcjonalność, rozdzielczość i precyzję prowadzonego rozpoznania na określonym obszarze górniczym kopalni głębinowej. Rozwiązanie według wynalazku umożliwia wcześniejsze rozpoznanie miejsc o zwiększonej koncentracji względnych zmian naprężeń, które poprzedzają tektoniczne wstrząsy regionalne, co jest niezwykle istotne w stosowaniu odpowiedniej profilaktyki, w rejonach gdzie na powierzchni kopalni usytuowana jest zabudowa mieszkalna i/lub zabudowa przemysłowa oraz infrastruktura techniczna. Analiza względnych zmian naprężeń umożliwia wyprzedzająco alarmowanie w stanach zagrożeń. Wynalazek pozwala na głęboką sięgającą do kilkuset metrów bezinwazyjną penetrację warstw geologicznych bez konieczności stosowania metod wzbudzania fali sejsmicznej przy pomocy detonowanych ładunków wybuchowych. Pomiar wymaga jedynie montażu czujników i utworzenia układu do pomiaru niskoczęstotliwościowej sejsmiki pasywnej powiązanego z kopalnianym systemem sejsmicznym. Istotne jest skrócenie odstępów czasu pomiędzy kolejnymi analizami, dzięki wykorzystaniu metody interferometrii sejsmicznej, w której ze względu na korelowanie zapisów szumów nie jest wymagana stacjonarność rejestrowanego szumu.

5 Ocena wystąpienia zagrożenia wstrząsami wysokoenergetycznymi generowanymi eksploatacją podziemną

Przedmiotem wynalazku jest sposób i system zwiększający skuteczność i jakość oceny powstania zagrożenia wstrząsami wysokoenergetycznymi generowanymi eksploatacją podziemną na obszarach objętych eksploatacją górniczą poprzez uwzględnienie addytywności wielu procesów jednocześnie. Istotą takiego podejścia jest estymacja zjawisk krytycznych uwzględniających skojarzenie obserwacji quasi deterministycznego i rozległego czasoprzestrzennie procesu deformacji górotworu oraz zjawisk sejsmicznych występujących w postaci krótkotrwałych drgań cząstek górotworu w dziedzinie czasu i

częstotliwości. Przy czym ich łączne oddziaływanie ma charakter funkcjonu nad przestrzenią lokalnie sumowaną.

Sposób oceny wystąpienia zagrożenia wstrząsów wysokoenergetycznych generowanych eksploatacją podziemną według wynalazku polega na tym, że dokonuje się jednocześnie w ścisłej koincydencji czasowej i przestrzennej pomiaru drgań na powierzchni z trójskładowych czujników drgań i pomiarów parametrów wstrząsów pod ziemią z kopalnianego systemu sejsmicznego do lokalizacji wstrząsów oraz pomiaru przemieszczeń na powierzchni z trójskładowych czujników przemieszczeń punktów powierzchni, korygowanych okresowo tachimetrycznym zestawem pomiarowym. Wartości pomiarowe są rejestrowane w repozytoriach danych pomiarowych mikroprocesora analitycznego, następnie zbiory tych pomiarów poddaje się przetworzeniu w mikroprocesorze analitycznym i dokonuje się prognozy wystąpienia zagrożenia wstrząsami wysokoenergetycznymi w czasoprzestrzeni. Składowe pomiaru przemieszczeń na powierzchni x, y, z, które rejestrowane są w czasie rzeczywistym z częstotliwością, co najmniej 20Hz oraz rejestrowane w czasie rzeczywistym składowe prędkości i/lub przyspieszeń drgań na powierzchni wraz ze znacznikiem czasu transmitowane są z każdego ze zintegrowanych zestawów pomiarowych za pośrednictwem modułów komunikacji bezprzewodowej do serwera przetwarzającego.

Z kolei do serwera przetwarzającego przekazywane są za pośrednictwem modułu komunikacji bezprzewodowej dane pomiarowe w postaci cyfrowej z tachimetrycznego zestawu pomiarowego, który dokonuje okresowo korzystnie, co ustalony interwał czasu i każdorazowo bezpośrednio po wstrząsie zarejestrowanym przez kopalniany system sejsmiczny, pomiaru odległości pomiędzy punktem usytuowania zestawu pomiarowego, a miejscami realizacji pomiarów przez zintegrowane zestawy pomiarowe wyposażone w odbłyśniki laserowe, korygując pomiary składowych przemieszczeń wykonywanych przez trójskładowe czujniki przemieszczeń w oparciu o dane uzyskiwane z odbiorników satelitarnych. Kopalniany system sejsmiczny lokalizuje wstrząsy pochodzenia górniczego, a informacje o parametrach każdego wstrząsu oraz o czasie jego wystąpienia w ognisku wstrząsu przekazuje siecią kablową do serwera przetwarzającego, do którego przekazywane są również czasy pierwszych wstąpień fali poprzecznej z zestawów pomiarowych.

System do stosowania sposobu według wynalazku ma w centrum przetwarzania usytuowany serwer przetwarzający, do którego podłączony jest modem komunikacji bezprzewodowej, mikroprocesor analityczny oraz kopalniany system sejsmiczny do lokalizacji wstrząsów, który połączony jest przewodowo z czujnikami sejsmometrycznymi. Na obserwowanym obszarze górniczym zabudowane są zestawy pomiarowe, przy czym każdy z tych zestawów pomiarowych składa się z odbiornika nawigacji satelitarnej GPS stanowiącego trójskładowy czujnik przemieszczeń powierzchni, zintegrowanego przestrzennie z trójskładowym czujnikiem drgań, które połączone są z modemem komunikacji bezprzewodowej i każdy zestaw pomiarowy wyposażony jest w odbłyśnik promienia laserowego. Z kolei na obszarze, który nie podlega deformacji pod wpływem eksploatacji górniczej zabudowany jest tachimetryczny zestaw pomiarowy wyposażony w tachimetr automatyczny z laserową alidadą, do którego podłączony jest odbiornik nawigacji satelitarnej tachimetru oraz modem komunikacji bezprzewodowej. Prognozę wystąpienia zagrożenia wstrząsami w mikroprocesorze analitycznym dokonuje się na podstawie danych z pomiaru drgań na powierzchni zapisywanych na bieżąco w bazie drgań występujących na powierzchni kopalni oraz na podstawie danych z pomiaru parametrów wstrząsów na dole kopalni zapisywanych w bazie parametrów wstrząsów występujących na dole kopalni, po czym następuje proces mieszania pomiarów parametrów parasejsmicznych i filtracja zakłóceń. Następnie na podstawie danych zgromadzonych w repozytorium danych technologicznych, określony zostaje model drgań w funkcji czasu oraz sygnał ze zmieszanych pomiarów drgań, w wyniku których następuje porównanie uzyskanych wyników z wartościami granicznymi i wstępne oszacowanie zagrożenia, a równocześnie następuje porównanie wartości granicznych z modelem przemieszczeń granicznych z pomiarami przemieszczeń.

Z kolei następnie dla każdego interwału czasowego wyznaczane są tensory wielkości reprezentujących procesy parasejsmiczne oraz tensory wielkości reprezentujących procesy przemieszczeń i tworzona jest funkcja celu, jako miary zagrożenia skojarzonych procesów parasejsmicznych i deformacyjnych wyznaczanych dla każdej chwili w całej obserwowanej czasoprzestrzeni. W dalszej kolejności następuje wyznaczanie obszarów zagrożonych wstrząsem na podstawie pomiarów i w wyniku weryfikacji krótko i długoterminowej optymalizacja funkcji celu, która jest miarą szacującą powstanie zagrożenia wystąpienia wstrząsu w obserwowanym obszarze górniczym podlegającym deformacji pod wpływem eksploatacji, a która po spełnieniu kryteriów estymacji zagrożenia wystąpienia wstrząsu kolejno podstawowego i ostatecznego umożliwia określenie podobszarów zagrożonych wystąpieniem wstrząsu oraz przewidywany czas zajścia zdarzenia.

Zestawienie zgłoszonych w wyniku realizacji projektu 28 wniosków patentowych zamieszczono w załączniku Z9 a zestawienie uzyskanych już patentów i udziału wnioskującego w ich opracowaniu w załączniku Z10.

- **PBS1/A2/13/2013 LOFRES** pt. „System niskoczęstotliwościowej pasywnej tomografii sejsmicznej do monitorowania przypowierzchniowych warstw ośrodka geologicznego”, realizowany pod moim kierunkiem w latach, 2013 – 2015 w którym opracowano i przebadano nowatorski system wykorzystujący naturalny szum sejsmiczny lub szum generowany pracą maszyn do pasywnej tomografii z wykorzystaniem doskonałej metody interferometrii sejsmicznej lub sondowania mikrosejsmicznego. Projekt realizowany był w konsorcjum: Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią IGSMiE PAN i Centrum Transferu Technologii CTT EMAG Sp. z o.o..

Celem projektu Z3[81, 82, 83, 86, 87, 96] było opracowanie systemu niskoczęstotliwościowej pasywnej tomografii sejsmicznej do monitorowania przypowierzchniowych warstw ośrodka geologicznego.

Opracowany w wyniku realizacji projektu system LOFRES, ze względu na sprzęt i oprogramowanie, jest przystosowany do badań dwoma metodami sejsmiki LFS:

- sondowaniem mikrosejsmicznym MS (ang. *Microseismic Sounding*),
- interferometrią sejsmiczną IS (ang. *Seismic Interferometry*).

Metody sejsmiki LFS bazują na szumie sejsmicznym, który jest wykorzystywany do wydzielenia fal powierzchniowych. Wynikiem przetwarzania i interpretacji są obrazy zmian różnych parametrów sejsmicznych.

W przypadku:

- MS jest to obraz zmian amplitudy widma z głębokością,
- IS jest to obraz zmian prędkości fali poprzecznej z głębokością.

Obrazy te są pomocne w analizie budowy, właściwości i rozwoju procesów fizyczno-mechanicznych w ośrodku geologicznym. Założenia projektu wynikały z podstaw naukowych stosunkowo nowej metody wykorzystującej globalny i lokalny szum sejsmiczny tzw. sejsmikę niskich częstotliwości (LFS – Low Frequency Seismic). Częstotliwość analizowanych sygnałów sejsmicznych wynosi na ogół od 0,1 do 3Hz, a w przypadku szumu kulturowego nawet do 30 Hz. Przedział głębokościowy rozpoznania zależy od częstotliwości analizowanej fali sejsmicznej i może wynosić od kilkudziesięciu metrów do kilku tysięcy metrów. W kraju przed realizacją projektu brak było systemu umożliwiającego prowadzenie takich badań. Brak było również skonkretyzowanych podstaw metodycznych, których opracowanie w ramach projektu umożliwiło optymalne zaprojektowanie systemu. W świecie zagadnienie to jest stosunkowo nowe i rozwiązywane jest wycinkowo przez różne zespoły badawcze, wśród których zespół badawczy zakończonego projektu wniósł zasadniczy wkład opracowując system pomiarowy i podstawy metodyczne stosowania metod MS i IS.

System LOFRES umożliwia w sposób automatyczny prowadzenie ciągłych pomiarów drgań w zakresie niskich częstotliwości za pomocą odpowiednio skonfigurowanych modułów pomiarowych i współpracującego z nimi centrum gromadzenia danych, przetwarzania i zobrazowania wyników.

System LOFRES składa się z części aparaturowej i programowej służącej do przetwarzania i interpretacji danych sejsmicznych.

Metodyka MS przewiduje wykorzystanie, co najmniej 2 stanowisk pomiarowych. Jedno stanowisko referencyjne, nazywane również bazą, jest stałe i nie zmienia swojego położenia w czasie pomiarów. Pozostałe są ruchome i mogą być przemieszczane do różnych punktów pomiarowych. Rejestracja w każdym punkcie jest prowadzona przez okres, co najmniej jednej godziny w celu osiągnięcia stacjonarności zapisu.

Metodyka IS nie wymaga spełnienia stacjonarności sejsmicznego pola falowego, dlatego nie jest konieczne zakładanie bazy referencyjnej jak w metodzie MS. Jest jednak konieczna zabudowa wszystkich punktów pomiarowych, co wymusza posiadanie większej liczby czujników.

Do zasadniczych zrealizowanych celów szczegółowych projektu zaliczyć można:

- opracowanie koncepcji systemu, która umożliwiła w sposób maksymalnie zautomatyzowany dokonywanie ciągłych pomiarów prędkości drgań w warunkach terenowych z odpowiednią dynamiką w zakresie niskich częstotliwości oraz zapis i przetwarzanie dużych rejestracji a następnie ich interpretację,
- opracowanie teorii, modelowania procesu pomiarowego, niezbędnej metodologii dokonywania pomiarów, algorytmów przetwarzania i interpretacji oraz kalibracji systemu,
- zweryfikowanie praktycznie w ramach przewidzianych w projekcie prac badawczych modelu systemu opracowanych teorii, modeli i metodologii dokonywania pomiarów,
- opracowanie oprogramowania systemu,
- opracowanie, wytworzenie i praktycznie przebadanie w warunkach terenowych systemu

pomiarowego LOFRES w postaci demonstratora technologii, zdolnego do monitorowania przypowierzchniowych warstw ośrodka geologicznego metodą interferometrii sejsmicznej lub sondowania mikrosejsmicznego,

- przystosowanie opracowanego systemu LOFRES do wykonywania pomiarów w różnych konfiguracjach pomiarowych uzależnionych od potrzeb użytkowników i stosowanej metody pomiarowej,
- wykonanie optymalnej wersji systemu pomiarowego do prowadzenia badań pod nadzorem: z mobilnymi autonomicznymi stacjami pomiarowymi wyposażonymi w jedno lub trójskładowe niskoczęstotliwościowe czujniki i stacjonarne stacje trójskładowe (referencyjne) wyposażone w trójskładowe niskoczęstotliwościowe czujniki; stacje pomiarowe i referencyjne wyposażono w zasilanie akumulatorowe, odbiornik GPS do precyzyjnej synchronizacji podstawy czasu i określania położenia czujników podczas dokonywania pomiarów; ponadto system wyposażono w nośniki pamięci o dużej pojemności gromadzące rejestrowane dane i nadajniki radiowej transmisji do przesyłania danych do centrum przetwarzania i interpretacji za pośrednictwem mobilnego serwera rejestracji danych i modemów GSM LTE,
- zapewnienie minimalizacji kosztów podczas sesji pomiarowej, w której mobilne stacje pomiarowe mogą być cyklicznie przestawiane w różne węzły siatki pomiarowej, co umożliwia wielokrotne użycie sprzętu systemu i badanie założonego obszaru z wykorzystaniem mniejszej liczby stacji pomiarowych,
- zapewnienie w przypadku zastosowań, w których konieczne będzie ciągłe śledzenie w czasie rzeczywistym zmian (np. w górnictwie – kontrola zmian stanu naprężenia i deformacji w górotworze) możliwości zabudowy systemu w terenie na stałe (kosztem większej liczby użytych stacji pomiarowych).

W wyniku badań systemu na różnych poligonach badawczych sformułowano następujące zasadnicze wnioski:

- interferometria sejsmiczna pozwala na identyfikację stopnia naruszenia górotworu prowadzoną eksploatacją na podstawie pola prędkości fali poprzecznej,
- przy projektowaniu układu pomiarowego dla potrzeb rozpoznania pola prędkości fali poprzecznej należy zbadać charakterystykę częstotliwościową oraz kierunkowość szumu sejsmicznego w rejonie pomiarowym,
- analiza względnych zmian prędkości fali koda uzyskanych metodą interferometrii sejsmicznej może dostarczyć cennych informacji o stopniu naruszenia górotworu,
- wykorzystanie wszystkich składowych (Z, N, E) zmniejsza błędy estymacji względnych zmian prędkości fal koda związane z niejednorodnością pola falowego szumu sejsmicznego.
- w warunkach silnego szumu sejsmicznego wyniki uzyskane metodą MASW są mniej użyteczne w porównaniu do interferometrii sejsmicznej lub refrakcji, pomimo stosowania różnego rodzaju filtracji.
- metodyka interferometrii sejsmicznej umożliwia wyznaczenie pola prędkości fali S w ośrodku geologicznym. Ma to istotne znaczenie dla zastosowań inżynierskich. Zaproponowana w pracy metodyka przetwarzania i interpretacji okazała się skuteczna w warunkach pomiarowych przeprowadzonych badań.
- wyniki dotychczasowych pomiarów wskazują, że interferometria sejsmiczna może znaleźć zastosowanie do rozpoznania budowy i właściwości sprężystych przypowierzchniowego ośrodka geologicznego, a także analizy czasoprzestrzennych zmian tych właściwości związanych z ruchem osuwiskowym.

Znajomość struktury ośrodka geologicznego, a zwłaszcza stopnia jego naruszenia jest niezbędna dla posadowienia różnego rodzaju obiektów budowlanych wielkopowierzchniowych, a także tuneli, lotnisk, szlaków komunikacyjnych, obwałowań, obiektów i zbiorników hydrotechnicznych czy osiedli mieszkaniowych. Na terenach czynnej i dokonanej eksploatacji górniczej opracowany system może wspomagać ocenę zagrożenia powierzchni skutkami deformacji ciągłych i nieciągłych oraz umożliwi wybór optymalnej i skutecznej metody ich rewitalizacji. System wykorzystany może być również do rozpoznania stopnia naruszenia górotworu w rejonach zagrożonych sejsmicznością indukowaną, a zwłaszcza wystąpieniem bardzo silnych wstrząsów tektonicznych o charakterze regionalnym, oddziałujących destrukcyjnie na powierzchnię terenu. System może być również przydatny do monitorowania stopnia wyeksploatowania różnego rodzaju złóż np. ropy naftowej, gazu (w tym łupkowego), soli kamiennej, siarki metodą podziemnego wytopienia itp.

Zaletą opracowanego systemu pasywnej tomografii niskoczęstotliwościowej w stosunku do stosowanej tomografii aktywnej jest brak konieczności stosowania do wytworzenia prześwietlającej fali ładunków wybuchowych lub kosztownych wzbudników samochodowych, z czym wiąże się uszkodzenie

powierzchni trenu. W nowym rozwiązaniu pomiar jest prawie bezinwazyjny (tylko montaż czujników). System umożliwi również pomiar ciągły na terenach eksploatacji górniczej. Systemem zainteresowane są przede wszystkim firmy budowlane realizujące budowę obiektów wielkopowierzchniowych, firmy zajmujące się geofizyką poszukiwawczą i górnictwo do oceny zagrożenia wystąpienia wstrząsów tektonicznych oraz tomografii rejonu ściany wydobywczej z wykorzystaniem interferometrii sejsmicznej.

- **PBS2/B2/8/2013 INGEO pt. „Innowacyjne metody i system do oceny zagrożenia tąpnięciami na podstawie probabilistycznej analizy procesu pęknięcia i geotomografii online, realizowany pod moim kierunkiem w latach 2014 – 2016.** W wyniku projektu opracowano i przebadano najnowszej generacji szerokopasmowy (sejsmoakustyka i sejsmika) iskrobezpieczny zintegrowany system do oceny zagrożenia tąpnięciami. System dedykowany dla kopalń głębinowych wykorzystuje w rejonie ściany wydobywczej różne metody tomografii pasywnej i aktywnej realizowane na bieżąco oraz probabilistyczną analizę procesu pęknięcia.

W ramach projektu Z3[87, 94, 95, 98] został opracowany, wykonany i przebadany prototyp niekomercyjny systemu INGEO. Stanowi on kontynuację rozwoju systemów sejsmicznego ARAMIS M/E i sejsmoakustycznego ARES-5/E poprzez ich wzbogacenie o nowe, innowacyjne technologie i metody analiz. System został wyposażony w cyfrową transmisję na powierzchnię z wykorzystaniem światłowodów i lokalną w rejonie ściany z wykorzystaniem linii przewodowych. Umożliwia ocenę zagrożenia tąpnięciami metodami standardowymi: sejsmoakustyczną, sejsmologią, hazardu sejsmicznego, oraz w oparciu o tomografię rejonu przed frontem ściany: pasywną z wykorzystaniem wstrząsów górniczych i aktywną z wykorzystaniem wzbudników lub organu urabiającego kombajnu. System INGEO wyposażono ponadto w otworowe czujniki względnych zmian naprężenia i ultradźwiękowe czujniki deformacji wyrobisk w rejonie ściany, z lokalną transmisją radiową do przesyłania danych do kanału cyfrowej transmisji przewodowej i światłowodowej. System umożliwia współbieżną kontrolę deformacji w rejonie wyrobisk wokół ściany wydobywczej z precyzyjną kontrolą deformacji na powierzchni nad rejonem ściany w celu doskonalenia opracowanych stochastycznych modeli dla predykcji występowania zagrożeń spowodowanych wstrząsami górniczymi. Monitoring może obejmować szczególnie zagrożone rejonu z wykorzystaniem geofonów i nowo opracowanych czujników lub obszar całej kopalni czy kilku połączonych kopalń z wykorzystaniem sejsmometrów. Ze względu na zastosowanie transmisji światłowodowej, precyzyjnie zsynchronizowanej zegarem GPS, strumieniowej transmisji danych oraz wielorejonowej detekcji zjawisk, opracowany system INGEO stanowi zaawansowaną technicznie ofertę dla kopalń węgla kamiennego oraz rozległych kopalń rud miedzi.

Prace wykonane w ramach projektu umożliwiły opracowanie nowoczesnych metod oceny zagrożenia tąpnięciami oraz ich implementację w opracowanym szerokopasmowym systemie pomiarowym. System INGEO po komercjalizacji pozwoli na stosowanie wzajemnie się uzupełniających metod sejsmicznej tomografii pasywnej i aktywnej oraz metody hazardu sejsmicznego, co w połączeniu z innymi uzupełniającymi metodami do oceny zmian naprężenia górotworu oraz jego deformacji, zapewni kompleksową ocenę zagrożeń w rejonie ściany wydobywczej.

4.4 Podsumowanie

Opisana w autoreferacie moja wieloletnia działalność naukowo badawcza związana z opracowaniem, badaniem i rozwojem systemów do oceny zagrożenia tąpnięciami w kopalniach węgla kamiennego i rud miedzi oraz monitorowania skutków oddziaływania eksploatacji podziemnej na otaczające środowisko prowadzona w ścisłym współdziałaniu z wiodącymi metodycznymi ośrodkami krajowymi w tej dziedzinie (GIG, AGH, IGSMiE) oraz międzynarodowymi (ISS, IPKON RAN) doprowadziła do ujednoczenia stosowanych systemów pomiarowych.

Należy tu podkreślić że głównym ośrodkiem w zakresie geofizyki górniczej jest GIG, który oferuje szeroki zakres badań inżynierskich do problematyki związanej z monitoringiem środowiska przypowierzchniowego oraz geotechniki w zastosowaniach do inżynierii budowlanej oraz szeroki zakres badań w zakresie sejsmologii i sejsmiki górniczej do oceny stanu zagrożenia sejsmicznego wyrobisk górniczych i zabudowy powierzchniowej. W GIG opracowano aparaturę sejsmometryczną AMAX-GSI do monitorowania drgań powierzchni wywoływanych eksploatacją górniczą oraz dedykowaną aparaturę sejsmologiczną SOS GIG - System Obserwacji Sejsmologicznej – do monitorowania i oceny zagrożenia sejsmicznego w podziemnych kopalniach surowców mineralnych. Cechą charakterystyczną opracowań GIG u jest stosowanie analogowych systemów transmisji i zaawansowanego oprogramowania do analizy rejestrowych zjawisk.

Równolegle do prac realizowanych w GIG powstawały i były wdrażane pod moim kierunkiem w górnictwie krajowym i za granicą systemy do oceny zagrożenia tąpnięciami różnej generacji począwszy od pierwszych stałoprogramowanych, minikomputerowych, mikrokomputerowych po współczesne wieloprocesorowe. Systemy

te początkowo wyposażane były w transmisje analogowe sygnałów z dzielonym pasmem rejestrowanych częstotliwości (sejsmoakustyka, sejsmika) o małej dynamice rejestracji i przetwarzania oraz w transmisje cyfrowe o stale zwiększanej dynamice. Transmisje analogowe i cyfrowe wykorzystywały początkowo centralne iskrobezpieczne zasilanie z powierzchni części dołowej poprzez linie teletechniczne. Rozwój transmisji cyfrowej umożliwił stosowanie dołowych koncentratorów pomiarowych z lokalnym buforowanym zasilaniem dołowym oraz wykorzystywanie do transmisji danych linii przewodowych i światłowodowych (system INGENIO). Taka struktura systemu umożliwiła opracowanie w tym systemie szerokopasmowej jednolitej cyfrowej transmisji sygnałów (sejsmika i sejsmoakustyka). Precyzyjna synchronizacja podstawy czasu rejestracji zjawisk z wykorzystaniem pod ziemią rozsyłanego protokołem IEEE1588 PTP wzorca czasu z sygnału GPS, a na powierzchni wprost wzorca czasu z sygnału GPS i odpowiednie oprogramowanie umożliwiło integrację różnorodnych sieci pomiarowych takich jak: do rejestracji drgań na powierzchni (budynki, zbiorniki osadowe), do rejestracji wstrząsów na dole kopalni (w obrębie kopalni i ścian wydobywczych) oraz współbieżne rejestrowanie deformacji na powierzchni i w wyrobiskach kopalni. Aktualnie strumieniowa transmisja znaczących czasem danych w kanałach trójskładowych, przewodowa i bezprzewodowa transmisja realizowana z dużą dynamiką oraz wielorejonowa detekcja zjawisk umożliwia tworzenie w pełni zintegrowanych sejsmicznych i sejsmoakustycznych sieci pomiarowych o czujnikach lepiej zróżnicowanych przestrzennie w pionie oraz stosowanie wspólnego monitorowania rejonów bliskich kopalni. Rozległe sieci pomiarowe w rejonach szczególnie zagrożonych wyrobisk (ściana) oraz doświadczenia uzyskane w zastosowaniach interferometrii z wykorzystaniem szumu pozwalają na wdrożenie ciągłego i bez inwazyjnego monitorowania prędkości rozchodzenia się fali poprzecznej przed frontem ściany wydobywczej. Godny podkreślenia jest opisany zakres dotychczasowych wdrożeń systemów i urządzeń różnej generacji w kraju i za granicą, które bezpośrednio lub pośrednio służyły lub służą do oceny zagrożenia tąpnięciami i oceny skutków oddziaływania eksploatacji górniczej na środowisko.

Ciąglej poprawie parametrów metrologicznych systemów i urządzeń do oceny zagrożenia tąpnięciami towarzyszyło dążenie do zwiększania możliwości funkcjonalnych w zakresie przetwarzania. Towarzyszyło temu doskonalenie metod: filtracji sygnałów i wykrywania czasów pierwszych wejść fali, lokalizacji w tym z wykorzystaniem zapisów trójskładowych i kierunkowych hodografów prędkości fali, określania parametrów źródła wstrząsu i tomografii pasywnej z wykorzystaniem doświadczeń Instytutu Geofizyki PAN (licencja), tomografii w tym z wykorzystaniem szumu sejsmicznego i wizualizacji rejestrowanych zjawisk na tle cyfrowych map pokładów.

Opracowane pod moim kierunkiem coraz bardziej zaawansowane technicznie i funkcjonalnie systemy i urządzenia przyczyniają się do zwiększenia bezpieczeństwa załóg górniczych pracujących w kopalniach głębinowych węgla kamiennego i rud miedzi i lepszej oceny szkodliwego oddziaływania skutków eksploatacji górniczej w postaci drgań i osiadania na otaczające środowisko.

5 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.

5.1 Okres do obrony doktoratu

W początkowym okresie swej pracy zawodowej w latach 1972 – 1975 zajmowałem się konstrukcją i wdrażaniem do eksploatacji przemysłowej w górnictwie pierwszych analogowych i cyfrowych układów oraz urządzeń elektronicznych o programie działania zakodowanym w ich strukturze. Brałem udział w pionierskich wówczas pracach związanych z opracowaniem i wdrożeniem do produkcji małoseryjnej w Zakładzie Elektroniki Górniczej urządzenia UZO-4 Z3[1] służącego do sprzężenia maszyny cyfrowej z obiektem, dla którego opracowałem karty analogowe. Opracowałem również przetwornik analogowo-cyfrowy z wyjściem szeregowym przeznaczony do pracy w warunkach dołowych w rozszerzonym systemie transmisji TFF. Prowadziłem prace związane z uruchomieniem, badaniem i wdrożeniem do eksploatacji w kopalniach trzech cyfrowych rejestratorów SMC-2 przeznaczonych do rejestracji czasu pracy maszyny. Opracowałem koncepcję i projekt techniczny adaptacji rejestratora SMC-2 dla potrzeb elektroniki stacyjnej Z3[5] służącej do automatycznego przekazywania informacji o ruchu pociągów i stanie zabezpieczeń kolejowych. Urządzenie wdrożone zostało na terenie kilkunastu stacji DOKP Katowice. Za wkład pracy w realizację systemu kontroli dyspozytorskiej w DOKP (opracowanie i wdrożenie pociągostopu stacyjnego) wyróżniony zostałem w 1976 roku pismem przez Podsekretarza Stanu w ówczesnym Ministerstwie Komunikacji Z7[N1].

W latach 1973-1977 opracowałem i przebadłem część elektroniczną wagi taśmociągowej EWT-5 (EWT-5N) załącznik Z3[6], która wdrożona została do produkcji w ZEG Tychy. Do roku 1987 wyprodukowano 265 wag, które pracowały na terenie 60-ciu kopalni oraz u kilkunastu użytkowników spoza resortu górnictwa. Kilka sztuk wyeksportowano (Rumunia, Nigeria). Projekt części elektronicznej, której byłem głównym twórcą chroniony był patentami Z10[P1 i P2], a urządzenie wyróżnione zostało w 1980 roku nagrodą MNSzWiT Z7[N2]. Mój udział w przygotowaniu patentów wyniósł 60%. Na uwagę zasługuje fakt, że urządzenie elektroniczne wagi EWT-5 wraz

z pomostem mechanicznym opracowanym przy udziale specjalistów z Wojskowej Akademii Technicznej WAT uzyskało, jako pierwsze w kraju legalizację PKNiM w klasie A oraz umożliwiło automatyczne określanie wartości tary i jej kompensację w sposób cyfrowy.

Począwszy od 1975 roku prowadziłem prace związane z rozruchem i badaniami oraz wdrażaniem w kilku kopalniach programowanego rejestratora SMC-3 stanowiącego pilotujący system do kontroli parametrów produkcji. Doświadczenia uzyskane podczas uruchamiania i eksploatacji rejestratorów SMC-3 pozwoliły mi na udział w opracowaniu w latach 1976-1979 i następnym, sprzętowych pakietów specjalistycznych programowanego rejestratora PRS-4 stanowiącego ulepszoną wersję rejestratora SMC-3. Rejestrator PRS-4 stanowił jeden z pierwszych opracowanych w kraju dla potrzeb górnictwa 16 bitowych minikomputerów równoległych i stał się bazą sprzętową opracowywanych w EMAG cyfrowych systemów kontroli produkcji (Hades) i stanu bezpieczeństwa kopalni (system sejsmoakustyczny SAK, sejsmiczny SYLOK, cyfrowa centrala metanometryczna CMC-1). Został wyprodukowany w ZEG Tychy w liczbie 150 sztuk i wdrożony w różnych systemach na terenie 77 kopalń polskich, 34 chińskich i 8 rumuńskich Z3[57]. Rozwiązanie programowanego rejestratora PRS-4 chronione było patentem, którego byłem współtwórcą Z10[P5].

W latach 1977-1980 jako kierownik zespołu i zadania badawczego prowadziłem prace związane z opracowaniem i wdrażaniem dla potrzeb górnictwa automatycznych systemów kontroli parametrów bezpieczeństwa pracy. Zajmowałem się opracowaniem i przeprowadzeniem badań metody cyfrowej rejestracji parametrów przewietrzania kopalń. W wyniku tych prac opracowany został główny trzon kontrolno-sterujący oprogramowania cyfrowej centrali metanometrycznej CMC-1, za co wraz z współautorami otrzymałem w 1979 roku nagrodę MNSzWiT Z7[N3] za udział w realizacji pracy pt. „Urządzenie do automatycznego zabezpieczenia metanowego kopalń” oraz wyróżnienie honorowe przyznane przez Prezydium Rady Oddziału Wojewódzkiego NOT Z7[N4].

W 1988 roku uzyskałem specjalizację zawodową I stopnia NOT w dziedzinie elektronika-konstrukcja i technologia sprzętu elektronicznego.

Zajmując się opracowywaniem i wdrażaniem systemów przeznaczonych do oceny zagrożenia tapaniami równolegle pracowałem nad zagadnieniami związanymi z doskonaleniem parametrów metrologicznych wag taśmociągowych dla górnictwa Z3[8]. W 1989 roku uzyskałem na Wydziale Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej WAT w Warszawie tytuł doktora nauk technicznych w zakresie elektroniki, specjalność metrologia za pracę pt „Synteza programowanego urządzenia ważącego o podwyższonej dokładności” Z3[6, 13].

5.2 Okres po obronie doktoratu

W latach 1999 - 2000 wykorzystując doświadczenia uzyskane w realizacji systemów sejsmicznych dla górnictwa i nawiązane kontakty pozyskane w ramach konferencji zorganizowanej przez Wojskową Akademię Techniczną WAT, na której wygłosiłem referat na temat systemów sejsmicznych Z3[22], prowadziłem pracę realizowaną we współpracy z Instytutem Technicznym Wojsk Lotniczych ITWL w Warszawie. W wyniku tej pracy opracowano przebadano i pomyślnie wdrożono do eksploatacji w ramach projektu celowego na poligonie Nadarzyce unikatowy mikroprocesorowy system MSWP1 do pomiaru współrzędnych upadku / wybuchu lotniczego środka bojowego zbudowany z wykorzystaniem odpowiednio zmodyfikowanego systemu sejsmoakustycznego ARES-4, w którym zastosowano niskoczęstotliwościowe 4,5 Hz geofony firmy GEOSPACE. Doświadczenia uzyskane w realizacji pracy dla potrzeb obronności zaowocowały realizacją kolejnych prac (projektów) wykorzystujących rejestrację i przetwarzanie zjawisk sejsmicznych w systemach o strukturach rozproszonych przestrzennie.

Jako kierownik części realizowanej w ITI EMAG uczestniczyłem w pozyskaniu i realizacji w latach 2008 – 2016 dwóch projektów badawczo rozwojowych i jednego projektu Demonstrator:

- **O R00 0007 08 pt. „System do oceny precyzji bombardowania i strzelania na poligonie lotniczym”** wykonywanego w latach 2008-2011 w konsorcjum: Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych ITWL w Warszawie, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG oraz firma SEVITEL Sp. z o. o..

Opracowany w ramach projektu Z3[87] system przeznaczony jest do obiektywnej kontroli wyszkolenia pilota w zakresie bojowego użycia środków bojowych. Składa się z zintegrowanych podsystemów: sejsmicznego, bezwładnościowego i obserwacyjnego.

Opracowany w ITI EMAG pod moim kierunkiem podsystem sejsmiczny SejsLot w rejonie rozmieszczenia celów oraz na obwodzie obszaru pola roboczego poligonu Jagodne, posiada odpowiednio rozmieszczone i zabudowane na stałe (w studniach w gruncie) trójskładowe pomiarowe czujniki sejsmiczne o dużej dynamice rejestracji drgań. Sieć czujników zapewnia rejestrację drgań wzbudzanych upadkiem lub wybuchem pojedynczego lotniczego środka bojowego w rejonie wybranych celów oraz całego poligonu. Odporna na zakłócenia zewnętrzna przewodowa cyfrowa transmisja sygnałów, zapewnia centralne zasilanie czujników ze stanowiska dowodzenia SD oraz szybkie przekazywanie danych do

centrum dowodzenia, gdzie za pomocą specjalistycznego oprogramowanie dokonywana jest automatyczna analiza uzyskanych sygnałów (automatyczna lokalizacja trafień).

Do podstawowych zalet systemu należy wykonywanie w czasie rzeczywistym w pełni obiektywnych ocen użycia środków bojowych przez szkolące się załogi niezależnie od pory roku i dnia. Ponadto system umożliwia szybkie i precyzyjne określanie współrzędnych punktów upadku potencjalnych niewybuchów na obszarze całego pola roboczego, co przekłada się na zwiększenie bezpieczeństwa szkolenia oraz obniżenie ryzyka pozyskiwania materiałów niebezpiecznych przez osoby nieuprawnione. System zapewnia zmniejszenie kosztów szkolenia załóg statków powietrznych oraz obciążenia dla środowiska naturalnego poprzez upowszechnienie metod z wykorzystaniem tanich i ekologicznych bomb ćwiczebnych małych wagomiarów. System może być również wykorzystywany do całodobowego zdalnego dozoru pola roboczego poligonu i umożliwia integrację z istniejącymi systemami dowodzenia użytkowników.

- **O R00016912 pt. „Opracowanie modułu detektorów sejsmicznych umożliwiającego tworzenie sieci monitoringu lotnisk, portów i przejść granicznych”** wykonywanego w latach 2008-2012 w konsorcjum: Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych ITWL w Warszawie, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG oraz firma AGTES Sp. z o. o. Warszawa.

W wyniku realizacji projektu Z3[87] pod moim kierunkiem został opracowany i przebadany prototyp niekomercyjny modułu detektorów sejsmicznych przeznaczony do tworzenia sieci monitorowania lotnisk, portów, przejść granicznych lub dróg w celu ich ochrony przed wtargnięciem, kradzieżą lub atakiem. Wykorzystanie opracowanego modułu umożliwia w zależności od obiektu odpowiednie konfigurowanie sieci monitorowania w celu tworzenia zaawansowanych technologicznie systemów ochrony. Zostało to osiągnięte dzięki modułowej konstrukcji detektorów sejsmicznych. Detektory sejsmiczne stanowią programowane inteligentne koncentratory pomiarowe wyposażone w czułe geofony, układy rejestrujące drgania o dużej dynamice oraz nowoczesne urządzenia transmisji radiowej zapewniające ich pracę w bezprzewodowej wielokanałowej sieci telekomunikacyjnej. Opracowane detektory sejsmiczne cechuje bardzo mały pobór mocy tak, aby zakopane w gruncie zdolne były do długotrwałej autonomicznej pracy czerpiąc energię z własnych efektywnych źródeł energii. Moduł detektorów sejsmicznych w współdziałaniu z centrum monitorowania zagrożeń zapewnia na kontrolowanym wycinku wykrywanie siły żywej i różnych środków transportowych (samochód, samolot) oraz przekazywanie w czasie rzeczywistym rejestracji drgań drogą radiową do centrum monitorowania w celu ich identyfikacji. Centrum dysponuje do identyfikacji bazą typowych rejestracji drgań powodowanych przez siły żywe i środki bojowe. Proces identyfikacji realizowany jest z wykorzystaniem różnorodnych filtracji i algorytmów analizy widmowej. Dla obiektów skupionych typu bazy, poligony wojskowe przewidziano możliwość centralnego przewodowego zasilania modułów energią dla wydłużenia okresu gotowości utrzymania eksploatacyjnego. Zweryfikowany podczas badań demonstratora technologii zasięg detekcji zjawisk wynosi odpowiednio: idący człowiek maksimum 50 m, środek transportu 300 m, samolot – 400 m. Detektory modułu pozycjonowane są systemem GPS a ich podstawa czasu do rejestracji drgańznaczona jest czasem z zegara satelitarne GPS. W centrum monitorowania zapewniono możliwość współpracy z mapą cyfrową w celu zobrazowania zaistniałych zdarzeń. Transmisja radiowa umożliwia komunikację detektorów modułu pomiędzy sobą na odległość do 200 m a w przypadku zapewnienia widoczności optycznej anten maksymalnie do 2000 m. Moduł detektorów (do 8 szt.) może komunikować się z centrum obserwacji na odległości 3 km (z wykorzystaniem radiolinii) lub transmisji przewodowej na odległość do 10 km. Odpowiednie w zależności od potrzeb skonfigurowanie modułów detektorów umożliwia monitorowanie, wykrywanie potencjalnych zagrożeń oraz ostrzeganie w czasie rzeczywistym zarządców obiektów chronionych w celu przeciwdziałania zagrożeniom (destrukcja, kradzieże, akty terrorystyczne).

- **UOD - DEM-1-303/001 SEISMOBILE pt. „Sejsmiczny system mobilny dla potrzeb diagnostyki podłoża gruntowego szlaków drogowych”** wykonywanego w latach 2014 - 2016 w konsorcjum: Centrum Transferu Technologii CTT EMAG Sp. z o. o., Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią IGSMiE PAN.

System Seismobile Z3[87, 88, 90, 91, 92, 93, 97, 99] opracowany i wykonany pod moim kierunkiem w ramach projektu Demonstrator służy do badania podłoża szlaków komunikacyjnych w różnych warunkach geologiczno-inżynierskich. System pozwala na diagnostykę projektowanych i modernizowanych dróg kołowych, kolejowych, pasów startowych lotniska, itp. Seismobile łączy zalety profilowania sejsmicznego oraz profilowania georadarowego. Podstawowym elementem tego systemu jest streamer sejsmiczny – urządzenie pozwalające na usprawnienie sejsmicznych pomiarów w warunkach utrudniających mocowanie geofonu np. nawierzchnie betonowe, asfaltowe lub w przypadku wykonywania długich, wielokilometrowych profili. Streamer sejsmiczny jest mobilnym urządzeniem, którego głównym elementem jest układ specjalnie zamontowanych geofonów i modułów elektronicznych z bezprzewodową

radiową transmisją danych pomiarowych z 96 jednoskładowych czujników, a w trybie pracy ciągłej z 96 trójskładowych czujników, przystosowanych do ciągnięcia po powierzchni terenu. System Seismobile pozwala na wykonanie profilowania sejsmicznego techniką refrakcyjną, refleksyjną, wielokanałowej analizy fali powierzchniowej MASW oraz pomiarów sejsmicznych w trybie pracy ciągłej z wykorzystaniem niskoczęstotliwościowych trójskładowych sond geofonowych (lub opcjonalnie sejsmometrów).

Profilowanie georadarowe jest realizowane za pomocą aparatury georadarowej zamontowanej w osi konstrukcji strimera. Korelacja zapisów sejsmicznych i georadarowych wynika ze sposobu pomiaru pozycji i precyzyjnej synchronizacji czasu rejestracji sygnałów z czujników odbiornikami GPS znajdującymi się modułach elektronicznych przy każdym z nich.

Aktualnie jako kierownik części pracy badawczo-rozwojowej wykonywanej w ITI EMAG w konsorcjum: Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych ITWL w Warszawie, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG oraz firma SEVITEL Sp. z o. o. wykonuję od 2012 roku projekt **DOBR/0049/R/ID2/2012/03 pt. „System bezpieczeństwa lądowego na Centralnym Poligonie Sił Powietrznych w Ustce obejmujący wybrane - najważniejsze obiekty/miejsca na poligonie”** Z3[87], w którym odpowiedzialny jestem wraz z zespołem za realizację podsystemu sejsmicznego o strukturze rozproszonej. System kontroluje obszar 20 km poligonu i wyposażony jest w 76 sejsmicznych czujników trójskładowych. Przeznaczony jest do monitorowania ruchu na drogach poligonu i alarmowania w stanach zagrożenia chronionych obiektów.

5.2.1 Członkostwo w organizacjach i towarzystwach naukowych

Od 1996 jestem członkiem Sekcji Cybernetyki w Górnictwie działającej w ramach Komitetu Górnictwa PAN. W latach 2010 – 2011 byłem członkiem Komisji do Spraw Tępań działającej przy WUG.

W siedmiu kolejnych kadencjach Rady Naukowej ITI EMAG byłem i jestem jej członkiem, pełniąc w czterech kadencjach funkcję członka zespołu Komisji do Spraw Rozwoju.

5.2.2 Publikacje

Jestem autorem lub współautorem 99 publikacji w tym 75 związanych tematycznie z wnioskiem habilitacyjnym i około 100 prac niepublikowanych w tym raportów merytorycznych z realizowanych projektów badawczych. Osiem publikacji znajduje się na liście Web of Science (Załącznik Z3a) pozostałe znajdują się na liście Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

5.2.3 Cytowania

Według listy Web of Science liczba cytowań moich publikacji wynosi 54 a indeks Hirscha 3. Załącznik Z3a. Według Publish or Perish 6 liczba cytowań moich publikacji wynosi 200 a indeks Hirscha 6.

5.2.4 Impact Factor

Sumaryczny Impact Factor IF dla wszystkich moich publikacji według Journal Citation Report wynosi 5,222 załącznik Z3b.

5.2.5 Recenzje

Recenzowałem kilkadziesiąt publikacji w czasopismach z listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz 5 publikacji w czasopiśmie International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences wydawnictwo Elsevier, co udokumentowano w załączniku Z14.

5.2.6 Udział w konferencjach

Wygłosiłem na konferencjach w kraju i za granicą kilkadziesiąt referatów.

5.2.7 Działalność popularyzująca naukę i osiągnięcia dydaktyczne

W latach 1983 - 1986 prowadziłem wykłady w Chinach związane z sprzedaną licencją KNOW-HOW na wytwarzanie systemów SAK i SYLOK. W 2005 roku prowadziłem w ChRL w Zjednoczeniu XinWen wykłady autorskie związane z marketingiem systemów sejsmicznych ARAMIS M/E, ARES-5/E i ARP2000P/E, które

zaowocowały podpisaniem kontraktu i zainicjowały podpisaniem w latach późniejszych kontraktu o współpracy z firmą Tiandi Co. Ltd. i realizowany do dnia dzisiejszego eksport systemów. Prowadziłem również w latach 1998-2003 wykłady autorskie dla studentów 4 roku specjalności „Elektryfikacja i automatyzacja kopalń” na Wydziale Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej w Gliwicach na temat systemów sejsmoakustycznych i sejsmometrycznych stosowanych w górnictwie, co udokumentowano w załączniku Z13.

5.2.8 Projekty badawcze

Zestawienie 18-tu zrealizowanych projektów badawczych: celowych, dużych grantów, projektów krajowych i międzynarodowych typu EUREKA lub Coal & Steel zamieszczono w załączniku Z6, w których 11 razy brałem wiodący udział jako kierownik w tym:

- 2 projektów celowych,
- 1 grantu,
- dwóch zadań głównych 1 dużego projektu celowego zamawianego,
- 1 dużego projektu międzynarodowego EUREKA (SAFECOMINE),
- 2 projektów PBS,
- 1 projektu POIG 1.3.2,
- 1 projektu Demonstrator w części realizowanej w ITI EMAG,
- 2 projektów badawczo-rozwojowych zrealizowanych w ITI EMAG na rzecz obronności kraju.

Uczestniczyłem również w realizacji 3 projektów jako Główny Wykonawca i 4 projektów jako Wykonawca. Aktualnie realizuję na rzecz obronności kraju projekt w którym pełnię funkcję kierownika w części realizowanej w ITI EMAG.

5.2.9 Nagrody i wyróżnienia

W czasie dotychczasowej pracy otrzymałem 17 nagród i wyróżnień, które przywoływałem w tekście autoreferatu. Zestawiono je w załączniku nr 7 (Z7) i a ich kopie zamieszczono w załączniku nr 8 (Z8).

Wśród nagród na uwagę zasługują 4 zespołowe nagrody MNSzWiT za udział w realizacji pracy:

- "Elektroniczna waga taśmociągowa EWT-5 do kontrolowania ilości urobku w procesie transportowo-wydobywczym w kopalni dla celów sterowania procesami", Warszawa 1979,
- "Urządzenie do automatycznego zabezpieczenia metanowego kopalń", Warszawa 1979,
- "Cyfrowy system rejestracji sygnałów sejsmoakustycznych", Warszawa 1982,
- "System lokalizacji wstrząsów SYLOK", Warszawa 1984,

oraz nagrody za opracowane systemy i urządzenia związane z poprawą bezpieczeństwa pracy w górnictwie:

- Nagroda I stopnia zespołowa w Ogólnopolskim Konkursie Poprawy Warunków Pracy w kategorii: rozwiązania techniczne i organizacyjne zastosowane w praktyce, za opracowanie pt. "Systemy sejsmiczne do oceny zagrożenia tąpnięciami w kopalniach", Warszawa 2008,
- Srebrny Medal w konkursie "Brussels Eureka!" towarzyszącym 58 Targom BRUSSELS INNOVA 2009" (Bruksela, 19-21 listopada) dla przenośnej iskrobezpiecznej aparatury sejsmicznej PASAT M,
- Główna Nagroda w kategorii "Poprawa bezpieczeństwa" w konkursie "Innowacyjne rozwiązania w budowie maszyn i urządzeń górniczych" dla przenośnej iskrobezpiecznej aparatury sejsmicznej PASAT M. Konkurs towarzyszył Międzynarodowym Targom Górnictwa, Przemysłu Energetycznego i Hutniczego "Katowice 2009" (1-4 września 2009 r.),
- Złoty Medal Międzynarodowych Targów Wynalazczości "Concours Lépine" i towarzyszącego im Salonu Wynalazczości dla aparatury PASAT M, Paryż, 30 kwietnia – 9 maja 2010 r,
- Nagroda III stopnia zespołowa w Ogólnopolskim Konkursie Poprawy Warunków Pracy w kategorii: prace – naukowo-badawcze, za opracowanie pt. "Iskrobezpieczna aparatura sejsmiczna PASAT M", Warszawa 2010.

5.2.10 Działalność wynalazcza

W toku dotychczasowej działalności zawodowej przejawiałem aktywność wynalazczą. Jako autor lub współautor zgłosiłem 42 wnioski patentowe w tym 20 w kraju i 22 za granicą uzyskując dotychczas 28 patentów w tym: 19 w kraju i 9 za granicą. Pozostałe wnioski patentowe są sukcesywnie rozpatrywane przez właściwe urzędy

patentowe. Byłem również autorem lub współautorem 7 wniosków racjonalizatorskich.

Zestawienie zgłoszonych 28 wniosków patentowych w ramach realizowanego pod moim kierunkiem projektu związanego z wsparciem ochrony własności intelektualnej tworzonej w Instytucie Technik Innowacyjnych EMAG podczas prac B+R z obszaru geofizyki górniczej zamieszczono w załączniku Z9, w których jestem głównym twórcą i z których 14 uzyskało patenty, z czego 5 w kraju i 9 za granicą. Zestawienie wszystkich 28 uzyskanych patentów i mojego udziału w opracowaniu ich wniosków zamieszczono w załączniku Z10 a kopie zaświadczeń autorskich i decyzji o udzieleniu ostatnich patentów zamieszczono w załączniku Z11.

5.2.11 Wdrożenia krajowe i zagraniczne

Zakres dotychczasowych wdrożeń systemów i urządzeń służących do oceny zagrożenia tąpnięciami, opracowaniem, których kierowałem jest bardzo duży. Systemy minikomputerowe starej generacji sejsmoakustyczny SAK i sejsmiczny SYLOK wdrożono odpowiednio 31 i 17 w polskich kopalniach oraz po 5 z każdego w ChRL w ramach sprzedanego KNOW-HOW. Mikrokomputerowych systemów sejsmoakustycznych ARES-4 wdrożono 52. Mikrokomputerowych systemów sejsmicznych ARAMIS S z analogową transmisją sygnałów TSS wdrożono w polskich kopalniach kilkanaście. Przenośna aparatura sejsmiczna PASAT 12i została wdrożona do eksploatacji na terenie 10 kopalń. Sejsmicznych modulatorów sygnałów sejsmometrycznych MEG wyprodukowano 90 sztuk. Były one instalowane w kopalniach węgla kamiennego i zakładach górniczych rud miedzi.

Iskrobezpiecznych elektronicznych wag taśmociągowych EWT-5 dla górnictwa wyprodukowano 265 sztuk.

Do 2017 roku systemy sejsmiczne nowej generacji ARAMIS M/E i sejsmoakustyczne ARES-5/E zgodnie z załącznikiem Z12 zostały szeroko rozpowszechnione w ChRL w liczbie 50 sztuk oraz w Polsce 34 sztuki. Wdrożono również systemy ARAMIS M/E i ARES-5/E po jednym systemie w Rosji i na Ukrainie.

Iskrobezpiecznej przenośnej aparatury sejsmicznej PASAT M wdrożono w ChRL, Polsce i Rosji łącznie 12 sztuk. Ponadto systemów do trójskładowej rejestracji przyśpieszeń drgań ARP 2000 w różnych wersjach wdrożono w Polsce 65 sztuk. W ChRL wdrożono 3 sztuki systemu ARP 2000 P/E.

Systemy geofizyczne do oceny precyzji bombardowania celów powierzchniowych wdrożono na poligonie Nadarzyce i Jagodne. Podsystem sejsmiczny przeznaczony do monitorowania ruchu na drogach poligonu i alarmowania w stanach zagrożenia chronionych obiektów wdrażany jest na Centralnym Poligonie Sił Powietrznych w Ustce.

W swojej dotychczasowej wieloletniej działalności na rzecz bezpieczeństwa w górnictwie prowadziłem w ITI EMAG setki doraźnych zleceń i prac badawczo – wdrożeniowych związanych z zabudową, kalibracją, przeglądami, serwisowaniem, szkoleniami obsługi opracowanych pod moim kierunkiem systemów i urządzeń przeznaczonych do oceny zagrożenia tąpnięciami i monitorowania zagrożeń powierzchni.

5.2.12 Odznaczenia i odznaki państwowe, wojewódzkie itp.

Zestawienie odznaczeń i odznak państwowych, wojewódzkich itp. zamieszczono w załączniku Z15 a ich kopie w załączniku Z16.

Za osiągnięcia w dziedzinie kierowanych prac naukowo-badawczych, rozwojowych i wdrożeniowych uchwałą Rady Państwa z dnia 20 kwietnia w 1977 roku zostałem odznaczony Brązowym Krzyżem Zasługi Z16[O1] a uchwałą z 21 listopada 1984 roku Złotym Krzyżem Zasługi Z16[O2]. Uchwałą Prezydium Wojewódzkiego Klubu Techniki i Racjonalizacji w Katowicach w 1984 roku przyznano mi Brązową Odznakę Zasłużony w Rozwoju Ruchu Wynalazczego Z16[O3].

W roku 1987 w uznaniu szczególnych osiągnięć wynalazczych i racjonalizatorskich odznaczony zostałem odznaką i tytułem „Zasłużony Racjonalizator Produkcji” przez Ministerstwo Górnictwa i Energetyki Z16[O4].

W uznaniu zasług dla górnictwa i jego rozwoju w 1993 roku z upoważnienia Ministra Przemysłu i Handlu Prezes Zarządu Państwowej Agencji Węgla Kamiennego nadał mi Srebrną Odznakę "Zasłużony Dla Górnictwa PRL" Z16[O5].

W 1997 roku w uznaniu zasług dla górnictwa i jego rozwoju Minister Gospodarki nadał mi Złotą Odznakę „Zasłużony dla Górnictwa RP” Z16[O6].

Za osiągnięcia zawodowe w dziedzinie kierowanych prac naukowo-badawczych, rozwojowych i wdrożeniowych w 2005 roku postanowieniem Prezydenta RP odznaczony zostałem Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski Z16[O7].

W 2008 roku postanowieniem Prezydenta RP odznaczony zostałem Medalem Złotym za Długoletnią Służbę Z16[O8], a w 2009 roku Złotą Odznaką Honorową Zasłużony dla Górnictwa przyznaną przez Ministra Gospodarki Z16[O9].

W uznaniu szczególnych zasług dla bezpieczeństwa w górnictwie w 2014 roku uzyskałem, jako jeden z pierwszych po jej ustanowieniu Odznakę Honorową "Zasłużony dla Bezpieczeństwa w Górnictwie" nadaną przez Prezesa WUG z legitymacją o numerze 4/2014 Z16[O10].

W uznaniu zasług poniesionych na rzecz rozwoju gospodarki RP w 2015 roku otrzymałem Odznakę Honorową za Zasługi dla Rozwoju Gospodarki RP nadaną przez Ministra Gospodarki Z16[O11].

5.2.13 Stopnie górnicze

Podczas pracy zawodowej w górnictwie uzyskałem następujące stopnie górnicze:
(dokumenty zamieszczono w załączniku Z17)

Przed uzyskaniem stopnia doktora

Inżynier górniczy III stopnia	w 1975 roku
Inżynier górniczy II stopnia	w 1981 roku
Inżynier górniczy I stopnia	w 1985 roku

Po uzyskaniu stopnia doktora

Dyrektor górniczy III stopnia	w 1991 roku
Dyrektor górniczy II stopnia	w 1994 roku
Dyrektor górniczy I stopnia	w 1999 roku
Generalny Dyrektor Górniczy III stopnia	w 2013 roku

5.2.14 Zbiorcze podsumowanie osiągnięć naukowo badawczych i wdrożeniowych

OSIĄGNIĘCIE	PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA	PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA	ŁĄCZNIE
Artykuły i referaty w czasopismach i materiałach seminaryjnych z JCR (WoS) (w tym samodzielne)	0	8 (2)	8 (2)
Artykuły w czasopismach krajowych (w tym samodzielne)	10 (2)	63 (11)	73 (13)
Referaty opublikowane w materiałach konferencji międzynarodowych za granicą (w tym samodzielne)	0	4 (1)	4 (1)
Referaty opublikowane w materiałach konferencji krajowych (w tym samodzielne)	1	7 (3)	8 (3)
Współautorskie monografie	0	4	4
Współautorstwo rozdziałów w monografiach	0	29	29
Autorskie rozdziały w monografiach	0	3	3
RAZEM Liczba publikacji (w tym samodzielne)	11 (2)	118 (21)	129 (23)
Monografie współredagowane	0	3	3
Monografie redagowane samodzielnie	0	1	1
Sumaryczna liczba punktów z publikacji	40	482,8	522,8
Impact Factor	0	5,222	5,222
Indeks Hirscha według Web of Science	0	3	3
Indeks Hirscha według Publish or Perish 6	0	6	6
Liczba cytowań według Web of Science	0	54	54
Liczba cytowań według Publish and Perish	0	200	200
Kierowanie projektami (w tym międzynarodowymi)	0	12 (1)	12 (1)

OSIĄGNIĘCIE	PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA	PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA	ŁĄCZNIE
Współdział w realizacji projektów (w tym międzynarodowych)	0	7 (1)	7 (1)
Liczba uzyskanych nagród w tym (MNSzWiT)	12 (4)	5	17(4)
Liczba recenzowanych publikacji w czasopiśmie JCR (WoS) - International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences	0	5	5
Dydaktyka: Wykłady na 4 roku Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej w Gliwicach z zakresu komputerowych górniczych systemów sejsmoakustycznych i sejsmometrycznych w latach	0	1998 - 2003	1998 - 2003
Liczba zgłoszeń patentowych (w tym za granicą)	8	34 (22)	42 (22)
Liczba uzyskanych patentów (w tym za granicą)	8	20 (9)	28 (9)
Liczba wdrożeń systemów do oceny zagrożenia tąpnięciami (w tym za granicą)	48(10)	140(54)	188(64)
Liczba wdrożeń urządzeń dostarczających danych do oceny zagrożenia tąpnięciami - przenośne aparaty sejsmiczne (w tym za granicą)	10	14 (10)	24 (10)
Liczba wdrożeń urządzeń do monitorowania drgań wywołanych eksploatacją górnictwem w różnych wykonaniach (w tym za granicą)	0	68(3)	68(3)
Inne wdrożenia w górnictwie: modulatory MEG stosowane, jako zamienniki w systemie transmisji i rejestracji sygnałów sejsmicznych firmy Racal Thermionic	90	0	90
Inne wdrożenia w górnictwie: część elektroniczna wagi taśmociągowej EWT-5 (w tym za granicą)	265 (5)	0	265 (5)
Inne wdrożenia poza górnictwem: systemy sejsmiczne na poligonach wojskowych: Nadarzyce, Jagodne i Ustka	0	3	3

5.2.15 Zestawienie publikacji przywoływanych w autoreferacie

Zestawienie publikacji, do których odwołuję się w autoreferacie zamieszczono w formie załącznika nr 3 (Z3) do wniosku a ich kserokopie w załączniku nr 4 (Z4). Załącznik nr 3 (Z3) (zawiera dodatkowo: liczbę cytowań, punktację czasopism oraz wyróżnienie, które publikacje związane są tematycznie z wnioskiem)

1. A Dec, Z Isakow, T Kwiatek, J Suchy: Urządzenie sprzężenia maszyny cyfrowej z obiektem przemysłowym UZO-4, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 11/84, 5-9, 1975, EMAG,
2. Z Isakow, J Suchy, K Żymełka: Krótki opis urządzenia rejestracji impulsów sejsmicznych w kopalniach węgla kamiennego, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 5/78, 36-38, 1975, EMAG,
3. A Dec, Z Isakow, J Suchy, K Żymełka: Wybrane zagadnienia zastosowania minikomputera jako koncentratora informacji, Wiadomości Górnicze, 10/75,306-309,1975, Wydawnictwo Górnicze Sp. z o.o., 40-048 Katowice ul. Kościuszki 30,
4. A Dec, Z Isakow, J Suchy, K Żymełka: Systemy informatyczne z procesorami buforowymi, Wiadomości Górnicze, 3/76, 88-90, 1976, Wydawnictwo Górnicze Sp. z o.o., 40-048 Katowice ul. Kościuszki 30,
5. Z Isakow, A Dec, J Suchy, K Żymełka: Zastosowanie rejestratora SMC-2 w charakterze elektroniki sprzężenia w systemie kontroli dyspozytorskiej, Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny, 4/77, 117-120, 1977, Wydawnictwo Komunikacyjne,
6. Z Isakow: Elektroniczne urządzenie do ciągłego ważenia, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 5/102, 45-48, 1977, EMAG,

7. Z Isakow, A Rej: Cyfrowy system wykrywania zagrożeń tąpnięciami, Materiały konferencyjne VI Międzynarodowa Konferencja Automatyzacji Górnictwa ICAMC, Polska, Katowice 12-16.05.1980, IV, 200-210, 1980, Wydawnictwo Ministerstwa Górnictwa,
8. Z Isakow: Komputerowy system kontroli i sterowania przepływem masy przeznaczony do ciągłego i porcjowanego ważenia, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 7-8/152, 58-60, 1981, EMAG,
9. Z Isakow, J Suchy, K Żymełka Krótki opis urządzenia regulacji wzmocnienia typu URW-1 przeznaczonego do pracy w systemie oceny zagrożeń tąpnięciami metodą sejsmoakustyki, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 2/157, 43-46, 1982, EMAG,
10. M Dworak, Z Isakow: System SYLOK - rejestracji i automatycznej lokalizacji wstrząsów, Materiały Konferencyjne XI Sympozjum "Automatyczna kontrola i wczesne wykrywanie zagrożeń w górnictwie", Tresna, 25- 27.10.1982, 1, 140-151, 1982, EMAG,
11. Z Isakow, M Dworak: Bierne i aktywne metody sejsmoakustyki w systemie oceny zagrożeń tąpnięciami, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 11/164, 33-36, 1982, EMAG,
12. Z Isakow: Przenośna aparatura sejsmiczna PASAT_12 w polskich kopalniach, Materiały Konferencyjne Word Mining Congress ICAMC 1990 Ostrava - Czechoslovakia III, 542-548, 1990, Dom techniky ČSVTS Ostrava, ISBN 80-02-00655-0,
13. J Barzykowski, Z Isakow: Programowane urządzenie ważące o podwyższonej dokładności, Biuletyn WAT, 7/467, 73-83, 1991, Wojskowa Akademia Techniczna Warszawa,
14. Z Isakow, M Dworak: Przegląd systemów i urządzeń przeznaczonych do oceny stanu zagrożenia tąpnięciami, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 7-8/258, 49-52, 1991, EMAG,
15. Z Isakow, J Suchy: Nowe kierunki rozwoju systemów dyspozytorskich w kopalniach polskich, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 2/263, 10-14, 1992, EMAG,
16. Z Isakow, J Suchy: Problemy eksploatacji, wdrażania i rozwoju systemów do oceny zagrożenia tąpnięciami oraz kontroli parametrów produkcji, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 5-6/277, 43-45, 1993, EMAG,
17. Z Isakow: Osiągnięcia Centrum EMAG w opracowywaniu i wdrażaniu w górnictwie podziemnym komputerowych systemów i urządzeń do oceny zagrożenia tąpnięciami, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 8/290, 7-10, 1994, EMAG,
18. Z Isakow, M Dworak: Komputerowe systemy i urządzenia do oceny zagrożenia tąpnięciami opracowane i oferowane przez Centrum EMAG, Materiały Konferencyjne Sympozjum Naukowo - Techniczne Tąpnięcia 1994, Rozwiązania inżynierskie w problematyce tąpnięć, Ustroń 23-25.11.1994, 1, 221-230, 1994, EMAG,
19. Z Isakow, A Mencil: Wprowadzenie do systemów oceny zagrożenia tąpnięciami nowej generacji urządzeń - cyfrowe transmisje sygnałów sejsmicznych, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 10/303, 98-105, 1995, EMAG,
20. W Balicki, Z Isakow: Rozwój systemów do kontroli zagrożeń naturalnych w kopalniach węgla kamiennego w Polsce, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 10/303, 38-42, 1995, EMAG,
21. Z Isakow, M Dworak: System sejsmoakustyczny dla zakładów górniczych rud miedzi, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 8/302, 28-32, 1995, EMAG,
22. Z Isakow: Wykorzystanie systemów komputerowych do wykrywania, rejestracji i interpretacji zjawisk zachodzących w górotworze w celu oceny zagrożenia tąpnięciami, Materiały Konferencyjne II Szkoły - Konferencji Metrologia Wspomagana Komputerowo, Zegrze k/Warszawy 22-25.05.1995, 3, 35-45, 1995, Wydział Wydawniczy WSOWŁ (Wojskowa Szkoła Oficerska Wojsk Łączności),
23. Z Isakow, M Dworak, B Hersztowska, A Mencil: Rejestracja zjawisk sejsmoakustycznych głęboko w stropie, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 11/316, 62-66, 1996, EMAG,
24. Z Isakow, J Koza: Cyfrowy system transmisji sygnałów sejsmicznych dla kopalń węgla kamiennego i rud miedzi, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 12/328, 48-52, 1997, EMAG,
25. B Cianciara, Z Isakow: System zdalnego monitorowania zagrożenia powierzchni wstrząsami wywołanymi eksploatacją górnictwem, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 12/328, 35-39, 1997, EMAG,
26. A Cianciara, B Cianciara, Z Isakow: Modele źródeł emisji sejsmicznej w warunkach górnictwa podziemnego, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 6-7/323, 148-153, 1997, EMAG,

27. Z Isakow, M Dworak: System oceny zagrożenia nowej generacji, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 6-7/323, 154-157, 1997, EMAG,
28. Z Isakow: Nowe formy wizualizacji w dyspozytorskich systemach oceny zagrożenia tąpnięciami, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 4-5/344, 57-69, 1999, EMAG,
29. Z Isakow, B Cianciara: Wkład centrum EMAG w rozwój systemów do oceny zagrożenia tąpnięciami oraz kontroli oddziaływania eksploatacji podziemnej na powierzchnię obszaru górniczego, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 9-10/358, 146-159, 2000, EMAG,
30. Z Isakow, B Hersztowska, A Mencil, I Szołtysek: System ARP 2000 do zdalnego monitorowania przyspieszeń drgań powierzchni, budynków, obudowy szybowej lub obiektów hydrotechnicznych wywołanych wstrząsami górniczymi, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 9/369, 160-171, 2001, EMAG,
31. B Cianciara, Z Isakow, M Dworak: Propozycja sposobu predykcji wstrząsów działającego na bazie systemu pomiarowego ARAMIS A, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 9/369, 172-178, 2001, EMAG,
32. W Mironowicz, KA Siciński, Z Isakow: Złożony system monitorowania i wizualizacji pracy kompleksu ścianowego jako narzędzie wspomagania wybranych służb restrukturyzowanej kopalni, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 9/369, 45-60, 2001, EMAG,
33. Z Isakow: Doświadczenia z eksploatacji w kopalniach węgla kamiennego systemu ARAMIS M z cyfrową transmisją sygnałów sejsmometrycznych DTSS, przeznaczonego do lokalizacji wstrząsów i określania ich energii, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 2/374, 37-42, 2001, EMAG,
34. Z Isakow: Nowa metoda identyfikacji w warunkach laboratoryjnych parametrów emisji sejsmoakustycznej, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 5/377, 23-32, 2002, EMAG,
35. A Leśniak, Z Isakow: Rozwiązanie zagadnienia inwersji dla tomografii tłumieniowej w warunkach długich frontów ścianowych, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 11/383, 45-51, 2002, EMAG,
36. W Mironowicz, KA Siciński, Z Isakow: Sterowanie parametrami pracy zestawów obudowy zmechanizowanej w warunkach zagrożenia tąpnięciami, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 6/378, 29-41, 2002, EMAG,
37. A Leśniak, B Cianciara, Z Isakow: Efektywny system oceny zagrożenia tąpnięciami stropowymi, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 7/379, 5-10, 2002, EMAG,
38. A Leśniak, Z Isakow: Interpretacja danych z nowych systemów geofizycznych zwiększających bezpieczeństwo eksploatacji ścianowej, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 9/381, 129-136, 2002, EMAG,
39. A Leśniak, Z Isakow: Model analityczny drgań wzbudzonych w zabudowanej kotwi stropowej, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 7/379, 21-25, 2002, EMAG,
40. KA Siciński, Z Isakow, K Oset: Monitorowanie pracy kompleksu ścianowego w celu podniesienia efektywności wydobywania ze ściany, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 9/381, 113-120, 2002, EMAG,
41. A Leśniak, B Cianciara, Z Isakow: Efektywny system monitoringu zagrożenia tąpnięciami stropowymi, *Materiały konferencyjne XXX Konferencji Sekcji Cybernetyki w Górnictwie KG PAN. V Konferencja Telekomunikacji w Górnictwie. Telekomunikacja i Systemy Bezpieczeństwa w Górnictwie, KTG 2002, Szczyrk 19 - 21. 06. 2002, 1, 113-122, 2002, Katedra Elektryfikacji i Automatyizacji Górnictwa, Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej, ISBN 83-915731-2-5,*
42. Z Isakow: System do ciągłej kontroli zmian naprężeń przed frontem ściany, *Materiały konferencyjne XXX Konferencji Sekcji Cybernetyki w Górnictwie KG PAN. V Konferencja Telekomunikacji w Górnictwie. Telekomunikacja i Systemy Bezpieczeństwa w Górnictwie. KTG 2002, Szczyrk 19 - 21. 06. 2002, 1, 99-111, 2002, Katedra Elektryfikacji i Automatyizacji Górnictwa, Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej, ISBN 83-915731-2-5,*
43. Z Isakow, A Leśniak, B Hersztowska, A Mencil: Doświadczenia z eksploatacji systemu do oceny zagrożenia zjawiskami dynamicznymi, *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa*, 9/392, 46-59, 2003, EMAG,

44. B Cianciara, A Cianciara, Z Isakow: Wstępne wyniki oceny zagrożenia tąpniętami uzyskane na podstawie analizy emisji sejsmicznej rejestrowanej w rejonie ściany 306 pokładu 507 KWK „Bielszowice”, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 9/392, 67-71, 2003, EMAG,
45. Z Isakow: Wstępne doświadczenia z eksploatacji systemu do ciągłej kontroli zmian naprężeń przed frontem ściany, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 1/385, 32-52, 2003, EMAG,
46. Z Isakow: Wstępna informacja o nowych systemach do oceny zagrożeń sejsmicznych oferowanych przez Centrum EMAG, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 8/391, 49-53, 2003, EMAG,
47. A Leśniak, Z Isakow, E Koziarz: Rezultaty nieniszczących badań jakości zamocowania kotwi z użyciem aparatury „Kotew”, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 9/392, 60-66, 2003, EMAG,
48. Z Isakow: Monitorowanie drgań i deformacji wywołanych eksploatacją górnictwem, *Materiały konferencyjne XXXII Międzynarodowej Konferencji Sekcji Cybernetyki w Górnictwie KG PAN. Telecommunication and Safety Systems in Mining. ATI 2004, Poland, Szczyrk 2-4 June 2004*, 1, 59-70, 2004, Katedra Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa, Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej, ISBN 83-915731-5-X,
49. Z Krzystanek, P Wojtas, B Bojko, Z Isakow: Zintegrowany system monitorowania zagrożeń naturalnych w kopalniach, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 9/404, 18-24, 2004, EMAG,
50. Z Isakow: Systemy do oceny zagrożeń sejsmicznych w kopalniach. Cz. 2, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 5/400, 9-25, 2004, EMAG,
51. Z Isakow: Systemy do oceny zagrożeń sejsmicznych w kopalniach. Cz. 1, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 4/399, 5-18, 2004, EMAG,
52. I Kuciara, Z Isakow: Nowe technologie teledetekcyjne w systemie do monitorowania deformacji i osiadania powierzchni na terenach pogórnicznych, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 9/404, 45-51, 2004, EMAG,
53. S Wasilewski, Z Isakow, Z Krzystanek: Monitorowanie zagrożeń naturalnych w polskich kopalniach głębinowych, *Materiały I Seminarium Zintegrowanego Instytutu Naukowo-Technologicznego, Centrum EMAG, Katowice*, 26, 1-12, 2005, EMAG,
54. Z Isakow: Ocena zagrożeń sejsmicznych w kopalniach w systemach opracowanych przez Centrum EMAG, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 5/412, 41-46, 2005, EMAG,
55. A Cianciara, B Cianciara, Z Isakow: Sposób oceny parametrów drgań gruntu w aspekcie ich oddziaływania na obiekty, *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, 6, 41-43, 2005, Wyższy Urząd Górniczy WUG Katowice,
56. B Cianciara, A Cianciara, Z Isakow: Problematyka opisu oddziaływania drgań wywołanych wstrząsami, na powierzchnię Ziemi, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 2/409, 15-38, 2005, EMAG,
57. J Wojciechowski, Z Isakow, P Wojtas: Systemy dyspozytorskie EMAG wczoraj, dziś i jutro, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 5/412, 63-76, 2005, EMAG,
58. A Leśniak, Z Isakow: Lokalizacja i grupowanie źródeł emisji sejsmicznej w warunkach długich frontów ścianowych na przykładzie KWK Bielszowice, *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, 6, 3-8, 2005, Wyższy Urząd Górniczy WUG Katowice,
59. Z Isakow, J Juzwa: Experiences from Using a System for the Evaluation of Dynamic Phenomena Hazards, *RaSiM6: Controlling Seismic Risk, Sixth International Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines Proceedings*. Edited by: Y Potvin and M Hudyma, 1, 219-226, 2005, Australia, Perth, ACG Australian Centre for Geomechanics,
60. Z Isakow, N Berbic, K Gutic: On line monitoring vibracija tonjenja tla i objekata izazvanih rudarskom eksploatacijom, *Monografija Zbornika Radova, Trendovi u Savremenom Rudarstvu, University of Tuzla, Konferencja Międzynarodowa*, 1, 157-158, 2006, Uniwersytet w Tuzli, Tuzla 2006, ISSN 1512-7044,
61. A Cianciara, B Cianciara, Z Isakow: Sposób monitorowania zagrożenia tąpniętami oparty na analizie emisji sejsmoakustycznej metodą hazardu sejsmicznego, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 11/430, 5-11, 2006, EMAG,
62. Z Isakow, Z Krzystanek, S Trenczek, P Wojtas: Integrated System for Environmental Hazards Monitoring in Polish Mining, *Materiały 21st World Mining Congress & Expo 2008 – Underground Mine Environment*, 1, 129-141, 2008, Wyd. Agencja Reklamowo-Wydawnicza “OSTOJA”, Kraków 2008, ISBN 978-83-921582-7-1,

63. K Mirek, Z Isakow: Wstępna analiza danych satelitarnej interferometrii radarowej z południowo-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, Warsztaty Górnicze z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, Materiały Sympozjum, 1, 228-234, 2008,
64. K Mirek, Z Isakow: Preliminary analysis of InSAR data from south-west part of Upper Silesian Coal Basin, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 25/3, 239-246, 2009, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków,
65. Z Isakow: Safecomine intrinsically safe system for monitoring of hazards in mines related to disturbance of the strata and environment equilibrium, *RaSiM7: Controlling Seismic Hazard and Sustainable Development of Deep Mines* Edited by C Tang, 2, 1045-1056, 2009, Rinton Press New York / New Jersey,
66. A Cianciara, Z Isakow: Modele sygnałów drgań rejestrowanych na powierzchni ziemi, *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, 3/457, 13-18, 2009, EMAG,
67. A Leśniak, Z Isakow: Space-time clustering of seismic events and hazard assessment in the Zabrze - Bielszowice coal mine, Poland, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46/5, 918-928, 2009, Elsevier,
68. Z Isakow, Z Krzystanek, S Trenczek, P Wojtas: Gas and rock-bump hazard monitoring in the Polish mining, *Journal of Coal Science and Engineering (China)*, 15/3, 229-232, 2009, Springer,
69. Z Isakow: Geotomography with the help of a cutter-loader working organ as a source of imaging waves, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46/7, 1235-1242, 2009, Elsevier,
70. Z Isakow: autor rozdziału 7, *Monografia. Innowacje dla gospodarki pod redakcją S Trenczka. Rozdział 7 - Systemy i urządzenia do monitorowania zagrożeń sejsmicznych w kopalniach i otaczającym środowisku*, 1, 162-187, 2010, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG, ISBN 978-83-928970-5-7,
71. Z Isakow: Nowe kierunki rozwoju systemów geofizycznych, *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, 6/472, 31-36, 2010, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG,
72. B Bojko, Z Isakow, Z Krzystanek, S Trenczek: Zintegrowany system bezpieczeństwa dla dyspozytorni zakładów górniczych, *Wiadomości Górnicze*, 7-8, 434-439, 2010, Wydawnictwo Górnicze Sp. z o.o. Katowice,
73. S Trenczek, K Oset, Z Isakow: Wykrywanie anomalii w polu eksploatacyjnym dla zwalczania zagrożenia gazowego, *Przegląd Górniczy*, 1-2, 58-62, 2011, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa, Katowice, ISSN 0033-216X,
74. Z Isakow, J Juzwa, IJ Kuciara: Nowatorskie rozwiązania dotyczące problematyki monitorowania i oceny zagrożeń powierzchni terenu górniczego, *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, 3/481, 25-30, 2011, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG,
75. P Wojtas, Z Isakow, Z Krzystanek, J Juzwa: Modern tools for monitoring environmental hazards caused by mining activities in underground mines, *The proceedings of the International Symposium SESAM 2011, SINAlA, RUMUNIA*, 1, 164 -173, 2011, INSEMEX, ISSN 1843 – 6226,
76. M Sikora, Z Isakow, Z Krzystanek, P Mazik, S Trenczek: System monitorowania zagrożeń naturalnych - źródła danych i repozytoria, *Rozdział w Monografii Praca Zbiorowa pod redakcją J Kabiesza pt. Zarządzanie prewencją zagrożeń górniczych wspomaganie narzędziami informatycznymi*. 115-134, 2012, Wydawnictwo GIG, Katowice ISBN 978-83-61126-49-2,
77. P Wojtas, Z Isakow, Z Krzystanek, S Trenczek: Importance of measuring instrumentation in the aspect of the methane explosion hazard and geophysical hazards, *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, 36/3, 405-413, 2012, AGH Kraków,
78. Z Isakow, IJ Kuciara: Monitorowanie gruntu i budowli na obszarach zagrożonych wstrząsami górotworu i skutkami eksploatacji podziemnej, *Budownictwo Górnicze i Tunelowe*, 4, 50-57, 2012, Wydawnictwo Górnicze Sp. z o.o., Katowice, ISSN 1234-5342,
79. K Oset, Z Isakow, S Trenczek: Rozpoznanie stanu górotworu za pomocą nowoczesnej aparatury pomiarowej PASAT M, *Budownictwo Górnicze i Tunelowe*, 4, 37-49, 2012, Wydawnictwo Górnicze Sp. z o.o., Katowice, ISSN 1234-5342,
80. S Trenczek, J Mróz, Z Krzystanek, Z Isakow, M Małachowski, K Oset: Rozwój systemowego monitorowania zagrożeń w podziemnym górnictwie, *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, 11/501, 3-19, 2012, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG,

81. Z Pilecki, Z Isakow: Projekt LOFRES – sejsmika pasywna LFS z wykorzystaniem szumu sejsmicznego, *Przegląd Górniczy*, 7, 69-73, 2014, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa, Katowice, ISSN 0033-216X,
82. Z Isakow, Z Pilecki, P Sierodzki: Nowoczesny system LOFRES niskoczęstotliwościowej sejsmiki pasywnej, *Przegląd Górniczy*, 7, 92-96, 2014, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa, Katowice, ISSN 0033-216X,
83. H Marcak, Z Pilecki, Z Isakow, R Czarny: Możliwości wykorzystania interferometrii sejsmicznej w górnictwie, *Przegląd Górniczy*, 7, 74-83, 2014, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa, Katowice, ISSN 0033-216X,
84. Z Isakow, IJ Kuciara: Zastosowanie skal intensywności drgań do oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją górnictw, *Budownictwo Górnicze i Tunelowe*, 3, 25-38, 2014, Wydawnictwo Górnicze Sp. z o.o. Katowice, ISSN 1234-5342,
85. Z Isakow: - redaktor wydania. Współautor 6 rozdziałów "Nowe innowacyjne rozwiązania w obszarze geofizyki górniczej i ich ochrona", Monografia - wynik realizacji projektu GEOPATENT, 1, 1-120, 2015, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG, ISBN 978-83-63674-22-9,
86. Z Isakow: - kierownik projektu i redaktor wydania. Współautor 10 rozdziałów. Autorzy: M Chamarczuk, R Czarny, P Harba, Z Isakow, J Juzwa, A Kubańska, I Kuciara, H Marcak, Z Pilecki K Siciński, P Sierodzki: System LOFRES sejsmiki pasywnej z wykorzystaniem szumu sejsmicznego, Monografia - wynik realizacji projektu LOFRES, 1, 1-134, 2015, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG, ISBN 978-83-63674-23-6,
87. Z Isakow: - autor rozdziału 6, Instytut Technik Innowacyjnych EMAG 40 lat innowacyjności dla gospodarki, Rozdział 6 - Monitorowanie zjawisk sejsmicznych oraz obiektów szczególnego nadzoru, Monografia pod redakcją S Trenczka, 1, 161-183, 2015, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG, ISBN 978-83-63674-20-5,
88. Z Pilecki, M Chamarczuk, A Kubańska, Z Isakow, R Czarny, K Krawiec, E Pilecka, P Sierodzki: Porównanie parametrów częstotliwościowo-amplitudowych sejsmicznych źródeł mechanicznych, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 89, 33-49, 2015, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków,
89. W Piwowarski, Z Isakow, J Juzwa: Estimation of the mining damage risk in the hypothetical impact area of the concurrent processes of rock mass disorders, *Archives of Mining Sciences* 60/4, 889-903, 2015, Instytut Mechaniki Górotworu PAN, Kraków,
90. Z Isakow, K Siciński, P Sierodzki: Innowacyjne rozwiązania w akwizycji danych pomiarowych w strimerze Seismobile, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, Kraków, 93, 155-168, 2016, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków,
91. Z Isakow, A Pysik, M Przybyła, J Juzwa, I Kuciara Oprogramowanie narzędziowe strimera Seismobile, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 93, 169-180, 2016, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków,
92. A Kubańska, Z Isakow, Z Pilecki: Założenia funkcjonalne systemu Seismobile, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 93, 133-141, 2016, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków,
93. Z Isakow: współautor rozdziałów 1, 3, 4, 6 i 11. Redaktorzy naukowci: Z Pilecki, Z Isakow, A Kubańska, Autorzy (rozdziałów w kolejności alfabetycznej): M Barnaś, R Czarny, P Harba, Z Isakow, J Juzwa, K Krawiec, A Kubańska, I Kuciara, R Matuła, E Pilecka, Z Pilecki, M Przybyła, A Pysik, K Siciński, P Sierodzki, J Stanis: Seismobile - system geofizycznego badania podłoża szlaków komunikacyjnych, Monografia - wynik projektu Seismobile, 1, 1-123, 2016, P.W. Bater Drukarnia MY – HORYZONT, ISBN 978-83-62254-36-1,
94. Z Isakow: kierownik projektu i współredaktor wydania. Współautorzy rozdziałów: A Augustyniak, A Cianciara, B Cianciara, Z Isakow, J Juzwa, I Kuciara, R Makola, W Piwowarski, A Pysik, K Siciński, P Sierodzki, Z Słoka, Innowacyjne metody i system do oceny zagrożenia tąpnięciami na podstawie probabilistycznej analizy procesu pęknięcia i geotomografii online, Monografia - wynik realizacji projektu INGENEO, 1, 1-156, 2016, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG, ISBN 978-83-63674-27-4,

95. B Cianciara, Z Isakow, K Siciński, A Cianciara: Rock bursts prediction based on analyzing maximal phenomena of seismic emission in the INGEO system, *Mining–Informatics, Automation and Electrical Engineering*, 54, 5-10, 2016, Instytut Technik Innowacyjnych ITI EMAG,
96. R Czarny, H Marcak, N Nakata, Z Pilecki, Z Isakow: Monitoring Velocity Changes Caused By Underground Coal Mining Using Seismic Noise, *Pure and Applied Geophysics*, 173/6, 1907-1916, 2016, Springer,
97. Z Pilecki, Z Isakow, R Czarny, E Pilecka, P Harba, M Barnaś: Capabilities of seismic and georadar 2D/3D imaging of shallow subsurface of transport route using the Seismobile system, *Journal of Applied Geophysics*, 143, 31-41, 2017, Elsevier,
98. Z Isakow, J Juzwa, A Kubańska, K Siciński: Nowoczesny system INGEO do monitorowania zagrożenia sejsmicznego i tąpnięciami w kopalniach węgla kamiennego i rud miedzi, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 101, 173-184, 2017 Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków,
99. Z Isakow: Wireless acquisition of multi-channel seismic data using the Seismobile system, *AG 2017 - 3rd International Conference on Applied Geophysics – Proceedings*, 24, 1-8, 2017, E3S Web of Conferences, AG 2017 - 3rd International Conference on Applied Geophysics, Gniew, Poland, June 21-23, 2017, eISSN: 2267-1242.

