

ZAŁĄCZNIK 3
AUTOREFERAT PRZEDSTAWIAJĄCY OPIS DOROBKU ORAZ OSIĄGNIĘĆ
NAUKOWYCH

Spis treści

3.1. Wykształcenie, posiadane dyplomy i stopnie naukowe	3
A. <i>Dyplom ukończenia studiów magisterskich</i>	3
B. <i>Stopień doktora nauk technicznych</i>	3
C. <i>Dyplom ukończenia rocznych studiów podyplomowych w zakresie systemów informacji geograficznej..</i>	3
D. <i>Dyplom ukończenia rocznych studiów podyplomowych w zakresie zarządzania projektami badawczymi i komercjalizacji wyników badań naukowych</i>	3
3.2. Przebieg zatrudnienia w jednostkach naukowych.....	3
3.3. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595 z późn. zm.).....	4
A. <i>Tytuł osiągnięcia naukowego.....</i>	4
B. <i>Cykl publikacji powiązanych tematycznie</i>	4
C. <i>Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania</i>	6
D. <i>Podsumowanie.....</i>	28
3.4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych	29
A. <i>Osiągnięcia przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora</i>	29
B. <i>Osiągnięcia po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.....</i>	30
3.5. Literatura.....	33
3.6. Sumaryczne zestawienie dorobku naukowego	35
3.7. Działalność dydaktyczna	36
3.8. Działalność organizacyjna	37

3.1. Wykształcenie, posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Po ukończeniu szkoły średniej *Prince Edward High School* (Harare, Zimbabwe) i uzyskaniu międzynarodowej matury w 1994 roku rozpocząłem studia na kierunku *górnictwo i geologia* na Wydziale Górniczym Politechniki Wrocławskiej.

A. Dyplom ukończenia studiów magisterskich

- 28 czerwca 1999 r., Politechnika Wrocławska, Wydział Górniczy,
- kierunek: *górnictwo i geologia inżynierska*,
- specjalność: *gospodarka zasobami ziemi*,
- uzyskany stopień: *magister inżynier*,
- tytuł pracy: *Pozycjonowanie punktów techniką satelitarną RTK-DGPS na potrzeby górnictwa odkrywkowego*,
- opiekun: prof. dr hab. inż. Stefan Cacoń

B. Stopień doktora nauk technicznych

- 29 września 2003 r., Politechnika Wrocławska, Wydział Górniczy,
- kierunek: *górnictwo i geologia inżynierska*,
- specjalność: *geodynamika, pozycjonowanie satelitarne, systemy informacji geograficznej*,
- tytuł pracy: *Analiza i interpretacja deformacji powierzchniowej warstwy skorupy ziemskiej w otoczeniu projektowanego zbiornika wodnego*,
- opiekun: prof. dr hab. inż. Stefan Cacoń,
- recenzenci: prof. dr hab. Michał Mierzejewski, dr hab. inż. Krzysztof Parylak

C. Dyplom ukończenia rocznych studiów podyplomowych w zakresie systemów informacji geograficznej

- 20 listopada 2004 r., Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Centrum Kształcenia Ustawicznego,
- tytuł pracy: *Pozycjonowanie satelitarne GPS w inwentaryzacji terenowej szlaków rowerowych województwa dolnośląskiego*.

D. Dyplom ukończenia rocznych studiów podyplomowych w zakresie zarządzania projektami badawczymi i komercjalizacji wyników badań naukowych

- 18 czerwca 2011 r., Politechnika Wrocławska, Wydział Informatyki i Zarządzania

3.2. Przebieg zatrudnienia w jednostkach naukowych

- | | |
|----------------|---|
| 10.2003-1.2005 | Politechnika Wrocławska, Instytut Górnictwa, Zakład Geodezji i Geoinformatyki, asystent |
| 2.2005-obecnie | Politechnika Wrocławska, Instytut Górnictwa, Zakład Geodezji i Geoinformatyki, adiunkt |
| 2.2009-7.2009 | Norwegian University of Science and Technology, Department of Geology and Mineral Resources Engineering, Trondheim, Norwegia, naukowiec wizytujący (<i>visiting researcher</i>) |
| 6.2012-9.2012 | University of New Brunswick, Canadian Centre for Geodetic Engineering, Fredericton, Kanada, naukowiec wizytujący (<i>visiting researcher</i>) |

W dniu 1 października 2003 roku rozpocząłem pracę na Politechnice Wrocławskiej jako asystent w Zakładzie Geodezji i Geoinformatyki Instytutu Górnictwa. Od 1 lutego 2005 roku jestem zatrudniony na stanowisku adiunkta. Od 2010 roku pełniłem obowiązki kierownika Zakładu Geodezji i Geoinformatyki, a od 1 października 2011 roku zostałem, decyzją Dziekana Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, powołany na to stanowisko. Z dniem 1 października 2012 roku objąłem także funkcję zastępcy dyrektora Instytutu Górnictwa ds. badań naukowych i współpracy z gospodarką. Obie funkcje pełniłem do końca 2014 roku, kiedy to w wyniku restrukturyzacji Uczelni nastąpiła likwidacja Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Od dnia 1 stycznia 2015 roku do końca października 2016 roku pełniłem obowiązki kierownika Wydziałowego Zakładu Geodezji i Geoinformatyki. Obecnie (od 1.11.2016) pełnię funkcję zastępcy kierownika Zakładu.

Jednocześnie, od 15 listopada 1999 roku pracuję, w niepełnym wymiarze etatu, w Instytucie Rozwoju Terytorialnego (do marca 2013 r. Wojewódzkie Biuro Urbanistyczne we Wrocławiu), samorządowej jednostce organizacyjnej Urzędu Marszałkowskiego Województwa Dolnośląskiego, powołanej do realizacji zadań z zakresu planowania i zagospodarowania przestrzennego na poziomie regionalnym. Obecnie zajmuję tam stanowisko głównego specjalisty ds. górnictwa i gospodarki surowcowej.

Odbyte zagraniczne i krajowe staże naukowe opisałem w **punkcie 6.9 załącznika nr 6 dokumentacji**.

3.3. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595 z późn. zm.)

A. Tytuł osiągnięcia naukowego

Podstawą ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego jest zbiór, powiązanych tematycznie, dziewięciu publikacji w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports. Wspólną tematyką tego cyklu publikacji są:

Analizy przestrzenne GIS w badaniach wpływu działalności górniczej na otoczenie

B. Cykl publikacji powiązanych tematycznie

[P1] **Blachowski J.**, (2016) *Application of GIS spatial regression methods in assessment of land subsidence in complicated mining conditions - case study of the Walbrzych coal mine (SW Poland)*. Natural Hazards, 84:997–1014, DOI: 10.1007/s11069-016-2470-2, (online 21.07.2016)
IF = 1,746, pkt MNiSzW 25

[P2] **Blachowski J.**, (2015) *Methodology for assessment of the accessibility of a brown coal deposit with Analytical Hierarchy Process and Weighted Linear Combination*. Environmental Earth Science, 74:5, 4119-4131, DOI: 10.1007/s12665-015-4461-0, (online 5.05.2015)
IF = 1,765, pkt MNiSW 25

- [P3] **Blachowski J.**, Milczarek W., Grzempowski P., (2015) *Historical and present-day vertical movements on old mining terrains - case study of the Walbrzych coal basin (SW Poland)*. Acta Geodynamica et Geomaterialia, 12:3, 227-235, DOI: 10.13168/AGG.2015.0020
IF = 0,561, pkt MNiSW 20
Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problemu badawczego, przeglądzie literatury, opracowaniu planu badań i wykonaniu badań, analizie i dyskusji wyników, przygotowaniu manuskryptu oraz poprawy pracy po uwagach recenzentów. Mój udział procentowy w powstanie pracy wynosi 70%.
- [P4] **Blachowski J.**, Milczarek W., (2014) *Analysis of surface changes in the Walbrzych hard coal mining grounds (SW Poland) between 1886 and 2009*. Geological Quarterly, 58:2, 353–368, DOI: 10.7306/gq.1162
IF = 1,000, pkt MNiSW 20
Mój udział w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu metodyki i planu badań, wykonaniu analiz, przeglądzie literatury, analizie i dyskusji wyników, przygotowaniu manuskryptu oraz poprawy pracy po uwagach recenzentów. Mój udział procentowy w powstanie pracy wynosi 70%.
- [P5] **Blachowski J.**, Milczarek W., Stefaniak P., (2014) *Deformation information system for facilitating studies of mining-ground deformations, development, and applications*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 1677–1689, DOI: 10.5194/nhess-14-1677-2014
IF = 1,735, pkt MNiSW 30
Mój udział w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu planu badań, analizie i dyskusji wyników, przygotowaniu manuskryptu oraz poprawy pracy po uwagach recenzentów. Mój udział procentowy w powstanie pracy wynosi 60%.
- [P6] **Blachowski J.**, Chrzanowski A., Szostak-Chrzanowski A., (2014) *Application of GIS methods in assessing effects of mining activity on surface infrastructure*. Archives of Mining Sciences, 59:2, 307-321, DOI: 10.2478/amsc-2014-0022
IF wstrzymany w roku publikacji (5-letni IF = 0,519), pkt MNiSW 20
Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problemu badawczego, przeglądzie literatury, opracowaniu metodyki badań i wykonaniu badań, analizie i dyskusji wyników, przygotowaniu manuskryptu oraz poprawy pracy po uwagach recenzentów. Mój udział procentowy w powstanie pracy wynosi 60%.
- [P7] **Blachowski J.**, (2014) *Spatial analysis of the mining and transport of rock minerals (aggregates) in the context of regional development*. Environmental Earth Science, 71:3, 1327-1338, DOI: 10.1007/s12665-013-2539-0, (online 17.05.2013)
IF = 1,765, pkt MNiSW 25
- [P8] **Blachowski J.**, Ellefmo S., (2012) *Numerical modelling of rock mass deformation in sublevel caving mining system*. Acta Geodynamica et Geomaterialia, 9:3, 379-388
IF wstrzymany w roku publikacji (5-letni IF = 0,606), pkt MNiSW 20

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu badawczego, wykonaniu prac eksperymentalnych i projektowych, analizie i dyskusji wyników, przygotowaniu manuskryptu oraz poprawy pracy po uwagach recenzentów. Mój udział procentowy w powstanie pracy wynosi 70%.

[P9] **Blachowski J., Ellefmo S., Ludvigsen E., (2011) Monitoring system for observations of rock mass deformations caused by sublevel caving mining. Acta Geodynamica et Geomaterialia, 8:3, 335-344**
IF = 0,530, pkt MNiSW 20

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problemu badawczego, wykonaniu prac eksperymentalnych i projektowych, analizie i dyskusji wyników, przygotowaniu manuskryptu oraz poprawy pracy po uwagach recenzentów. Mój udział procentowy w powstanie pracy wynosi 60%.

C. Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Problematyka, którą zajmuję się w mojej pracy naukowej dotyczy badań przestrzennych oddziaływań górnictwa, zwłaszcza deformacji powierzchni terenów poddanych wpływom eksploatacji kopalin ze złóż. W autoreferacie poprzez pojęcie deformacje powierzchni rozumiem wyrażony w wartościach wybranych wskaźników wpływ eksploatacji górniczej na powierzchnię (gdzie do podstawowych wskaźników należą: przemieszczenie pionowe – najczęściej obniżenie, przemieszczenie poziome, nachylenie, krzywizna, odkształcenie poziome powierzchni). Podstawy teoretyczne procesu deformacji powierzchni terenów poddanych wpływom eksploatacji górniczej przedstawili m.in.: Chwastek (1980), Kratzsch (1983), Knothe (1984), Kowalski (2000), Hejmanowski (2001), Powell i Leighfield (2002), Kwiatek (2007), Popiołek (2009) oraz Kratzsch i Fleming (2011). W ramach wymienionych zagadnień zajmuję się badaniami deformacji powierzchni terenów poddanych wpływom eksploatacji kopalin w skomplikowanych warunkach geologiczno-górnicznych oraz analizą konfliktów przestrzennych związanych z eksploatacją kopalin ze złóż. Rezultaty tych badań przedstawiłem w cyklu, wymienionych wyżej, dziewięciu publikacji powiązanych tematycznie. Stanowią one podsumowanie moich dotychczasowych osiągnięć naukowych oraz praktycznych prezentowanych także w innych pracach wymienionych **w punkcie 5.2 załącznika nr 5 dokumentacji**. Elementem łączącym wskazane zainteresowania badawcze są analizy przestrzenne wybranych wpływów działalności górniczej na otoczenie w systemach informacji geograficznej (*ang. Geographic Information Systems, GIS*) nazywanych także systemami geoinformacyjnymi. Przeprowadzona analiza literatury (opisana w cyklu publikacji powiązanych tematycznie) w zakresie badań stanu powierzchni terenów czynnej i dokonanej działalności górniczej jak również badań innych wpływów górnictwa na otoczenie wskazuje, że problematyka ta pozostaje aktualnym zagadnieniem badawczym, zwłaszcza w obszarach, w których tradycyjnie stosowane metody mogą nie dawać dostatecznie dobrych rezultatów. Opisywane, w opublikowanych pracach, zagadnienia badawcze można, w uproszczeniu, podzielić na te skupiające się na obserwacjach przemieszczeń na terenach poddanych wpływom działalności górniczej (czynnej i dokonanej) z wzrastającą rolą teledetekcji i weryfikacji na podstawie rezultatów tych pomiarów teorii empirycznych oraz na badania dotyczące metod analiz i prognozowania deformacji terenów górniczych i pogórnicznych m.in. z zastosowaniem teorii statystycznych i sztucznych sieci neuronowych w GIS. W badaniach tych zaznacza się wzrost wykorzystania nowoczesnych numerycznych technik opracowywania i analiz zbiorów danych dotyczących wpływów działalności górniczej, w tym zwłaszcza wykorzystania systemów informacji geograficznej. Wraz z rozwojem metod i funkcji analiz

przestrzennych oraz narzędzi ich konstruowania, systemy informacji geograficznej stały się środowiskiem, które umożliwia formułowanie algorytmów w celu wykonywania obliczeń na danych przestrzennych, analizy zmiennych i związków przestrzennych pomiędzy nimi, analiz wielowymiarowych, itd. W mojej pracy naukowej opieram się na funkcjach algebry mapy, analizach wielokryterialnych i statystyce przestrzennej w GIS. Koncepcja algebry mapy zakłada, że zbiory danych przestrzennych dotyczące określonego obszaru badań i problemu składają się z map (warstw) reprezentujących, każda, jeden czynnik np. nachylenie eksploatowanego pokładu czy miąższość złoża. Dane te stanowią zmienne przestrzenne, które są przekształcane przez funkcje i operacje. Działania te mogą być wykonywane na jednej lub wielu warstwach (danych tematycznych), a w ramach warstwy na całym jej obszarze lub określonym wybraną funkcją jego fragmencie. Statystyka przestrzenna oparta jest na podstawach teoretycznych klasycznej statystyki z uwzględnieniem lokalizacji analizowanych danych. Podstawy teoretyczne algebry mapy i statystyki przestrzennej opisali m.in.: Berry (1987), Jankowski (1995), Burrough i McDonell (1998), Fotheringham i in. (2002), Werner (2002), Anselin i in. (2004), De Mers (2005), Wong i Lee (2005), Tomlin (2008), Urbański (2008) Berry i Keck (2009), Berry i Metha (2009), Charlton i Fotheringham (2009), Longley i in. (2014) i Suhecka (2014). Z punktu widzenia badań wpływów górnictwa na otoczenie ważna jest także uniwersalność systemów geoinformacyjnych w łączeniu różnych typów danych przestrzennych, pochodzących z różnorodnych, pierwotnych i wtórnych, źródeł. Stąd także spotykane w literaturze określenie technologie informacji geograficznej (ang. *Geographic Information Technologies*, GIT) na łączne określenie metod pozyskiwania danych dla GIS i ich przetwarzanie w GIS.

Celem jednotematycznego cyklu publikacji pt. „**Analizy przestrzenne GIS w badaniach wpływu działalności górniczej na otoczenie**” było zbadanie i wykazanie przydatności opracowanych metod analiz przestrzennych GIS dla przestrzennego opisu i prognozowania deformacji powierzchni terenu w skomplikowanych warunkach geologiczno-górnictwa oraz dla różnych typów oddziaływania górnictwa, w tym uwzględniających ograniczone, w przestrzeni i w czasie, zbiory danych. Badania nad doskonaleniem opisu deformacji powierzchni terenów górniczych, w oparciu o wskazane wyżej założenia teoretyczne, przeprowadziłem na trzech różnych obiektach górniczych. Charakteryzują się one złożonymi i odmiennymi geologiczno-górnictwami warunkami podziemnej eksploatacji złóż różnych kopalin (węgiel kamienny, ewaporatów i rudy żelaza). Z kolei badania nad przestrzenną analizą innych wpływów górnictwa na otoczenie przeprowadziłem na przykładach złóż węgla brunatnego i złóż surowców skalnych.

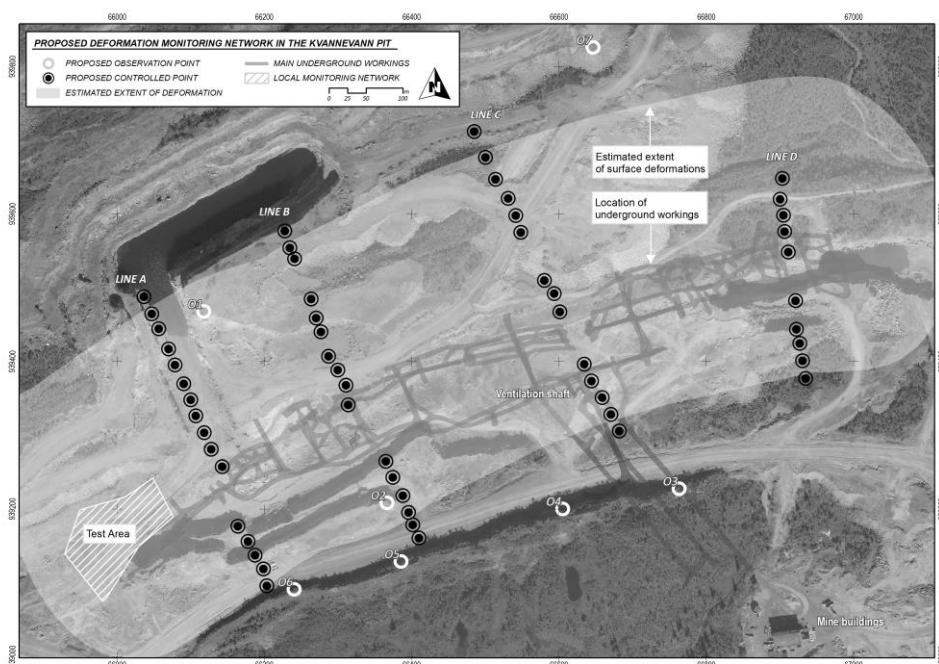
Realizacja poszczególnych etapów pracy naukowej obejmowała poznanie i wyjaśnienie wpływu działalności górniczej na powierzchnię dla różnych warunków eksploatacji kopalin, tj.: zmiany systemu eksploatacji, jednoczesnej eksploatacji wielu złóż kopalin, historycznych deformacji, deformacji wtórnych oraz analizy dostępności złóż do zagospodarowania i przestrzennego rozkładu eksploatacji wielu złóż. Kolejnym etapem pracy naukowej było opracowanie systemu geoinformacyjnego dla monitorowania postępu eksploatacji oraz systemu informacji o deformacjach górniczych dla wspomaganie badań deformacji powierzchni. Zasadniczym elementem badań było wyprowadzenie modeli obliczeniowych wpływu działalności górniczej na powierzchnię terenu oraz na otoczenie opartych na założeniach: algebry mapy, regresji wagowanej przestrzennie i hierarchicznej analizy problemu decyzyjnego. W pracy naukowej udowodniłem wszechstronność podejścia opartego na teorii reprezentacji cech za pomocą pól ciągłych (zmiennych przestrzennych w algebrze mapy) w badaniach deformacji powierzchni i innych wpływów górnictwa na otoczenie oraz ich skuteczność

w wierniejszym opisie zjawiska deformacji powierzchni terenów poddanych wpływom eksploatacji w skomplikowanych warunkach geologiczno-górnicznych.

Deformacje powierzchni terenu górniczego w warunkach zmiany systemu eksploatacji

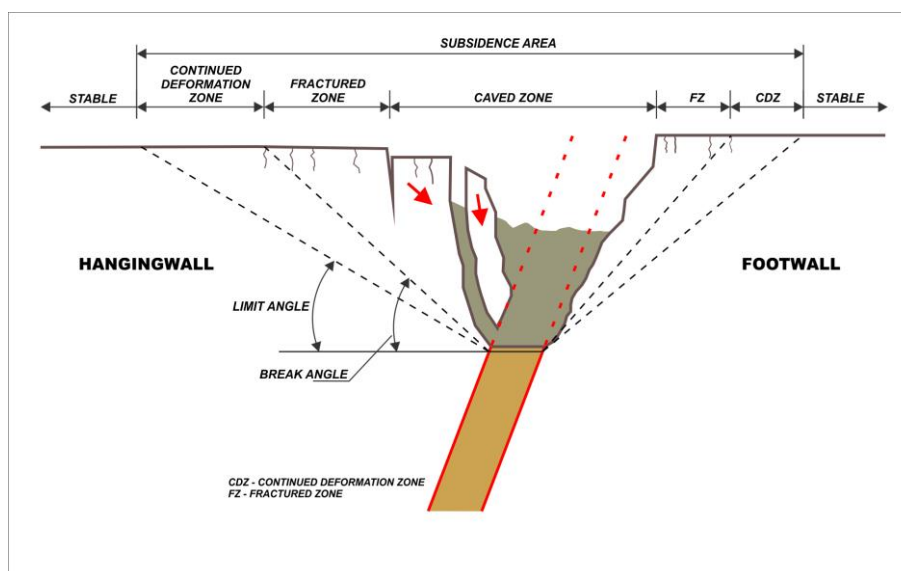
Eksploatacja systemami podbierkowymi (podpółkowymi, ang. *sub-level caving*) stosowanymi m.in. dla złóż rud metali o dużej rozciągłości i nachyleniu oraz niewielkiej miąższości (Hamrin, 1980), charakteryzuje się występowaniem trzech stref obniżen powierzchni: strefy zapadliska (ang. *caved zone*) - bezpośrednio nad wybieranym złożem, sąsiadującej z nią strefy spękań (ang. *fracture zone*) i strefy deformacji ciągłych (ang. *continuous deformation zone*). Materiał skalny nad wybieranym złożem przemieszcza się w kierunku pustki poeksploatacyjnej tworząc zapadlisko na powierzchni (Lupo, 1997; Smith, 2003). Proces przemieszczania się materiału skalnego musi odbywać się w sposób kontrolowany, aby zapewnić bezpieczeństwo pracy zakładu górniczego. Badania deformacji powierzchni terenu górniczego, dla tego systemu eksploatacji, przeprowadziłem w kopalni rudy żelaza *Kvannevann* w Norwegii, we współpracy z pracownikami naukowymi *Norwegian University of Science and Technology* oraz pracownikami zakładu górniczego eksploatującego złoża (*Rana Gruber AS*). Kopalnia *Kvannevann* stanowi unikalny obiekt badawczy ze względu na panujące tam warunki klimatyczne, warunki geologiczno-górniczne, sposób eksploatacji złoża oraz ograniczony dostęp do strefy deformacji nieciągłych. Opis kopalni zawierają publikacje ([P8]¹, [P9]). W związku ze zmianą systemu eksploatacji złoża z *sub-level stoping* na *sub-level caving* i koniecznością rozpoczęcia obserwacji deformacji powierzchni, opracowałem koncepcję systemu monitorowania i analiz deformacji powierzchni terenu górniczego zintegrowanych w GIS. Pilotażowy projekt systemu wykorzystano w kopalni do analiz stanu powierzchni i kompleksowej oceny bezpieczeństwa eksploatacji. Autorskie rozwiązanie oparte jest na cyklicznych pomiarach satelitarnych GNSS (ang. *Global Navigation Satellite System*) oraz tachimetrycznych (ang. *Total Station*) sieci punktów kontrolowanych rozmieszczonych w liniach pomiarowych zlokalizowanych prostopadle do eksploatowanego złoża (rys. 1). Obserwacje GNSS wykonywane są w celu kontroli stałości stanowisk obserwacyjnych *Total Station* w odniesieniu do punktów norweskiej krajowej sieci geodezyjnej. Pomiar *Total Station*, do cyklicznej rejestracji przemieszczeń punktów kontrolowanych rozmieszczonych na terenie kopalni i niedostępnych po ich stabilizacji ze względów bezpieczeństwa. Konstrukcja punktów kontrolowanych i ich stabilizacja zostały odpowiednio dostosowane do warunków terenowych i pomiarowych. Wyniki pomiarów geodezyjnych integrowane są w systemie geoinformacyjnym z wynikami numerycznych prognoz deformacji wykonywanych metodą elementów skończonych – MES (ang. *Finite Element Method, FEM*) w postaci tematycznych danych przestrzennych (warstw informacyjnych). System pełni rolę środowiska analiz rejestrowanych przemieszczeń, weryfikacji numerycznych modeli deformacji oraz wizualizacji wyników dla służb zakładu górniczego.

¹ Oznaczenie „P” z cyfrą w nawiasie kwadratowym w tekście, np. [P1] oznacza powołanie się na pracę wymienioną w cyklu publikacji powiązanych tematycznie.



Rys. 1. Konfiguracja sieci pomiarowej na tle prognozowanego zasięgu deformacji i infrastruktury kopalni ([P9])

Przeprowadzone przeze mnie obliczenia numeryczne metodą elementów skończonych oraz wykonane pomiary w geodezyjnej sieci kontrolno-pomiarowej, których wyniki opublikowałem w pracach ([P8], [P9]), wymienionych w cyklu publikacji powiązanych tematycznie, wykazały wzrastający zasięg deformacji na powierzchni wraz z postępem eksploatacji na kolejnych podpoziomach. Określone przeze mnie wartości kątów granicznych między strefami deformacji (ang. *break angle* i *limit angle*) (rys. 2) oraz na tej podstawie prognozowanego zasięgu deformacji w poszczególnych strefach, około 300 m dla strefy spękań, zostały wykorzystane do lokalizacji punktów geodezyjnej sieci kontrolnej. Wyniki prac stanowią bazowe wartości odniesienia dla analiz prowadzonych w przyszłości. Opracowana metodyka zintegrowanego systemu monitorowania i analiz deformacji w systemie geoinformacyjnym została pozytywnie zaopiniowana przez właściwy organ norweskiego nadzoru górniczego i wdrożona w zakładzie górniczym. Autorskie rozwiązanie monitorowania stanu powierzchni górotworu w aspekcie bezpieczeństwa prowadzonej działalności górniczej uwzględnia uwarunkowania wynikające z topografii terenu, warunków klimatycznych oraz złożonych warunków geologiczno-górniczych w tym zmian systemu eksploatacji. Badania realizowałem w trakcie staży naukowych w *Department of Geology and Mineral Resources Engineering* na *Norwegian University of Science and Technology* w Trondheim (Norwegia) w ramach dwóch grantów badawczych przyznanych mi z Funduszu Stypendialnego i Szkoleniowego Norweskiego Mechanizmu Finansowego. Doświadczenia z opracowania zintegrowanego systemu monitorowania i analiz deformacji wykorzystałem w pracach nad rozwojem systemu informacji o deformacjach górniczych oraz analiz deformacji powierzchni w warunkach eksploatacji kilku złóż opisanych w kolejnych pozycjach wchodzących w skład cyklu publikacji powiązanych tematycznie.



Rys. 2. Deformacje górotworu w systemie eksploatacji *sub-level caving*, strzałki pokazują kierunek przemieszczania się materiału skalnego ([P8])

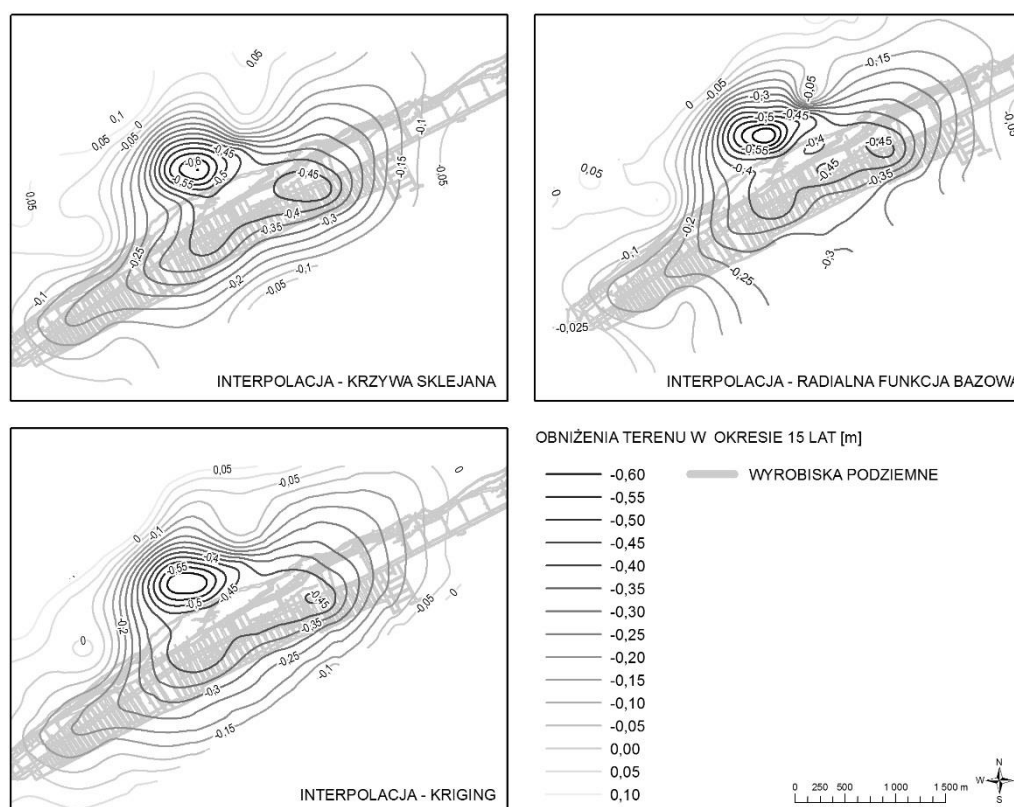
Deformacje powierzchni terenu górniczego w warunkach jednoczesnej eksploatacji wielu złóż kopalin

Badania nad doskonaleniem przestrzennego opisu deformacji powierzchni terenów górniczych z zastosowaniem GIS kontynuowałem na przykładzie terenów objętych wpływem jednoczesnej, podziemnej eksploatacji wielu złóż w złożonych warunkach geologiczno-górniczych. Rozwiązałem problem zwiększenia dokładności wyznaczenia przemieszczeń i podstawowych wskaźników deformacji powierzchni dla takich terenów w sytuacji nierównomiernie rozłożonej i zmiennej w czasie liczby punktów z rejestrowanymi wynikami geodezyjnych pomiarów przemieszczeń. Naukowe efekty tych badań to, oparta o reprezentację zmiennych przestrzennych w strukturze ciągłej (raster) oraz funkcje algebry mapy, metoda analiz deformacji powierzchni terenu poddanego wpływom eksploatacji kopalin prowadzonej w złożonych warunkach geologiczno-górniczych oraz dla zmiennej i nieregularnej liczby punktów pomiarowych. Metodyka analiz przestrzennych obejmowała: (i) wyznaczenie cząstkowych pól (reprezentowanych przez rastry) wartości przemieszczeń pionowych i poziomych (zmiennych przestrzennych) wraz z analizą dokładności ich wyznaczenia, (ii) obliczenie sumarycznych wartości przemieszczeń, (iii) obliczenie na ich podstawie wartości wskaźników: nachylenia (T), promienia krzywizny (R) oraz odkształceń poziomych (ϵ) dla dowolnie wskazanej lokalizacji obszaru analiz, (iv) analizę błędów wyznaczenia tych wartości oraz (v) określenie na ich podstawie właściwych kategorii terenu górniczego.

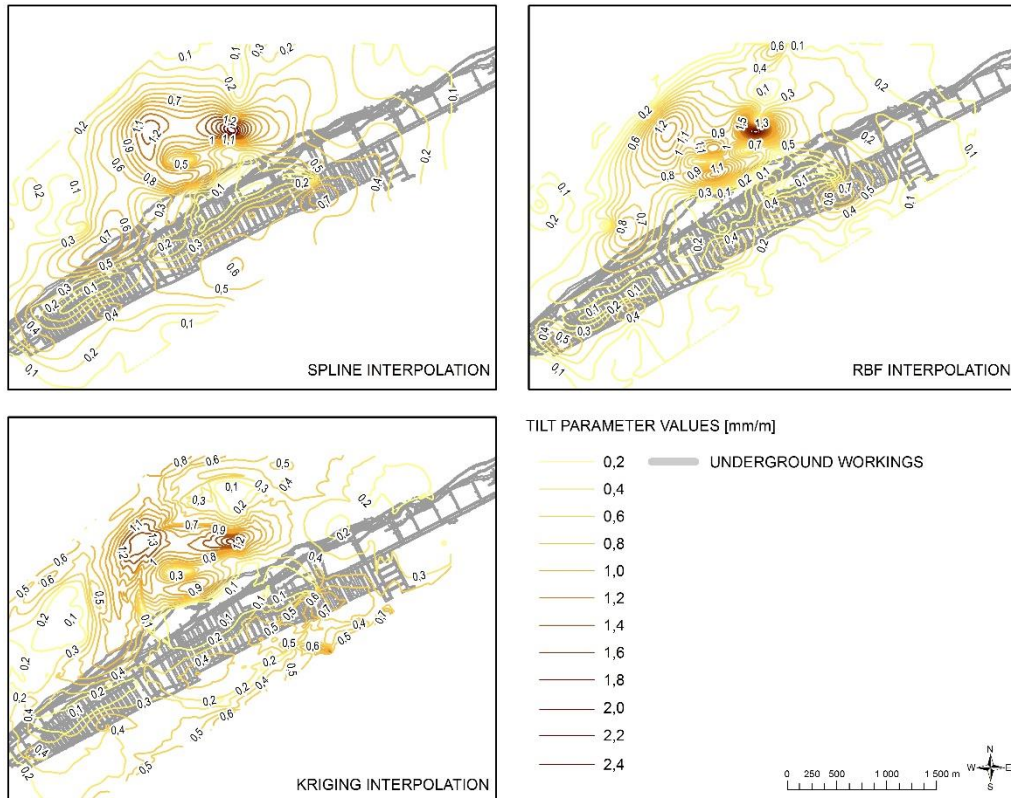
Badania przeprowadziłem na terenie objętym wpływami jednoczesnej podziemnej eksploatacji różnych ewaporatów oraz gazu łupkowego we wschodniej Kanadzie w trakcie stażu w *Canadian Centre for Geodetic Engineering* na *University of New Brunswick* we Fredericton (Kanada). Charakterystykę obiektu przedstawiłem w ([P6]). Dokonałem analizy dokładności deterministycznych i geostatystycznych metod interpolacji przestrzennej i wyznaczyłem cząstkowe pola przemieszczeń pionowych oraz poziomych dla 15-tu epok pomiarowych (1995-2010) trzema metodami interpolacji, statystycznie najlepiej opisującymi powierzchnię deformacji. Podstawy teoretyczne metod interpolacji omówiono m.in. w książkach: Shepard (1968), Sibson (1981), Franke (1982) oraz Olea (1999). Wyznaczyłem sumaryczne pola przemieszczeń pionowych i poziomych (zmiennie przestrzenne).

Zastosowałem opracowane algorytmy analiz powierzchni ciągłych z zastosowaniem funkcji sąsiedztwa w algebrze mapy i określiłem powierzchnie wartości wskaźników: nachylenia (T), promienia krzywizny (R) oraz odkształceń poziomych (ϵ) reprezentowanych jako pola ich wartości. W przypadku odkształceń poziomych dodatkowo uwzględniłem kierunek przemieszczeń poziomych ([P6]). Następnie określiłem kategorie terenu górniczego, dokonałem klasyfikacji terenu oraz, na tej podstawie, przeprowadziłem analizę i ocenę wpływu złożonej eksploatacji na obiekty mieszkalne na powierzchni. Przykładowe powierzchnie obniżeń otrzymane różnymi metodami interpolacji przedstawione metodą izolinii reprezentuje rys. 3, wartości wskaźnika nachylenia (T) rys. 4. Mapę kategorii terenu górniczego ze względu na wybrany wskaźnik (T) pokazano na rys. 5.

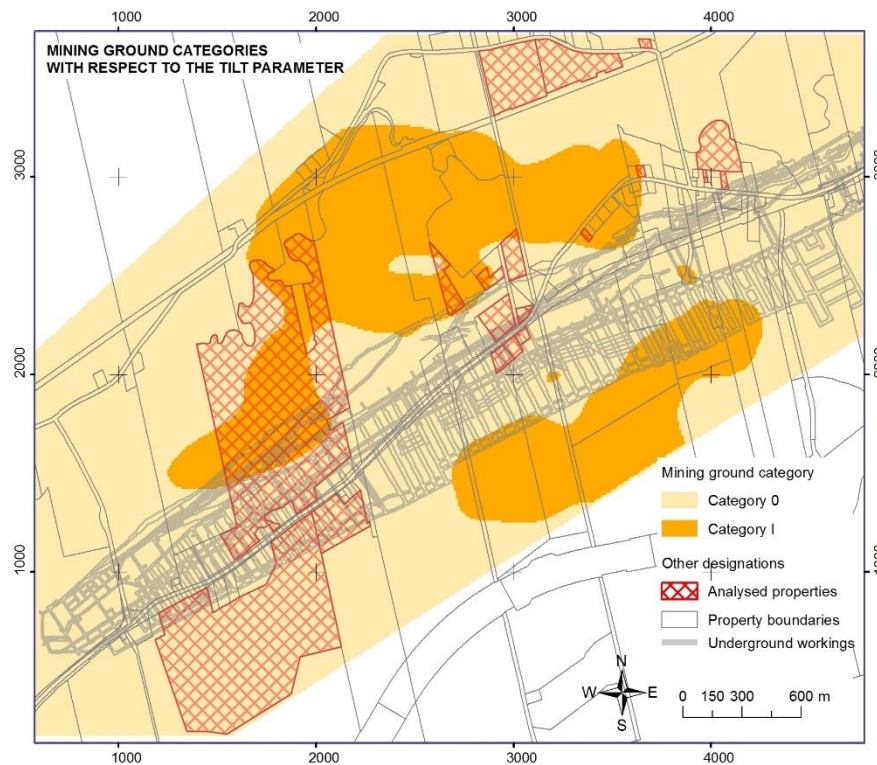
Wyznaczenie pól przemieszczeń na podstawie zsumowania powierzchni reprezentujących przemieszczenia cząstkowe dla kolejnych okresów pozwoliło mi na rozwiązanie problemu niewielkiej ilości punktów wspólnych (46) pomiędzy brzegowymi epokami pomiarowymi oraz uzyskać powierzchnie wartości podstawowych wskaźników deformacji dla okresu 15 lat działalności górniczej, w tym przeanalizować dynamikę zmian w czasie. Obliczone maksymalne wartości wskaźników deformacji dla powierzchni przemieszczeń uzyskanych różnymi metodami interpolacji zawiera tabela 1. Maksymalna wartość wskaźnika nachylenia zawierała się w przedziale od 1,5 mm/m do 2,5 mm/m dla radialnej funkcji bazowej charakteryzującej się ostrzejszym przebiegiem w pobliżu punktów pomiarowych niż pozostałe dwie metody. Wartość odkształcenia poziomego w zakresie od 0,7 mm/m do 1,0 mm/m. Zaś maksymalna wartość wskaźnika promienia krzywizny od 23,4 km do 38,6 km w zależności od metody.



Rys. 3. Izolinie pola obniżeń powierzchni terenu w okresie 15 lat eksploatacji otrzymane trzema metodami interpolacji: krzywej sklejanej, radialnej funkcji bazowej oraz krigingu zwykłego



Rys. 4. Izolinie wartości wskaźnika nachylenia w okresie 15 lat eksploatacji ewaporatów otrzymane dla trzech metod interpolacji: krzywej sklepanej, radialnej funkcji bazowej oraz krzygu zwykłego ([P6])



Rys. 5. Mapa kategorii terenu górniczego ze względu na wskaźnik (T) ([P6])

Tab. 1. Maksymalne wartości wskaźników deformacji ([P6])

Wskaźnik	Krzywa sklejana	Radialna funkcja bazowa	Kriging
Nachylenie [mm/m]	1,8	2,5	1,5
Promień krzywizny (R) *) [km]	-30,6	23,4	-38,6
Odkształcenie poziome [mm/m]	0,7	1,0	0,8
*)Znak „-” oznacza krzywiznę powierzchni wklęsłej			

Stwierdziłem brak wpływu prowadzonego wydobycia na stan obiektów budowlanych na powierzchni. Otrzymane wartości wskaźników deformacji wskazywały na 0 i 1 kategorię terenu górniczego, podczas gdy konstrukcja budynków określona w wyniku inwentaryzacji terenowej odpowiadała 2 kategorii zgodnie z przyjętą klasyfikacją polską odporności obiektów budowlanych na terenach górniczych ([P6]). Praktyczne rezultaty moich badań to zweryfikowanie metody na rzeczywistym obiekcie górniczym oraz udowodnienie, na podstawie przeprowadzonych obliczeń, braku wpływu podziemnej eksploatacji ewaporatów na stan obiektów budowlanych na powierzchni. W tym również brak oddziaływania wydobywania gazu łupkowego na przemieszczenia powierzchni w analizowanym okresie. Opracowany model analiz przestrzennych w GIS umożliwia wyznaczenie pól wartości podstawowych wskaźników deformacji dla dowolnego punktu w rozpatrywanym obszarze oraz analizę dokładności wyznaczania pól przemieszczeń. Pozwala również na badania wpływu eksploatacji podziemnej na powierzchnię terenu i obiekty na niej posadowione dla różnych kopalni i warunków eksploatacji oraz dla różnych metod pozyskiwania danych (pomiarów geodezyjnych i obserwacji satelitarne).

System informacji o deformacjach górniczych

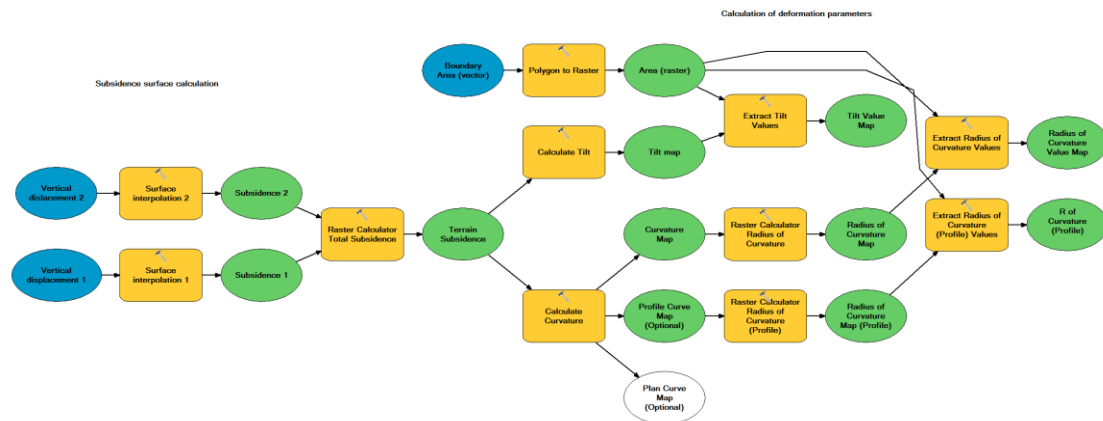
Na podstawie wykonanej analizy literaturowej dotyczącej badań wpływu eksploatacji złóż na otoczenie, prowadzonych w krajowych i zagranicznych ośrodkach naukowych, stwierdziłem, że badania deformacji powierzchni terenów górniczych z wykorzystaniem GIS dotyczą jedynie wybranych aspektów zarządzania informacją przestrzenną oraz modelowania danych przestrzennych. Na bazie tych studiów i własnych doświadczeń w badaniach terenów górniczych z wykorzystaniem analiz przestrzennych opracowałem architekturę uniwersalnego systemu informacji o górniczych deformacjach powierzchni terenu (System Informacji o Deformacjach) w środowisku systemów informacji geograficznej ([P5]). Następnie opracowałem autorski system na potrzeby wspomagania badań zmian powierzchni terenu występujących w okresie funkcjonowania Wałbrzyskich Kopalń Węgla Kamiennego (WKWK) oraz po ich likwidacji. Struktura systemu jest modułowa i obejmuje komponenty zawierające algorytmy opracowane w celu wspomagania badań deformacji na terenach czynnej i dokonanej działalności górniczej. Podstawowe komponenty systemu to: (1) geograficzna baza danych, (2) moduł wyszukiwania i ekstrakcji danych, (3) moduł analiz danych przestrzennych, (4) moduł modelowania danych geologicznych, (5) moduł klasyfikacji danych, (6) moduł wizualizacji danych oraz (7) moduł kodowania danych przestrzennych.

Rdzeń struktury systemu stanowi baza danych przestrzennych, którą rozwijałem od czasu podjęcia prac nad górniczym systemem geoinformacyjnym (Blachowski, 2008). Jest ona repozytorium danych przestrzennych dotyczących badanej działalności górniczej i jej wpływu na stan powierzchni i obiektów na powierzchni. Podstawowe schematy aplikacyjne obejmują wektorowe i rastrowe struktury danych

przestrzennych wykorzystywane do przechowywania danych źródłowych (np. wykazy reperów i wykazy wysokości oraz przemieszczeń pionowych reperów w liniach niwelacyjnych, wyniki innych geodezyjnych pomiarów terenowych, dane pochodzące z obserwacji satelitarnych, dokumentacje geologiczno-górniczne zakładów górniczych, archiwalne mapy wyrobisk górniczych, poziomów wydobywczych oraz infrastruktury górniczej na powierzchni i pod ziemią oraz innych materiałów). Baza danych zawiera skatalogowane tematyczne klasy obiektów przestrzennych opracowane w wyniku cyfrowego kodowania ww. materiałów z przestrzenną lokalizacją pokładów, parcel i wyrobisk oraz powiązaną informacją atrybutową (m.in system i okres eksploatacji, miąższość pokładów), dane przestrzenne o lokalizacji szybów, filarów ochronnych, warstw geologicznych, uskoków tektonicznych, numeryczne modele terenu i inne, np. dane o dawnym i aktualnym zagospodarowaniu powierzchni terenu. Ponadto służy ona do zarządzania zbiorami danych pochodnych z wynikami analiz i obliczeń. Pełną charakterystykę bazy danych przedstawiłem w pozycjach Blachowski (2008) oraz Blachowski i Stefaniak (2012). Jest ona, moim zdaniem, najpełniejszą i najobszerniejszą bazą wiedzy o dokonanej eksploatacji węgla kamiennego w Wałbrzychu.

Poszczególne moduły systemu zawierają opracowane, przeze mnie, na potrzeby badań deformacji algorytmy i funkcje analityczne. Moduł wyszukiwania i ekstrakcji danych (2) obejmuje narzędzia obliczające dla zadanego obszaru parametry takie jak: powierzchnia i miąższość eksploatowanych pokładów, stosowane systemy wybierania złoża, okres eksploatacji, średnią wartość osiadania powierzchni terenu określoną według teorii Knothe'go. Kolejne funkcje służą do określania innych czynników deformacji powierzchni m.in.: nachylenia pokładu lub parceli, głębokości pod powierzchnią terenu oraz ekspozycji. Przyjęty przeze mnie schemat aplikacyjny danych oparty jest na strukturze rastra, a wyniki analiz zwracane są jako pola reprezentowane przez komórki rastra o zadanej rozdzielczości. Wartość piksela reprezentuje wartość analizowanego parametru w danej lokalizacji. Na przykład, raster głębokości pokładu pod powierzchnią terenu obliczany jest poprzez wygenerowanie numerycznego modelu zadanego pokładu na podstawie danych pobranych z bazy danych systemu i obliczenie różnicy ze wskazanym numerycznym modelem terenu.

Moduł analiz danych przestrzennych (3) obejmuje funkcje wyznaczania pól przemieszczeń pionowych i poziomych powierzchni terenu na podstawie rezultatów pomiarów geodezyjnych oraz algorytmy obliczania pól wartości podstawowych wskaźników deformacji powierzchni terenu objętego eksploatacją górnictwem, tj. nachylenia, krzywizny (przykładowy schemat algorytmu pokazano na rys. 6) i odkształcenia poziomego. Pola wartości przemieszczeń obliczane są dla wartości parametrów przyjętych funkcji interpolacyjnych, które generują najmniejsze błędy estymacji określone na podstawie walidacji krzyżowej. Algorytmy wyznaczania wskaźników deformacji, jako wejściowe zmienne przestrzenne, wykorzystują powierzchnie reprezentujące pola przemieszczeń. W obliczeniach wartości nachylenia dla komórki (piksela) wyznaczonej uwzględniane są wartości komórek z wybranego zasięgu (jej sąsiedztwa).

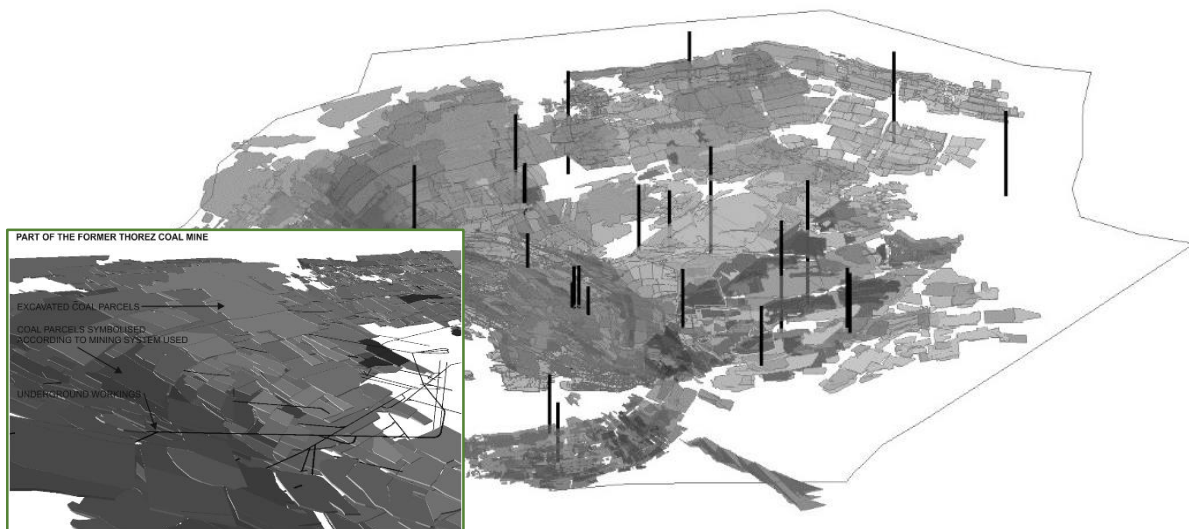


Rys. 6. Ogólny schemat procedury obliczeniowej pól wartości wskaźników nachylenia i krzywizny ([P5])

Moduł modelowania danych (4) bazuje na geostatystycznych funkcjach interpolacyjnych do generowania przestrzennych (3D) modeli geologicznych przy założeniu połączenia trzech rodzajów danych: o formacjach geologicznych, powierzchniach granicznych oraz powierzchniach uskoku tektonicznych. Założenia i opracowanie na przykładzie WKWK modele przestrzenne przedstawione zostały w Blachowski i Milczarek (2011) oraz w ([P5]) wchodzącej w skład cyklu publikacji powiązanych tematycznie.

Moduł klasyfikacji danych przestrzennych (5) zawiera narzędzia do klasyfikacji i mapowania obszarów odpowiadających kategoriom terenów górniczych według przyjętej w Polsce klasyfikacji ze względu na jeden lub więcej wskaźników deformacji.

Moduł wizualizacji (6) zawiera m.in. schematy przestrzenne, dwuwymiarowe i trójwymiarowe, wizualizacji kopalń i pokładów sklasyfikowanych według przechowywanych w bazie danych systemu atrybutów, np. systemu eksploatacji (rys. 7).



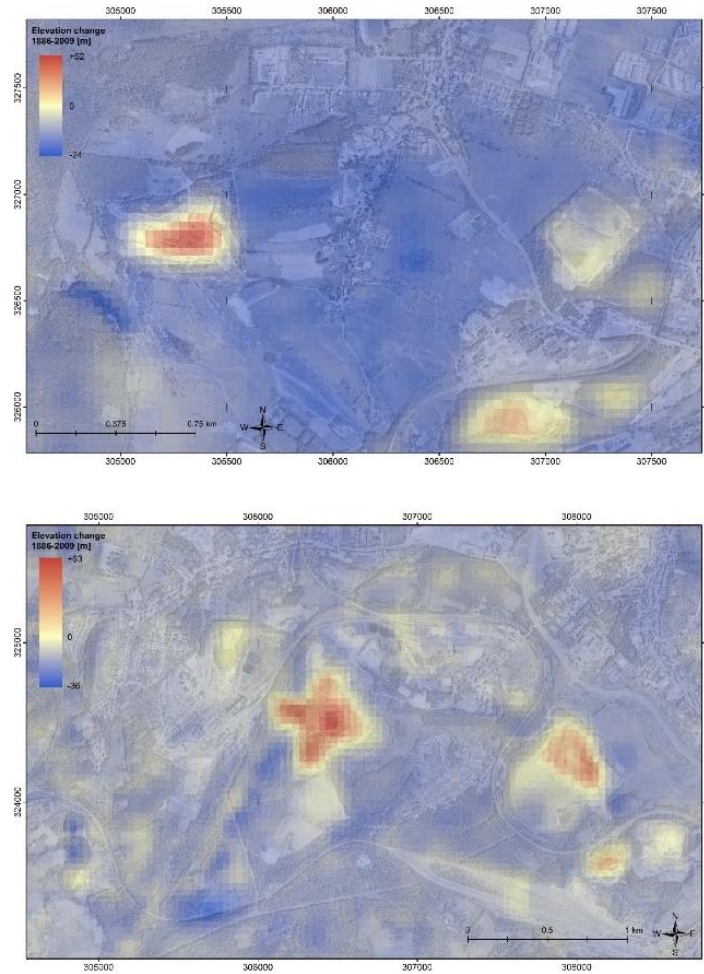
Rys. 7. Przestrzenna wizualizacja fragmentu bazy danych GIS infrastruktury podziemnej dawnych WKWK (widoczne eksploatowane pokłady, szyby górnicze, granice dawnych terenów górniczych) ([P5])

System informacji o deformacjach rozwijam o nowe procedury. Bazę danych i funkcje systemu wykorzystałem w badaniach przemieszczeń powierzchni terenów górniczych w Wałbrzychu w okresie eksploatacji i po jej zakończeniu. Wyniki badań opublikowałem w artykułach z cyklu prac powiązanych tematycznie ([P1], [P3], [P4]) oraz innych np. w Milczarek i in. (2017). Architektura systemu jest skalowalna a jego funkcje są możliwe do stosowania dla innych podziemnych obiektów górniczych.

Historyczne deformacje powierzchni terenu górniczego

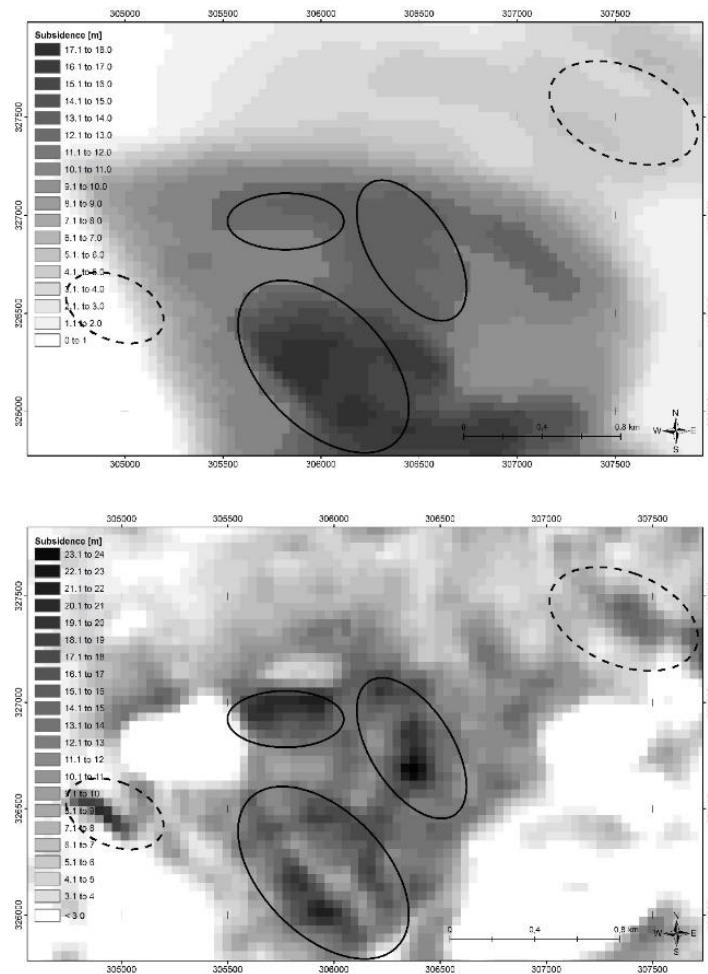
Kontynuując badania wpływu działalności górniczej na otoczenie w GIS rozwiązałem problem wyznaczenia historycznych deformacji powierzchni terenu w warunkach ograniczonej dostępności danych przestrzennych ([P4]). Opierając się na danych zgromadzonych w bazie danych systemu informacji o deformacjach górniczych ([P5]) określiłem wpływ wieloletniej, dokonanej, podziemnej eksploatacji węgla kamiennego na stan powierzchni wybranych fragmentów terenów górniczych w Wałbrzychu oraz przeprowadziłem analizę porównawczą wyników otrzymanych z zastosowaniem opracowanej, w GIS, metodyki z wynikami obliczeń opartych na teorii prognozowania wpływów eksploatacji prof. Knothe'go (Kowalski i Jędrzejec, 2000). Okres badań dotyczył 123 lat (1886-2009). Opracowana przeze mnie metodyka obejmowała: (i) opracowanie numerycznych modeli terenu (NMT) na podstawie źródłowych materiałów topograficznych (archiwalne niemieckie mapy topograficzne - *Meßtischblätter*), (ii) analizę dokładności wyznaczenia NMT i różnicy NMT, (iii) analizę porównawczą pól przemieszczeń pionowych, (iv) interpretację zmian powierzchni fragmentu dawnych terenów górniczych w Wałbrzychu.

NMT powierzchni terenu opracowałem na podstawie treści map topograficznych z 1886 (najstarszej dostępnej) w wyniku jej wektoryzacji i interpolacji danych wysokościowych oraz NMT w postaci nieregularnej siatki trójkątów (ang. *Triangulated Irregular Network, TIN*) z 2009 roku. Cięcie warstwiczne materiałów z 1886 roku to 5,0 m, a w wybranych obszarach 2,5 m. Do wygenerowania NMT powierzchni historycznej zastosowałem zmodyfikowaną funkcję interpolacyjną opracowaną przez Hutchinson i Dowling (1991). Różnicę wysokości NMT z dwóch epok (1886 i 2009) obliczyłem stosując operatory algebry mapy. Przeprowadzona analiza dokładności wykazała błąd wyznaczenia zmian wysokości na poziomie $\pm 2,9$ m. Dokładność horyzontalną będącą pochodną dokładności materiałów wejściowych, błędów wektoryzacji i charakterystyki funkcji interpolacyjnej określiłem na podstawie porównania zbioru wspólnych lokalizacji o znanych współrzędnych. Jest ona mniejsza niż przyjęta rozdzielczość NMT i wynikowego pola przemieszczeń (piksel rastra o rozmiarze 40 m). Maksymalne wartości obniżeń obliczone dla analizowanych dwóch części dawnych terenów górniczych WKWK (A i B) wynoszą -0,2 m i -0,3 m rocznie. Maksymalne przyrosty wysokości określiłem na +52 m i +63 m (± 3 m). Obszary dodatnich zmian wysokości korespondują z antropogenicznymi formami rzeźby terenu (hałdy), które powstały w tym czasie. Wyznaczone powierzchnie deformacji przedstawia rys. 8.



Rys. 8. Zmiany wysokości w okresie 1886 – 2009, u góry obszar A, na dole obszar B ([P4])

Zaobserwowane dodatnie zmiany wysokości terenu nie oznaczają, że nie podlegał on jednocześnie obniżeniom spowodowanym prowadzoną eksploatacją górniczą. Zagadnienie to analizowałem w dalszych etapach badań ([P1]). Pola obniżeń powierzchni (bez obszarów dodatnich zmian wysokości) skorelowałem z wynikami prognozy opracowanej przez zespół profesora Kowalskiego na podstawie zmodyfikowanej teorii Knothe'go (Kowalski i Jędrzejec, 2000). Uzyskałem korelację na poziomie 0,90 pomiędzy zmiennymi przestrzennymi – rastrami reprezentującymi obliczone i prognozowane obniżenia. Stwierdziłem, że rozkład wartości obniżeń obu analizowanych pól przemieszczeń nie wszędzie jest zbieżny. Maksymalna wartość różnic współwystępujących przestrzennie komórek rastrów wynosi ± 12 m, a wartość średnia $-0,6$ m. Wykazałem tym samym zróżnicowanie powierzchni obniżeń terenu, które dla warunków eksploatacji występujących w kopalniach w Wałbrzychu, nie są tak jednorodne jak te prognozowane z użyciem tradycyjnie stosowanych metod. Rys. 9 przedstawia przykładowe mapy obniżeń obliczonych z zastosowaniem funkcji algebry mapy i obliczone metodą tradycyjną. Wartości obniżeń otrzymane przez mnie wynoszą do -24 m podczas gdy z obliczeń opartych na teoriach empirycznych do -18 m.



Rys. 9. Pole wartości obniżeń powierzchni terenu obliczone zgodnie z teorią Knothe'go (na podst. Kowalski i Jędrzejec, 2000) (u góry) oraz pole wartości obniżeń powierzchni terenu otrzymane w wyniku analizy NMT (na dole) ([P4])

W rezultacie otrzymałem pola reprezentujące historyczne zmiany wysokości w okresie 123 lat działalności górniczej i po jej zakończeniu dla obszaru miasta Wałbrzycha. Dowiodłem, że osiadania powierzchni terenu poddanego wpływom podziemnej eksploatacji kopalni w trudnych warunkach geologiczno-górniczych (liczne, stromo zalegające pokłady o zmiennym nachyleniu i miąższości) są zróżnicowane i trudne do określenia z zastosowaniem metod opartych o założenia empiryczne. Opracowana przeze mnie metodyka obliczeń przemieszczeń w oparciu o funkcje algebry mapy może służyć do ich weryfikacji. Pozwala, w większości przypadków, uzyskać bardziej precyzyjny przestrzenny obraz deformacji powierzchni. W szczególności, jak pokazuje przykład kopalni w Wałbrzychu, dotyczy to długoletniej eksploatacji prowadzonej na dużym obszarze oraz ograniczonych, przestrzennie i czasowo, źródeł danych o zmianach wysokości. Na dokładność wyników wpływa jakość i stan materiałów źródłowych. Wyniki prac oprócz wartości naukowej są także źródłem informacji dla administracji realizującej zadania z zakresu obserwacji stanu dawnych terenów górniczych, ich rewitalizacji i ponownego zagospodarowania.

Deformacje powierzchni terenu górniczego w skomplikowanych warunkach geologiczno-tektonicznych eksploatacji

W kolejnym etapie pracy naukowej dokonałem analizy wpływów działalności górniczej na otoczenie z zastosowaniem statystyki przestrzennej w GIS. Zbadałem przydatność metod regresji przestrzennej w analizie wpływu czynników deformacji na przemieszczenia powierzchni terenu. Zastosowałem funkcje regresji wagowanej przestrzennie (ang. *Geographically Weighted Regression, GWR*) do statystycznego określenia wpływu czynników deformacji powierzchni terenów objętych eksploatacją górniczą na wielkość obserwowanych obniżień powierzchni. W kolejnym kroku do prognozy przemieszczeń powierzchni na obszarach, które nie były objęte obserwacjami geodezyjnymi, dla których wyznaczenie przemieszczeń w tradycyjny sposób nie było możliwe. Przykładem takich obszarów są powstałe na powierzchni, w trakcie działalności górniczej, hałdy i inne antropogeniczne formy terenu, które zidentyfikowałem we wcześniejszych badaniach ([P4]).

Regresja wagowana przestrzennie to metoda regresji przestrzennej, w której poprzez dopasowanie równań regresji do każdego obiektu o znanej lokalizacji w zbiorze danych przestrzennych, opracowywane są lokalne modele zjawiska. Model obliczeniowy uwzględnia przestrzenną zmienność związków pomiędzy analizowanymi czynnikami. Jeśli ogólne równanie regresji przedstawione jest jako (1):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_m x_{mi} + \varepsilon_i \quad (1)$$

gdzie:

y_i – zmienna zależna w miejscu i ,

x_i – zmienne niezależne,

β_i – współczynniki modelu,

ε_i – błąd,

$i = 1$ do m .

Postać tej zależności dla regresji wagowanej przestrzennie to (2):

$$y_i(u) = \beta_{0i}(u) + \beta_{1i}(u)x_{1i} + \beta_{2i}(u)x_{2i} + \dots + \beta_{mi}(u)x_{mi} \quad (2)$$

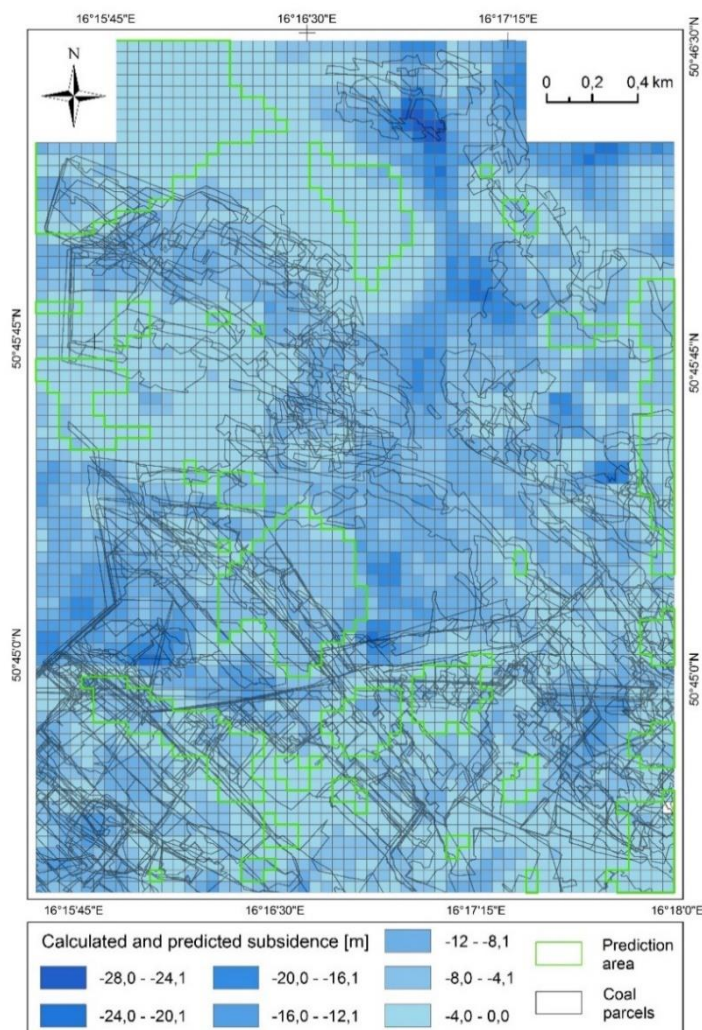
gdzie:

$\beta_{0i}(u)$ wyrażenie, które określa, że współczynnik opisuje związek w położeniu u i jest specyficzny dla tej lokalizacji. Na podstawie dostępnych pomiarów zmiennych niezależnych x_i dla położeniu u określana jest wartość zmiennej zależnej y w tym położeniu.

Podstawy teoretyczne regresji wagowanej przestrzennie przedstawione zostały w pracach: Brundson i in. (1996), Fotheringham i in. (2002) oraz Charlton i Fotheringham (2009). Przeprowadzony przeze mnie przegląd literatury przedmiotu wykazał, że metod tych nie stosowano do tej pory w badaniach wpływów działalności górniczej na otoczenie ([P1]).

Przeanalizowałem siedem potencjalnych czynników górniczych deformacji powierzchni - zmiennych niezależnych w modelu, tj.: miąższość pokładów, głębokość pokładów pod powierzchnią terenu, nachylenie pokładów, nachylenie terenu, NMT, odległość od parcel i system eksploatacji. Zidentyfikowałem cztery pierwsze, jako statystycznie istotne i najlepiej wyjaśniające przemieszczenia pionowe – zmienną zależną w modelu. Dane reprezentujące zmienne niezależne modelu opracowałem

z zastosowaniem funkcji systemu informacji o deformacjach oraz bazy danych systemu ([P5]). Zbiorem danych testowych i zmienną zależną w modelu był obszar obniżenia (75,8% powierzchni) obliczony na podstawie porównania numerycznych modeli terenu z lat 1886 i 2009 ([P4]). W rezultacie określiłem obniżenia powierzchni obszarów poddanych wpływom podziemnej eksploatacji węgla kamiennego, na których powstały antropogeniczne formy terenu. W obszarze objętym analizą stanowiły one blisko ¼ powierzchni (24.2%). Tereny te nie były objęte obserwacjami geodezyjnymi i wyznaczenie obniżenia spowodowanych działalnością górniczą w tradycyjny sposób nie było możliwe. Najlepszy model regresji wagowanej przestrzennie charakteryzował się wartością współczynnika dopasowania modelu R^2 równą 0,69. Jest to wartość dobra i wynikająca z przyjętych w obliczeniach uproszczeń związanych z wielopokładowością złóż węgla kamiennego w Wałbrzychu oraz złożonymi warunkami geologiczno-górnictwami. Uproszczenia te polegały na zsumowaniu miąższości pokładów oraz przyjęciu średniego nachylenia i średniej głębokości pod powierzchnią terenu pokładów złóż węgla. Obliczone przeze mnie wartości obniżenia w obszarach nieobjętych pomiarami wynoszą od -0,6 m do -14,80 m. Na tej podstawie opracowałem hybrydową mapę obniżenia dla całego analizowanego obszaru. Przedstawia ona obszary obniżenia określonych na podstawie różnic powierzchni numerycznych modeli terenu oraz obniżenia w granicach hałd i innych antropogenicznych form terenu obliczonych z zastosowaniem skonstruowanego modelu regresji przestrzennej (rys. 10).

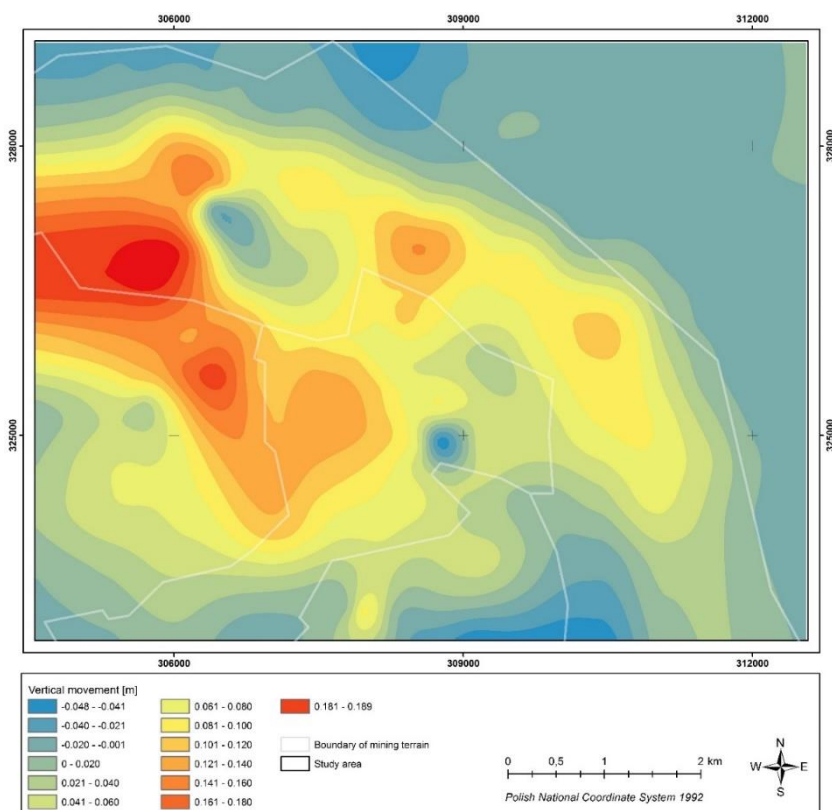


Rys. 10. Mapa hybrydowa obniżenia obserwowanych i prognozowanych w obszarach nieobjętych obserwacjami geodezyjnymi ([P1])

Prace badawcze realizowałem w ramach kierowanego przeze mnie grantu Narodowego Centrum Nauki pt. „*Opracowanie metody numerycznego modelowania deformacji terenu górniczego w złożonych geologiczno-górnich warunkach eksploatacji*”. Przeprowadzone przeze mnie badania przyczyniły się do rozwinięcia metod obliczeń i prognozowania przemieszczeń powierzchni pod wpływem działalności górniczej, które oparte są na teorii pól ciągłych reprezentacji powierzchni, algebry mapy oraz statystyk przestrzennych w GIS. Metody te są przydatne w złożonych i skomplikowanych warunkach geologiczno-górnich, niezależnie od rodzaju złoża i eksploatacji kopalni, w szczególności w sytuacji ograniczonej dostępności danych pomiarowych. Analizy w tym zakresie kontynuuję uwzględniając dodatkowe zmienne niezależne na przykładzie obiektów czynnej i dokonanej działalności górniczej.

Deformacje wtórne powierzchni terenu górniczego

Dalszy etap mojej pracy naukowej polegał na zbadaniu wpływu podziemnej działalności górniczej w Wałbrzychu w końcowych etapach eksploatacji węgla kamiennego i po jej zakończeniu. Dokonałem analizy danych z trzech epok pomiarów niwelacyjnych (1972, 1993, 2014) z zastosowaniem różnych funkcji interpolacyjnych i własnych procedur obliczeń na danych przestrzennych (algebra mapy). Określiłem przestrzenny charakter przemieszczeń pionowych na terenach górniczych w ostatnich dwóch dekadach eksploatacji (1972-1993) oraz w schyłkowym okresie tej działalności i po jej zakończeniu (1993-2014). Wyniki badań z zastosowaniem autorskiej metodyki analiz przestrzennych w GIS adresującej problem ograniczonego przestrzennie i czasowo zbioru danych pomiarowych oraz uwzględniający charakterystykę obszaru badań przedstawiłem w ([P3]). Szczególnie interesujące wyniki uzyskałem dla drugiego z analizowanych okresów. Wskazują one na zróżnicowany charakter przemieszczeń pionowych i występowanie obniżenia jak i podnoszenia się powierzchni terenu. Obszary o największych wartościach podnoszenia się powierzchni są zbieżne przestrzennie z obszarami największych obniżenia w pierwszym okresie (1972-1993). Otrzymane zmiany wysokości zawierają się w przedziale od $-0,002$ m/rok do $+0,009$ m/rok (Rys. 11). Wielkości tych ruchów są o rząd do dwóch rzędów wielkości mniejsze niż dla okresu eksploatacji. Różnica pomiędzy maksymalnymi wartościami obniżenia i podnoszenia wynosi $0,237$ m. Występowanie i zróżnicowany charakter tych ruchów wskazują na niezakończony proces stabilizacji górotworu w okresie poeksploatacyjnym oraz opóźnioną reakcję górotworu na powrót zwierciadła wód podziemnych do stanu pierwotnego po zakończeniu drenażu górniczego. Zwierciadło wód podziemnych w dawnych kopalniach w Wałbrzychu osiągnęło stabilizację około roku 2000 (Fiszer, 2003). Badania tego zjawiska kontynuuję obecnie z zastosowaniem satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR) (Milczarek i in., 2017) i regresji przestrzennej. Wykorzystanie danych satelitarnych i technik InSAR pozwala na analizę zmian powierzchni w krótszych odstępach czasu i wierniejsze określenie dynamiki deformacji wtórnych powierzchni.



Rys. 11. Przemieszczenia powierzchni w granicach dawnych terenów górniczych fragmentu WKWK w okresie 1993-2014 ([P3])

Oddziaływania eksploatacji odkrywkowej

Równocześnie, zainteresowania naukowe koncentrują na badaniach innych przestrzennych wpływów eksploatacji kopalin na otoczenie z wykorzystaniem statystyki przestrzennej i analiz wielokryterialnych w GIS. Ten etap pracy naukowej opisany w ([P7]) dotyczył analizy przestrzennego rozkładu wydobycia surowców skalnych, identyfikacji obszarów koncentracji oraz zmian wydobycia w czasie i w przestrzeni, w tym analizy wpływu górnictwa skalnego na otoczenie na przykładzie województwa dolnośląskiego. Dolny Śląsk jest najbardziej zasobnym w kruszywa regionem w Polsce i jednocześnie ich największym producentem. Intensywne górnictwo skalne wiąże się z negatywnymi wpływami na środowisko przyrodnicze i jakość życia. Do rozwiązania problemu badawczego zastosowałem funkcję gęstości kernela, która jest nieparametrycznym jądrowym estymatorem gęstości o postaci zaproponowanej przez Epanechnikov'a (1969) (3):

$$f_{\lambda}(x) = \frac{1}{n\lambda} \sum K_0\left(\frac{x-x_i}{\lambda}\right) \quad (3)$$

gdzie:

K_0 – to funkcja kernela,

λ – to parametr wygładzający, który określa zasięg sąsiedztwa oraz stopień wygładzania,

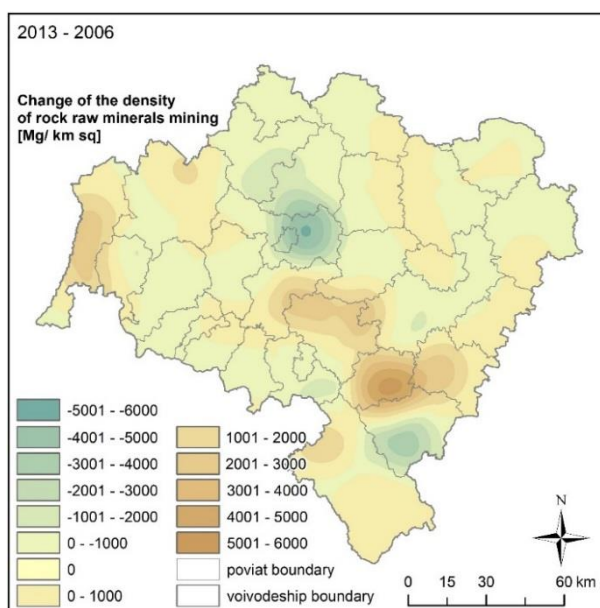
x – to analizowana zmienna,

n – to wielkość próby.

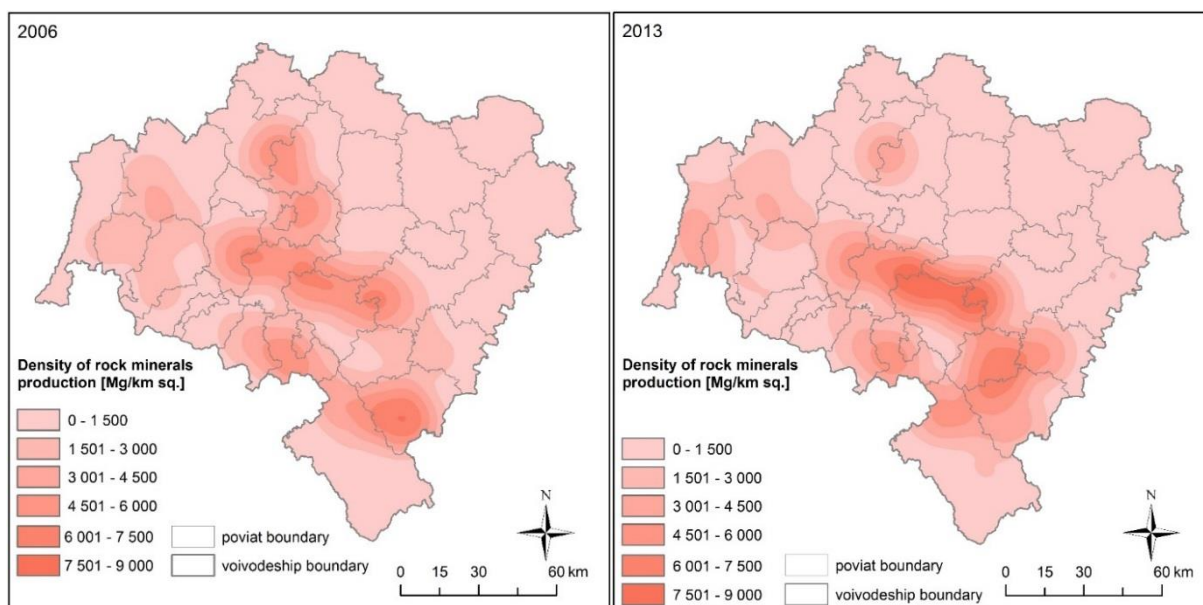
Kwadratowa funkcja kernela ma postać (4):

$$K_o(t) = \begin{cases} 0.75(1-t^2) & \text{dla } |t| \leq 1 \\ 0 & \text{pozostałe przypadki} \end{cases} \quad (4)$$

W rezultacie zastosowania przedstawionej funkcji w GIS otrzymałem powierzchnie reprezentujące wielkość rozpatrywanego zjawiska na jednostkę powierzchni (zmiennie przestrzenne). Modelowana powierzchnia dopasowywana jest do punktów reprezentujących wartości zmiennej (parametry to: lokalizacja (x, y), wartość zmiennej w danych położeniu, promień przeszukiwania, jednostka powierzchni). Przestrzenne zmiany rozkładu koncentracji wydobycia surowców skalnych w rozpatrywanym okresie (rys. 12) określiłem na podstawie map otrzymanych w wyniku obliczeń z zastosowaniem operacji algebry mapy (rys. 13).



Rys. 12. Mapy zmian gęstości wydobycia surowców skalnych w województwie dolnośląskim w okresie 2006-2013



Rys. 13. Mapy gęstości wydobycia surowców skalnych w 2006 (po lewej) i 2013 (po prawej)

W okresie od roku 2006 do roku 2013, tj. największego wzrostu wydobycia stwierdziłem przesunięcie obszarów koncentracji tego zjawiska w kierunku północno-wschodnim oraz intensyfikację wydobycia w tradycyjnych obszarach górnictwa surowców skalnych skupiających grupy zakładów górniczych. Ponadto zaobserwowałem uruchamianie i wzrost znaczenia wydobycia z pojedynczych dużych kamieniołomów. Określiłem także zmiany w przestrzennej gęstości wydobycia pomiędzy pierwszym (2006) a ostatnim okresem (2013) analizy przy zbliżonych wartościach całkowitych wydobycia w tych latach. Zmiany te są efektem wygaszania i otwierania zakładów górniczych przejawiających się jako obszary spadków i wzrostów produkcji surowców skalnych przy zachowaniu roli tradycyjnych ośrodków górniczych na Dolnym Śląsku. W przeprowadzonych badaniach zidentyfikowałem także źródła drogowych strumieni transportowych surowców skalnych oraz określiłem wielkość tych strumieni i zaproponowałem rozwiązania alternatywne (przeniesienie strumieni na transport szynowy). W tym celu oszacowałem zasięg obszarów obsługiwanych przez punkty ładunku kruszyw w stosunku do lokalizacji zakładów górniczych wykorzystujących transport drogowy.

Metodyka badań, oparta na ciągłej reprezentacji kryteriów w przestrzeni (zmienne przestrzenne), funkcjach analiz przestrzennych oraz statystyki przestrzennej w systemach geoinformacyjnych umożliwiła mi wykonanie kompleksowych analiz oddziaływań eksploatacji kopalni skalnych na otoczenie. Rezultaty tych badań, w tym ocena oddziaływania regionalnej gospodarki zasobami surowców na przestrzeń zostały wykorzystane w zapisach dokumentów kształtujących regionalną politykę przestrzenną (plan zagospodarowania przestrzennego, strategia rozwoju) opracowanych dla Samorządu Województwa Dolnośląskiego.

Oddziaływania wielkopowierzchniowej odkrywkowej eksploatacji kopalni

W publikacji ([P2]) opisałem wyniki badań oddziaływań górnictwa dotyczących przestrzennych konfliktów potencjalnej odkrywkowej eksploatacji udokumentowanych złóż węgla brunatnego z innymi funkcjami obszaru ich występowania. W celu rozwiązania tego problemu dokonałem modyfikacji i połączenia metod hierarchicznej analizy problemu decyzyjnego (ang. *Analytical Hierarchy Process, AHP*) wprowadzonej przez Saaty'ego (1980, 2008) oraz ważonej kombinacji liniowej (ang. *Weighted Linear Combination, WLC*) w GIS. Metody te stosowane są m.in. w analizach przestrzennych problemów o charakterze lokalizacyjnym i należą do grupy metod analiz wielokryterialnych (ang. *Multi-Criteria Assessment, MCA*) lub ocen wielokryterialnych (ang. *Multicriteria Evaluation, MCE*) (Malczewski, 2006; Drobne i Lisec, 2009). W literaturze przedmiotu nie znalazłem innych przykładów zaproponowanego przeze mnie podejścia do rozwiązania problemów związanych z analizą oddziaływania potencjalnej wielkopowierzchniowej eksploatacją złoża. Metody analiz wielokryterialnych pozwalają na analizę kompleksowych, wielowymiarowych problemów decyzyjnych dotyczących możliwych wyborów (w rozpatrywanym zagadnieniu sposobów przeznaczenia terenów). Opracowany, przeze mnie, algorytm postępowania łączący obie metody obejmuje: (i) identyfikację środowiskowych oraz planistycznych kryteriów dostępności złoża, (ii) określenie wag kryteriów dostępności w oparciu o hierarchiczną analizę problemu decyzyjnego, (iii) opracowanie jednoczynnikowych map przestrzennej reprezentacji kryteriów, (iv) połączenie zestandaryzowanych rastrów (zmiennych przestrzennych modelu) reprezentujących kryteria metodą średniej ważonej (algebra mapy), (v) określenie przestrzennej dostępności obszaru udokumentowanego złoża dla eksploatacji odkrywkowej. Badania przeprowadziłem dla jednego z najzasobniejszych obszarów złożowych węgla brunatnego w Polsce, tj. złoża Legnica w województwie dolnośląskim wraz z dwoma

innymi, mniejszymi obszarami złożowymi, Ścinawa i Ruja. Metoda AHP umożliwiła usystematyzowaną, ilościową ocenę istotności kryteriów przez grupę ekspertów oraz weryfikację spójności tych ocen. Obejmuje ona opracowanie hierarchicznej struktury składającej się z kilku poziomów (np. celu, kryteriów, podkryteriów i wariantów). W wyniku porównania kryteriów parami otrzymujemy skalę porównawczą. Preferencje określone są za pomocą ocen względnych wyrażanych przez wartości liczbowe, zazwyczaj od 1 do 9 gdzie 1 oznacza, że porównywane kryteria są równoważne a 9 oznacza, że pierwszy z porównywanych elementów jest zdecydowanie preferowany względem drugiego elementu. Na podstawie tych ocen tworzone są macierze preferencji konstruowane z uwzględnieniem następujących zasad, dany element macierzy jest równoważny względem samego siebie tj. równy 1 oraz wartość oceny elementu a względem elementu b jest odwrotnością oceny elementu b względem elementu a (5):

$$A_1 \begin{matrix} A_1 & \dots & A_n \\ \left[\begin{array}{ccc} \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{array} \right] \end{matrix} \quad (5)$$

Następnie określa się wartości macierzy znormalizowanej i wektory priorytetu wskazujące wagi poszczególnych elementów macierzy (kryteriów). Końcowym etapem jest sprawdzenie spójności otrzymanych wag kryteriów ([P2]). Metoda WLC uwzględnia wagi kryteriów do określenia przestrzennego występowania wszystkich analizowanych czynników. W pierwszym etapie opracowywane są jednoczynnikowe mapy analizowanych kryteriów (zmiennie przestrzenne), które standaryzowane są wg skali reprezentującej przydatność. Ostateczną ocenę otrzymujemy poprzez przemnożenie wagi przypisanej każdemu z kryteriów oraz wartości kryterium i zsumowanie iloczynów dla wszystkich map kryteriów (6):

$$S = \sum_{i=1}^n w_i k_i \prod c_j \quad (6)$$

gdzie:

S – wartość komórki rastra reprezentującego wynik,

w_i – waga kryterium $i = 1, \dots, n$,

k – wartość kryterium dla danej komórki rastra $i = 1, \dots, n$,

n – liczba kryteriów,

c_j – ograniczenie, $j = 1, \dots, m$ (w przypadku uwzględnienia w analizie kryteriów wykluczających),

Π - iloczyn logiczny (koniunkcja).

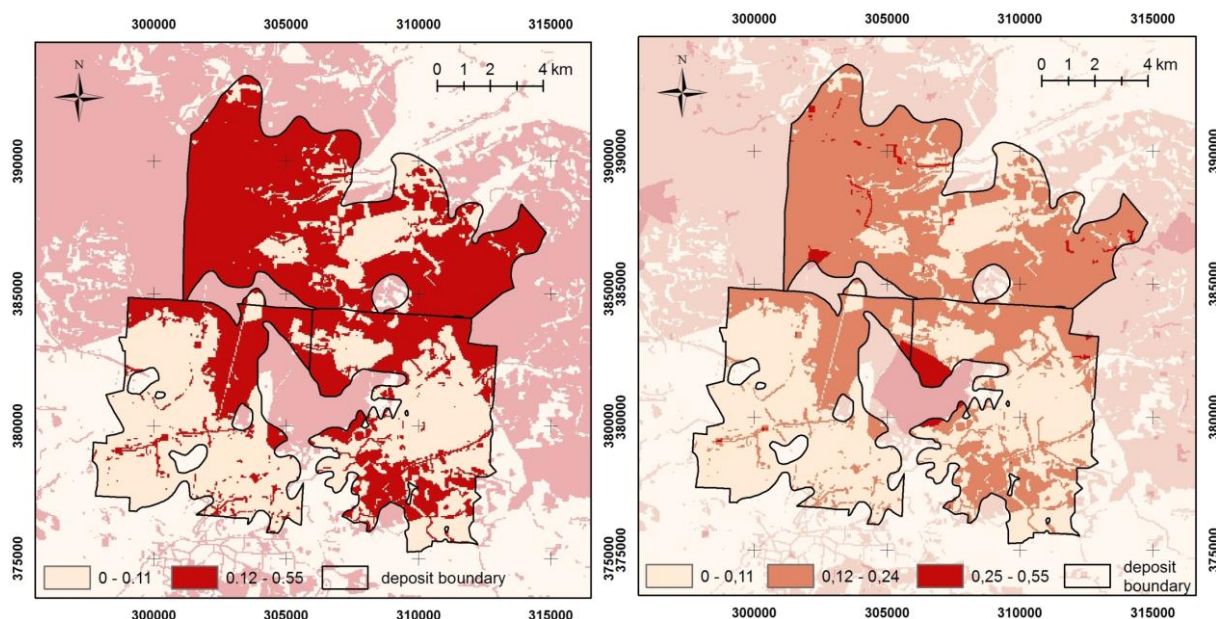
Tabela 2 przedstawia zidentyfikowane w badaniu kryteria (15) (opisane w ([P2])) oraz otrzymane przez mnie wagi kryteriów na podstawie ocen interdyscyplinarnej grupy ekspertów. Wartość λ to średnia wartość wektora priorytetu wykorzystywana do obliczenia indeksu spójności, który w moim przypadku wyniósł 0,03 (sugerowana w literaturze wartość dopuszczalna to 0,10). Analiza ocen ekspertów wykazała największą istotność kryteriów: 12 - obszarów ochrony przyrody (0,193), 15 - obszarów dziedzictwa kulturowego (0,142) oraz 8 - obszarów występowania wód podziemnych (0,095), 7 – obszarów występowania wód powierzchniowych (0,087) i 1 - zabudowy (0,093).

Tabela 2. Wynikowa macierz porównań ([P2])

kryt.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	waga	λ
1	0,08	0,09	0,11	0,13	0,07	0,11	0,05	0,06	0,11	0,08	0,06	0,07	0,16	0,11	0,12	0,093	16,009
2	0,03	0,03	0,06	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,035	15,453
3	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03	0,018	15,525
4	0,02	0,03	0,07	0,03	0,02	0,05	0,02	0,03	0,02	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,033	15,403
5	0,03	0,02	0,04	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,025	15,648
6	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,023	15,549
7	0,13	0,09	0,08	0,11	0,13	0,10	0,08	0,05	0,06	0,09	0,06	0,12	0,05	0,08	0,08	0,087	15,764
8	0,13	0,10	0,08	0,10	0,09	0,09	0,17	0,09	0,13	0,09	0,08	0,10	0,04	0,04	0,09	0,095	15,812
9	0,03	0,05	0,06	0,05	0,07	0,06	0,06	0,03	0,04	0,09	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,049	15,562
10	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,015	15,616
11	0,06	0,05	0,07	0,05	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,02	0,02	0,04	0,047	15,602
12	0,25	0,18	0,13	0,17	0,16	0,15	0,14	0,18	0,23	0,13	0,20	0,20	0,27	0,34	0,17	0,193	16,216
13	0,03	0,10	0,07	0,07	0,07	0,07	0,10	0,13	0,08	0,07	0,13	0,05	0,06	0,05	0,06	0,076	15,886
14	0,04	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,12	0,06	0,07	0,11	0,03	0,07	0,06	0,06	0,067	15,855
15	0,11	0,16	0,11	0,14	0,12	0,12	0,16	0,15	0,14	0,11	0,16	0,18	0,17	0,14	0,16	0,142	15,931
Suma	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	-

1 - obszary zabudowane, 2 - infrastruktura. drogowa (podstawowa), 3 - infrastruktura drogowa (pozostałe), 4 - infrastruktura kolejowa, 5 - sieć elektroenerget., 6- sieć gazowa, 7 - wody powierzchniowe, 8 - wody podziemne, 9 - grunty orne (najw. jakości), 10 - grunty orne (pozostałe), 11 – lasy, 12 - Przyr. obszary chronione, 13 - obszary cenne przyrodniczo, 14 - korytarze ekologiczne, 15 - zabytki kultury.

Dla każdego z kryteriów opracowałem zestandaryzowaną mapę rastrową o rozdzielczości komórki 50 m (zmiennie przestrzenne w modelu). Mapy reklasyfikowano do wartości 1 – kryterium występuje, 0 – kryterium nie występuje. Następnie w wyniku działania operacji algebry mapy opracowałem wynikową mapę konfliktowości potencjalnej eksploatacji odkrywkowej zgodnie z metodyką WLC. Teoretyczna maksymalna wartość piksela mapy wynikowej to 1. Wartość ta reprezentuje współwystępowanie wszystkich analizowanych kryteriów w przestrzeni. Otrzymane, dla obszaru złoża Legnica, statystyki to: maksymalna wartość komórki rastra równa 0,55, wartość średnia równa 0,10 i odchylenie standardowe wynoszące 0,07. W oparciu o te statystyki oraz histogram wartości mapy wynikowej zaproponowałem dwie klasyfikacje dostępności obszaru analizowanego złoża. Pierwsza, w podziale na dwie kategorie, wyznacza tereny najbardziej niedostępne o wartościach powyżej średniej, tj. 0,12-0,55 oraz tereny najmniej niedostępne o wartościach mniejszych i równych uzyskanej wartości średniej tj. do 0,11. Druga klasyfikacja, oparta została na algorytmie naturalnych przerw Jenks'a (1967). W jej wyniku otrzymałem trzy klasy: obszary najmniej dostępne (wartości w zakresie 0,25-0,55), obszary względnie niedostępne (wartości w zakresie 0,12-0,24) i obszary najmniej niedostępne (wartości w przedziale do 0,11). Ostatnia kategoria koresponduje z kategorią otrzymaną w pierwszej metodzie klasyfikacji. Wyniki w postaci graficznej przedstawia rys. 14.



Rys. 14. Wyniki przestrzennej analizy wielokryterialnej dostępności obszaru złoża węgla brunatnego w podziale na dwie klasy (po lewej) i na trzy klasy (po prawej) ([P2])

Uzyskałem ilościową ocenę i przestrzenną reprezentację dostępności analizowanego złoża ze względu na rozpatrywane rodzaje kryteriów. Wyznażyłem, ze względu na zidentyfikowane i sklasyfikowane pod względem ich istotności kryteria planistyczne i środowiskowe, potencjalnie najbardziej i najmniej konfliktowe dla eksploatacji odkrywkowej obszary w granicach udokumentowanych złóż węgla brunatnego. Otrzymane wyniki wskazują, że dla analizowanych kryteriów przestrzenno-funkcjonalnych zagospodarowania powierzchni 53,6% obszaru złoża Legnica (pola W, E i N razem) jest niedostępne, a pozostałe (46,4%) potencjalnie niedostępne. Analizując indywidualnie obszary złożowe, najtrudniejsze do zagospodarowania jest pole N (79,3% powierzchni niedostępne) a najkorzystniejsze do zagospodarowania pole W z 28,8% powierzchni niedostępnej.

Reasumując, opracowana i przetestowana przeze mnie metodyka analiz przestrzennych dostępności obszarów udokumentowanych, niezagospodarowanych złóż kopalin pozwala na ilościową ocenę i przestrzenną reprezentację dostępności ze względu na rozpatrywane rodzaje kryteriów. W celu uwzględnienia ograniczeń i barier zagospodarowania możliwe jest uwzględnienie w metodzie operatorów Boole'a natomiast w celu kompensacji jej ciągłego charakteru wprowadzenie w analizach teorii zbiorów rozmytych. Pomimo ograniczeń, takich jak możliwość kompensacji jednego kryterium przez inne współwystępujące w przestrzeni, metoda stanowi dobry wskaźnik konfliktowości inwestycji i jednocześnie narzędzie wspomagania prowadzenia polityki rozwoju przestrzennego i gospodarki surowcowej dostarczając ilościowych ocen w zakresie problemów decyzyjnych dotyczących planowania przestrzennego.

D. Podsumowanie

W autoreferacie przedstawiłem opis badań dotyczących *Analiz przestrzennych GIS w badaniach wpływu działalności górniczej na otoczenie*. Za najważniejsze osiągnięcia badań udokumentowanych w przedłożonym cyklu publikacji powiązanych tematycznie w dyscyplinie *górnictwo i geologia inżynierska*, specjalność *miernictwo górnicze* uważam:

- udowodnienie, na podstawie wyników prac teoretycznych i eksperymentalnych przeprowadzonych na różnych obiektach górniczych, przydatności podejścia opartego na reprezentacji zmiennych jako pól wartości i funkcjach analiz przestrzennych w GIS, w badaniach zjawiska deformacji powierzchni pod wpływem działalności górniczej,
- rozwinięcie metod analizy deformacji powierzchni terenów górniczych o zastosowanie statystyki przestrzennej i algebry mapy w GIS,
- udowodnienie skuteczności metod GIS do czaso-przestrzennego opisu zjawiska deformacji powierzchni terenów poddanych wpływom eksploatacji w skomplikowanych warunkach geologiczno-górniczych w porównaniu do tradycyjnie stosowanych metod,
- obliczenie wskaźników deformacji powierzchni powstałych w wyniku złożonej eksploatacji ewaporatów i gazu łupkowego w warunkach ograniczonej dostępności danych pomiarowych,
- wykazanie braku wpływu jednoczesnej eksploatacji złóż wielu kopalin (różnych ewaporatów, gazu łupkowego) na stan obiektów budowlanych na powierzchni,
- wyznaczenie historycznych deformacji powierzchni terenów górniczych w Wałbrzyskim Zagłębiu Węglowym w okresie ostatnich 123 lat eksploatacji oraz udowodnienie ich bardziej zróżnicowanego przebiegu niż wynika to z prognoz opartych na teorii Knothe'go,
- wykazanie przestrzennego zróżnicowania zjawiska deformacji wtórnych, w Wałbrzyskim Zagłębiu Węglowym, w okresie poeksploatacyjnym oraz wyjaśnienie przyczyny tego zróżnicowania,
- opracowanie bazy wiedzy o dokonanej eksploatacji węgla kamiennego w Wałbrzychu,
- opracowanie autorskiego systemu informacji o deformacjach górniczych, którego funkcje i narzędzia obliczeniowe wspomagają badania i prognozy deformacji powierzchni terenów poddanych wpływom podziemnej eksploatacji górniczej,
- opracowanie i wdrożenie zintegrowanego systemu monitorowania i analiz deformacji powierzchni terenu górniczego z zastosowaniem pomiarów geodezyjnych, modelowania numerycznego (MES), analiz GIS i systemów geoinformacyjnych w warunkach zmiany systemu eksploatacji złóż rudy żelaza (kopalnia Kvannevan),
- udowodnienie, na podstawie przeprowadzonych badań, skuteczności metodyki analiz wielokryterialnych w systemach informacji geograficznej w badaniach innych przestrzennych wpływów górnictwa na otoczenie,
- wyznaczenie, na podstawie wyników analiz przestrzennych wykonanych połączonymi metodami hierarchicznej analizy problemu decyzyjnego oraz ważonej kombinacji liniowej w GIS, obszarów udokumentowanych złóż kopalin potencjalnie dostępnych do zagospodarowania metodą odkrywkową,
- obliczenie, na przykładzie województwa dolnośląskiego, przestrzennego rozkładu wielkości wydobycia surowców skalnych oraz opisanie zmian koncentracji górnictwa skalnego w czasie i przestrzeni wraz z wyjaśnieniem przyczyn zaobserwowanych zmian,
- wykorzystanie wyników badań w praktyce planistycznej poprzez ich przełożenie na zapisy dokumentów kształtujących politykę zagospodarowanie przestrzeni w województwie dolnośląskim.

3.4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych

A. Osiągnięcia przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

W szkole średniej, o profilu matematyczno-fizycznym, działałem w szkolnym kole geograficznym. W trakcie studiów magisterskich na Wydziale Górniczym Politechniki Wrocławskiej uczestniczyłem w semestralnej wymianie studenckiej na *University of Glamorgan* w Wielkiej Brytanii w ramach europejskiego programu Tempus. Podczas tego pobytu zainteresowałem się możliwościami rozwijającego się wówczas satelitarnego systemu pozycjonowania i nawigacji NAVSTAR-GPS. Efektem tych zainteresowań była praca magisterska pt. „*Pozycjonowanie punktów techniką RTK-DGPS na potrzeby górnictwa odkrywczego*”, przygotowana po powrocie na uczelnię macierzystą. Rezultaty badań prowadzonych w ramach tej pracy zaprezentowałem w trakcie 11. Kongresu Międzynarodowego Stowarzyszenia Mierniczych Górniczych (ang. *International Society for Mine Surveying*), który odbył się w Krakowie w dniach 4-9 września 2000 roku. Wcześniej, w 1998 roku, otrzymałem nagrodę dziekana Wydziału Górniczego za bardzo dobre wyniki w nauce.

W październiku 1999 roku rozpocząłem, także na Wydziale Górniczym Politechniki Wrocławskiej, studia doktoranckie. Zajmowałem się badaniami wpływu współczesnej aktywności tektonicznej powierzchniowych warstw skorupy ziemskiej na stan bezpieczeństwa sztucznych zbiorników wodnych. W szczególności zaś zagadnieniami obserwacji deformacji powierzchni górotworu w sieciach kontrolno-pomiarowych w rejonie takich obiektów z uwzględnieniem budowy geologicznej oraz problematyką modelowania deformacji górotworu w sąsiedztwie zbiorników wodnych z zastosowaniem numerycznej metody elementów skończonych (MES). Rezultaty badań zebrałem w rozprawie doktorskiej pt. „*Analiza i interpretacja deformacji powierzchniowej warstwy skorupy ziemskiej w otoczeniu projektowanego zbiornika wodnego*” wyróżnionej przez Radę Wydziału Górniczego w dniu 29 września 2003 roku. Na podstawie analizy rezultatów powtarzanych pomiarów geodezyjnych, satelitarnych i grawimetrycznych stwierdziłem współczesne ruchy powierzchniowej warstwy skorupy ziemskiej w strukturach geologicznych otoczenia planowanego zbiornika wodnego Kamieniec. Opracowałem także metodykę monitorowania tego typu obiektów. Z zastosowaniem metody elementów skończonych wykonałem prognozę oddziaływania projektowanego zbiornika wodnego na otaczający górotwór oraz zaprojektowałem system kontrolno-pomiarowy do monitorowania stanu bezpieczeństwa planowanej zapory.

W trakcie studiów doktoranckich zainteresowałem się systemami informacji geograficznej (GIS) jako środowiskiem wspomagającym badania naukowe, m.in. w zakresie gromadzenia i zarządzania zbiorami różnorodnych danych przestrzennych oraz w zakresie wizualizacji danych w przestrzeni dwu- i trójwymiarowej. Przede wszystkim zaś, możliwościami analitycznymi systemów geoinformacyjnych. W związku z tym, w 2002 roku, podjąłem studia podyplomowe z zakresu systemów informacji geograficznej, które ukończyłem w 2004 roku.

W tym czasie otrzymałem i realizowałem (1.02.2001 – 29.09.2003) grant promotorski Komitetu Badań Naukowych, który pozwolił mi m.in. na przeprowadzenie dwóch kampanii pomiarów satelitarnych GPS na poligonie geodynamicznym w rejonie obiektu badań oraz na analizy przemieszczeń punktów pomiarowych wraz wynikami wcześniejszych pomiarów.

W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora uczestniczyłem w sześciu konferencjach, w tym dwóch o zasięgu międzynarodowym. Dwukrotnie moje prezentacje były wyróżniane na konferencjach doktorantów Wydziału Górniczego Politechniki Wrocławskiej (I miejsce w 2002 roku i II miejsce w 2003 roku). Mój dorobek naukowy w okresie studiów doktoranckich obejmuje 9 pozycji:

- 2 współautorskie publikacje w materiałach konferencyjnych w kraju o zasięgu międzynarodowym (w języku angielskim),
- 4 publikacje w materiałach konferencyjnych w kraju, w tym 2 jednoautorskie,
- 1 rozdział w książce o zasięgu międzynarodowym (współautorski),
- 2 rozdziały w książkach o zasięgu krajowym (współautorskie).

Ponadto, jestem współautorem 3 prac naukowych niepublikowanych (raporty). Szczegółowy dorobek z tego okresu przedstawiłem **w punkcie 5.2 załącznika nr 5 dokumentacji**.

Od początku studiów doktoranckich angażowałem się w działalność studenckiego koła naukowo-badawczego GIS, dwukrotnie współorganizowałem studenckie wyjazdy dydaktyczne na poligony geodynamiczne na Dolnym Śląsku.

W ramach pensum dydaktycznego prowadziłem zajęcia laboratoryjne z przedmiotów: Informatyka, Podstawy GPS oraz Systemy pozycjonowania satelitarne. Natomiast z myślą o rozwoju warsztatu naukowego i dydaktycznego uczestniczyłem w zajęciach z zakresu form wypowiedzi naukowej, metod sztucznej inteligencji w rozwiązywaniu problemów, metody elementów skończonych i innych.

B. Osiągnięcia po uzyskaniu stopnia naukowego doktora

Działalność naukowa, jaką prowadziłem po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, obejmowała kilka ważnych obszarów badań o znacznym wpływie na rozwój dziedziny górnictwo i geologia. Praca badawcza związana była z następującymi głównymi zagadnieniami:

B1. Zastosowanie pozycjonowania satelitarne i systemów informacji geograficznej w pozyskiwaniu i analizach wielotematycznych danych przestrzennych

- a. Opracowanie metodyki pozyskiwania i aktualizacji informacji przestrzennej oraz opisowej na potrzeby kartowania terenowego i inwentaryzacji geotopów (elementów przyrody nieożywionej, które niosą czytelną informację na temat rozwoju skorupy ziemskiej lub życia na Ziemi (Look, 1996)) na przykładzie projektu turystycznego udostępnienia polskiej części geoparku „Łuk Mużakowa” (Blachowski i Koźma, 2005).
- b. Zastosowanie pozycjonowania satelitarne w pozyskiwaniu danych przestrzennych i batymetrycznych na potrzeby prac projektowych związanych m.in. z rekultywacją obiektów pogórnictwa (Blachowski i Mizera, 2005).
- c. Opracowanie metodyki pozyskiwania danych przestrzennych z zastosowaniem mobilnego GIS (GIS i pomiarów satelitarnych GNSS) w inwentaryzacji terenowej i projektowaniu spójnych, tematycznych tras rowerowych oraz metodyki analiz przestrzennych służących automatycznemu określeniu poziomu trudności tras rowerowych w zależności od warunków terenowych (Blachowski i Głowacki, 2005; Blachowski, 2006). Metodyka ta została wykorzystana do wyznaczenia szlaku rowerowej drogi św. Jakuba na Dolnym Śląsku w ramach projektu Via Regia Plus pt. „Sustainable Mobility and Regional Cooperation along the Pan-European Transport Corridor III”.

- d. Wykorzystanie zaawansowanych mobilnych systemów geoinformacyjnych do systemowego monitoringu środowiska terenów górniczych oraz opracowania modeli zagospodarowania terenów przemysłowych – badania realizowane w ramach dotacji celowej MNiSW (projekty nr 342797 - 2006 rok oraz nr 342889 – 2007 rok).

B2. Modelowanie i analiza danych przestrzennych dotyczących gospodarki zasobami ziemi w systemach informacji geograficznej

- a. Opracowanie i testowanie algorytmów analiz przestrzennych wspomagających procesy gospodarki surowcami skalnymi, w tym modyfikacja metodyki waloryzacji (Nieć i Radwanek-Bąk, 2011) i opracowanie narzędzi do automatycznej waloryzacji niezagospodarowanych złóż surowców skalnych w systemach informacji geograficznej.
- b. Opracowanie struktury systemów geoinformacyjnych dot. złóż surowców skalnych służących wspomaganie procesów decyzyjnych dotyczących racjonalnej gospodarki ich zasobami. Praktycznym efektem wykonanych prac badawczo-rozwojowych są systemy informacji geograficznej o surowcach skalnych dla trzech powiatów województwa dolnośląskiego: kłodzkiego, świdnickiego i wrocławskiego, wdrożone w systemach informacji przestrzennej dwóch ostatnich z nich. Rezultaty tych prac prowadzonych w ramach projektu pt. „Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych” realizowanego w latach 2009-2013 w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka i koordynowanego przez Instytut Górnictwa Odkrywkowego Poltegor Instytut we Wrocławiu opublikowano w cyklu współautorskich monografii oraz współautorskich publikacji wymienionych w wykazie dorobku naukowego (**punkt 5.2. załącznika nr 5 dokumentacji**).
- c. Analiza możliwości zastosowania środowiska wolnego i otwartego oprogramowania (ang. *Free and Open Source Software - FOSS*) GIS do opracowania procedur wspomagających waloryzację złóż surowców oraz wielokryterialnych analiz dostępności złóż do ich zagospodarowania. Przeprowadzenie badań na przykładzie powiatu kłodzkiego (Blachowski i Książkiewicz, 2013; Wykaz B MNiSW 6 pkt; Blachowski i Maślowska, 2015; Wykaz B MNiSW 7 pkt).

B3. Projektowanie systemów geoinformacyjnych oraz interaktywnych aplikacji map

- a. Opracowanie struktury i wykonanie bazy danych GIS działalności górniczej w Wałbrzyskim Zagłębiu Węglowym wraz z przestrzennymi (3D) modelami infrastruktury podziemnej i powierzchniowej na podstawie archiwalnych materiałów kartograficznych, map i planów wyrobisk podziemnych, dokumentacji geologiczno-górnicych oraz innych materiałów. Opracowanie bazy wiedzy dot. ponad dwustuletniej historii działalności wydobywczej węgla kamiennego w Wałbrzyskich Kopalniach Węgla Kamiennego (od początku XIX wieku) wraz z możliwością analiz i geowizualizacji historycznych planów zakładów górniczych, stosowanych systemów eksploatacji, postępu eksploatacji w systemie geoinformacyjnym (Blachowski, 2008; Blachowski i Stefaniak, 2012, Blachowski i Stefaniak 2013; Wykaz B MNiSW, 5 pkt).
- b. Udokumentowanie i zachowanie informacji o dziedzictwie przemysłu górniczego oraz opracowanie metody jej upowszechniania w Internecie. Projekt systemu geoinformacyjnego i aplikacji mapy interaktywnej o dawnych obiektach górniczych kopalni węgla kamiennego "Julia" w Wałbrzychu. (Blachowski i Nowacka, 2011; Wykaz B MNiSW, 9 pkt).
- c. Wykonanie pilotażowego wojewódzkiego węzła informacji przestrzennej na potrzeby upowszechniania informacji planistycznej dotyczącej obszaru funkcjonalnego Wrocławia

i województwa dolnośląskiego w środowisku wolnego i otwartego oprogramowana GIS (Blachowski i in., 2008; Malczewski i in., 2010; Wykaz B MNiSW 6 pkt).

- d. Analizy w zakresie transgranicznego dostępu do portali danych geodezyjnych w Saksonii i na Dolnym Śląsku, w ramach kierowanej przeze mnie grupy roboczej w projekcie „*Razem dla Pogranicza*” (Program Operacyjny Współpracy Transgranicznej Polska - Saksonia 2007-2013). Efektem prac jest uzyskanie harmonizacji i interoperacyjności danych przestrzennych pomiędzy regionami.

B4. Zastosowanie wielokryterialnych analiz przestrzennych GIS w badaniach dostępności terenów w celu wspomagania procesów decyzyjnych w planowaniu racjonalnego zagospodarowania przestrzeni

- a. Dokonanie analizy lokalizacji opartej na założeniach hierarchicznej analizy problemu decyzyjnego (ang. *Analytical Hierarchy Process, AHP*) i ważonej kombinacji liniowej w GIS z udziałem interdyscyplinarnej grupy ankietowanych ekspertów. Wykonanie badań dla terenu Wrocławskiego Obszaru Funkcjonalnego (WrOF) w celu określenia obszarów odpowiednich dla lokalizacji nowej zabudowy mieszkaniowej ze względu na zidentyfikowane grupy kryteriów, tj. dostępność: komunikacyjną, infrastruktury technicznej, usług publicznych i usług komercyjnych oraz przydatność ekofizjograficzną, a także ograniczeń takiej lokalizacji (Blachowski i in., 2017; Wykaz B MNiSW, 10 pkt).
- b. Udział w badaniach dotyczących oceny środowiskowych i społecznych uwarunkowań eksploatacji udokumentowanego złoża węgla brunatnego „Legnica” oparta na metodyce integracji niezależnych ocen ekspertów i opinii interesariuszy, w celu obiektywizacji argumentów w procesie podejmowania decyzji planistycznych i administracyjnych (Malewski i in., 2008).
- c. Udział w badaniach nad koncepcjami zrównoważonego wykorzystania terenów pokopalnianych w obszarze transformacji energetycznej z zastosowaniem metodyki zintegrowanego planowania wykorzystania terenów powydobywczych na rzecz energetyki odnawialnej (w ramach projektu „*Razem dla Pogranicza*”).
- d. Przeprowadzenie analiz uwarunkowań planistycznych opartych na ustaleniach studiów uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin oraz pokrycia obszaru niezagospodarowanych złóż węgla brunatnego miejscowymi planami zagospodarowania przestrzennego. Badania możliwości stosowania metodyki hierarchicznej analizy problemu decyzyjnego w celu obiektywnego i ilościowego określenia istotności uwarunkowań w generowaniu konfliktów z ochroną i potencjalną eksploatacją złóż węgla brunatnego (Blachowski, 2014; IF 0.540, Wykaz A MNiSW 15 pkt).
- e. Badania przydatności terenów pod budowę elektrowni wiatrowych z zastosowaniem metodyki wielokryterialnych analiz rastrowych w GIS na przykładzie gminy Prusice w województwie dolnośląskim (Szurek i in., 2014; Wykaz B MNiSW 5 pkt) oraz analizy rozkładu przestrzennego istniejących oraz planowanych inwestycji w województwie dolnośląskim (Blachowski i in., 2010).

B5. Badania współczesnej geodynamiki i jej wpływu na tereny górnicze

- a. Zbadanie wpływów współczesnej geodynamiki powierzchniowych warstw skorupy ziemskiej na terenach górniczych oraz projektowanie sieci pomiarowych na potrzeby badań geodynamicznych na terenach górniczych. Opracowane koncepcji badawczej sieci geodynamicznej na obszarze Wałbrzycha wraz z wykonaniem pilotażowych pomiarów GNSS

(Blachowski i in., 2009; IF 0.275, Wykaz A MNiSW 9 pkt; Blachowski i in., 2010; IF 0.452, Wykaz A MNiSW 10 pkt).

B6. Wykorzystanie satelitarnej interferometrii radarowej do rejestracji i analiz przemieszczeń powierzchni terenów górniczych i pogórnich

- a. Przegląd zastosowań satelitarnej interferometrii radarowej do badań stanu powierzchni terenów zakończonej podziemnej działalności górniczej (Blachowski i Milczarek, 2007).
- b. Zastosowanie techniki interferometrii satelitarnej stałych rozpraszaczy (*Permanent Scatterer*) PSInSAR w badaniach występowania przemieszczeń powierzchni dawnych terenów górniczych w Wałbrzychu oraz dynamiki przemieszczeń w okresie poeksploatacyjnym (2002-2009). Wykazanie dodatknych przemieszczeń pionowych (*LOS - Line of Sight*) w zakresie do +6 mm/rok o malejącej intensywności. W pewnych obszarach zaobserwowano także stabilizację powierzchni i ponowne jej obniżanie w ostatnich latach poddanych analizie (Milczarek i Blachowski, 2016; Milczarek i in., 2017; IF 0.561 Wykaz A MNiSW 20 pkt).

Komplementarne wykorzystanie źródeł danych pochodzących z sensorów umieszczonych na satelitach Envisat i Sentinel, technik opracowania danych PSInSAR i SBAS (Feretti, 2014) oraz analiz przestrzennych i funkcji statystyki przestrzennej w GIS jest zagadnieniem naukowym, którym zajmuję się obecnie. Moje najbliższe plany naukowe to kompleksowe opisanie etapów występowania deformacji wtórnych na terenach pogórnich oraz badania deformacji powierzchni w sąsiedztwie sztucznych zbiorników wodnych i zapór wodnych. W tym celu przygotowałem i otrzymałem grant badawczy Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) pt. „*Studies of earth crust surface movements in the vicinity of large man-made water reservoirs (Zambezi River Valley)*” umożliwiający pozyskanie danych interferometrycznych do badań aktywności powierzchniowej warstwy skorupy ziemskiej w rejonie struktury geologicznej Great Dyke w Zimbabwie oraz opracowanie modeli opisujących deformacje powierzchni w rejonie dużych zbiorników wodnych zlokalizowanych w dolinie rzeki Zambezi. Realizuję także projekt finansowany z dotacji celowej MNiSW pt. „*Badania aktywności powierzchni terenu w sąsiedztwie dużych zbiorników wodnych z wykorzystaniem technologii informacji geograficznej i interferometrii satelitarnej*”.

Cytowane w punkcie B prace oraz wykaz wszystkich pozostałych publikacji naukowych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych wymieniłem w punkcie 5.2 załącznika nr 5 dokumentacji.

3.5. Literatura

- Anselin L., Florax R., Rey S., (Red.) (2004) *Advances in Spatial Econometrics. Methodology, Tools and Applications*. Berlin Springer-Verlag.
- Berry J. K., (1987). *Fundamental operations in computer-assisted map analysis*. *International Journal of Geographic Information Systems*. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 1, No. 2, s. 119-136.
- Berry J., Keck W. M., (2009) *GIS Modeling and Analysis. W: Manual of Geographic Information Systems* (Red. Madden M.). American Society for Photogrammetry, Section 5, Chapter 29, s. 527-585; ISBN 1-57083-086-X.
- Berry J., Metha S., (2009) *An Analytical Framework for GIS Modeling*. @ <http://www.innovativegis.com/basis/Papers/Other/GISmodelingFramework/>, dostęp 2015-07-08.
- Brunsdon Ch., Fotheringham A. S., Charlton M. E., (1996) *Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity*. *Geographical Analysis*, Vol. 28, No. 4, s. 291-298.

- Burrough P. A., McDonell R. A., (1998) Principles of geographical information systems. Oxford University Press, Oxford.
- Charlton M. E., Fotheringham A. S., (2009). Geographically Weighted Regression. White Paper. National Centre for Geocomputation, National University of Ireland Maynooth, @ http://ncg.nuim.ie/ncg/gwr/GWR_WhitePaper.pdf.
- Chwastek, J., (1980) Miernictwo górnicze i ochrona terenów w górnictwie, Wrocław.
- DeMers M., (2005) Fundamentals of Geographic Information Systems. 3rd Ed., Wiley.
- Drobne S., Lisec A., (2009) Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging. Informatica, Vol. 33, s. 459-474.
- Epanechnikov, V. A., (1969) Non-parametric estimation of a multivariate probability density. Theory Probability Appl, Vol. 14, s. 153–158.
- Feretti A., (2014) Satellite InSAR Data. Reservoir Monitoring from Space. European Association of Geoscientists and Engineers.
- Fiszer J., (2003) Dolnośląskie Zagłębie Węglowe. W: Wilk T. (Red.) Hydrogeologia polskich złóż kopalin i problemy wodne górnictwa, Uczel. Wydaw. Nauk.-Dydakt. AGH, s. 338-392.
- Franke R., (1982) Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines. Computer and Mathematics with Applications, Vol. 8, No. 4, s. 273–281.
- Fotheringham A. S., Brunson Ch., Charlton M., (2002) Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships. Wiley.
- Hamrin H., (1980) A guide to underground mining methods and applications, Atlas Copco, Stockholm.
- Hejmanowski R., (2001) Prognozowanie deformacji górotworu i powierzchni terenu na bazie uogólnionej teorii Knothe'go dla złóż surowców stałych, ciekłych i gazowych. Wydawnictwo iGSMiE PAN, Kraków.
- Hutchinson M. F., Dowling T. I., (1991) A continental hydrological assessment of a new grid-based digital elevation model of Australia. Hydrological Processes, Vol. 5, s. 45–58.
- Jankowski P., (1995) Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. International Journal of Geographical Information Systems, Vol. 9:3, s. 251-273, doi: 10.1080/02693799508902036.
- Jenks G., (1967) The Data Model Concept in Statistical Mapping. International Yearbook of Cartography, Vol. 7, s. 186-190.
- Knothe S., (1984) Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Wyd. Śląsk. Katowice.
- Kowalski A., (2000) Eksploatacja górnicza a ochrona powierzchni. Doświadczenia z wałbrzyskich kopalń. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- Kowalski A. i Jędrzejec E., (2000) Zagrożenia powierzchni spowodowane dokonaną działalnością górniczą i likwidacją kopalń. W: (Kowalski A., Red) Eksploatacja górnicza a ochrona powierzchni. Doświadczenia z wałbrzyskich kopalń. Główny Instytut Górnictwa, Katowice, s. 343-366.
- Kratzsch H., (1983) Mining Subsidence Engineering. Springer-Verlag.
- Kratzsch H., Fleming R. (2011) Mining Subsidence Engineering. Springer-Verlag.
- Kwiatk J. (Red.) (2007) Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa. Katowice.
- Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D., (2014) Geographic Information Science and Systems, 4th Edition. Wiley.
- Look E. R. (Red.), (1996) Geotope conservation in Germany. Guidelines of the Geological Surveys of the German Federal States. Angewandte Landschaftsökologie, Bonn, 9, 1-105.
- Lupo J. F., (1997) Progressive failure of hanging wall and footwall Kiirunavaara mine, Sweden, Int. J. Rock Mech. & Sci. 34:3-4, paper No. 184.
- Malczewski J., (2006) GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, Vol. 20:7, s. 703-726, doi:10.1080/13658810600661508.
- Milczarek W., Blachowski J., Grzempowski P., (2017) Application of PSInSAR for assessment of surface deformations in post-mining area – case study of the former Wałbrzych Hard Coal Basin (SW Poland). Vol. 17, No 1 (185).

- Nieć M., Radwanek-Bąk B., 2011. Kompleksowa hierarchizacja i waloryzacja złóż kopalin skalnych. *Górnictwo Odkrywkowe*, R. LII, nr 6, s. 5-15.
- Olea R. A., (1999) *Geostatistics for Engineers and Earth Scientists*. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Popiołek E., (2009) *Ochrona terenów górniczych*. Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Powell G. T., Leighfield K., (2002) *Coal Mining Subsidence in the UK*. RMZ Materials and Geoenvironment; International Society for Mine Surveying, Valenje 2002. Vol 49.
- Saaty T.L., (1980) *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill, USA.
- Saaty T.L., (2008) *Relative Measurement and its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process*. *Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat.* 102:251-318. <http://www.rac.es/ficheros/doc/00576.PDF>. dostęp 03.12.2013.
- Shepard D., (1968) *A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data*, *Proc. 23rd National Conference ACM*, s. 517-524.
- Sibson R., (1981) *A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation*, In: *Interpolating Multivariate Data*. Wiley & Sons, s. 21–36.
- Suchecka J. (Red.), (2014) *Statystyka przestrzenna. Metody analizy struktur przestrzennych*. Wydawnictwo C.H. Beck.
- Tomlin C. D., (2008) *Cartographic Modelling*. W: *Encyclopedia of Geographic Information Science* (Red. Kemp K. K.), Sage.
- Urbański J., (2008) *GIS w badaniach przyrodniczych*. Uniwersytet Gdański.
- Werner P., (2002) *Wprowadzenie do systemów geoinformacyjnych*, Warszawa, „Jark”.
- Wong D., Lee J., (2005) *Statistical analysis of geographic information*. Wiley.

3.6. Sumaryczne zestawienie dorobku naukowego

Wymiernym rezultatem opisanych wyżej badań są artykuły w czasopismach naukowych z bazy Journal Citation Reports oraz listy MNiSW, referaty na międzynarodowych i krajowych konferencjach oraz inne publikacje. Sumaryczne zestawienie dorobku naukowego przed i po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych przedstawiono w tabelach 3 i 4.

Tabela 3. Sumaryczne zestawienie dorobku naukowego

	Przed doktoratem	Po doktoracie	Ogółem
Publikacje naukowe w czasopismach z bazy JCR	-	13	13
Monografie i publikacje spoza bazy JCR	3	44	47
Referaty w materiałach konferencyjnych	6	18	24
Opracowania zbiorowe, dokumentacje prac badawczych	3	16	19
Publikacje popularnonaukowe	-	6	6
Wygłoszone referaty na konferencjach	6	48	54
Kierownictwo i udział w projektach badawczych	2	18	20
Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	4	13	17
Sumaryczny Impact Factor	-	10,93	10,93
Sumaryczna liczba punktów MNiSW	5	446	451

Tabela 4. Sumaryczna liczba cytowań i indeks h (Hirscha) bez autocytowań

	Web of Science	Google Scholar
Liczba cytowań	32	80
Indeks h (Hirscha)	3	5

3.7. Działalność dydaktyczna

W mojej pracy dydaktycznej można wyróżnić następujące aktywności. Pierwsza to prowadzenie zajęć dydaktycznych w formie: wykładów, ćwiczeń laboratoryjnych i projektowych oraz zajęć seminaryjnych. Są to, przede wszystkim, zajęcia z zakresu systemów informacji geograficznej oraz globalnych systemów nawigacji satelitarnej (*ang. Global Navigation Satellite Systems – GNSS*). Zajęcia dydaktyczne na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii (wcześniej Wydziale Górniczym) Politechniki Wrocławskiej prowadzę od 2000 roku. Początkowo w ramach studiów doktoranckich (do 2003 roku), a następnie jako asystent i adiunkt na studiach stacjonarnych oraz niestacjonarnych na kierunku górnictwo i geologia, na studiach stacjonarnych na kierunku geodezja i kartografia oraz na studiach podyplomowych z zakresu systemów informacji geograficznej.

W rozpatrywanym okresie prowadziłem zajęcia w ramach 18 przedmiotów (bez uwzględnienia studiów podyplomowych), w tym dla 12 z nich w formie wykładów oraz 2 przedmiotów w języku angielskim dla uczestników międzynarodowych studiów magisterskich. Na potrzeby realizowanych przeze mnie zajęć dydaktycznych opracowałem autorskie materiały dydaktyczne dla 10 kursów (wykład i laboratorium), w tym wspomnianych 2 w języku angielskim. Zestawienie prowadzonych przeze mnie przedmiotów zawiera **punkt 6.6 załącznika nr 6 dokumentacji**. W trakcie prowadzonych zajęć dużą wagę przykładam do zainteresowania studentów tematyką GIS i GNSS, m.in. prezentując osiągnięcia i doświadczenia zdobyte w ramach realizowanych badań, odbytych szkoleń, staży i stypendiów oraz udziału w konferencjach i warsztatach.

Do tej pory, byłem promotorem 95 prac dyplomowych w tym: 24 prac magisterskich, 30 projektów inżynierskich oraz 41 prac dyplomowych na podyplomowych studiach z zakresu systemów informacji geograficznej. Trzy prace dyplomowe realizowane pod moją opieką zostały przygotowane w języku angielskim. Pięć prac zostało wyróżnionych. Dwoje z wypromowanych przeze mnie dyplomantów prowadzi badania w ramach studiów doktoranckich, a trzeci po ich ukończeniu kontynuuje pracę naukową na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii. Od 19 czerwca 2013 roku, uchwałą Rady Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii jestem promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim mgr Anety Barańskiej-Buslik pt. „*Metoda oceny złóż węgla brunatnego z wykorzystaniem narzędzi GIS*”.

Rozwinięciem działalności dydaktycznej jest udział w opracowaniu programów kształcenia dla nowych kierunków studiów i specjalności. Po raz pierwszy miałem taką możliwość już na początku mojej pracy zawodowej na Politechnice Wrocławskiej uczestnicząc w przygotowaniu programu kształcenia dla specjalności geoinformatyka na kierunku górnictwo i geologia. Następnie koordynowałem i byłem odpowiedzialny za przygotowanie programu nauczania (w tym kierunkowych efektów kształcenia, planu i programu studiów oraz innych dokumentów) nowego kierunku geodezja i kartografia. Został on uruchomiony na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii w ramach studiów stacjonarnych I stopnia w roku akademickim 2011/2012. Koordynowałem także opracowanie programu nauczania

dla specjalności geoinformatyka na II stopniu studiów stacjonarnych (kierunek górnictwo i geologia), która została ponownie uruchomiona od semestru letniego w roku akademickim 2014/2015.

Trzecim, ważnym obszarem aktywności dydaktycznej jest opieka nad Kołem Naukowo-Badawczym GIS przy Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii. W jej ramach, rozwijam wśród studentów zainteresowanie systemami informacji geograficznej, m.in. wspierając realizację studenckich projektów naukowych i organizacji różnego rodzaju imprez takich jak np.: Dzień Geodety, Światowy Dzień GIS, Rajd Geomajowy i innych. W bieżącym roku nawiązałem współpracę z Parkiem Narodowym Gór Stołowych. Współpracuję także z sekcją GIS Koła Naukowego Eko-Instytut przy Wydziale Inżynierii Ochrony Środowiska. Satysfakcję przynosi mi prowadzenie, kilka razy w roku i w różnej postaci, zajęć i pokazów dla studentów, uczniów szkół ponadpodstawowych i podstawowych popularyzujących naukę. Do najciekawszych i najbardziej popularnych, moim zdaniem, należą prezentacje w ramach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki. W ich trakcie przybliżam zagadnienia systemów informacji geograficznej oraz pozycjonowania i nawigacji satelitarnej. Opiekuję się studentami z zagranicy w trakcie wymiany w ramach programu Erasmus. Uczestniczę także w organizacji zawodowych praktyk studenckich, wyjazdów i wizyt dydaktycznych, np. wizyty studentów z Wydziału Informatyki Przestrzennej Hochschule für Technik und Wirtschaft w Dreźnie (Niemcy).

Szczegółowe informacje o prowadzonej przeze mnie działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej zamieściłem **w punktach 6.6-6.8 oraz 6.15 załącznika nr 6 dokumentacji.**

3.8. Działalność organizacyjna

W okresie zatrudnienia na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, równoległe z działalnością naukowo-badawczą i dydaktyczną, pełniłem różne funkcje organizacyjne związane zarówno z kształceniem jak i zarządzaniem. Najważniejsze z nich to:

- pełniący obowiązki kierownik Zakładu Geodezji i Geoinformatyki (1.10.2010 – 30.09.2011),
- kierownik Zakładu Geodezji i Geoinformatyki (1.10.2011 – 31.12.2014),
- pełniący obowiązki kierownika Wydziałowego Zakładu Geodezji i Geoinformatyki (1.1.2015-10.2016),
- zastępca kierownika Zakładu Geodezji i Geoinformatyki (od 1.11.2016),
W ramach pełnionych obowiązków zarządzałem zespołem kilkunastu pracowników naukowo-badawczych i dydaktycznych, planuję i czuwam nad rozwojem działalności badawczej Zakładu, w tym powiększaniem potencjału kadrowego związanym z rozszerzeniem oferty edukacyjnej i badawczo-rozwojowej Wydziału o geodezję i kartografię. W tym czasie liczba pracowników naukowo-dydaktycznych Zakładu zwiększyła się z 7 do 15 osób,
- zastępca dyrektora Instytutu Górnictwa ds. badań naukowych i współpracy z gospodarką (1.10.2012 – 31.12.2014),
W ramach pełnionych obowiązków byłem odpowiedzialny m.in. za współpracę badawczo-rozwojową Instytutu z przedsiębiorstwami oraz jednostkami naukowo-badawczymi, rozwijanie kompetencji Instytutu w zakresie realizacji zleceń dla przemysłu i administracji, kontrolę nad realizowanymi w jednostce projektami badawczymi i rozwojowymi, prawidłowe rozdysponowanie i rozliczanie środków przyznawanych w ramach dotacji celowej na prowadzenie badań naukowych przez pracowników Instytutu,
- członek uczelnianej komisji dyscyplinarnej ds. doktorantów w kadencji 2008-2012,

W ramach prac komisji brałem m.in. udział, w charakterze obrońcy, w postępowaniu dyscyplinarnym dotyczącym plagiatu w pracy doktorskiej,

- członek Komisji Programowej ds. Oceny i Zapewnienia Jakości Kształcenia dla kierunku *geodezja i kartografia* oraz Komisji dla specjalności *geoinformatyka* na kierunku *górnictwo i geologia*,

W ramach prac ww. komisji oraz jako kierownik Zakładu Geodezji i Geoinformatyki koordynowałem prace nad przygotowaniem i wdrożeniem programów nauczania na kierunku geodezja i kartografia oraz na specjalności geoinformatyka (kierunek górnictwo i geologia) zgodnie z Krajowymi Ramami Kwalifikacji. Pełnię także, rolę opiekuna kierunku geodezja i kartografia m.in. wspomagając merytorycznie i organizacyjnie prodziekana ds. dydaktyki, pełnomocnika dziekana ds. praktyk oraz pełnomocnika dziekana ds. współpracy międzynarodowej,

- kierownik zakładowego laboratorium GIS i fotogrametrii,
- członek Rady Naukowej Instytutu Górnictwa w kadencji 1.10.2010-31.12.2014,
- członek Rady Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii w kadencji 2008 – 2012 (od 28.04.2010 roku w wyniku wyborów uzupełniających),
- członek Rady Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii w kadencji 2012 – 2016,
- członek Rady Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii w kadencji 2016 – 2020,
- członek Wydziałowej Komisji ds. Hospitacji (od 2012 r.),
- członek Wydziałowej Komisji ds. Dotacji Statutowej (od 11.03.2015 r.),
- członek Wydziałowej Komisji ds. Rozwoju Kadry Naukowej (od 10.06.2015 r.),
- członek Wydziałowej Komisji Wyborczej w kadencji 2016-2020,
- członek komisji egzaminacyjnej na studiach stacjonarnych I stopnia na kierunku *górnictwo i geologia* oraz członek komisji egzaminacyjnej na studiach stacjonarnych I stopnia na kierunku *geodezja i kartografia*.

Działalność organizacyjną, taką jak udział w towarzystwach i radach naukowych prowadzę także poza macierzystą Uczelnią. Jestem m.in.:

- przewodniczącym i jednym z założycieli Komisji Dolnośląskiej Polskiego Towarzystwa Informatyki Przestrzennej (PTIP),
- członkiem Polskiego Komitetu *International Society for Mine Surveying*,
- członkiem Komisji 1 - *Education, Legal Issues, Web-Presentation, History International Society for Mine Surveying*,
- członkiem Komisji 4 - *Rock and Ground International Society for Mine Surveying*.

Pozostały zakres aktywności organizacyjnej przedstawiłem w punktach 6.2-6.5 załącznika nr 6 dokumentacji, zaś w odniesieniu do udziału w zespołach eksperckich i konkursowych oraz recenzowania projektów i publikacji w punktach 6.10 - 6.13.

Z. B. L.