

Załącznik 3

Autoreferat

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

dr inż. Tadeusz Głowacki

Wrocław 2023

Spis treści

1	Imię i Nazwisko	2
2	Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	2
3	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	2
4	Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)	3
4.1	Geneza podjęcia tematu	3
4.2	Wprowadzenie	4
4.3	Cel naukowy i omówienie osiągniętych wyników badań	8
4.3.1	Energetyka	8
4.3.2	Górnictwo	12
4.3.3	Deformacje	12
4.3.4	Problem czasu ujawniania deformacji	13
4.3.5	Inne badania na terenach górniczych i pogórnich	15
4.3.6	Ochrona Środowiska	16
4.3.7	Czoło lodowca	16
4.3.8	Moreny lodowcowe	16
4.3.9	Termowizja	18
4.4	Podsumowanie osiągnięcia naukowego	21
	Literatura	22
5	Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej	29
5.1	Przed uzyskaniem stopnia doktora	29
5.2	Po uzyskaniu stopnia doktora	29
6	Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę	31
6.1	Osiągnięcia dydaktyczne	31
6.2	Osiągnięcia organizacyjne	32
6.3	Popularyzacja nauki	33
7	Inne informacje dotyczące kariery zawodowej	34
7.1	Współpraca z gospodarką	34
7.2	Nagrody i wyróżnienia	35
7.3	Kursy i szkolenia	36
7.3.1	Przed uzyskanie stopnia doktora	36
7.3.2	Po uzyskaniu stopnia doktora	36

1. Imię i Nazwisko

Tadeusz Głowacki

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- Dyplom magistra inżyniera, kierunek geodezja i kartografia, Akademia Rolnicza we Wrocławiu, Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska, 1993.
- Stopień doktora w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie górnictwo i geologia inżynierska (specjalność: geodezja inżynierska, ochrona terenów górniczych), Politechnika Wroclawska, Wydział Górnictwa i Geologii, 2002. Temat rozprawy doktorskiej: *Baza danych w dynamicznym modelowaniu obiektów inżynierskich na terenach górniczych.*

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- październik 1993 – wrzesień 2002, Politechnika Wroclawska, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa, Zakład Geodezji i, asystent naukowo-dydaktyczny,
- październik 1997 – wrzesień 2002, Politechnika Wroclawska, Wydział Górnictwa i Geologii, studia doktoranckie,
- październik 2002 – wrzesień 2003, Politechnika Wroclawska, Instytut Górnictwa, Zakład Geodezji i Geoinformatyki, wykładowca,
- październik 2003 – wrzesień 2006, Politechnika Wroclawska, Instytut Górnictwa, Zakład Geodezji i Geoinformatyki, starszy wykładowca,
- październik 2006 – wrzesień 2013, Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa, Zakład Geodezji i Geoinformatyki, adiunkt naukowo-dydaktyczny,
- październik 2013 – wrzesień 2020, Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii Górnictwa i Geologii, Zakład Geodezji i Geoinformatyki, adiunkt naukowo-dydaktyczny,
- październik 2020 – obecnie, Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii Górnictwa i Geologii, Katedra Geodezji i Geoinformatyki, adiunkt naukowo-dydaktyczny.

W dniu 1 października 1993 roku zostałem zatrudniony na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego w Zakładzie Geodezji, Wydziału Górnicztwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej. Cztery lata później, równoległe z pracą asystenta, rozpocząłem studia doktoranckie. Po obronie rozprawy doktorskiej objąłem stanowisko wykładowcy, a następnie starszego wykładowcy w Zakładzie Geodezji i Geoinformatyki Instytutu Górnicztwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej. Od 2013 jestem zatrudniony na stanowisku adiunkta w macierzystej Uczelni. Od 1 października 2020 roku jestem prodziekanem ds. studenckich na swoim macierzystym Wydziale.

Politechnika Wroclawska jest nieprzerwanie od 1993 roku moim podstawowym miejscem pracy naukowej.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

Przedłożone osiągnięcie naukowe stanowi monografia naukowa: **Pomiary geometrii w górnictwie, energetyce i ochronie środowiska**, wydana przez Oficyną Wydawniczą Politechniki Wrocławskiej w 2022 roku. ISBN 978-83-7493-215-8 Recenzenci wydawniczy: prof. dr hab. inż. Edward Osada i dr hab. inż. Justyna Górniak-Zimroz, prof PWr.

4.1. Geneza podjęcia tematu

Deformacje terenów górniczych i pogórnicznych z racji pracy na Wydziale Górnicztwa i Geologii, w Zakładzie Geodezji były od początku kariery naukowej w obszarze moich zainteresowań. Brałem udział w wielu kompaniach bezpośrednich pomiarów deformacji terenów górniczych w różnych obszarach czynnej eksploatacji (LGOM, KWB Turów, Kopalnia Julia w Wałbrzychu), jak i po zamknięciu kopalń (WKWK Wałbrzych, Stare Zagłębie Miedziowe, kopalnia złota w Złotym Stoku, kopalnia cyny i kobaltu w Krobicy). Mierzyłem, a niejednokrotnie dalej biorę udział w pracach terenowych i opracowywaniu wyników pomiarów, analizie deformacji i opracowaniu prognoz zmian dla obszarów, gdzie prowadzona jest eksploatacja, jak również w terenach zakończonej działalności górniczej. Mierzyłem między innymi wyrobiska w zabytkowych kopalniach: złota w Złotym Stoku, cyny i kobaltu w Krobicy, czy też kompleksu Riese w Górach Sowich. Oprócz wspomnianych pomiarów wielkopowierzchniowych i wyrobisk podziemnych związanych z eksploatacją górnictwem i pogórnictwem cyklicznie mierzyłem i w dalszym ciągu mierzę oraz opracowuję geometrię obiektów przemysłowych w KGHM, elektrowniach: Turów i Bełchatów (chłodnie kominowe, kominy, suwnice, słupy nośne i więzary dachowe hal przemysłowych, słupy nośne ciągów transportowych, przenośniki taśmowe, zwałowiska wewnętrzne i zewnętrzne, hałdy). Efektem prac była rozprawa doktorska: *Baza danych w dynamicznym modelowaniu obiektów przemysłowych na terenach górniczych*. w pracy przedstawiłem autorską strukturę relacyjnej bazy danych, w której gromadzone były wyniki pomiarów i analizy zmian. Opracowałem metodę analiz zmian i wykrywania deformacji hal przemysłowych przy użyciu adaptowanych sieci neuronowych, których przyczyną jest eksploatacja górnictwa. Opracowałem system informacji geograficznej (GIS) do prezentacji wyników. Na realizację opisanego zakresu badań otrzymałem grant promotorski KBN Nr 8T12E 044 21 (Sekcja Górnicztwa, Geodezji i Transportu) w 2001 roku. Podsumowaniem prac, oprócz

tytułu doktora i zamknięcia grantu była książka: *Projekty GIS. Administracja i wykorzystanie*, uniwersalna publikacja naukowa o projektowaniu, użytkowaniu i wykorzystaniu systemów GIS; wielokrotnie cytowana przez różnych autorów.

Stopniowo moje zainteresowania naukowe rozszerzyły się o pomiary deformacji na terenach górniczych w innych obszarach (Wapno, Iwiny) i opracowanie prognoz zmian deformacji, zwłaszcza na terenach pogórnich Dolnego Śląska. Jednocześnie wykonywałem pomiary obiektów przemysłowych w różnych częściach Polski: Puławy, Głogów, Bełchatów, Szczecin, Łódź, Wrocław (kominy, chłodnie kominowe, słupy nośne hal) i inne (pomniki, słupy wysokiego napięcia, linie energetyczne, mosty kolejowe i drogowe), co zaowocowało kilkunastoma opracowaniami dla przemysłu i publikacjami naukowymi.

W 2015 roku pojechałem pierwszy raz na Spitsbergen, mierzyłem zmiany na czole lodowca Wereskioldbreen i moreny: czołową, boczne oraz środkową tego lodowca. Wyjazd był inspiracją do zainteresowania glaciologią i zmianami powierzchniowymi na obszarach polarnych. Prace badawcze kontynuowałem jako uczestnik Letnich Wypraw Uniwersytetu Wrocławskiego w 2017 i 2018 roku, w ramach projektu *Przestrzenne i czasowe uwarunkowania dynamiki warstwy czynnej zmarzliny w Arktyce, na obszarze doliny górskiej*. w trakcie pobytu nawiązałem współpracę z naukowcami z różnych krajów, oceniłem możliwości wykorzystania zobrażeń radarowych do analiz zmian prędkości powierzchniowych na lodowcach, zmian ukształtowania powierzchni moren czołowych, bocznych i środkowych. Ogólnie zainteresowałem się możliwościami wykorzystania InSAR (ang: Interferometric Synthetic Aperture Radar) w obszarach trudno- i niedostępnych.

Moja praca naukowa łączy bezpośrednie, tradycyjne pomiary terenowe, jak niwelacja geometryczna i tachimetria ze skanowaniem laserowym, termowizją i pomiarami geofizycznymi z elektrooporowymi włącznie. Opracowuję analizy deformacji z wykorzystaniem danych uzyskanych z pomiarów bezpośrednich, z zobrażeń termowizyjnych, geofizycznych i InSAR. Obliczenia wykonuję z wykorzystaniem różnych programów i aplikacji specjalistycznych, rozszerzeń i kilkunastu wtyczek wspomagających. Użycie zaawansowanych narzędzi obliczeniowych z wykorzystaniem własnych rozwiązań analitycznych pozwoliło mi na opracowanie analiz zmian i przygotowanie prognoz deformacji obiektów przemysłowych, terenów pogórnich oraz lodowców w wielu miejscach na świecie.

4.2. Wprowadzenie

Wszelkiego rodzaju obiekty występujące w otaczającej nas wszystkich przestrzeni (naturalne i sztuczne) mają określony kształt geometryczny, płaski lub przestrzenny. Bezpośrednie i pośrednie pomiary geodezyjne, fotogrametryczne bądź teledetekcyjne pozwalają na wyznaczenie tego kształtu wraz z bezwzględną lub względem innych obiektów orientacją przestrzenną. Wykonanie pomiarów w różnym czasie pozwala na określenie zmian badanego obiektu, wyznaczenie deformacji, a niejednokrotnie obliczenie prognozy zmian (Brinker i Minnick, 1995; Bryś i Przewłocki, 1998; Popiołek, 2009). Deformacja to zmiana położenia wraz z odkształceniem, zmienne w czasie i zapisane ogólnym równaniem:

$$d = x_0 + x_n(t_i, v_i, k_i) \quad (1)$$

gdzie: d – deformacja, x_0 – początkowy stan obiektu, $x_n(t_i, v_i, k_i)$ – stan obiektu po wystąpieniu czynników zewnętrznych v i wewnętrznych k zmienny w jednostce czasu i . Wykorzystanie rachunku wyrównawczego pozwala na ocenę dokładności przeprowadzonych pomiarów, obliczeń, analiz i prognoz. Pozwala również na wyznaczenie narzędzi pomiarowych, których dokładność zagwarantuje otrzymanie poprawnego wyniku (Osada, 2014; Ghilani, 2018).

Zmieniające się metody pomiarowe pozwalają na coraz szybsze i dokładniejsze wyznaczenie kształtu mierzonego obiektu, a stosowanie nowych sensorów w instrumentach pomiarowych zwiększa zakres badanych właściwości obiektów. Dzięki zastosowaniu coraz większej ilości różnorodnych czujników pomiary bezpośrednie i pośrednie są coraz dokładniejsze i szybsze (Weiss i inni, 2016; Debella-Gilo i Kääh, 2012; Aryan i inni, 2021). Stosowanie nowoczesnych narzędzi pomiarowych pozwala prowadzenie obserwacji kształtu obiektu niemalże w trybie ciągłym. Daje to możliwość stałego monitoringu obiektów w obszarach niedostępnych do pomiarów bezpośrednich – zwłaszcza z wykorzystaniem metod teledetekcyjnych i fotogrametrycznych (Kasprzak i inni, 2020; Bishop i inni, 2004).

Nowoczesne algorytmy obliczeniowe pozwalają na obliczenie i wyznaczenie kształtu obiektu oraz zmian w czasie na podstawie pomiarów, jednocześnie podnosząc dokładność przeprowadzanych analiz. Stosowanie sztucznej inteligencji w tym algorytmów genetycznych, sieci neuronowych i uczenia maszynowego pozwala na wyciąganie wniosków i poprawną prognozę przewidywanych zmian (Aggarwal i inni, 2018).

Rozwój metod pomiarowych i obliczeniowych daje coraz większe możliwości analityczne, a wykorzystanie dodatkowych informacji o obiekcie i otoczeniu pozwala na wyciąganie poprawnych wniosków oraz opracowanie prognoz zmian długo i krótkoterminowych. Wykorzystanie technologii InSAR umożliwia zlokalizowanie na terenach pogórnicych deformacji o charakterze ciągłym i nieciągłym powstałych po zakończeniu eksploatacji (Kowalski, 2020; Tajduś i inni, 2021).

W związku z powyższym uważam, że niezależnie od rodzaju obiektu, podjęcie badań mających na celu analizy kształtu badanego obiektu jest zasadne. Każdy z badanych obiektów ma określone przeznaczenie: obiekty zbudowane przez człowieka – w przemyśle (m. in. w energetyce i górnictwie) służą do wytwarzania, przesyłania i przetwarzania energii, naturalne – tworzenie krajobrazu lokalnego i ogólnosiwiatowego, zachowanie zasobów naturalnych jak np. lasy, góry, zbiorniki i ciek wodne.

Zmiany (deformacje) obiektów w czasie mają różnego rodzaju konsekwencje. Deformacje obiektów przemysłowych mogą prowadzić do katastrof w energetyce, czy górnictwie. Braki w dostawach energii, wody, gazu, ciepła to poważne ograniczenie komfortu życia i sprawnego działania gospodarki. Deformacje obiektów i powierzchni naturalnych prowadzą do zmian krajobrazu, degradacji środowiska i zmian klimatycznych, wzrostu poziomu mórz i oceanów, zanieczyszczenie środowiska. Dlatego konieczne jest stały i poprawny monitoring wszelkiego rodzaju obiektów oraz poprawne prognozy zmian w czasie i przestrzeni. Wyznaczenie przemieszczeń przy użyciu zobrażeń InSAR jest obecnie coraz częściej stosowaną metodą wyznaczenia deformacji pionowych i poziomych dla terenów górniczych i pogórnicych (Xing i inni, 2022; Li i inni, 2019; Colombo i MacDonald, 2015; Herrera i inni, 2007).

Dane SAR gromadzone są od 30 lat i pozwalają na analizę zdarzeń, które miały miejsce w przeszłości. Obecnie aktywne satelity (m.in: Sentinel 1A/B, TerraSAR-X, konstelacja satelitów Cosmo-Sky-Med, ALOS-2) umożliwiają prowadzenie niemalże ciągłego monitoringu powierzchni dowolnego obszaru na ziemi.

Podstawowym wynikiem przetworzenia dwóch zobrażeń radarowych jest interferogram, który oprócz informacji o deformacji powierzchni terenu zawiera również szereg innych składowych, zakłócających poprawny wynik końcowy. Równanie fazy interferometrycznej dla dowolnej pary SAR można przedstawić za pomocą równania:

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda}(\Delta R_{ij} + \Delta t_{ij} + \Delta\alpha_{ij} + \Delta v_{ij}) \quad (2)$$

gdzie: ϕ – różnica faz, λ – długość fali, ΔR_{ij} – przemieszczenia powierzchni, Δt_{ij} – geo-

metryczna różnica zakresu radar – cel spowodowana niezerową przestrzenną linią bazową między dwiema orbitami, $\Delta\alpha_{ij}$ – opóźnienie troposferyczne i jonosferyczne oraz Δv_{ij} – szum termiczny i zmienności rozpraszania. Składowa deformacyjna zawiera informacje o ewentualnych przemieszczeniach pomiędzy kolejnymi akwizycjami ij w pozyskaniu danych radarowych. Wyznaczenie ΔR_{ij} jest kluczowe w obliczeniach metodami InSAR. Niemniej jednak często suma pozostałych składowych jest na tyle istotna, że utrudnia lub wręcz uniemożliwia poprawne wyznaczenie przemieszczeń. Aktualnie składowa topograficzna oraz błędy orbit są wyznaczane z łatwych wzorów ogólnych. Natomiast opóźnienie atmosferyczne α , na które składają się wpływy jonosfery oraz troposfery w metodach InSAR jest obecnie przedmiotem badań (Li i inni, 2009; Fattahi i inni, 2017; Yu i inni, 2018).

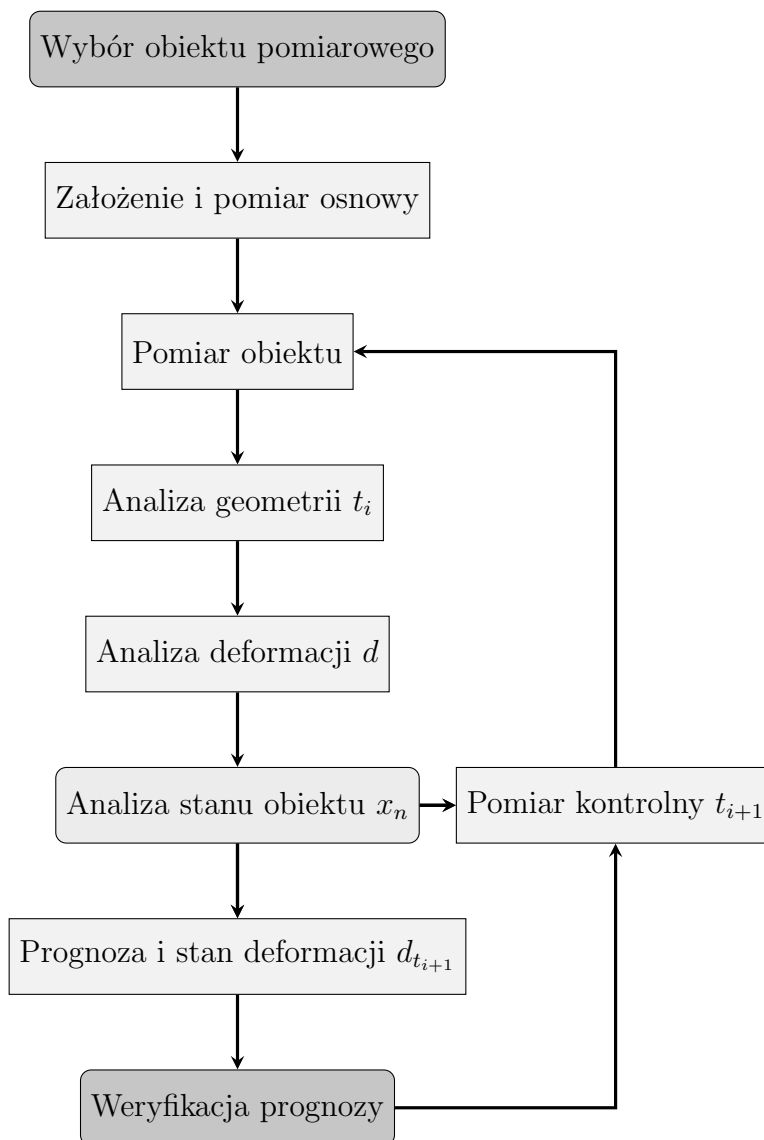
Deformacje i zmiany krajobrazu powierzchni terenu wywołane bezpośrednio (eksploatacja) i pośrednio (zmiany klimatyczne) działalnością człowieka bez wątpienia stanowią jeden z głównych negatywnych wpływów ingerencji ludzkości na otoczenie. W zależności od warunków geologicznych deformacje powierzchni mogą mieć charakter ciągły lub nieciągły. Metodami wyznaczenia tego typu deformacji to niwelacja precyzyjna, tachimetria i GNSS. Jednak nie zawsze możliwe jest wykorzystanie tych metod, ze względu na ograniczenia czasowe (pomiar może trwać kilka dni lub tygodni), przestrzenne i dostępność terenową. Brak wspomnianych ograniczeń dają metody bazujące na satelitarnej interferometrii radarowej oraz powierzchniowe pomiary terenowe GBInSAR (Ground Based InSAR) (Carlà i inni, 2018). Metody InSAR są wykorzystywane w detekcji deformacji powierzchni na terenach górniczych i pogórnicych do analizy wtórnych deformacji wywołanych działalnością górnictwem (Samsonov i inni, 2013; Caro Cuenca i inni, 2013).

W analizie przemieszczeń z wykorzystaniem InSAR stosowane są metody: różnicowa DInSAR (*Differential SAR Interferometry*) (Monti-Guarnieri i inni, 1993; Barboux i inni, 2014; Hanssen, 2001) metody oparte o *time series*: PSInSAR (*Persistent Scatterer Interferometry*) wraz z odmianami (Ferretti i inni, 2011; Liu i inni, 2014) oraz SBAS (*Small BAseline Subset*) (Zhao i inni, 2016; Wang i inni, 2019). Do analiz powierzchniowych przemieszczeń szybkozmiennych, np. na terenach polarnych do wyznaczenia prędkości powierzchni lodowców wykorzystywana jest technika AutoRIFT (*Autonomous Repeat Image Feature Tracking*) oparta na zobrażowaniach SAR (Lei i inni, 2021; Gardner i inni, 2018).

Bardzo często się zdarza, że podziemna eksploatacja górnictwem powoduje powstawanie indukowanych zjawisk sejsmicznych – wstrząsów górnicych. Wpływ sejsmiki indukowanej, podobnie jak wpływ podziemnej i odkrywkowej eksploatacji górnicych na powierzchnię, może być obserwowany za pomocą satelitarnych danych radarowych (Malinowska i inni, 2018; Milczarek, 2019).

Geodezja jest między innymi nauką o pomiarach geometrii. W kolejnych rozdziałach opisano sposoby wykorzystania pomiarów geodezyjnych w analizach deformacji obiektów niezależnie od genezy ich powstania. Etapy prac i analiz przedstawiono w uproszczonym schemacie blokowym (rys. 1) – są one wspólne w przypadku wszystkich omawianych obiektów bez względu na genezę powstania, metodę pomiarową, częstotliwość pomiarów, metody opracowania wyników, analizy stanu geometrii czy prognoz zmian i deformacji.

Pierwszym etapem jest wybór obiektu do pomiaru wśród naturalnych jak lodowce, moreny, skarpy, osuwiska lub stoki czy sztucznych jak wiatraki, tunele, kominy, chłodnie, hale, budynki, mosty, linie kolejowe, drogi itp. W kolejnym założona zostaje i zmierzona osnowa odniesienia, która jest niezbędna przy pomiarach bezpośrednich – osnowa w tym przypadku to punkty uznawane za stałe przy kolejnych pomiarach kontrolnych. W pomiarach pośrednich wykorzystujących fotogrametrię i teledetekcję osnową są punkty, czasami piksele na zobrażowaniach uznawane za stałe, niezmiennie w kolejnych okresach pomiaro-



Rysunek 1. Schemat pomiarów geometrii obiektów wraz z analizą zmian, wyznaczeniem deformacji, prognozą i weryfikacją prognozy

wych. Etapem następnym jest pomiar obiektu: bezpośredni w terenie (*in situ*) lub pośredni na zdjęciach i zobrazowaniach satelitarnych. W wyniku pomiaru powstaje bardzo duża liczba danych wymagających opracowania, a w konsekwencji obliczenia stanu geometrii obiektu w momencie czasu (t_0, t_1, \dots, t_i) . W kolejnym przeprowadzana jest analiza deformacji, czyli zmian geometrii obiektu w kolejnych momentach czasu: $d = t_{i-1} - t_i$. Analiza stanu obiektu oznacza uwzględnienie wszystkich zmian zaobserwowanych od początku do stanu aktualnego. Następnie przeprowadza się weryfikację stanu obiektu i opracuje prognozy możliwych zmian w kolejnym odstępie czasowym: $d_{t_{i+1}}$. Ostatnim etapem jest weryfikacja opracowanej prognozy zarówno krótkoterminowej, jak i długoterminowej. Na podstawie przesłanek o zmianach i przeprowadzonych pomiarów aktualnych będzie możliwa weryfikacja stanu geometrycznego rozpatrywanego obiektu. Takie postępowanie jest spójne i możliwe do zastosowania w każdych warunkach terenowych i czasowych.

4.3. Cel naukowy i omówienie osiągniętych wyników badań

Głównym celem moich prac badawczych, które doprowadziły do opracowania prezentowanego osiągnięcia naukowego, były *pomiary geometrii obiektów naturalnych i przemysłowych, które umożliwiają określenie zbliżonego do prawdziwego kształtu obiektu w czasie pomiaru. Pozwalają na ocenę stanu deformacji obiektu w czasie i przestrzeni, oraz opracowanie prognozy zmian i deformacji każdego obiektu w zmieniających się warunkach przestrzenno-czasowych i środowiskowych*. Osiągnięcie założonego celu pracy było możliwe dzięki realizacji celów cząstkowych i przeprowadzaniu szeroko zakrojonych badań naukowych, obejmujących kilka etapów omówionych poniżej.

Przedmiotem badań i opracowań geometrycznych, wykonanych na podstawie pomiarów bezpośrednich, analizy literatury i dostępnych danych darmowych, stanowiących zespół osiągnięcia naukowego były:

- obiekty przemysłowe – wysokie kominy przemysłowe w elektrociepłowni w Łodzi i nieczynnej cukrowni w Miękinii, hiperboloidalne chłodnie kominowe w Głogowie – huta miedzi i elektrowni w Rogowcu koło Bełchatowa, wieże turbin wiatrowych na farmie wiatrowej w Gaju Oławskim i Legnickim Polu (woj. dolnośląskie) – pomiary bezpośrednie i dane z literatury,
- obszary pogórnice – teren starego zagłębia miedziowego w Iwinach na przykładzie kopalni Konrad i Lena, stare zagłębia węglowe w Wałbrzychu na przykładzie Wałbrzyskich Kopalń Węgla Kamiennego (WKWK), w Zaclerzu (Czechy) na przykładzie kopalni Jan Sverna, w południowej części Limburgii (na pograniczu Belgii, Niemiec i Holandii), oraz kopalnia w Kowarach, gdzie eksploatowano rudy żelaza i uranu – dane wykorzystane z literatury i darmowe dane satelitarne,
- obiekty naturalne – lodowce i moreny lodowcowe na Spitsbergenie, w Nowej Zelandii i na Islandii – pomiary bezpośrednie, analiza literatury i darmowe dane satelitarne.

Wspólnym wykładnikiem wszystkich obiektów jest opracowanie kształtu geometrycznego badanego obiektu w celu określenia stanu i opracowania prognozy deformacji. Rodzaj obiektu i lokalizacja określają naukowe cele cząstkowe, które chociażby z racji wykorzystania podobnych metod pomiarowych są ze sobą ściśle powiązane. Do każdego z opracowywanych tematów powołałem zespoły badawcze, którymi kieruję, lub których jestem członkiem. Poniżej opis mojego wkładu w rozwój dyscypliny **Inżynieria środowiska, Górnictwo i Energetyka**.

4.3.1. Energetyka

Pozyskanie energii ze źródeł odnawialnych, to aktualnie najważniejszy cel strategii energetycznej Unii Europejskiej (Parlament Europejski i Rada Europy, 2018). Jednym ze źródeł energii jest wiatr, a turbiny wiatrowe – popularnie zwane wiatrakami to urządzenia, które pozwalają przetwarzać energię wiatru na energię elektryczną. Sprawne działanie turbiny wiatrowej – małej elektrowni, zapewnia dostawy prądu w czasie poruszania się powietrza. Monitoring geodezyjny pozwala na wyznaczenie wychyleń osi turbiny wiatrowej w przestrzeni i czasie. Nagłe zmiany wychylenia, czy zbyt duży przechył mogą doprowadzić do usterki w produkcji prądu, a nawet katastrofy – zawalenie obiektu. Wykazałem, na podstawie pomiarów bezpośrednich skanerem naziemnym, że słupy turbin wiatrowych

wychylają się zgodnie z kierunkiem wiatru i zmianą intensywności nasłonecznienia – różnice kilku stopni Celsjusza w nagrzewaniu powierzchni bocznej konstrukcji wieży powodują wzrost wychylenia o kilka centymetrów. Na wychylenie wpływa również ruch rotora z łopatomi śmigieł wzmagając wielkość wychylenia. Najbardziej efektywną metodą pomiaru stanu obiektu wysmukłego, a jednocześnie wiotkiego jest jednoczesna ekspozycja fotogrametryczna z co najmniej trzech stanowisk pomiarowych. Taka metoda pomiarowa pozwala uniknąć wpływu ruchu powietrza, ruchu wirnika i łopat na badany obiekt. Jest to bardzo kosztochłonna metoda, gdyż wykorzystywane aparaty fotograficzne muszą spełniać wymogi kamer metrycznych o dużej rozdzielczości w celu uzyskania wymaganych dokładności opracowania. Pomiary kominów i chłodni kominowych nie wymagają wspomnianych wyżej obostrzeń, gdyż nie są budowlami wiotkimi, zależnymi od podmuchów wiatru, jedynie słońce ma wpływ na kształt geometryczny opisywanego obiektu. Tutaj pomiar klasyczny – tachimetryczny lub skaning naziemny, pozwala na miarodajne przedstawienie kształtu obiektu. Nawet pomiar jednym instrumentem na kolejnych stanowiskach, który trwać może 2–3 godziny nie obniża jakości opracowania stanu obiektu. Zasada pomiaru została przedstawiona w opublikowanych opracowaniach naukowych (Głowacki, 2022) i raportach branżowych. Opracowanie może mieć postać dwu lub trójwymiarową (2D lub 3D). Dwuwymiarowe polega na wyliczeniu odchyłek od wartości nominalnych w płaszczyźnie poziomej i pionowej osobno. Trójwymiarowe polega na jednoczesnym wpasowaniu punktów pomiarowych, najczęściej w postaci chmury punktów w zadaną figurę przestrzenną lub wpasowaniu w inną chmurę punktów metodą najmniejszych kwadratów a następnie wyznaczeniu odchyłek (Kocierz i inni, 2018; Gawałkiewicz, 2015).

Wyliczenie odchyłek geometrycznych od wartości nominalnych polega na wpasowanie w punkty pomiarowe o wyznaczonych współrzędnych płaskich okręgu metodą najmniejszych kwadratów (MNK) (Zhaojia i inni, 2017; Chernov i Lesort, 2005). Równanie okręgu można zapisać jako:

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = R \quad (3)$$

co wyrażone w zapisie kanonicznym ma postać:

$$x^2 + y^2 - 2x_c x - 2y_c y + x_c^2 + y_c^2 = R^2 \quad (4)$$

Na początku należy ustalić przybliżone współrzędne środka okręgu x_c, y_c i promienia r_c . Współrzędne środka wylicza się jako średnią wartość istniejących współrzędnych.

Długość promienia okręgu wyliczona zostanie jako średnia ważona wszystkich promieni wyznaczonych do punktów pomierzonych zgodnie z zależnością:

$$\begin{aligned} x_c &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \\ y_c &= \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \\ r_c &= \frac{\sum_{i=1}^n r_i p}{\sum_{i=1}^n p} \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie:

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2} \quad (6)$$

a p to waga wyznaczonego promienia, obliczona ze wzoru:

$$p = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \quad (7)$$

α to kąt nachylenia promienia względem płaszczyzny poziomej obliczony z zależności:

$$\alpha = \arctg \frac{y_i - y_c}{x_i - x_c} \quad (8)$$

Macierz współczynników ma postać:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & -1 \\ a_2 & b_2 & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_n & b_n & -1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

gdzie:

$$a_i = \frac{-(x_i - x_c)}{r_i}, \quad b_i = \frac{-(y_i - y_c)}{r_i} \quad (10)$$

Wektor wyrazów wolnych:

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} r_1 - r_c \\ r_2 - r_c \\ \vdots \\ r_n - r_c \end{bmatrix} \quad (11)$$

W wyniku rozwiązania układu macierzy powstaje równanie, z którego wylicza się wektor niewiadomych (przyrostów/poprawek) do wartości przybliżonych współrzędnych środka okręgu i promienia.

$$\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{L} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta r \end{bmatrix} \quad (12)$$

Poprawki v_i do wyliczonych promieni obliczone zostają natomiast z modelu rachunku macierzowego $\mathbf{v} = \mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{L}$.

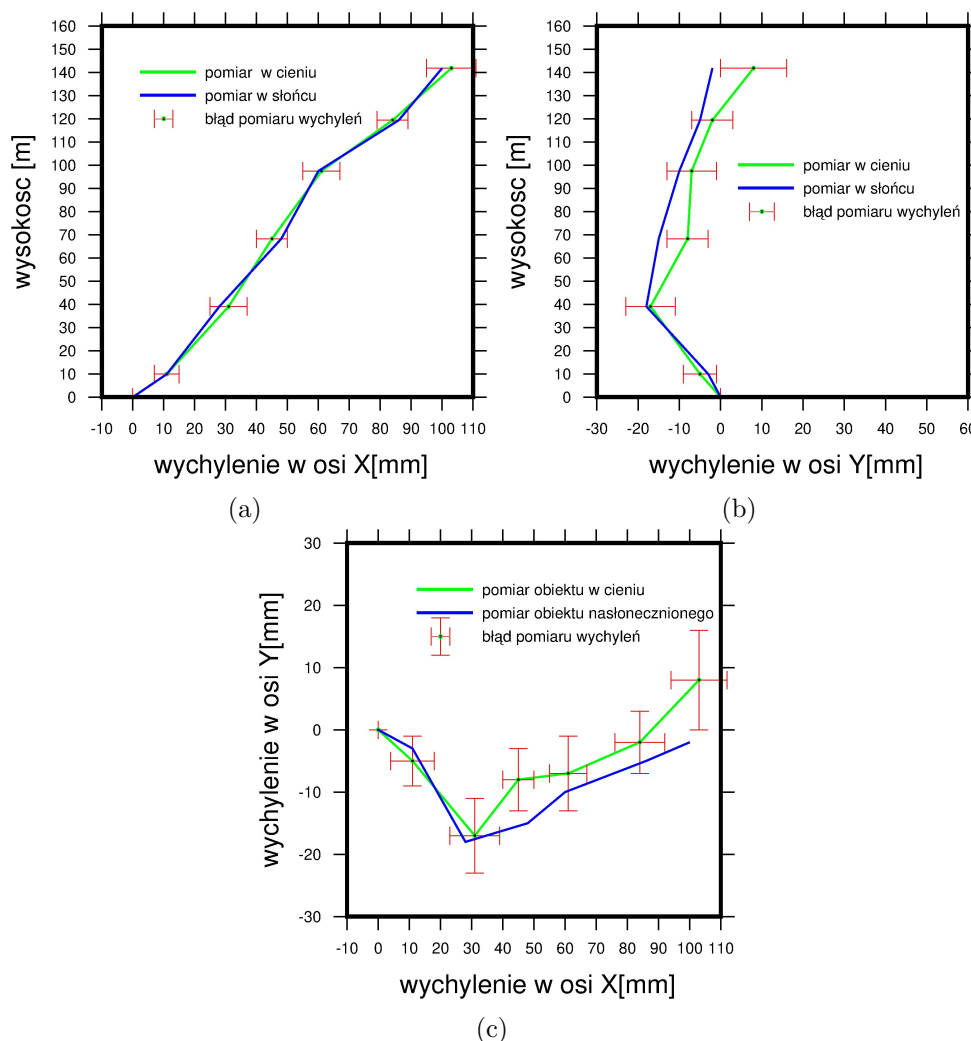
$$\mathbf{v} = \mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{L} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

i stanowią odchylenie wpasowanego okręgu w zbiór punktów o znanych współrzędnych. Ocena dokładności wpasowania, to odchylenie standardowe wyliczone zgodnie ze wzorem:

$$\delta = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{v}}{n - k}} \quad (14)$$

gdzie n to liczba niewiadomych (w okręgu o trzech wartościach), a k to liczba obserwacji (par współrzędnych lub liczby punktów). Wzór (5) i założenie obliczeniowe opiera się na zasadzie równomiernego z wagowaniem rozłożenia punktów wokół środka wyliczanego okręgu. Punkty pomiarowe mogą być rozmieszczone jednak nierównomiernie. W takim przypadku należy obliczenia współrzędnych środka okręgu i nominalnego promienia wykonać iteracyjnie (metodą kolejnych przybliżeń), przyjmując za każdym razem wartości wyliczone jako przybliżone w kolejnym kroku obliczeń.

Na rysunkach pokazano wykresy wychyleń osi obiektu w dwóch etapach pomiaru: w czasie, kiedy niebo było zachmurzone, oraz w momencie nasłonecznienia. Rysunki pokazują wychylenia osi wieży wiatrowej w płaszczyznach XY (rys. 2c), XZ (rys. 2a) i YZ (rys. 2b), wraz z błędami wyliczonych wychyleń w osiach X i Y .



Rysunek 2. Wychylenie osi wieży turbiny wiatrowej w cieniu i z nasłonecznieniem (wraz z błędami pomiarowymi) w osiach: (a) XZ, (b) YZ, (c) XY

Na wykresie osi wieży widocznym na rys. 2 ukazano wychylenie trzonu wieży w kierunku północno-zachodnim. W odniesieniu do lokalnej sieci pomiarowej wychylenia postępują w kierunku linii łączącej stanowisko trzecie i drugie. Wyjątkiem jest wychylenie między pierwszym a drugim poziomem. Intensywne nasłonecznienie – pomiar robiony w lipcu, powoduje, że wychylenia zwiększają się wraz ze wysokością obiektu w kierunku południowym (w stronę słońca). Wartości wychyleń są znaczne, wykraczają poza dokładność pomiaru wskazując na istotne wartości tego czynnika naturalnego. Według instrukcji i norm pomiarów geometrii wież turbin wiatrowych nie należy wykonywać w pełnym słońcu. Wielkości wychyleń mierzonych w dni pochmurne wskazują na bezpieczną eksploatację mierzonego obiektu (1/1000 wysokości), jednak wychylenia wykazywane w dni słoneczne mogą wskazywać na przekroczenie stosowanych norm. Aktualnie mamy coraz więcej dni słonecznych, w czasie których warunki pogodowe są niesprzyjające. Moim zdaniem pomiary powinny być wykonywane w jak najbardziej niesprzyjających, jednak stałych warunkach, aby oddać rzeczywistą odporność konstrukcji w trakcie eksploatacji. Stałość warunków pogodowych gwarantuje otrzymanie wymaganych dokładności pomiarowych. Zmienne porywy wiatru powodować mogą drastyczne obniżenie dokładności pomiaru. gdzie błąd pomiaru będzie większy od wartości wychylenia. Katastrofy zdarzają

się w najgorszych warunkach pogodowych, przy dużych podmuchach wiatru. Ważniejszym elementem jest jak najszybszy jednoczesny pomiar obiektu, najlepiej synchronicznie jednocześnie z 3 stanowisk metodą fotogrametryczną lub skaningu laserowego. Można przypuszczać, że wpływ nasłonecznienia może mieć znaczenie przy badaniach wychyleń innych obiektów wysmukłych, jak wieże, maszty telekomunikacyjne, wieże wyciągowe, słupy wysokiego napięcia, postumenty i figury. Jednak we wspomnianych wypadkach istnieją dodatkowe przesłanki ograniczające lub wzmacniające deformacje obiektu, jak np. liny odciągowe, wsporniki, kotwy itp. w dotychczasowych opracowaniach nie przeprowadzałem jednak takich badań i pomiarów.

4.3.2. Górnictwo

Działalność wydobywcza jest jedną z podstawowych aktywności człowieka. Wydobywanie różnego rodzaju pierwiastków jest konieczne do rozwoju technologicznego na świecie. Niestety działalność górnicza pociąga za sobą różnego rodzaju skutki uboczne, jak powierzchniowe deformacje pierwotne – w czasie eksploatacji i wtórne – po zaprzestaniu wydobywania typu: zapadliska, osuwiska, urwiska, zalewiska i podtopienia. Bezpieczna dla społeczeństwa i środowiska eksploatacja górnicza wymaga stałego pomiaru geodezyjnego, wyznaczenia wskaźników deformacji terenu oraz prognozy postępu i/lub zaniku negatywnych wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię. Aktualnie pomiary tradycyjne wypierane są przez analizy SAR, ze szczególnym użytkowaniem InSAR, umożliwiające wyznaczenie deformacji w sposób pośredni, bez angażowania zespołów pomiarowych i środków do żmudnych i długotrwałych pomiarów i opracowań. Zobrazowania satelitarne są darmowe (Sentinel-1), a ekspozycje następują w stałych interwałach czasowych – co 6 lub 12 dni. Dokładność metod InSAR dorównuje stosowanym wcześniej rozwiązaniom. Jednak wykorzystanie tradycyjnych metod pomiarowych umożliwia kontrolę i weryfikację metod teledetekcyjnych.

4.3.3. Deformacje

W czasie pracy na Politechnice Wrocławskiej brałem udział w geodezyjnych pomiarach bezpośrednich, dzięki którym ustalone zostały wielkości deformacji na terenach górniczych kopalń Wałbrzyskich i starego Zagłębia Miedziowego, opisywane wskaźnikami deformacji. Pomiary bezpośrednie były przeprowadzane w trakcie działania części zakładów górniczych. Brałem udział w kompaniach pomiarowych jako pomiarowy, niekiedy kierownik zespołu pomiarowego. Brałem udział w obliczeniach wskaźników deformacji, określeniu kategorii terenu górniczego. Już po zamknięciu kopalń brałem udział w pomiarach deformacji terenów pogórniczych, określając zmiany na powierzchni wywołane zakończeniem eksploatacji i zaprzestaniem prac zabezpieczających. Podobny zakres prac był przeprowadzany na terenie Starego Zagłębia Miedziowego w Iwinach. Brałem bezpośredni udział w pomiarach terenowych, obliczeniach wskaźników deformacji i określeniu kategorii terenu górniczego.

Przyczyną zmian w ukształtowaniu powierzchni jest zmiana poziomów wód gruntowych i wewnątrz górotworu. Wydobywanie wymaga stałego odpompowania wody. Zaprzestanie eksploatacji powoduje odbudowę zwierciadeł wód podziemnych, pęcznienie gruntu, a w konsekwencji wypiętrzanie terenu. Wskazałem, że proces ten jest rozłożony w czasie, trwa bardzo długo i jest wspólny, pomimo różnego typu kopalni, różnicą jest rozłożenie w czasie. Długość i różnorodność tego procesu uzależniona jest od budowy geologicznej

górotworu, tektoniki rejonu po wydobywczego, indywidualnej specyfiki prac górniczych. Jak wspomniałem wcześniej – proces wypiętrzania terenu jest spowodowany zmianą wysokości zwierciadła wód podziemnych. Wzrost siły wyporu wody powoduje zmniejszenie ciśnienia nadkładu zalegającego nad wyrobiskiem, a to jest bezpośrednią przyczyną występowania wypiętrzeń. Wypiętrzenia te są jednak stosunkowo niewielkie w porównaniu z wcześniej pomierzonymi obniżeniami terenu i stanowią około 10–20% rejestrowanych osiadań (Palczek, 2008; Newman i inni, 2017).

4.3.4. Problem czasu ujawniania deformacji

Czas, po którym ujawniają się deformacje terenu po zamknięciu zakładu górniczego, jest różny w przypadku różnych kopalni – zależy m.in. od specyficznych warunków geologicznych i górniczych oraz innych wartości. Wiele kopalni w Polsce i na świecie zostało zamkniętych, wpływy na powierzchni w postaci zarówno deformacji ciągłych, jak i nieciągłych stale są jednak ujawniane (Tajduś i inni, 2021; Salmi i inni, 2017; Ji i inni, 2016; Hejmanowski i Sroka, 2000). Próbę obliczenia czasu zaniku deformacji na przykładzie omawianych wcześniej obszarów górniczych podano w postaci wzorów (15) i (16). Problem zaniku wpływów głównych i ujawniania się wpływów wtórnych opisał Kowalski i Kmak w swoich pracach (Kowalski, 2017b; Kmak i inni, 2000):

$$t = -\ln \frac{1}{c} \left(1 - \frac{\Delta w}{w_s}\right) \quad (15)$$

stanowiące rozwinięcie wzoru:

$$F(t) = 1 - e^{-ct} \quad (16)$$

który pochodzi z teorii Knothe (Knothe, 1984), gdzie t – czas zaniku wpływów eksploatacji, c – współczynnik czasu dla zanikających deformacji, Δw – przemieszczenia pionowe, w_s – to spodziewane obniżenie końcowe.

Największym problemem jest ustalenie wielkości współczynnika czasu c . Zmienia się on zależnie od wielu wartości naturalnych i górniczych zmiennych przestrzennie i czasowo: sposób eksploatacji, głębokość wydobywania, grubość wydobytych pokładów (furta eksploatacyjna) oraz rodzaj i wielkość nadkładu. Ogólnie – im płycej zalegające pokłady i bardziej miękka skała, tym współczynnik wyższy. Dzięki zastosowaniu parametru czasu można opisać wpływ właściwości fizycznych i mechanicznych warstw nadkładu na przebieg procesu osiadania powierzchni w czasie (Hu i inni, 2015).

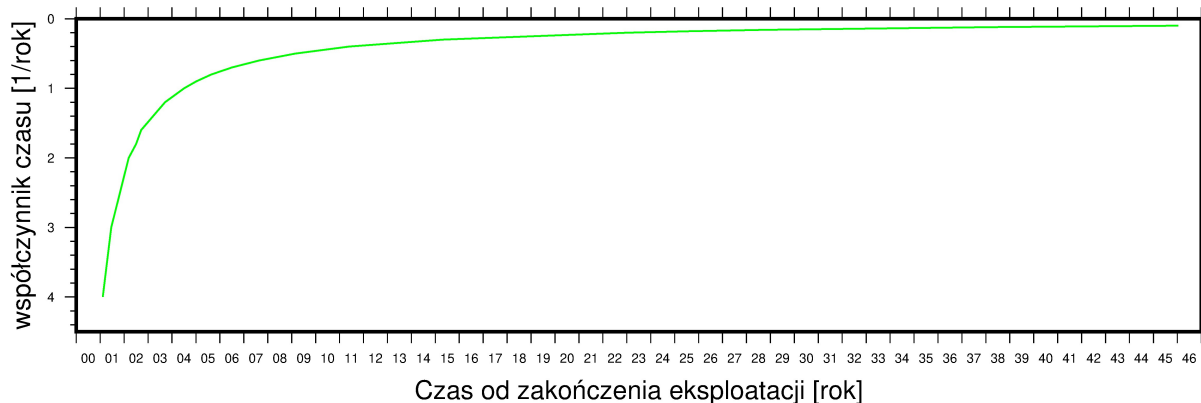
Najczęściej stosuje się uśrednienie geometryczne współczynnika dla całego obszaru górniczego lub wpasowanie metodą najmniejszych kwadratów prowadzące do uzyskania jego wartości. Jeśli zestawione zostaną wyniki pomiarów na wybranych obszarach górniczych, można stwierdzić, że czas ujawniania deformacji wtórnych jest bardzo wydłużony, jak to pokazano na rys. 3.

Wielkość współczynnika czasu wyznacza się z wzoru (Kowalski, 2017a):

$$\Delta u_3 = A_i(1 - e^{-c(t-t_k)}) \quad (17)$$

gdzie: Δu_3 – przyrost pionowej składowej przemieszczeń, c – współczynnik czasu, t i t_k – długość prognozy i początek ujawniania deformacji, A_i – przyrost przemieszczeń pionowych. Jeżeli wzór (17) zostanie uproszczony, za różnymi autorami (Tajduś i inni, 2010; Borecki, 1982; Ścigała, 2013, 2012) i w odniesieniu do teorii Knothe można zapisać, że wartość funkcji czasu zależy od prędkości przemieszczenia w jednostce czasu:

$$v_w(t) = \frac{\partial w(t)}{\partial t} = c[w_k - w(t)] \quad (18)$$

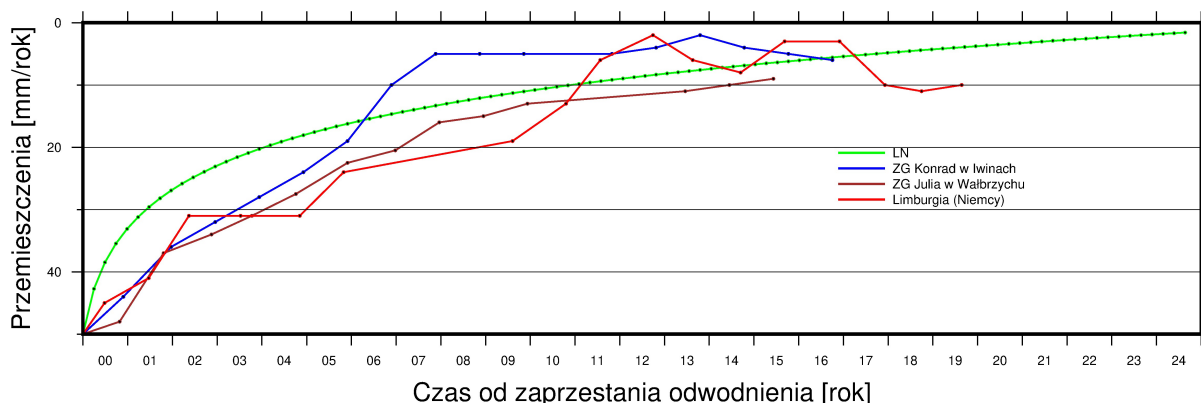


Rysunek 3. Wykres momentu ujawnienia wpływów, zależnie od wielkości współczynnika czasu c

co po uporządkowaniu i uproszczeniu, za Strzałkowskim i Białkiem, można zapisać w formie zależności parametru od kąta wpływów β i od głębokości eksploatacji H (Strzałkowski i Ścigąła, 2020; Białek, 2003).

W opisie są uwzględnione stare zagłębia, gdzie nie prowadzi się prac wydobywczych, a wyrobiska zostały zalane sztucznie lub naturalnie przez wody ze struktur karbońskich i czwartorzędowych. W niektórych kopalniach dopływy były również z powierzchniowych wód rzecznych, zależnie od uwarunkowań naturalnych.

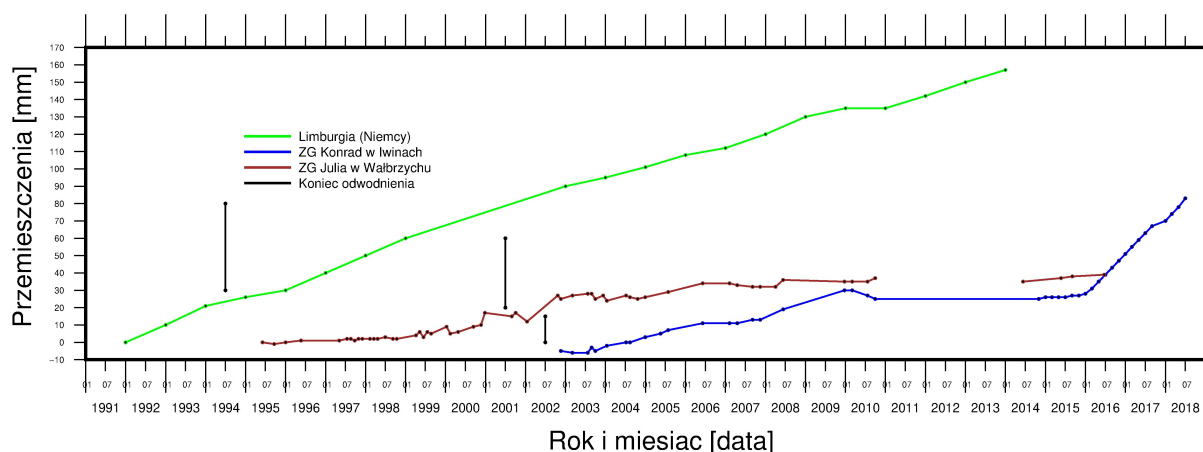
Na rysunku 4 przedstawiono zestawienie trzech niezależnych obszarów górniczych z funkcją czasu. Po przeliczeniu wzoru (15) można przyjąć, że wpływy resztkowe będą



Rysunek 4. Przemieszczenia pionowe w zamkniętych zagłębiach górniczych wraz z funkcją czasu

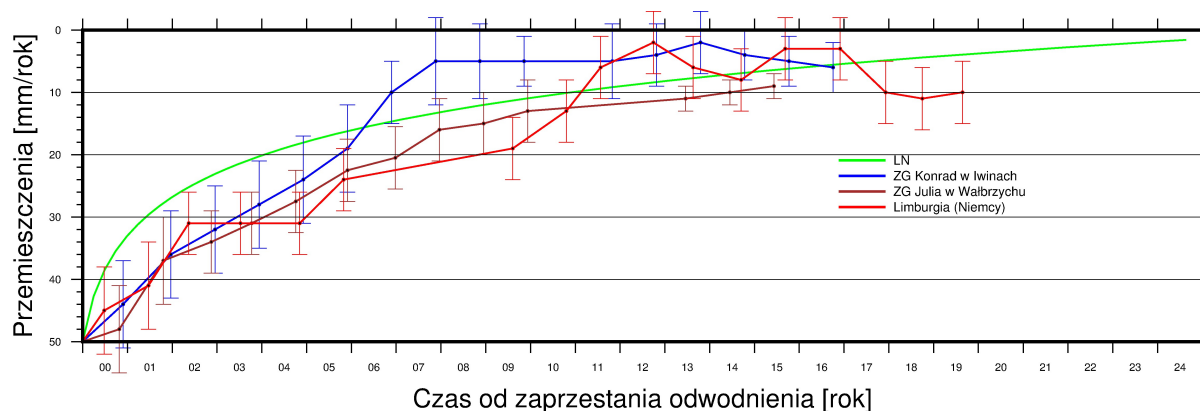
zauważalne po pięciu latach od zakończenia eksploatacji i zaprzestaniu odwodnienia górotworu. Z pomiarów geodezyjnych i interferometrycznych wynika natomiast, że wpływy działalności górniczej są zauważalne nawet po 20 latach od zamknięcia zakładów górniczych, a zaprzestanie odwodnienia powoduje dalsze ruchy powierzchni – naprzemiennie wypiętrzające i osiadania (por. rys. 5).

Problem czasu ujawniania się deformacji po zakończonej eksploatacji jest bardzo istotny. Salmi w pracy opisuje, że ujawnianie wpływów eksploatacji w filarach ochronnych i oporowych może trwać nawet 100 lat, zależnie od budowy geologicznej nadkładu i zabezpieczenia (Salmi i inni, 2017). Tak długo wytrzymywać będą filary, które z czasem mogą ulec degradacji, a nawet zostać zniszczone, co spowoduje deformacje na powierzchni. Woda gruntowa, jej skład chemiczny, zawiesiny może spowolnić lub przyspieszyć proces niszczenia. Innym zjawiskiem ujawniającym się po pewnym czasie od zamknięcia kopalń jest



Rysunek 5. Przemieszczenia pionowe w zamkniętych zagłębiach górniczych, po zaprzestaniu odwodnienia górotworu

powstawanie deformacji nieciągłych, nawet kilkadziesiąt lat po zaprzestaniu eksploatacji. Na terenie Wielkiej Brytanii uaktywniły się główne uskoki tektoniczne, a deformacje osiągają tam kilka metrów (Yu i inni, 2007; Donnelly i inni, 2008). Błędy w wynikach pomiarów deformacji na terenach pogórnich wskazują że założenie o czasie ujawniania się wpływów jest zasadne. Wyznaczenie przemieszczeń przy użyciu InSAR metodą PS lub SBAS skutkuje wynikami na poziomie $\pm 7\text{--}10$ mm/rok. Na wykresie – rys. 6 przemieszczenia pionowe z błędami pomiarowymi w porównaniu z proponowanym wykresem opisującym czas deformacji.



Rysunek 6. Przemieszczenia pionowe w zamkniętych zagłębiach górniczych, logarytm naturalny – wykres prognozowanego czasu wpływów pośrednich eksploatacji

Na prowadzenie badań nad określeniem czasu deformacji wtórnych otrzymałem grant habilitacyjny Politechniki Wrocławskiej w 2013 r. na prowadzenie badań w zakresie wykorzystania sieci neuronowych w analizie przemieszczeń na terenach pogórnich, na przykładzie kopalni Konrad w Iwinach (Głowacki i Milczarek, 2013).

4.3.5. Inne badania na terenach górniczych i pogórnich

Pomiary zwałowisk zewnętrznych w kopalni Turów pozwoliły ustalić przyczyny powstania osuwisk mas nadkładu na zwałowisku. Problem osuwiska był bardzo istotny, gdyż masy nadkładu zbliżały się do granicy państwa. Dzięki pomiarom określiłem zakres powiększonego zwałowiska oraz miejsce lokalizacji ścianek szczelnych do zatrzymania

obsuwających się mas ziemi. W ramach opracowania powstała mapa zwałowiska w rejonie osuwiska z zaznaczonymi obiektami ważnymi ze względu bliskości granicy państwa (Głowacki i inni, 1998).

Inną pracą były pomiary zbiorników zasilania węgla w kopalni KWB Bełchatów, które pozwoliły z kolei oznaczyć deformacje zbiorników zasilających elektrownię w paliwo węglowe do produkcji energii elektrycznej (Rejman i inni, 1997).

W KGHM PM S.A. zakładałem punkty kontrolne do badania deformacji terenu. Ze zbioru punktów powstała osnowa pomiarowa, która mierzona była w kilku kompaniach pomiarowych. Pozwoliło to na określenie wskaźników deformacji terenu górniczego, map deformacji i określenie kategorii terenów górniczych według obowiązujących przepisów, opublikowane m.in. (Głowacki, 2008).

Pomierzyłem również punkty kontrolne do wyznaczenia przemieszczeń poziomych i pionowych w kopalni soli w Wapnie, starych kopalń cyny i kobaltu w Krobicy, zabytkowych sztolni kompleksu Riese w Górach Sowich oraz kopalni złota w Złotym Stoku. Dla Złotego Stoku i Krobicy obliczałem kierunki odrestaurowania i odkopywania zdegradowanych i zniszczonych starych, zabytkowych sztolni, które były całkowicie lub częściowo zasypane, po zniszczeniu obudowy (Głowacki, 2007).

4.3.6. Ochrona Środowiska

Lodowce, to naturalne zbiorniki zamrożonej wody pitnej na Ziemi. Są naturalnym wskaźnikiem zmieniającego się środowiska naturalnego, pokazują zagrożenia dla klimatu i całej planety. Wytapianie lodowców, to utrata zbiorników wody słodkiej, a jednocześnie wzrost poziomów mórz i oceanów, zagrożenia dla środowiska naturalnego i życia ludzi (Zemp i inni, 2019). Moje badania mają na celu ocenę wielkości i prędkości zmian na przykładzie kilku lodowców na Spitsbergenie, w Nowej Zelandii i na Islandii.

4.3.7. Czoło lodowca

Najbardziej znanym wskaźnikiem zmian na terenach polarnych jest wyznaczenie położenia czoła lodowców. Najczęściej czoło mierzone jest metodami bezpośrednimi w terenie, najczęściej przy użyciu odbiorników satelitarnych GPS (GNSS), lub pośrednimi metodami (fotogrametria lub teledetekcja). W trakcie trzech pobytów na Spitsbergenie mierzyłem czoło lodowca Werenskioldbreen i zmiany jego położenia w czasie wykazując tempo cofania się czoła w ciągu czterech lat. Zaproponowałem metodę wykorzystania naturalnych punktów odniesienia, bez sygnalizacji w obszarach polarnych norweskiego parku narodowego. Zrobiłem analizę porównawczą prędkości z innymi danymi dostępnymi w literaturze, co zaowocowało publikacjami (Ciężkowski i inni, 2018; Głowacki, 2018)

4.3.8. Moreny lodowcowe

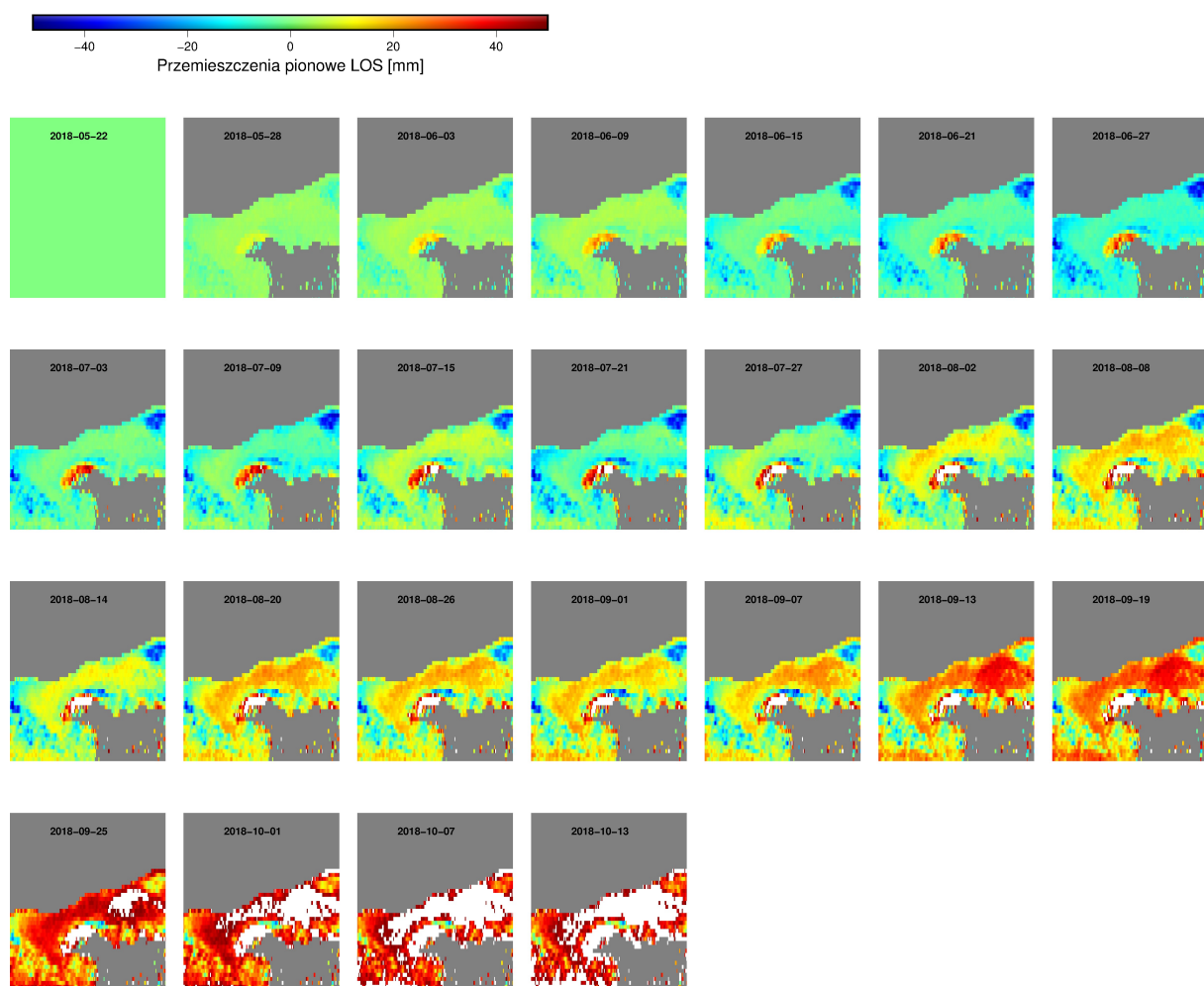
Moreny czołowe, środkowe i boczne to utwory geomorfologiczne powstałe w czasie transgresji i następnie recesji lodowca w dolinie lodowcowej. Moreny zbudowane są z jądra lodowego w otoczeniu skał i rumoszu skalnego.

Zmiany klimatyczne mają bardzo istotny wpływ na układ geometryczny, powierzchnię i zasięg lodowców na obszarach zlodowaciałych. W rejonach polarnych zmiany te są szczególnie zauważalne – cofanie lodowców w głąb lądów i odkrywanie długich zatok i dolin są najlepszym przykładem nieodwracalnych zmian. Dotyczą przy tym zarówno lodowców,

które wytapiają się wraz ze wzrostem średnich temperatur rocznych na całym świecie, jak i moren lodowcowych w różnych rejonach polarnych, opisanych przez autorów w publikacjach naukowych (Muskett i inni, 2008; Tonkin i inni, 2016; Chandler i inni, 2018; Ewertowski i Tomczyk, 2015; Bolch i inni, 2019). Budowa doliny lodowcowej wraz z morenami środkowymi i bocznymi opisana została w pracach (Benn i inni, 2003; Larsen i inni, 2005; Hewitt, 2013). Zmiany geometrii lodowców następują różnie i zależą od bardzo wielu czynników środowiskowych i klimatycznych, od budowy geologicznej, wilgotności, opadu, poprzez prędkości i kierunek wiatru do nasłonecznienia i zmian temperatury. Globalnie prowadzona jest inwentaryzacja stanu lodowców z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych w serwisie: <http://glims.org> [dostęp: 20.12.2022] (Bishop i inni, 2004).

Zmiany długookresowe obserwowane na zdjęciach lotniczych umożliwiają wychwycenie dużych zmian, bez szczegółowych wartości ilościowych, ze względu na jakość opracowania, a przede wszystkim koszty i czas akwizycji. Ze względu na wspomniane wartości, pomiary fotogrametryczne są robione w długich odstępach czasowych. Dzięki zobrazowaniom SAR można natomiast zidentyfikować małe zmiany na powierzchni lodowców w adekwatnie krótkich odstępach czasu.

Przedstawiony na (rys. 7) szereg czasowy (22.05–13.10 2018) ukazuje dynamikę i wielkości zmian w ciągu kilkudniowego, stałego 6-dniowego dystansu czasowego. Zmiany na-

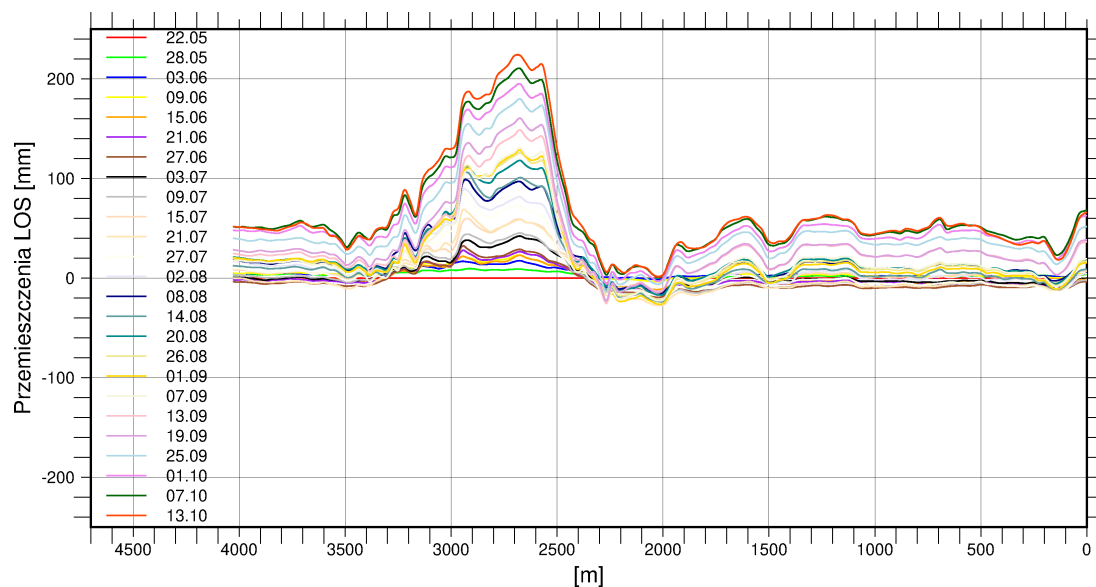


Rysunek 7. Szereg czasowy zmian morfologii powierzchni moreny czołowej lodowca Penckbreen pokazany w pikselach pomiarowych – od 22 maja do 13 października 2018 roku.

rastają sukcesywnie i mają różny przebieg w obrębie moreny. Z analizy szeregu czasowego

można wnioskować, że są one nieregularne, ale stałe jednokierunkowo. Morena się obrywa, narastają stożki subglacialne na zboczach spowodowane rozmywaniem lodowego wnętrza moreny przez podsiąk wody z jeziora lodowcowego ze strony południowej oraz wody morskie zatoki od północy.

Szczegółowa analiza wymaga dodatkowych badań – tutaj przedstawiono jedynie obserwacje zmian geometrii bez uwzględnienia stanu permafrostu tego rejonu. Na podstawie oceny szeregu czasowego można zauważyć, że w październiku 2018 r. nie było możliwości wyznaczenia zmian morfologicznych na powierzchni, ponieważ opady śniegu (brak odbicia fali elektromagnetycznej) spowodowały luki w danych. Uzupełnieniem opisu zmian geometrii jest profil podłużny poprowadzony szczytem moreny przez wszystkie okresy czasowe (rys. 8). Na podstawie wielkości zmian można wskazać miejsce największej dynamiki



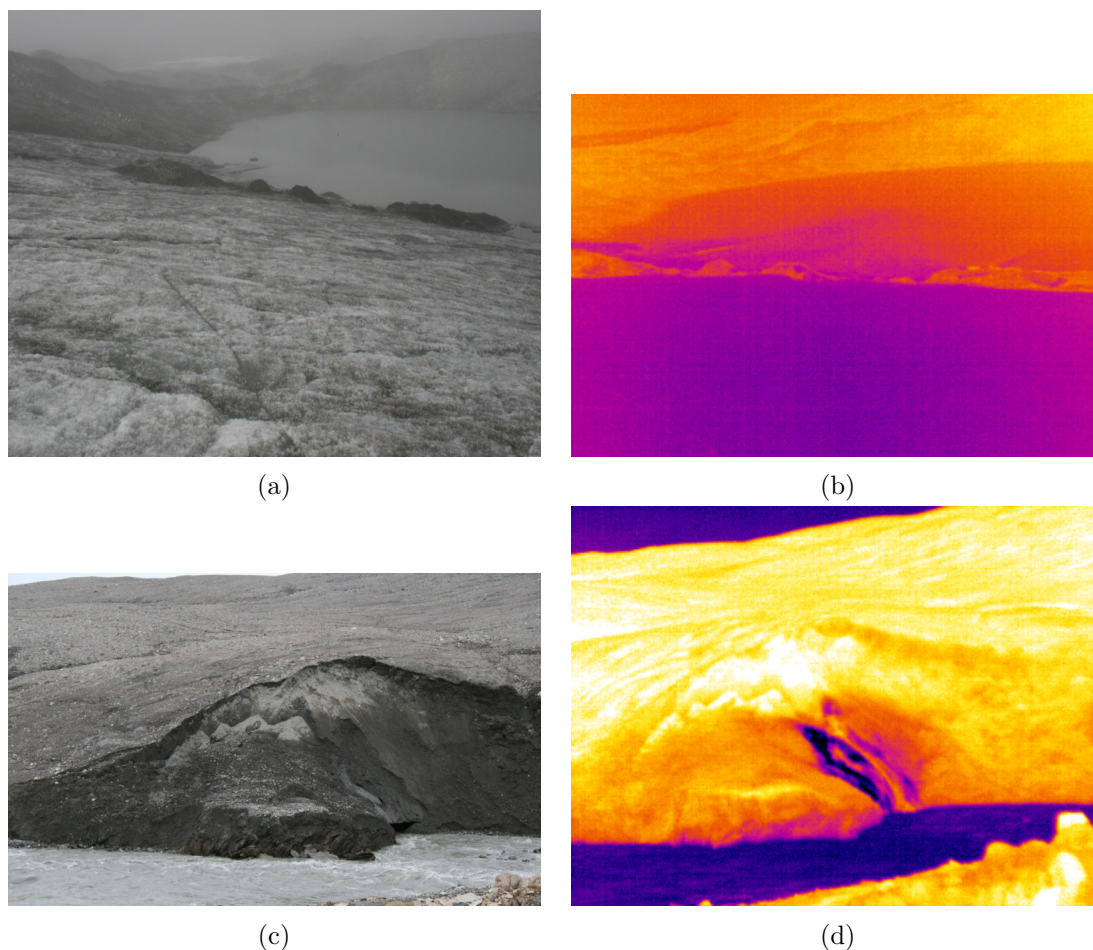
Rysunek 8. Profil podłużny przez szczyt moreny czołowej lodowca Penckbreen. Przedstawienie wielkości zmian wzdłuż profilu.

obiektu – to w rejonie moreny środkowej zmiany napływowe w przeciągu rozpatrywanych trzech miesięcy były największe. O ile na całej długości przekroju zmiany ukształtowania są względnie niewielkie, o tyle tu są dynamiczne i stale się zmieniają.

Podobne obserwacje były prowadzone w innych obszarach polarnych. Wyniki przedstawione zostały w publikacji naukowej o zasięgu międzynarodowym, gdzie jestem głównym autorem (Głowacki i Kasza, 2021). Innym obszarem zainteresowań jest zasięg zalegania permafrostu w dolinach lodowcowych, główne wyniki zostały przedstawione w publikacji (Kasprzak i inni, 2020).

4.3.9. Termowizja

Termowizja to metoda bezinwazyjna stosowana w badaniach geometrii oraz stanu obiektów naturalnych i sztucznych. Zmiany ukształtowania powierzchni terenu określone na podstawie zmian temperatury umożliwiają analizę wielkości i identyfikację miejsc tych zmian. Szczególnie na obszarach polarnych, gdzie większość obiektów jest lądząco podobna, na zdjęciach termowizyjnych można wychwycić różnorodności. Na przykład obrywy i spływy skarp spowodowane przez wypływy rozmarzających wód gruntowych powodują deformację wspomnianych skarp. Na zdjęciach termowizyjnych (rys. 9b i 9d) wi-

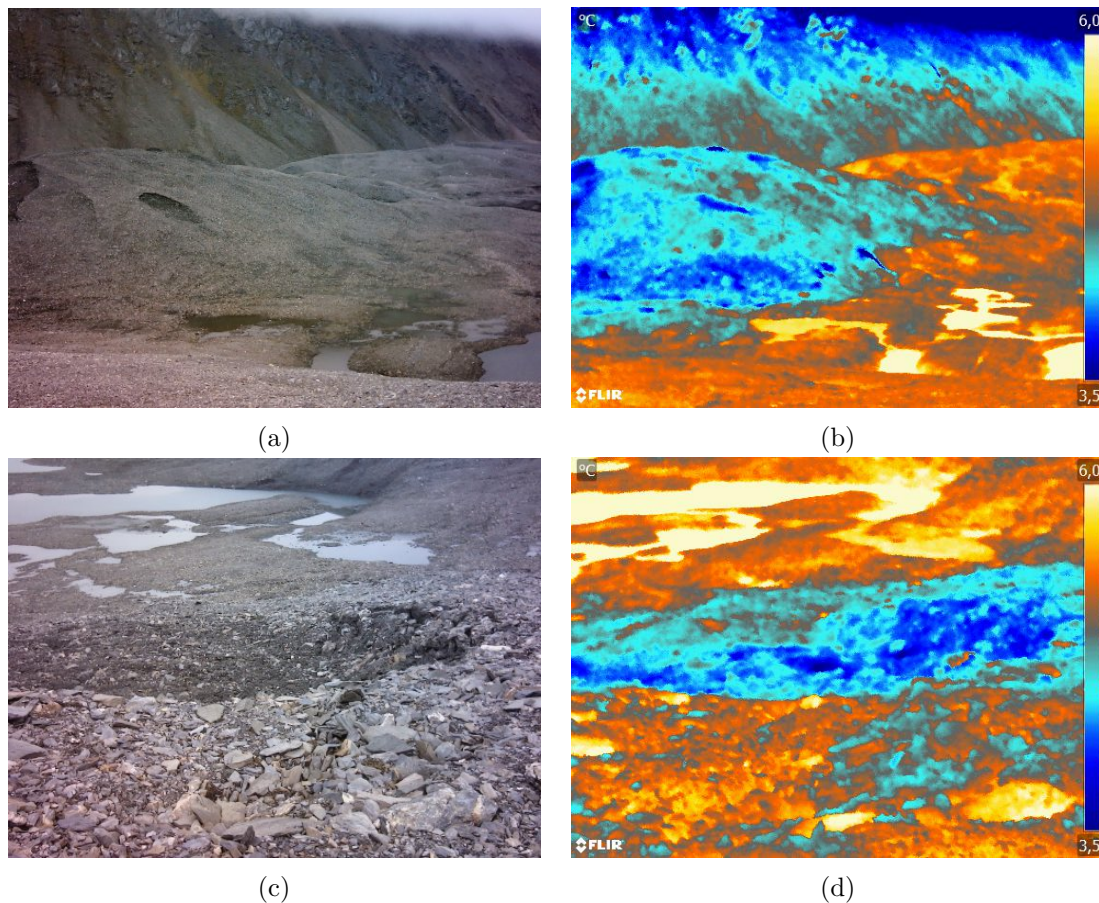


Rysunek 9. Zdjęcia w paśmie widzialnym i termowizyjnym związanym z termiką czoła lodowca i moreny czołowej: a) czoło lodowca w paśmie widzialnym, b) czoło lodowca na zdjęciu termowizyjnym, c) rzeka lodowcowa, d) rzeka lodowcowa w ujęciu termowizyjnym

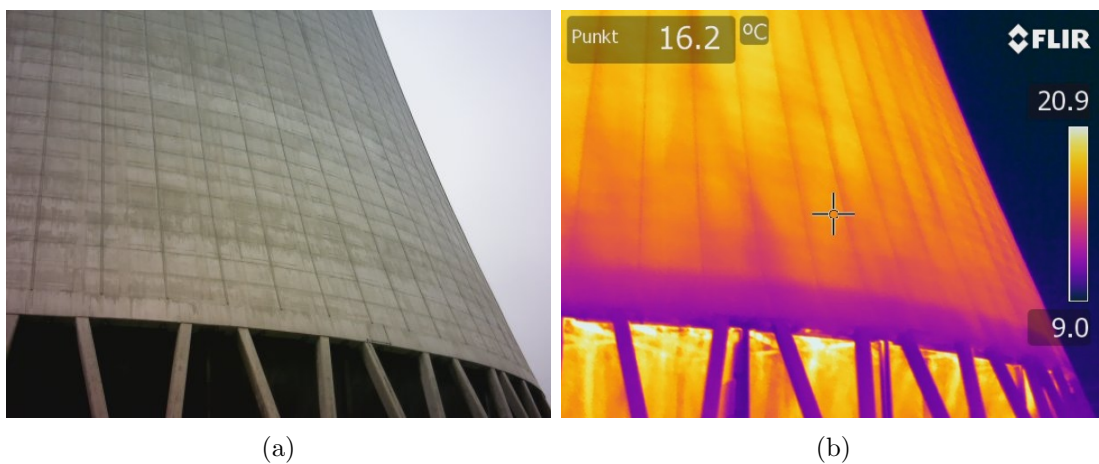
doczna jest zmiana wynikająca z wypływu ciepłych wód spod lodowca i wymywania boku moreny przez rzekę lodowcową. Dla porównania przedstawiono zdjęcia w paśmie widzialnym (rys. 9a i 9c). Na kolejnych 10a, 10c w paśmie widzialnym i termowizyjnych 10b, 10d zamieszczonych w zestawieniu – przedstawione zostały zmiany geometryczne na morenie czołowej.

Ponadto, wyznaczenie geometrii obiektów przemysłowych może być wspomagane techniką termowizyjną. Ograniczeniem jest zasięg kamery termowizyjnej, który umożliwia wykonanie zdjęć tylko z bliskiej odległości – w dolnej części chłodni. Zakres zdjęć wykonywanych kamerą termowizyjną jest jednakowy dla pasma widzialnego i termalnego (rys. 11a i rys. 11b). Zdjęcia górnej części płaszcza chłodni można wykonać z wyższego poziomu – wysięgnika lub bezzałogowego statku powietrznego (dron). Przykładowe obrazy chłodni kominowej widoczne są na rysunku 11).

W trakcie pomiarów terenowych wykonywane zostały zdjęcia z poziomu terenu, ponieważ nie było możliwości wykonania zdjęć z wyższych poziomów, drona, czy też z platformy. Należy zauważyć, że duża odległość od mierzonego przedmiotu zmniejsza dokładność pomiaru temperatury i może powodować zakłócenia. Z większych odległości pomiar jest mało dokładny, a wręcz niemożliwy. Zakłócenia mogą być również powodowane przez inne obiekty znajdujące się w otoczeniu mierzonego obiektu. W ramach prac badawczych wybrane obrazy termowizyjne zostały przetworzone przez naniesienie ich na chmurę punk-



Rysunek 10. Morfologia moreny czołowej na powierzchni: a) w paśmie widzialnym (zdjęcie panchromatyczne), b) w paśmie niewidzialnym (zdjęcie termowizyjne) oraz zapadlisko na zdjęciach: c) panchromatycznym, d) termowizyjnym



Rysunek 11. Przykładowe zdjęcia dolnej części chłodni kominowej: (a) w paśmie widzialnym – w kolorach naturalnych, (b) w paśmie termowizyjnym

tów. W tym celu wykorzystano zbiory punktów jednoznacznie identyfikowanych na obrazie termowizyjnym oraz na niezredukowanej chmurze punktów. Efektem końcowym jest opracowanie prezentowane na międzynarodowej konferencji w 2018 roku (Głowacki i Muszyński, 2018).

4.4. Podsumowanie osiągnięcia naukowego

Pomiary geodezyjne, fotogrametryczne, teledetekcyjne i termowizyjne zmian geometrii obiektów naturalnych i sztucznych stanowią podstawowe źródło informacji na podstawie których możliwe jest określanie zmian środowiskowych, klimatycznych, wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu czy też wpływu zmian warunków pogodowych na obiekty mierzone. Topnienie lodowców i deformacje powierzchni terenów górniczych i pogórniczych niezmienienie pokazują negatywny wpływ ingerencji człowieka na otaczający nas świat. Aktualny stan wiedzy o pomiarach, a także dostępne dane, metody i narzędzia obliczeniowe pozwalają na wykorzystanie wszystkich metod pomiarowych wspólnie lub niezależnie jako bogate źródło informacji o prędkości, deformacjach, przemieszczeniach i innych zmianach obiektów mierzonych. Uważam, że przedstawione w niniejszym autoreferacie osiągnięcie naukowe stanowi istotny wkład w badaniach nad możliwością stosowania różnego rodzaju pomiarów geometrycznych, fotogrametrycznych, satelitarnych i termowizyjnych w analizie stanu chwilowego, w szeregu czasowym, obiektów naturalnych i sztucznych, który jest podstawą do wyznaczania prognoz kolejnych zmian i deformacji.

Efektom realizacji badań własnych i we współpracy z innymi ośrodkami naukowymi było rozpoznanie szeregu aspektów o charakterze poznawczym i użytkowym, związanych z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi pomiarowych, analitycznych i aplikacji wspomagających.

Przeprowadzone prace badawcze i uzyskane oryginalne wyniki pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków, które jednocześnie stanowią najważniejsze osiągnięcia prezentowanej pracy:

1. Wykazałem, że pomiary geometrii różnego rodzaju obiektów są podstawą do określania ich kształtu i rozmiarów, co pozwala na ocenę chwilowego stanu technicznego i opracowanie prognozy stanu obiektu w przyszłości.
2. Wykazałem, że poprawna analiza stanu geometrycznego obiektów wysmukłych, na przykładzie wież turbin wiatrowych i kominów przemysłowych jest zależna od czynników atmosferycznych. Wykazałem, że najlepiej wykonać pomiar jednocześnie z kilku stanowisk, a szybko zmienne warunki atmosferyczne mają znaczący wpływ na wynik opracowania.
3. Wykazałem, że na wykonanie pomiaru najlepszym momentem jest dzień o stałych warunkach pogodowych – wietrznych i słonecznych, bez opadów atmosferycznych.
4. Udowodniłem znaczący wpływ nasłonecznienia na stan geometryczny wież turbin wiatrowych, zwiększając deformacje obiektu, zmniejszając jednocześnie dokładność pomiaru.
5. Udowodniłem, że pomiary chwilowego stanu geometrycznego obiektów cienkopowłokowych na przykładzie hiperboloidalnych chłodni kominowych powinny trwać jak najkrócej ze względu na zmiany nasłonecznienia w ciągu dnia. Wykazałem, że najlepszą metodą pomiarową jest naziemny skanowanie laserowe, ze względu na szybkość i dokładność opracowania.
6. Wykazałem, że dawne tereny górnicze po zakończeniu eksploatacji w dalszym ciągu podlegają deformacjom wtórnym, na przykładzie kopalń w Polsce, Czechach, Niemczech. Niezależnie od lokalizacji kopalni, czy rodzaju wydobywanej kopaliny, teren

górnicy podlega stałej deformacji, której główną przyczyną jest zmiana stosunków wodnych i odbudowa poziomów wodonośnych.

7. Udowodniłem, że zaprzestanie odpompowania wody z górotworu wzmacnia proces deformacji. Po obniżeniach spowodowanych eksploatacją następują wypiętrzenia, a następnie względny okres stagnacji i ponowne występowanie małych obniżeń naprzemiennie z coraz mniejszymi wypiętrzeniami. Zabezpieczenie w czasie eksploatacji, w postaci podsadzek wydłuża ten proces, ale go nie powstrzymuje.
8. Wykazałem możliwość wspólnej integracji i analizy danych geodezyjnych pomiarów tradycyjnych i SAR pochodzących z różnych satelitów do wyznaczenia przemieszczeń i deformacji obiektów naturalnych i sztucznych.
9. Przeanalizowałem zmiany położenia czoła lodowców w różnych częściach świata przy użyciu pomiarów klasycznych i metod InSAR wskazując, że wytapianie lodowców to skutek globalnego ocieplenia klimatu. Wytapianie lodowców powoduje wzrost poziomu mórz i oceanów.
10. Przeanalizowałem prędkości powierzchniowe lodowców przy użyciu metod Auto-RIFT wskazując sezonowość zmian wspomnianych wartości dla opisywanych lodowców.
11. Opracowałem analizy zmian na powierzchni oraz objętości moren czołowych lodowców dolinnych, pokazując prędkość zmian i dynamikę tego procesu.
12. Wykazałem zasadność stosowania skaningu laserowego przy analizie zmian ukształtowania terenu w lasach górskich parków narodowych narażonych na degradację powierzchni.
13. Udowodniłem, że metody termowizyjne można stosować jako dopełnienie metod tradycyjnych wyznaczenia deformacji obiektów naturalnych i sztucznych w wykrywaniu zmian na ich powierzchni.
14. Udowodniłem zasadność stosowania metod SAR w rejonach trudno-dostępnych, która zdecydowanie upraszcza dostępność do danych i umożliwia opracowanie dokładnych analiz w krótkich odstępach czasu.

Literatura

- Aggarwal, C. C. i inni (2018). Neural networks and deep learning. *Springer*, 10(978):3.
- Aryan, A., Bosché, F., i Tang, P. (2021). Planning for terrestrial laser scanning in construction: A review. *Automation in Construction*, 125:103551.
- Barboux, C., Delaloye, R., i Lambiel, C. (2014). Inventorying slope movements in an Alpine environment using DInSAR. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(15):2087–2099.
- Benn, D. I., Kirkbride, M. P., Owen, L. A., i Brazier, V. (2003). Glaciated valley landsystems. In Evans, D. J., editor, *Glacial Landsystems*, pages 372–406. Arnold, London.
- Białek, J. (2003). *Algorytmy i programy komputerowe do prognozowania deformacji terenu górniczego*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.

- Bishop, M. P., Olsenholler, J. A., Shroder, J. F., Barry, R. G., Raup, B. H., Bush, A. B. G., Copland, L., Dwyer, J. L., Fountain, A. G., Haeberli, W., Kääb, A., Paul, F., Hall, D. K., Kargel, J. S., Molnia, B. F., Trabant, D. C., i Wessels, R. (2004). Global land ice measurements from space (GLIMS): Remote sensing and GIS investigations of the Earth's cryosphere. *Geocarto International*, 19(2):57–84.
- Bolch, T., Rohrbach, N., Kutuzov, S., Robson, B., i Osmonov, A. (2019). Occurrence, evolution and ice content of ice-debris complexes in the Ak-Shiirak, Central Tien Shan revealed by geophysical and remotely-sensed investigations. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(1):129–143.
- Borecki, M., editor (1982). *Ochrona powierzchni przed szkodami górnictwami*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice.
- Brinker, R. C. i Minnick, R., editors (1995). *The Surveying Handbook*. Springer.
- Bryś, H. i Przewłocki, S. (1998). *Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Carlà, T., Farina, P., Intrieri, E., Ketizmen, H., i Casagli, N. (2018). Integration of ground-based radar and satellite insar data for the analysis of an unexpected slope failure in an open-pit mine. *Engineering Geology*, 235:39–52.
- Caro Cuenca, M., Hooper, A. J., i Hanssen, R. F. (2013). Surface deformation induced by water influx in the abandoned coal mines in Limburg, The Netherlands observed by satellite radar interferometry. *Journal of Applied Geophysics*, 88:1–11.
- Chandler, B. M., Lovell, H., Boston, C. M., Lukas, S., Barr, I. D., Benediktsson, I. O., Benn, D. I., Clark, C. D., Darvill, C. M., Evans, D. J., Ewertowski, M. W., Loibl, D., Margold, M., Otto, J.-C., Roberts, D. H., Stokes, C. R., Storrar, R. D., i Stroeven, A. P. (2018). Glacial geomorphological mapping: A review of approaches and frameworks for best practice. *Earth-Science Reviews*, 185:806–846.
- Chernov, N. i Lesort, C. (2005). Least squares fitting of circles. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 23(3):239–252.
- Ciężkowski, W., Głowacki, T., Grudzińska, K. K., Kasza, D., i Zagożdżon, P. P. (2018). Front of the Werenskiöld Glacier (Svalbard) – changes in years 1957–2013. In Przylibski, T. A. i Kasza, D., editors, *XVIIth Conference of PhD Students and Young Scientists*, volume 29. EDP Science.
- Colombo, D. i MacDonald, B. (2015). Using advanced insar techniques as a remote tool for mine site monitoring. In *Proceedings, Slope Stability Congress, Cape Town, South Africa*, pages 1–12.
- Debella-Gilo, M. i Kääb, A. (2012). Measurement of surface displacement and deformation of mass movements using least squares matching of repeat high resolution satellite and aerial images. *Remote Sensing*, 4(1):43–67.
- Donnelly, L. J., Culshaw, M. G., i Bell, F. G. (2008). Longwall mining-induced fault reactivation and delayed subsidence ground movement in British coalfields. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 41(3):301–314.
- Ewertowski, M. W. i Tomczyk, A. M. (2015). Quantification of the ice-cored moraines' short-term dynamics in the high-arctic glaciers Ebbabreen and Ragnarbreen, Petuniabukta, Svalbard. *Geomorphology*, 234:211–227.

- Fattahi, H., Simons, M., i Agram, P. (2017). In-sar time-series estimation of the ionospheric phase delay: An extension of the split range-spectrum technique. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(10):5984–5996.
- Ferretti, A., Fumagalli, A., Novali, F., Prati, C., Rocca, F., i Rucci, A. (2011). A new algorithm for processing interferometric data-stacks: SqueeSAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(9):3460–3470.
- Gardner, A. S., Moholdt, G., Scambos, T., Fahnestock, M., Ligtenberg, S., van den Broeke, M., i Nilsson, J. (2018). Increased west antarctic and unchanged east antarctic ice discharge over the last 7 years. *The Cryosphere*, 12(2):521–547.
- Gawałkiewicz, R. (2015). The inventory of high objects applying laser scanning, focus on the cataloguing a reinforced concrete industrial chimney. *Geoinformatica Polonica*, 14(1):95–107.
- Ghilani, C. D. (2018). *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*. Wiley, USA, New York.
- Głowacki, T. (2007). Przebitka umożliwiająca turystyczne wykorzystanie sztolni czarnej w byłej kopalni złota w złotym stoku. *WUG: bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie*, (4):17–18.
- Głowacki, T. (2008). Pomiary geodezyjne przemieszczeń pionowych terenu górniczego zg”konrad” w iwinach. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Konferencje*, 124(52):45–52.
- Głowacki, T. (2022). Monitoring the geometry of tall objects in energy industry. *Energies*, 15(7):2324.
- Głowacki, T. i Kasza, D. (2021). Assessment of morphology changes of the end moraine of the werenskiöld glacier (sw spitsbergen) using active and passive remote sensing techniques. *Remote Sensing*, 13(11):2134.
- Głowacki, T. i Milczarek, W. (2013). Surface deformation of the secondary former mining areas. *Mining Science*, 20:39.
- Głowacki, T., Woźniak, J., i Zając, P. (1998). Numeryczny model terenu fragmentu zwałowiska zewnętrznego. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Konferencje*, 82(21):137–143.
- Grudzińska, K. K., Downar-Zapolska, L., Głowacki, T., Kasza, D., Zagożdżon, P., i Ciężkowski, W. (2016). Application of thermovision in hydrological report based on example of kavka 1 i kavka 2. In *XXXVI Polar Symposium : progress in polar research - new experiences and challenges : The 30th Anniversary of UMCS Polar Expeditions to Spitsbergen : book of abstracts = XXXVI Sympozjum Polarne : progress in polar research - new experiences and challenges : 30-lecie Wypraw Polarnych UMCS na Spitsbergen : książka streszczeń*, pages 182–183.
- Głowacki, T. (2018). Accuracy analysis of satellite measurements of the measurement geodetic control network on the southern Spitsbergen. In Przylibski, T. A. i Kasza, D., editors, *XVIII Conference of PhD Students and Young Scientists „Interdisciplinary Topics in Mining and Geology”*, volume 71. EDP Science.

- Głowacki, T., Ciężkowski, W., Grudzińska, K. K., Zagożdżon, P., i Kasza, D. (2016). Analysis of changes in morphology of frontal moraine of werenskiold glacier based on geodetic measurements from 1957 and 2015. In *XXXVI Polar Symposium : progress in polar research - new experiences and challenges : The 30th Anniversary of UMCS Polar Expeditions to Spitsbergen : book of abstracts = XXXVI Sympozjum Polarne : progress in polar research - new experiences and challenges : 30-lecie Wypraw Polarnych UMCS na Spitsbergen : książka streszczeń*, pages 35–36.
- Głowacki, T., Grudzińska, K. K., Zagożdżon, P., Downar-Zapolska, L., Kasza, D., i Ciężkowski, W. (2017). Long and short-term changes of werenskioldbreen's frontal moraine morphology. In *A dynamic arctic in global change : The Arctic Science Summit Week 2017 : book of abstracts, 31 March-7 April 2017, Prague, Czech Republic*, pages 162–162.
- Głowacki, T. i Muszyński, Z. (2018). Analysis of cooling tower's geometry by means of geodetic and thermovision method. In *XXI International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering „Construction – The Formation of Living Environment”*, volume 365. IOP Publishing.
- Hanssen, R. (2001). *Radar interferometry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Hejmanowski, R. i Sroka, A. (2000). Time-space ground subsidence prediction determined by volume extraction from the rock mass. In Carbognin, L., Gambolati, G., i Johnson, A. I., editors, *The Sixth International Symposium on Land Subsidence*, pages 367–375. C. N. R. National Group for the Protection Against Hydrogeologic Catastrophies.
- Herrera, G., Tomás, R., López-Sánchez, J. M., Delgado, J., Mallorqui, J., Duque, S., i Mulas, J. (2007). Advanced dinsar analysis on mining areas: La union case study (murcia, se spain). *Engineering Geology*, 90(3-4):148–159.
- Hewitt, K. (2013). „The Great Lateral Moraine”, Karakoram Himalaya, Inner Asia. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 36:81–94.
- Hu, Q., Deng, X., Feng, R., Li, C., Wang, X., i Jiang, T. (2015). Model for calculating the parameter of the Knothe time function based on angle of full subsidence. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 78:19–26.
- Ji, L., Zhang, Y., Wang, Q., Xin, Y., i Li, J. (2016). Detecting land uplift associated with enhanced oil recovery using InSAR in the Karamay oil field, Xinjiang, China. *International Journal of Remote Sensing*, 37(7):1527–1540.
- Kasprzak, M., Łopuch, M., Głowacki, T., i Milczarek, W. (2020). Evolution of near-shore outwash fans and permafrost spreading under their surface: A case study from Svalbard. *Remote Sensing*, 12(3):1–27.
- Kmak, K., Płonka, A., i Winnicki, A. (2000). Górnictwo węgla kamiennego w latach 1945–1998. In Kowalski, A., editor, *Eksploracja górnictwa a ochrona powierzchni. Doświadczenia z walbrzyskich kopalń*, volume 4, pages 73–93. Główny Instytut Górnictwa.
- Knothe, S. M. (1984). *Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice.
- Kocierz, R., Rębisz, M., i Ortyl, L. (2018). Measurement point density and measurement methods in determining the geometric imperfections of shell surfaces. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 105(1):19–28.

- Kowalski, A. (2017a). Problem oceny zanikania resztkowych deformacji powierzchni po zakończonej eksploatacji górniczej. *Przegląd Górniczy*, 73(11):55–65.
- Kowalski, A. (2017b). Prognozowanie deformacji powierzchni w górnictwie węgla kamiennego w Polsce i na świecie, metody empiryczne czy numeryczne? *Przegląd Górniczy*, 73(12):1–6.
- Kowalski, A. (2020). *Deformacje powierzchni na terenach górniczych kopalń węgla kamiennego*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- Larsen, S., Davies, T., i McSaveney, M. (2005). A possible coseismic landslide origin of late Holocene moraines of the Southern Alps, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 48(2):311–314.
- Lei, Y., Gardner, A., i Agram, P. (2021). Autonomous repeat image feature tracking (autorift) and its application for tracking ice displacement. *Remote Sensing*, 13(4):749.
- Li, J., Gao, F., Lu, J., i Tao, T. (2019). Deformation monitoring and prediction for residential areas in the panji mining area based on an insar time series analysis and the gm-svr model. *Open Geosciences*, 11(1):738–749.
- Li, Z., Fielding, E., Cross, P., i Preusker, R. (2009). Advanced insar atmospheric correction: Meris/modis combination and stacked water vapour models. *International Journal of Remote Sensing*, 30(13):3343–3363.
- Liu, D., Shao, Y., Liu, Z., Riedel, B., Sowter, A., Niemeier, W., i Bian, Z. (2014). Evaluation of insar and tomosar for monitoring deformations caused by mining in a mountainous area with high resolution satellite-based sar. *Remote Sensing*, 6(2):1476–1495.
- Malinowska, A. A., Witkowski, W. T., Guzy, A., i Hejmanowski, R. (2018). Mapping ground movements caused by mining-induced earthquakes applying satellite radar interferometry. *Engineering geology*, 246:402–411.
- Milczarek, W. (2019). Investigation of post induced seismic deformation of the 2016 mw4. 2 tarnówek poland mining tremor based on dinsar and sbas methods. *Acta Geodyn. Geomater.*, 16(2):194.
- Milczarek, W., Kopeć, A., i Głowacki, T. (2022). Mapping ice flow velocity of tidewater glaciers in hornsund fiord area with the use of autonomous repeat image feature tracking (2018–2022). *Remote Sensing*, 14(21):5429.
- Monti-Guarnieri, A., Parizzi, F., Pasquali, P., Prati, C., i Rocca, F. (1993). SAR interferometry experiments with ERS-1. In *Proceedings of IGARSS '93 – IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, volume 3, pages 991–993.
- Muskett, R. R., Lingle, C. S., Sauber, J. M., Post, A. S., Tangborn, W. V., i Rabus, B. T. (2008). Surging, accelerating surface lowering and volume reduction of the Malaspina Glacier system, Alaska, USA, and Yukon, Canada, from 1972 to 2006. *Journal of Glaciology*, 54(188):788–800.
- Newman, C., Agioutantis, Z., i Boede Jimenez Leon, G. (2017). Assessment of potential impacts to surface and subsurface water bodies due to longwall mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(1):57–64.
- Osada, E. (2014). *Osnowy geodezyjne*. UxLan Firma Informatyczna Józef Osada, Wrocław.

- Paleczek, W. (2008). Wpływ robót górniczych na górotwór i powierzchnię terenu z uwzględnieniem przemieszczeń pionowych wskutek odwodnienia. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Budownictwo*, 14:119–128.
- Parlament Europejski i Rada Europy (2018). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. In *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, volume 328, pages 82–209. Unia Europejska.
- Popiołek, E. (2009). *Ochrona terenów górniczych*. Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Rejman, J., Dudek, A., Głowacki, T., i Woźniak, J. (1997). Komputerowe opracowanie wyników kompleksowych kontrolnych pomiarów obiektów przemysłowych. pages 425–440.
- Salmi, E. F., Nazem, M., i Karakus, M. (2017). The effect of rock mass gradual deterioration on the mechanism of post-mining subsidence over shallow abandoned coal mines. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 91:59–71.
- Samsonov, S., d’Oreye, N., i Smets, B. (2013). Ground deformation associated with post-mining activity at the French–German border revealed by novel InSAR time series method. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23:142–154.
- Strzałkowski, P. i Ścigała, R. (2020). Assessment of post-mining terrain suitability for economic use. *International Journal of Environmental Science and Technology*, pages 1–10.
- Tajduś, K., Sroka, A., i Misa, R. (2010). Przemieszczenia poziome powierzchni terenu wywołane podziemną eksploatacją górnictwem – teoria i praktyka. In *Transactions of the Strata Mechanics Research Institute*, volume 12.
- Tajduś, K., Sroka, A., Misa, R., Tajduś, A., i Meyer, S. (2021). Surface deformations caused by the convergence of large underground gas storage facilities. *Energies*, 14(2).
- Tonkin, T., Midgley, N., Cook, S., i Graham, D. (2016). Ice-cored moraine degradation mapped and quantified using an unmanned aerial vehicle: A case study from a polythermal glacier in Svalbard. *Geomorphology*, 258:1–10.
- Wang, S., Xu, B., Shan, W., Shi, J., Li, Z., i Feng, G. (2019). Monitoring the degradation of island permafrost using time-series InSAR technique: A case study of Heihe, China. *Sensors*, 19(6):1364.
- Weiss, G., Weiss, E., Weiss, R., Labant, S., i Bartos, K. (2016). *Survey Control Points: Compatibility and Verification*. Springer, Heidelberg.
- Xing, X., Zhang, T., Chen, L., Yang, Z., Liu, X., Peng, W., i Yuan, Z. (2022). InSAR modeling and deformation prediction for salt solution mining using a novel ct-pim function. *Remote Sensing*, 14(4):842.
- Yu, C., Li, Z., Penna, N. T., i Crippa, P. (2018). Generic atmospheric correction model for interferometric synthetic aperture radar observations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(10):9202–9222.
- Yu, M., Jefferson, I., i Culshaw, M. (2007). Fault reactivation, an example of environmental impacts of groundwater rising on urban area due to previous mining activities. In Ribeiro e Sousa, L., Olalla, C., i Grossmann, N. F., editors, *11th Congress of the International Society for Rock Mechanics*, pages 41–46. Taylor and Francis.

- Zagożdżon, P., Głowacki, T., Grudzińska, K. K., Downar-Zapolska, L., Kasza, D., i Ciężkowski, W. (2016). Small adits of longyearbyen - a different look at the history and environment of spitsbergen. In *XXXVI Polar Symposium : progress in polar research - new experiences and challenges : The 30th Anniversary of UMCS Polar Expeditions to Spitsbergen : book of abstracts = XXXVI Sympozjum Polarne : progress in polar research - new experiences and challenges : 30-lecie Wypraw Polarnych UMCS na Spitsbergen : książka streszczeń*, page 267.
- Zemp, M., Huss, M., Thibert, E., Eckert, N., McNabb, R., Huber, J., Barandun, M., Machguth, H., Nussbaumer, S. U., Gärtner-Roer, I., Thomson, L., Paul, F., Maussion, F., Kutuzov, S., i Cogley, J. G. (2019). Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. *Nature*, 568(7752):382–386.
- Zhao, R., Li, Z.-W., Feng, G.-C., Wang, Q.-J., i Hu, J. (2016). Monitoring surface deformation over permafrost with an improved SBAS-InSAR algorithm: With emphasis on climatic factors modeling. *Remote Sensing of Environment*, 184:276–287.
- Zhaojia, W., Guangdi, W., Yang, L., i Zhixia, G. (2017). The design and implementation of roller's calibration system in steel plant based on total station. In *13th IEEE International Conference on Electronic Measurement Instruments (ICEMI)*, pages 56–62.
- Ścigała, R. (2012). Kompleksowa identyfikacja współczynnika prędkości osiadania dla warunków jednej z kopalń GZW. *Górnictwo i Geologia*, 7(1):199–210.
- Ścigała, R. (2013). The identification of parameters of theories used for prognoses of post mining deformations by means of present software. *Archives of Mining Sciences*, 58(4):1347–1357.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej

Podstawowym miejscem prowadzenia badań jest dla mnie Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Zakład Geodezji i Geoinformatyki. Jednocześnie w ciągu całej kariery naukowej współpracowałem z wieloma jednostkami badawczymi w Polsce i za granicą.

5.1. Przed uzyskaniem stopnia doktora

Przed uzyskaniem stopnia doktora moja aktywność naukowa ograniczała się do wyjazdów na konferencje naukowe organizowane przez uczelnie w kraju i za granicą:

1. Kongres ISPRS Vienna 1996
2. Jesienna Szkoła Geodezji (Szklarska Poręba 1995 i 2000).
3. Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej (Warszawa w 1997).
4. Continuous surface mining. 5th International symposium, (Wrocław 1998).
5. Geodezja inżynierska i kataster w gospodarce narodowej (Lwów 1998).
6. Konferencja Katedr Geodezji na Wydziałach Niegeodezyjnych (Szklarska Poręba 1998).
7. Komputerowe wspomaganie badań naukowych (Polanica Zdrój 1999 i Świeradów Zdrój 2001).
8. Zjazd Polskiego Towarzystwa Geograficznego (Szklarska Poręba 2000).
9. Zagadnienia interdyscyplinarne w górnictwie i geologii. i Konferencja Doktorantów Wydziału Górniczego (Szklarska Poręba 2001),
10. Zagadnienia interdyscyplinarne w górnictwie i geologii. II Konferencja Doktorantów Wydziału Górniczego (Szklarska Poręba 2002).

5.2. Po uzyskaniu stopnia doktora

Po uzyskaniu stopnia doktora moja aktywność naukowa zmieniła się. Początkowo rozwijałem aktywność związaną z wykorzystaniem sieci neuronowych do analiz zmian ukształtowania powierzchni terenu, wykorzystanie baz danych do gromadzenia informacji i udostępniania jej w łatwy i szybki sposób. Efektem pośrednim był udział jako wykonawca w granicie KBN prof. Waltera Bartelmusa Nr 7 T07B 017 18 w 2003 roku o wspomaganiu diagnostyki wielostopniowych przekładni zębatych z wykorzystaniem symulacji numerycznych. Rozwijałem warsztat naukowy związany z analizą deformacji terenów górniczych i pogórnich. Brałem bezpośredni udział w wielu kompaniach pomiarowych w Wałbrzychu, KGHM, Turowie, Bełchatowie, Wapnie, Krobicy. Rozwijałem systemy informacji geograficznej, jako narzędzia analiz i prezentacji wyników pomiarów i prognoz zmian dla terenów i obszarów mierzonych. Współpracowałem i prowadziłem pomiary niwelacyjne oraz GNSS na obszarze pogórnym Wałbrzycha w ramach grantu KBN nr

N524 465436 *Analiza zmian powierzchni górotworu po zakończonej eksploatacji górniczej w wybranym rejonie dawnego Wałbrzyskiego Zagłębia w latach 2010–2011.* Celem przeprowadzonych prac w ramach projektu badawczego była ocena stanu geometrycznego powierzchni górotworu w wybranym fragmencie dawnego Wałbrzyskiego Zagłębia Węgla Kamiennego w okresie eksploatacji oraz po zakończeniu wydobywania. w latach 2014 - 2017 brałem udział w projekcie badawczym finansowanym przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Projekt był realizowany przez Politechnikę Wrocławską w formie badań zleconych przez miasto Wałbrzych. Celem przedsięwzięcia *Określenie stanu aktywności powierzchni terenu na obszarze poeksploatacyjnym byłych kopalń wałbrzyskich* było m.in.: rozpoznanie, projekt i zagęszczenie osnowy pomiarowej oraz wykonanie 4 kampanii pomiarowych. w ramach pierwszego etapu brałem udział w inwentaryzacji istniejących punktów wysokościowych na obszarze Wałbrzycha i okolic. Na tej podstawie opracowany został projekt sieci niwelacyjnej składającej się z punktów osnowy II i III klasy i reperów istniejącej sieci kontrolnej na terenie miasta i okolic. Łączna liczba punktów pomiarowych w sieci wyniosła 487, a długość wszystkich odcinków niwelacyjnych 86 km. Dodatkowo brałem udział w zagęszczeniu – stabilizacji nowych dodatkowych 24 reperów. w ramach realizacji projektu brałem udział w czterech kampaniach pomiarowych (niwelacja precyzyjna) w okresie od listopada 2014 do maja 2016 roku.

Efektami prac i opracowań były publikacje i prezentacje w formie ustnej i posterów na wielu konferencjach krajowych i zagranicznych:

- Jesienna Szkoła Geodezji (Polanica Zdrój 2005 i Wałbrzych 2017),
- Aktualia i perspektywy górnictwa (Wrocław 2008),
- 11. Altbergbau-Kolloquium und 7. Konferenz Erbe und Geschichte des Bergbaus (Wrocław/Essen 2011),
- Konferencja Doktorantów i Młodych Uczonych (Szklarska Poręba 2016, 2017 i 2018, oraz Sosnowka 2019),
- Polski Kongres Geologiczny (Wrocław 2016),
- Sympozjum Polarne (Lublin 2016 i Poznań 2018),
- The Arctic Science Summit Week (Praga 2017),
- World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (Praga 2017),
- International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering Construction - "The Formation of Living Environment" (Moskwa 2018),
- European Conference on Permafrost (Mont Blanc, Francja 2018),
- Living Planet Symposium (Mediolan 2019),
- Conference - Surveying, Civil Engineering, Geoinformation in Sustainable Development (Bydgoszcz 2020 – on-line).

W 2015 roku byłem kierownikiem wyprawy polarnej Politechniki Wrocławskiej na Spitsbergen. Głównym celem wyprawy były pomiary bezpośrednie geometrii moreny czołowej

lodowca Werenskioldbreen metodą GNSS. Cel został osiągnięty, a na podstawie pozyskanych wyników przedstawione i opublikowane zostało kilka artykułów naukowych (Cieżykowski i inni, 2018; Głowacki i Kasza, 2021). Prace były kontynuowane w ramach wypraw Uniwersytetu Wrocławskiego w 2017 i 2018. Wyniki zostały opublikowane w zespole współautorskim, w czasopiśmie Remote Sensing (Kasprzak i inni, 2020).

W trakcie wypraw na Spitsbergen nawiązałem współpracę z naukowcami zajmującymi się badaniami polarnymi z Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Uniwersytetu im. Mikołaja Kopernika w Poznaniu, Akademii Morskiej w Gdańsku, Instytutu Geofizyki PAN z Warszawy, Uniwersytetu Śląskiego z Katowicach, Norsk Polarinstytut z Oslo oraz Cambridge University – Cambridge Arctic Shelf Programme.

Będąc w rejonie polarnym, wraz z zespołem udało mi się zidentyfikować źródła wypływania wód ciepłych spod lodowca. Efekty prac zostały opublikowane na międzynarodowych konferencjach Sympozja Polarne i The Arctic Science Summit Week (Zagożdżon i inni, 2016; Głowacki i inni, 2017; Grudzińska i inni, 2016; Głowacki i inni, 2016) Brałem udział w zespole, który robił badania polarne i obliczenia w oparciu o zobrazowania SAR mające na celu wyznaczenie prędkości cofania się lodowców w fiordzie Hornsund (Milczarek i inni, 2022).

W ostatnim czasie rozpocząłem współpracę z Instytutem Leśnictwa PAN, efektem jest opracowanie oddane w tym roku do druku dotyczące skanowania lasu w rejonach górskich z analizą zmian ukształtowania powierzchni terenu na przykładzie lasów Karkonoskiego Parku Narodowego. Ponadto jestem wykonawcą w zleceniu Wyższego Urzędu Górniczego z Katowic dotyczącego inwentaryzacji zlikwidowanych wyrobisk górniczych, mających połączenie z powierzchnią, po eksploatacji rud metali kolorowych (pozostałych dotychczas niezainwentaryzowanych w ramach poprzednich etapów: szyby, szybiki, sztolnie i upadowe) – zlokalizowane na terenie województw: małopolskiego i śląskiego.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

Pracując na Politechnice Wrocławskiej nieprzerwanie od 1994 roku mam wiele osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzacyjnych.

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

W ciągu 29 lat pracy na Politechnice Wrocławskiej miałem różnego rodzaju zajęcia dydaktyczne, na różnych wydziałach (Architektury, Budownictwa, Mechaniczno-Energetyczny, Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii) ze studentami. Podstawowe przedmioty kształcenia związane są z miernictwem i geodezją oraz szereg powiązanych z przedmiotami pokrewnymi: kartografia, rachunek wyrównawczy, bazy danych, ochrona terenów górniczych, geodezja górnicza, pomiary deformacji, miernictwo górnicze, mapy górnicze i inne. Prowadziłem zajęcia na Studium Podyplomowym *Systemy Informacji geograficznej* z baz danych, planowania przestrzennego i pomiarów geodezyjnych. Prowadziłem i nadal prowadzę prace dyplomowe (inżynierskie i magisterskie) na studiach I-go i II-go stopnia z zakresów górnictwa, geodezji, energetyki i ochrony środowiska. Byłem promotorem ponad 65 prac inżynierskich i 35 magisterskich.

W ramach działalności dydaktycznej prowadziłem wycieczki dydaktyczne dla studentów macierzystego wydziału i innych wydziałów Politechniki Wrocławskiej między innymi do Kopalni Złota w Złotym Stoku, na fermę wiatrową w Gaju Oławskim i w Legnickim

Polu, do elektrowni szczytowo pompowej w Dobromierzu i Słupiu, na zbiorniki retencyjne w Mściwojowie i Koskowicach oraz brałem udział jako opiekun w innych wyjazdach i wycieczkach dydaktycznych.

Jestem autorem pierwszego programu i planu studiów kierunku *Geodezja i Kartografia*, uruchomionych w 2012 roku na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii. Brałem udział w opracowywaniu programów i planów studiów trzech kierunków, aktualizowałem i poprawiałem kilkanaście planów dla różnych kierunków studiów na Politechnice Wrocławskiej.

Napisałem książkę pt: *Projekty GIS: administracja i użytkowanie*, opublikowanej w formie e-booka, która zyskała uznanie wśród studentów i prowadzących, którzy wykorzystują go w swojej pracy dydaktycznej i naukowej w całej Polsce. Książka, wg. różnych źródeł ma 555 wejść, 20 cytowań i 235 pobrań.

W ramach współpracy międzynarodowej, brałem udział w programie wymiany międzynarodowej Erasmus+. Byłem w 2018 roku w Rosji, na Uniwersytecie Technicznym w Moskwie (Moscow State University of Civil Engineering). Prowadziłem zajęcia ze studentami, miałem wykłady i seminaria. Tematyka zajęć obejmowała zagadnienia związane z pomiarami geodezyjnymi, z naciskiem na analizy deformacji na terenach górniczych, fotogrametrię i teledetekcję ze szczególnym uwzględnieniem technik InSAR i analiz przemieszczeń tą techniką.

6.2. Osiągnięcia organizacyjne

Największym moim osiągnięciem organizacyjnym jest doprowadzenie do uruchomienia kierunku studiów Geodezja i Kartografia na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii – byłem autorem pierwszego planu i programu studiów.

Pracując na Politechnice Wrocławskiej pełniłem lub pełnię funkcje w różnych organach uczelni:

- Prodziekan ds. studenckich Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii w kadencji 2020 – 2024.
- Przewodniczący Wydziałowej Komisji Finansowania Działalności Studenckiej w kadencji 2020 – 2024.
- Członek Międzywydziałowej Komisji Rekrutacyjnej PWr.
- Członek Rady Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, nieprzerwanie od października 2010 roku.
- Członek Wydziałowej Komisji Zapewnienia Jakości Kształcenia dla kierunków Górnictwo i Geologia, Inżynieria Surowców Mineralnych oraz Geodezja i Kartografia.
- Członek Wydziałowej Komisji Egzaminacyjnej kierunku Geodezja i Kartografia, Inżynieria Surowców Mineralnych oraz Górnictwo i Geologia.
- Pełnomocnik Dziekana ds. kierunkowych praktyk studenckich na WGGG.
- Wydziałowy koordynator ds. kontaktów dydaktycznych z KGHM PM S.A.
- Koordynator i kierownik zespołu ds. promocji Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, organizator i koordynator:

Dni Otwarte Politechniki Wrocławskiej
Noc Laboratoriów na Wydziale W6
Dolnośląski Festiwal Nauki (25 edycji)
pokazy w szkołach
kontakty i porozumienia ze szkołami średnimi

- Pełnomocnik Dziekana ds. oceny ryzyka.
- Pełnomocni Dziekana ds. obsługi strony internetowej Wydziału – autor struktury fizycznej i logicznej serwisu www w latach 2005 – 2018.
- Opiekun, administrator i autor regulaminu laboratorium i pracowni komputerowych na Wydziale.
- Członek Zespołu ds. kształcenia na odległość PWr.

Ponadto brałem czynny udział w organizacji kilku konferencji organizowanych przez Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii oraz Zakład Geodezji i Geoinformatyki:

- XV Jesienna Szkoła Geodezji z 1995 roku,
- XIII Konferencja Katedr Geodezji na Wydziałach Niegeodezyjnych w 1998 roku,
- XIX Jesienna Szkoła Geodezji z 2004 roku,
- XVII Konferencja Katedr Geodezji na Wydziałach Niegeodezyjnych w 2006 roku,
- II Konferencja Doktorantów i Młodych Uczonych z 2002 roku,
- 29th SCEgeo Conference Surveying, Civil Engineering and Geoinformation for Sustainable Development w 2022 roku,
- Konferencja Tradycje i Innowacje w Górnictwie we Wrocławiu w 2022 roku.

Jednocześnie jestem opiekunem Agendy Kultury działającej przy Politechnice Wrocławskiej Wirtualny Klub Filmowy (Virtual Movie Club), skupiającej studentów z różnych wydziałów PWr, ale również z innych Uczelni polskich i świata.

6.3. Popularyzacja nauki

Festiwal Nauki to największe coroczne wydarzenie na Dolnym Śląsku popularyzujące naukę. Od samego początku brałem czynny udział w organizacji wielu wykładów, pokazów, prezentacji, wycieczek i innych elementów zachęcając dzieci i młodzież do zainteresowania nauką. Brałem udział w 25 edycjach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki we Wrocławiu i regionie (Wałbrzych, Jelenia Góra, Świdnica). w ramach Festiwalu prowadziłem między innymi: wykłady (o Spitsbergenie, ale również o rozwiązywaniu zadań z Sudoku), warsztaty (o pomiarach GPS, nawigacji satelitarnej, poszukiwaniu skarbów z GPS, Geocaching), wycieczki piesze i rowerowe po Wrocławiu, okolicach Wrocławia, górach w Wałbrzychu, Świdnicy i Jeleniej Górze. Poprowadziłem kilka prelekcji o Spitsbergenie dla uczniów szkół podstawowych w Szczepanowie i Wrocławiu.

7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej

7.1. Współpraca z gospodarką

Pracując naukowo na Politechnice Wrocławskiej miałem kontakt z wieloma przedsiębiorstwami i zakładami przemysłowymi dla których robiłem opracowania i analizy. Posiadam uprawnienia zawodowe w dziedzinie Geodezji i Kartografii od 1999 roku (w zakresie geodezyjnych pomiarów sytuacyjno-wysokościowych, realizacyjnych i inwentaryzacyjnych oraz geodezyjnej obsłudze inwestycji). Poniżej wymienione zostały najważniejsze zakłady, przedsiębiorstwa i instytucje z którymi współpracowałem lub współpracuję nadal:

1. KGMH Polska Miedź S.A. zakładanie i pomiar sieci punktów kontrolnych do analiz deformacji na terenach górniczych, pomiar i analiza geometrii kominów, chłodni kominowych, mostów transportowych, słupów nośnych i hal przemysłowych na terenach będących w oddziaływaniu zakładów górniczych.
2. KWB Turów – pomiary zwałowiska zewnętrznego po wystąpieniu osuwiska, pomiary i inwentaryzacja ciekłu wodnego odprowadzającego wody kopalniane po przebudowie.
3. KWB Bełchatów – pomiary zwałowiska zewnętrznego i ocena stateczności skarp na zwałowisku.
4. Elektrownia Bełchatów – pomiary stanu geometrycznego chłodni kominowych i kominów przemysłowych.
5. Zakłady Chemiczne Puławy – pomiary stanu geometrii chłodni kominowych przed i po remoncie.
6. Elektrociepłownia Nr 3 w Łodzi – pomiar stanu geometrycznego komina przemysłowego.
7. WZWK Wałbrzych – pomiary deformacji terenu górniczego i pogórniczego, analiza zmian, prognoza deformacji.
8. Stare Zagłębie Miedziowe - ZG Konrad – pomiary deformacji terenu górniczego i pogórniczego, analiza zmian i prognoza deformacji.
9. Zabytkowa Kopalnia Złota w Złotym Stoku – inwentaryzacja starych wyrobisk i projekt oraz nadzór nad pracami przebitkowymi w kopalni.
10. Kopalnia soli w Wapnie – pomiar deformacji terenu górniczego.
11. Zabytkowa kopalnia cyny i kobaltu w Krobicy – inwentaryzacja zabytkowych sztolni, projekt prac przebitkowych.
12. Kompleks Riese w Górach Sowich – inwentaryzacja zabytkowych sztolni.
13. Urząd Miejski Wrocławia – pomiary usytuowania schronu na terenie miasta Wrocławia, na działce przeznaczonej do sprzedaży.
14. Instytut Turystyki w Warszawie – opracowanie bazy noclegowej miejscowości wypoczynkowych w Polsce.

15. Urząd Miejski miasta Wałbrzycha – inwentaryzacja, założenie i pomiary sieci niwelacyjnej na terenie miasta i okolic w celu analizy deformacji powierzchni terenu spowodowanej zakończoną eksploatacją górniczą.
16. Wyższy Urząd Górniczy – pomiary terenowe i opracowanie kameralne dotyczące inwentaryzacji zlikwidowanych wyrobisk (szyby, szybiki, sztolnie i upadowe), mających połączenie z powierzchnią, po eksploatacji rud metali kolorowych, zlokalizowanych na terenie województw: małopolskiego i śląskiego.
17. BIPROGEO s.a. – pomiary geodezyjne, opracowania map, opracowanie baz danych i Systemów Informacji Geograficznej dla Wrocławia, Warszawy, Suwałk, Poznania. Udział w opracowaniu systemu informacji geograficznej dla Grecji i Hiszpanii.
18. Projekty wewnętrzne realizowane przez Politechnikę Wrocławską – kierownik badań statutowych na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii w latach 2005, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2015. Współpraca z Wydziałami Budownictwa i Inżynierii Środowiska przy realizacji badań naukowych i zleceń dla przemysłu.
19. Projekty zewnętrzne realizowane z innymi jednostkami naukowymi m.in. Uniwersytet Wrocławski, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Uniwersytet Zielonogórski, UMCS w Lublinie.

Ponadto jestem aktualnie prezesem Zakładowego Koła Stowarzyszenia Geodetów Polskich przy PWr od 2016 roku.

7.2. Nagrody i wyróżnienia

W trakcie pełnienia obowiązków służbowych otrzymałem wiele nagród i wyróżnień państwowych, branżowych i Politechniki Wrocławskiej. Wśród najważniejszych należy wymienić:

Stopnie Górnicze:

1. Dyrektor Górniczy I stopnia – nadany przez Ministra Energii w 2018 roku,
2. Dyrektor Górniczy II stopnia – nadany przez Ministra Gospodarki w 2011 roku.

Nagrody Państwowe:

W 2018 roku, w 25 rocznicę pracy na Politechnice Wrocławskiej decyzją Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej otrzymałem **Medal Srebrny za długoletnią służbę**.

Nagrody Rektora Politechniki Wrocławskiej:

2006, 2007, 2010, 2021, 2022 za wyróżniającą pracę naukowo-badawczą. 25 dyplomów JM Rektora Politechniki Wrocławskiej za organizację imprez i wydarzeń w ciągu 25 edycji Dolnośląskiego Festiwalu Nauki.

Nagrody Dziekana Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii:

2004, 2005, 2008, 2019, 2021 i 2022 za wyróżniającą pracę naukowo-organizacyjną na rzecz macierzystego wydziału.

7.3. Kursy i szkolenia

Pracując na Politechnice Wrocławskiej stale wzbogacam swój warsztat naukowy i dydaktyczny oraz umiejętności praktyczne wykorzystywane w pracy naukowej. Brałem udział w wielu kursach i szkoleniach organizowanych przez polskie i zagraniczne jednostki naukowe i przemysłowe. Wśród najważniejszych należy wymienić kolejno.

7.3.1. Przed uzyskanie stopnia doktora

1. Uprawnienia geodezyjne nadane przez Głównego Geodetę Kraju w zakresach I: geodezyjne pomiary sytuacyjno-wysokościowe, inwentaryzacyjne i realizacyjne oraz IV: geodezyjna obsługa inwestycji – zdany egzamin państwowy w 1999 roku, nr uprawnień 17474,
2. Leica Geosystems Herrbrug w Szwajcarii - obsługa, konserwacja i użytkowanie tachimetrów firmy Leica 2 tygodnie 1999 rok,
3. Impark Master Belgium Gent - projektowanie i wykorzystanie systemów geoinformacyjnych - 8 tygodni 1996 rok.

7.3.2. Po uzyskaniu stopnia doktora

1. GAF Hoyerswerda Niemcy – zagospodarowanie terenów pogórnich, ochrona środowiska, rewitalizacja i wykorzystanie walorów przyrodniczych – 2 tygodnie 2003 rok.
2. Bentley Systems Polska Warszawa – systemy geoinformacyjne, mapy numeryczne i hybrydowe – 2 dni 2003 rok.
3. Polskie Towarzystwo informacji Przestrzennej w Warszawie – warsztaty naukowe nt: Edukacja Geomatyczna w społeczeństwie informatycznym – 2 dni 2004 rok.
4. Stowarzyszenie Geodetów Polskich, Oddział w Krakowie – szkolenie nt: Wprowadzenie układu współrzędnych 2000 – teoria i doświadczenia praktyczne – 3 dni 2006 rok.
5. Narodowy Program Foresight Polska 2020 Warszawa – uczestnictwo w zespole Ekspertów Zewnętrznych ds. Analiz Delphi – 1 dzień 2008 rok.
6. Uniwersytet Wrocławski – 21 Szkoła Kartograficzna pt: Satellite technologies in GIS and cartography – 3 dni 2012 rok.
7. Polska Akademia Nauk, Wydział Geodezji i Kartografii Politechnik Warszawskiej, Stowarzyszenie Geodetów Polskich – monitoring obiektów inżynierskich, skaning laserowy, pomiary i opracowania geodezyjne - 3 dni 2017 rok.
8. Politechnika Wroclawska – szkolenie z zakresu umiejętności dydaktyki w języku obcym pt: Academic Writing – 11 dni 2018 rok.
9. Politechnika Wroclawska – szkolenie z zakresu umiejętności dydaktyki w języku obcym pt: Język angielski z elementami języka technicznego – 3 tygodnie 2018 rok.

10. Politechnika Wrocławska – udział w projekcie „Politechnika Nowych Szans” szkolenie z zakresu umiejętności dydaktyki w kontaktach z osobami niepełnosprawnymi – 2 dni 2019 rok.
11. Riegl Horn Austria – obsługa skanera i analiza danych z naziemnego (TLS) i mobilnego (MLS) skaningu laserowego – 1 tydzień 2020 rok.

.....
Podpis wnioskodawcy