

1. Imię i Nazwisko

Kamil Kowalczyk

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Informacje na temat posiadanych tytułów zawodowych i stopni naukowych zestawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1 Tytuły zawodowe i stopnie naukowe

Tytuł/Stopień	Data uzyskania	Szczegóły
magister inżynier	3.09.2001	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej Kierunek studiów: Geodezja i systemy informacji przestrzennej Praca magisterska nt.: „Zastosowanie rzutu środkowego na przykładzie zdjęć” Promotor dr inż. Renata Jędrzycka
doktor	11.04.2006	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej Dziedzina: Nauki Techniczne Dyscyplina: Geodezja i Kartografia Specjalność: Geodezja wyższa Rozprawa doktorska nt.: „Wyznaczenie modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski” Promotor: prof. dr hab. inż. Adam Łyszkowicz

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Informacje na temat zatrudnienia w jednostkach naukowych przedstawia tabela 3.1.

Tabela 3.1 Zatrudnienie w jednostkach naukowych

Okres		Nazwa Instytucji	Stanowisko
od	do		
2006	Obecnie	Katedra Geodezji Szczegółowej Wydział Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie	Adiunkt Kierownik katedry (2015-2017) Prodziekan ds. rozwoju i kształcenia (2012-2016)
2001	2006	Katedra Geodezji Szczegółowej Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie	doktorant

4. Osiągnięcia naukowe, o których mowa w art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Osiągnięcie naukowe stanowi cykl publikacji powiązanych tematycznie nt. „**Metodyka i możliwości opracowania modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej z powtarzanych kampanii niwelacji precyzyjnej oraz danych ze stacji permanentnych GNSS**”. Zestawienie publikacji stanowiących osiągnięcie przedstawia tabela 4.1 (oznaczenia tożsame z zawartymi w załączniku nr. 3 Wykaz dorobku habilitacyjnego).

Tabela 4.1 Charakterystyka cyklu publikacji nt. „Metodyka i możliwości opracowania modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej z powtarzanych kampanii niwelacji precyzyjnej i danych ze stacji permanentnych GNSS”.

Ozn.	Publikacja	Liczba punktów, IF ¹
[1B.1]	Kowalczyk K. , Bednarczyk M., 2009, Relational database of three precise leveling campaigns in Poland, Techn. SC., No 12, pp. 145-164. DOI: 10.2478/v10022-009-0013-8	6 Lista B MNiSW
[1B.2]	Kowalczyk K. , Rapiński J., 2013, Evaluation of levelling data for use in vertical crustal movements model in Poland, Acta Geodyn. Geomater., Vol. 10, No.3 (171), pp. 401-410. DOI: 10.13168/AGG.2013.0039	15 JCR, IF 0.667
[1B.3]	Kowalczyk K. , 2015, The creation of a model of relative vertical crustal movement In the Polish territory on the basis of the data from Active Geodetic Network EUPOS (ASG EUPOS). Acta Geodyn. Geomater., Vol. 12, No. 3 (179), pp. 215–225. DOI: 10.13168/AGG.2015.00220039	20 JCR, IF 0.561
[1B.4]	Rapiński J., Kowalczyk K. , 2016, Detection of discontinuities in the height component of GNSS time series. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 13, No. 3(183), pp. 315-320. DOI: 10.13168/AGG.2016.0013	20 JCR, IF 0.561
[1B.5]	Kowalczyk K. , Rapiński J., 2017, Robust network adjustment of vertical movements with GNSS data. Geofizika. DOI: 10.15233/gfz.2017.34.3	15 JCR, IF 0.944

4.1 Zakres publikacji

[1B.1] Kowalczyk K., Bednarczyk M., 2009, **Relational database of three precise leveling campaigns in Poland**, Techn. SC., No 12, pp. 145-164. DOI 10.2478/v10022-009-0013-8

Głównym celem publikacji było przygotowanie teoretyczne i praktyczne relacyjnej bazy danych sieci niwelacji precyzyjnej obszaru Polski z kolejnych kampanii pomiarowych. Praca zawiera opis danych z poszczególnych kampanii niwelacji precyzyjnej oraz schematy budowy tej bazy, a także przykłady uzyskiwania różnych informacji za pośrednictwem zapytań SQL. W publikacji scharakteryzowano dostępny materiał niwelacyjny, pokazano strukturę istniejących zbiorów źródłowych, w których przechowywane są dane niwelacyjne oraz opisano problemy jakie napotkano przy unifikacji tych danych. W rezultacie powstała kompletna baza danych zawierająca niewyrównane obserwacje z trzech

¹ Zgodnie z rokiem publikacji

kampanii niwelacyjnych 1953-1955, 1974-1982, 1997-2003. Na podstawie tych danych podjęte zostały próby opracowania modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski z wykorzystaniem danych z trzech kampanii niwelacji precyzyjnej. Rozpoczęto też prace nad uzupełnianiem bazy danych o pierwszą przedwojenną kampanię niwelacji precyzyjnej w Polsce.

Udział procentowy wnioskodawcy 65%.

[1B.2] Kowalczyk K., Rapiński J., 2013, **Evaluation of levelling data for use in vertical crustal movements model in Poland**, Acta Geodyn. Geomater., Vol. 10, No.3 (171), pp. 401-410, DOI: 10.13168/AGG.2013.0039

Głównym celem publikacji było sprawdzenie przydatności danych pomiarowych z czterech kampanii niwelacji precyzyjnej w Polsce do budowy modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej, w celu wykorzystania go do kinematycznego układu wysokościowego kraju. W artykule przeanalizowano zgromadzony materiał niwelacyjny, dokonano identyfikacji wspólnych reperów węzłowych w kolejnych kampaniach pomiarowych jak też opracowano strategię identyfikacji dodatkowych punktów wspólnych sieci potrójnej niwelacji. Ze względu na różnorodny materiał niwelacyjny, zaproponowano także nowy wzór na obliczenie błędu wyznaczenia niewyrównanego ruchu pionowego na linii lub odcinku podwójnej niwelacji. Analizy jednoznacznie wskazały na nieprzydatność pierwszej międzywojennej kampanii niwelacyjnej jak i na słabość materiału z kampanii z lat 1953-1955.

Udział procentowy wnioskodawcy 55%.

[1B.3] Kowalczyk K., 2015, **The creation of a model of relative vertical crustal movement in the Polish territory on the basis of the data from Active Geodetic Network EUPOS (ASG EUPOS)**. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 12, No. 3 (179), pp. 215-225, DOI: 10.13168/AGG.2015.00220039

Głównym celem publikacji była próba zastosowania metody względnej do opracowania ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych ze stacji GNSS jako alternatywy do metody absolutnej. W sieci stacji GNSS nie wykonuje się pomiarów wzdłuż linii niwelacyjnej, dlatego też do wytypowania połączeń między stacjami (wektorów) użyto sprawdzoną metodę trójkątowania Delaunaya. Trójkąty te można utożsamiać z oczkiem sieci niwelacyjnej. Na każdym wektorze wyznaczono trend liniowy jako niewyrównany ruch pionowy. Do identyfikacji nieciągłości danych różnic wysokości w szeregu zastosowano metodę wizualną. Zmodyfikowano wzór na obliczenie błędu a priori tego ruchu jak też zaproponowano nowe kryterium niezamknięcia oczek. Wyrównanie tak utworzonej sieci ruchów pionowych przeprowadzono w trzech wariantach, przyjmując różne punkty dostosowania o stałej prędkości. Analiza dokładności wskazała na przydatność danych GNSS do budowy modelu ruchów pionowych ze średnim błędem $\pm 0.8\text{mm/rok}$.

Udział procentowy wnioskodawcy 100%.

[1B.4] Rapiński J., Kowalczyk K., 2016, **Detection of discontinuities in the height component of GNSS time series**. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 13, No. 3(183), pp. 315-320. DOI: 10.13168/AGG.2016.0013

Głównym celem publikacji było opracowanie algorytmu do obliczenia prędkości zmiany różnic wysokości pomiędzy stacjami GNSS polskiej sieci ASG EUPOS. Różnice wysokości pomiędzy dwoma stacjami permanentnych GNSS tworzą szeregi czasowe. W szeregach tych występują nieciągłości

danych w czasie jak i nieciągłość w danych różnic wysokości tzw. „skoki”. Nieciągłości w postaci „skoków” są trudne do identyfikacji wizualnej jak i zaburzają wiarygodność wyznaczonego trendu. W artykule przeprowadzono pierwsze testy opracowanego algorytmu do identyfikacji wielkości oraz liczby „skoków”, obliczenia trendu liniowego metodą najmniejszych kwadratów jak i określenia błędu a posteriori tego trendu. Pierwsze testy dały pozytywne wyniki działania algorytmu.

Udział procentowy wnioskodawcy 50%.

[1B.5] Kowalczyk K., Rapiński J., 2017, **Robust network adjustment of vertical movements with GNSS data**. Geofizyka, Vol. pp. DOI: 10.15233/gfz.2017.34.3.

Głównym celem artykułu jest przeprowadzenie wyrównania sieci ruchów pionowych z danych ze stacji permanentnych GNSS metodą odporną wraz z określeniem metodologii doboru wag obserwacji. W artykule wykazano, iż dobór kryterium niezamknięcia oczek zaproponowany we wcześniejszym artykule jest właściwy. Opracowano kryterium wag niezbędnych w procesie wyrównania. Przeprowadzono wyrównanie sieci ruchów pionowych z danych ze stacji permanentnych GNSS metodą odporną w czterech wariantach. Przeprowadzone analizy statystyczne wykazały prawidłowość doboru kryterium wag jak i trafność doboru metody wyrównania. Otrzymane błędy średnie po wyrównaniu kształtują się na poziomie 0.1 mm/rok do 0.2 mm/rok. W ten sposób wykazano, iż opracowanie modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych ze stacji GNSS jako ruchy względne daje bardzo dobre rezultaty. Pozwala to wnioskować, iż istnieje możliwość jednoczesnego wyrównania sieci ruchów pionowych z podwójnej lub potrójnej niwelacji oraz sieci ruchów pionowych z danych ze stacji GNSS wraz z oceną ich wiarygodności.

Udział procentowy wnioskodawcy 65%.

4.2 Główne założenia i cele badań oraz osiągnięte wyniki i potencjalne ich wykorzystanie

Problem badawczy dotyczy **metodyki i możliwości opracowania modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej z powtarzanych kampanii niwelacji precyzyjnej oraz danych ze stacji permanentnych GNSS**.

Założenia:

- a) dostarczenie wiarygodnego modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski w celu stworzenia państwowego kinematycznego układu wysokościowego [18];
- b) dostarczenie informacji o wiarygodnych współczesnych ruchach pionowych skorupy ziemskiej do badań geofizycznych (monitorowanie ruchów izostatycznych [39], [53], tektonika [13], [56], sejsmika [46], badania geologiczne [[4], [44], [64], [54], badaniu zmian poziomu wód gruntowych [5];
- c) dostarczenie informacji do weryfikacji modeli ruchów pionowych wyznaczanych innymi technikami [51], [16], [43], dostarczenie informacji w procesie lokalizacji miejsc wydobywania ropy i gazu [23];
- d) dostarczenia informacji o aktualnym stanie globalnych i regionalnych układów i systemów odniesień [2], [47].

Cele badań

- a) przygotowanie teoretyczne i praktyczne relacyjnej bazy danych sieci niwelacji precyzyjnej obszaru Polski z kolejnych kampanii pomiarowych oraz zdefiniowanie problemów przy unifikacji tych danych (**publikacja [1B.1]**);
- b) sprawdzenie przydatności danych pomiarowych z czterech kampanii niwelacji precyzyjnej w Polsce do budowy modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej, w celu wykorzystania go do aktualizacji wysokości podstawowej sieci wysokościowej (**publikacja [1B.2]**);
- c) próba zastosowania metody względnej do opracowania ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych ze stacji GNSS jako alternatywy do metody absolutnej (**publikacja [1B.3]**);
- d) opracowanie algorytmu do obliczenia prędkości zmiany różnic wysokości pomiędzy stacjami GNSS polskiej sieci ASG EUPOS oraz ocena możliwości opracowania modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej w czasie prawie rzeczywistym (**publikacje [1B.4], [1B.5]**);
- e) przeprowadzenie wyrównania sieci ruchów pionowych z danych ze stacji permanentnych GNSS metodą odporną wraz z określeniem metodyki doboru wag obserwacji (**publikacja [1B.5]**).

Uzasadnienie podjęcia tematu

Wiedza o ruchach pionowych skorupy ziemskiej znajduje szerokie zastosowanie w monitoringu ruchów izostatycznych [39]; [53] i tektonice [13]; [56], sejsmice [46], określaniu miejsc wydobywania ropy i gazu [23], lokalizacji strategicznych budowli inżynierskich, badaniu zmian poziomu wód gruntowych [5], badaniu zmian geologicznych [4]; [44]; [64]; [54], weryfikacji modeli ruchów pionowych wyznaczanych innymi technikami [51]; [16]; [43], a także zachowania aktualnego stanu globalnych i regionalnych układów i systemów odniesień [2]; [47].

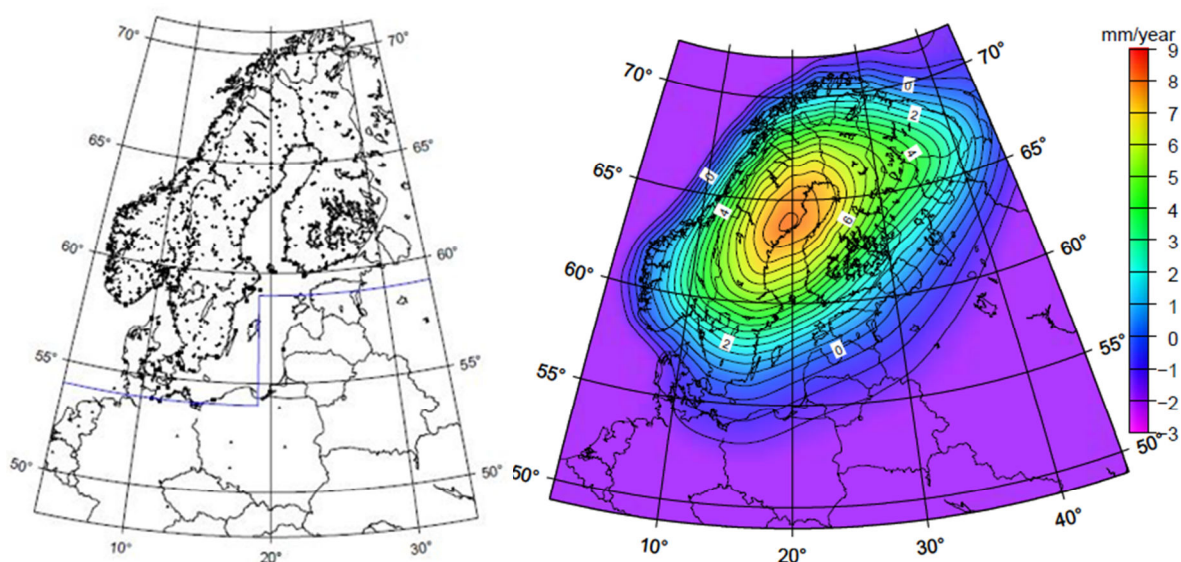
Budowa satelitarnych systemów pomiarowych Global Positioning Systems (GPS), Synthetic Aperture Radar (SAR), i Satellite Laser Ranging (SLR) jak i Interferometria Wielkobazowa (VLBI) dała możliwość monitorowania Ziemi na skalę globalną. Pozwoliło to na przejście z systemów i układów trójwymiarowych do układów i systemów czterowymiarowych uwzględniających zmianę położenia płyt kontynentów w czasie [3]; [41]; [49].

W Europie pierwsze modele ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych geodezyjnych opracowano w latach 60 i 70 -tych [15]; [45]; [59]; [62] na podstawie pomiarów niwelacji precyzyjnej. Częstość opracowania tych modeli zależała od częstości aktualizacji danych niwelacyjnych. Modele te przewyższały swoją dokładnością modele prędkości poziomych. Od momentu działania satelitarnych systemów pomiarowych i coraz dłuższych szeregów czasowych modele ruchów pionowych skorupy ziemskiej zaczęto opracowywać z danych GNSS głównie jako prędkości absolutne na stacjach permanentnych [58]; [25].

Jak podano w pracy [61] istnieje teoretyczna możliwość wyznaczenia prędkości pionowych z precyzją 0.1 mm/rok. do 0.2 mm/rok. Jednak otrzymanie praktyczne takiej dokładności jest zadaniem bardziej skomplikowanym. Głównym czynnikiem wpływającym na dokładność wyznaczenia ruchu absolutnego stacji jest jej czas funkcjonowania [1B.3]; [21]. Połączenie danych niwelacyjnych i danych GNSS też nie jest zadaniem łatwym ze względu na różne systemy wysokości i metody opracowania [24] oraz

konieczność uwzględniania modeli geoidy lub też znajomości zmian geoidy w czasie [55]. Dodatkowym utrudnieniem jest stosowanie różnych rozwiązań w procesie budowy modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej, od modeli matematycznych po modele geofizyczne [2].

Opracowywane modele ruchów pionowych skorupy ziemskiej [32] w dużej mierze opierają się wyłącznie na danych niwelacyjnych, nieliczne próby opracowania modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych GNSS w krajach Europy Środkowej oparte są wyłącznie na zmianach absolutnych, a duży zasięg opracowania eliminuje zmiany o charakterze regionalnym i lokalnym. Opracowany przez Nordic Geodetic Commission (NKG) na potrzeby europejskiego kinematycznego układu wysokościowego EVRF 2007 oraz European Vertical Reference System EVRS 2007 [49] model ruchów pionowych skorupy ziemskiej NKG2005LU [2] jest kombinacją danych mareograficznych, niwelacyjnych i pomiarów na punktach GPS w oparciu, głównie o dane z północnej części Europy i wybiórcze dane z Europy Środkowej (Rys.1).



Rysunek 1. Lewa strona - wszystkie obserwacje użyte w modelu Vestol 2005 (mareografy GPS repery), prawa strona nordycki model ruchów pionowych skorupy ziemskiej NKG2005LU (interpolacja odwrotnością odległości, minimalna wartość -2,00 mm/rok). Jednostki mm/rok. [2]

Zmiany położenia płyt tektonicznych są procesem trwającym na Ziemi od milionów lat. Wiedza o prędkości i kierunku zachodzących zmian jest pozyskiwana na podstawie różnego rodzaju obserwacji i pomiarów. Najdokładniejsze pomiary są wykonywane technikami geodezyjnymi. Okresy pomiarowe jak i sprzęt użyty do prowadzenia obserwacji różnią się w zależności od zastosowanej metody pomiarowej. Wyróżnić można trzy podstawowe metody pomiarowe: pomiary mareograficzne, pomiary niwelacji precyzyjnej oraz pomiary GNSS, z których najdokładniejsza jest niwelacja precyzyjna. Jest to technologia pracochłonna, dlatego dane z kampanii niwelacji precyzyjnej aktualizowane było średnio co 20 lat [18] lub też w okresach krótszych jako pomiary uzupełniające lub kontrolne [49]; [34]; [1B.2]. Kumulowanie się błędów systematycznych tych sieci oraz różne epoki pomiarowe w różnych krajach europejskich utrudniają opracowanie wiarygodnego i aktualnego modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych niwelacyjnych na obszarach obejmujących kilka krajów. Tak zróżnicowane okresy

pomiarowe wpływają w znacznym stopniu na jakość modeli regionalnych i globalnych ruchów pionowych skorupy ziemskiej. Wykorzystanie danych GNSS pozwala na opracowywanie modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej w czasie prawie rzeczywistym (aktualizacji każdego dnia, tygodnia lub miesiąca w zależności od potrzeb geologicznych, klimatycznych, oceny stanu sieci GNSS). A określenie wielkości czynników wpływających negatywnie na jakość wyznaczonych ruchów i ich eliminacja daje możliwość tworzenia wiarygodnych modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej. Jest to obecnie kluczowe zagadnienie Komisji EUREF (*symposium EUREF Budapest 2013* <http://euref2013.fomi.hu/>, *Symposium EUREF Vilnius 2014* <http://www.nzt.lt/euref2014/>).

Do realizacji zadania utworzono specjalna grupę roboczą, której celem jest: uzyskanie modeli prędkości i znacznie poprawie prognozowania zmian współrzędnych w czasie oraz pokonanie ograniczenia w zakresie korzystania z ETRS89 [38]. Celem długoterminowym jest stworzenie modelu prędkości deformacji skorupy ziemskiej [38] w oparciu o "znane" prędkości skorupy obliczone ze stacji referencyjnych GNSS [24]; [10].

Wiarygodne i aktualne modele ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych GNSS, zarówno regionalne i lokalne, posłużą także do badań i interpretacji zmian tektonicznych, geologicznych i klimatycznych na obszarze Europy Środkowej, takich jak: monitoring stanu wód gruntowych, monitoring zmian poziomu morza Bałtyckiego, badanie zmian górotworów, a także weryfikacji modeli lokalnych, regionalnych i globalnych ruchów pionowych skorupy ziemskiej opracowanych innymi technikami.

Wyniki badań wpisują się w zakres dziedziny nauk technicznych, w dyscyplinie geodezja i kartografia z zakresu geodezji wyższej i geodynamiki. Otrzymane wyniki projektu dostarczą informacji o ruchach pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski. Wyniki poszczególnych etapów dostarczą wiedzy o możliwościach wykorzystania danych GNSS do budowy modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej, wskażą możliwości eliminacji czynników zewnętrznych nie związanych z ruchami pionowymi płyt tektonicznych, dadzą pogląd na możliwe określenie praktycznej dokładności wyznaczonych ruchów pionowych pomiędzy stacjami permanentnymi, na dokładność wyznaczonego modelu jak też dobór metody opracowania modelu. Wypracowana wiedza o ruchach pionowych skorupy ziemskiej znajdzie też zastosowanie w monitoringu stanu wód gruntowych, monitoringu zmian poziomu Morza Bałtyckiego, badaniu zmian geologicznych, a także weryfikacji modeli lokalnych i globalnych ruchów pionowych skorupy ziemskiej. Opracowanie procedury pozwoli na wiarygodną interpretację ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych GNSS. Badania wpisują się także w aktualne prace Podkomisji EUREF i połączonej grupy roboczej IAG (JSG 3.1: Gravity and height change intercomparison (joint with Commissions 2, 3 and IGFS, description see Commission 3)) a także w polskie prace badawcze z tego zakresu (Polish National Report on Geodesy 2011-2014, the XXVI General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics in Prague [7]).

Aktualnie rozwój cywilizacyjny oparty jest na tworzeniu i wdrażaniu coraz nowszych systemów pomiarowych GNSS, SLR, VLBI, InSAR jak i różnego rodzaju misji satelitarnych np. grawimetrycznych. Wiedza o wiarygodnych wielkościach ruchów pionowych skorupy ziemskiej pozwoli na wybór nowych miejsc lokalizacji stacji naziemnych poszczególnych systemów. Obecnie w Polsce trwają prace nad wyborem miejsca lokalizacji elektrowni jądrowej. Jednym z elementów ważnych z punktu bezpieczeństwa budowli, branych pod uwagę są właśnie ruchy pionowe skorupy

ziemskiej (Zamówienie Departamentu Geologii i Koncesji Geologicznych Ministerstwa Środowiska: rozpoznanie i kartograficzny obraz neotektonicznej i współczesnej mobilności obszaru Polski w kontekście bezpiecznej lokalizacji elektrowni jądrowych - opracowanie metodyki i sporządzenie analizy zagrożenia geodynamicznego dla trzech potencjalnych lokalizacji elektrowni jądrowych oraz opracowanie metodyki i kategoryzacji zagrożenia geodynamicznego dla obszaru Polski). W Polsce jak i w Europie wprowadzany jest nowy kinematyczny układ wysokościowy. Opracowanie wiarygodnego modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych GNSS pozwoli na aktualizację tego układu poprzez wprowadzenie poprawki do wysokości punktów osnowy geodezyjnej lub poprawki do przewyższenia ze względu na ruchy pionowe skorupy ziemskiej. Ogólnie wzór na aktualizację wysokości w wybranej epoce k , bez wyrównania może przyjąć postać:

$$H(t_k) = H(t_0) + v(t_k - t_0) \quad (1)$$

gdzie H jest to wysokość tego samego punktu w epoce zerowej i epoce k , a iloczyn prędkości na reperze v i interwału czasu $(t_k - t_0)$ jest poprawką.

Poprawkę można także wprowadzić na etapie ponownego wyrównania sieci dodając ją do pomierzonego przewyższenia $\Delta h_{ij,0}$:

$$\Delta h_{ij,k} = \Delta h_{ij,0} + v_{ij}(t_k - t_0) \quad (2)$$

Wariant wprowadzenia poprawki jak też wybór odpowiedniej metody wyrównania uzależniony jest od potrzeb prowadzonych badań deformacji jak też narodowej służby geodezyjnej.

Niezależnie od wariantu istotne jest, aby użyta prędkość pionowa była wiarygodna i zapewniała odpowiednią dokładność.

Sposób realizacji planu badawczego:

Zastosowano badania poznawcze, empiryczne, analizy danych, oceny statystyczne, które posłużyły do:

- a) zdefiniowania potrzeby realizacji założonego celu badań, którym jest opracowanie metodyki i ocena możliwości opracowania modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej z powtarzanych kampanii niwelacji precyzyjnej oraz danych ze stacji permanentnych GNSS;
- b) dokonania przeglądu stanu wiedzy z zakresu problematyki quasi kinematycznych układów wysokościowych, w tym roli modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej w ich aktualizacji;
- c) określenia obszaru badań oraz dostępności danych pomiarowych z czterech kampanii niwelacji precyzyjnej w Polsce oraz danych ze stacji ASG EUPOS;
- d) zdefiniowania hipotezy związanej z możliwością opracowania ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych ze stacji GNSS jako ruchów względnych i „obserwowanych”;
- e) analizy pozyskanych danych pod kątem realizacji celu badawczego;
- f) przeprowadzenia badań w formie empirycznej na pozyskanych danych pomiarowych;
- g) opracowania uzyskanych wyników i sformułowania wniosków.

Badania w całości zostały wykonane w ramach tematów statutowych Wydziału Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa: Problemy osnów geodezyjnych oraz tworzenie i aktualizacja baz danych map numerycznych, 2006-2014, Infrastruktury danych przestrzennych, 2014-2017.

Osiągnięte wyniki:

1. Zdefiniowanie potrzeb i możliwości opracowania modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej z kampanii niwelacji precyzyjnej i danych ze stacji GNSS wraz z oceną ich wiarygodności (**publikacje [1B.1]; [1B.2]; [1B.3]; [1B.4]; [1B.5]**).
2. Analiza i ocena materiału pomiarowego z czterech kampanii niwelacji precyzyjnej w Polsce pod kątem ich wykorzystania do budowy modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej jako sieci potrójnej i poczwórnej niwelacji, w tym określenie wzoru na obliczenie błędu wyznaczenia niewyrównanego ruchu pionowego na linii lub odcinku podwójnej niwelacji (**publikacja [1B.1]; [1B.2]**).
3. Zdefiniowanie problemów jednoczesnego wyrównania sieci ruchów pionowych utworzonych na podstawie danych pomiarowych z kampanii niwelacji precyzyjnej i danych ze stacji permanentnych GNSS wraz z określeniem procedury opracowania ruchów pionowych skorupy ziemskiej na podstawie danych ze stacji GNSS (**publikacja [1B.3]**).
4. Ocena możliwości i zastosowanie metody względnej do opracowania ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych ze stacji permanentnych GNSS, w tym wyboru metody poszukiwania połączeń pomiędzy stacjami permanentnymi GNSS, określenie wzoru na przewidywany błąd a priori wyznaczenia ruchu pionowego na tych połączeniach oraz zaproponowanie kryterium weryfikacji niezamknięcia oczek w sieci ruchów pionowych z danych ze stacji GNSS (**publikacje [1B.3]; [1B.5]**).
5. Opracowanie algorytmu do obliczenia prędkości zmiany różnic wysokości pomiędzy permanentnymi stacjami GNSS bazującego na metodzie najmniejszych kwadratów oraz ocena możliwości opracowania modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej w czasie prawie rzeczywistym (**publikacje [1B.4]; [1B.5]**).
6. Przeprowadzanie wyrównania sieci względnych ruchów pionowych z danych ze stacji GNSS, w tym określenie kryterium wag oraz zdefiniowanie czynników determinujących wybór metody wyrównania (**publikacje [1B.3]; [1B.5]**).

Potencjalne wykorzystanie wyników

1. Zaproponowana metodologia posłuży do opracowania aktualnych modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej z jednoczesnym wykorzystaniem danych niwelacyjnych i danych ze stacji GNSS.
2. Zaproponowane rozwiązanie posiada zalety stałej aktualizacji oraz rozbudowy sieci ruchów pionowych o nowe linie pomiarowe (podwójne, potrójnej czy poczwórnej niwelacji) oraz wektory pomiędzy stacjami GNSS oraz inne sieci ruchów pionowych (np. na podstawie prywatnych stacji permanentnych).

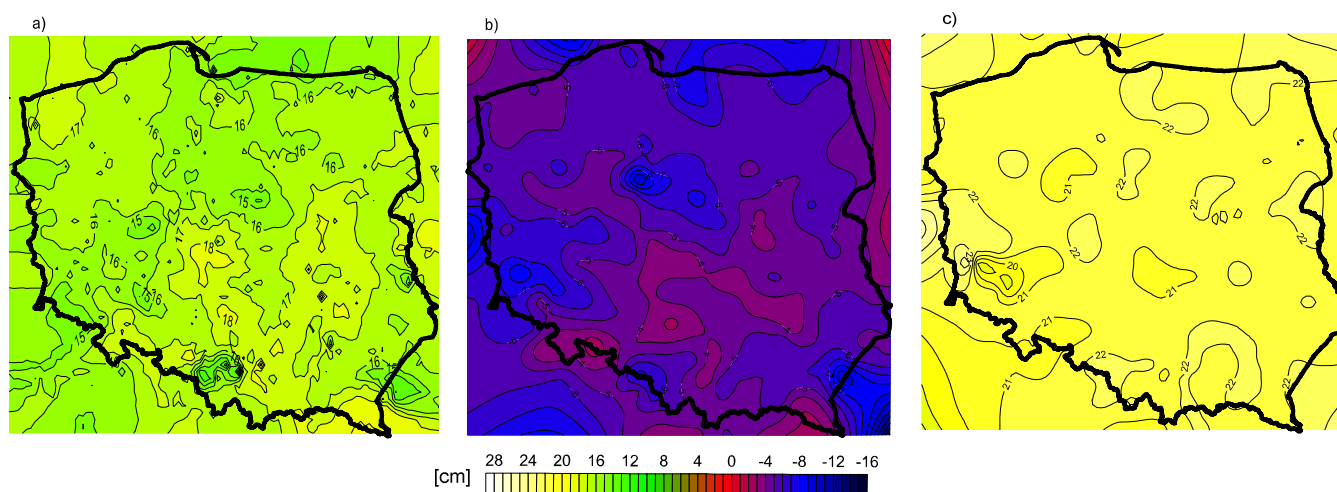
3. Opracowane modele współczesnych ruchów pionowych skorupy ziemskiej mogą pozwolić na kolejne wyrównanie podstawowej sieci wysokościowej kraju bez konieczności przeprowadzenia pomiaru całej sieci (kinematyczny układ wysokościowy).
4. Opracowanie ruchów pionowych jako sieci względnej daje możliwość:
 - a) włączenia do wyrównania, sieci ruchów pionowych utworzonych na podstawie innych danych czyli tzw. sieci hybrydowe;
 - b) modyfikacji parametrów wag z uwzględnieniem np. rodzaju mocowania anten GNSS;
 - c) kontynuowania prac nad automatyzacją procesu opracowania modeli współczesnych ruchów pionowych skorupy ziemskiej wraz z jednoczesną ich oceną dokładności;
 - d) rozpoczęcia prac nad metodą samo weryfikacji modeli;
 - e) dostarczenia informacji o aktualnym stanie globalnych i regionalnych wysokościowych układów i systemów odniesień.
5. Metoda względna z powodzeniem może być wykorzystywana do opracowania także ruchów pionowych skorupy ziemskiej z rozwiązań PPP.
6. Algorytm po ustaleniu odpowiednich parametrów może być wykorzystywany w opracowaniu szeregów czasowych z innych danych np. mareograficznych czy misji satelitarnych GRACE, GOCE.
7. Aktualne modele ruchów pionowych pozwolą na weryfikację podobnych opracowań innymi metodami i z użyciem innego rodzaju danych.
8. Aktualne modele dostarczą informacji do innych dziedzin nauki i gospodarki, gdzie wiedza o ruchach pionowych skorupy ziemskiej jest wykorzystywana.

4.3 Szczegółowy opis osiągniętych wyników

4.3.1 Rola modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej w kinematycznych układach wysokościowych (publikacje [1B.2]; [1B.5]).

W roku 2014 w Polsce przeprowadzono wyrównanie sieci niwelacji precyzyjnej w odniesieniu do mareografu w Amsterdamie, bazując na punktach dostosowania, których wysokości zostały określone w procesie europejskiego wyrównania w oparciu o dane niwelacyjne z 14 krajów. Pomiary zredukowano na wspólną epokę 2000 stosując model ruchów pionowych NKG2005LU (Rys. 1) [2]. W obliczeniach założono, iż prędkości ruchów pionowych są stałe i mają charakter liniowy. Szczegółowy opis opracowania układu EVRF2007 można znaleźć w pracy [49].

Jak widać z Rysunku 1 dla obszaru Polski przyjęto wartość ruchu pionowego skorupy ziemskiej na poziomie -2mm/rok w oparciu o wielkości ruchu wyznaczone na małej próbie czterech stacji GPS. Konsekwencją przyjęcia takiego rozwiązania mogą być miejscowe różnice pomiędzy wysokościami w układzie PL-EVRF2007 a wysokościami przewidywanymi na podstawie informacji o regionalnych ruchach pionowych skorupy ziemskiej Rys. 2.



Rysunek 2. a) Przybliżone różnice wysokości normalnych (H) pomiędzy układami wysokościowymi PL-EVRF2007-NH i PL-KRON86-NH, b) przewidywane zmiany wysokości normalnych układu KRONSTADT 86 na epokę 2000 na podstawie opracowanych ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski [32], c) różnice wysokości normalnych pomiędzy układem wysokościowym PL-EVRF2007-NH a układem KRONSTADT 86 na epokę 2000 na podstawie opracowanych ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski [32], modele opracowano z cięciem 1cm z użyciem interpolacji najmniejszej krzywizny.

Oryginalny model różnicy wysokości normalnych (H) pomiędzy układami wysokościowymi PL-EVRF2007-NH i PL-KRON86-NH można znaleźć w prezentacji [17].

Na rysunku numer 2 widać, iż otrzymane różnice wysokości wykazują odchylenia od quasi stałej różnicy o kilka centymetrów. Jest to spowodowane użyciem w wyrównaniu, globalnego modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej. Biorąc pod uwagę czas przeprowadzenia ostatniej kampanii niwelacji precyzyjnej w Polsce (1997-2003) oraz rozwój technik GNSS można się spodziewać, iż kolejna kampania pomiarowa (średni interwał pomiędzy kolejnymi kampaniami wynosi około 20 lat) stoi pod dużym znakiem zapytania, pomimo wskazań, iż ma to nastąpić w roku 2020 [18]. Wynika z tego, iż wysokości reperów w nowym układzie wysokościowym PL-EVRF2007-NH stają się nieaktualne już w momencie jego wprowadzenia. Rozwiązaniem tego problemu może być opracowanie nowego modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej z kilku wcześniejszych kampanii niwelacyjnych [1B.2], modelu z danych ze stacji GNSS [1B.5] lub też modelu z danych hybrydowych (niwelacja i dane ze stacji GNSS).

Opracowanie wiarygodnego modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych GNSS pozwoli na aktualizację tego układu poprzez wprowadzenie poprawki do wysokości punktów osnowy geodezyjnej lub poprawki do przewyższenia ze względu na ruchy pionowe skorupy ziemskiej. Ogólnie wzór na aktualizację wysokości w wybranej epoce k , bez wyrównania może przyjąć postać:

$$H(t_k) = H(t_0) + v(t_k - t_0) \quad (1)$$

Gdzie H jest to wysokość tego samego punktu w epoce zerowej i epoce k , a iloczyn prędkości na reperze v i interwału czasu $(t_k - t_0)$ jest poprawką.

Poprawkę ze względu na ruchy pionowe skorupy ziemskiej można także wprowadzić na etapie ponownego wyrównania sieci dodając ją do pomierzonego przewyższenia $\Delta h_{ij,0}$:

$$\Delta h_{ij,k} = \Delta h_{ij,0} + v_{ij}(t_k - t_0) \quad (2)$$

Wariant wprowadzenia poprawki jak też wybór odpowiedniej metody wyrównania uzależniony jest od potrzeb prowadzonych badań deformacji jak też narodowej służby geodezyjnej.

Niezależnie od wariantu istotne jest, aby użyta prędkość pionowa była wiarygodna i zapewniała odpowiednią dokładność.

Wychodząc z ogólnego założenia, iż ruch pionowy związany jest z punktem na powierzchni Ziemi:

$$\Delta h_{ij,k} = H_j - H_i + V_j(t_k - t_0) - V_i(t_k - t_0) \quad (3)$$

można przejść od wyznaczenia tego ruchu w sposób przybliżony do metod opartych na wyznaczeniu ruchu pionowego w oparciu o wielokrotne pomiary przewyższeń pomiędzy reperami i późniejsze wyrównanie tak utworzonej sieci ruchów pionowych. W sieci niwelacyjnej elementami mierzonymi są przewyższenia pomiędzy dwoma reperami. Podobnie potraktować można różnice wysokości pomiędzy dwoma permanentnymi stacjami GNSS. Jeżeli różnice te mierzone są w kilku epokach oraz zdefiniowane są połączenia pomiędzy stacjami to również utworzą one sieć ruchów pionowych, którą można poddać wyrównaniu. Ta analogia umożliwi jednoczesne wyrównanie obu sieci, oraz da możliwość dodatkowej oceny wiarygodności opracowanego modelu ruchów pionowych z danych GNSS. Wymaga jednak zdefiniowania punktów w obu sieciach, które można uznać za wspólne.

4.3.2 Ocena możliwości opracowania modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej z więcej niż dwóch powtarzanych pomiarów niwelacji precyzyjnej (publikacja [1B.1]; [1B.2]).

Aby móc wykorzystać dane niwelacyjne pochodzące z różnych epok pomiarowych, należy zidentyfikować punkty wspólne jak i zebrać niezbędny materiał pomiarowy wraz z informacją o wielkościach wprowadzonych poprawek [1B.1]. Dane te są przechowywane w papierowych archiwach (ma to miejsce w Polsce), a dostępne katalogi zawierają jedynie dane już wyrównane. Dlatego też należy pozyskać dane z pomiaru.

Dane z kampanii pomiarowej z lat #3 (1974-1982) i #4 (1997-2003) zostały zebrane na etapie opracowania map współczesnych ruchów pionowych skorupy ziemskiej [37]; [31]; [32]; [36]. Od tego momentu rozpoczęto prace nad pozyskaniem danych pomiarowych z kampanii wcześniejszych tj. #1 (1926-1937) i #2 (1953-1955). Charakterystykę danych znaleźć można w pracach [1B.1]; [1B.2]; [28]. Po zebraniu materiału oraz zamiany go na wersję edytowalną, opracowano bazę danych zawierającą powyższy materiał oraz zdefiniowano relacje pomiędzy poszczególnymi składnikami tej bazy [1B.1], [29]. Pierwsze próby oceny zależności pomiędzy powyższymi sieciami niwelacyjnymi podjęto w pracy [34]. Właściwe wyrównanie oraz ocenę przydatności przeprowadzono w pracy [1B.2]. Główne problemy badawcze jakie rozwiązano to:

- analiza struktury istniejących zbiorów źródłowych, w których przechowywane są dane niwelacyjne oraz unifikacja tych danych,
- analiza materiału niwelacyjnego (pomiarowego) z poszczególnych kampanii niwelacji precyzyjnej w Polsce,
- dodatkowa identyfikacja punktów wspólnych w sieci potrójnej niwelacji,

- określenie kryterium oceny jakościowej sieci podwójnej i potrójnej niwelacji,
- określenie wzoru na wagi dla poszczególnych obserwacji z sieci podwójnej i potrójnej niwelacji,
- przeprowadzenie wyrównania i ocena wyników.

Materiał niwelacyjny jest przechowywany w Centralnym Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej postaci katalogów. Katalogi te mają formę analogową lubi cyfrową w zależności od dostępnych możliwości zapisu obserwacji w trakcie pomiaru sieci niwelacyjnej. W celu przeprowadzania szerszych analiz tych wyników należy zebrać cały materiał w jednolitej formie (bazie danych). Pierwsze próby ujednoczenia formy przechowywania danych z niwelacji precyzyjnej podjęto na Uniwersytecie Warmińsko - Mazurskim w 2002 roku [40]. Baza ta zawierała bardzo niewielkie fragmenty danych z trzech kampanii niwelacyjnych. Dane te nie stanowiły spójnego materiału przede wszystkim ze względu na różną numerację linii i reperów, różne trasy pomiaru, a także na rodzaj wprowadzonych poprawek i formę zapisu (papierowe zbiory, pliki tekstowe). Podczas pracy nad modelem ruchów pionowych skorupy ziemskiej w Polsce [31] udało się zebrać kompletny materiał z ostatnich dwóch kampanii niwelacyjnych (przewyższenia niewyrównane bez poprawek normalnych) i przetworzyć go do wspólnej postaci numerycznej (format xls). Do postaci cyfrowej przetworzono także dane z katalogów 1939 (Katalog 1939) i 1960 (Katalog 1960), jednak dane te zawierały tylko przewyższenia po wyrównaniu, co z punktu widzenia metody opracowania [31] nie stanowi materiału wyjściowego do badań nad ruchami pionowymi skorupy ziemskiej z danych niwelacyjnych.

Wyznaczony model ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski [32] był modelem statycznym. Aby stworzyć model kinematyczny potrzebne są dane z przynajmniej trzech kampanii niwelacyjnych. Dlatego celem pracy [1B.1] było zgromadzenie takich danych, ich ujednoczenie, i zapisanie w jednej wspólnej bazie danych niwelacyjnych, a także takie opracowanie bazy danych, aby optymalnie wykorzystać tę bazę do wyżej wymienionego celu.

Aby ujednoczyć dane z kampanii niwelacyjnych należało najpierw zestawić informacje jakie zawarte są w poszczególnych katalogach i dziennikach pomiarowych dostępnych autorowi. Każdy z katalogów zawierał nieco inne dane. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie struktury danych z kolejnych kampanii niwelacji precyzyjnej.

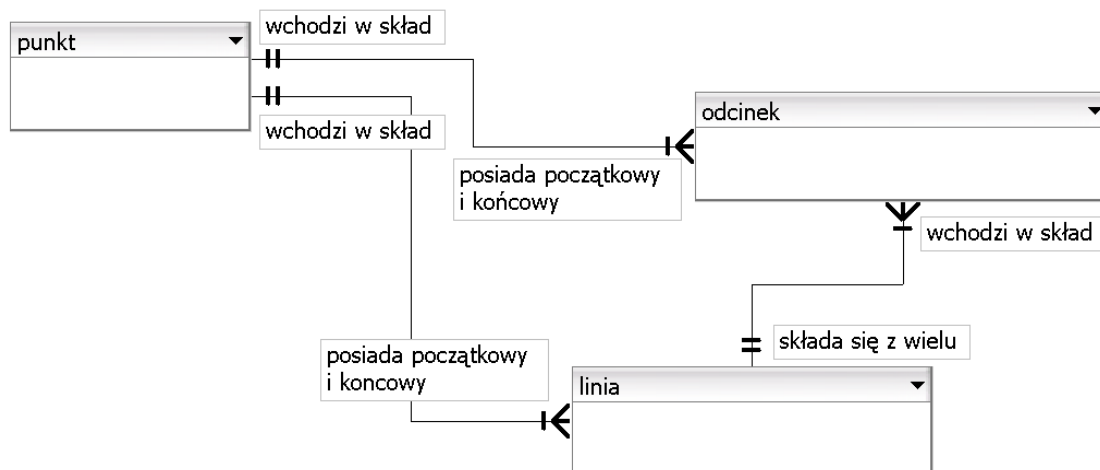
Tabela 1 Zawartość katalogów i dzienników pomiarowych [1B.1],[1B.2]

	Kampania #1 1926-1937	Kampania #2 1953-1955	Kampania #3 1974 - 1982	Kampania #4 1997-2003
Poprawki normalne PN	Nie	Tak	Tak	Tak
Numer w linii	Tak	Tak	Tak	Nie
Numer reperu	Nie	Tak	Tak	Tak
Typ reperu	Tak	Tak	Tak	Tak
Długości odcinków	Tak	Tak	Nie	Nie
Kilometraż	Nie	Tak	Tak	Tak
Głowica	Nie	Tak	Tak	Tak
Wysokość reperu	Tak	Tak	Tak	Tak

Opis	Tak	Tak	Tak	Tak
Współrzędne reperu	Nie	Sporadycznie	Tak	Tak
Przewyższenie wyrównane	Nie	Tak	Tak	Tak
Przewyższenie niewyrównane plus poprawka lat	Nie	Tak	Tak	Tak
Cecha	Nie	Tak	Tak	Tak
Data pomiaru	Tak	Tak	Tak	Tak
ID reperu	Nie	Nie	Nie	Tak
ID linii	Nie	Nie	Nie	Tak
Kod stabilizacji	Nie	Nie	Tak	Tak
Grupa	Nie	Nie	Tak	Tak

W trakcie analizy posiadanych zbiorów danych, na etapie wyodrębniania encji i ustalania relacji do późniejszego projektu bazy danych, oparto się na charakterystycznych cechach tych zbiorów. Jako najbardziej wyróżniające uznano związki topologiczne pomiędzy węzłami i krawędziami oraz okres czasu, w którym dokonywano pomiaru. Ponadto specyfika zapisu danych z dzienników pomiarowych bezpośrednio w tabeli bazy danych sprawia, że punkty węzłowe linii występują w niej wielokrotnie – w zależności od tego ile linii rozpoczyna się lub kończy w danym węźle. Poza tym poszczególne kampanie mają w większości wspólne repery. Proste zestawienie ich we wspólnym zbiorze również spowoduje zwielokrotnienie danych. Zatem po pierwsze - występuje nadmiarowość czyli zbędne powtarzanie danych o punktach. Po drugie - sytuacja taka może powodować anomalie modyfikacji - przy zmianie bądź aktualizacji danych o punkcie konieczne jest dokonanie zmian we wszystkich rekordach zawierających ten punkt. Z jednej strony jest to duże obciążenie dla pracy systemu, z drugiej może stać się przyczyną utraty spójności danych. Po trzecie – mogą wystąpić anomalie usunięć – jeżeli usuniemy jedyną linię zawierającą dany punkt, usuniemy również dane o punkcie.

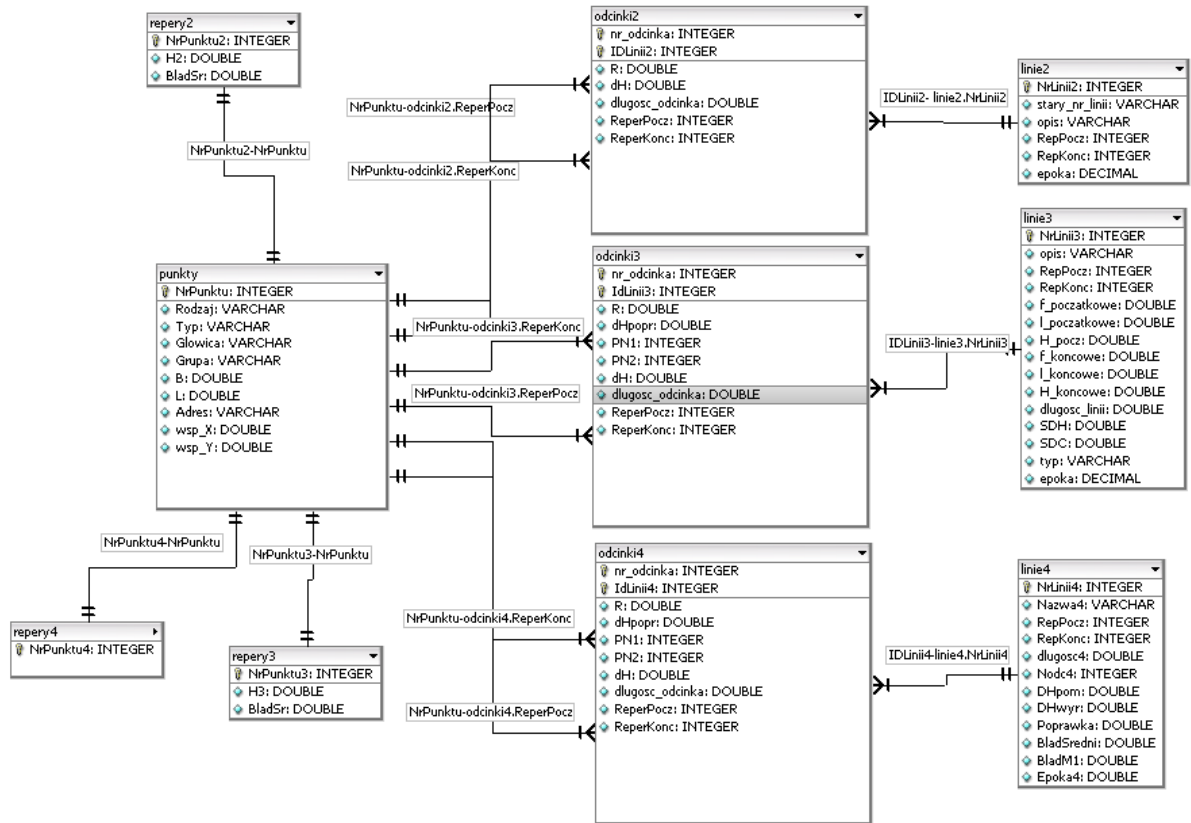
Obecnie schemat bazy jest w dwóch wersjach. Logiczny podział zbioru danych na encje pozostaje jednakowy dla obydwu wersji.



Rysunek 3. Diagram związków encji [1B.1]

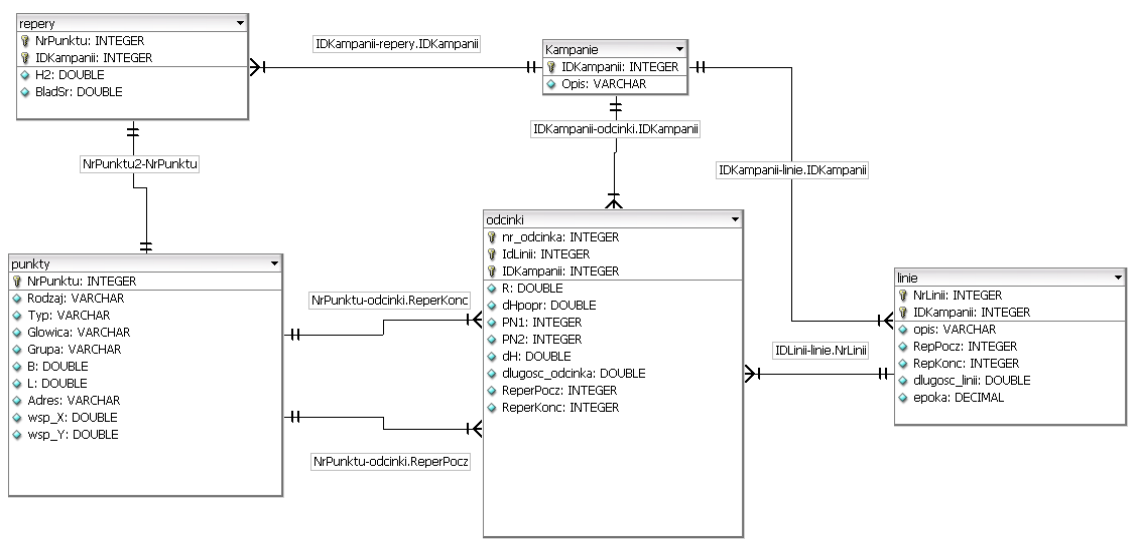
Bazę zaprojektowano w dwóch wersjach. W ogólnym ujęciu wersja pierwsza (Rys. 4) jest zoptymalizowana bardziej pod kątem wydajności - zbiór danych podzielony jest na mniejsze części, co w wielu przypadkach przyspiesza przeszukiwanie. Nie występują zbędne pola danych a dane o kampaniach mogą być bez przeszkód umieszczone w strukturze zbliżonej do oryginalnej. Zapytania

SQL konstruowane dla tej struktury zazwyczaj są złożone i dość skomplikowane, lecz w pewnych przypadkach (przykład 2 i 2a w rozdziale *Korzystanie z bazy [1B.1]*) mogą być prostsze niż w wersji 2 bazy danych.



Rysunek 4. Schemat bazy w wersji pierwszej [1B.1]

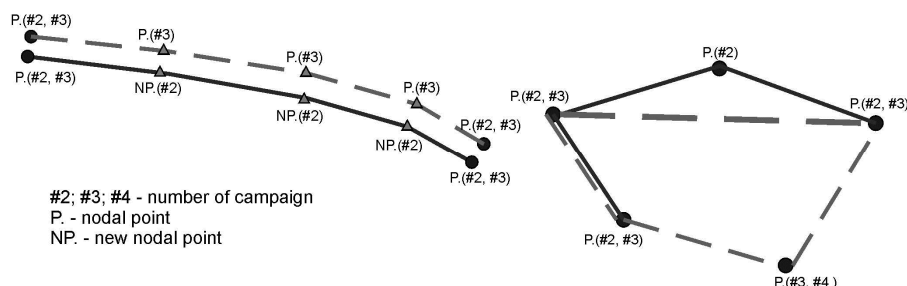
Druga wersja (Rys. 5) bazy danych jest zoptymalizowana bardziej pod kątem funkcjonalności. Przynajmniej w pierwszym składowaniu danych w dużym zbiorze pozwala na konstruowanie prostszych i bardziej intuicyjnych zapytań, choć wspomniane już przykłady 2 i 2a [1B.1] wskazują, że nie jest to regułą.



Rysunek 5. Schemat bazy w wersji drugiej [1B.1]

W rezultacie powstała kompletna baza danych zawierająca niewyrównane obserwacje z trzech kampanii niwelacyjnych 1953-1955, 1974-1982, 1997-2003. Łącznie przeanalizowano ponad 800 linii pomiarowych oraz kilkaset stron katalogów i opracowań papierowych.

W celu zwiększenia liczby punktów wspólnych w sieci potrójnej niwelacji dzielono lub łączono wybrane linie w poszczególnych kampaniach według schematu pokazanego na rysunku 6. Ogółem zidentyfikowano dodatkowo 44 punkty wspólne.



Rysunek 6. Zaproponowany sposób dogęszczenia punktów wspólnych w sieci potrójnej niwelacji [1B.2]

Utworzone oczka poddano ocenie według kryterium [22]:

$$\varphi_{\Delta v} = 0.15 \sqrt{\sum L [km]} \text{ mm / year} \quad (4)$$

$$m = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\varphi^2}{\sum L [km]}} \quad (5)$$

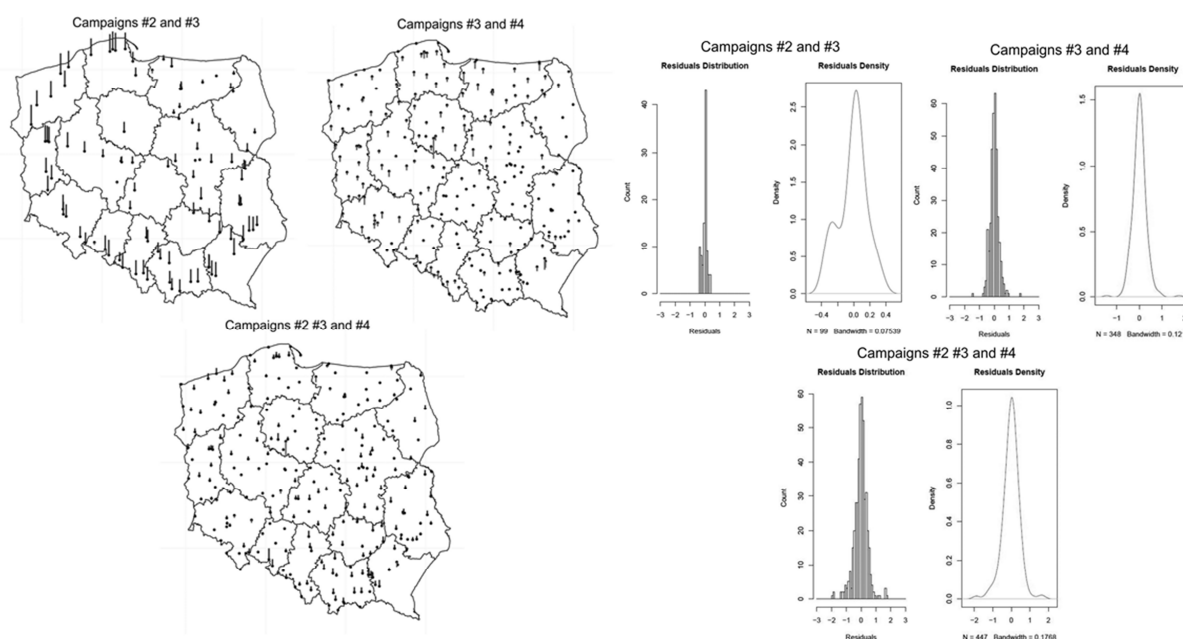
gdzie: $\varphi_{\Delta v}$ – maksymalne dopuszczalne niezamknięcie oczka, φ – obliczone niezamknięcie oczka, N – liczba oczek.

Na potrzeby wyrównania opracowano wzór według którego dokonano wagowania obserwacji [1B.2]:

$$m_{v_i} = \sqrt{\frac{2L^2}{\Delta T_{ij}^2} + \frac{\Delta h_{ij}^2}{\Delta T_{ij}^2} \cdot (0.5 \text{ mm / year})^2} \quad (6)$$

gdzie: L – długość linii w km, T – data pomiaru linii, h – niewyrównane przewyższenie na linii niwelacyjnej, 0.5 – spodziewany maksymalny błąd ruchu pionowego.

Z przeprowadzonej analizy oraz nabytego w trakcie opracowania materiałów doświadczenia wynika, iż kampania #1 nie nadaje się do wykorzystania jako wiarygodny materiał do powyższego opracowania. Wyciągnięto także wniosek, iż dane pomiarowe z kampanii #2 obarczone są zbyt dużym wpływem poprawek normalnych (Rys. 7) i nie powinny być włączone do opracowania ruchów pionowych skorupy ziemskiej.



Rysunek 7. Rozkład poprawek w wyrównaniu pionowych ruchów skorupy ziemskiej oraz ich rozkład gęstości [1B.2]

4.3.3 Przygotowanie modelu sieci powiązań pomiędzy stacjami GNSS na obszarze Polski wraz z oceną jakościową i ilościową danych – pierwsze testy (publikacja [1B.3]).

Istotnym czynnikiem w wyznaczaniu ruchów pionowych z danych satelitarnych jest określenie przewidywanej dokładności. Analizując obserwacje z okresu trzech lat metodą regresji liniowej wykazano, że różnice wysokości elipsoidalnych mają błąd około 0.5 mm/rok [21]. Jak pokazano w pracy [33], dla polskich stacji okres ten wynosi 4 lata.

W te wyniki wpisano linię regresji o rozkładzie potęgowym. Współczynnik dopasowania R^2 wyniósł 0.997 co świadczy o bardzo dobrym dopasowaniu linii. W efekcie otrzymano wzór za pomocą którego można obliczyć teoretyczne odchylenie standardowe $\sigma \Delta v_{GNSS}^N$ w zależności od ilości dostępnych epok.

$$\sigma \Delta v_{GNSS}^N = 2.9082 \Delta T^{-1.349} \quad (7)$$

gdzie:

ΔT – różnica epok ($T_i - T_e$)

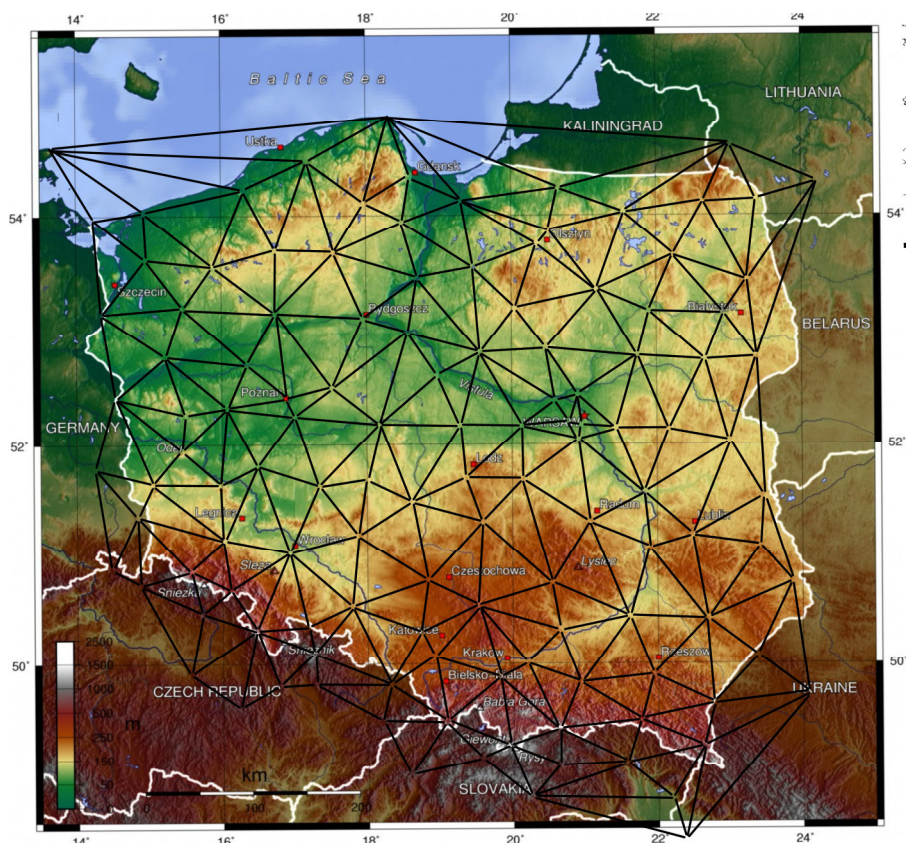
W literaturze, modele ruchów pionowych skorupy ziemskiej opracowywane są jako modele absolutne odniesione do elipsoidy [25]; [24]. W efekcie otrzymuje się tak zwany ruch absolutny. W celu połączenia danych ze stacji GNSS, niwelacji i mareografów oraz do badań geofizycznych niezbędne są modele względne lub obserwowane czyli odniesione do poziomu morza. Dlatego też w artykule zaproponowano metodę opracowania ruchów względnych [1B.3]. Innowacyjnym podejściem wymuszonym przez główne założenie jest wykorzystanie do opracowania modelu nie wysokości a różnic wysokości pomiędzy stacjami, co eliminuje wpływ zmiany elipsoidy w czasie, a także konieczność redukcji wysokości elipsoidalnych poprzez wprowadzenie modelu quasigeoidy.

Do tej pory w Polsce nikt nie opracował założeń co do przygotowania danych ze stacji GNSS do wyznaczania ruchów pionowych skorupy ziemskiej jako ruchów względnych. W związku z tym, zdefiniowano pytania na które należy poszukać odpowiedzi:

- opracowanie procedur wyboru punktu lub punktów, jako elementy odniesienia w procesie wyrównania;
- opracowanie procedury tworzenia modelu, wybór metody interpolacji;
- opracowanie zasad łączenia stacji GNSS w wektory;
- wybór lub opracowanie metody wyznaczania trendu zmian różnicy wysokości na wektorach;
- pozyskanie i ocena jakości materiałów pomiarowych;
- oszacowanie i weryfikacja przewidywanej dokładności modelu;
- ustalenie ram czasowych dla danych zebranych z różnych stacji GNSS biorących udział w tworzeniu modelu pionowych ruchów skorupy ziemskiej;
- ustalania kryterium niezamknięcia oczek, korzystając z tych informacji w procesie eliminacji wektorów, które zawierają zbyt duże błędy lub wprowadzenia odpowiedniej wagi dla tych wektorów, których ruchy są podejrzane o brak związku ze zmianami w powierzchni skorupy ziemskiej;
- oszacowaniu błędów a priori i a posteriori wyznaczenia trendów liniowych na wektorach;
- określania wag stosowanych w procesie wyrównania;
- określenie możliwości zautomatyzowania procesu przygotowania danych, ich weryfikacji i ich korekty;
- analiza dokładności, po wyrównaniu sieci ruchów pionowych jako ruchów względnych.

Artykuł [1B.3] dotyczy przeprowadzenia pierwszych kompleksowych testów wykorzystania metody względnej do opracowania ruchów skorupy ziemskiej na podstawie danych ze stacji GNSS oraz wstępnej oceny otrzymanych wyników.

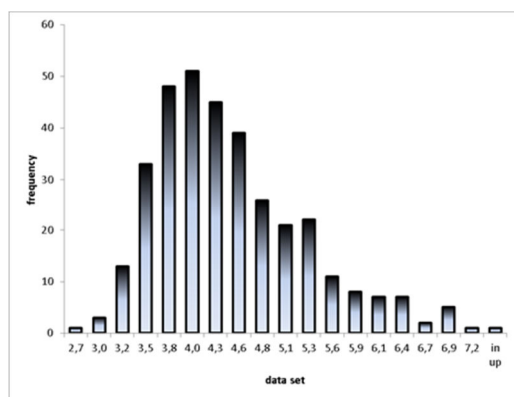
Materiał do badań stanowiły 343 różnice wysokości pomiędzy stacjami polskiej sieci ASG-EUPOS obliczone w Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie w Lokalnym Centrum Analiz EPN z użyciem oprogramowania Bernese 5.0 [11]. Różnice wysokości policzono pomiędzy najbliższymi stacjami, które zdefiniowano przy użyciu triangulacji Delaunay a [12] i dostarczone były w postaci szeregów czasowych (Rys. 8).



Rysunek 8. Połączenia pomiędzy stacjami sieci ASG EUPOS (triangulacja Delaunay a); (topographic map © worldmap.pl by Webrange)

Założono, iż można się spodziewać niewyrównanych ruchów skorupy ziemskiej z poszczególnych szeregów czasowych na wektorach z dokładnością (błąd a priori) -0.5mm/rok z czteroletniego okresu obserwacji (patrz wzór 7).

Na podstawie powyższego wzoru określono wartość pozyskanego materiału (Rys. 9).



Rysunek 9. Rozkład błędów a priori policzony ze wzoru 7 [1B.3]

Podczas analizy zdecydowano się potraktować utworzone połączenia w trójkąty jako oczka, w których suma niewyrównanych ruchów pionowych na wektorach powinna równać się zero. Dopuszczalna wartość niezamknięcia oczka nie zależy od odległości. Nie można zastosować wzoru takiego jak

w przypadku danych niwelacyjnych [63]. W tym celu opracowano kryterium niezamknięcia oczek (wzór 8) bazujące na błędzie a priori (wzór 7):

$$\varphi_L^{GNSS} = 1.5 \cdot \sum_{i=1}^n \left(\sigma_{\Delta v_{GNSSi}}^N \right) \quad (8)$$

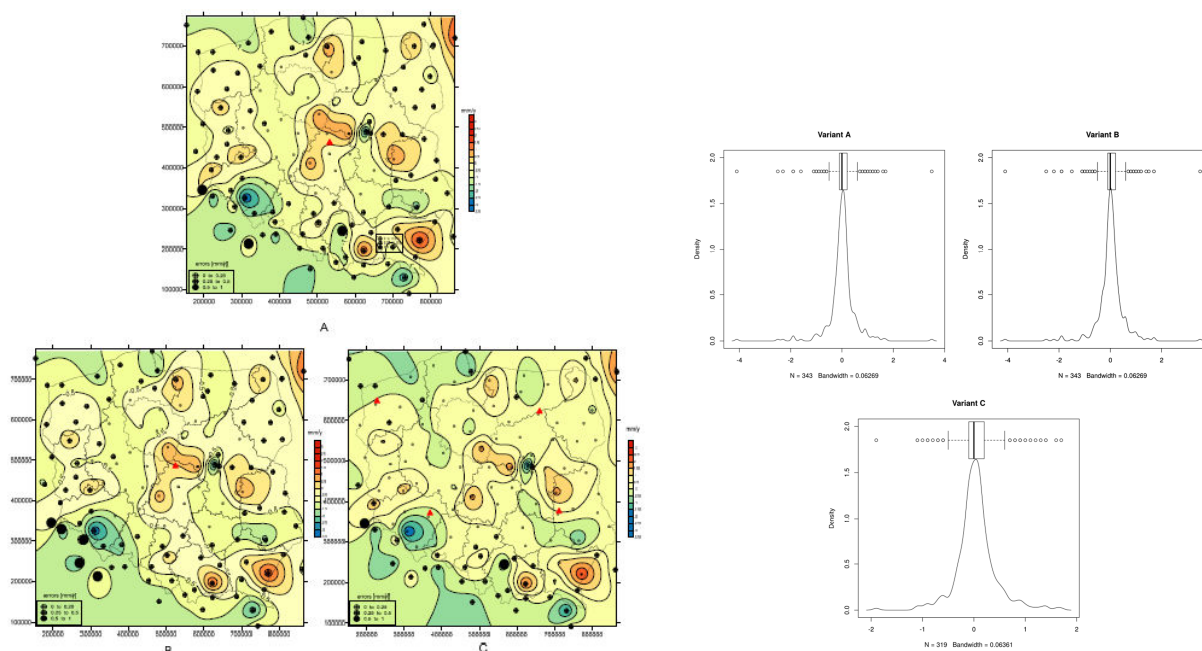
gdzie:

n – liczba wektorów w oczku

Szczegółowe wyniki przeprowadzonej analizy jakościowej i ilościowej danych znaleźć można w pracy [1B.3]; [1B.5].

Przeprowadzono testowe wyrównanie sieci ruchów pionowych skorupy ziemskiej jako ruchów względnych z danych ze stacji permanentnych GNSS w kilku wariantach. Testowi podlegała ocena doboru punktów głównych. Jako wagi użyto kwadratów błędów a priori. Prędkości na poszczególnych wektorach obliczono jako trend liniowy. Do identyfikacji istotnych zmian różnicy wysokości w szeregach czasowych użyto metody wizualnej.

Wynikiem testu były trzy wersje wyrównania wraz z oceną statystyczną (Rys. 10)



Rysunek 10. Lewy: izolinie względnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej na obszarze Polski po wyrównaniu w trzech wariantach. Czerwony trójkąt to punkt węzłowy. Prawy: funkcja gęstości rozkładu poprawek [1B.3]

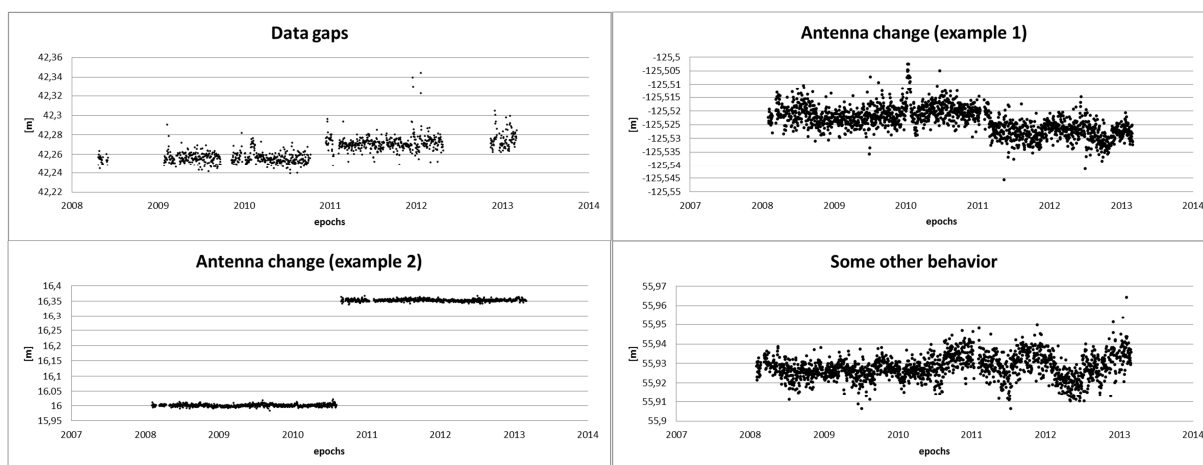
Na podstawie przeprowadzonych analiz wyciągnięto wniosek, iż istnieje duże prawdopodobieństwo opracowania wiarygodnych modeli ruchów pionowych skorupy ziemskiej jako ruchów względnych przy użyciu danych ze stacji permanentnych GNSS. Opracowanie tych modeli w czasie prawie rzeczywistym (automatyzacja procesu) wymagać będzie wprowadzenia algorytmów liczących trend, identyfikujących nieciągłości w różnicach wysokości, wartości odstające w szeregach czasowych oraz błąd a posteriori trendu. Należy także wybrać inną metodę wyrównania, szczególnie dającą większe możliwości doboru wag.

4.3.4 Opracowanie i weryfikacja algorytmu do detekcji nieciągłości danych w szeregach czasowych ze stacji GNSS na potrzeby opracowania ruchów pionowych skorupy ziemskiej (publikacje [1B.4]; [1B.5]).

Artykuł [1B.4] opisuje algorytm (VSED) który będzie używany przy wyznaczaniu ruchu pionowego w szeregach czasowych. Jako dane użyto, podobnie jak w artykule [1B.3] dobowych różnic wysokości pomiędzy dwoma stałymi stacjami GNSS tworzącymi szeregi czasowe. Głównym zadaniem algorytmu jest oszacowanie wartości prędkości zmiany różnicy wysokości między dwoma stacjami mimo nieciągłości danych w czasie oraz nieciągłości danych wysokościowych ("skoki"). Przedstawiony algorytm został wdrożony i przetestowany na prawdziwych danych. Algorytm wykrywa nieciągłości oraz określa wartość "skoków".

Nieciągłości w szeregach czasowych są spowodowane przez trzy rodzaje przyczyn: techniczne, działalnością człowieka i środowiskowe (na przykład przerwy w działaniu stacji, zmiana anten, zmiany stabilizacji, oprogramowania i aktualizacja odbiornika, zmiany w troposferze i jonosferze, zmiany układów i systemów odniesienia, osiadanie stacji, ruchy tektoniczne, ruchy spowodowane działalnością człowieka). Nieciągłości w szeregu czasowym może być zdefiniowane jako (Rys. 11):

- nieciągłość w czasie - brak danych dla niektórych epok;
- nieciągłość w danych różnic wysokości ("skoki") - quasi stała zmiana różnicy wysokości w kolejnych epokach w stosunku do poprzednich epok.



Rysunek 11. Przykładowe szeregi czasowe [1B.4]

Nieciągłość epok identyfikowalna jest na podstawie braku danych w ustalonym interwale czasowym. Nieciągłości danych („skoki”) można zidentyfikować np. znając datę zdarzenia powodującego tą nieciągłość [60] lub próbować zautomatyzować ten proces [14]; [8]; [42]. Można też dokonać tego na podstawie wykresów wysokości [57]. Niezależnie od podejścia nieciągłość danych, których przyczyną jest „zdarzenie losowe” wywołane przez działalność człowieka lub środowiska naturalnego, jest trudna do identyfikacji. Metody identyfikacji „skoków” można zgrupować następująco:

- wizualna na wykresie;
- zmiany udokumentowane przez operatora systemu (patrz: pliki systemowe .log);
- z użyciem algorytmów identyfikujących;
- kombinacja powyższych metod.

Szereg metod identyfikacji nieciągłości szeregów czasowych opisanych jest w pracy [14]. Jak pokazano w pracy [14], użycie różnych algorytmów do tych samych danych daje różne wyniki. Istotne jest, aby algorytm posiadał możliwości zmiany parametrów obliczeniowych.

Do wykrycia miejsc w których występują “skoki” użyto algorytmu: *the switching edge detector* opisanego w [50]. W pierwszym etapie, średnie ruchome $H_{i\pm}$ i wariancje skonstruowano używając okna n -punktowego (wzór 9).

$$H_{i\pm} = \frac{\sum_{k=1}^n h_{i\pm k}}{n} \quad (9)$$

Następnym krokiem było zrealizowanie średnich $S_{i\pm}$ w dwóch oknach (10) w oparciu o średnią ruchomą (9).

$$S_{i\pm} = \frac{\sum_{k=1}^n (h_{i\pm k} - H_{i\pm})^2}{n} \quad (10)$$

Jeżeli H_{out} przekroczy wartość progową μ „zmiana” jest wykrywana. Wartość μ jest obliczana na bazie błędu a priori $m_{\Delta v_{GNSS}^N}$. Błąd ten jest obliczany tak jak podano w pracy [1B.3]:

$$\sigma_{\Delta v_{GNSS}^N} = 2.908 \Delta T^{-1.349} \quad (7)$$

gdzie: ΔT – różnica epok ($T_i - T_e$)

Funkcja wyjściowa *the switching edge detector* jest zdefiniowana jako:

$$H_{out}(t_i) = g_{i+} H_{i+} + g_{i-} H_{i-} \quad (11)$$

gdzie g_{i-} i g_{i+} są zdefiniowane jako:

$$g_{i+} = \frac{S_{i-}^{2r}}{S_{i+}^{2r} + S_{i-}^{2r}} \quad g_{i-} = \frac{S_{i+}^{2r}}{S_{i+}^{2r} + S_{i-}^{2r}} \quad (12)$$

Wynikiem algorytmu jest macierz C zawierająca zera i jedynki.

Model matematyczny użyty w artykule [1B.4] przedstawia się następująco:

$$h(t) = vt + h_0 + c_1 s_1 + c_2 s_2 + \dots + c_m s_m \quad (13)$$

gdzie:

t - epoka

$h(t)$ – różnica wysokości w epoce t

v - prędkość zmiany wysokości pomiędzy stacjami

h_0 - różnica wysokości w epoce 0

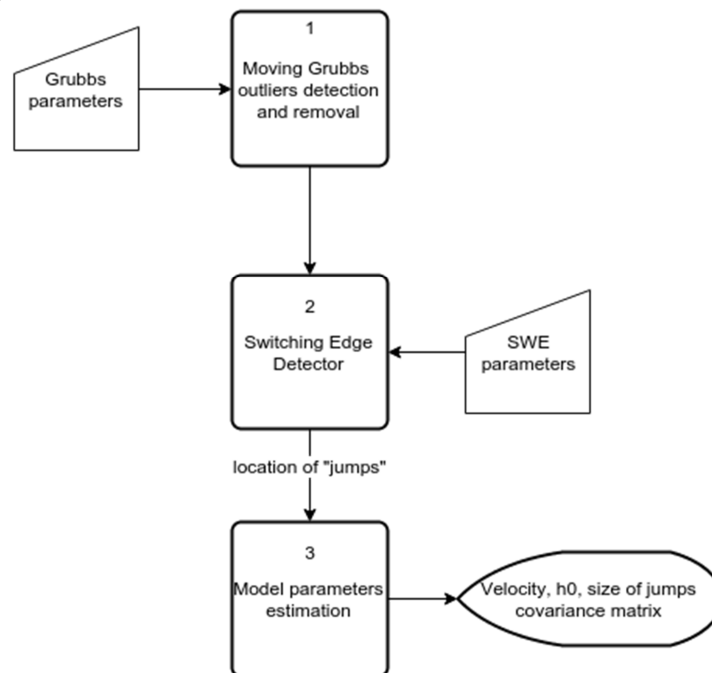
c_1, c_2, \dots, c_m - element macierzy C

s_1, s_2, \dots, s_m - wielkości “skoków”

Algorytm testowano na różnicach wysokości pomiędzy stacjami GNSS. Takie podejście pozwala na zastosowanie elementów weryfikacji niemożliwych do zastosowania przy wyznaczaniu prędkości zmian absolutnych bezpośrednio na stacji permanentnej np. *sprawdzenie zamknięć „poligonów”*. Pozwala także na późniejsze wyrównanie sieci ruchów pionowych. Weryfikacji dokonano czterema metodami:

- porównanie prędkości zmian wysokości obliczonych z użyciem algorytmu z prędkościami obliczonymi „ręcznie” na podstawie tych samych szeregów czasowych;
- porównanie prędkości zmian wysokości obliczonych z użyciem algorytmu przy użyciu parametrów o wartościach sąsiednich;
- sprawdzenie zidentyfikowanych przez algorytm „skoków” z podanymi informacjami w plikach .log;
- obliczenie wartości niezamknięcia oczek „poligonów”.

W trakcie testów okazało się, że algorytm daje niewłaściwe wyniki w przypadku występowania pojedynczych obserwacji odstających. Identyfikowane są wtedy krótkie „skoki” o nieprzewidywalnej wartości. W związku z tym algorytm został uzupełniony o część związaną z wykryciem i eliminacją takich obserwacji. Do tego celu wykorzystany został Test Grubbsa dla obserwacji odstających [19]; [52]. Test ten pozwala na wykrycie wartości odstających w zbiorze. Ich eliminacja polega na zastąpieniu obserwacji odstającej średnią z dwóch sąsiednich obserwacji. Schemat działania całego algorytmu (VSED) przedstawia Rys. 12.



Rysunek 12. Schemat działania algorytmu

Test Grubbsa zdefiniowany jest jako hipoteza:

H_0 - zbiór nie zawiera elementów odstających

H_a - istnieje dokładnie jeden element odstający

Statystycznie test Grubbsa jest zdefiniowany jako:

$$G = \frac{\max |Y_i - \bar{Y}|}{s} \quad (14)$$

gdzie Y_i jest aktualnym oknem, \bar{Y} jest wartością średnią, a s to odchylenie standardowe.

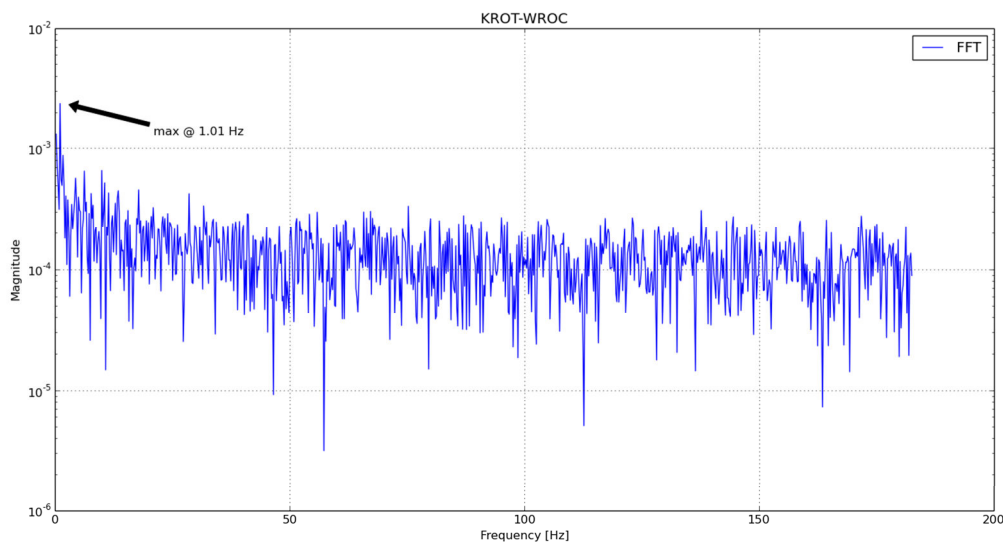
4.3.5 Wyrównane sieci ruchów pionowych ze stacji GNSS oraz ocena dokładności wyrównania (publikacje [1B.4]; [1B.5]).

Na podstawie przeprowadzonych analiz w artykułach [1B.3]; [1B.4] ponownie przeanalizowano materiał badawczy. Do obliczeń wykorzystano wzory i kryteria z powyższych artykułów. Dokonano także oceny parametrów wejściowych algorytmu z [1B.4].

Parametry algorytmu (VSED) związane są z dwoma wartościami tj. wielkością okna przeszukującego na podstawie, którego liczona jest średnia wykorzystywana w dalszym procesie obliczeniowym oraz wielkością progu poza którym wartości mogą być uznane jako „skok”.

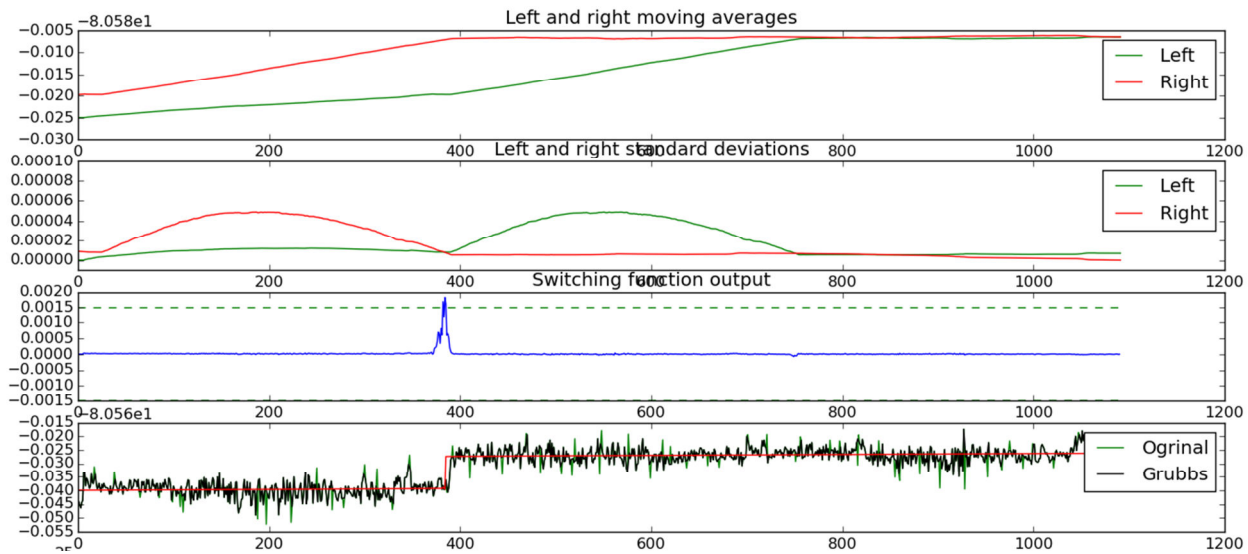
Wartość progu powiązano z przewidywaną dokładnością zmiany wysokości. Analiza obserwacji permanentnych stacji GPS wskazuje, że dokładność wyznaczenia wysokości z dobowych obserwacji wynosi od 7 do 9 mm [21]. Natomiast analizując obserwacje z okresu trzech lat metodą regresji liniowej wykazano, że różnice wysokości elipsoidalnych mają błąd około $\pm 0,5$ mm/rok [21]. Jak pokazano w pracy [1B.3], na przykładzie polskiej stacji, błąd ten wynosi około ± 0.46 mm/rok z okresu 4 letniego i ± 0.32 mm/rok z okresu 5 letniego. Dlatego też jako próg przyjęto wartość 0.5 mm co wykracza poza spodziewany roczny błąd różnicy wysokości elipsoidalnych.

Wartość okna na podstawie, którego liczona jest średnia w (VSED) ustalono na podstawie analizy spektrum szeregu. Wykazała ona, iż wartość głównego okresu w szeregach czasowych przyjmuje wartość 1 roku (Rys. 13).



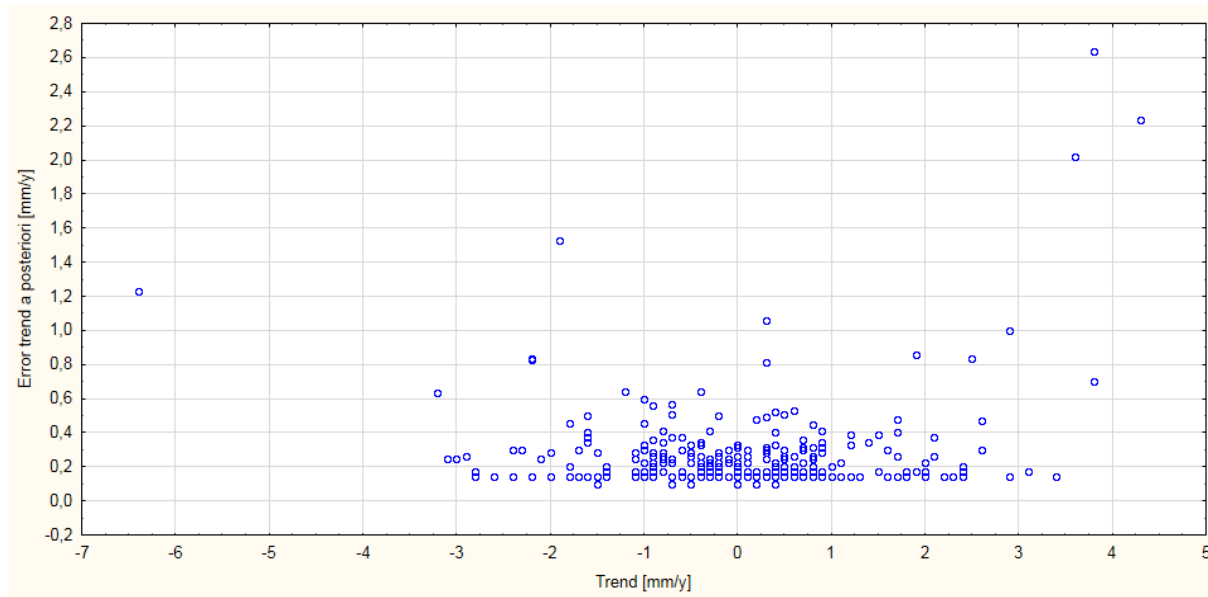
Rysunek 13. Przykład przeprowadzonej analizy spektrum szeregu

Wynikiem końcowym działania algorytmu jest estymowana prędkość zmiany wysokości Δv_{GNSS}^N , różnica wysokości ΔH_{GNSS_0} na początku szeregu, lokalizacja i wartości „skoków” wraz z ich błędami średnimi. Wynik działania algorytmu pokazano na (Rys. 14).



Rysunek 14. Przykład wyników działania algorytmu

Wynikiem końcowym obliczeń jest niewyrównany trend liniowy Δv_{GNSS}^N na wektorze, liczba zidentyfikowanych „skoków” jak też błąd średni wyznaczenia trendu $m_p \Delta v_{GNSS}^N$ (a posteriori). Na (Rys. 15) pokazano otrzymane wartości trendu wraz z obliczonym błędem średnim a posteriori.



Rysunek 15. Niewyrównane wartości trendu liniowego wraz z jego błędem średnim a posteriori [1B.5]

Więcej wyników analizy danych znaleźć można w pracy [1B.5].

Z przeprowadzonej analizy wynika, iż materiał jest zróżnicowany pod kątem dokładności wyznaczonego trendu. W 10% przypadków przekroczono maksymalne niezamknięcie w tym 4% ponad połowę dopuszczalnej wartości niezamknięcia. Część danych wpłynie negatywnie na wiarygodność wyrównanych prędkości na punktach sieci. Rozwiązaniem tego problemu mogą być:

- a) ustalenie kryterium wag trendu i zastosowanie metody odpornej do wyrównania sieci;

- b) identyfikacja i usunięcie tych szeregów czasowych, które powodują przekroczenie maksymalnego niezamknięcia oczek;
- c) identyfikacja i szczegółowa analiza szeregów czasowych powodujących przekroczenie maksymalnego niezamknięcia oczek oraz ponowne wyznaczenie trendu;
- d) identyfikacja i szczegółowa analiza szeregów czasowych, dla których błąd a posteriori jest większy od błędu a priori;
- e) złagodzenie kryterium niezamknięcia oczek;
- f) usunięcie wszystkich szeregów czasowych, na których błąd a posteriori wyniósł więcej niż ustalone kryterium.

Ostatecznie przeprowadzono wyrównanie metodą odporną, definiując kryterium wag, w czterech wariantach. Wariant uzależniony był od ilości iteracji oraz przyjętego kryterium wagi. Szczegółowe analizy oraz dodatkowe testy znaleźć można w pracy [1B.5].

Wyrównanie sieci ruchów pionowych skorupy ziemskiej opiera się na następujących równaniach obserwacji:

$$v_{ij} = V_i - V_j \quad (15)$$

gdzie v_{ij} jest to względna prędkość pomiędzy dwoma stacjami obliczoną w oparciu o obserwacje GNSS, V_i i V_j są to prędkości na stacji początkowej i oraz końcowej j .

Równanie poprawek przyjmuje postać:

$$\epsilon_{ij} = V_i - V_j - v_{ij} + \xi_{ij} \quad (16)$$

gdzie ϵ jest poprawką, ξ jest modelem obserwacji. Wyrównanie bazuje na minimalizacji funkcji:

$$\sum \epsilon_{ij} p_{ij} \epsilon_{ij} = \min \quad (17)$$

gdzie p_{ij} jest wagą obserwacji. W standardowym podejściu, wagi oblicza się jako:

$$p_{ij} = \frac{1}{\sigma_{ij}^2} \quad (18)$$

a σ_{ij}^2 jest średnim błędem a priori dla konkretnej obserwacji. Funkcję celu można zminimalizować stosując standardową metodę najmniejszych kwadratów. Takie podejście nie jest odporne na wartości odstające. W celu zminimalizowania wpływu obserwacji z dużymi poprawkami wprowadzono wyrównanie iteracyjne. W pierwszej iteracji, wagi oblicza się według równania (wzór 18). W drugiej i kolejnych iteracjach waga każdej obserwacji jest modyfikowana zgodnie z funkcją tłumienia opisaną przez równania (wzór 19).

$$p_{ij}^{new} = \frac{p_{ij}}{2 \exp\left(-p_{ij} \frac{\epsilon_{ij}^2}{2}\right)} \quad (19)$$

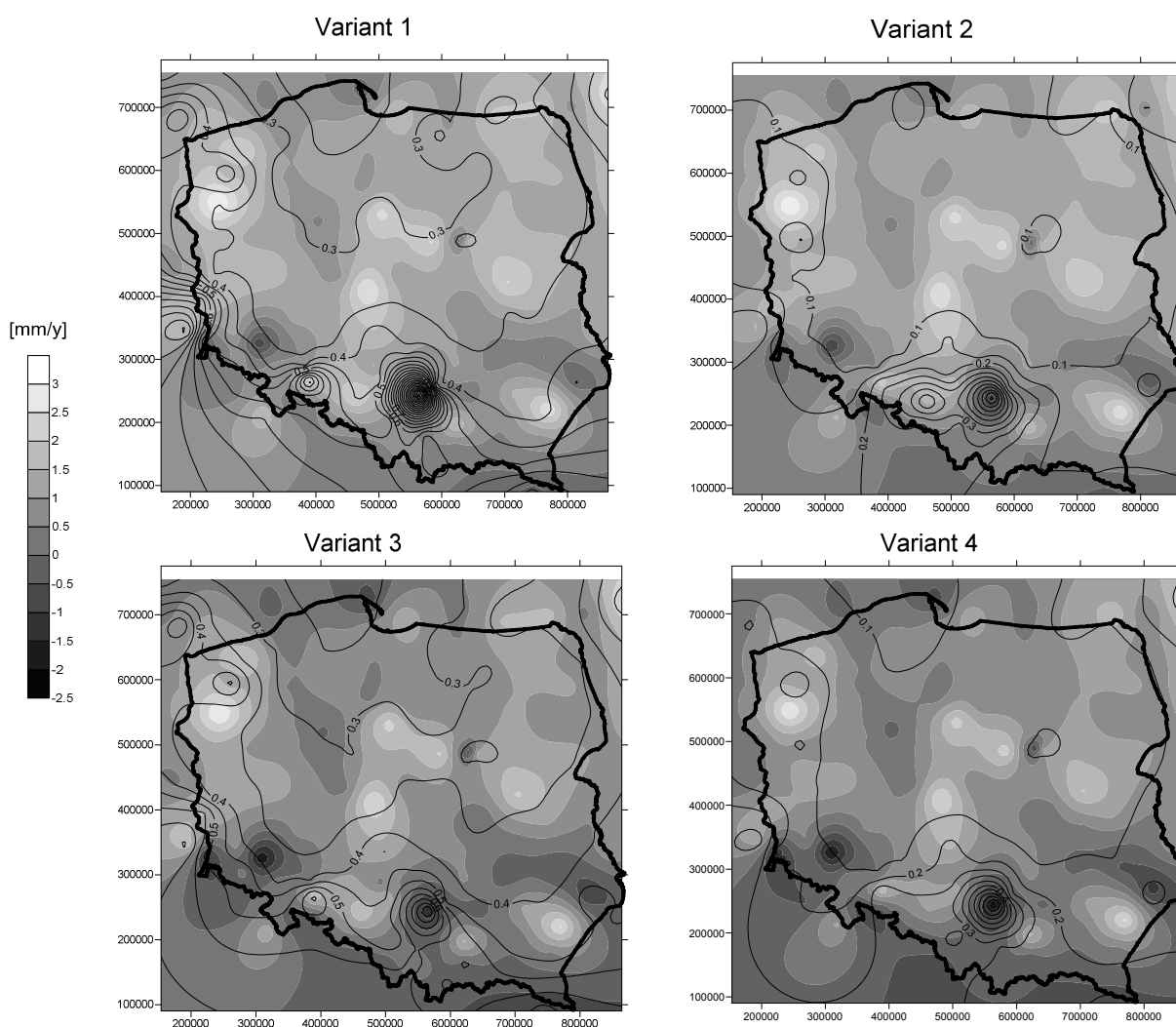
Zmniejsza to znaczenie obserwacji z dużymi poprawkami.

Proces iteracyjny jest zatrzymywany, gdy wzrost estymowanych parametrów jest mniejszy niż 10^{-9} mm/rok.

Jako punkt główny sieci wybrano stację WLAD leżącą w północnej części sieci w sąsiedztwie mareografu we Władysławowie. Ostatecznie zdecydowano się na wariant czwarty gdzie wagi ustalono jako [1B.5]:

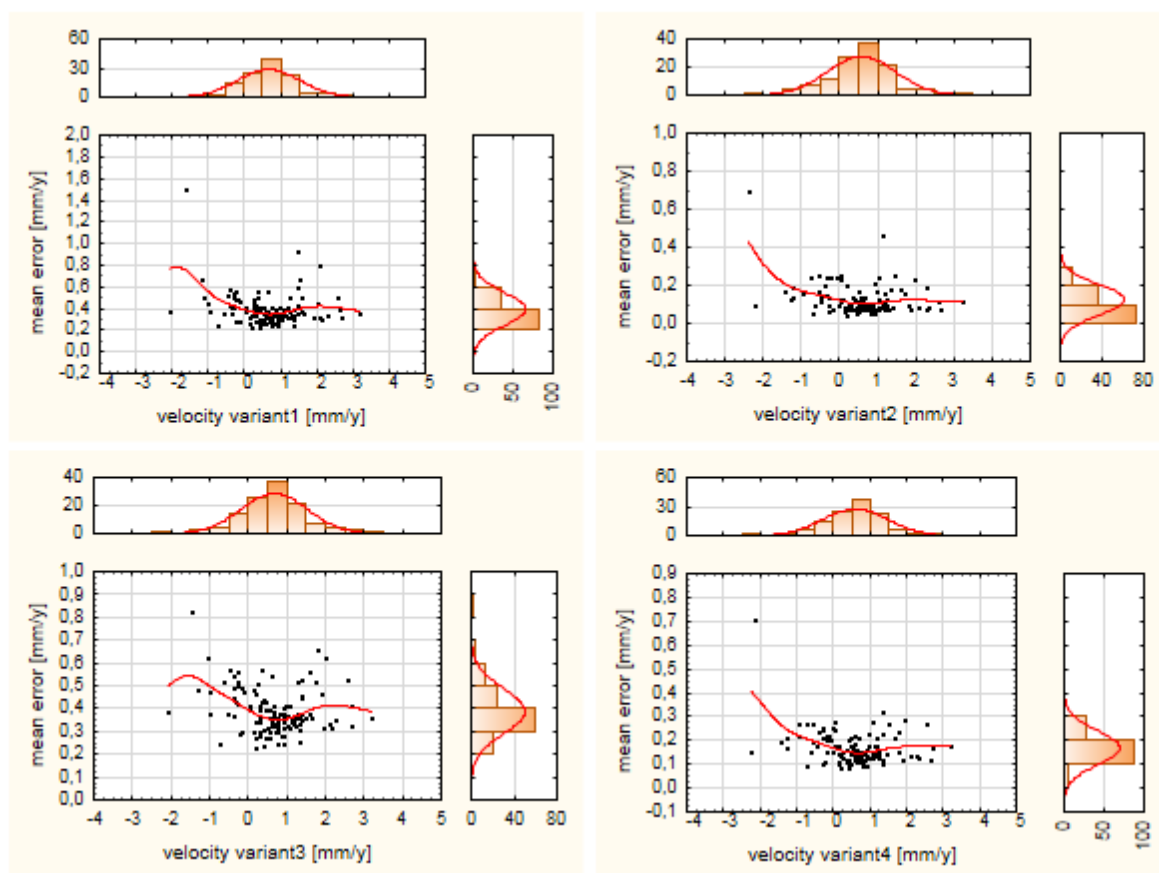
$$p_{\Delta v_{GNSS}^N} = \frac{\Delta T}{m_p \Delta v_{GNSS}^N} \quad (20)$$

Otrzymane wyniki pokazano na Rys. 16.



Rysunek 16. Warianty wyrównanych ruchów pionowych skorupy ziemskiej z użyciem danych ze stacji GNSS: izolinie rozkładu błędów średnich oraz wyrównanego trendu liniowego na punktach sieci [1B.5]

Większość wskazanych podejrzanych miejsc w poszczególnych wariantach jest zgodna. Występują sporadyczne pojedyncze różnice. Wyrównanie metodą odporną pozwoliło na wiarygodniejszą identyfikację podejrzanych szeregów czasowych i zminimalizowanie ich wpływu na ostateczny ruch pionowych na punkcie sieci. Rysunek 17 prezentuje wartości trendów, błędów średnich w przyjętych wariantach, oraz histogramy z ich rozkładem normalnym.



Rysunek 17. Wartości trendów a błędy średnie po wyrównaniu w poszczególnych wariantach [1B.5]

Najmniejsze błędy średnie otrzymano w wariancie 4 pomiędzy ± 0.08 mm/r do ± 0.32 mm/r (pojedynczo ± 0.7 mm/r). We wszystkich wariantach rozkład poprawek jest zbliżony do rozkładu normalnego.

4.3.6 Wnioski i podsumowanie (publikacje [1B.1]; [1B.2]; [1B.3]; [1B.4]; [1B.5])

W literaturze, modele ruchów pionowych skorupy ziemskiej opracowywane są jako modele absolutne odniesione do elipsoidy [20]; [21]. W efekcie otrzymujemy tak zwany ruch absolutny. W celu połączenia danych GNSS, niwelacji i mareografów oraz do badań geofizycznych niezbędne są modele względne lub „obserwowane” czyli odniesione do poziomu morza. Dlatego też w cyklu publikacji zaproponowano metodę opracowania ruchów względnych oraz uwzględnienie w wyrównaniu zmian średniego poziomu Morza Bałtyckiego oraz danych z podwójnej i potrójnej niwelacji [1B.1]; [1B.2]. Pierwsze prowadzone testy wykazały prawidłowość tego założenia [1B.3]. Opracowano w związku z tym wzór na obliczenie wagi w wyrównaniu sieci ruchów pionowych skorupy ziemskiej w oparciu o podwójną i potrójną niwelację [1B.2]. Innowacyjnym podejściem wymuszonym przez główne założenie jest wykorzystanie do opracowania modelu nie wysokości, a różnic wysokości pomiędzy stacjami GNSS co eliminuje wpływ zmiany elipsoidy w czasie, a także konieczność redukcji wysokości elipsoidalnych poprzez wprowadzenie modelu quasigeoidy. Jako innowacyjne jest też analizowanie niezamknięć poligonów [1B.3]; [1B.5] utworzonych z trójkątownia metodą Deluney’a. Nowością jest też wykorzystanie do dekompozycji szeregów czasowych opracowanego algorytmu analizującego,

weryfikującego i obliczającego trend liniowy w szeregu czasowym wraz z oceną dokładności [1B.4]; [1B.5]. Ruchy pionowe pomiędzy stacjami GNSS potraktowano jako sieć i wyrównano [1B.5] nie jako sieć wysokości, ale jako sieć ruchów pionowych, podobnie jak w artykule [1B.2] dla danych niwelacyjnych. Utworzono też jedyną w Polsce bazę danych zawierająca kompletny materiał z dotychczasowych kampanii niwelacji precyzyjnej [1B.1].

Podsumowanie szczegółowe

Celem publikacji [1B.1] było przygotowanie teoretyczne i praktyczne relacyjnej bazy danych sieci niwelacji precyzyjnej obszaru Polski z kolejnych kampanii pomiarowych. Praca zawiera opis danych z poszczególnych kampanii niwelacji precyzyjnej oraz schematy budowy tej bazy, a także przykłady uzyskiwania różnych informacji za pośrednictwem zapytań SQL. *W rezultacie powstała kompletna baza danych zawierająca niewyrównane obserwacje z trzech kampanii niwelacyjnych 1953-1955, 1974-1982, 1997-2003.*

Celem publikacji [1B.2] było sprawdzenie przydatności danych niwelacyjnych z trzech kampanii do budowy kinematycznego modelu ruchów pionowych i w przyszłości opracowania wysokościowej sieci kinematycznej. Zebrany materiał niwelacyjny stanowił większościową informację o stanie ilościowym danych niwelacyjnych na obszarze Polski. Wstępna analiza danych (identyfikacja wspólnych reperów oraz obliczenie niezamknięć oczek sieci podwójnej niwelacji) wykazała *nieprzydatność danych z lat 1926-1937 oraz konieczność dodatkowej identyfikacji wspólnych reperów z kampanii 1953-1955 i 1974-1982.* Przygotowany materiał poddano wyrównaniu i oceniono wzajemne rozkłady poprawek w trzech wersjach wyrównania. Przeprowadzone wyrównanie nie wykazało dużej zbieżności kierunku ruchu pionowego na punktach węzłowych sieci podwójnej i potrójnej niwelacji. Przeprowadzony *test statystyczny z użyciem box-plot wykazał duże zaburzenia w poprawkach do obserwacji dla sieci podwójnej niwelacji z lat 1953-1955 i 1974-1982.* Postawiona hipoteza o wzajemnej niezależności poprawek z wyrównania danych potrójnej niwelacji okazała się prawdziwa. Ostateczny *test QQ potwierdził, iż dane niwelacyjne z lat 1953-1955 obciążone są zbyt dużymi zaburzeniami,* aby mogły stanowić wiarygodny materiał do opracowania modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski z użyciem danych niwelacyjnych z lat 192-1937, 1953-1955, 1997-2003.

Zdefiniowano problemy łączenia danych niwelacyjnych i danych ze stacji GNSS [1B.3] w celu opracowania modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej:

- różne układy odniesienia;
- różne metody pomiarowe;
- różne oczekiwane dokładności określenia pionowych ruchów skorupy ziemskiej;
- brak wspólnych punktów;
- różne epoki pomiarowe;
- różne rodzaje sieci (skalowe i bezskalowe);
- różne metody wyrównania wyników pomiaru;
- różne interwały pomiarowe.

Celem publikacji [1B.3] była próba zastosowania metody względnej do opracowania ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych GNSS jako alternatywy do metody absolutnej. W sieci stacji GNSS nie

wykonuje się pomiarów odległości, dlatego też do wytypowania wektorów użyto sprawdzoną metodę triangulacji Delaunay a. **Otrzymano 343 wektory, które poddano wstępnej analizie i korekcji.**

Na każdym wektorze wyznaczono trend liniowy jako niewyrównany ruch pionowy Δv_{GNSS}^N . **W wyrównaniu wykorzystano obliczone teoretyczne odchylenie standardowe $\sigma \Delta v_{GNSS}^N$.**

W rezultacie **otrzymano procedurę opracowania względnych ruchów pionowych z danych GNSS.** Przeprowadzone badania nie wskazują na konieczność wyrównania z kilkoma punktami dostosowania, problemem jest dobór tych punktów oraz ocena ich stałości, gdyż w aspekcie ruchów pionowych położenie punktu (punktów w sieci) nie może być jedynym kryterium. W optymalizacji istotnym czynnikiem jest określenie celu jakim ma służyć opracowany względny model ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych GNSS np. wspólne jego opracowanie z danych GNSS i niwelacji precyzyjnej, czy też wprowadzenie poprawki w państwowych sieciach niwelacyjnych ze względu na ruchy pionowe skorupy ziemskiej. Szerszego rozpatrzenia wymagają zagadnienia związane z oceną statystyczną danych wejściowych, proces opracowania trendu i jego weryfikacji, weryfikacja teoretycznego odchylenia standardowego a priori, a także optymalizacja sieci, co poruszono w [1B.5].

W pracy [1B.4] **opracowano pierwszą wersję algorytmu VSED.** Wartość pierwszego "skoku" została oszacowana przy stosunkowo niskiej dokładności. Było to spowodowane przez położenie tego "skoku" na początku szeregu czasowego (małej liczby obserwacji przed "skokiem"). Drugi "skok" został oszacowany z zadowalającą dokładnością. Dokładność ruchu pionowego została określona na poziomie 0.6 mm/rok. Była to wielkość oczekiwania, zgodnie z [1B.3]. Długie szeregi czasowe GNSS są obciążone pewnymi składnikami okresowymi (spowodowane głównie przez zmiany sezonowe). **Proponowana metoda może skutecznie wykrywać obecność "skoków"** w okresowych składnikach. Zastosowanie tego algorytmu do takich danych, wymaga większej uwagi ze strony użytkownika. Parametry algorytmu VSED (rozmiar ruchomego okna i wartość proggu) musi być wybrana starannie, aby uniknąć wykrycia zbyt wielu "skoków".

Testowany algorytm wykazuje prawidłowe działanie. Otrzymane rezultaty jak i wyniki weryfikacji potwierdzają jego prawidłowe działanie. Zidentyfikowana większa liczba „skoków” może świadczyć o wpływie niezidentyfikowanych czynników środowiskowych lub technicznych. Należy dążyć do identyfikacji tych przyczyn lub określenia wielkości ich wpływu na ilość „skoków” a w efekcie na ostateczne obliczenie niewyrównanego trendu na wektorze Δv_{GNSS}^N . Szeregi takie można też wyeliminować lub ograniczyć ich wpływ w późniejszym procesie wyrównania [1B.5]. Otrzymane większe i niepowtarzające się w danym obszarze prędkości zmian różnicy wysokości mogą mieć charakter także lokalny. Na podstawie otrzymanych wyników można też poddać głębszej analizie szeregi czasowe na których ilość „skoków” jest zdecydowanie większa. **Nie wyklucza się, iż ze względu na charakter danych GNSS mogą pojawić się szeregi czasowe o płynnej okresowej zmianie wysokości,** które nie zostaną zidentyfikowane przez algorytm jako „skok”.

Metoda różnicowa (względna) pozwala na ocenę, kontrolę oraz poprawę wyników obliczeń w poszczególnych etapach opracowania modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej [1B.5]. Z przeprowadzonych badań wynika, iż przy zastosowaniu tej metody, możliwe jest opracowanie ruchów pionowych skorupy ziemskiej ze zróżnicowanych czasowo danych GNSS z **dokładnością ± 0.5 mm/r a nawet większą.** Uzależnione jest to od **pięciu głównych czynników:** długości działania stacji GNSS, wiarygodności wyznaczonego trendu z szeregów czasowych (błąd a posteriori), odpowiedniego

doboru wag, doboru punktu głównego sieci jak też wyboru metody wyrównania. Wykorzystanie metody względnej pozwala na włączanie nowych stacji GNSS jak i ocenę wiarygodności danych z tych stacji.

Ustalenie kryterium wagowania obserwacji [1B.5] (niewyrównanego trendu liniowego) w procesie wyrównania jest elementem istotnym. ***Eliminacja pozornie najgorszych powiązań sieci może skutkować niemożnością opracowania wiarygodnego modelu.*** Jak pokazały przeprowadzone badania nie zawsze błąd a posteriori jest mniejszy od błędu a priori. Istotne jest, aby ***w procesie wagowania obserwacji uwzględnić długości działania stacji.***

Odporna metoda wyrównania uwzględniającą powyższe wagi dobrze ***radzi sobie z „podejrzanymi” szeregami czasowymi*** wskazując je precyzyjniej niż to można zrobić wizualnie, co pozwala pominąć ten element w procesie opracowania modelu [1B.5]. Miejsca wykazujące większe błędy średnie węzłów sieci powinny zostać poddane dodatkowej analizie, a połączenia do nich ewentualnie ulec eliminacji (stacja KRA1). Stacje permanentne należące do sieci państwowych jak i prywatnych mają coraz dłuższe okresy obserwacji (powyżej 5 lat) pozwala to, z wykorzystaniem metody względnej, na wyznaczenie modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej z danych GNSS z ***dokładności zbliżoną do ± 0.1 mm/r w punktach węzłowych sieci.***

Przeprowadzone wyrównanie jak i dostępność danych wskazują, iż należałoby w przyszłości uwzględnić model ruchów pionowych skorupy ziemskiej wyznaczony z większej liczby stacji GNSS. Kolejna kampania niwelacyjna powinna być przeprowadzona po 20 latach od ostatniej. Wypada to w roku 2020, co przewiduje GUGiK [18]. Jednak dostępność danych GNSS może spowodować, iż pomiar ten nie będzie konieczny. ***Wystarczy wyrównać sieć wysokościową jako sieć quasi kinematyczną, czyli wprowadzić do pomierzonych przewyższeń poprawkę ze względu na ruch pionowy skorupy ziemskiej.*** Poprawka ta może być policzona z ostatniej podwójnej niwelacji precyzyjnej, lub z danych ze stacji GNSS, lub też z ich kombinacji. W tych dwóch ostatnich przypadkach opracowanie ruchów pionowych należy oprzeć o różnice wysokości.

4.3.7 Główne plany naukowe w zakresie kontynuacji tematyki badań

- Analiza wpływu temperatury na zmiany różnicy wysokości pomiędzy stacjami GNSS polskiej sieci ASG-EUPOS;
- Określenie zasad poszukiwania punktów wspólnych sieci podwójnej i potrójnej niwelacji oraz sieci GNSS (ASG-EUPOS, sieci prywatne);
- Rozbudowa algorytmu o składniki dekompozycji szeregu;
- Testowanie innych metod łączenia stacji GNSS w sieci;
- Opracowanie modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski (łącznie wyrównanie danych niwelacyjnych i GNSS);
- Opracowanie modelu ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski z użyciem danych PPP;
- Analiza zmian geoidy w czasie na obszarze Polski;
- Testowanie opracowanych procedur na sieciach innych krajów;
- Włączenie ruchów skorupy ziemskiej wyznaczonych innymi technikami do wspólnego opracowania.

4.3.8 Literatura

- [1] Adamczewski, Z., Figurski, M.: 2007. *Satelitarny paradygmat wyznaczania prędkości pionowych ruchów skorupy ziemskiej*. Przegląd geodezyjny. Nr 3,
- [2] Ågren, J., Svensson, R.: 2007, *Postglacial land uplift model and system definition for the new Swedish Height System RH 2000*. LMV-Raport 2007:4, 124 pp., Gävle,
- [3] Altamimi, Z., Sillard P., Boucher, C.: 2000. *ITRF2000: A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications*. Journal of Geophysical Research 107(B10):2214,
- [4] Badura, J., Zuchiewicz, W., Stepancikova, P., Przybylski, B., Kontny, B., & Cacon, S.: 2007. *The Sudetic Marginal Fault: a young morphotectonic feature at the ne margin of the Bohemian Massif. Central Europe*. Acta Geodynamica et Geomaterialia. 4(4), 7,
- [5] Bednarczyk, M., Biryło, M., Dawidowicz, K., Hlotov, V., Kowalczyk, K., Kwartnik-Pruc, A., ... & Wróbel, A.: 2015. *Modern geodetic techniques in spatial measurement. section 5 a relation between a vertical crustal movement from spirit levelling and glacial isostatic adjustment (gia) from grace data in the area of Poland*. Modern geodetic techniques in spatial measurement. Nacionalna knjiznica. Zagreb. pp 76-87
- [6] Blewitt, G.: 2000. *Geodetic network optimization for geophysical parameters*. Geophysical Research Letters 27(22):3615–3618.
- [7] Bogusz, J., Brzezinski, A., Kosek, W., Nastula, J.: 2015. Geodesy and Cartography, ISSN: 2080-6736, "Earth Rotation and Geodynamics". Chapter in J. Bosy and J. Krynski (Eds.) "Polish National Report on Geodesy 2011-2014, the XXVI General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics in Prague, Czech Republic. Vol. 64. No. 2. p.51-84,
- [8] Borghi, A., Cannizzaro, L., Vitti, A.: 2012. *Advanced techniques for discontinuity detection in GNSS coordinate time-series. An Italian case study*. Geodesy for Planet Earth. 136. 627-634. DOI: 10.1007/978-3-642-20338-1_77,
- [9] Campbell, J., 2000. *Very Long Baseline Interferometry – a high precision tool for geodesy and astrometry*. C R Acad Sci Paris, S'erie IV – Physics 1(10):1255–1265.
- [10] Caporali, A., Neubauer, F., Ostini, L., Stangl, G., Zuliani, D., 2013. *Modeling surface GPS velocities in the Southern and Eastern Alps by nite dislocations at crustal depths*. Tectonophysics. 590. 136-150,
- [11] Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, S., Meindl, M.: (EDS.) 2007. *Bernese GPS software version 5.0*, Astronomical Institute. The University Of Bern,
- [12] Delaunay, B.: 1934. *Sur la sphere vide*. Izvestia Akademii Nauk Sssr, Otdelenie Matematicheskikh i Estestvennykh Nauk 7. pp. 793–800,
- [13] Fjeldskaar, W., Lindholm, C., Dehls, J. F., & Fjeldskaar, I.: 2000. *Postglacial uplift, neotectonics and seismicity in Fennoscandia*. Quaternary Science Reviews. 19(14). 1413-1422,
- [14] Gazeaux, J., Williams, S., King, M., Bos, M., Dach, R., Deo, M., Moore, A., Ostini, L., Petrie, E., Roggero, M., Teferle, F., Olivares, G., and Webb, F.: 2013. *Detecting offsets in GPS time series: first results from the detection of offsets in GPS experiment*. J. Geophys. Res. Solid Earth, 118, 2397–2407, DOI:10.1002/jgrb.50152,

- [15]Gopwani, M., Scheidegger, A.: 1971. *Conclmporary and recent vertical crustal moverncnts and their inlerprclalion*. Annals of Geophysics. 24(1). 2-27,
- [16]Graniczny, M., Čyžienė, J., van Leijen, F., Minkevičius, V., Mikulėnas, V., Satkūnas, J., ... & Hanssen, R.: 2015. *Vertical ground movements in the Polish and Lithuanian Baltic coastal area as measured by satellite interferometry*. Baltica, 28(2),
- [17]Graszka, W.: 2014. *Układy odniesienia i systemy współrzędnych stosowane w serwisach ASG-EUPOS*. Szkolenie Służby Geodezyjnej i Kartograficznej. Wrocław, 7-8 października 2014 http://www.asgeupos.pl/webpg/graph/img/_news/00202/2.1.pdf,
- [18]Graszka, W., Pielasa, E., Wajda, S., Piętka, D.: 2016. *Podstawowa osnowa wysokościowa, grawimetryczna i magnetyczna ocena stanu i prognozy rozwoju*, Seminarium Współczesne problemy podstawowych osnów geodezyjnych w Polsce, Grybów, 14-16.09.2016 <http://docplayer.pl/28302758-Podstawowa-osnowa-wysokosciowa-grawimetryczna-i-magnetyczna-ocena-stanu-i-prognozy-rozwoju.html>,
- [19]Grubbs, F.E.: 1969. Procedures for detecting outlying observations in Samples. Technometrics, 11, 1, 1-21. DOI: 10.2307/1266761,
- [20]Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J.: 2012. Global positioning system: theory and practice. Springer Science & Business Media,
- [21]Ihde J., Augath W.: 2001. *The Vertical Reference System for Europe*. Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Astronomisch-Geodätisch Arbeiten, Heft Nr 61: 99-110 München,
- [22]Kakkuri, J. Vermeer, M.: 1985. *The Study of land uplift using the third precise levelling of Finland*. Helsinki. Reports of the Finnish Geodetic Institute,
- [23]Kenselaar, F., Quadvlieg, R.: 2001. *Trend-signal modelling of land subsidence*. Proceedings of the 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements,
- [24]Kenyeres, A., Jambor, T., Caporali, A., Dros_cak, B., Garayt, B., Georgiev, I., Jumare, I., Nagl, J., Pihlak, P., Ryczywolski, M.: 2013. *Integration of the EPN and the dense national Permanent Networks*. EUREF symposium, Budapest, Hungary, 29-31,
- [25]Kontny, B., Bogusz, J.: 2012. *Models of vertical movements of the earth crust surface in the area of Poland derived from levelling and GNSS data*. Acta Geodynamica et Geomaterialia, 9(3), 167,
- [26]Kowalczyk, A., Kowalczyk, K.: 2014. *The network theory in the process of creating and analyzing from vertical crustal movements*. 14th GeoConference on Informatics, Geoinformatics and remote Sensing, Bulgaria. Vol 2 pp. 545-552,
- [27]Kowalczyk, A., Kowalczyk, K.” 2014. *The use of network analysis to creating a model of Triangulated Irregular Network (TIN) on the basis of the data from Polish Active Geodetic Network EUPOS (ASG EUPOS)*. The 9th International Conference “Environmental Engineering”, Lithuania,
- [28]Kowalczyk, K.: 2009. *Dane niwelacyjne w badaniu pionowych ruchów skorupy ziemskiej na obszarze Polski*. Acta Sci. Pol. Geodesia et Descriptio Terrarum, 8(1), 31-44,

- [29] Kowalczyk, K., Bednarczyk, M., Kowalczyk, A.: 2011. *Relational Database of Four Precise Levelling campaigns in Poland*. 9th International Conference „Environmental Engineering” vol 5,
- [30] Kowalczyk, K., Bogusz, J., Rapiński, J., Figurski, M.: 2014. *An approach to assimilation of levelling data and GPS permanent measurements for creating model of vertical crustal movements in Poland*. The 14th Czech–Polish workshop on recent geodynamics of the Sudety, Jarnołtówek, October 21-23, 2013,
- [31] Kowalczyk, K.: 2006b. *Modelling the vertical movements of the earth's crust with the help of the collocation method*. Reports on Geodesy, No 6. (76),
- [32] Kowalczyk, K.: 2006a. *New model of the vertical crustal movements in the area of Poland*. Geodezija ir Kartografija, 32(4), 83-87,
- [33] Kowalczyk, K.: 2006c. *Estimation of vertical crustal movements model in Poland*. UWM Olsztyn. Ph. D.Thesis, (in Polish),
- [34] Kowalczyk, K., 2008. *Vertical crustal movements in Poland for instance any fragment three levellings network*. In The 7th International Conference " Environmental Engineering". Vol. 3. pp. 1354-1358,
- [35] Kowalczyk, K., Bogusz, J., & Figurski, M.: 2014. *The analysis of the selected data from Polish Active Geodetic Network stations with the view on creating a model of vertical crustal movements*. In The 9th International Conference “Environmental Engineering”, Lithuania,
- [36] Kowalczyk, K., Rapiński, J.: 2011. *New elaboration of gradient map of vertical crustal movements in the territory of Poland*. Technical Sciences/University of Warmia and Mazury in Olsztyn, 245-254,
- [37] Kowalczyk, K., Rapiński, J., & Mroz, M.: 2010. *Analysis of vertical movements modelling through various interpolation techniques*. Acta Geodyn. Geomater, 7(4), 160,
- [38] Lidberg, M., Altamimi, Z., Bruyninx, C., Caporali, A., Dousa, J., Fernandes, R., Kenyeres, A., Stangl, G., Stefen, H.: 2014. *The EUREF WG on Deformation models*. Presentation at the REFAG 2014 Symposium in Luxembourg,
- [39] Lidberg, M., Johansson, J. M., Scherneck, H. G., & Davis, J. L.: 2007. An improved and extended GPS-derived 3D velocity field of the glacial isostatic adjustment (GIA) in Fennoscandia. Journal of Geodesy, 81(3), 213-230. DOI: 10.1007/s00190-006-0102-4,
- [40] Łyszkowicz, A., Lewandowicz, E., Kowalczyk, K., Ogórek, T.: 2002. *Status of the precise levelling data base at the University of Warmia and Mazury in Olsztyn*, International Association of Geodesy / Section I - Positioning; Subcommission for Europe (EUREF), Publication No.12, pp.151-156,
- [41] Matsumura S., Murakami, M., Imakiire, T.: 2004. *Concept of the new Japanese Geodetic System*. Bulletin of the Geographical Survey Institute 51:1–9,
- [42] Perfetti, N.: 2006. *Detection of station coordinate discontinuities within the Italian GPS Fiducial Network*. Journal of Geodesy, 80, 7, 381-396. DOI:10.1007/s00190-006-0080-6,
- [43] Perski, Z.: 2009. *Earth's surface deformation measurements with SAR interferometry*. Methods and newest achievements. Geoinformatica Polonica, 9,

- [44]Perski, Z., Hanssen, R., & Marinkovic, P.: 2008. *Deformation of The Margin of Sudety Mountains (Southern Poland)*. Studied by Persistent Scatterers Interferometry. In Fifth International Workshop on ERS/Envisat SAR Interferometry,FRINGE07', Frascati, Italy, CDROM,
- [45]Randjäv, J.: 1968. *The Character and Velocities of Recent Crustal Movements in the Baltic Regions*. Recent crustal movements of the Earth No 3, USSR Acad. of Sci. Moscow, pp.200-210,
- [46]Romaniuk, V.: 2014. *Investigation of the interrelation between vertical movements of the crust and generalized seismic activity on the territory of Europe*. O. Smirnova, L. Babiy, K. Tretyak, V. Romanyuk, I. Sidorov. Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly 2014, Austria,
- [47]Rožić, N.: 2017. *Quality evaluation of height movement kinematic model of the Earth's crust on the Croatian territory*. Geofizika, DOI: 10.15233/gfz.2017.34.1,
- [48]Sacher, M., et all: 2000. *Preliminary results of test computations as a first step to a kinematic height network*. European Vertical System,
- [49]Sacher, M., Ihde, J.,Liebsch, G., Mäkinen, J.: 2008. *EVRF07 as Realization of the European Vertical Reference System*. Presented at the Symposium of the IAG Sub-commission for Europe (EUREF) in Brussels, June 18-21, 2008. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, Vol. 68, No. 1, pp. 35-50,
- [50]Smith, D. A.: 1998. *A quantitative method for the detection of edges in noisy time-series*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 353(1378), 1969-1981,
- [51]Sowa, W., Grzempowski, P., Bogusz, J.: 2013. *Analysis of velocity vectors of ASG-EUPOS points displacements*. 14th Czech-Polish Workshop On recent geodynamics of the sudeten and adjacent areas, Jarnołtówek, Poland, October 24-26, 2013,
- [52]Stefansky, W.: 1972. *Rejecting outliers in factorial designs*. Technometrics, 14, 2, 469-479,
- [53]Steffen, H., Denker, H., & Müller, J.: 2008. *Glacial isostatic adjustment in Fennoscandia from GRACE data and comparison with geodynamical models*. Journal of Geodynamics, 46(3), 155-164. DOI: 10.1016/j.jog.2008.03.002,
- [54]Świczak, M., Kozlovskaya, E., Majdański, M., & Grad, M.: 2009. *Interpretation of geoid anomalies in the contact zone between the East European Craton and the Palaeozoic Platform—II: Modelling of density in the lithospheric mantle*. Geophysical Journal International, 177(2), 334-346,
- [55]Torge, W.: 1989. Gravimetry Walter de Gruyter. Berlin–New York,
- [56]Trần, Đ. T., Nguyễn, T. Y., Dương, C. C., Vy, Q. H., Zuchiewicz, W., & Nguyễn, V. N.: 2013. *Recent crustal movements of northern Vietnam from GPS data*. Journal of Geodynamics, 69, 5-10,
- [57]Tretyak, K., Dosyn, S.: 2014. *Study of vertical movements of the European crust using tide gauge and GNSS observations*. Reports on Geodesy and Geoinformatics, 97, 1, 112-131. DOI: 10.2478/rgg-2014-0016,

- [58] Vaniček, P., Krakiwsky, E.: 1986. *Geodesy, The Concepts*, Elsevier, Amsterdam, Lousanne, New York, Oxford, Shannon, Tokyo,
- [59] Vaniček, P., Christodulidis, D.: 1974. *A method for the evaluation of vertical crustal movement from scattered geodetic relevellings*. Canadian Journal of Earth Sciences, 11(5), 605-610,
- [60] Völksen, C., Wassermann, J.: 2013. *Recent crustal deformation and seismicity in Southern Bavaria revealed by GNSS observations*. Symposium EUREF, May 29-31, 2013, Budapest., Hungary,
- [61] Wöppelmann, G., C. Letetrel, A. Santamaria, M.-N. Bouin, X. Collilieux, Z. Altamimi, S. Williams, D., Miguez ,M.: 2009. *Rates of sea-level change over the past century in a geocentric reference frame*. Geophys. Res. Lett., 36, L12,607,
- [62] Wyrzykowski, T.: 1971. *Mapa współczesnych bezwzględnych prędkości pionowych ruchów powierzchni skorupy ziemskiej na obszarze Polski*. Państw. Przedś. Wyd. Kartogr., Warszawa,
- [63] Wyrzykowski, T.: 1987. *Nowe wyznaczenie prędkości współczesnych pionowych ruchów powierzchni skorupy ziemskiej na obszarze Polski*. Pr. Inst. Geod. I Kart. t. XXXIV, zesz. 1(78),
- [64] Zuchiewicz, W., Badura, J., & Jarosiński, M.: 2007. *Uwagi o neotektonice Polski: wybrane przykłady*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, (425), 105-127.

5. Pozostałe osiągnięcia naukowo - badawcze

Inne osiągnięcia naukowo-badawcze obejmują (podsumowanie w Tabeli 6.1 oraz szczegóły w Załączniku nr. 3) oryginalne osiągnięcia projektowe, patent, wzory użytkowe i wzór przemysłowy, monografie i rozdział w monografii, publikacje naukowe w czasopismach posiadających współczynnik wpływu impact factor (IF), publikacje naukowe w czasopismach nieposiadających współczynnika wpływu impact factor (IF), referaty wygłoszone na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych oraz publikowane w materiałach z konferencji międzynarodowych uwzględnionych w uznanych bazach o zasięgu międzynarodowym, dokumentacje prac badawczych oraz udział w projektach badawczych.

5.1 Pozostałe prace związane tematycznie z tematem cyklu habilitacyjnego

W ramach prac badawczych zrealizowano także badania w zakresie modelowania ruchów pionowych skorupy ziemskiej, które związane są tematycznie z tematem cyklu habilitacyjnego. Dotyczą one głównie kwestii wykorzystania algorytmów interpolujących do modelowania ruchów pionowych skorupy ziemskiej, formy prezentacji tych ruchów, analizy możliwości łączenia swobodnych punktów GNSS w sieci, oraz testowanie założeń przedstawionych w cyklu habilitacyjnym:

- [2A.1] **Kowalczyk K.**, Rapiński J. , Mróz M., 2010, Analysis of vertical movements modelling through various interpolation techniques. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 7, No.4 (160), pp.1-11. [IF – 0.452, 20pkt.]
- [2E.2.2] Bednarczyk M., Biryło M., Dawidowicz K., Hlotov V., **Kowalczyk K.**, Kwartnik-Pruc A., Pelc-Mieczkowska R., Siejka Z., Tomaszewski D, Wróbel A, 2015, Modern geodetic techniques in spatial measurement, Nacionalna knjižnica, Zagreb , ISBN 978-953-6129-45-4 [25pkt.]
- [2E.4.1] **Kowalczyk K.**, 2006, Modelling the vertical movements of the earth's crust with the help of the collocation method, Reports on Geodesy, No 6. (76) [6pkt.]
- [2E.4.2] **Kowalczyk K.**, 2006., New model of the vertical crustal movements in the area of Poland, Geodesy and Cartography, Vilnius No. 4 Vol XXXII, pp. 83-87 [6pkt.]
- [2E.4.3] **Kowalczyk K.**, 2006, Porównanie współcześnie wyznaczonych ruchów pionowych powierzchni skorupy ziemskiej na obszarze Polski z wyznaczeniami wcześniejszymi, Przegląd Geodezyjny, Nr. 12, s. 4-7 [6pkt.]
- [2E.4.5] **Kowalczyk K.**, 2009., Dane niwelacyjne w badaniu pionowych ruchów skorupy ziemskiej na obszarze Polski. Acta Sci. Pol. Geodesia et Descriptio Terrarum, , 8(1), pp. 31-44 [6pkt.]
- [2E.4.14] **Kowalczyk K.**, Rapiński J., 2011, New elaboration of gradient map of vertical crustal movements in the territory of Poland. Techn. SC., No 12, pp. 245-254 [6pkt.]
- [2E.5.1] **Kowalczyk K.**, 2008, Vertical crustal movements in Poland for instance any fragment three levellings network, 7th International Conference „ENVIRONMENTAL ENGINEERING” may 22-23, 2008, Vol. 3, pp. 1354-1358, Vilnius, Lithuania SELECTED PAPER ISBN:978-9955-28-263-1 [10pkt.]
- [2E.5.3] **Kowalczyk K.**, Bednarczyk M., Kowalczyk A., 2011, Relational Database of Four Precise Levelling Campaigns in Poland, 8th International Conference ENVIRONMENTAL ENGINEERING” May 19-20, 2011, Vol. 1-3, pp. 1356-1361, Vilnius, Lithuania SELECTED PAPER, ISBN:978-9955-28-827-5 [10pkt.]
- [2E.5.4] Kowalczyk A., **Kowalczyk K.**, 2014, The network theory in the process of creating and analyzing from vertical crustal movements. 14th GEOCONFERENCE ON INFORMATICS, GEOINFORMATICS

AND REMOTE SENSING, Jun 17-26, 2014, Vol. 2, pp. 545-552, Albena, Bulgaria, DOI: 10.5593/sgem2014B22, ISBN:978-619-7105-11-7, ISSN: 1314-2704 [10pkt.]

[2E.5.7] **Kowalczyk K.**, Bogusz J., Figurski M., 2014, The analysis of the selected data from Polish Active Geodetic Network stations with the view on creating a model of vertical crustal movements, 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING" May 22-23, 2014, Vilnius, Lithuania SELECTED PAPER, DOI: 10.3846/enviro.2014.221, ISBN:978-609-457-640-9 [10pkt.]

[2E.5.5] **Kowalczyk K.**, Bogusz J., Figurski M., 2014, On the possibility of using GNSS data to model the vertical crustal movements, 14th GEOCONFERENCE ON INFORMATICS, GEOINFORMATICS AND REMOTE SENSING, JUN 17-26, 2014, Vol. 2, pp. 567-573 DOI: 10.5593/sgem2014B22, ISBN:978-619-7105-11-7, ISSN: 1314-2704 [10pkt.]

[2E.5.6] Kowalczyk A., **Kowalczyk K.**, 2014, The use of network analysis to creating a model of Triangulated Irregular Network (TIN) on the basis of the data from Polish Active Geodetic Network EUPOS (ASG EUPOS), 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING" May 22-23, 2014, Vilnius, Lithuania SELECTED PAPER, DOI: 10.3846/enviro.2014.220, ISBN:978-609-457-640-9 [10pkt.]

5.2 Pomiary bezlustrowe i skaning laserowy

W ramach prac związanych z pomiarami geodezyjnymi z wykorzystaniem skaningu laserowego skupiono się głównie na modelowaniu obiektów na podstawie obserwacji ALS oraz modelowaniu parametru intensity:

[2A.2] **Kowalczyk K.**, Rapiński J., 2014, Investigating the Error Sources in Reflectorless EDM, Journal of Surveying Engineering, DOI: 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000130 06014002 [IF – 1.000, 30pkt.]

a także analizie bezlustrowych pomiarów odległości w zakresie błędów tych pomiarów oraz modelowania maksymalnego zasięgu:

[2E.4.12] Rapiński J, **Kowalczyk K.**, 2011, The modelling of a reflectorless range finder maximum range with Phong model, Reports on Geodesy, No. (90), pp. 417-422 [6pkt.]

[2E.4.13] **Kowalczyk K.**, Rapiński J, 2011, Verification of theoretical Phong model in reflector less surveys, Techn. SC., No, 12, pp. 255-262 [5pkt.]

5.3 Geodezja inżynierska

W związku z tematyką dotyczącą geodezji inżynierskiej oraz pomiarów geofizycznych (georadarowych) w zakresie monitoringu stanu obiektów inżynierskich, opublikowano prace, które dotyczyły głównie badania odkształceń i deformacji obiektów inżynierskich jak też możliwości oceny wpływu wód na zachowanie tych obiektów. W tym zakresie wykonano pomiary nieinwazyjne (georadarowe), opracowano koncepcje urządzenia do rejestracji poziomu wód gruntowych oraz opracowano rozwiązania patentowe:

[2E.4.6] **Kowalczyk K.**, Kuczyńska J., 2009., Application of mirrorless total stations for precision architectural objects dokumentation, Reports on Geodesy, No 2. (87), pp. 177-185 [6pkt.]

[2E.3.1] Wszyński L., Bednarczyk M., **Kowalczyk K.**, Rapiński J., Cellmer S. 2011, Determination of deformation of water tower in Ciechanow, Actual problems In modern geodesy, 05.2011, Olsztyn, pp. 1-12, ISBN 978-83-930189-3-2 [5pkt.]

- [2E.2.1] Biłozor A., Cichociński P., Cieslak I., Dadić V., Dawidowicz K., Ivanković D., Gerus-Gosciewska M., Hanus P., Kowalczyk A., **Kowalczyk K.**, Krzyżek R., Parzych P., Szuniewicz K., Vučić I. 2014, GIS & Geodesy, Nacionalna knjižnica, Zagreb, Croatia, ISBN 978-953-6129-41-6 [25pkt.]
- [2E.4.19] Węgliński R., **Kowalczyk K.**, 2014, Wykorzystanie georadaru w monitoringu osiadania nasypów przeciążeniowych. Przegląd Geodezyjny, Nr. 2, s. 3-8 [4pkt.]
- [2E.5.8] Rapinski J., **Kowalczyk K.**, Smieja M., 2014, Ground water level monitoring device on marshland, 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING" May 22-23, 2014, Vilnius, Lithuania SELECTED PAPER, DOI: 10.3846/enviro.2014.089, ISBN:978-609-457-640-9 [10pkt.]

patent i wzór użytkowy oraz zrealizowany projekt

- [2C.1] **Kowalczyk K.**, Rapiński J., 2010, Urządzenie do geodezyjnego pomiaru lin odciągowych, Polska, P.390624
- [2C.5] **Kowalczyk K.**, Rapiński J., Śmieja M., 2015., Urządzenie do pozycjonowania wózka do pomiaru torów kolejowych na wysokości znaku KOS, RU. 67998, wzór użytkowy
projekt realizowany na zlecenie PKP-PLK S.A.: Modernizacja trasy kolejowej oparta na inwentaryzacji szlaku i skrajni metodami pomiaru bezpośredniego i satelitarnego oraz optymalizacji parametrów trasy metodą regresji ortogonalnej. **Kierownik**

5.4 Zagadnienia geodezji szczegółowej

Zgodnie z profilem Katedry podjęto także próby usprawnienia pomiarów szczegółów sytuacyjnych i wysokościowych, głównie pod kątem ich pomiaru w utrudnionych warunkach terenowych z użyciem odbiorników satelitarnych w trybie RTK i RTN. W ramach powyższych zagadnień opracowano także rozwiązania patentowe:

- [2E.4.7] **Kowalczyk K.**, Węgliński R., 2010, Analiza przydatności metod pomiaru szczegółów sytuacyjnych w technologii GPS RTK, Przegląd Geodezyjny, 9/2010, s. 3-9 [6pkt.]
- [2E.4.8] **Kowalczyk K.**, 2011, Badanie wpływu materiałów budowlanych na dokładność pomiaru długości ręcznym dalmierzem laserowym. Przegląd Geodezyjny 07.2011s. 9-11 [6pkt.]
- [2E.4.9] **Kowalczyk K.**, 2011, Ocena przydatności pomiaru punktów niedostępnych metodą GPS RTK z uwzględnieniem błędów punktów bazowych. Przegląd Geodezyjny 10/2011s. 7-12 [6pkt.]
- [2E.4.10] **Kowalczyk K.**, 2011, Analiza błędów generowanych podczas pomiaru szczegółów sytuacyjnych metodą GPS RTK, Acta Sci Pol. Geod. Descr. Terr., 10(1)pp.5-21 [6pkt.]
- [2E.4.11] **Kowalczyk K.**, Tomaszewski D., 2011, Development of the 3d model of the historic building wall with the use of reflectorless electronic tacheometer. Reports on Geodesy, No. (90), pp. 191-198 [6pkt.]
- [2E.4.16] **Kowalczyk K.**, Rapiński J., 2012, Propozycja kontroli punktów geodezyjnych niedostępnych do bezpośredniego pomiaru GPS RTK. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Nr 283, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 59 (1/12/II) s. 189-196 [4pkt.]
- [2E.4.18] **Kowalczyk K.**, Rapiński J., Tomaszewski D., 2013, Practical verification of the Phong reflection model conducted with the use of terrestrial laser field scanning data. Techn. S.C., No 16(1), pp. 73-80 [6pkt.]

wzory użytkowe

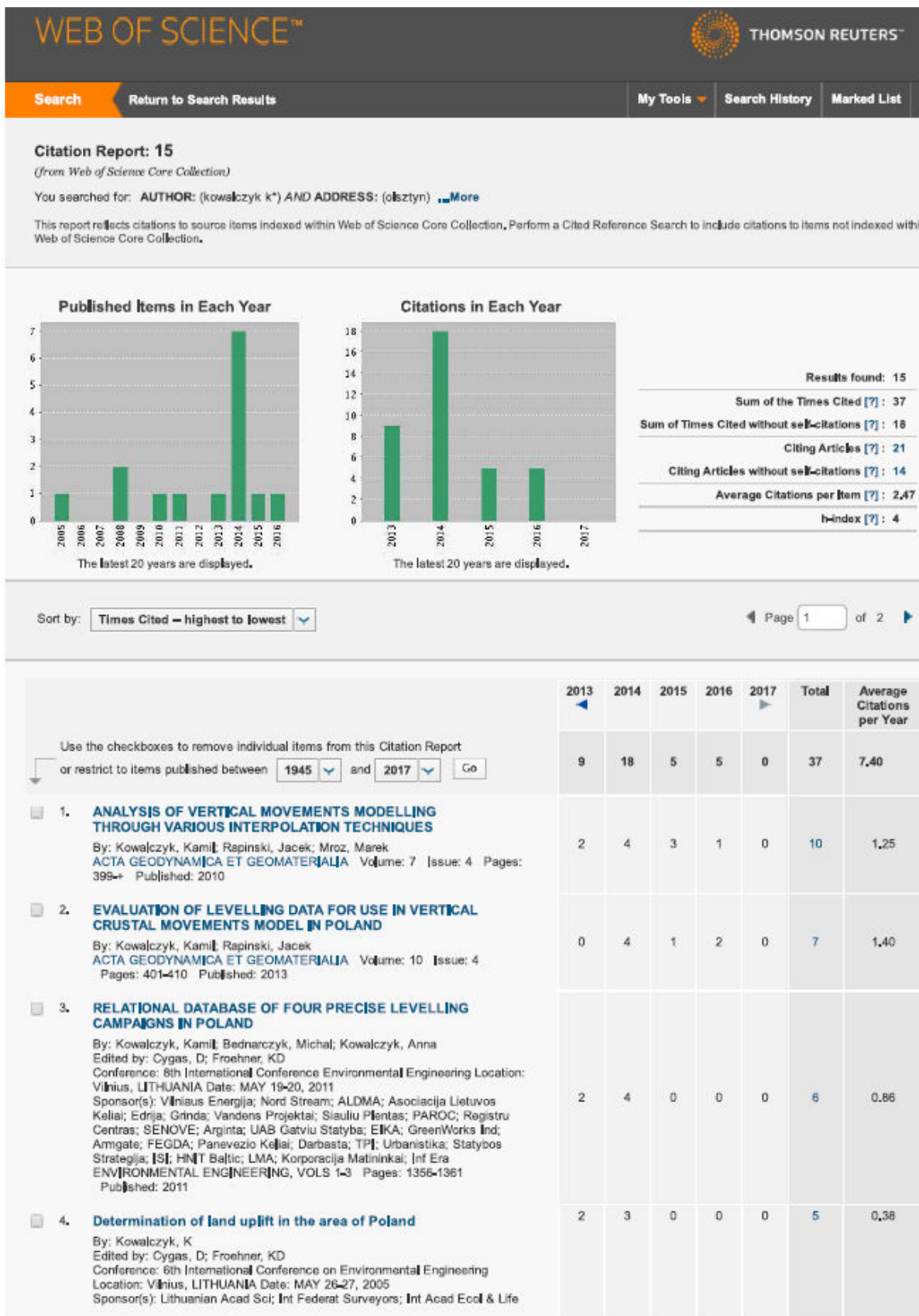
- [2C.2] **Kowalczyk K.**, 2011, Uchwyt do mocowania lustra dalmierczego zwłaszcza do tyczki geodezyjnej z odbiornikiem GPS, PO.66012,
- [2C.3] **Kowalczyk K.**, 2011, Węgielnica pryzmatyczna mimośrodowa, PO.66008,
- [2C.4] **Kowalczyk K.**, 2012, Widelki pomiarowe zwłaszcza do tyczki geodezyjnej, PO.66150,

6. Podsumowanie dorobku i osiągnięć naukowych

Tabela 6.1 prezentuje zestawienie osiągnięć naukowo-badawczych uzyskanych po otrzymaniu stopnia doktora. Szczegółowy opis osiągnięć przedstawia Załącznik nr 3.

Tabela 6.1 Zestawienie osiągnięć naukowo-badawczych (stan na 13.03.2017)

L.p.	Wskaźnik	Wartość wskaźnika
1	Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	6
2	Autorstwo lub współautorstwo zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego	3
3	Wynalazki, wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę oraz te które zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach	7
4	Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych:	
	• Monografie	2
	• Rozdziały w monografii	1
	• Publikacje naukowe w czasopismach nieposiadających współczynnika wpływu impact factor (IF)	19
	• Publikacje w materiałach z konferencji międzynarodowych uwzględnionych w uznanej bazie publikacji o zasięgu międzynarodowym (WoS)	8
5	Autorstwo lub współautorstwo odpowiednio dla danego obszaru: opracowań zbiorowych, katalogów zbiorów, dokumentacji prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych	6
6	Sumaryczny impact factor publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania	4.275
7	Liczba cytowań według bazy Web of Science	37
8	Indeks Hirscha opublikowanych publikacji według bazy Web of Science	4
9	Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach	6
10	Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	4
11	Wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych	39
	• Referaty na konferencjach międzynarodowych	20
	• Referaty na konferencjach krajowych	19



http://apps.webofknowledge.com/CitationReport.do?product=WOS&search_mode=CitationReport&SID=V23rddUPNP5PxOwdr5r&page=1&cr_pgid=1&vi...

Tabela 6.2 prezentuje zestawienie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy krajowej i międzynarodowej, uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora. Szczegółowy opis dorobku przedstawia Załącznik nr 3.

Tabela 6.2 Zestawienie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy krajowej i międzynarodowej (stan na 13.03.2017)

L.p.	Wskaźnik	Wartość wskaźnika
1	Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych	11
2	Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż naukowe	4
3	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	1
4	Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych oraz we współpracy z przedsiębiorcami, innymi niż wymienione w tabeli 6.1	1
5	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	1
6	Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	5
7	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki	39
8	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego	1
9	Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	4
10	Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	4
11	Recenzowanie projektów międzynarodowych i krajowych	50
12	Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych:	
	Czasopisma z IF	7
	Czasopisma bez IF	2
	Monografie i rozdziały w monografiach	2
	Materiały konferencyjne (WoS)	10
Pozostałe materiały konferencyjne	3	
13	Inne osiągnięcia, nie wymienione wcześniej	27

