

JAN KRYŃSKI

ANDRZEJ SAS-UHRYNOWSKI

GEODEZJA W XXI WIEKU W INSTYTUCIE GEODEZJI I KARTOGRAFII

1. GŁÓWNE OSIĄGNIĘCIA GEODEZJI NA ŚWIECIE NA PRZEŁOMIE TYSIĄCLECI

Dynamiczny rozwój technologii stymulowany w niebagatelnym stopniu programami kosmicznymi oraz towarzyszący mu postęp w poznaniu i dokładniejszej formalizacji opisu zjawisk fizycznych zachodzących na Ziemi, a także w jej otoczeniu, w zasadniczy sposób przyczyniły się do ukształtowania współczesnych zadań i kierunków rozwojowych geodezji. Rozwój elektroniki i towarzysząca mu miniaturyzacja układów elektronicznych spowodowały zdominowanie tradycyjnych wizualnych optycznych technik pomiarowych oraz technik polegających na użyciu przymiarów geodezyjnych przez nowoczesne techniki elektroniczne zaopatrzone w precyzyjne wzorce częstotliwości oraz w systemy rejestracji pomiarów. Techniki te, zdominowane w dużej mierze przez techniki satelitarne, w porównaniu z klasycznymi, dostarczają obserwacji o wyższej precyzji oraz wymagają krótszego czasu na pozyskanie obserwacji. W grawimetrii nastąpił renesans technik pomiaru absolutnego przyspieszenia siły ciężkości. Dokładności pomiarów uzyskiwanych przy użyciu współczesnych aparatów balistycznych są porównywalne z dokładnościami otrzymywanymi ze względnych pomiarów grawimetrycznych przy zastosowaniu polowych grawimetrów najwyższej klasy. Jednocześnie postęp w rozwoju technik komputerowych umożliwił przetwarzanie obserwacji dostarczanych przez współczesne technologie pomiarowe. Otworzył on również możliwości zintegrowanego opracowywania obserwacji geodezyjnych. Geodezja zintegrowana stworzyła formalne podstawy jednolitego opisu funkcjonalnego wielkości obserwowanych w geodezji przez co zatarciu uległy różnice dzielące poszczególne działy geodezji. Rozszerzenie geodezyjnych technik obserwacyjnych przez techniki

satelitarne stworzyło potrzebę sformułowania nowych geodezyjnych problemów brzegowych, których rozwiązanie prowadzi do bardziej precyzyjnego określenia geometrii powierzchni Ziemi. Wzrost precyzji i rozdzielczości czasowo-przestrzennej obserwacji geodezyjnych stały się stymulatorami rozwoju badań naukowych prowadzących do tworzenia nowych, bardziej rozwiniętych modeli matematycznych obserwowanych wielkości fizycznych, a także do udoskonalenia definicji i parametryzacji układów odniesienia. Geodezja trójwymiarowa przestała być wyłącznie przedmiotem spekulacji naukowych i badań eksperymentalnych. Poprzez pozycyjne pomiary satelitarne, stosowane początkowo do zadań geodezyjnych o charakterze globalnym i regionalnym, przeniknęła gwałtownie do szeroko pojętej praktyki geodezyjnej. Rozwiązywanie problemów doskonalenia geoidy nurtujących do niedawna wąskie zaledwie naukowe grupy geodezyjne znalazło poprzez upowszechnienie satelitarnych technik pomiarowych poparcie ze strony społeczności geodezyjnej zaangażowanej w wykonawstwo geodezyjne. Sposoby zakładania osnów geodezyjnych i ich rola uległy istotnym modyfikacjom. Co więcej, szereg elementów geodezji stało się integralną częścią burzliwie rozwijających się systemów geoinformatycznych. Dostępność satelitarnych systemów pozycjonowania, prostota obsługi instrumentów przeznaczonych do wyznaczania pozycji a także wysoki stopień automatyzacji programów obliczeniowych stworzyły sytuację, w której do wyznaczenia pozycji obiektu przestaje być potrzebny wysoko kwalifikowany profesjonalista. Wiele prac w przeszłości powierzanych wyłącznie geodetom coraz częściej wykonywane jest przez operatorów nie posiadających wykształcenia geodezyjnego. Precyzja, efektywność, niezawodność i niezależność satelitarnych technik wyznaczania pozycji powodują, iż granica rozdzielająca sfery zainteresowań geodezji i nawigacji ulega zatarciu. Próby zmierzające do nadania zawodowi geodety form dopasowanych do potrzeb rynkowych zmaterializowały się w ostatnim dziesięcioleciu w postaci radykalnych zmian w programach studiów wielu czołowych geodezyjnych ośrodków uniwersyteckich świata, w których przedmioty geodezyjne stały się elementem wykształcenia geoinformatycznego, u podstaw którego leży pozyskiwanie, przetwarzanie i zarządzanie danymi geodezyjnymi.

Dzięki wzrostowi precyzji oraz znacznemu zwiększeniu rozdzielczości czasowej pozyskiwanych obserwacji pojawiły się realne możliwości wykonania znaczącego kroku w kierunku poznania zjawisk geofizycznych, które z kolei mają istotne znaczenie dla opracowywania obserwacji geodezyjnych. Jako przykład może posłużyć dynamicznie rozwijające się współdziałanie przedstawicieli różnych dyscyplin nauk o Ziemi w kierunku szerokiej interpretacji monitorowanych na przestrzeni ostatniego ćwierćwiecza zmian powierzchniowych oceanów. Z uwagi na precyzję obserwacji geodezyjnych oraz specyfikę pozyskiwania tych obserwacji modele statyczne zastępowane są modelami kinematycznymi torując tym samym drogę do opisu zagadnień geodezyjnych w przestrzeni czterowymiarowej. Znajduje to odbicie w coraz

szerszym stosowaniu metod pozyskiwania i opracowania obserwacji geodezyjnych uwzględniających zmienną czasową. Metody analizy obserwacji wywodzące się z teorii sygnałów a w szczególności metody filtracji błędów znalazły na stałe miejsce w geodezji.

Na przestrzeni kilku ostatnich dziesięcioleci XX-go wieku precyzja pomiarów geodezyjnych uległa zwiększeniu o trzy rzędy wielkości. Dokładność określenia pozycji punktów podstawowych osnów geodezyjnych z 10^{-6} - 10^{-5} wzrosła do 10^{-9} - 10^{-8} (Kryński, 1999). Podobny postęp w precyzji pomiarów nastąpił w grawimetrii. Pomiaru przyspieszenia siły ciężkości dokonuje się obecnie na poziomie dokładności dziesiątków nanogali ($1\text{ nGal} = 10^{-11}\text{ ms}^{-2}$).

Materiał obserwacyjny uzyskany z obserwacji satelitarnych umożliwił określenie figury Ziemi z niespotykaną dotychczas dokładnością. Powstały globalne, systematycznie ulepszane modele pola grawitacyjnego Ziemi, poczynając od globalnych wyznaczeń na początku lat 60-tych spłaszczenia Ziemi (rozdzielczość 10 000 km) na podstawie analizy obserwacji pierwszych satelitów Ziemi, do współczesnych modeli o rozdzielczości kilkudziesięciu kilometrów. Globalna geoida znana jest z sub-metrową dokładnością na obszarach kontynentalnych oraz z decymetrową dokładnością na obszarach oceanicznych. Środek mas Ziemi wyznaczony jest z błędem kilku centymetrów. Globalne systemy pomiarowe: VLBI, SLR, GPS dostarczają parametrów ruchu obrotowego Ziemi tj. ruch bieguna (PM) i długość dnia (LOD) (odpowiednik prędkości obrotowej Ziemi) na poziomie odpowiednio 10^{-4} sekundy łuku i $3.5 \cdot 10^{-6}$ sekundy czasu, z kilkugodzinną rozdzielczością czasową (Vandenberg, 1999). Znaczący postęp daje się zauważyć w dokładności określenia fizycznej i geometrycznej skali sieci geodezyjnych i wyznaczanej figury Ziemi. Permanentne, precyzyjne obserwacje GPS wykonywane w ostatnim dziesięcioleciu na kilkudziesięciu stacjach rozłożonych wokół kuli ziemskiej stanowią podstawę do określenia i monitorowania kinematycznego globalnego ziemskiego układu odniesienia. Dokładność położenia tych stacji ocenia się w pojedynczych milimetrach na epokę. Rozdzielczość czasowa modeli geodynamicznych opisujących wzajemne ruchy płyt tektonicznych wzrosła z kilkudziesięciu lat do jednego roku.

2. KIERUNKI ROZWOJU GEODEZJI

Zespół zagadnień leżących w sferze zainteresowania badań geodezyjnych przedstawiany jest często w postaci trzech grup problemowych: wyznaczanie pozycji (geometria i kinematyka), pole siły ciężkości Ziemi, i ruch wirowy Ziemi, powiązanych wzajemnie poprzez układy odniesienia (Rummel, 1999; Schwarz, 1999). W powyższy schemat ujęte są badawcze problemy technologiczne, a także towarzyszące im problemy badawcze o charakterze teoretycznym.

Definicje układów odniesienia będą wymagały ciągłego udoskonalania. Działalność w tym kierunku będzie polegała na kontynuacji prowadzenia permanentnych obserwacji przez międzynarodowe służby, których działalność oparta jest o sprawną pracę obsługiwanych przez poszczególne kraje stacji obserwacyjnych, opracowywaniu bieżących obserwacji, doskonaleniu technik obserwacyjnych i technologii opracowania danych. Należy oczekiwać, że Międzynarodowa Unia Geodezji i Geofizyki oraz Międzynarodowa Unia Astronomiczna uznają w najbliższej przyszłości ITRS jako oficjalny układ odniesienia dla potrzeb nauki i zastosowań zarówno dla opisu powierzchni Ziemi, jak i pola grawitacyjnego Ziemi, a także orbit sztucznych satelitów. Wprowadzenie w życie nowej generacji VLBI (Mark4) oraz opracowanie nowoczesnych programów obserwacyjnych, a także postęp technologiczny w laserowych pomiarach satelitarnych wsparty przez serię nowych satelitów zaopatrzonych w odbłyśniki laserowe przy jednoczesnym udziale polepszających się jakościowo pomiarów GPS ze stacji permanentnych zaowocują w postaci narzędzia dostarczającego parametrów ruchu obrotowego Ziemi o większej rozdzielczości czasowej i wyższej dokładności (dla PM i LOD odpowiednio $2.5 \cdot 10^{-5}$ sekundy łuku i $0.7 \cdot 10^{-6}$ sekundy czasu w najbliższej dekadzie). Nagłącą potrzebą niezbędną do realizacji tego zadania jest stworzenie jednolitego modelu oraz zintegrowanego systemu opracowania z milimetrową dokładnością danych ze wszystkich technik kosmicznych tj. GPS, GLONASS, SLR, DORIS, PRARE, VLBI, w jednym układzie odniesienia. Wobec wymagań dokładnościowych na poziomie pojedynczych centymetrów przejście od niebieskich do ziemskich układów odniesienia stwarza wiele nierozwiązanych dotychczas problemów. Na obecnym etapie wiedzy praktycznie wykorzystywane są w tym celu empiryczne rozwiązania oparte na światowych sieciach. Wiele niewyjaśnionych zjawisk obserwuje się w ruchu obrotowym Ziemi. Stosowane modele nutacji i precesji nie odpowiadają wymogom czasu. Układy współrzędnych niebieskich są obecnie precyzyjnie zdefiniowane, ale konwencjonalne układy ziemski CT typu ITRF przedstawiają bardziej sztuczny model niż sama Ziemia (Groten, 1999). W rezultacie istniejące efekty modelowania utrudniają geofizyczną interpretację parametrów ruchu obrotowego Ziemi.

W zakresie wyznaczania pozycji przewiduje się dalsze udoskonalanie istniejących satelitarnych systemów nawigacyjnych oraz rozwój nowych globalnych systemów pozycjonowania. Intensywne prace badawcze prowadzone będą w kierunku podniesienia dokładności wyników obserwacji GPS poprzez doskonalenie modelowania błędów obserwacyjnych i instrumentalnych związanych z położeniem środka fazowego anten, błędami odbicia, refrakcją atmosferyczną, pływami, ciśnieniem atmosferycznym. Planowane wzbogacenie systemu GPS o trzecią częstotliwość nośną dla użytkowników cywilnych (Sjöberg, 1999) oraz integracja tego systemu z dopełnionym do pełnej konfiguracji systemem GLONASS stworzy narzędzie do szybszego, dokładniejszego i bardziej wiarygodnego wyznaczania

pozycji. Sieć permanentnych stacji GPS ulegnie dalszemu rozszerzeniu w skali regionalnej. Sieci permanentnych wielofunkcyjnych stacji referencyjnych GPS umożliwią skracanie czasu obserwacji przy zachowaniu wysokiej dokładności pomiaru pozycji (Rizos et al., 1999). Obecnie trwają prace nad dalszym rozwojem kinematycznych metod GPS ze szczególnym uwzględnieniem metod umożliwiających wyznaczenie pozycji w czasie rzeczywistym (RTK). W szczególności potrzebą chwili jest stworzenie podstaw naukowo-technicznych do zakładania sieci i systemów umożliwiających pomiary RTK na długich bazach z dokładnościami ± 1 cm w pozycji horyzontalnej i ± 2.5 cm w wysokości.

Z niecierpliwością oczekiwane jest opracowanie nowego modelu pola grawitacyjnego Ziemi o wyższej niż dotychczas precyzji, który dodatkowo uwzględniał by zmienną czasową. Na rozwiązanie oczekuje szereg problemów związanych z modelowaniem pola grawitacyjnego o wysokiej rozdzielczości oraz opracowaniem geoidy o centymetrowej dokładności (± 1 cm). Zagadnienie wyznaczenia precyzyjnej geoidy urosło do rangi potrzeby rynkowej. Pomyślna realizacja misji kosmicznych: CHAMP (2000), GRACE (2001-2002), GOCE (~2004) dostarczy nowego, jakościowo bogatego materiału obserwacyjnego. Opracowanie obserwacji uzyskanych z tych misji posłuży do udoskonalenia modeli pola grawitacyjnego Ziemi kolejno do 70 stopnia i rzędu (CHAMP), 120-150 stopnia i rzędu (GRACE), 250 stopnia i rzędu (GOCE), udoskonalenia globalnego modelu geoidy (GOCE, $< \pm 2$ cm) oraz do stworzenia warunków do wyznaczania pozycji technikami kosmicznymi w czasie prawie rzeczywistym. Przewiduje się, iż do udoskonalenia modelu pola grawitacyjnego Ziemi oraz do zunifikowania i wzajemnego powiązania geodezyjnych układów odniesienia np. GPS i VLBI zostaną wykorzystane obserwacje uzyskane z VLBI w przestrzeni kosmicznej (Adam, 1999). Do uzupełnienia naziemnych i satelitarnych danych grawimetrycznych z rejonów arktycznych mają posłużyć realizowane przez najbliższe lata projekty międzynarodowe. Szersze stosowanie technik GPS do precyzyjnych pomiarów geodezyjnych wymaga poprawienia regionalnych modeli pola grawitacyjnego i regionalnej geoidy do czego z kolei niezbędny jest numeryczny model terenu o odpowiedniej precyzji i rozdzielczości. Stworzenie takiego modelu w najbliższej przyszłości jest nieuniknione.

Należy spodziewać się dalszego rozwoju badań geodynamicznych. Potrzeba ich prowadzenia, ograniczająca się jeszcze nie tak dawno głównie do celów poznawczych, w obecnej chwili dyktowana jest względami ekonomicznymi. Kontynuowane będą badania geodynamiczne o zasięgu globalnym koncentrujące się na pozyskiwaniu danych różnymi technikami obserwacyjnymi, ich przetwarzaniu, modelowaniu efektów długookresowych i ich fizycznej interpretacji. Jednocześnie nastąpi intensyfikacja monitorowania krótkookresowych geodynamicznych efektów geodynamicznych zarówno w skali globalnej jak i regionalnej. Wiąże się z tym rosnące zapotrzebowanie na postęp w geofizycznej interpretacji wyników obserwacji geodezyjnych

(Kryński, 1999). W przeważającej większości wypadków rozwiązywanie współczesnych problemów geodezyjnych, a w szczególności geodynamicznych, wymaga ścisłej współpracy ze specjalistami z innych dyscyplin naukowych. Jako przykład wyzwania dla geodetów i geofizyków może posłużyć geofizyczna interpretacja anomalii kontynentalnego pola grawitacyjnego Ziemi przy wykorzystaniu metody głębokiego sondowania sejsmicznego (Kakkuri, 1999). Należy oczekiwać, iż wysiłki licznych grup naukowych skoncentrują się na zastosowaniu obserwacji geodezyjnych do prognozowania trzęsień Ziemi, np. za pośrednictwem wyznaczanych z obserwacji akumulacji energii naprężeń w skorupie ziemskiej (Reilly, 1999). Wiele pytań dotyczących przeszłości Ziemi, np. jej figury i jej struktury wewnętrznej, w skali geologicznej pozostaje bez odpowiedzi (Varga, 1999). Należy się spodziewać, że badania zmienności w czasie figury Ziemi ograniczone dotychczas do monitorowania zmian kilku pierwszych wyrazów rozwinięcia geopotencjału w szereg harmonik sferycznych będą kontynuowane i rozwijane tak w skali przestrzennej jak i czasowej. Dużym poparciem środowiska naukowego cieszyłyby się badania prowadzące do bardziej dokładnego wyznaczenia stałej grawitacyjnej G – najmniej dokładnie znanej stałej fizycznej (Varga, 1999).

Ogromne pole działania otwarte jest dla badań teoretycznych w geodezji. Będą one towarzyszyły rozwojowi technik pomiarowych przyczyniając się do ich udoskonalania i bardziej efektywnego wykorzystania. Jako przykład może posłużyć opracowana w połowie lat 80-tych teoria kinematycznych pomiarów GPS (Remondi, 1985), która zapoczątkowała trwający do dziś lawinowy proces rozwojowy w dziedzinie zastosowań nawigacyjnych technik satelitarnych. Należy się spodziewać wprowadzania nowych narzędzi do opisu problemów geodezyjnych. Przykładem może być sugestia użycia narzędzi nieliniowych układów dynamicznych (teorii chaosu) do modelowania problemów geodezyjnych (Moritz, 1999). Można oczekiwać dalszego zaawansowania w integracji i uściśleniu modelowania obserwacji geodezyjnych oraz nieodłącznie idącego z tym w parze postępu w geofizycznej interpretacji uzyskiwanych wyników pomiarowych.

3. GŁÓWNE ZADANIA STOJĄCE PRZED IGIK W ZAKRESIE GEODEZJI W PIERWSZYM DZIESIĘCIOLECIU XXI WIEKU

Obowiązkiem spoczywającym na organizacjach reprezentujących środowisko geodezyjne w kraju jest dotrzymanie kroku światowym tendencjom rozwojowym w geodezji. W szczególności obowiązek ten dotyczy placówek o profilu naukowo-badawczym i dydaktycznym oraz służby geodezyjnej. Od placówek tych należy oczekiwać działalności polegającej na modernizacji programów dydaktycznych pod kątem aktualnych i przyszłych potrzeb rynkowych, nakreślaniu kierunków badań o wymiernym znaczeniu naukowym i/lub praktycznym, inicjowaniu i prowadzeniu prac badawczych oraz

wdrażaniu współczesnych rozwiązań do praktyki ze szczególnym uwzględnieniem zadań i potrzeb krajowej służby geodezyjnej.

Na Instytucie Geodezji i Kartografii, jako instytucie resortowym, spoczywa obowiązek rozszerzenia działań naukowo-badawczych na zespół zagadnień związanych z utrzymaniem i modernizacją podstawowych osnów wykorzystywanych w geodezji, których wykonywanie powinno być powierzzone Instytutowi przez GUGiK.

Wśród zadań o charakterze służby stojących przed zespołami powołanymi w IGiK do prowadzenia prac w zakresie geodezji (geodezji wyższej, geodezji dynamicznej, geodezji satelitarnej, grawimetrii, astronomii geodezyjnej) i magnetyzmu ziemskiego obok kontynuacji i rozszerzenia zakresu permanentnych obserwacji GPS, astrometrycznych, grawimetrycznych i magnetycznych prowadzonych w ramach programów międzynarodowych w Obserwatorium Geodezyjno-Geofizycznym w Borowej Górze stoją działania zmierzające do konserwacji, modernizacji i utrzymania podstawowych osnów: geodezyjnej (w tym wysokościowej), grawimetrycznej, magnetycznej i geodynamicznej.

Przez konserwację rozumiane jest monitorowanie stanu fizycznego punktów osnów podstawowych; możliwie szybka interwencja w razie stwierdzenia uszkodzenia lub zniszczenia punktu, polegająca na remoncie, odtworzeniu lub założeniu punkt zastępczego gdy odtworzenie jest niemożliwe; wykonanie ponownego wyznaczenia parametrów charakteryzujących dany punkt; wykonanie odpowiedniego dowiązania tego punktu do osnowy tak, aby ponownie mógł pełnić swoją rolę; wprowadzenie odpowiednich zapisów do dokumentacji i bazy danych, korygujących i uzupełniających dane dotyczące tego punktu.

Modernizacja obejmuje śledzenie światowych trendów odnośnie do roli podstawowych osnów, śledzenie rozwoju technologii i metod pomiarowych; śledzenie rozwoju, zmian i korekt, obowiązujących systemów i wzorców, które osnowy podstawowe powinny reprezentować; opracowywanie raportów dla władz nadrzędnych, zawierających informacje o zauważonych trendach i zmianach jakie są proponowane na generalnych zgromadzeniach międzynarodowych organizacji branżowych, takich jak IUGG, IAG, FIG, EGA i innych oraz zawierających informacje o zmianach jakie już zachodzą w przodujących cywilizacyjnie i gospodarczo krajach; opracowywanie dla władz odpowiednich propozycji i sugestii, zmierzających do podejmowania zabiegów modernizacyjnych ze wskazaniem stopnia ich konieczności, zakresu, kosztów i innych istotnych informacji oraz ze wstępnym projektem działań, podejmowanie, zgodnie z zaleceniami władz, działań mających na celu dotrzymanie kroku tendencjom światowym; udział w międzynarodowych przedsięwzięciach dotyczących zakładania osnów podstawowych (np. wysokościowych, geodynamicznych, stacji permanentnych itp.) oraz modernizacji i doskonalenia standardu podstawowych osnów kraju, które już funkcjonują.

Na utrzymanie składają się działania mające na celu osiągnięcie stałej aktualności parametrów osnów podstawowych, jako standardu i wzorca odniesienia dla wszelkich pomiarów wykonywanych w kraju i dla innych potrzeb, na przykład przy ekspansji światowych systemów na terytoria sąsiadujących z Polską krajów Europy Wschodniej. Wiąże się to z koniecznością podtrzymywania stałych kontaktów z zachodnimi partnerami zagranicznymi w celu zachowania nieprzerwanej integracji ze standardami światowymi oraz z partnerami wschodnimi w celu przygotowania działań przy ekspansji systemów i wzorców na wschód.

W zakresie wymienionych prac, które mają charakter ciągły IGiK może się poszczycić wieloletnim doświadczeniem.

Utworzenie nowoczesnej infrastruktury geodezyjnej, niezbędnej do sprawnego wykonywania zadań, narzuconych branży geodezyjnej przez dynamicznie rozwijającą się gospodarkę kraju stanowi złożone naukowe, techniczne i organizacyjne zagadnienie, w którego rozwiązaniu poważną rolę powinien odegrać IGiK jako inicjator i aktywny uczestnik. Kierunkiem wzmożonej aktywności IGiK w tej dziedzinie powinny być prace związane z zastosowaniem technik GPS i GLONASS. Przede wszystkim przewiduje się kontynuację i dalszy rozwój prac technologiczno-badawczych nad wykorzystaniem DGPS jako szybkiej i taniej metody wyznaczania pozycji, w szerokim zakresie zadań geodezyjno-nawigacyjnych (*pomiary szczegółowe, aktualizacja map wielkoskalowych, pomiary dla celów GIS, nawigacji lądowej i morskiej, identyfikacja i lokalizacja pojazdów*). Jednocześnie intensywnym badaniom powinna być poddana technika RTK polegająca na wyznaczaniu pozycji z obserwacji satelitarnych w czasie rzeczywistym. Subdecymetrowa dokładność określenia pozycji przy użyciu techniki RTK zapowiada dramatyczne zmiany w pomiarowo-obliczeniowym podejściu do rozwiązywania praktycznych zagadnień geodezyjnych w tym pomiarów sytuacyjno-wysokościowych i katastralnych. Przewiduje się, że nowoczesna infrastruktura geodezyjna będzie oparta o system stacji permanentnych zbierających obserwacje satelitarne i przekazujących je do ośrodków kontrolno-obliczeniowych a jednocześnie emitujących poprawki DGPS.

Konsekwentnie i szerszym niż dotychczas frontem powinny być kontynuowane w IGiK prace w zakresie badań geodynamicznych z uwagi na rosnące obok naukowego ich znaczenie dla praktyki geodezyjnej. Badania geodynamiczne powinny być prowadzone w IGiK w sposób regularny, kompleksowy, jednolity czyli z zunifikowanym systemem wzorców oraz czasowo i organizacyjnie zsynchronizowany. Badania te powinny iść w dwóch kierunkach. Jednym kierunkiem jest włączenie się do badań o charakterze globalnym, czyli uczestnictwo w międzynarodowych programach i projektach, których celem jest monitorowanie i interpretacja zmian położenia punktów globalnej sieci geodezyjnej, a tym samym monitorowanie ruchów kontynentów i płyt tektonicznych. Drugi kierunek utworzą badania o charakterze regionalnym i lokalnym, których celem jest monitorowanie stopnia stabilności

krajowych osnów geodezyjnych lub ich fragmentów znajdujących się w rejonach o potencjalnych możliwościach zaistnienia zjawisk neotektonicznych lub technogennych, powodujących zmianę położenia lub zmianę innych parametrów punktu. Z uwagi na potrzebę monitorowania i w miarę możliwości modelowania regionalnych geodynamicznych efektów krótkookresowych przewiduje się wykonywanie częstych pomiarów na wybranych punktach sieci geodynamicznej. Prowadzenie badań w tej dziedzinie wiąże się ze ścisłą współpracą ze specjalistami reprezentującymi inne dyscypliny nauk o Ziemi, w szczególności z geofizykami.

Zadaniem o szczególnym znaczeniu dla praktyki geodezyjnej jest doskonalenie regionalnego modelu geoidy. W rozwiązywaniu tego zadania z uwzględnieniem współczesnych wymogów stawianych rozdzielczości i dokładności modelu geoidy powinien aktywnie uczestniczyć zespół z IGiK. Nawiązanie pomiarów wykonanych za pomocą nowoczesnych technik satelitarnych do układów lokalnych wymaga znajomości odstępu geoidy od elipsoidy na punktach węzłowych transformacji. Techniki te umożliwiają również zastąpienie czasochłonnych i kosztownych pomiarów niwelacyjnych wyznaczeniami wysokości punktów jednocześnie z wyznaczeniem pozycji. Warunkiem otrzymania zadowalającej dokładności jest wprowadzenie do wyniku wielkości redukcyjnych, uwzględniających odstęp geoidy od elipsoidy. Do wyznaczenia tej redukcji potrzebny jest dokładny, centymetrowy lub nawet sub-centymetrowy model geoidy o odpowiedniej rozdzielczości. W celu opracowania takiego modelu należy w pierwszej kolejności podjąć działania zmierzające do zunifikowania istniejących danych grawimetrycznych czyli zweryfikowania ich pod kątem zgodności ze wzorcem grawimetrycznym (dotyczy to ponad 1 000 000 punktów, będących w gestii Służby Geologicznej). Należy również opracować numeryczny model terenu dla obszaru Polski o możliwie dużej rozdzielczości, zwłaszcza w terenach górzystych. Model ten zostanie wykorzystany do wprowadzenia poprawki topograficznej do obserwacji grawimetrycznych wykonanych na punktach położonych w górach na południu kraju (redukcję liczy się w promieniu 200 km od punktu). Konieczność rozszerzenia modelu terenu na obszary sąsiadujących od południa z Polską państw: Niemiec, Czech, Słowacji i Ukrainy będzie wymagała nawiązania bliskiej współpracy ze specjalistami z tych krajów. Celem współpracy będzie ustalenie parametrów tego modelu dla terenów górskich wzdłuż polskiej granicy, a także zawarcie porozumienia o wzajemnej wymianie danych dotyczących modelu. W wypadku niemożności uzyskania odpowiednich jakościowo danych terenowych należy rozważyć możliwość zastosowania do wyznaczania geoidy w górach metody gradientu pionowego, która do obliczania redukcji topograficznej nie wymaga danych wysokościowych o terenie z obszaru o tak dużym promieniu. Należy się wówczas liczyć z koniecznością pomiaru gradientu pionowego na punktach grawimetrycznych. Przy liczeniu redukcji topograficznej powinno się

uwzględniać zmienną gęstość skorupy ziemskiej zamiast stosować, jak do tej pory, ustaloną wartość gęstości średniej.

4. PODSUMOWANIE

Przewidywany program działalności IGiK w zakresie geodezji na najbliższe lata, odniesiony do współczesnych trendów i uwzględniający realia potrzeb i możliwości krajowych, ograniczony z konieczności w niniejszym opracowaniu do nakreślenia zasadniczych kierunków, jest programem ambitnym. Program ten ma duże szanse powodzenia wówczas, gdy stanie się on integralnym elementem programu ośrodków zainteresowanych jego realizacją. Pomyślna realizacja programu zależy zatem od spełnienia kilku niezbędnych warunków.

Szczególna rola w realizacji programu prac badawczo-rozwojowych w zakresie geodezji w IGiK przypisana jest Głównemu Urzędowi Geodezji i Kartografii. To GUGiK, jako instytucja odpowiedzialna za stan polskiej geodezji, będzie głównym odbiorcą informacji o aktualnej sytuacji geodezji w świecie i o istniejących tendencjach dotyczących jej zmian i rozwoju. W GUGiK zapadać będą decyzje, jak wykorzystać uzyskane informacje i jakie środki przeznaczyć na ich wdrożenie.

Bardzo ważną rolę będą także odgrywać poszczególne geodezyjne ośrodki badawcze, które w ramach swej działalności naukowej i dydaktycznej utrzymują kontakty z odpowiednimi ośrodkami zagranicznymi. Wydaje się jednak, że niezbędna będzie pewna koordynacja w zakresie formułowania inicjatyw działań wynikających ze zdobytych doświadczeń i informacji, kierowanych następnie w formie konkretnych opracowań do GUGiK. W interesie kraju a co za tym idzie w interesie GUGiK leży aby informacja ta być odpowiednio przygotowana. Autorzy widzą tu rolę Komitetu Geodezji PAN a ściślej, jego Sekcji Problemowych. Komitet Geodezji PAN, jako organ skupiający reprezentację całego geodezyjnego środowiska naukowego w Polsce, jest najbardziej kompetentny do pełnienia roli takiego koordynatora. W uzasadnieniu można przytoczyć kilka przykładów z poprzednich lat, kiedy to Komitet Geodezji w takiej roli wystąpił. Dotyczą one raportu o potrzebie włączenia podstawowej osnowy geodezyjnej kraju do systemu europejskiego EUREF, raportu o potrzebie i kierunkach modernizacji podstawowej osnowy grawimetrycznej kraju, raportu o potrzebie modernizacji podstawowej osnowy magnetycznej kraju i innych inicjatyw.

Osobnym ważnym problemem, zdaniem autorów, jest konieczność kontynuowania i rozszerzenia współpracy z zagranicą. Z jednej strony niezbędne jest utrzymanie kontaktów a w miarę możliwości bliskiej współpracy z przodującymi ośrodkami geodezyjnymi na świecie. Kontakty takie umożliwiają dopływ do instytucji krajowych współczesnej myśli naukowo-technicznej oraz informacji niezbędnych do dotrzymywania kroku światowym tendencjom rozwojowym. Umożliwiają one także przedstawicielom ośrodków krajowych

udział w ambitnych projektach międzynarodowych. Wiąże się to z ekspansją polskiej myśli geodezyjnej poza granice kraju. Głównym potencjalnym jej odbiorcą są obecnie kraje byłego bloku wschodniego, graniczące z Polską – Litwa, Białoruś, Ukraina a także Słowacja i Czechy. Z większością tych krajów zostały już zawarte międzyrządowe umowy o współpracy naukowej i technicznej. Uzyskanie środków na realizację umów zależy jedynie od atrakcyjności sformułowania tematyki badawczej przy pozostawieniu szerokiego wachlarza inicjatywy krajowym ośrodkom naukowym.

Dla pomyślnej realizacji programu działalności w zakresie geodezji w IGiK niezbędne będzie także zintensyfikowanie współpracy z krajowymi ośrodkami naukowymi. Bezkrzytyczne i powszechne kierowanie się zasadami wolnego rynku przemawiałoby za podejmowaniem przez poszczególne ośrodki przedsięwzięć oddzielnie i oddzielnym rozliczaniem się z efektów. Zarówno jednak doświadczenie jak i względy ekonomiczne świadczą o tym, że znacznie lepsze efekty i korzyści uzyskuje się działając w lojalnej współpracy. Najlepszą, według zdania autorów, formą takiej współpracy byłoby tworzenie zespołów tematycznych w skład których wchodziłoby specjaliści z kilku ośrodków. Zapewniałoby to koordynację działań, optymalne wykorzystanie potencjału intelektualnego i aparaturowego oraz, co również ważne, wzajemną weryfikację posunięć na każdym etapie realizacji projektu. Wdrożenie w nowych warunkach tej nie nowej skądinąd koncepcji autorzy uważają za godną ze wszech miar poparcia.

LITERATURA:

- [1] Adam J.: *Spaceborne VLBI beyond 2000, Quo vadis geodesia ...?* – *Festschrift for Erik W. Grafarend* (Eds. Friedhalm Krumm and Volker Schwarze), Technical Reports Department of Geodesy and Geoinformatics, Report Nr. 1999.6-1, Universität Stuttgart. 1999.
- [2] Groten E.: *Earth Rotation as a Geodesic Flow, a Challenge Beyond 2000, Quo vadis geodesia ...?* – *Festschrift for Erik W. Grafarend* (Eds. Friedhalm Krumm and Volker Schwarze), Technical Reports Department of Geodesy and Geoinformatics, Report Nr. 1999.6-1, Universität Stuttgart. 1999.
- [3] Kakkuri J.: *The Challenge of the Crustal Gravity Field, Quo vadis geodesia ...?* – *Festschrift for Erik W. Grafarend* (Eds. Friedhalm Krumm and Volker Schwarze), Technical Reports Department of Geodesy and Geoinformatics, Report Nr. 1999.6-1, Universität Stuttgart. 1999.
- [4] Kryński J.: *Wzrost roli interpretacji geofizycznej w badaniach geodezyjnych*, referat na Seminarium Sekcji Sieci Geodezyjnych Komitetu Geodezji PAN, 26 listopada 1999.
- [5] Moritz H.: *The Strange Behaviour of Asymptotic Series in Mathematics, Celestial Mechanics and Physical Geodesy, Quo vadis geodesia ...?* –

- Festschrift for Erik W. Grafarend (Eds. Friedhalm Krumm and Volker Schwarze), Technical Reports Department of Geodesy and Geoinformatics, Report Nr. 1999.6-1, Universität Stuttgart. 1999.*
- [6] Reilly W.I.: *Strain in the Earth – a Geodetic Perspective, Quo vadis geodesia ...? – Festschrift for Erik W. Grafarend (Eds. Friedhalm Krumm and Volker Schwarze), Technical Reports Department of Geodesy and Geoinformatics, Report Nr. 1999.6-1, Universität Stuttgart. 1999.*
- [7] Remondi B.W.: *Performing Centimeter-Level Surveys in Seconds with GPS Carrier Phase: Initial Results*, NOAA Technical Memorandum NOS NGS-43, Rockville, MD 20852. 1985.
- [8] Rizos C., Han S., Chen H.Y., Chai G.P.: *Continuously Operating GPS Reference Station Networks: New Algorithms and Applications of Carrier Phase-Based, Medium Range, Static and Kinematic Positioning, Quo vadis geodesia ...? – Festschrift for Erik W. Grafarend (Eds. Friedhalm Krumm and Volker Schwarze), Technical Reports Department of Geodesy and Geoinformatics, Report Nr. 1999.6-1, Universität Stuttgart. 1999.*
- [9] Rummel R.: *Global Integrated Geodetic and Geodynamic Observing System*, Paper presented at the XXII IUGG General Assembly, 19-30 July, 1999, Birminham, UK. 1999.
- [10] Schwarz K. P.: *An Analysis of the Current IAG Structure and Some Thoughts on an IAG Focus, Geodesy Beyond 2000 – The Challenges of the First Decade (Schwarz K.P. – editor), IAG Symposia Vol. 121, XXII IUGG General Assembly, 19-30 July, 1999, Birminham, UK, Springer. 1999.*
- [11] Sjöberg L.E.: *Triple Frequency GPS for Precise Positioning, Quo vadis geodesia ...? – Festschrift for Erik W. Grafarend (Eds. Friedhalm Krumm and Volker Schwarze), Technical Reports Department of Geodesy and Geoinformatics, Report Nr. 1999.6-1, Universität Stuttgart. 1999.*
- [12] Vandenberg N.: *Continuous High Accuracy Earth Orientation Measurements for the New Millenium, Geodesy Beyond 2000 – The Challenges of the First Decade (Schwarz K.P. – editor), IAG Symposia Vol. 121, XXII IUGG General Assembly, 19-30 July, 1999, Birminham, UK, Springer. 1999.*
- [13] Varga P.: *Geophysical Geodesy Beyond 2000, Quo vadis geodesia ...? – Festschrift for Erik W. Grafarend (Eds. Friedhalm Krumm and Volker Schwarze), Technical Reports Department of Geodesy and Geoinformatics, Report Nr. 1999.6-1, Universität Stuttgart. 1999.*