

Wykorzystanie GPS, geoidy i klasycznej niwelacji

# Nowy układ wysokościowy

ADAM ŁYSZKOWICZ

W literaturze geodezyjnej oddziaływanie stałego pływów na deformacje skorupy ziemskiej, deformacje geoidy oraz na wyniki niwelacji geometrycznej jest tematem zazwyczaj pomijanym. Tymczasem, wraz ze wzrostem dokładności pomiarów geodezyjnych i koniecznością łączenia wyników GPS z geoidą i niwelacją geometryczną, zagadnienie to powinno być w pomiarach uwzględniane, i to w jednolity sposób. Pierwsze polskie opracowanie na ten temat ukazało się w 1992 roku (Barlik, 1992).

W niniejszej pracy przypomniano podstawowe wiadomości o pływach. Przedstawiono, w jaki sposób stały pływ jest uwzględniany w polskiej sieci niwelacji precyzyjnej, sieciach GPS (EUREF, POLREF) oraz w grawimetrycznej geoidzie „GEOIDA 97”. Następnie zaprezentowano koncepcję nowego układu wysokościowego opartego na mareografii w Amsterdamie, w którym to układzie stały pływ wywołany przyciąganiem Księżyca i Słońca jest uwzględniany w taki sposób, że skorupa ziemska jest odniesiona do „średniej skorupy”, a geoida jest „średnią geoidą”.

Przez układ wysokości rozumiemy układ, w którym określono wysokość poziomu powierzchni odniesienia oraz system wysokości (wysokości geopotencjalne, ortometryczne, normalne lub dynamiczne). W Europie do niedawna istniały dwa kontynentalne układy wysokościowe: United European Levelling Network (UELN) w Europie Zachodniej i United Precise Levelling Network (UPLN) w Europie Wschodniej. W sieci UELN poziom powierzchni odniesienia zdefiniowano poprzez mareograf w Amsterdamie, a za system wysokości przyjęto wysokości geopotencjalne. W sieci UPLN poziom powierzchni odniesienia zdefiniowano poprzez mareograf w Kronsztadzie, a za system wysokości przyjęto wysokości normalne. Obecnie CERCO domaga się od Europejskiej Podkomisji Sieci Kontynentalnych (EUREF) utworzenia nowego kontynentalnego układu wysokościowego dla Europy. Grupa Robocza Podkomisji EUREF zdecydowała, że nowy układ będzie tworzony stopniowo. W pierwszym kroku zrealizowano tak zwane szybkie rozwiązanie, czyli UELN-95 (rys. 1) definiujące układ na poziomie 0,1 m, polegające na włączeniu do sieci UELN (wer-



Rys. 1. Stan obecny sieci UELN-95 – izoliny (wkGal mm; 1kGal mm = ok. 1 mm) ilustrują precyzję sieci

sja 73/86) danych niwelacyjnych z Europy Wschodniej. Wyniki wyrównania tak powstałej sieci przedstawiono w pracy Langa i Sachera, 1996. W drugim etapie planuje się utworzenie europejskiego układu wysokościowego z możliwie jak największą (centymetrową) dokładnością (Augath, 1996).

Obecnie w Polsce istnieją dwa układy wysokościowe. Pierwszy z nich bazuje na klasycznych pomiarach niwelacyjnych i danych grawimetrycznych. Wyniki wyrównania ostatniej kampanii niwelacyjnej dały początek obowiązującemu obecnie w Polsce układowi wysokościowemu o nazwie Kronsztad 86. Drugi istniejący w Polsce układ wysokościowy bazuje na wynikach pomiarów satelitarnych. W sieciach EUREF-POL'92 i POLREF wysokości punktów wyznaczone techniką GPS są wysokościami elipsoidalnymi i odnoszą się do elipsoidy GRS80. Zrealizowana w czerwcu br. kampania European Vertical Reference Frame (EUVN) również dostarczyła (w Europie i Polsce) wysokości elipsoidalnych.

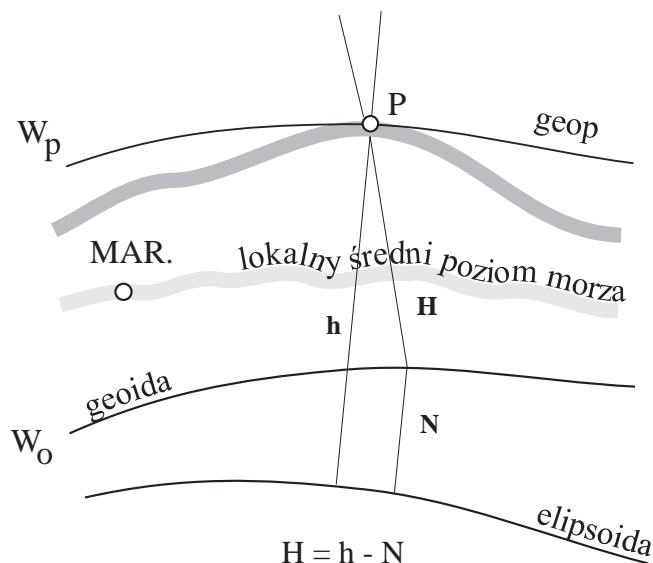
### Układy wysokościowe - wiadomości podstawowe

W precyzyjnych pomiarach geodezyjnych wysokość jest definiowana względem pewnej powierzchni odniesienia. Zazwyczaj powierzchnia odniesienia jest praktycznie realizowana poprzez średni poziom morza wybranej stacji mareograficznej. Powierzchnia ta jest powierzchnią ekwipotencjalną i zwana jest geoidą. Geoida zazwyczaj jest definiowana jako ta powierzchnia ekwipotencjalna, która najlepiej (w rozumieniu metody najmniejszych kwadratów) przylega do średniej powierzchni mórz i oceanów. Wysokością dowolnego punktu jest różnica potencjału pomiędzy geoidą a powierzchnią ekwipotencjalną (geop) przechodzącą przez punkt (rys. 2). Wielkość ta jest zwana liczbą geopotencjalną  $C_p$ :

$$C_p = W_o - W_p \quad (1)$$

i jest wyznaczana z opracowania wyników niwelacji precyzyjnej i danych grawimetrycznych.

Geoida jako powierzchnia ekwipotencjalna idealnie nadaje się do zdefiniowania powierzchni odniesienia układu wysokościowego. W przeszłości praktyczna realizacja geoidy z dokładnością rzędu 10 cm nie była możliwa, dlatego też w Polsce powierzchnia ekwipotencjalna została zrealizowana poprzez zero łaty mareografu w Kronsztadzie. Zmiany średniego poziomu morza w Kronsztadzie na podstawie liniowego modelu za lata 1841-1990 szacuje się na 0,05-0,01 mm/rok (Bogdanow i Tymbatorov, 1995). Tak więc obecnie średni poziom morza jest około 4 cm powyżej zera kronsztadzkiego mareografu.



Rys. 2. Lokalny średni poziom morza, geoida, powierzchnia ekwipotencjalna w punkcie P (geop) i lokalizacja mareografu (MAR)

Budowa tamy mającej chronić Sankt Petersburg przed powodzią spowodowała, że mareograf w Kronsztadzie znalazł się obecnie w zamkniętym basenie portowym i znaczenie jego jako mareografu definiującego poziom zerowy układu należy do przeszłości. Obecnie rolę tę spełnia mareograf w pobliżu Szeplewie związane z dawnym urządzeniem precyzyjnymi pomiarami.

Drugim układem wysokościowym jest elipsoidalny układ wysokości realizowany przez takie techniki, jak laserowe pomiary satelitarne czy GPS. Wynikiem tych pomiarów są kartezjańskie współrzędne stacji w „prawie” geocentrycznym układzie współrzędnych. Współrzędne te z łatwością są transformowane na wysokość elipsoidalną stacji ( $h$ ) względem przyjętej elipsoidy odniesienia. Znając odstęp ( $N$ ) geoidy od elipsoidy (z danych grawimetrycznych) wysokość ortometryczną ( $H$ ) można obliczyć (z dokładnością ułamków milimetrów) z zależności:

$$H = h - N \quad (2)$$

Zależność ta „zapomina” o istnieniu oddziaływania Słońca i Księżycy (stały pływ) na geoidę (potencjał siły ciężkości), pomiary niwelacyjne i na fizyczną powierzchnię Ziemi. W celu prawidłowego uwzględniania pływu stałego w pomiarach geodezyjnych konieczne jest przedstawienie podstawowych pojęć z teorii pływów.

### Podstawowe wiadomości z teorii pływów

Pływy generowane przez Księżyc i Słońce deformują figurę Ziemi. Deformacje te mogą być podzielone na okresowe i stałe w czasie. Większość poglądów w niniejszej pracy jest bezpośrednio zaczerpnięta z takich prac, jak np. Ekman, 1989, dotyczących oddziaływania pływów na pomiary grawimetryczne i niwelacyjne.

*Niepływowa geoida* jest to powierzchnia ekwipotencjalna pola siły ciężkości, z której wyeliminowano deformacje pływowe stałe i zmienne w czasie. Przez *średnią geoidę* rozumiemy powierzchnię ekwipotencjalną, w której pozostawiono deformacje wywołane pływem stałym. Z *erowa geoida* odnosi się do powierzchni, z której wyeliminowano wpływ potencjału pływowego stałego generowanego przez Słońce i Księżyc, a pozostawiono deformacje skorupy wywołane pływem stałym. Przez analogię możemy powiedzieć, że *niepływowa skorupa ziemiska* to taka skorupa, z której wyeliminowano deformacje pływowe stałe i zmienne w czasie, podczas gdy w zerowej skorupie te deformacje pozostawiono. W przypadku skorupy ziemskiej nie ma analogii z średnią geoidą, gdyż średnia skorupa jest identyczna z zerową skorupą.

Potencjał pływowy punktu P na powierzchni Ziemi jest funkcją kąta zenitalnego ( $z$ ) danego ciała niebieskiego i w sposób całkowicie wystarczający do naszych rozważań może być zapisany za pomocą wzoru:

$$W(P) = \frac{GMr^2}{d^3} \frac{1}{2} (3\cos^2 z - 1) + \dots \quad (3)$$

gdzie  $G$  jest stałą grawitacji,  $M$  – masą ciała niebieskiego (Słońca lub Księżyc),  $r$  – geocentryczną odległością punktu P, a  $d$  – geocentryczną odległością do Słońca lub Księżyc. Zaniedbując w równaniu (3) wyrazy wyższego rzędu popełniamy niewielki błąd w granicach 0,03%.

Z kursu astronomii sferycznej wiemy, że kąt zenitalny może być wyrażony jako funkcja deklinacji i kąta godzinowego ciała niebieskiego oraz szerokości punktu P na powierzchni Ziemi. Uwzględniając to otrzymamy znany pływowy wzór Laplace'a:

$$W_2(A) = D(S + T + Z) \quad (4)$$

gdzie

$$D = \frac{3}{4} GM \frac{r^2}{d^3} \quad (5)$$

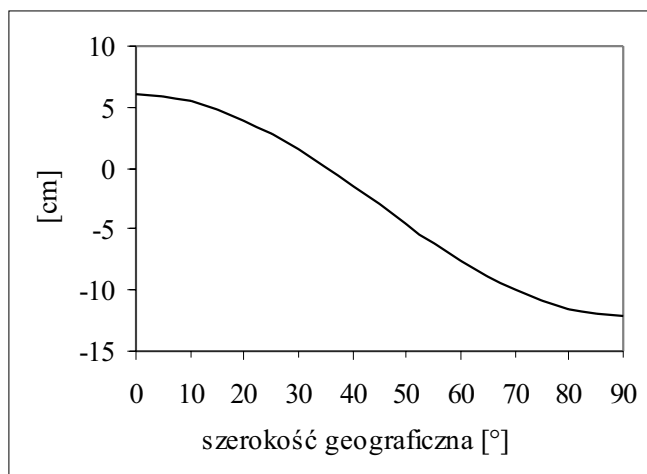
jest stałą pływową Doodsona<sup>1</sup>.

W równaniu (4) wyrazy  $S$ ,  $T$  i  $Z$  są znanymi – sektorowymi, tesselarnymi i strefowymi – harmonikami. Zarówno  $S$ , jak i  $T$  są funkcjami kąta godzinowego, a więc zmieniają się szybko w czasie.  $S$  wyjaśnia zjawisko istnienia pływów o okresie półdobowym, którego maksimum wypada na równiku i zanika na biegunach.  $T$  jest odpowiedzialne za istnienie pływów dobowych, które mają swe maksimum na szerokości  $\pm 45^\circ$ , a wartość zero na biegunach i równiku. Wyraz  $Z$  jest funkcją deklinacji ciała niebieskiego i jest odpowiedzialny za pływy długookresowe. W przypadku Księżyca za pływ o okresie około 14 dni, a w przypadku Słońca za pływ o okresie około sześciu miesięcy. Na szerokościach  $\pm 35,27^\circ$  wyraz ten przyjmuje wartość równą zero, a na biegunach wartość tego pływu jest maksymalna.

Uśredniona wartość pływów  $S$  i  $T$  jest równa zero. W przeciwieństwie do wyrazów  $S$  i  $T$  wyraz zonalny  $Z$  nie jest równy zero. Jeśli wyrazimy deklinację w funkcji szerokości ekliptycznej  $\varepsilon$  i długości ekliptycznej  $l$ , otrzymamy (przyjmując w pierwszym przybliżeniu  $\varepsilon$  jako wielkość stałą):

$$\bar{W}_2 = D \left( \frac{1}{2} \sin^2 \varepsilon - \frac{1}{3} \right) (3 \sin^2 \varphi - 1) \quad (6)$$

Pływ ten jest zwany *stałym pływem* i został odkryty przez G.H. Darwina w 1899 roku. Pływ ten jest tylko funkcją szerokości geograficznej miejsca obserwacji (rys. 3).



Rys. 3. Deformacje skorupy ziemskiej spowodowane pływem stałym (McCarthy, 1992)

## Pływowe deformacje skorupy ziemskiej

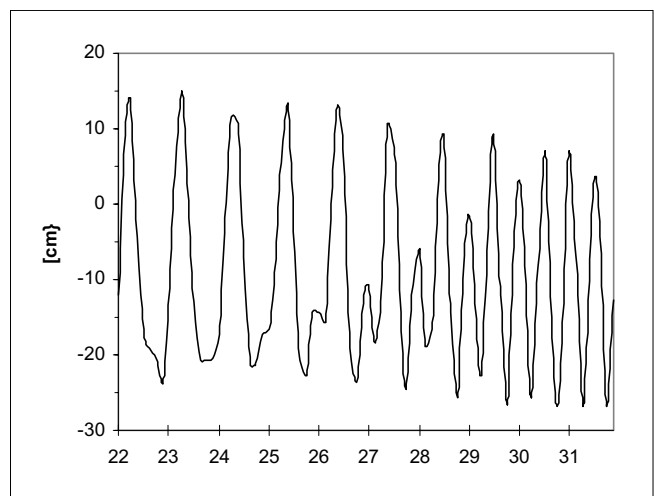
Z równania (5) wynika, że potencjał pływowy jest potencjałem zmiennym w czasie, co powoduje, że skorupa ziemska odkształca się cyklicznie. Na rys. 4 pokazano pionowe oscylacje skorupy ziemskiej w ciągu 10 dni w Krakowie, które maksymalnie dochodzą do 25 cm.

Ziemia reaguje na zmieniające się w czasie siły pływowe jak ciało elastyczne, natomiast w przypadku pływu stałego Ziemia przyjmuje hydrostatyczną równowagę.

Radialne deformacje Ziemi mogą być opisane za pomocą liczby Lovego  $\kappa_1$ , która w przypadku Ziemi sztywnej wynosi  $\kappa_1 = 0$ . W przypadku rzeczywistej Ziemi wartość liczby Lovego zależy od czasu oddziaływania siły pływowej. W pierwszym przybliżeniu identyczna wartość liczby Lovego zostanie użyta dla wszystkich oscylacji występujących w pływowym widmie. Przy takim założeniu radialne deformacje skorupy ziemskiej są następujące:

$$\Delta r = \frac{\kappa_1 W_2}{g} \quad (7)$$

Przez analogię poziome deformacje skorupy ziemskiej są opisane za pomocą liczby Shida  $\lambda$ . W przypadku płynnej Ziemi  $\lambda = 0,23$ , w przypadku sztywnej Ziemi  $\lambda = 0$ , natomiast w przypadku Ziemi rzeczywistej  $\lambda$  zawiera się w zakresie 0-0,08.



Rys. 4. Pionowe deformacje skorupy ziemskiej w Krakowie (od 22 września 1997 roku do 1 października 1997)

Pozioma deformacja w kierunku północnym opisana jest równaniem:

$$\Delta s_\varphi = \frac{\ell}{g} \frac{\partial W_2}{\partial \varphi} \quad (8)$$

a deformacja w kierunku wschodnim równaniem:

$$\Delta s_\lambda = \frac{\ell}{g \cos \varphi} \frac{\partial W_2}{\partial \lambda} \quad (9)$$

Z równań (8) i (9) można dla danego miejsca wyznaczyć wektor poziomej deformacji skorupy ziemskiej.

## Pływowe deformacje powierzchni ekwipotencjalnych

Deformacje pływowe skorupy ziemskiej zmieniają potencjał siły ciężkości Ziemi o wielkość  $W' = \kappa_2 W_2$  gdzie  $\kappa_2$  jest drugą liczbą Lovego. Tak więc deformacja geoidy w kierunku pionowym spowodowana zmianą potencjału wyniesie:

$$\Delta N_1 = \kappa_2 \frac{W_2}{g} \quad (10)$$

jeśli brany jest pod uwagę tylko potencjał samej Ziemi. Natomiast jeśli dodatkowo włączony jest potencjał sił pływowych, wówczas deformacja geoidy wyniesie:

$$\Delta N_2 = (1 + \kappa_2) \frac{W_2}{g} \quad (11)$$

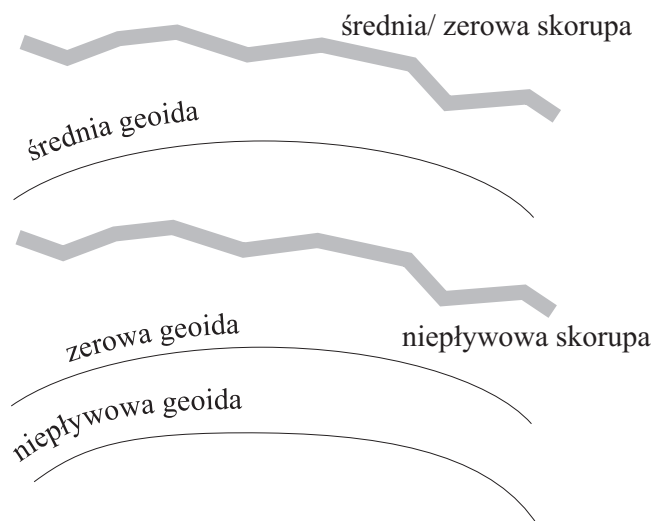
Uśredniając równanie (10) otrzymujemy zerową geoidę, natomiast z uśrednienia równania (11) otrzymujemy średnią geoidę. Usuwanie wszelkie deformacje otrzymujemy niepływową geoidę (rys. 5).

### Układy wysokościowe i grawimetryczne w Polsce

Do chwili obecnej przeprowadzono w Polsce trzy kampanie niwelacji precyzyjnej (Wyrzykowski, 1988a; Wyrzykowski, 1988b):

- w latach 1926-1937,
- w latach 1947-1958,
- w latach 1974-1982.

Wynikiem tych kampanii było utworzenie trzech układów wysokości, nazwanych w niniejszej pracy układem 1939, Kronsztad 1960 i Kronsztad 1982. Powierzchnie odniesienia wymienionych układów były różnie definiowane. Wyniki pierwszej i drugiej kampanii niwelacji precyzyjnej nie były poprawione o pływy, natomiast z wyników trzeciej cały efekt pływowy został usunięty. Oznacza to, że powierzchnią odniesienia w układzie 1939 i Kronsztad 1960 jest średnia geoida, natomiast w układzie Kronsztad 1982 powierzchnią odniesienia jest niepływowa geoida.



Rys. 5. Wpływ potencjału pływu stałego na deformacje skorupy ziemskiej i geoidy

## Średni poziom Morza Bałtyckiego

Niczym nie zakłócony poziom morza powinien pokrywać się z geoidą. W rzeczywistości o średnim poziomie morza decydują czynniki oceanograficzne i meteorologiczne, które powodują jego deformacje zwane topografią morza (*sea surface topography, SST*).

SST może być wyznaczona za pomocą niwelacji precyzyjnej lub z pomiarów GPS. W celu poprawnego wyznaczenia SST należy wysokości średniego poziomu morza odnieść do średniej geoidy. Ponieważ ostatni układ wysokościowy w Polsce jest odniesiony do niepływowej geoidy, dlatego też w celu badania SST Morza Bałtyckiego wysokości tego układu powinny być przetransformowane do średniej geoidy jako powierzchni odniesienia.

W Polsce stacje mareograficzne są rozmieszczone prawie wzdłuż tego samego równoleżnika, dlatego też poprawki między niepływową a średnią geoidą są niewielkie i nie przekraczają dwóch milimetrów. Ponieważ wartości SST wzdłuż południowego wybrzeża Bałtyku są rzędu kilku cm (4-5), dlatego zaniechanie poprawek do średniej geoidy nie jest dopuszczalne.

## Geodynamiczne ruchy pionowe skorupy ziemskiej w Polsce

Badanie ruchów pionowych ma długą tradycję w Polsce. Pierwsza geodezyjna mapa ruchów pionowych została opublikowana przez Wyrzykowskiego w 1971 roku. Ostatnia mapa ruchów pionowych (Wyrzykowski, 1987) bazująca na danych niwelacyjnych z drugiej i trzeciej kampanii niwelacji precyzyjnej przedstawiona jest na rysunku 6 (na str. 40).

Ostatnie opracowanie ruchów pionowych skorupy ziemskiej obejmuje izolinie w granicach od -3,5 do 0,5 mm/rok. Uwzględnienie zmian eustatycznych (ocenianych na 1-1,5 mm/rok) daje wartości ruchów pionowych w granicach od -2 do +2 mm/rok.

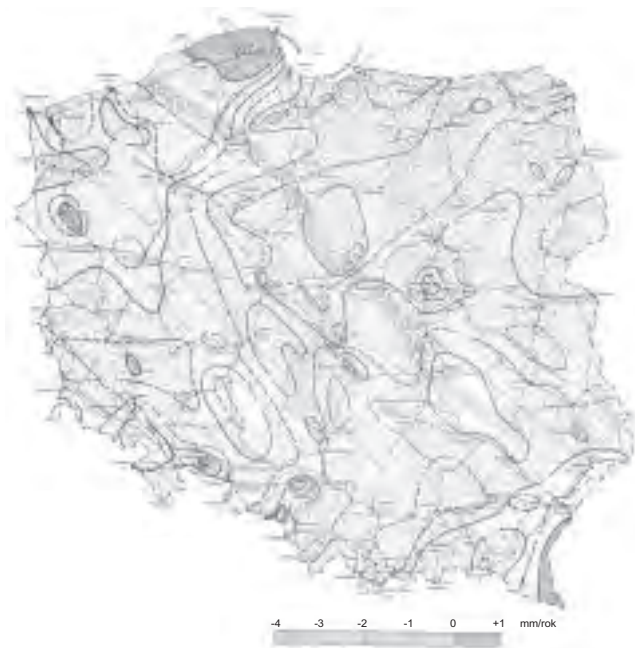
Jak wiadomo, w układach wysokościowych Kronsztad 1960 i 1982 powierzchnie odniesienia są zdefiniowane w odmienny sposób<sup>2</sup>. Dlatego też do wyznaczonych przez Wyrzykowskiego ruchów pionowych należałoby dodać poprawki, aby w efekcie uzyskać bardziej prawdopodobne wartości ruchów pionowych.

## Grawimetryczna geoida w Polsce

W celu wyznaczenia ortometrycznych lub normalnych wysokości z pomiarów GPS dodatkowo konieczna jest znajomość odstępów geoidy od elipsoidy z możliwie jak najwyższą dokładnością. W Polsce pierwsza grawimetryczna geoida została obliczona w 1993 roku (Łyszkowicz, 1993). Obecny model geoidy o nazwie GEOIDA 97 (Łyszkowicz, 1997) jest niepływową geoidą, gdyż bazuje na globalnym modelu EGM96.

## Sieci GPS w Polsce

Rezultatem ostatnich kampanii GPS w Polsce są wysokości elipsoidalne liczone od elipsoidy GRS80 do niepływowej skorupy. Wynika to z faktu, że we wszystkich obecnie używanych geodezyjnych programach GPS deformacje wywołane stałym pływem są eliminowane. Również układ ITRF, z definicji, pozbawia się deformacji wywołanych pływem



Rys. 6. Geodynamiczne ruchy pionowe skorupy ziemskiej na obszarze Polski

stałym. Na przykład w programie Bernese równanie 6 z pracy McCarthy (1992) jest zastosowane w celu usunięcia efektów wywołanych stałym pływem (procedura TIDALD).

### Propozycja ujednoczenia istniejących układów wysokościowych w Polsce

Niezmienna w czasie część pływu luno-solarnego powinna być w jednolity sposób uwzględniana w pomiarach niwelacyjnych, GPS, jak i przy liczeniu geoidy. Programy GPS dostarczają współrzędnych zredukowanych do niepływowej skorupy. Sieci niwelacyjne odnoszą się do różnych geoid jako powierzchni odniesienia. W przypadku gdy jest możliwość wykorzystania średniego poziomu morza jako powierzchni odniesienia, należy używać średniej geoidy i średniej skorupy zamiast niepływowej skorupy/geoidy. Różnice między poszczególnymi skorupami/geoidami dochodzą na obszarze Polski do 10 cm (rys. 7). Posługując się wzorami podanymi przez Ekmana (1989) można w łatwy sposób przeliczyć wszystkie wielkości na ich średnie wartości:

$$\begin{aligned}\Delta H_m - \Delta H_n &= 0.296\gamma (\sin^2 \varphi_N - \sin^2 \varphi_S) \\ N_m - N_n &= (1+k)(0.099 - 0.296 \sin^2 \varphi) \quad (12) \\ \Delta h_m - \Delta h_n &= -0.296h (\sin^2 \varphi_N - \sin^2 \varphi_S)\end{aligned}$$

Pierwszy wzór jest stosowany do przeliczenia różnic wysokości niepływowej skorupy odniesionej do niepływowej geoidy na różnicę wysokości średniej skorupy odniesionej do średniej geoidy. Drugi wzór umożliwia przeliczenie niepływowych odstępów geoidy od elipsoidy na ich średnie wielkości. Ostatni wzór umożliwia przeliczenie różnic wysoko-

ści niepływowej skorupy na różnice wysokości średniej skorupy i jest używany do przeliczeń wysokości elipsoidalnych uzyskiwanych z pomiarów GPS. W każdym przypadku oryginalne liczby Lovego brane w obliczeniach wielkości niepływowych muszą być ponownie zastosowane bez względu na to, jak znacznie odbiegają od wartości realnych.

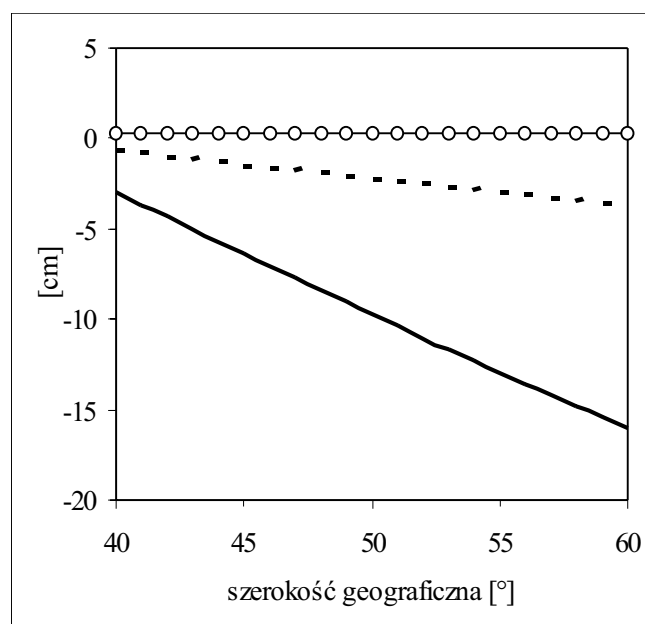
Przedstawione w niniejszej pracy rozważania dotyczące zdefiniowania układu wysokości tak, aby było możliwe łączenie danych GPS, niwelacji precyzyjnej i grawimetrycznej geoidy, prowadzi do następujących postulatów:

- mareografem wyjściowym powinien być mareograf w Amsterdamie (Normal Amsterdams Peil, NAP),
- za system wysokości należy przyjąć normalny system wysokości (rezolucja nr 2 podkomisji EUREF, Ankarą 1996),
- pływ stały wywołany oddziaływaniem Słońca i Księżyca powinien być uwzględniony w taki sposób, aby skorupa ziemską była zdefiniowana jako średnia skorupa, zaś geoida jako powierzchnia odniesienia układu wysokościowego oraz geoida grawimetryczna powinny być średnimi geoidami,
- wysokości normalne powinny być zredukowane z powodu ruchów geodynamicznych, np. do epoki 2000.

### Praktyczna realizacja nowego układu i jego powiązanie z układem Kronsztad 82

W celu ścisłego powiązania starego układu wysokości Kronsztad 82 z nowym układem należy:

- wysokości niwelacyjne (H) zredukować do średniej geoidy oraz wprowadzić poprawki ze względu na geodynamiczne ruchy pionowe (Wyrzykowski, 1987) i ze względu na eustatyczną zmianę poziomu morza (około 1 mm/rok),
- wielkości (h) uzyskane z pomiarów GPS w pierwszej kolejności zredukować z niepływowej skorupy do średniej



Rys. 7. Różnice między poszczególnymi geoidami i skorupami ziemskimi na szerokości od 40 do 60 stopni. Średnia geoida - niepływowa geoida (linia ciągła), zerowa geoida - niepływowa geoida (linia przerywana), zerowa skorupa - niepływowa skorupa (linia kropkowana)

skorupy ziemskiej. Następnie należy wprowadzić poprawki ze względu na geodynamiczne ruchy pionowe z epoki pomiaru sieci EUREF-POL'92 i POLREF na epokę 2000, ■ geoidę/quasigeoidę przeliczyć z niepływowej geoidy na średnią geoidę.

## Wnioski

Potrzeba stworzenia w najbliższej przyszłości jednolitego regionalnego układu wysokości jest pilna z powodu coraz wyższych dokładności uzyskiwanych techniką GPS. Technika ta, w przeciwieństwie do klasycznych pomiarów geodezyjnych, złożonością przekracza granice krajów. Jestem w pełni świadomy, że niniejsza praca nie wyczerpuje wszystkich problemów związanych z utworzeniem nowego systemu wysokości, jak również nie daje dokładnych algorytmów utworzenia tego systemu. Jej celem jest zwrócenie uwagi na złożoność problemu związanego z definicją układu wysokości. Proponowany układ jest pierwszym krokiem w kierunku włączenia Polski do nowo powstającego regionalnego układu wysokości w Europie. Na ostateczną wersję nowego europejskiego układu prawdopodobnie będziemy musieli jeszcze długo poczekać. Zapewne ostateczna decyzja dotycząca nowego europejskiego układu wysokości będzie miała charakter nie tylko naukowy, ale i polityczny.

Referat ten został przygotowany w ramach prac związanych z realizacją grantu zamawianego „Założenia naukowe i metodyczne modernizacji krajowego układu wysokościowego” nr PBZ-08-07 finansowanego przez KBN.

<sup>1</sup>  $2,63 \times 10^5$  [m x mGal] dla Księżyca i  $1,21 \times 10^5$  [m x mGal] dla Słońca.

<sup>2</sup> W pierwszym przypadku powierzchnią odniesienia jest średnia geoida, natomiast w drugim przypadku – niepływowa geoida.

**Dr Adam Łyszkowicz** w 1967 r. kończy studia na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej (specjalność pomiaru podstawowe). Podejmuje pracę w Instytucie Geodezji i Kartografii, a następnie na Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie, gdzie doktoruje się w 1975, a następnie habilituje w 1994. W przerwach pracuje w Przedsiębiorstwie Eksportu GEOKART, a także jako wykładowca w University of Zambia w Zambii oraz University of West Indies w Trynidadzie. W 1986 r. podejmuje pracę w Centrum Badań Kosmicznych, gdzie pracuje do dziś. W 1995 r.

zostaje laureatem pierwszej po wojnie nagrody naukowej im. Mikołaja Kopernika w dziedzinie geodezji. Wśród swoich doświadczeń naukowych wymienia badanie przebiegu geoidy na obszarze Polski, zakładanie sieci geodezyjnych metodami satelitarnymi (GPS) i modernizację podstawowej sieci wysokościowej w Polsce.

## Literatura

**Augath W.**, 1996, *UEN2000: Possibilities, Strategy, Concepts – How should we realise a European Vertical System?*, Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Astronomisch-Geodätisch Arbeiten, Heft Nr 57, München, str. 170-174

**Barlik M.**, 1992, *Wpływ deformacji pływowych na niwelację satelitarną metodą GPS*, Przegląd Geodezyjny nr 2, str. 8-11

**Bogdanov V., Taybatorov K.**, 1995, *Some results of the Russian research in the frame of the International Baltic Sea Level Project*, Reports of the Finnish Geodetic Institute, 95:5, str. 31-41

**Ekman M.**, 1989, *Impacts of Geodynamic Phenomena on Systems for Height and Gravity*, Bull. Geod. v. 63, str. 282-296

**Lang H., Sacher M.**, 1996, *Status and Results of the Adjustment and Enlargement of the United European Levelling Network 1995 (UEN-95)*, Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Astronomisch-Geodätisch Arbeiten, Heft Nr 57, München, str. 163-169

**Łyszkowicz A.**, 1993, *The Geoid for the Area of Poland Artificial Satellites*, vol. 28, No 2, Planetary Geodesy, No 19

**Łyszkowicz A.**, 1997, *A new generation of gravimetric geoid of Poland to support GPS geodetic applications*, Referat prezentowany na sesji G2 „Determination of the high-resolution gravity field” EGS XXII General Assembly, Wiedeń, 21-25 kwietnia

**McCarty DD (Ed.)**, 1992, *IERS Standards*, IERS Technical Note 13. CB/IERS, Paris

**Wyrzykowski T.**, 1971, *Mapa współczesnych bezwzględnych prędkości pionowych ruchów powierzchni skorupy ziemskiej na obszarze Polski, skala 1:2 500 000*, Instytutu Geodezji i Kartografii,

**Wyrzykowski T.**, 1987, *Nowe wyznaczenie prędkości współczesnych pionowych ruchów powierzchni skorupy ziemskiej na obszarze Polski*, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, tom XXXIV, z. 1(78),

**Wyrzykowski T.**, 1988a, *Charakterystyka i analiza dokładnościowa nowej krajowej sieci niwelacji I klasy (pomiar z lat 1974-82)*, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, vol. XXXV, z. 2(81), Warszawa,

**Wyrzykowski T.**, 1988b, *Monografia krajowych sieci niwelacji precyzyjnej I klasy*, Warszawa

# Odbiorniki GPS



## TOPCON TURBO-SII

- ◆ ręczny dwuczęstotliwościowy odbiornik geodezyjny
- ◆ dokładność 0,5cm+1ppm
- ◆ możliwość współpracy z odbiornikami innych firm

PROMOCJA  
26 300 zł+VAT



## ProMark X-CM

- ◆ ręczny jednoczęstotliwościowy, 10 kanałowy odbiornik GPS
- ◆ dokładność 1,5cm + 3ppm
- ◆ możliwość współpracy z odbiornikami innych firm

19 900 zł+VAT



## KART system

- ◆ pomiary w czasie rzeczywistym
- ◆ dokładność - 3cm.
- ◆ zasięg 15km



## Oferujemy odbiorniki:

- ◆ geodezyjne
- ◆ topograficzne
- ◆ nawigacyjne

## T.P.I. sp. z o.o.

01-229 WARSZAWA, ul. Wolska 69  
tel/fax: (0-22) 632 91 40  
http://www.atm.com.pl/~tpi  
GSM: 0-602 305030, 0-602 218504

Serwis gwarancyjny i pogwarancyjny, pełne szkolenie, sprzedaż ratalna