

Po wyrównaniu kontynentalnej wysokościowej sieci niwelacyjnej UELN, w ramach projektu EUVN połączono sieci niwelacyjne, GPS i dane mareograficzne. Tak powstał Europejski Wysokościowy System Odniesienia 2000<sup>1</sup>. Kinematyczna sieć wysokościowa dla Europy jest kolejnym krokiem w kierunku doskonalenia europejskiego wysokościowego układu odniesienia.

Prace nad modernizacją europejskich wysokościowych układów odniesienia<sup>2</sup> zostały zainicjowane przez Podkomisję Europejską EUREF (European Reference Frame) Międzynarodowej Asocjacji Geodezyjnej w 1994 roku. Bazują one na udanej współpracy między EUREF, rządowymi organizacjami geodezyjnymi i Grupą Roboczą VIII CERCO.

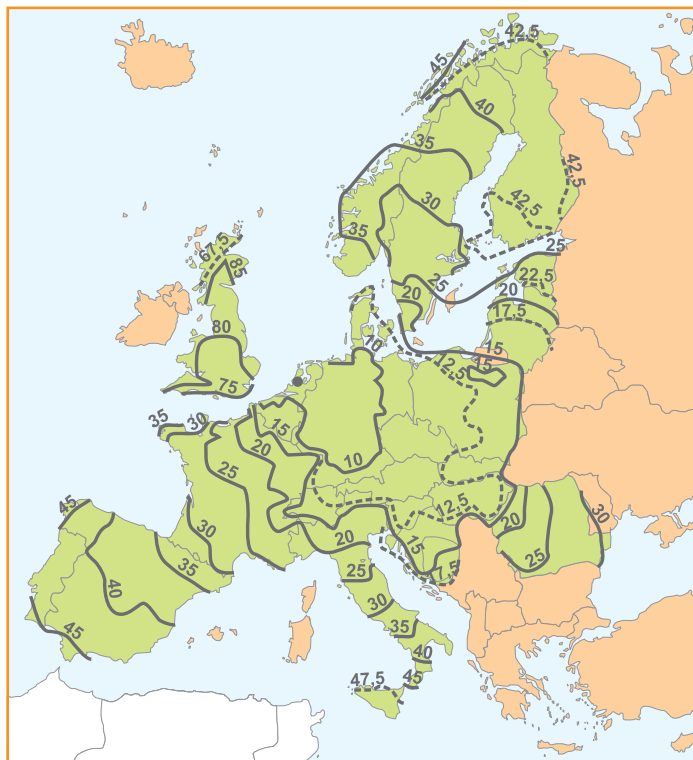
W tym samym roku, po prawie dziesięcioletniej przerwie, na nowo podjęto prace nad kontynentalną siecią niwelacyjną United European Levelling Network (UELN). Zgodnie z rezolucją nr 3 uchwaloną na sympozjum EUREF w Warszawie (1994 r.), zasadniczym celem sieci kontynentalnej UELN było utworzenie jednolitego wysokościowego układu odniesienia dla Europy o dokładności na poziomie 10 centymetrów, z zamiarem rozszerzenia tej sieci na wszystkie kraje Europy. Efektem końcowym tych prac są wyniki wyrównania kontynentalnej europejskiej sieci niwelacyjnej o nazwie UELN-95/98.

Równolegle prowadzone były prace nad European Vertical Reference Network (EUVN). Celem tego projektu była integracja sieci GPS, niwelacyjnych i danych mareograficznych w statyczny wysokościowy układ odniesienia. Praktyczna realizacja sieci UELN i EUVN pozwoliła ustalić związki między siecią UELN z punktem początkowym w Amsterdamie (Normaal Amsterdams Peil) a krajowymi (lokalnymi) wysokościowymi układami odniesienia. W wyniku realizacji projektów UELN i EUVN Podkomisja EUREF zaproponowała Europejski Wysokościowy System Odniesienia 2000 (European Vertical Reference System 2000 – EVRS).

### ● Kontynentalna europejska sieć niwelacyjna (UELN-95)

Punktem wyjścia do utworzenia sieci UELN-95 były dane niwelacyjne z obszaru Europy Zachodniej (tzw. sieć UELN-73), której wyrównanie zostało powtórzone w 1986 roku. W celu przeprowadzenia obliczeń dane niwelacyjne tej sieci zostały pogrupowane krajami. Dla poszczególnych grup wyznaczono odpowiednie wagi. Rozszerzenia sieci dokonano w dwóch etapach. Najpierw do UELN-73 wprowadzono dane niwelacyjne z nowych kampanii pomiarowych (Niemcy, Austria), a następnie dołożono kolejne nowe bloki z państw Europy Centralnej i Wschodniej.

# Europejski Wysokościowy System Odniesienia 2000 niwelacja

**ADAM ŁYSY**


Rys. 1. Błędy średnie (w kgal x mm) wyrównanych wysokości sieci niwelacyjnej UELN-95

Liczba punktów stałych	1
Liczba niewiadomych (punktów węzłowych)	3063
Liczba obserwacji	4263
Liczba obserwacji nadliczbowych (stopni swobody)	1200
A posteriori odchylenie standardowe odcinka o długości 1 kilometra	1,10 kgal x mm
Wartość średnia odchylenia standardowego wyrównanych różnic liczb geopotencjalnych	6,62 kgal x mm
Wartość średnia odchylenia standardowego wyrównanych liczb geopotencjalnych (wysokości)	19,64 kgal x mm

Tab. 1. Parametry charakteryzujące wyniki wyrównania sieci UELN

## System Odniesienia 2000

## niawiacyna

S ZKOWICZ



Rys. 2. Mareografy definiujące poziom powierzchni odniesienia krajowych wysokościowych układów w Europie (np. Kronszttadt, Amsterdam)

Gromadzeniem danych, ich analizą i wyrównaniem zajęło się centrum obliczeniowe Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) w Lipsku. Sieć została wyrównana jako sieć wysokości geopotencjalnych z jednym punktem stałym (mareograf w Amsterdamie). W styczniu 1999 roku przeprowadzono kolejną wersję wyrównania sieci UELN-95 (nazwaną UELN-95/98), a jego wyniki przekazano wszystkim 28 państwom uczestniczącym w projekcie. Wysokości normalne  $H_n$  obliczono zgodnie ze wzorem  $H_n = C_p / \bar{\gamma}$  gdzie  $\bar{\gamma}$  jest przeciętną wartością normalnego przyspieszenia siły ciężkości wzdłuż linii pionu między elipsoi-

dą a telluroidą. Błędy średnie wyrównanych wysokości sieci UELN-95 pokazano na rys. 1.

Dodatkowo został przekazany raport (Sacher i inni, 1998) opisujący metodę wyrównania sieci i sposób obliczenia wysokości normalnych. Jednak nadal rysuje się kilka problemów, które powinny być wkrótce rozwiązane, a mianowicie:

- niektóre państwa Europy Zachodniej dysponują zbyt dawnymi obserwacjami niwelacyjnymi, dlatego w celu poprawienia dokładności całej sieci odpowiednie bloki sieci UELN powinny zostać zastąpione nowymi danymi,

- w rezolucji nr 4, uchwalonej na sympozjum EUREF w 1998 r., zaproponowano rozszerzenie sieci UELN na Ukrainę i Turcję,

- poważnym wzmocnieniem sieci skandynawskiej byłoby zamknięcie ciągów niwelacyjnych wokół Morza Bałtyckiego.

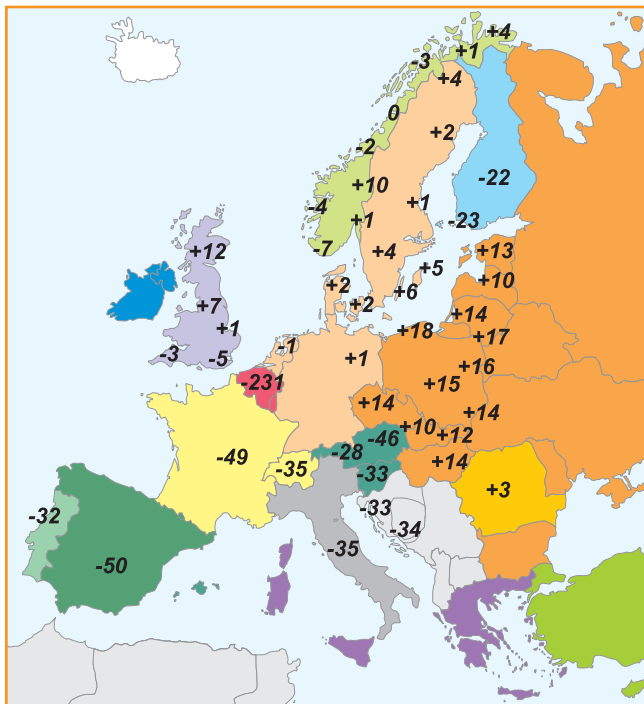
### ● Zależności między krajowymi układami wysokościowymi a układem odniesienia UELN-95

Od lat wysokości wyznaczone są względem średniego poziomu morza, który jest określany na jednej lub kilku stacjach mareograficznych. Stacje mareograficzne europejskich krajowych wysokościowych układów odniesień zlokalizowane są nad Oceanem Atlantyckim, Morzem Bałtyckim, Morzem Północnym, Morzem Śródziemnym i Morzem Czarnym (rys. 2). Różnice poziomów tych akwenów sięgają kilku decymetrów. Dodatkowo, zero lokalnego układu wysokościowego bardzo często ma charakter historyczny i nie jest ściśle powiązane ze średnim poziomem morza. Niektóre z punktów zerowych zdefiniowane są przez odpływ (Ostenda), a np. punkt zerowy w Amsterdamie – przez średni przypływ w 1684 r.

W Europie spotykamy się z trzema typami wysokości (rys. 3). Wysokości ortometryczne są w użyciu w takich krajach, jak Belgia, Dania, Finlandia, Włochy i Szwajcaria, normalne – np. we Francji, Niemczech, Szwecji i większości państw byłego bloku socjalistycznego, a wysokości normalne ortometryczne – w Norwegii, Austrii i w krajach byłej Jugosławii.



Rys. 3. Typy wysokości stosowane w krajach europejskich

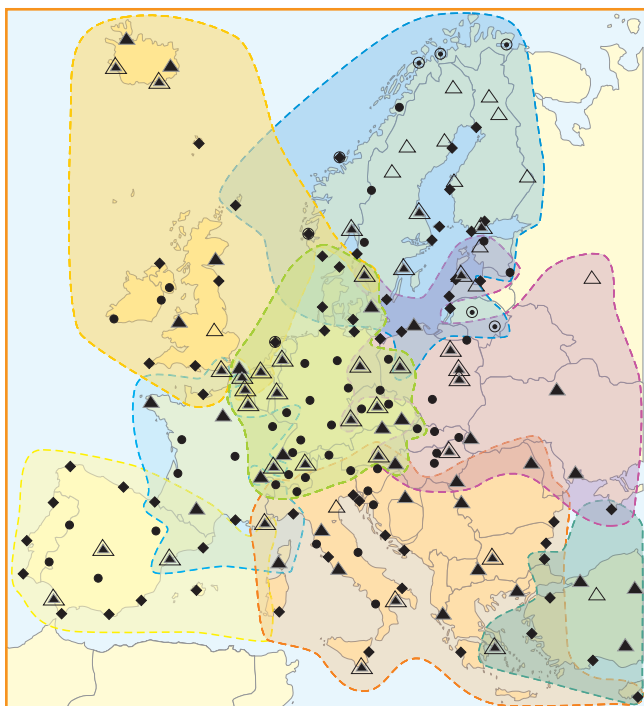


Rys. 4. Średnie parametry transformacji układów lokalnych na UELN-95

Parametry transformacji (średnie przesunięcie) między lokalnymi wysokościami układami a układem UELN-95/98 pokazano na rys. 4. Jeśli różnice te w danym kraju nie są w miarę stabilne, to wówczas wyznaczono trzy parametry transformacji.

### ● Satelitarna sieć wysokościowa EUVN

Zasadniczym celem sieci European Vertical Reference Network było ujednoczenie poziomów odniesienia europejskich sieci niwelacyjnych na poziomie kilku centymetrów, zaś dodatkowym –



Rys. 5. Punkty sieci EUVN i podgrupy, na jakie podzielono opracowanie obserwacji GPS między poszczególne zespoły obliczeniowe

utworzenie geokinematycznego wysokościowego układu odniesienia dla Europy i umożliwienie wzajemnego powiązania wysokości niwelacyjnych z wysokościami elipsoidalnymi z pomiarów GPS. Na punktach sieci EUVN wyznaczono zarówno trójwymiarowe współrzędne  $X_p$ ,  $Y_p$ ,  $Z_p$  w układzie ETRS-89, jak i liczby geopotencjalne (wysokości)  $C_p = W_0^{UELN} - W_p$  tych punktów odniesione do zera mareografu w Amsterdamie. W ten sposób sieć EUVN reprezentuje sobą układ odniesienia zawierający elementy nie tylko geometryczne, ale i informacje o polu siły ciężkości Ziemi. Dodatkowo obok wysokości geopotencjalnych zostały wyznaczone wysokości normalne.

Ostatecznie sieć EUVN składa się z około 196 punktów, w tym 66 punktów sieci EUREF, 13 permanentnych stacji GPS, 54 punktów sieci UELN i sieci UPLN<sup>3</sup> oraz 63 stacji mareograficznych (rys. 5). Obserwacje GPS w sieci EUVN zostały wykonane od 21 do 29 maja 1997 roku. W kampanii obserwacyjnej użyto trzech typów odbiorników Turbo Rogue (35 sztuk), Trimble SSI lub SSE (134) i Ashtech Z12 (54). Interwał obserwacyjny wynosił 30 sekund, a minimalny kąt obserwacji nad horyzontem – 5 stopni. Kampania przebiegła pomyślnie.

Wstępne obliczenia wyników kampanii EUVN zostały przeprowadzone w 9 ośrodkach obliczeniowych (Preprocessing Centres, PPC) i dotyczyły głównie sprawdzenia kompletności i poprawności danych oraz dodatkowych informacji. Następny etap zrealizowano w 10 centrach obliczeniowych zwanych Analysis Centers (AC). Podziału całej sieci EUVN na 10 podgrup dokonano ze względu na typ instrumentu i region geograficzny (rys. 5).

Trzeci etap – końcowe obliczenie sieci EUVN – zrealizowano w dwóch ośrodkach, a mianowicie w Instytucie Astronomii Uniwersytetu w Bernie (AIUB) oraz BKG w Lipsku. Wykorzystano kilka różnych strategii wyrównania sieci w celu zbadania ich wpływu na wynik obliczeń. W końcu rozważono trzy zasadnicze warianty:

- z identycznymi wagami wszystkich obserwacji, tylko obserwacje powyżej 15 stopni nad horyzontem,
- z wagami równymi  $\cos^2 z$  (gdzie  $z$  jest kątem zenitalnym obserwowanego satelity), wszystkie obserwacje powyżej 5 stopni nad horyzontem,
- z wagami ustalonymi na podstawie kodów zawartych w opracowanej przez IGS precyzyjnej orbicie (ponieważ nie wszystkie ośrodki dostarczyły cząstkowe obliczenia tego typu, w końcowych obliczeniach zrezygnowano z tego wariantu).

Na spotkaniu roboczym przedstawicieli Centrów Obliczeniowych w Wettzel (2-3 kwietnia 1998 r.) po wyczerpującej dyskusji wariant pierwszy przyjęto jako ostateczny. Współrzędne sieci EUVN zostały obliczone w układzie ITRF-96 (epoka 1997.4). W tym celu przyjęto współrzędne 37 punktów wraz z ich błędami (0,01 mm dla każdej składowej) w układzie ITRF-96 i dokonano wyrównania całej sieci EUVN. Wyniki końcowe uzyskane w Bernie i Lipsku okazały się identyczne, co wskazuje na poprawność przeprowadzonych obliczeń. Ponieważ dla wielu praktycznych zastosowań znacznie wygodniej jest dysponować współrzędnymi sieci EUVN w układzie ETRS-89, dokonano ich transformacji.

### ● Europejski Wysokościowy System Odniesień (EVRN)

W listopadzie 1999 roku na spotkaniu roboczym MEGRIN (Multipurpose Europe Ground Related Information Network) w Marne-la Vallée zalecono Komisji Europejskiej systemu odniesień, w jakich powinny być gromadzone dane geoinformacyjne. Jeśli chodzi o wysokości, postanowiono:

■ przyjąć wyniki opracowań sieci EUVN i UELN, tam gdzie jest to możliwe, jako definicje wysokościowego układu odniesienia,

■ włączyć wysokościowy układ odniesienia do specyfikacji produktów dostarczanych do EC w ramach projektów i kontraktów,

■ kontynuować dalszą promocję europejskiego wysokościowego układu odniesienia wśród członków.

Techniczna Grupa Robocza Podkomisji EUREF zdefiniowała Europejski Wysokościowy System Odniesienia, a zasady jego realizacji ustalono na sympozjum w Tromsø (2000 r.). Z przyjętej tam rezolucji nr 5 wynika, że EVRS jest realizowany poprzez wyznaczenie liczb geopotencjalnych i wysokości normalnych punktów węzłowych UELN 95/98, z włączeniem obszaru Estonii, Łotwy, Litwy i Rumunii w odniesieniu do Normaala Amsterdams Peils (NAP). Liczby geopotencjalne i wysokości normalne punktów węzłowych są dostępne dla uczestników projektu pod nazwą wysokości sieci UELN 95/98, którym nadano nazwę EVRF2000.

Nazwa punktu, kraj	Numer punktu w sieci UELN	Współrzędne punktu ETRS-89		Wysokość w układzie UELN-95/98		Przyspieszenie siły ciężkości w IGSN-71 [ms <sup>-2</sup> ]
		szerokość i długość elipsoidalna	liczba geopotencjalna [m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> ]	wysokość normalna [m]		
punkt referencyjny 000A2530, Holandia	13600	52°22'53" 4°54'34"	7,0259	0,71599	9,81277935	

Tab. 2. Charakterystyka punktu referencyjnego 000A2530 w Holandii

## Definicja EVRS

Europejski Wysokościowy System Odniesień (EVRS) związany jest z polem siły ciężkości Ziemi i zdefiniowany został w następujący sposób (Ihde i Augath, 2000):

■ powierzchnią odniesienia jest powierzchnia pozioma, dla której potencjał siły ciężkości  $W_0$  równy jest potencjałowi normalnemu średniej elipsoidy ziemskiej  $U_0$ :

$$W_0 = U_0;$$

■ wysokościami są różnice  $\Delta W_p$  między potencjałem  $W_p$  pola siły ciężkości Ziemi w punkcie P a potencjałem  $W_0$  powierzchni systemu EVRS. Różnica potencjału ( $\Delta W_p$ ) zwana jest również liczbą geopotencjalną  $C_p$ :

$$-\Delta W_p = W_0 - W_p = C_p,$$

a odpowiednikami liczb geopotencjalnych są wysokości normalne;

■ EVRS jest systemem, w którym przyjęto zerowy system płwyowy zgodnie z rezolucją Międzynarodowej Asocjacji Geodezyjnej.

## Realizacja EVRS

■ Poziom zerowy systemu wysokościowego EVRS realizowany jest poprzez Normaala Amsterdams Peil (NAP). W konsekwencji liczba geopotencjalna poziomu NAP jest również równa zero:

$$C_{NAP} = 0.$$

■ Parametry i stałe definiujące układ wysokościowy są parametrami i stałymi zdefiniowanymi przez Geodetic Reference System 1980 (GRS-80). Konsekwencją przyjęcia takich parametrów i stałych jest to, że potencjał normalny  $W_{NAP}$  w punkcie NAP jest potencjałem normalnym elipsoidy GRS-80:

$$W_{NAP}^{REAL} = U_{0GRS80}$$

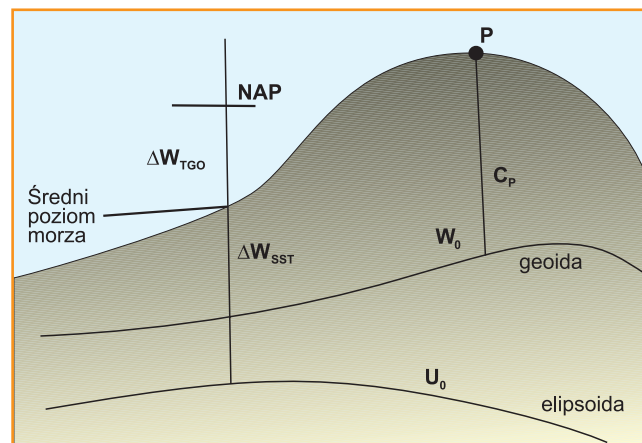
■ Układ EVRF-2000 jest zrealizowany poprzez liczbę geopotencjalną i odpowiadającą tej liczbie wysokość normalną punktu referencyjnego nr 000A2530/13600 sieci UELN.

## Zależności między zdefiniowanym systemem EVRS a jego praktyczną realizacją EVRF-2000

Potencjał pola siły ciężkości w punkcie NAP może być obliczony z następującej zależności:

$$W_{NAP} = W_0 + \Delta W_{SST} + \Delta W_{TGO},$$

gdzie  $\Delta W_{SST}$  jest różnicą potencjału topografii morza mareografu w Amsterdamie względem geoidy  $W_0 = U_0$ , a  $\Delta W_{TGO}$  jest różnicą potencjału siły ciężkości między punktem NAP a poziomem średniej powierzchni morza mareografu w Amsterdamie (rys. 6).



Rys. 6. Potencjał  $W_0$  oraz różnice potencjałów  $\Delta W_{SST}$  i  $W_{NAP}$  na stacji mareograficznej w Amsterdamie

Zależność między systemem EVRS i jego realizacją EVRF-2000 jest następująca:

$$\begin{aligned} \Delta W_{EVRS} &= W_{NAP} - W_{NAP}^{REAL} \\ &= W_{NAP} - U_{0GRS-80} \\ &= U_0 - U_{0GRS-80} + W_{SST} + W_{TGO}, \end{aligned}$$

gdzie  $\Delta W_{EVRS}$  jest przesunięciem w stosunku do globalnego układu wysokościowego. W celu wyznaczenia tego przesunięcia konieczna jest znajomość topografii morza i zmiany potencjału normalnego średniej elipsoidy ziemskiej z dokładnością na poziomie centymetra.

## Kinematyczny Wysokościowy System Odniesień (European Vertical System, EVS)

Planuje się, że europejski wysokościowy system odniesień będzie zrealizowany w przyszłości jako wynik wyrównania kinematycznego europejskich permanentnych stacji GPS, sieci niwelacyjnej UELN (dysponującej danymi niwelacyjnymi z różnych epok obserwacyjnych), europejskiej grawimetrycznej geoidy i danych ma-

reograficznych oraz powtarzanych absolutnych pomiarów przyspieszenia siły ciężkości. W tym celu w maju 1999 roku w ramach podkomisji EUREF została powołana specjalna grupa robocza, której zadaniem było sformułowanie kierunku przyszłych prac. Pierwsze dwa spotkania dotyczyły ogólnych problemów modelu wyrównania, dostępności danych, programów obliczeniowych, a ostatnie spotkanie, w Paryżu, zdominowane było przez problem modelu wyrównania.

Obecnie w Europie istnieje około 80 permanentnych stacji GPS. Dokładność ich wysokości z dobowych obserwacji waha się w granicach od 7 do 9 mm. Analiza obserwacji z okresu trzech lat przeprowadzona metodą regresji liniowej daje różnice wysokości elipsoidalnych z błędem około  $\pm 0,5$  mm/rok. Oznacza to, że ze statystycznego punktu widzenia ruchy pionowe skorupy ziemskiej rzędu 1,0 mm/rok mogą być bez problemu wyznaczone z trzyletniego okresu obserwacji GPS.

Kolejne kampanie niwelacji precyzyjnej ( $1 \text{ mm} \cdot \sqrt{l}$ , gdzie  $l$  – długość odcinka w km) – odległe w czasie o blisko 20 lat – umożliwiają wyznaczenie zmian różnic wysokości z błędem około  $\pm 0,07 \text{ mm} \cdot \sqrt{l}$  / rok. Z tego wynika, że permanentne stacje GPS położone w odległościach około 300 km mogą w istotny sposób uzupełnić informacje o ruchach pionowych wyliczonych z kolejnych kampanii niwelacyjnych.

Równanie obserwacyjne dla różnic wysokości  $\Delta H_{ij,k}$  sąsiednich reperów w epoce  $k$  jest następujące:

$$\Delta H_{ij,k-t} = H_j - H_i + V_j(t_k - t_0) - V_i(t_k - t_0).$$

Każde równanie tego typu zawiera dwie niewiadome: wysokość nad średni poziom morza  $H$  (zależną od pola siły ciężkości) na epokę  $t_0$  i ruchy pionowe skorupy ziemskiej  $V$ . Zależność między wysokościami  $H$  z niwelacji geometrycznej a wysokościami elipsoidalnymi  $h$  z pomiarów GPS i geoidą jest następująca:

$$h = H + N.$$

Ponieważ dokładność odstępów  $N$  geoidy (różnic  $\Delta N$  geoidy) nie jest tego samego rzędu co dokładność danych niwelacyjnych,

to wysokości elipsoidalne z pomiarów GPS nie mogą być użyte jako obserwacje. Ale przy założeniu, że zmiany geoidy nie są znaczące, ruchy pionowe  $v_i$  uzyskane z permanentnych obserwacji GPS mogą być wykorzystane jako dodatkowe obserwacje na punktach niwelacyjnych:

$$v_i = V_i.$$

W ten oto sposób niewiadome ruchy pionowe  $V_i$  mogą być wyznaczone z danych niwelacyjnych i GPS. Prace nad projektem EVS rozpoczęły się pod koniec 1999 roku i zapewne potrwać jeszcze kilka lat.

### Krótki przegląd ostatnich prac dotyczących sieci niwelacyjnej w Polsce

W Polsce prace związane z modernizacją układu wysokościowego rozpoczęto w Zakładzie Geodezji Planetarnej (Zieliński, Łyszkowicz, Jaworski, Zdunek) w 1995 roku. W pierwszym etapie, w sieci niwelacyjnej I klasy, przeliczono pomierzone różnice wysokości na różnicę liczb geopotencjalnych (Łyszkowicz, 1996). Umożliwiło to włączenie polskiej sieci niwelacyjnej do europejskiej sieci UELN-95. Następnie w latach 1996-98 zrealizowano projekt zamawiany KBN 08-07 „Założenia naukowe i metodyczne modernizacji krajowego układu wysokościowego”. Wynikiem tego projektu były, między innymi, stabilizacja, pomiar i opracowanie polskiej części sieci EUVN, jak również prace dotyczące zasad tworzenia nowego układu wysokościowego. W pracach tych zwrócono uwagę na problem pływów skorupy ziemskiej (Łyszkowicz, 1998) oraz problem łączenia danych niwelacyjnych, GPS i danych mareograficznych (Łyszkowicz i inni, 2000). Stan sieci niwelacji I klasy opisano w różnych pracach, m.in. Łyszkowicz i inni, 1998; Łyszkowicz i Gajderowicz, 1999 oraz Łyszkowicz i Kmiecik, 2001.

Autor jest zatrudniony na stanowisku profesora w Katedrze Geodezji Szczegółowej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, adam@cbk.waw.pl

<sup>1</sup> System odniesienia służy do opisywania położenia punktów na Ziemi (zawiera układ współrzędnych, elipsoidę geodezyjną i geoidę).

<sup>2</sup> Wysokościowy układ odniesienia jest praktyczną realizacją systemu odniesienia.

<sup>3</sup> UPLN (The United Precise Levelling Network) – kontynentalna sieć niwelacyjna byłych państw socjalistycznych.

### Literatura:

Ihde J., Augath W., 2000, *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, München, pp. 99-110;

Łyszkowicz A., 1996, *Conversion of Polish precise levelling network into the geopotential numbers*, Veröffentlichungen der Bayerischen Kom-

mission für die Internationale Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Astronomisch-Geodätisch Arbeiten, Heft Nr 57, München, pp. 179-181;

Łyszkowicz A., 1998, *Nowy układ wysokościowy – wykorzystanie GPS, geoidy i klasycznej niwelacji*, GEODETA 2/98 (33), s. 35-41;

Łyszkowicz A., 1999, *Jednolita sieć wysokościowa na obszarze Europy, stan obecny i perspektywy*, GEODETA 3/99 (46);

Łyszkowicz A., 2001, *Współczesne metody wyznaczania wysokości*, Materiały z XI konferencji „Systemy Informacji Przestrzennej” Polskiego Towarzystwa Informatyki Przestrzennej, Warszawa, 28-30 maja, 2001, s. 369-376;

Łyszkowicz A., Gajderowicz I., 1999, *Primary Levelling in Poland – state of art and future plans*, Referat przedstawiony na sympozjum IAG Subcommittee for EUREF, Prague, June 2-5 1999;

Łyszkowicz A., Kmiecik J., 2001, *The Fourth Precise Levelling Campaign in Poland*, Referat przedstawiony na sympozjum IAG Commission X, Subcommittee for EUREF, 16-19 May 2001, Dubrovnik;

Łyszkowicz A., Łyszkowicz S., 1998, *Status and Statistical Properties of the Precise Levelling Networks in Poland*, Geodezija i Kartografija, vol. XXIV, Nr 3, s. 121-131, Vilnius;

Łyszkowicz A., Łyszkowicz S., 2000, *Optimal merging Polish vertical network, geoid, GPS and tide gauge heights*, Materiały z konferencji „Modern progresses of geodetic sciences and industry, 30 March-2 April 2000, Lviv-Yavoriv, Ukraine, s. 13-17;

Sacher M., Ihde J., Segeer H., 1998, *Preliminary Transformation Relations Between National European Height Systems and the United European Levelling Network (UELN)*, Paper presented to the CERCO Plenary Meeting, Oslo, September 1998.