

Jednolita sieć wysokościowa na obszarze Europy, stan obecny i perspektywy

Wysokość Europy a sprawa polska

ADAM ŁYSZKOWICZ

Obecnie w Europie pomyślnie przeprowadzono ujednoczenie poziomych sieci europejskich w systemie ETRS-89. Prace o podobnym charakterze dotyczące ujednoczenia europejskich sieci wysokościowych są znacznie trudniejsze i dlatego zdecydowano się podzielić całe przedsięwzięcie na kilka etapów, aby w kolejności zaspokajać potrzeby głównych użytkowników sieci wysokościowych.

W pierwszym etapie została zrealizowana sieć United European Levelling Net 1995 (UELN-95). Sieć ta zrealizowana z dokładnością kilkunastu centymetrów dostarczyła wysokości dla tworzonych w Europie systemów geoinformatycznych. Dzięki odpowiedniej decyzji Głównego Geodety Kraju polska sieć niwelacji precyzyjnej została włączona do sieci UELN-95 już w 1996 roku.

Krajowe układy wysokościowe w Europie

Wysokości topograficzne są wyznaczane w obowiązującym w danym kraju układzie wysokościowym. Układ wysokościowy jest definiowany (rys. 1) poprzez powierzchnię odniesienia (geoidę) oraz system wysokości (np. normalny, ortometryczny). Praktyczną realizacją każdego układu wysokościowego jest katalog wysokości reperów, np. katalog wysokości w układzie Kronsztadt 86. W krajach europejskich istniejące układy wysokościowe różnią się zarówno systemami wysokości (normalny, ortometryczny), jak i poziomami odniesienia. Rysunki 2 i 3 ukazują, jakie rodzaje systemów wysokości i które mareografy są obecnie używane w poszczególnych państwach.

Systemy wysokości. Idealnym systemem wysokości jest wysokość określona liczbą geopotencjalną, gdyż jej wartość nie zależy od drogi. Liczba geopotencjalna $C_p = W_0 - W_p$ wyraża różnicę potencjałów pomiędzy powierzchnią odniesienia a danym punktem (rys. 1). Liczbę geopotencjalną wyraża się w takich samych jednostkach, jak potencjał, czyli w $m^2 \cdot s^{-2}$. W praktycznych zastosowaniach takie jednostki są bezużyteczne, gdyż wysokości muszą być wyrażone w metrach. W konsekwencji doprowadziło to do różnych systemów wysokości.

Ogólnie wysokości H są definiowane w następujący sposób:

$$H = \frac{C_p}{g} \quad (1)$$

gdzie C_p jest liczbą geopotencjalną, a g jest odpowiednim przyspieszeniem siły ciężkości. Systemy wysokościowe róż-

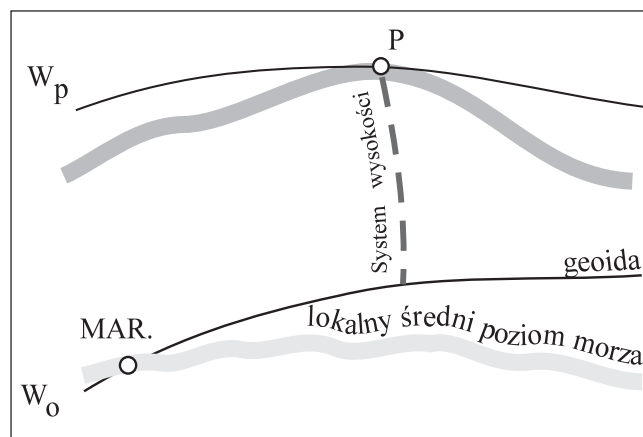
nią się między sobą w zależności od rodzaju przyspieszenia g występującego w mianowniku wzoru (1). W praktyce liczba geopotencjalna C_p jest wyznaczana z danych niwelacyjnych Δh i pomiarów grawimetrycznych g z następującej zależności:

$$C_p = \sum g \Delta h \quad (2)$$

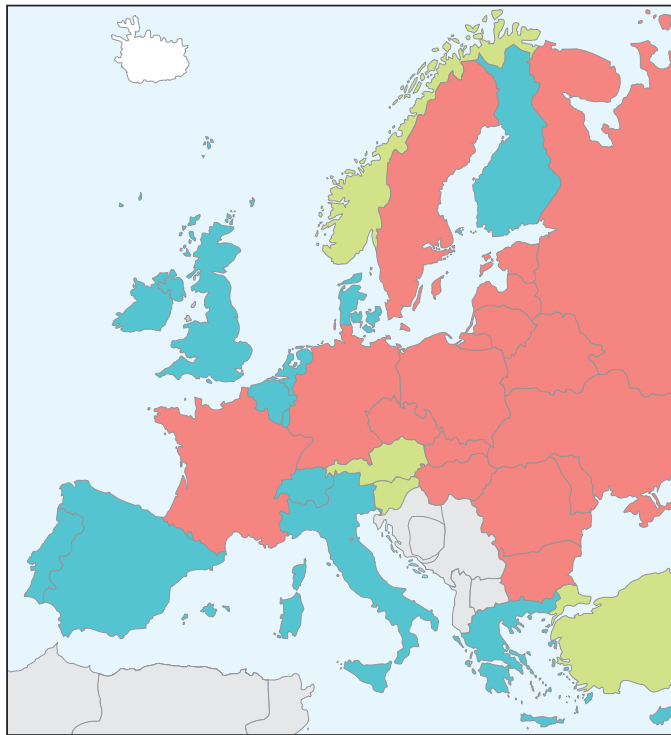
Wysokości ortometryczne są liczone ze wzoru:

$$H^{ort} = \frac{C_p}{\bar{g}} \quad (3)$$

gdzie \bar{g} jest średnią wartością rzeczywistego przyspieszenia pomiędzy geoidą a powierzchnią Ziemi liczoną wzdłuż linii pionu. Wadą wysokości ortometrycznych jest konieczność przyjęcia hipotezy o rozkładzie gęstości mas we wnętrzu Ziemi.

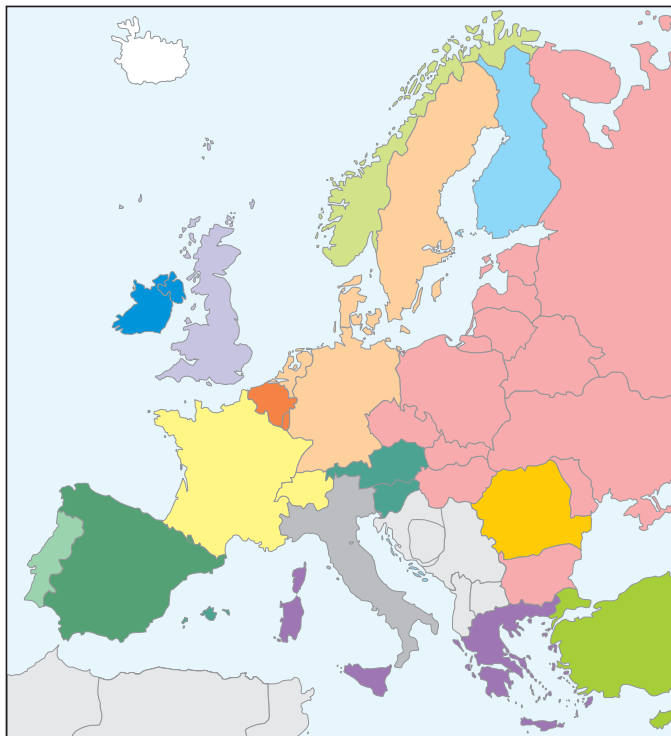


Rys. 1. Powierzchnia odniesienia (geoida), średni poziom morza wyznaczony przez mareograf i system wysokości



- wysokości normalne
- wysokości ortometryczne
- wysokości normalne ortometryczne
- brak informacji
- brak systemu wysokości

Rys. 2. Systemy wysokościowe stosowane w poszczególnych krajach europejskich



- Amsterdam
- Genova
- Antalya
- Helsinki
- Marseille
- Kronstadt
- Ostende
- Malin Head
- Alicante
- Trieste
- Newlyn
- Tregde
- Cascais
- inne
- brak informacji
- Constanta

Rys. 3. Mareografy definiujące poziom powierzchni odniesienia lokalnych układów wysokościowych w Europie

Wzór na wysokości normalne ma postać:

$$H^n = \frac{C_P}{\bar{\gamma}} \quad (4)$$

gdzie $\bar{\gamma}$ jest średnią wartością normalnego przyspieszenia siły ciężkości między quasigeoidą a fizyczną powierzchnią Ziemi liczoną wzdłuż normalnej do elipsoidy. Obliczenie wysokości normalnych nie przedstawia żadnych większych trudności.

Wprowadzenie normalnych ortometrycznych wysokości w niektórych państwach europejskich ma historyczne uzasadnienie. W początkach obecnego stulecia nie było możliwości dokonania pomiarów przyspieszenia siły ciężkości z wymaganą dokładnością i gęstością wzdłuż linii niwelacyjnych. W tej sytuacji liczby geopotencjalne zostały zastąpione przez sferyczne liczby geopotencjalne C' , które były wyznaczane z danych niwelacyjnych i normalnego przyspieszenia siły ciężkości. W tym przypadku wzór na wysokości normalne ortometryczne ma postać:

$$H^{no} = \frac{C'_P}{\bar{\gamma}} \quad (5)$$

Wysokości normalne ortometryczne są zależne od tego, jak przebiega linia niwelacyjna, a błędy z tego tytułu są znaczne, szczególnie w terenach górzystych. W przypadku, gdy anomalie grawimetryczne są równe zero, wysokości normalne ortometryczne są równe wysokościami normalnym.

W Europie spotykamy się z trzema typami wysokości (rys. 2). Przykładowo wysokości ortometryczne są w użyciu w takich krajach, jak Belgia, Dania, Finlandia, Włochy i Szwajcaria. Obecnie wysokości normalne są w użyciu we Francji, Niemczech, Szwecji i w większości państw byłego bloku socjalistycznego. W Norwegii, Austrii i w krajach byłej Jugosławii są w użyciu wysokości normalne ortometryczne.

Poziomy odniesienia. Powierzchnia pozioma, względem której są ustalane wysokości punktów, w praktyce jest definiowana poprzez średni poziom morza, który jest wyznaczany dla jednego lub kilku mareografów. Mareografy europejskich układów wysokościowych są zlokalizowane nad różnymi morzami, a mianowicie: Morzem Bałtyckim, Morzem Północnym, Morzem Śródziemnym, Morzem Czarnym i Oceanem Atlantyckim. Różnice średnich poziomów wymienionych mórz dochodzą do kilkunastu decymetrów.

Dodatkowo zero układu wysokościowego bardzo często ma charakter historyczny i nie jest ściśle powiązane ze średnim poziomem morza. Niektóre z punktów zerowych są zdefiniowane poprzez odpływ (Ostenda) lub poprzez przyływ. Przykładowo punkt zerowy w Amsterdamie jest zdefiniowany poprzez średni przyływ w 1684 roku.

Europejskie kontynentalne układy wysokościowe

Jak wykazano powyżej, ujednoczenie krajowych systemów wysokościowych w Europie jest koniecznością. Obecnie istnieją w Europie trzy kontynentalne układy wysokościowe, a mianowicie:

- jednolita wysokodokładna sieć niwelacyjna zwana obecnie United Precise Levelling Network (UPLN),
- the United European Levelling Network (UELN),
- the European Vertical GPS Reference Network (EUVN).

The United Precise Levelling Network (UPLN). W Europie Centralnej i Wschodniej istnieje kontynentalna jednolita wysokościowa sieć niwelacyjna składająca się z linii ni-

welacyjnych takich krajów, jak Bułgaria, wschodnie Niemcy, Republika Czeska, Polska, Słowacja, Węgry, Rumunia, Rosja, Gruzja, Litwa, Łotwa, Estonia, Białoruś, Ukraina i Mołdawia. Sieć ta po raz pierwszy była pomierzona w latach pięćdziesiątych. Drugi pomiar sieci wykonano w latach siedemdziesiątych. Wyrównanie drugiej kampanii pomiarowej ukończono w roku 1982. Sieć ta składa się z około 350 punktów węzłowych. Długość linii niwelacyjnych waha się od 70 km w zachodniej części sieci do 200 km we wschodniej. Poziom sieci jest zdefiniowany poprzez mareograf w Kronsztadzie, a za system wysokości przyjęto wysokości normalne.

The United European Levelling Network UELN. Historia kontynentalnej sieci UELN Europy Zachodniej jest długa i zawiła. Kolejne wyrównanie tej sieci przeprowadzone w 1986 roku (Ehrnsperger i Kok, 1986) zostało nazwane UELN-73/86. Po prawie dziesięcioletniej przerwie na bazie wersji UELN-73/86 podjęto na nowo prace nad ujednoczeniem tej sieci, tym razem pod auspicjami Podkomisji Europejskiej (EUREF). Nową wersję kontynentalnej europejskiej sieci postanowiono nazwać UELN-95.

W celu wyrównania tej sieci jako wysokości geopotencjalnych poszczególne państwa uczestniczące w projekcie dostarczyły dane, czyli różnice potencjałów ΔC i długości ciągów L_{km} między punktami węzłowymi. W Polsce Główny Geodeta Kraju zlecił przeliczenie danych niwelacyjnych na różnice liczb geopotencjalnych Zakładowi Geodezji Planetarnej Centrum Badań Kosmicznych PAN (Łyszczkiewicz, 1995). Pełny raport o wynikach przeliczenia został przedstawiony na sympozjum EUREF w Ankarze (Łyszczkiewicz, 1996).

W pierwszym etapie tworzenia sieci UELN-95 przeprowadzono ponowne wyrównanie sieci UELN-73/86, przyjmując inny niż poprzednio sposób wagowania sieci (Lang i Sacher, 1995). W następnym etapie dla obszaru Niemiec i Austrii wprowadzono dane niwelacyjne z nowych kampanii pomiarowych. Następnie rozpoczęto włączanie danych niwelacyjnych z Republiki Czeskiej, Węgier, Słowenii, Polski i Słowacji. Sieć UELN-95 wyrównano krok po kroku jako sieć węzłową wysokości geopotencjalnych, nawiązaną do mareografu w Amsterdamie (Lang i Sacher, 1996). Wagi poszczególnych bloków sieci kontynentalnej ustalono na podstawie zależności:

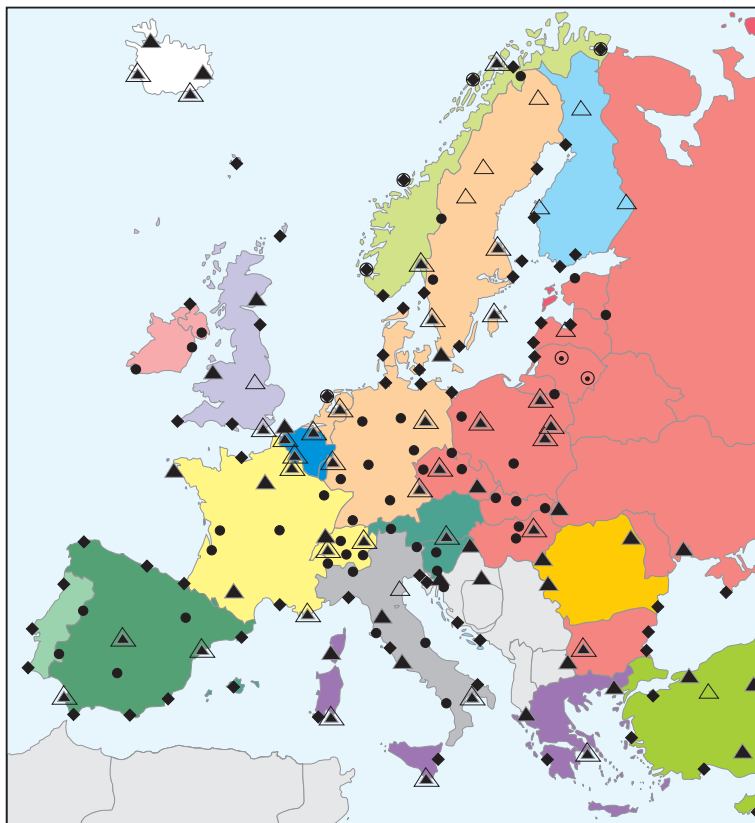
$$P_i = \frac{200}{\sigma_{\Delta h}^2 L_{km}} \quad (6)$$

gdzie $\sigma_{\Delta h}$ jest błędem średnim różnicy wysokości na 1 km otrzymanym z wyrównania poszczególnych bloków sieci.

W czerwcu 1998 roku na sieć UELN-95 składało się 4229 danych obserwacyjnych i 3042 punkty węzłowe (rys. 4). Prace nad udoskonaleniem sieci UELN-95 są kontynuowane. W szczególności musi być wkrótce rozwiązany problem właściwego nawiązania Wielkiej Brytanii i Skandynawii, gdyż kraje te są związane z kontynentalną siecią tylko poprzez pojedyncze linie niwelacyjne. W przypadku Wielkiej Brytanii jest możliwe wzmocnienie nawiązania poprzez wykorzystanie nawiązania niwelacyjnego między Francją a Wielką Brytanią, biegnącego poprzez Eurotunel. W przypadku Skandynawii włączenie do sieci krajów bałtyckich powinno doprowadzić do stabilizacji sieci UELN w tej części Europy. Dodatkowe rozszerzenie sieci UELN w kierunku Morza Czarnego jest jak najbardziej pożądane.

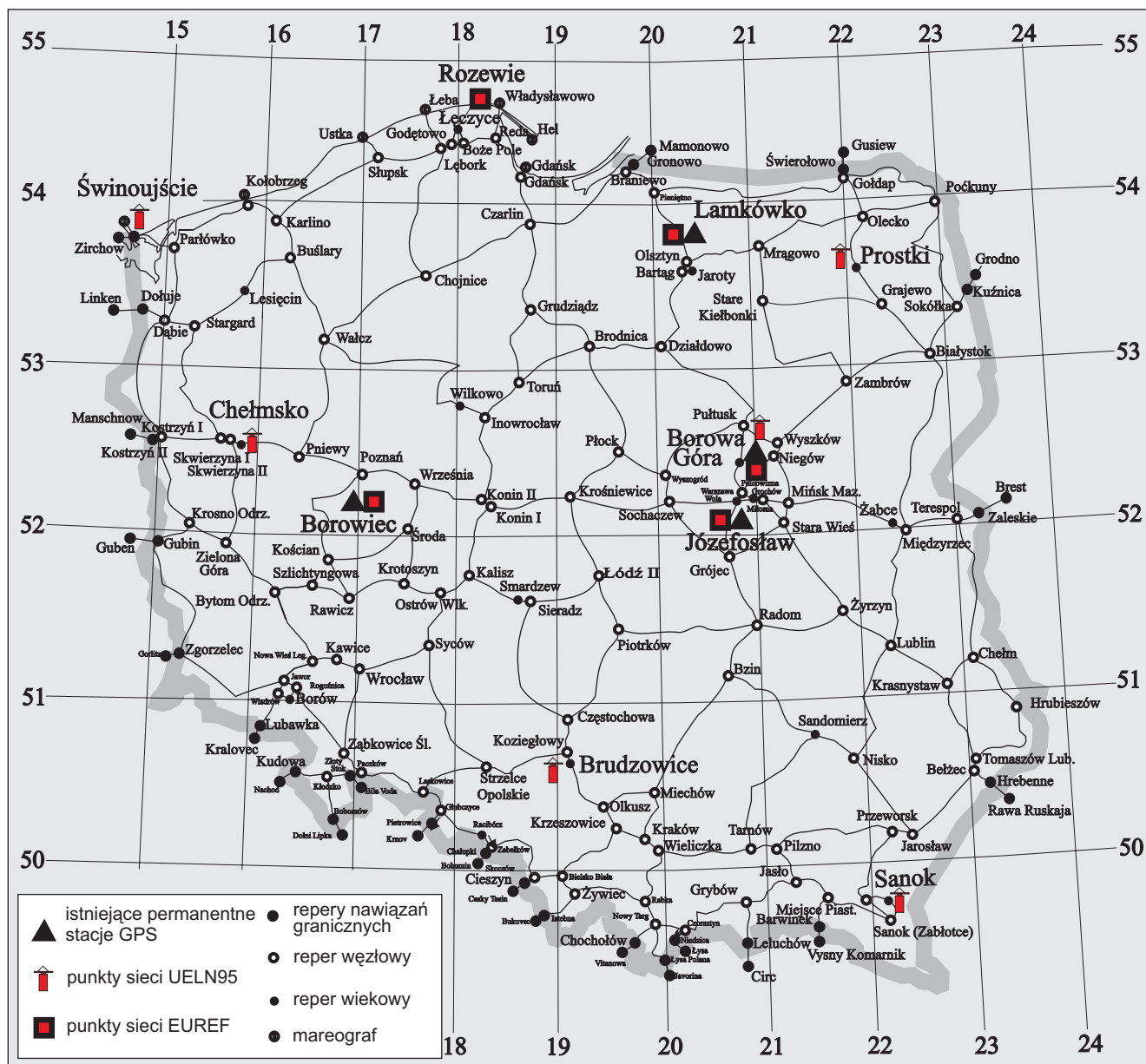


Rys. 4. Obecny stan sieci United Levelling Network (UELN-95)



- ▲ punkt EUREF
- △ stacja permanentna GPS – EUREF
- △ stacja permanentna GPS
- punkt węzłowy UELN i UPLN
- ⊙ stacja permanentna GPS – punkt węzłowy
- ◆ mareograf
- stacja permanentna GPS – mareograf UELN

Rys. 5. Sieć European Vertical Reference Network (EUVN)



Rys. 6. Polska część sieci European Vertical Reference Network (EUVN) i linie niwelacji precyzyjnej włączone do sieci UELN-95

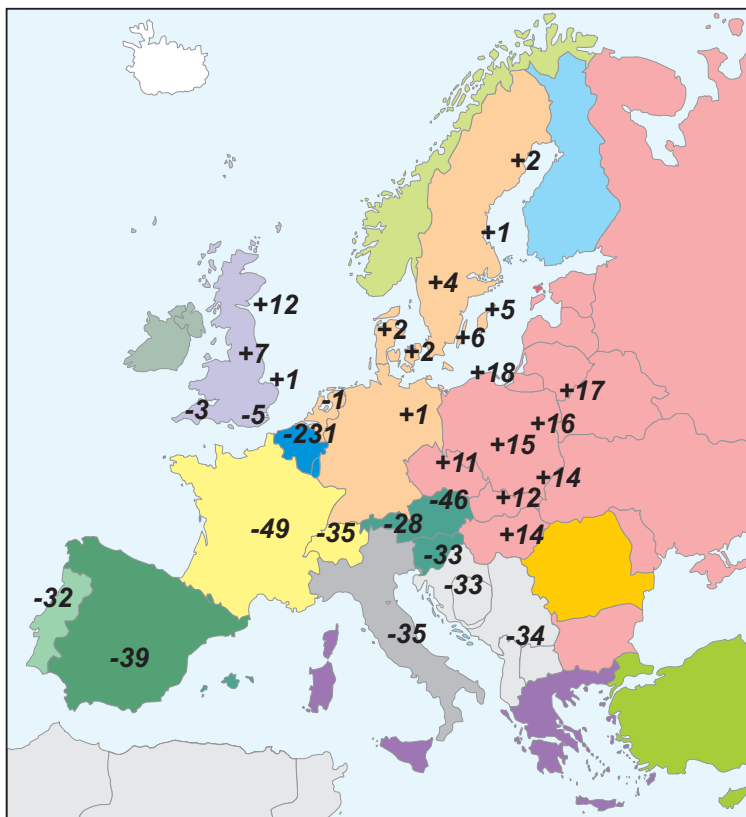
European Vertical GPS Reference Network (EUVN). Sieć UELN-95 umożliwiła ujednoczenie europejskich układów wysokościowych na poziomie kilkunastu centymetrów, natomiast głównym zadaniem sieci EUVN jest ujednoczenie układów wysokościowych na poziomie centymetrowym. W tym celu sieć EUVN połączono trzy europejskie sieci, a mianowicie: UELN, UPLN i EUREF.

Sieć EUVN składa się z 295 punktów. Tworzy ją 179 punktów sieci EUREF, 53 punkty węzłowe sieci UELN i UPLN oraz 63 stacje mareograficzne (rys. 5). Dla każdego punktu sieci EUVN zostały wyznaczone kartezjańskie współrzędne X, Y, Z w układzie ETRF89 oraz wysokości H z niwelacji, zazwyczaj w układzie wysokościowym UELN.

Kampanię GPS na punktach sieci EUVN przeprowadzono w dniach 21-29 maja 1997 roku. Wyniki opracowania kampanii zostały przedstawione na sympozjum Podkomisji EUREF w Bad Neuenahr-Ahrweiler w lipcu 1998 (Ineichen i inni, 1998).

Polska część sieci EUVN. Opracowanie projektu polskiej części sieci EUVN, realizacja kampanii GPS oraz opracowanie wyników zostało przeprowadzone przez Zakład Geodezji Planetarnej Centrum Badań Kosmicznych PAN na zamówienie Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii w ramach grantu PBZ-08-07 finansowanego przez KBN (Zieliński i inni, 1998).

Zgodnie z zaleceniami podanymi przez Podkomisję EUREF i wynikami wywiadu terenowego zdecydowano się włączyć do polskiej części sieci EUVN cztery istniejące permanentne stacje GPS (Borowiec, Józefosław, Borową Górę i Lamkówko), które są jednocześnie punktami sieci EUREF, oraz dodatkowy punkt sieci EUREF na Rozewiu. Punkt ten umożliwił powiązanie sieci EUVN ze stacją mareograficzną we Władysławowie. Dodatkowo do sieci EUVN włączono mareograf w Świnoujściu. Do sieci EUVN włączono również pięć reperów wiekowych sieci UPLN, a mianowicie: Borowa Góra, Prostki, Sanok, Brudzowice i Chełmsko (rys. 6).



Rys. 7. Średnie parametry transformacji układów lokalnych na układ UELN-95

Parametry transformacji między europejskimi układami wysokościowymi

Tabela 1 zawiera informacje (stan na czerwiec 1998 r.) o systemach wysokościowych, mareografach odniesienia i średnich różnicach między krajowymi układami wysokościowymi a wysokościami normalnymi sieci UELN-95. W zależności od posiadanych danych wyznaczenie parametrów podzielono na pięć sytuacji. Do przypadku pierwszego zaliczono kraje, które posiadają wspólne punkty wyrażone w układach krajowych i układzie UELN-95. Do tych państw zaliczamy Austrię, Bośnię/Hercegowinę, Chorwację, Niemcy, Danię, Holandię, Polskę, Słowenię. W drugiej grupie znalazły się te kraje, które posiadają punkty EUVN dowiązane do układów krajowych i układu UELN. Do państw tych zaliczamy: Belgię, Republikę Czeską, Węgry, Włochy, Portugalię, Słowację, Szwecję, Szwajcarię, Wielką Brytanię. W trzeciej grupie znalazły się Finlandia i Norwegia, które posiadają punkty wspólne w układzie UELN i EUVN, ale jak do tej pory nie dostarczyły odpowiednich danych do Centrum Obliczeniowego w Lipsku. W czwartej grupie są takie państwa, jak: Białoruś, Estonia, Litwa, Łotwa, Mołdawia, Rosja, Ukraina, które nie są członkami sieci UELN, ale należą tylko do regionalnej sieci UPLN. Dla tych państw przyjęto jeden wspólny parametr transformacji wynoszący + 15 cm. W ostatniej, piątej grupie znalazły się takie kraje, jak Grecja, Islandia, Irlandia, Macedonia, Turcja, Jugosławia. Państwa te są członkami sieci EUVN, ale nie posiadają punktów w układach UELN i UPLN. Dla tych państw nie wyznaczono żadnych parametrów transformacji. Obecnie brak

jakichkolwiek informacji o parametrach transformacji dla Albanii, gdyż kraj ten nie jest członkiem sieci EUVN, UELN, ani UPLN.

Rozkład średnich parametrów transformacji dla poszczególnych krajów pokazano na rys. 7. W tych przypadkach, gdy różnice pomiędzy sieciami były zbyt duże, aby opisać je jednym parametrem, wyznaczono trzy parametry transformacji.

W przypadku Polski występuje wyraźne nachylenie układu Kronsztadt 86 względem sieci UELN-95 w kierunku południkowym (patrz rys. 8). Dlatego też w celu przeliczania wysokości między układami powinna być zastosowana transformacja trzyparametrowa

$$H_{II} = H_I + a_1 - a_2 \times M_o \times (B - B_o) - a_3 \times N_o \times (L - L_o) \times \cos B \times \cos(B - B_o) \quad (7)$$

Tabela 1. Parametry transformacji (w cm) między siecią UELN-95 a krajowymi układami wysokościowymi. OH – wysokości ortometryczne, NOH – wysokości normalne ortometryczne, NH – wysokości normalne (Sacher, Ihde, Segeer, 1998)

Kraj	Mareograf	System wysokości	UELN – krajowy układ
Albania	Durres		
Austria	Triest	NOH	- 35
Belgia	Ostenda	OH	- 231
Białoruś	Kronsztadt	NH	+15
Bośnia/Hercegowina	Triest	NOH	- 34
Bulgaria	Kronsztadt	NH	+15
Chorwacja	Triest	NOH	- 33
Dania	10 duńskich mareografów	OH	+2
Estonia	Kronsztadt	NH	+15
Finlandia	Helsinki	OH	
Francja	Marsylia	NH	- 49
Grecja			
Hiszpania	Alicante	OH	- 39
Holandia	Amsterdam	OH	- 1
Islandia			
Irlandia	Malin Head	OH	
Litwa	Kronsztadt	NH	+15
Łotwa	Kronsztadt	NH	+15
Macedonia	Triest	OH	
Mołdawia	Kronsztadt	NH	+15
Niemcy	Amsterdam	NH	+1
Norwegia	Tregde	NOH	
Polska	Kronsztadt	NH	+16
Portugalia	Cascais	OH	- 32
Republika Czeska	Kronsztadt	NH	+11
Rumunia	1. Kronsztadt 2. Konstanca	NH	+15 0
Rosja	Kronsztadt	NH	+15
Słowacja	Kronsztadt	NH	+12
Słowenia	Triest	NOH	- 33
Szwajcaria	Marsylia	OH (NH)	- 35 - 17
Węgry	Kronsztadt	NH	+14
Włochy	Genua	OH	- 35

gdzie: H_i jest wysokością w krajowym układzie, H_{II} jest wysokością przetransformowaną do europejskiego układu UELN-95, a_1, a_2, a_3 są parametrami transformacji, M_0 jest południkowym promieniem krzywizny, N_0 jest normalnym promieniem krzywizny, a (B_0, L_0) są współrzędnymi środka transformacji (P_0).

Parametry te dla Polski wynoszą (Sacher M., Ihde J., Segeer H., 1998):

$a_1 = 0,159 \text{ m} \pm 0,001 \text{ m}$, $a_2 = -0,011'' \pm 0,001''$, $a_3 = 0$.
Współrzędne środka transformacji wynoszą: $B_0 = 52^\circ 15' 20,94''$,
 $L_0 = 19^\circ 10' 15,84''$.

Przeprowadzone do tej pory pomiary i obliczenia przyniosły efekt w postaci uzyskania jednolitej sieci kontynentalnej UELN-95 zarówno w Europie, jak i w Polsce. Sieć ta zrealizowana z dokładnością kilkunastu centymetrów dostarczyła wysokości dla tworzonych w Europie systemów geoinformacyjnych.

Siecią o możliwie najwyższej dokładności (1 cm lub mniej) będzie European Vertical System 2000 (EVS 2000). Przy realizacji tej sieci planuje się zastosowanie kinematycznego modelu i włączenie do wyrównania sieci wszystkich możliwych danych (GPS itd.).

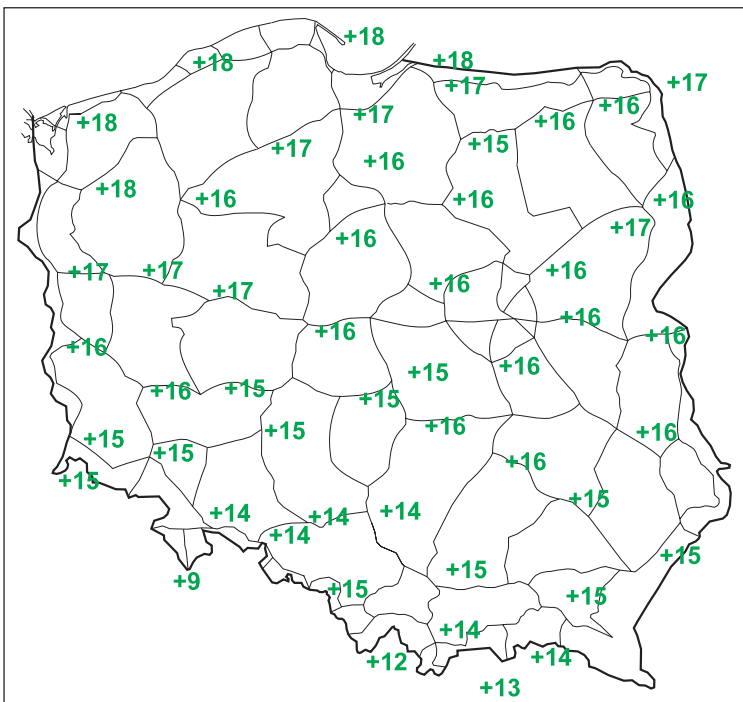
dr. hab. **Adam Łyszkowicz** jest pracownikiem Zakładu Geodezji Planetarnej Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie

Literatura:

Ineichen D., Gurtner W., Springer T., Engelhardt G., Luthardt J., Ihde J., 1998, *EUVN97 Combined GPS Solution*, Sympozjum EUREF, 10-12 czerwca, 1998, Bad Neuenahr-Ahrweiler, Niemcy, str. 19-36

Lang H., Sacher M., 1995, *Status and Results of the Adjustment and Enlargement of the United European Levelling Network 1995 (UELN-95)*, Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Astronomisch-Geodätisch Arbeiten, Nr 56, Monachium, str. 86-96

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



Rysunek 8. Różnice (w cm) między układem UELN-95 a układem Kronsztadt 86 na obszarze Polski

Łyszkowicz A., 1995, *Sprawozdanie techniczne z realizacji umowy nr 4/CBK/MGPIB/95 „Przetworzenie danych geodezyjnych polskiej sieci niwelacji precyzyjnej I klasy”*, Warszawa, grudzień 1995

Łyszkowicz A., 1996, *Conversion of Polish precise levelling network into the geopotential numbers*, Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Astronomisch-Geodätisch Arbeiten, Nr 57, Monachium, str. 179-181

Sacher M., Ihde J., Segeer H., 1998, *Preliminary Transformation Relations Between National European Height Systems and the United European Levelling Network (UELN)*, Artykuł prezentowany na posiedzeniu plenarnym CERCO, Oslo, wrzesień 1998

Zieliński J.B., Jaworski L., Świątek A., Zdunek R., 1998, *Report on the Analysis of the Polish EUVN Subnetwork*, Sympozjum EUREF, 10-12 czerwca, 1998, Bad Neuenahr-Ahrweiler, Niemcy, str. 118-128

Odbiorniki GPS

MOŻLIWOŚĆ
POKAZU U KLIENTA



Seria SCORPIO 6000

- ◆ odbiorniki jedno- i dwuczęstotliwościowe
- ◆ systemy do pomiarów w czasie rzeczywistym (zasięg do 40 km)
- ◆ dokładność $\pm(5\text{mm}+1\text{ppm})$
- ◆ łatwa rozbudowa systemu



TOPCON GP-SX1

- ◆ jednoczęstotliwościowy 12 kanałowy odbiornik GPS
- ◆ dokładność $\pm(5\text{mm} + 1 \text{ppm})$
- ◆ prosta obsługa
- ◆ waga poniżej 1 kg
- ◆ wodoszczelność IPX-6
- ◆ dostępny także w wersji RTK

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

01-229 WARSZAWA, ul. Wolska 69
tel/fax: (0-22) 632 91 40
<http://www.topcon.com.pl>

Pełne szkolenie, sprzedaż ratalna.

Serwis gwarancyjny i pogwarancyjny.