

KRZYSZTOF MAKOLSKI, JANUSZ KUCHMISTER\*

## WYZNACZANIE OSIADAŃ OBIEKTÓW BUDOWLANYCH UNIwersYTETU PRZYRODNICZEGO WE WROCŁAWIU

### A DETERMINATION OF SUBSIDENCE OF BUILDING OBJECTS BELONGED TO THE WROCŁAW UNIVERSITY

#### Streszczenie

W artykule zaprezentowano wyniki prac pomiarowych prowadzonych na dwóch niwelacyjnych sieciach kontrolno-pomiarowych „Plac Grunwaldzki” i „Biskupin”, założonych w celu kontroli przemieszczeń budynków. Rozpoczęcie prac pomiarowych w 2006 r. wynikało ze stwierdzenia licznych spękań ścian budynków zlokalizowanych w strefie pradoliny Odry. Przyjęto założenie, że głównymi przyczynami ich wystąpienia była powódź z 1997 r. oraz prowadzone prace ziemne związane z wykonaniem głębokich szerokoprzestrzennych wykopów pod nowe obiekty budowlane.

*Słowa kluczowe: przemieszczenia pionowe, niwelacja precyzyjna, niwelatory kodowe*

#### Abstract

In the report there were presented the results of surveys realized in two leveling measurement and control networks – "Grunwaldzki Square" and "Biskupin" – established to control dislocations of buildings. The beginning of surveys in 2006 resulted from the occurrence of many wall cracks in buildings, that are situated in the Odder prevailed. The localization of objects and the time emergence of cracks allow to suppose that main reasons for their occurrence was the flood in 1997 and the conducted groundwork's associated with the realization of deep and wide spatial excavations for new building objects.

*Keywords: vertical displacements, precise leveling, code levelers*

\* Dr inż. Krzysztof Mąkowski, dr inż. Janusz Kuchmister, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.

## 1. Wstęp

Geodezyjne pomiary przemieszczeń charakteryzują się wysoką dokładnością, krótkim czasem realizacji, występowaniem komplikacji wynikających z potrzeby realizacji prac w trudnych warunkach terenowych (ruch uliczny kołowy i pieszy, zmienne warunki oświetlenia). Dlatego też powinny być realizowane z zastosowaniem sprawdzonego sprzętu pomiarowego o wysokiej precyzji pomiaru. Poprawne wyznaczenie przemieszczeń zagrożonych obiektów budowlanych jest niezbędne w celu ustalania zmian w konstrukcji obiektów oraz opracowania zabezpieczeń pozwalających na uniknięcie katastrofy budowlanej.

Prace geodezyjne podjęto po stwierdzeniu licznych spękań ścian obiektów Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu zlokalizowanych na osiedlu Biskupin oraz w rejonie placu Grunwaldzkiego, w strefie pradoliny Odry. Biorąc pod uwagę lokalizację obiektów oraz czas powstawania spękań, założono, że głównymi przyczynami ich wystąpienia były powódź z 1997 r. oraz prowadzenie prac ziemnych związanych z wykonaniem głębokich szerokoprzestrzennych wykopów licznych nowych obiektów budowlanych.

## 2. Charakterystyka sieci pomiarowych

Ponieważ objęte badaniami obiekty budowlane zlokalizowane są w dwóch rejonach miasta Wrocławia: w rejonie placu Grunwaldzkiego oraz na osiedlu Biskupin, do określenia przemieszczeń pionowych tych obiektów założono dwie niezależne sieci obserwacyjne. W rejonie placu Grunwaldzkiego szczególną uwagę zwrócono na nowy budynek Centrum Dydaktycznego, który objęto większą liczbą cykli pomiarowych. Pomiary wykonywane są przez studentów III roku kierunku Geodezja i Kartografia w ramach ćwiczeń terenowych pod opieką autorów.

## 3. Sieć pomiarowa – plac Grunwaldzki

### 3.1. Opis konstrukcji sieci oraz realizacji pomiarów badawczych

Pomiarami realizowanymi w sieci kontrolnej objęto zarówno obiekty, dla których ślady uszkodzeń konstrukcji były widoczne, jak i obiekty znajdujące się w rejonie badań. Pierwsze to: biblioteka, budynek IK, DS „Talizman”, DS „Labirynt” oraz nowo wybudowany budynek Centrum Dydaktycznego (rys. 1). Pozostałe to: gmach główny, budynek weterynarii, budynek geodezji, DS „Centaur” oraz DS „Zodiak”.

Sieć badawcza składa się z 110 reperów kontrolowanych oraz 23 reperów państwowych stanowiących odniesienie sieci. Pierwszy pomiar zrealizowano w terminie czerwiec–październik 2006 r., a drugi w terminie czerwiec–październik 2007 r. W 2006 r. pomiary realizowano z zastosowaniem czterech sprawdzonych niwelatorów Ni007 oraz czterech kompletów łąt inwarowych. Pomierzono łącznie 246 odcinków niwelacyjnych liczących od 1 do 8 stanowisk (rys. 1). W celu ustalenia wstępnej oceny dokładności pomiarów wyznaczono średni błąd dla pojedynczego stanowiska, korzystając z wzoru

$$\mu_o = \pm \sqrt{\frac{1}{M} \sum \left( \frac{\omega\omega}{n} \right)} \quad (1)$$

gdzie:

- $\omega$  – zamknięcie oczek,
- $n$  – liczba stanowisk w oczku,
- $M$  – liczba oczek.

Wartość błędu średniego pojedynczego stanowiska dla badanej sieci obliczonego na podstawie zamknięć oczek  $\mu_0 = \pm 0,25$  mm. Na podstawie wyrównania swobodnego, nawiązanego jednopunktowo do repera W-284, uzyskano wartości błędów średnich reperów w zakresie:  $m_H = \pm 0,16$  mm– $\pm 0,55$  mm, średnio  $\pm 0,42$  mm.

W 2007 roku pomiary zrealizowano niwelatorami optycznymi Ni007 i precyzyjnym niwelatorem kodowym DNA03. Uzyskano następujące wartości średnich błędów pojedynczego stanowiska: niwelatory optyczne Ni007 –  $\mu_0 = \pm 0,29$  mm, niwelator DNA03 –  $\mu_0 = \pm 0,24$  mm (średnia:  $\mu_0 = \pm 0,28$  mm). Na podstawie wyrównania swobodnego, uzyskano błędy średnie reperów w zakresie:  $m_H = \pm 0,41$  mm– $\pm 0,71$  mm.

### 3.2. Wyznaczenie przemieszczeń pionowych reperów kontrolowanych

Wybór stałych repów odniesienia zrealizowano z zastosowaniem następujących metod: metody transformacji poszukiwawczych [3], metod estymacji odpornych: Hampela, Hubera [2, 7], metody testu globalnego [6] oraz dla ostatecznej weryfikacji wyboru stałości reperów użyto kryterium Hermanowskiego [3]

$$(\Delta h' - \Delta h)_{\text{MAX}} \leq 1,5 * \mu_0 \sqrt{n + n'} \quad (2)$$

gdzie:

- $\Delta h$  – różnice wysokości pomiędzy reperami z pomiaru wyjściowego,
- $\Delta h'$  – różnice wysokości pomiędzy reperami z pomiaru aktualnego,
- $\mu_0$  – średni błąd pojedynczego spostrzeżenia przed wyrównaniem z pomiarów wyjściowego i aktualnego,
- $n$  – liczba stanowisk w ciągu łączącym repery odniesienia przy pomiarze wyjściowym,
- $n'$  – liczba stanowisk w ciągu łączącym repery odniesienia przy pomiarze aktualnym.

Biorąc pod uwagę wyniki uzyskane z zastosowania wszystkich metod, przyjęto ostatecznie następujące stałe repery odniesienia: W-284, W-469, W-1470 i W-1471 [1].

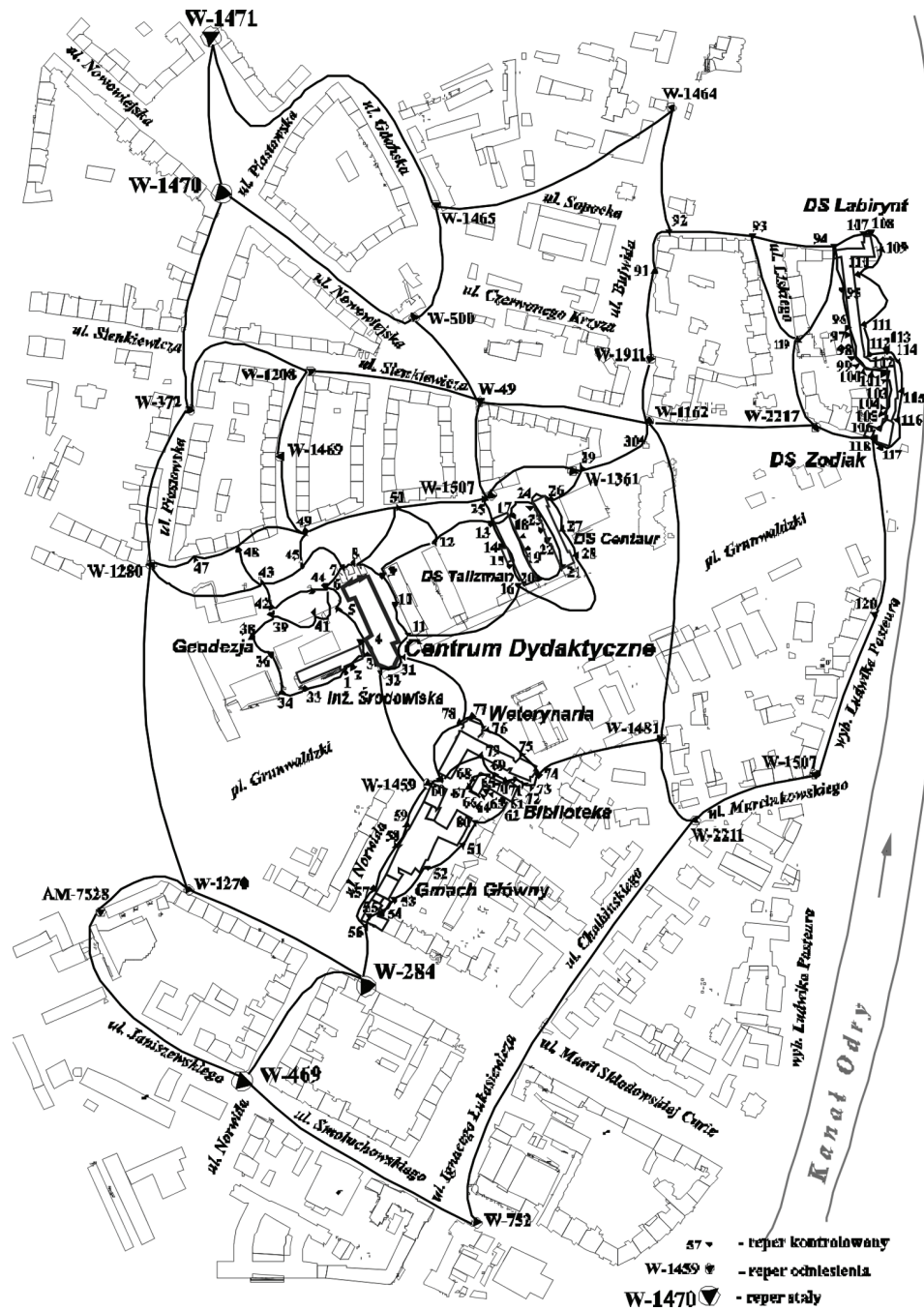
Ostateczne wyrównanie sieci przeprowadzono przy dowiązaniu do wyznaczonych punktów stałych, przyjmując do wyrównania: w 2006 r. średni błąd pojedynczego spostrzeżenia przed wyrównaniem  $\mu_0 = \pm 0,21$  mm, a dla 2007 r.  $\mu_0 = \pm 0,30$  mm. Błędy wyznaczonych wysokości reperów sieci mieściły się dla 2006 r. w granicach:  $\pm 0,30$  mm– $\pm 0,56$  mm, a dla 2007 r. w granicach:  $\pm 0,31$  mm– $\pm 0,62$  mm. Następnie obliczono przemieszczenia reperów kontrolowanych, otrzymując średnie błędy przemieszczeń w granicach  $\pm 0,44$  mm– $\pm 0,84$  mm.

W celu ustalenia, czy wyznaczone przemieszczenia pionowe reperów kontrolowanych mają charakter przemieszczeń istotnych, stosuje się kryterium

$$P = [p \geq t_{\alpha, h} \times m_p] = \alpha \quad (3)$$

gdzie:

- $p$  – przemieszczenie pionowe repera,
- $m_p$  – błąd średni przemieszczenia,
- $t_{\alpha, h}$  – graniczna wartość rozkładu  $t$ -Studenta przy  $\alpha$  i  $h$  stopniach swobody.



Rys. 1. Szkic wysokościowej sieci kontrolno-pomiarowej – plac Grunwaldzki  
 Fig. 1. Draft of net height control-measuring – Grunwaldzki Square

Przyjmując wartość  $\alpha = 95\%$ , otrzymujemy  $t_{\alpha,h} \approx 2$ , co oznacza, że za istotne przyjmujemy przemieszczenie, którego wartość jest co najmniej dwukrotnie większa od jego błędu.

Biorąc pod uwagę powyższe kryterium, stwierdza się przemieszczenia istotne dla następujących reperów:

- osiadania reperów zlokalizowanych na budynku DS „Labirynt” oraz budynkach sąsiednich przy ul. Liskiego i Bujwida. Maksymalne wartości osiadań mające charakter przemieszczeń istotnych zarejestrowano dla reperów: 104 (–2,38 mm), 111 (–2,18 mm), 110 (–1,90 mm), 100 (–1,75 mm), 92 (–1,57 mm), W-1911 (–1,54 mm) i 91 (–1,42 mm),
- osiadania istotne reperów w rejonie ul. Sienkiewicza: W-1465 (–2,32 mm), W-500 (–2,23 mm), W-49 (–1,62 mm), W-1208 (–1,09 mm),
- osiadania istotne reperów w rejonie ul. Grunwaldzkiej: 18 (–1,83 mm), 49 (–1,67 mm), 9 (–1,65 mm), 13 (–1,59 mm), 20 (–1,38 mm), 25 (–1,04 mm), 12 (1,11 mm),
- wypiętrzania reperów umieszczonych na Gmachu Głównym oraz przylegającym budynku weterynarii: W-1459 (+2,19 mm), 59 (+1,71 mm), 78 (+1,55 mm), 60 (+1,46 mm), 77 (+1,30 mm), 58 (+1,19 mm), 67 (+1,06 mm).

Osiadania reperów w rejonie DS „Labirynt” należy tłumaczyć bliskością koryta „Starej Odry”, natomiast osiadania reperów w rejonie ul. Sienkiewicza i Grunwaldzkiej znacznym ruchem kołowym oraz pracami modernizacyjnymi nawierzchni ulicy.

Wypiętrzania się reperów w rejonie ul. Norwida, trudniejsze do interpretacji, mogą być spowodowane pracami ziemnymi realizowanymi na obiekcie Grunwaldzki Center, powodującymi odprężanie się górotworu w spągu oraz otoczeniu wykopu.

Stwierdzone osiadania i wypiętrzania reperów, biorąc pod uwagę ich wielkości, nie powinny stanowić zagrożenia dla budynków Uniwersytetu Przyrodniczego.

#### 4. Sieć pomiarowa – Biskupin

##### 4.1. Opis konstrukcji sieci oraz realizacji pomiarów badawczych

Pomiarami niwelacji precyzyjnej objęto trzy obiekty budowlane Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu zlokalizowane w dzielnicy Biskupin: halę sportową i budynek administracji, dla których ślady uszkodzenia konstrukcji były widoczne, oraz wybudowany w 2005 r. basen. Pomiarami objęto 27 reperów kontrolowanych oraz sześć reperów (jeden państwowy) stanowiących sieć odniesienia.

Do chwili obecnej wykonano dwa pomiary sieci kontrolno-pomiarowej, wszystkie zrealizowano na przełomie kwietnia i maja 2006 i 2007 r. Corocznie mierzono łącznie 47 odcinków niwelacyjnych, liczących od 1 do 7 stanowisk.

Pomiary niwelacyjne realizowano tak jak w sieci „Plac Grunwaldzki”. Otrzymano następujące wyniki: w 2006 r. –  $\mu_0 = \pm 0,18$  mm,  $m_H = \pm 0,18$  mm– $\pm 0,39$  mm, średnio  $\pm 0,32$  mm, a w 2007 r. –  $\mu_0 = \pm 0,22$  mm (Ni007),  $\mu_0 = \pm 0,28$  mm (DNA03), średnio  $\mu_0 = \pm 0,25$  mm,  $m_H = \pm 0,30$  mm– $\pm 0,42$  mm.

##### 4.2. Badania stałości reperów odniesienia

W konstrukcji sieci kontrolno-pomiarowej założono 6 reperów odniesienia, z których 5 zastabilizowano podczas zakładania osnowy wysokościowej, natomiast 1 to reper państwowy. Wybór stałych reperów odniesienia zrealizowano z zastosowaniem: metody transfor-

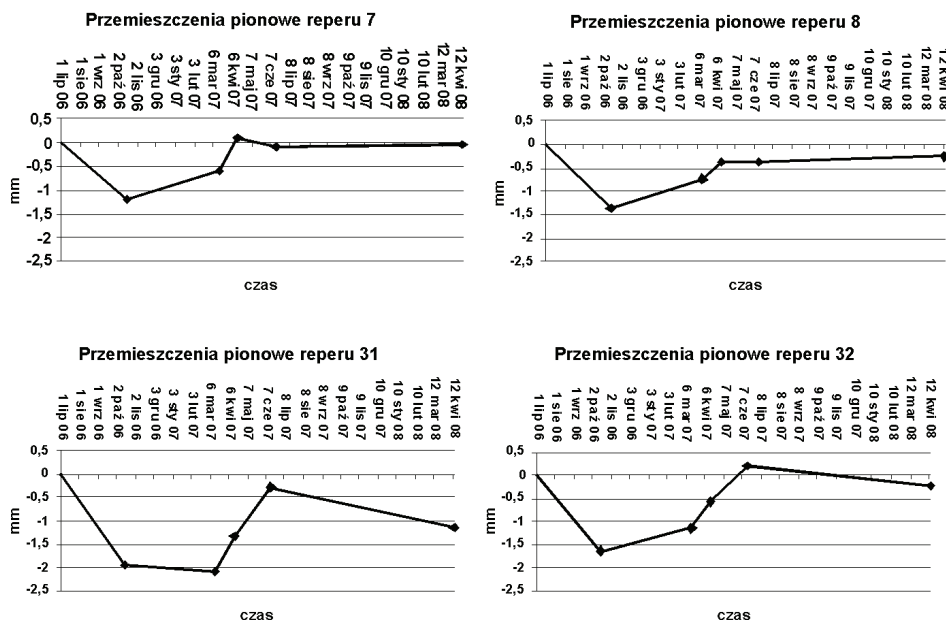
macji poszukiwawczych [3] oraz dzięki wykorzystaniu kryterium Hermanowskiego [3]. W obu przypadkach stwierdzono, że w latach 2006–2008 tylko jeden reper odniesienia nie zachował stałości.

#### 4.3. Wyrównanie sieci kontrolno-pomiarowej, wyznaczenie przemieszczeń pionowych reperów kontrolowanych

Ostateczne wyrównanie sieci przeprowadzono przy dowiązaniu do wyznaczonych punktów stałych, przyjmując do obliczeń w 2006 r. średni błąd pojedynczego spostrzeżenia przed wyrównaniem  $\mu_0 = \pm 0,18$  mm, dla 2007 r.  $\mu_0 = \pm 0,25$  mm, a dla 2008 r.  $\mu_0 = \pm 0,30$  mm. Błędy wyznaczonych wysokości reperów sieci mieściły się w granicach: dla 2006 r.  $-\pm 0,28$  mm– $\pm 0,46$  mm, dla 2007 r.  $-\pm 0,31$  mm– $\pm 0,52$  mm, a dla 2008 r.  $-\pm 0,33$  mm– $\pm 0,58$  mm. Następnie obliczono przemieszczenia reperów kontrolowanych w okresie 2006–2008 r., otrzymując średnie błędy przemieszczeń w granicach  $\pm 0,34$  mm– $\pm 0,54$  mm. Maksymalne przemieszczenia pionowe zarejestrowano dla reperów: 7 – 0,90 mm, 15 – 0,66 mm, 14 – 0,59 mm, które nie są istotne.

### 5. Badania przemieszczeń pionowych budynku Centrum Dydaktycznego

Budynek nowego Centrum Dydaktycznego Uniwersytetu Przyrodniczego oddano do eksploatacji w październiku 2005 r., a już w czerwcu 2006 r. zauważono pierwsze pęknięcia ścian obiektu. Do chwili obecnej wykonano łącznie sześć pomiarów kontrolnych,



Rys. 2. Wykresy przemieszczeń pionowych reperów – budynek Centrum Dydaktycznego  
Fig. 2. Diagrams of vertical translocations the reper – the building of Didactic Center

które zrealizowano w następujących terminach: pierwszy – w połowie czerwca 2006 r., drugi – w połowie października 2006 r., trzeci – w marcu 2007 r., czwarty – w kwietniu 2007 r., piąty – w czerwcu 2007 r., szósty – w kwietniu 2008 r.

Duża częstotliwość pomiarów wynikała z harmonogramu prac budowlanych realizowanych na obiekcie Grunwaldzki Center. Trzeci pomiar – początkowa faza prac ziemnych, czwarty – realizacja prac ziemnych, piąty – wykonanie i ustalenie się zwierciadła wody, szósty – wykonanie fundamentów i częściowe „wycofywanie” odwadniania terenu.

Pomiary kontrolne, dowiązane do stałych reperów odniesienia W-284, W-1469, wykonywano niwelatorem kodowym DNA03. Wartości przemieszczeń pionowych reperów usytuowanych na budynku Centrum Dydaktycznego przedstawiono na rys. 2.

## 6. Podsumowanie

Realizowane w omawianych sieciach kontrolno-pomiarowych prace mające na celu zarejestrowanie przemieszczeń pionowych obiektów budowlanych Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu dostarczają cennych informacji dotyczących zmian zachodzących na tych obiektach. Wyznaczone w toku prowadzonych prac zmiany w pionowym usytuowaniu badanych obiektów, chociaż w wielu wypadkach istotne z punktu widzenia dokładności wykonania pomiarów, nie powinny stanowić zagrożenia dla ich konstrukcji. Należy jednak zaznaczyć, że powódź, jaka zdarzyła się w 1997 r., spowodowała trwałe zmiany w strukturach podłoża, które są jeszcze aktywne (np. miejsce w rejonie ul. Traugutta [5]).

Jednak ostateczne wnioski dotyczące bezpieczeństwa obiektów budowlanych objętych badaniami powinny być przedstawione przez odpowiednich ekspertów.

## Literatura

- [1] Bunikowski M., *Ocena stałości układu odniesienia pomiaru osiadań budynków na obszarach o dużym wpływie czynników zewnętrznych*, praca magisterska, Instytut Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 2007, 62, mps.
- [2] Kamiński W., Wiśniewski Z., *Analiza wybranych, odpornych na błędy grube, metod wyrównania obserwacji geodezyjnych*, cz. II, *Analiza*, Geodezja i Kartografia XLI, 1992, 3-4.
- [3] Lazzarini T., *Geodezyjne pomiary przemieszczeń budowli i ich otoczenia*, Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa 1977.
- [4] Mąkowski K., Kuchmister J., *Introducing precise levelling for stability researches in buildings situated in the neighbourhood of areas of intensive*, *Reports on geodesy* 1 (82), 2007, 179-186.
- [5] Muszyński Z., Mąkowski K., Osada E., *Zastosowanie metod estymacji odpornej w geodezyjnych pomiarach pionowych przemieszczeń obiektów budowlanych*, *Scientiarum Polonorum ACTA Geodesian et Descriptio Terrarium* 4 (1), 2005.
- [6] Pelzer H., *Geodatische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung*, Konrad Wittwer, Stuttgart 1980.
- [7] Osada E., *Geodezja*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002.
- [8] Wolski B., *Pomiary geodezyjne w geotechnice*, Politechnika Krakowska, Kraków 2001.