

Badanie przemieszczeń i deformacji komory wlotowej w Elektrowni Wodnej „Żarnowiec” pod wpływem opróżniania zbiornika górnego

POMIARY TO DOPIERO POCZĄTEK

Geodeta nie musi ograniczać się do wyznaczania przemieszczeń punktów i reperów zastabilizowanych na budowli, często bowiem potrafi także udzielić odpowiedzi na pytanie, jak przemieściła się i odkształciła cała budowla lub jej część.

JERZY JANUSZ,
WOJCIECH JANUSZ

Zakład Geodezji Stosowanej Instytutu Geodezji i Kartografii prowadzi od roku 2001 pomiary przemieszczeń i odkształceń obiektów największej w Polsce szczytowo-pompowej Elektrowni Wodnej w Żarnowcu. W zakres prac wchodzi wyznaczenie w odstępach rocznych pionowych przemieszczeń około 860 reperów i poziomych przemieszczeń 36 słupów obserwacyjnych (z urządzeniami do mechanicznego centrowania tachimetrów elektronicznych i reflektorów dalmierzowych). Przemieszczenia te wyznaczone są przy napełnionym zbiorniku górnym elektrowni. W odstępach miesięcznych mierzone są też na kilkunastu stanowiskach zmiany nachylenia (przy użyciu skonstruowanego w IGiK pochyłomierza elektronicznego PN31) i przemiesz-

czenia względne w miejscach dylatacji (przy użyciu szczelinomierza XYZ).

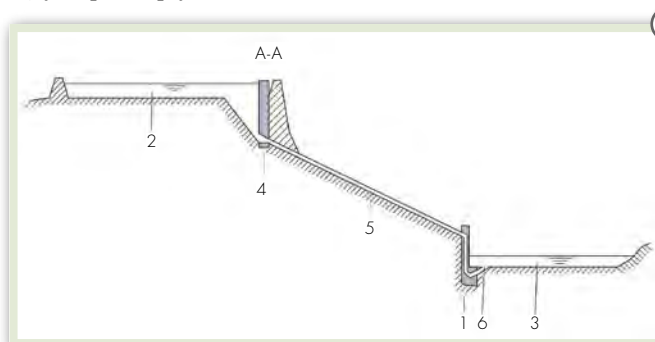
● PRZEMIESZCZENIA OPRÓŻNIANEGO ZBIORNIKA

Odrębnym zadaniem Zakładu Geodezji Stosowanej, mającym charakter badawczo-wdrożeniowy, jest wyznaczenie pionowych przemieszczeń reperów i poziomych przemieszczeń punktów (zlokalizowanych na obwałowaniu zbiornika górnego, na komorze wlotowej i na naturalnej skarpie graniczącej z obwałowaniem) zachodzących pod wpływem opróżniania zbiornika, tj. pod wpływem zmian obciążenia budowli i podłoża, zawierających się w różnych jego miejscach w granicach od 1,5 do 3,0 kG/cm².

Podczas pracy elektrowni jej zbiornik górny jest codziennie do wysokości rzędu 123-124 m n.p.m. napełniany wodą, której poziom jest następnie obniżany o kilkanaście metrów, co odpowiada zmniejszaniu objętości wody o blisko 14 mln m³. Wywołuje to cykliczne (codzienne) przemieszczenia i deformacje obwałowania i dna zbiornika oraz komory wlotowej i podłoża na terenie otaczającym zbiornik (Janusz J., 2002), (Janusz J., Janusz W., 2004). W niniejszej pracy przedstawiamy jedynie wyniki badań komory wlotowej, bowiem omówienie wyników pomiarów wszystkich tych obiektów badań przekracza ramy jednego artykułu.

● POMIARY PRZEMIESZCZEŃ KOMORY WLOTOWEJ

Elektrownia pokazana jest na rysunku 1, a jej zasadnicze obiekty oznaczone są na przekroju podłużnym na rysunku 2: siłownia (1), zbiornik górny (2), naturalny zbiornik dolny (3), komora wlotowa (4), rurociągi ciśnieniowe (5), kanał odpływowy (6). Komora wlotowa pokazana jest na rysunku 3, a jej przekroje widoczne są na rysunku 4. Jest to budowla żelbetowa o wysokości rzędu 37 m, której podstawa ma wymiary blisko 30 x 80 m, zaś górna powierzchnia – 20 x 75 m. Kilka metrów nad podstawą tej budowli (na poziomie 92 m n.p.m.) znajduje się w niej galeria drenażowo-kontro-



Ina (pokazana schematycznie na rysunku 4 w przekrojach A-A, C-C). W galerii tej zastabilizowano 16 reperów o numerach 4405-4419 (rys. 4, przekrój A-A). Na górnej powierzchni budowli na poziomie 127 m n.p.m. znajduje się 7 reperów o numerach 4502-4508 (rys. 4, przekrój B-B). W narożach górnej powierzchni znajdują się 4 stanowiska lustra dalmierczego o numerach 101-104, służące do wyznaczania ich przemieszczeń poziomych (rys. 4, przekrój B-B).



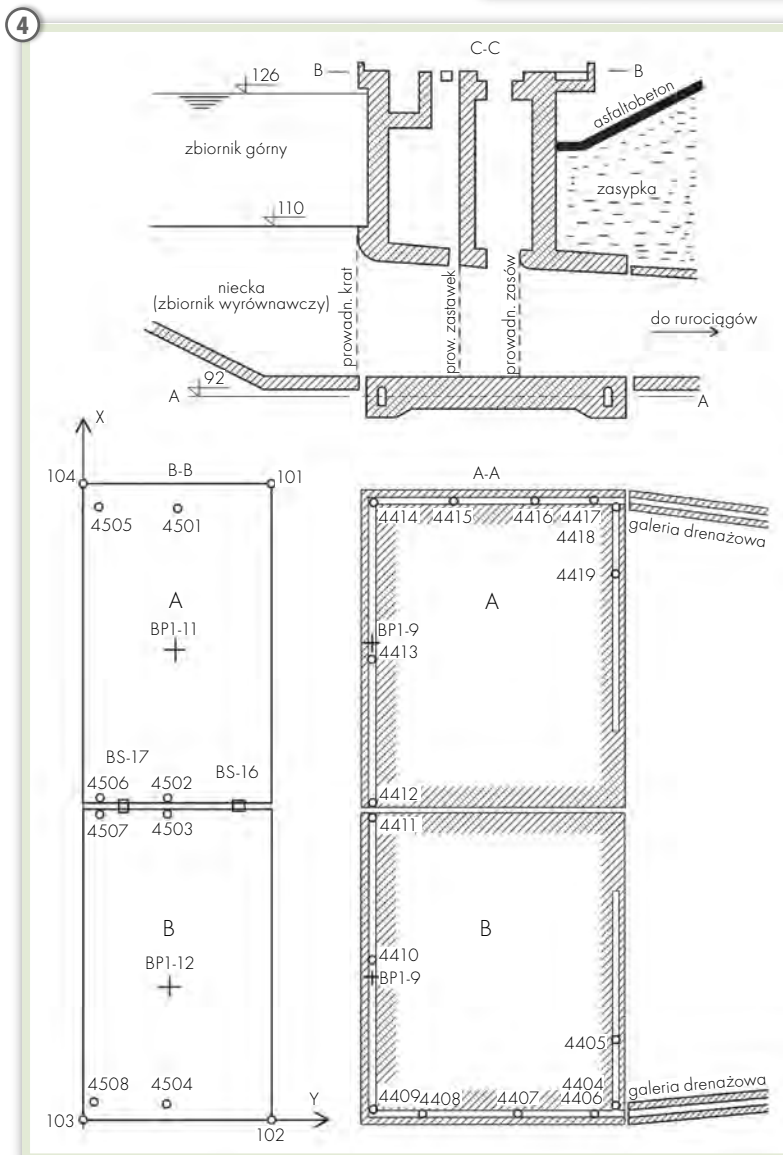
Przemieszczenia pionowe dH reperów wyznaczono w sieci kontrolnej z błędem standardowym $m_{dH} = 0,8$ mm. Można oszacować, że różnice wzajemnych przemieszczeń reperów na górnej powierzchni wyznaczono z błędem standardowym rzędu 0,1 mm, zaś różnice wzajemnych przemieszczeń reperów w galerii (w jednym ciągu) wyznaczono z błędem standardowym rzędu 0,15 mm. Składowe d_x przemieszczeń poziomych wyznaczono z błędem standardowym $m_{d_x} = 0,8$ mm, zaś składowe d_y z błędem standardowym $m_{d_y} = 0,4$ mm.

TAB. 1. PRZEMIESZCZENIA DYNAMICZNE PUNKTÓW I REPERÓW W ROKU 2005

Na górnej powierzchni			W galerii drenażowo-kontrolnej	
Nr reperu	dH [mm]		Nr reperu	dH [mm]
4502	20,66		4404	14,67
4503	20,27		4405	15,18
4504	20,43		4406	14,89
4505	22,28		4407	17,53
4506	23,06		4408	20,09
4507	23,10		4409	21,82
4508	22,49		4410	22,70
			4411	22,96
			4412	22,92
			4413	22,42
Nr punktu	d_x [mm]	d_y [mm]	4414	21,53
101	-1,1	8,4	4415	19,54
102	-2,2	7,7	4416	16,82
103	-1,3	8,5	4417	14,60
104	-2,0	7,6	4418	14,39
			4419	14,97

W celu wyznaczenia pionowych przemieszczeń reperów wykonuje się (przy napełnionym, a następnie opróżnionym zbiorniku) pomiar sieci niwelacji precyzyjnej o łącznej długości ciągów rzędu 10 km, odniesionej do 12 reperów stałych a'priori. W celu wyznaczenia przemieszczeń poziomych w analogicznych warunkach wykonuje się pomiar sieci liniowo-kątowej zawierającej 36 punktów (Janusz J., Janusz W., 2004).

W latach 2003-05 trzykrotnie wykonano wyznaczenie przemieszczeń reperów i punktów zastabilizowanych w komorze wlotowej następujących pod wpływem opróżnienia zbiornika (od poziomu 124 m n.p.m. do 95 m n.p.m.). W wyniku wyznaczenia z roku 2005 uzyskano przemieszczenia pionowe dH i przemieszczenia poziome d_x , d_y zestawione w tabeli 1.



• DODATKOWE ANALIZY

Wyznaczone przemieszczenia pionowe dH reperów, traktowane dalej jako pseudoobserwacje, poddano dodatkowej analizie, mającej na celu obliczenie przemieszczeń i pionowych deformacji górnej powierzchni i galerii w budowli wlotowej. Istotnym celem tej analizy jest odejście od ograniczania się do wyznaczenia przemieszczeń punktów i reperów zastabilizowanych na budowli i udzielenie odpowiedzi na pytanie, co się stało z całą budowlą lub jej częściami pod wpływem zaistniałej zmiany obciążenia wodą. W tym celu przemieszczenia dH poddano ponownym estymacjom, służącym do obliczenia parametrów wyaprosymowanych płaszczyzn przemieszczeń oraz pionowych deformacji $-v_{dH}$ górnej powierzchni i galerii w miejscach reperów.

TAB. 2. OBLICZENIE PARAMETRÓW PRZEMIESZCZEŃ I DEFORMACJI GÓRNEJ POWIERZCHNI BUDOWLI

Równania poprawek do wyznaczenia parametrów przemieszczeń					
Nr reperu	-x	-y	+l	=	v_{dH}
	[m]	[m]		[mm]	[mm]
4502	0,00	0,00	1,00	20,66	-0,27
4503	0,00	0,00	1,00	20,27	0,43
4504	36,40	0,80	1,00	20,43	-0,33
4505	-35,00	10,00	1,00	22,28	0,12
4506	0,00	10,00	1,00	23,06	0,16
4507	0,00	10,00	1,00	23,10	-0,37
4508	36,40	10,00	1,00	22,49	0,25
	$d\varphi_x$ [mm/m]	$d\varphi_y$ [mm/m]	dH_0 [mm]	$m_0 = 0,39$ mm	
	0,000	0,234	20,390	$d\varphi = 0,234$ mm/m, $\alpha = 99,9^\circ$	
	$\pm 0,007$	$\pm 0,032$	$\pm 0,245$	$\pm 0,033$	$\pm 1,9$

Sposób obliczeń omówiony jest w opracowaniach (Janusz J., Janusz W., 2004) oraz (Janusz W., 2005). Do przeprowadzenia takiej analizy niezbędne było wyznaczenie współrzędnych x, y informujących o rozmieszczeniu reperów.

W tabeli 2 zawarte jest obliczenie parametrów zmiany nachylenia $d\varphi_x$, $d\varphi_y$ górnej powierzchni oraz pionowego przemieszczenia dH_0 punktu na górnej powierzchni budowli wlotowej o współrzędnych $x = y = 0$. Na podstawie tych danych obliczono całkowitą wartość zmiany nachylenia $d\varphi$ i azymut kierunku zmiany nachylenia α . Na podstawie pionowych deformacji $-v_{dH}$ obliczono wartość błędu m_0 charakteryzującego stopień pionowego zdeformowania górnej powierzchni budowli.

Widoczne jest, że środek górnej powierzchni komory pod wpływem opróżnienia zbiornika uległ uniesieniu o 20,4 mm, zaś cała powierzchnia nachyliła się o 0,23 mm/m (146°) ze zwrotem na zewnątrz zbiornika, wzdłuż osi rurociągów ciśnieniowych. Jednocześnie powierzchnia ta uległa w miejscach reperów deformacjom pionowym o przeciętnej wartości rzędu 0,4 mm, kilkakrotnie większym od błędów standardowych ich wyznaczenia. Przemieszczenie górnej powierzchni zilustrowane jest w górnej części rysunku 5(a) przy użyciu izolinii (co 1 mm) wyaprosymowanej płaszczyzny przemieszczenia.

W podobny sposób obliczono parametry charakteryzujące wyaprosymowaną płaszczyznę przemieszczenia na poziomie galerii. Wynik tego obliczenia podano w tabelicy 3 i zilustrowano w dolnej części rysunku 5(a). Widoczne jest, że również na

poziomie galerii nastąpiły pionowe deformacje, charakteryzowane wartością $m_0 = 0,57$ mm, kilkakrotnie większą od błędów standardowego wyznaczenia.

Komora wlotowa wykonana jest w postaci dwóch niezależnych, monolitycznych bloków żelbetowych, oddzielonych szczeliną dylatacyjną, oznaczoną na rysunku 5(b) podwójną linią. Uzyskanie dużych wartości $m_0 = 0,39$ mm (górna powierzchnia) i 0,57 mm (galeria) nasunęło myśl, że deformacje pionowe na poziomie górnej powierzchni i na poziomie galerii całej budowli mogły być częściowo spo-

wodowane odmiennymi przemieszczeniami monolitycznych sekcji A i B.

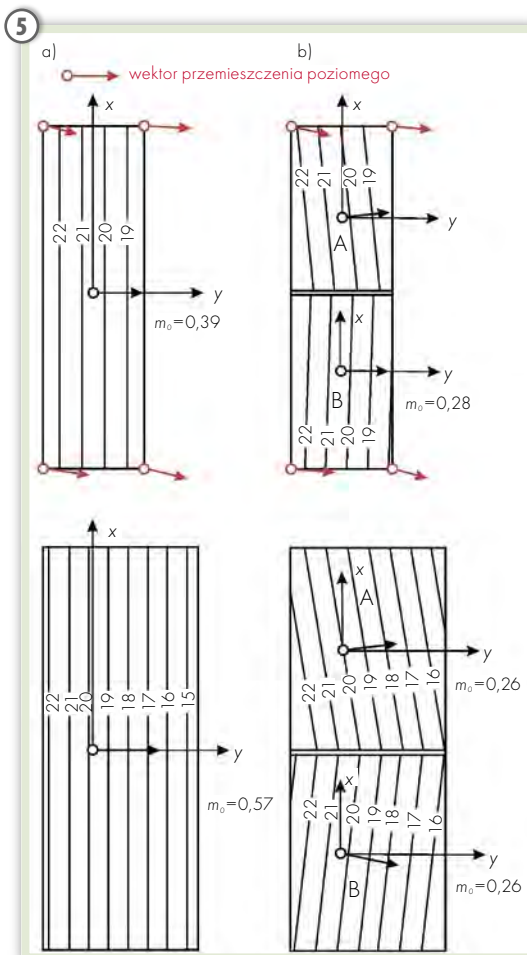
SEKCJE KOMORY SIĘ OBRACAJĄ

Z tego powodu obliczono parametry wyaprosymowanych płaszczyzn przemieszczeń części tych powierzchni, na podstawie osiadań reperów należących do monolitycznych sekcji A i B. Końcowe wyniki tych obliczeń zawarte są w tabelicy 3 i zilustrowane na rysunku 5(b). Okazało się, że m_0 uległy istotnemu zmniejszeniu do wartości 0,28 mm i 0,26 mm, świadczącemu o tym, że powierzchnie sekcji uległy mniejszym deformacjom pionowym aniżeli powierzchnie całej budowli, zbliżonym do podwójnego błędów wyznaczenia (należy dodać, że wartość m_0 nie mogła być obliczona dla górnej powierzchni sekcji A z powodu dysponowania na niej tylko trzema reperami o wyznaczonych przemieszczeniach). Jednocześnie okazało się, że sekcje budowli uległy praktycznie takim samym co do wartości zmianom nachylenia, rzędu 0,25 mm/m, lecz kierunki tych zmian uległy charakterystycznym odchyleniom poziomym od kierunku osi rurociągów ciśnieniowych, uwidocznionym na rysunku 5(b). Według wyników z galerii sekcja A uległa nachyleniu wzdłuż kierunku $\alpha = 89^\circ$, zaś sekcja B – wzdłuż kierunku $\alpha = 108^\circ$.

Te kierunki zmian nachylenia korespondują z rozmieszczeniem zróżnicowanych odciażeń podłoża w otoczeniu komory wlotowej pod dnem i obwałowaniem zbiornika, powodowanych przez jego opróżnienie. Trzeba bowiem zwrócić uwagę na fakt, że powierzchnia dna i obwałowania wokół komory wlotowej nie są poziome i w związku z tym opróżnienie zbiornika powoduje w poszczególnych miejscach zróżnicowane wysokości usuniętego słupa wody, tj. zróżnicowane wartości odciażenia podłoża.

Wartości przemieszczeń dH_0 uzyskane na górnej powierzchni i na poziomie galerii wskazują, że nie nastąpiły zmiany własnej wysokości budowli, a jedynie zmiany wysokości jej położenia i nachylenia, związane z odprężeniem podłoża gruntowego pod budowlą.

Na rysunku 5 pokazano kolorem czerwonym wektory poziomych przemieszczeń narożników górnej powierzchni komory wlotowej. Kierunki tych wektorów są zbliżone – w granicach dokładności wyznaczenia – do kierunków zmian nachy-



lenia sekcji komory wlotowej, wyznaczonych na podstawie przemieszczeń pionowych, zaś ich średnia wartość wynosi $dP = 8,25$ mm. Zakładając zachowanie sztywności przez monolityczne sekcje komory, możemy obliczyć długość pionowo skierowanego promienia obrotu sekcji:

$$r = dP_{sr} / d\varphi =$$

$$8,25 \text{ mm} : 0,24 \text{ mm/m} \approx 34 \text{ m.}$$

Tak więc konfrontacja wyznaczonych poziomych przemieszczeń naroży górnej powierzchni budowli z wyznaczonymi niwelacyjnie zmianami nachyleń wskazuje, że te przemieszczenia poziome były wynikiem obrotu sekcji budowli wokół osi poziomych znajdujących się około 34 m poniżej górnej powierzchni, równoległych do izolinii płaszczyzn przemieszczeń. Świadczy to o tym, że podstawa budowli wlotowej, znajdująca się około 37 m poniżej górnej powierzchni, nie uległa przemieszczeniu poziomemu, przekraczającemu błąd standardowy wyznaczenia.

● GEODEZJA POTRAFI PATRZEĆ SZERZEJ

Omówione wyżej wyniki pomiarów i analizy przemieszczeń oraz deformacji komory wlotowej przy jej opróżnianiu w roku 2005 okazały się zgodne w granicach dokładności wyznaczenia z wynikami podobnych eksperymentów przeprowadzonych w latach 2003 i 2004. Świadczy to o zachodzącej w ciągu trzech lat powtarzalności reakcji tej budowli na zmiany jej obciążenia pod wpływem opróżniania i napełniania górnego zbiornika, wywołane sposobem eksploatacji elektrowni.

Należy dodać, że ogólny charakter zaistniałych reakcji budowli komory wlotowej na zmiany obciążenia wodą okazał się zgodny z przewidywaniami hydrotechników zajmujących się oceną stanu bezpieczeństwa obiektów Elektrowni Wodnej Żarnowiec. Istotną nowością wyników niniejszej pracy, przydatną do oceny re-

akcji budowli, stały się uzyskane wartości parametrów charakteryzujących jej przemieszczenia i deformacje oraz szczegółowe informacje o zachowaniu się sekcji budowli.

Szczególnie interesujący (a być może nieco zaskakujący) jest wniosek, że uniesienie i zmiany nachylenia obu sekcji budowli pod wpływem odciążenia podłoża są jednakowe, natomiast kierunki zmian nachylenia różnią się po około $\pm 9^\circ$ od kierunku osi rurowciągów ciśnieniowych. Również dużą wagę należy przyłożyć do wynikającej z tej pracy informacji, że podstawa budowli wlotowej nie podlegała przemieszczeniom poziomym, a przemieszczenia poziome górnej powierzchni wynikały ze zmian jej nachylenia. Jest to bardzo ważne z punktu widzenia ochrony stopy fundamentowej (znajdującej się w niedostępnej, głębokiej warstwie podłoża, graniczącej z naturalną skarpią terenu) przed wpływem ewentualnych tendencji zsuwowych. Jednocześnie informacja ta jest przykładem możliwości metod analizy wyników pomiarów geodezyjnych do pośredniego sprawdzania stabilności lub wyznaczania poziomych przemieszczeń stopy fundamentowej budowli, znajdującej się głęboko w podłożu, w miejscu niedostępnym do pomiarów.

Te informacje, przydatne do oceny stanu nośności podłoża i bezpieczeństwa budowli, są jednocześnie świadectwem du-

żej wartości takich dodatkowych analiz wyników pomiarów geodezyjnych, które nie ograniczają się tylko do ocen jakości wyznaczania przemieszczeń punktów na budowlach, ale służą również do oceny zachowania się całych budowli i ich części wyodrębnionych konstrukcyjnie przez zdylatowanie.

Wydaje się celowe kontynuowanie tego rodzaju badań w kolejnych latach eksploatacji elektrowni, bowiem wykrycie ewentualnego powiększania się przemieszczeń i zmian nachylenia komory i wykrycie wystąpienia poziomych przemieszczeń jej podstawy mogłoby świadczyć o pogorszeniu się stanu nośności podłoża. Jednocześnie mogłoby ono sygnalizować wystąpienie tendencji zsuwowych na naturalnej skarpię terenu graniczącej z budowlą.

PROF. WOJCIECH JANUSZ

jest kierownikiem Zakładu Geodezji Stosowanej

Instytutu Geodezji i Kartografii,

DR HAB. JERZY JANUSZ

jest docentem w Instytucie Geodezji i Kartografii

Literatura

- Janusz J.: Analiza poziomych deformacji obwałowania zbiornika wodnego, GEODETA 3/2002; ● Janusz J. Janusz W.: Metodyka badania podatności budowli piętrzących wodę na zmiany obciążenia, Seria Monograficzna nr 9, IGiK, 2004; ● Janusz W.: Metoda obliczania pionowych przemieszczeń i deformacji fundamentu budowli z uwzględnieniem symptomów jego nieciągłości (w przygotowaniu do druku w roku 2005).

TAB. 3. ZESTAWIENIE PARAMETRÓW PRZEMIESZCZEŃ I DEFORMACJI KOMORY WLOTOWEJ

$d\varphi_x$ [mm/m]	$d\varphi_y$ [mm/m]	dH_o [mm]	$d\varphi$ [mm/m]	α [g]	m_o [mm]	Miejsce badań
0,000 $\pm 0,007$	0,234 $\pm 0,032$	20,390 $\pm 0,245$	0,234 $\pm 0,033$	100 ± 2	0,39	Górna powierzchnia
0,004 $\pm 0,004$	0,254 $\pm 0,011$	19,754 $\pm 0,152$	0,254 0,011	99 ± 1	0,57	Galeria
0,022 ?	0,240 ?	20,223 ?	0,241	94	?	Górna powierzchnia A
-0,009 $\pm 0,008$	0,256 $\pm 0,029$	20,229 $\pm 0,209$	0,256 $\pm 0,030$	102 ± 2	0,28	Górna powierzchnia B
0,042 $\pm 0,007$	0,237 $\pm 0,008$	19,980 $\pm 0,114$	0,240 $\pm 0,009$	89 ± 2	0,26	Galeria A
-0,031 $\pm 0,007$	0,239 $\pm 0,008$	20,163 $\pm 0,111$	0,241 $\pm 0,009$	108 ± 2	0,26	Galeria B

REKLAMA

Podypłomowe Studium Geodezji Numerycznej
Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie
rozpoczyna nabór słuchaczy na rok akademicki 2005/2006

Informacje: www.geo.mapa.net.pl, sekretariat@planeta.uwm.edu.pl, tel./faks (0 89) 523-48-78,
w.dabrowski@planeta.uwm.edu.pl, tel./faks (0 89) 523-39-66