

BADANIA GEODYNAMICZNE NA OBSZARZE PARKU NARODOWEGO GÓR STOŁOWYCH

GEODYNAMIC RESEARCH IN THE TABLE MOUNTAINS NATIONAL PARK AREA

S. CACON¹, J. KAPŁON¹, B. KOŠŤÁK², P. GRZEMPOWSKI¹

¹Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, stefan.cacon@igig.up.wroc.pl, jan.kaplon@igig.up.wroc.pl, piotr.grzempowski@igig.up.wroc.pl

²Academy of Sciences of the Czech Republic, Institute of Rock Structure and Mechanics, v.v.i., kostak@irms.cas.cz

Słowa kluczowe: GEODYNAMIKA, POMIARY GPS, GRAWIMETRIA, SZCZELINOMIERZ, RUCHY TEKTONICZNE

Keywords: GEODYNAMICS, GPS MEASUREMENTS, GRAVIMETRY, CRACK-GAUGE, TECTONIC MOVEMENTS

STRESZCZENIE:

Obszar Parku Narodowego Gór Stołowych przecinają dwie strefy tektoniczne: Poříči-Hronov i Czerwonej Wody. Dla oceny współczesnej aktywności geodynamicznej tych stref zorganizowano odpowiednie geodezyjne badania z zastosowaniem pomiarów GPS i grawimetrycznych. Badania te wzbogacono obserwacjami względnych przemieszczeń struktur geologicznych przy zastosowaniu szczelinomierzy. Techniki te zespolono w jeden system kontrolno-pomiarowy. Geodezyjna sieć badawcza składa się z 11 punktów, których lokalizację skorelowano z budową geologiczną i strefami tektonicznymi. W odpowiedni sposób punkty te zostały na trwałe zastabilizowane w terenie. Dwa szczelinomierze TM-71 założono na zlokalizowanych uskokach w pobliżu wsi Ostra Góra i Wolany.

Serie trzech kampanii pomiarowych, w podobnych warunkach atmosferycznych (wrzesień), wykonano w latach 2008, 2009, 2010. Obserwacje szczelinomierzy realizowano w cyklu miesięcznym.

Rezultaty badań geodynamicznych wykazały istotne przemieszczenia poziome dwóch punktów: NARO (Narożnik) i WAMB (Wambierzyce). Istotne zmiany grawitacji zarejestrowano na punktach: BUKO (Bukowina) i SKBA (Skalne Baszty). Niewielkie względne ruchy tektoniczne na obu szczelinomierzach nie są możliwe do oddzielenia od sezonowych wpływów termicznych.

Stosunkowo krótki, trzyletni okres badań geodynamicznych wykazał niewielką, ale istotną niestabilność struktur tektonicznych na obszarze parku. Fakt ten uzasadnia kontynuowanie przedmiotowych badań.

ABSTRACT:

The Table Mountains National Park is cut by two tectonic zones Poříči-Hronov and Red Water (Czerwona Woda). With the aim to assess present-day geodynamic activity of these zones geodetic research has been organised using GPS and gravimetric measurements. This research has been supplemented with observations of relative movements of geological structures using crack-gauges. These techniques have been integrated into an unified control-measurement system. The geodetic research network consists of 11 points whose locations has been correlated with geological structure and tectonic zones. These points have been permanently stabilised in the ground. Two TM-71 crack-gauges have been set up on identified faults near the Ostra Góra and Wolany villages. Three series of measurements, in similar atmospheric conditions (September) were carried out in the 2008, 2009 and 2010. Crack-gauge measurement have been realised every month. The results of geodynamic research have shown significant horizontal movements of two points NARO (Narożnik) and WAMB (Wambierzyce). Significant gravity changes have been registered on the points BUKO (Bukowina) and SKBA (Skalne Baszty). It is not possible to separate the small relative tectonic movements on both the crack-gauges from seasonal thermal effects. The comparatively short, three year, period of geodynamic research has shown small but significant instability of tectonic structures in the National Park area. This fact justifies continuation of the research.

WSTĘP

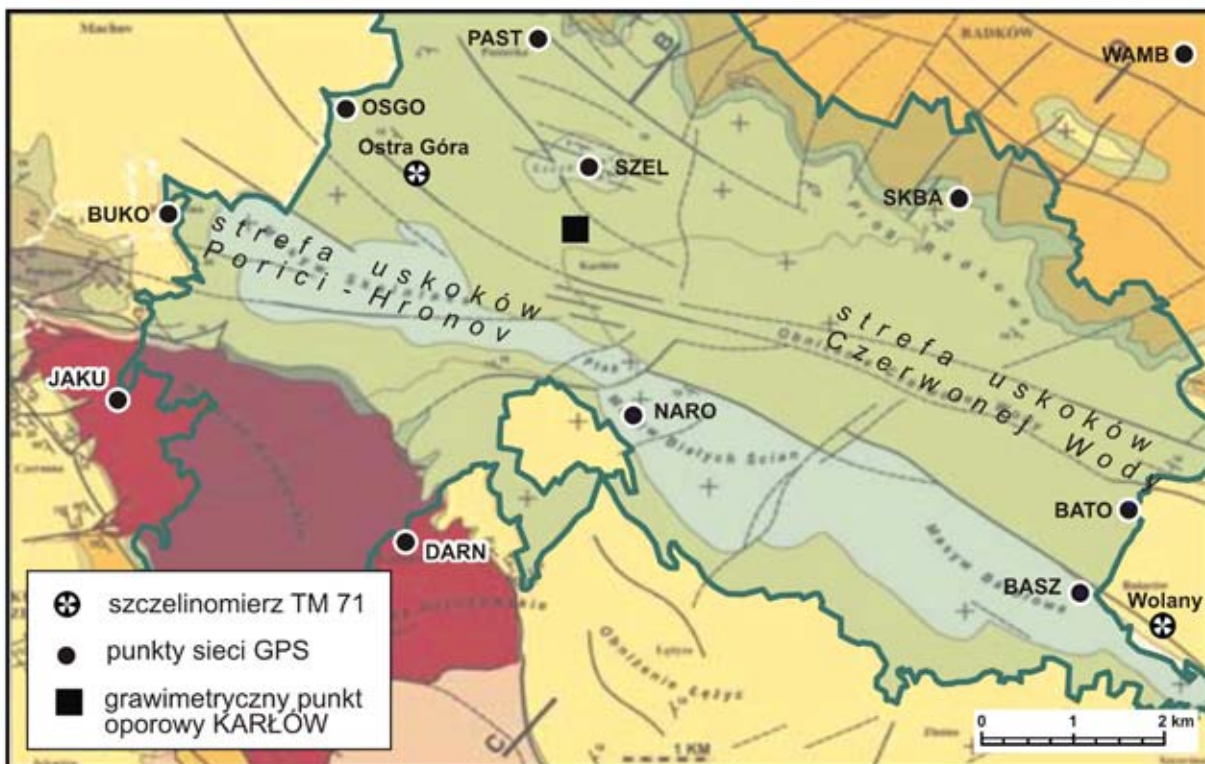
Budowa geologiczna, a w tym najważniejsze uskoki i strefy tektoniczne na obszarze PNGS ukształtowane zostały w neogenie. Trwająca do czasów współczesnych aktywność tektoniczna na tym obszarze rozpoczęła się w późnej kredzie i była największa w późnym trzeciorzędzie. Przemieszczenia powstałe w tym okresie na niektórych uskokach przekraczają 150 metrów. Ruchy tektoniczne o mniejszym natężeniu trwają nadal, o czym świadczy aktywność sejsmiczna tego rejonu i otoczenia. Potwierdzają to m.in. prace Karnika i współautorów (1984) wykazujące, że w rejonie Gór Stołowych w okresie 1889-1979 miało miejsce 10 trzęsień Ziemi o intensywności w granicach 4-7° MSK-64. Według Schenka et al. (1989) zjawiska te wiążą się głównie z współczesną aktywnością strefy uskoków Pořiči-Hronov, a potwierdza to m.in. trzęsienie Ziemi w 1979 roku o magnitudzie 5° MSK. Z prognozy Schenka et al. (1991) wynika, że na obszarze Gór Stołowych i w ich otoczeniu możliwe jest trzęsienie Ziemi o sile do 6,5° MSK.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono rezultaty pomiarów geodynamicznych zrealizowanych w okresie 2008-2010. Pomiary badawcze z zastosowaniem techniki satelitarnej GPS, grawimetrycznej oraz względnych obserwacji struktur geologicznych z użyciem szczelinomierzy zespolone zostały w odpowiednim systemie kontrolno-pomiarowym.

Wyniki te poprzedzone zostały charakterystyką odpowiedniego systemu kontrolno-pomiarowego stanowiącego podstawę obserwacji przedmiotowych badań geodynamicznych. System ten zespolił zastosowane w badaniach techniki pomiarowe.

ORGANIZACJA SYSTEMU KONTROLNO-POMIAROWEGO PNGS

Przy organizacji badań geodynamicznych PNGS wykorzystano doświadczenia związane z podobnymi badaniami na poligonach geodynamicznych w Sudetach i na bloku przedsudeckim (Cacoń, 2004). Bazują one na czterosegmen-



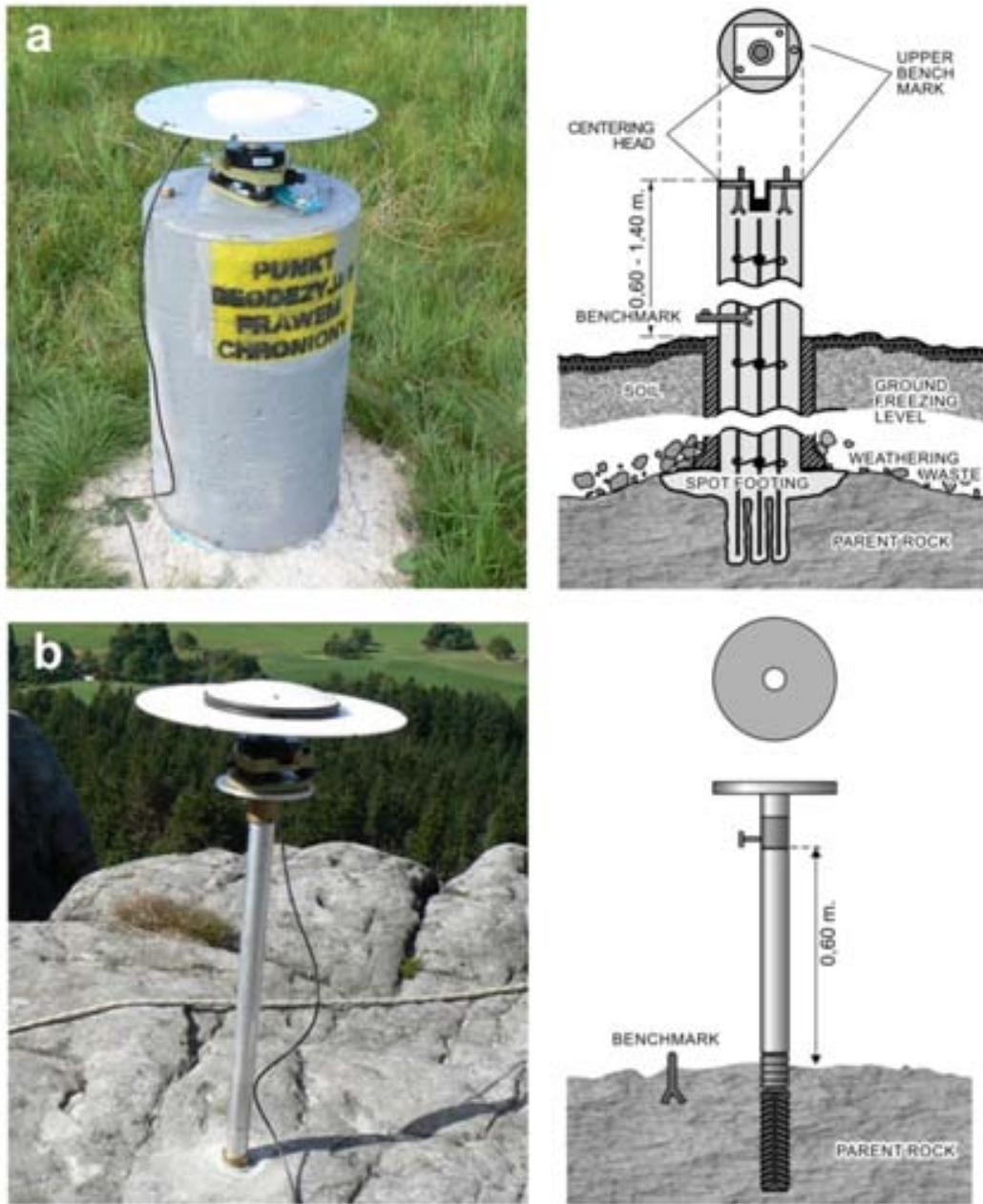
Ryc. 1. Lokalizacja punktów geodynamicznej sieci badawczej PNGS

Fig. 1. Location of the geodynamic research network PNGS points

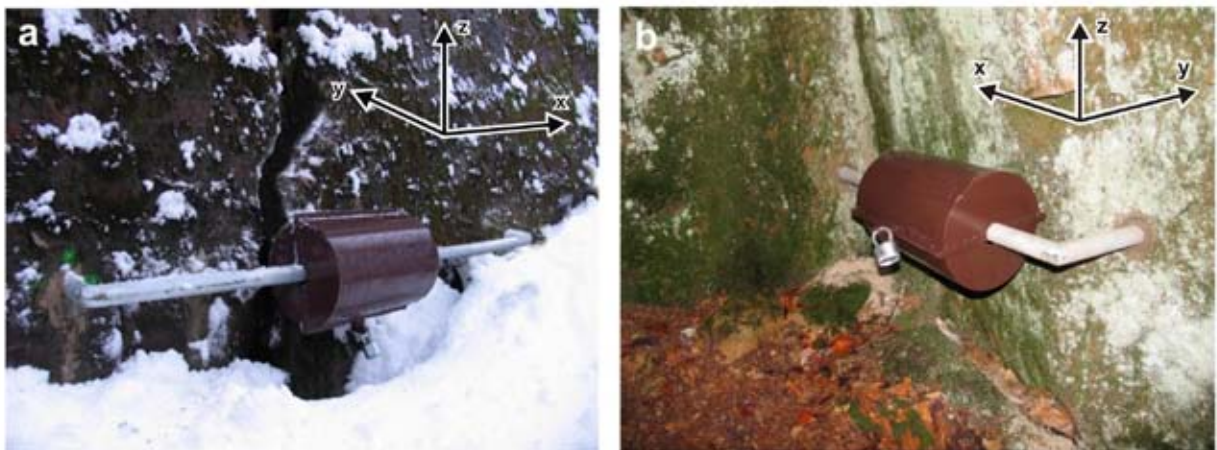
Tabela 1. System kontrolno-pomiarowy

Table 1. The control-measurement system

	SEGMENT I	SEGMENT II	SEGMENT III	SEGMENT IV
Obserwacje (instrumentarium)	GPS Stacja totalna Niwelacja precyzyjna	GPS Stacja totalna Niwelacja precyzyjna	Ekstensometr Szczelinomierz Inklinometr	Grawimetr
Częstotliwość obserwacji	1 – 5 lat	3 – 12 miesięcy	1 – 30 dni lub ciągle	1 – 5 lat
Dokładność wyznaczenia przemieszczeń	± (0.5 – 5) mm	± (0.5 – 2) mm	± (0.01 – 0.1) mm 0.1 mm/1 m	± (12–20) μGal



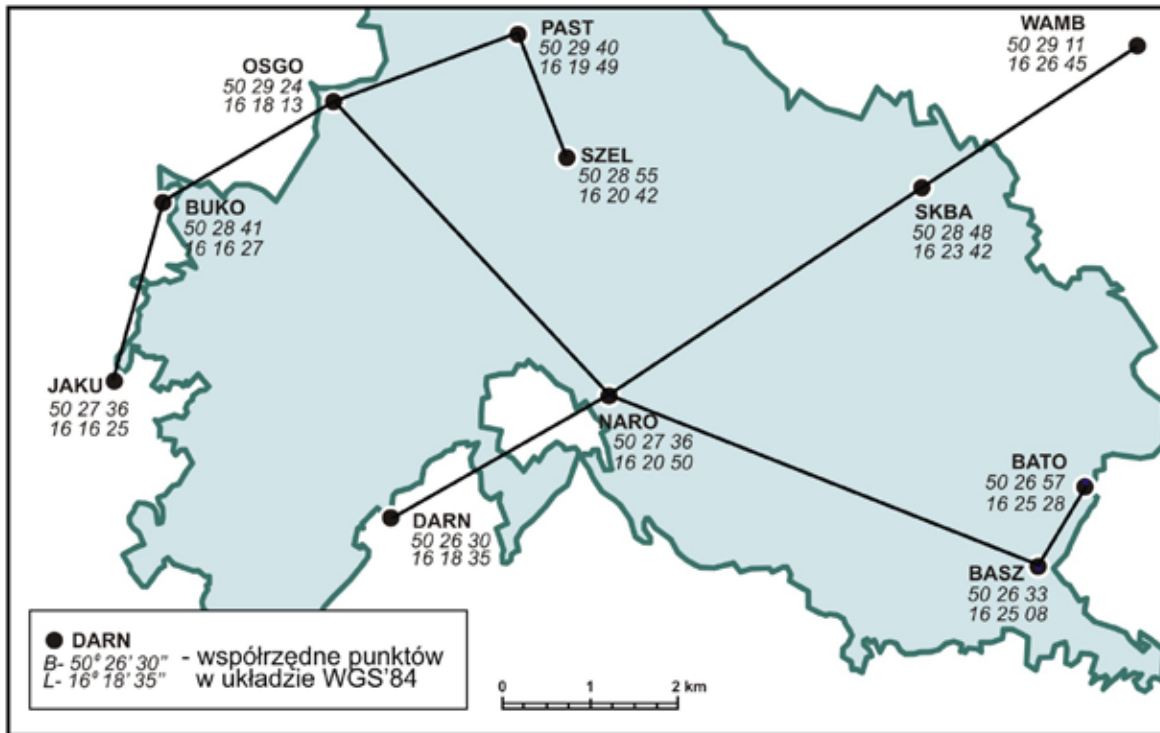
Ryc. 2a, 2b. Charakterystyka stabilizacji punktów badawczych
 Fig. 2a, 2b. Characteristics of the research points set-up



Ryc. 3a, 3b. Szczegółowa lokalizacja szczelinomierzy TM-71; a) Ostra Góra, b) Wolany
 Fig. 3a, 3b. Detailed location of the TM-71 crack-gauges a) Ostra Góra, b) Wolany

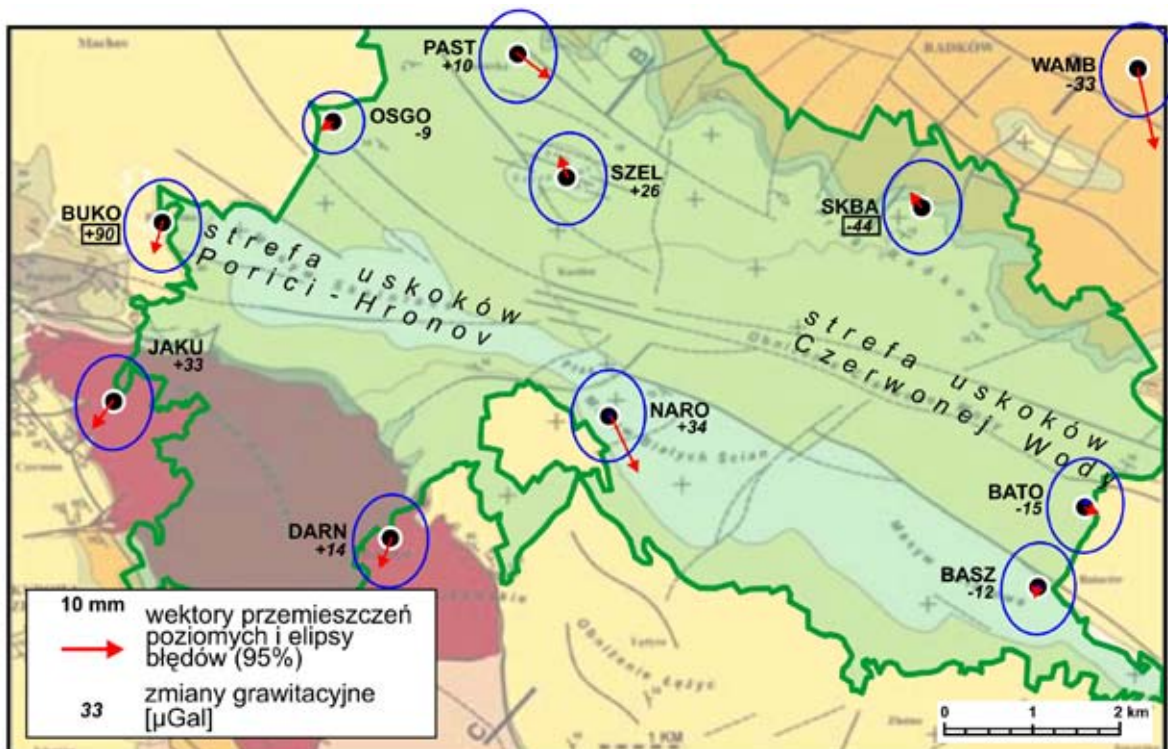
towym systemie kontrolno-pomiarowym z zastosowaniem pomiarów satelitarnych GPS, niwelacji precyzyjnej, stacji totalnej, grawimetrycznych oraz pomiarów przemieszczeń względnych przy użyciu szczerinierzy (tab. 1). Pomiarów satelitarnych i grawimetrycznych (I, IV segment) w sieci PNGS, w okresie 2008-2010 realizowano w cyklu rocznym. Pomiarów

przemieszczeń względnych (III segment) przy zastosowaniu szczerinierzy TM-71 wykonywano z częstotliwością miesięczną. Pomiarów w ramach segmentu II mogą być rozpoczęte jeśli zaistnieją warunki wskazujące na ruchy lokalne w otoczeniu punktów badawczych.



Ryc. 4. Wektory „obliczeniowe” GPS w sieci badawczej

Fig. 4. „Calculated” vectors in the GPS research network



Ryc. 5. Przemieszczenia poziome oraz zmiany przyspieszenia siły ciężkości

Fig. 5. Horizontal movements and changes of the acceleration of gravity

■ Satelitarno-grawimetryczna sieć badawcza

Sieć składa się z 11 punktów zlokalizowanych w miejscach skorelowanych z budową geologiczną (Wojewoda, 2008; Cacoń et al., 2009) z uwzględnieniem najważniejszych stref tektonicznych obszaru (**ryc. 1**). Stabilizację punktów BUKO, JAKU, OSGO, PART, DARN, NASZ, BATO, WAMB wykonano w postaci słupów betonowych z głowicami do wymuszonego centrowania anten satelitarnych (**ryc. 2a**). Posadowiono je poniżej poziomu zamrzania gruntu i na skale macierzystej. Dwa punkty (SKBA i NARO) zlokalizowane na skałach piaskowcowych, zamarkowano bolcami metalowymi z tulejami do połączenia ze sztywnym statywem (**ryc. 2b**). Punkt SZEL, zaadaptowany do sieci badawczej, usytuowany jest na krawędzi masywu Szczelińca Wielkiego. Od 1993 roku jest włączony do regionalnej sieci geodynamicznej „GEOSUD” (Cacoń et al., 2004). Punkty sieci satelitarnej GPS są również stanowiskami do pomiarów grawimetrycznych.

■ Względne obserwacje bloków skorupowych

Lokalizację dwóch szczelinomierzy TM-71 przedstawiono na **ryc. 1**. Usytuowane zostały na uskoku tektonicznych strefy Poříčí-Hronov w pobliżu wsi Ostra Góra (**ryc. 3a**) oraz w strefie uskoku Czerwonej wody w pobliżu miejscowości Wolany (**ryc. 3b**). Instalację szczelinomierzy w miejscach pokazanych na **ryc. 3** wykonano w listopadzie 2008 roku. Lokalne układy współrzędnych x, y, z obu szczelinomierzy zorientowane zostały na **ryc. 3a** i **3b**.

CHARAKTERYSTYKA KAMPANII POMIAROWYCH SIECI GEODYNAMICZNEJ

■ Obserwacje satelitarne GPS

Cykl trzech epokowych pomiarów GPS wykonywano we wrześniu 2008, 2009 i 2010 roku. Obserwacje te realizowano dwoma typami odbiorników – Ashtech i Trimble w sesjach 2 x 10 godzin, w interwale 15 s i elewacji 10°. Te parametry obserwacyjne stosowane w podobnych warunkach sieciowych (Kapłon, Cacoń, 2009; Cacoń et al., 2010) gwarantowały milimetrową dokładność pozycjonowania poziomego punktów badawczych.

■ Pomiary grawimetryczne

Pomiary grawimetryczne realizowane były bezpośrednio po obserwacjach GPS na tych samych punktach badawczych, a więc we wrześniu 2008, 2009 i 2010 roku. Wykonywał je zespół (na zlecenie) M. Barlika z Politechniki Warszawskiej, z którym prowadzona jest współpraca badawcza od początku lat 90. XX wieku. Zespół ten realizował okresowe pomiary grawimetryczne na lokalnych poligonach geodynamicznych w Sudetach i bloku przedsudeckim oraz w regionalnej sieci GEOSUD. W okresowych pomiarach i pomiarze kontrolnym stosowano grawimetry La Coste & Romberg. Do nawiązania obserwacji na punktach sieci PNGS wykorzystano punkt опорowy Karlów, założony w 1993 roku, który łączy się z podstawową osnową grawimetryczną Polski (POGK'99) w czasie kampanii pomiarowych 2003-2005.

■ Pomiary szczelinomierzami TM-71

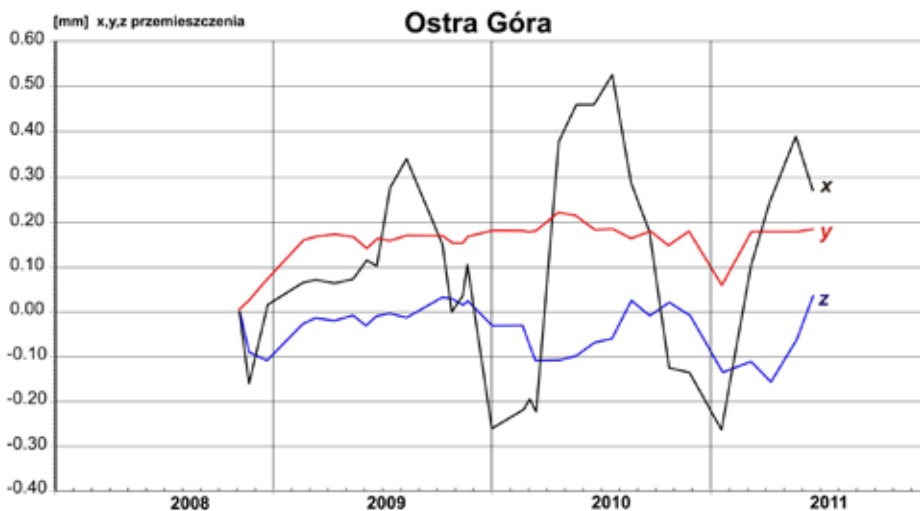
Względne obserwacje przemieszczeń bloków skorupowych polegały na fotograficznej rejestracji zjawiska Moiry dwóch układów pomiarowych – odpowiednio zespolonych rastrów w płaszczyznach poziomej i pionowej. Cykliczne, comiesięczne obserwacje dwóch szczelinomierzy na stanowiskach „Ostra Góra” i „Wolany” opracowywano przez B. Košťáka (autor patentu tego szczelinomierza) z Instytutu Mechaniki i Struktury Górotworu Czeskiej Akademii Nauk w Pradze (Košťák, 1969).

OPRACOWANIE DANYCH POMIAROWYCH

■ Opracowanie obserwacji GPS

Wyniki pomiarów okresowych GPS w latach 2008, 2009 i 2010 poddano procesowi obliczeniowemu z zastosowaniem programu komputerowego BERNESE GPS Software v.5 (Dach et al., 2007). Program ten wykorzystano zarówno do obliczeń poszczególnych dni corocznych kampanii pomiarowych, jak również do połączenia wszystkich rezultatów w postaci układów równań normalnych w celu uzyskania przemieszczeń punktów sieci badawczej.

W celu maksymalizacji ilości rozwiązań wybrano do obliczeń wektory (**ryc. 4**) o długościach 2–9 km (średnio 5 km) oraz strategię rozwiązań odpowiednią dla tak krótkich wekto-



Ryc. 6. Rezultaty względnych obserwacji struktur geologicznych na stanowisku Ostra Góra

Fig. 6. The results of the relative observations of geological structures on the Ostra Góra station

rów. Każdą sesję dobową rozwiązano przy minimalnej ilości warunków nawiązujących sieć do współrzędnych punktu OSGO z dokładnością 1 mm przy założeniu niezmienności jego położenia. Łączenie sesji dobowych przeprowadzono modulem ADDNEQ2 oprogramowania Bernese. W **tabeli 2** zestawiono ilościowe dane dotyczące wielkości przemieszczeń punktów i ich błędy średnie w okresie 2008-2010.

Na **ryc. 5** przedstawiono graficzny obraz poziomych przemieszczeń punktów odniesione do stałego punktu OSGO oraz ich elipsy ufności (95%).

Wyniki okresowych pomiarów GPS (2008-2010) wskazują na dwa istotnie przemieszczone punkty: WAMB i NARO. Wektory przemieszczeń (**ryc. 5**) tych punktów „wychodzą” poza obszar elips ufności w podobnym kierunku na południowy wschód. Oba te punkty należą do różnych struktur geologicznych – po obu stronach stref uskoków Poříči-Hronov i Czerwonej Wody. Dla pozostałych punktów wektory te mieszczą się w obszarze elips ufności.

■ Opracowanie pomiarów grawimetrycznych

W procesie obliczeń wartości przyspieszenia siły ciężkości na poszczególnych punktach sieci badawczej uwzględniono poprawki ze względu na wysokość instrumentu nad punktem oraz poprawki pływowe charakteryzujące grawimetryczny wpływ Słońca i Księżyca na wskazania grawimetru (Barlik i in., 2008, 2009, 2010). W **tabeli 3** zestawiono wartości zmian grawitacji na poszczególnych punktach.

Dokładność wyznaczenia wartości przyspieszenia siły ciężkości w poszczególnych latach oszacowano na $m_{gi} = \pm 14 \mu\text{Gal}$, a dokładność określenia zmian grawitacji zgodnie z zależnością:

$$m_{\Delta g} = \pm \sqrt{m_{gi}^2 + m_{gi+1}^2} \text{ na } m_{\Delta g} = \pm 20 \mu\text{Gal}.$$

Istotne zmiany grawitacji (zarówno dodatnie, jak i ujemne) w okresie 2008-2009 zarejestrowano na 4 punktach (BUKO, NARO, SKBA i WAMB). Tendencje zmian grawitacji w okresie 2008-2010 potwierdzono na punktach

Tabela 2. Wektory przemieszczeń poziomych D punktów i ich błędy średnie $\pm m_D$

Table 2. The horizontal movement vectors D and their mean errors $\pm m_D$

Oznaczenie punktu	Wektory przemieszczeń 2008-2010 D [mm]	Azymut wektora przemieszczeń [g]	Błąd średni przemieszczenia $\pm m_D$ [mm]
SZEL	3,2	375,78	4,30
PAST	6,3	138,55	4,26
OSGO	0,0	0,00	3,22
BUKO	4,6	219,61	4,27
JAKU	5,2	244,85	4,37
DARN	4,8	224,72	4,31
NARO	9,7	169,89	4,30
SKBA	1,8	113,92	4,37
WAMB	12,3	185,41	4,33
BATO	2,0	106,34	4,31
BASZ	2,0	226,63	4,27

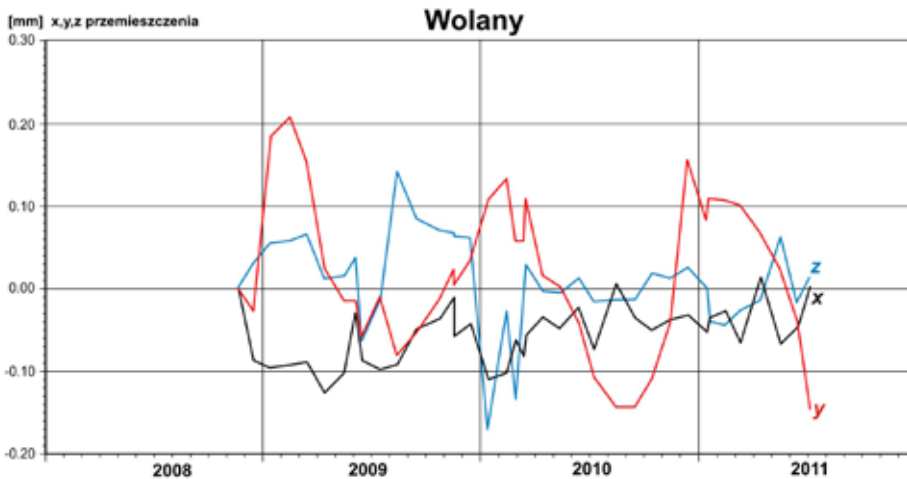
Wartości istotnych przemieszczeń pogrubiono zgodnie z regułą $D \geq 2m_D$ ($P = 95\%$)

Tabela 3. Zmiany grawitacji na punktach sieci badawczej

Table 3. Changes of gravity on the research network points

Oznaczenie punktu	Zmiany przyspieszenia siły ciężkości Δg [μGal] w okresach		
	2008-2009	2009-2010	2008-2010
SZEL	+4	+22	+26
PAST	-3	+13	+10
OSGO	-20	+11	-9
BUKO	+88	+2	+90
JAKU	+18	+15	+33
DARN	-39	+53	+14
NARO	+68	-34	+34
SKBA	-45	+1	-44
WAMB	-62	+29	-33
BATO	-4	-8	-12
NASZ	-30	+15	-15

Wartości pogrubione reprezentują istotne zmiany zgodnie z regułą $\Delta g \geq \pm 2m_{\Delta g}$ ($P = 95\%$)



Ryc. 7. Rezultaty względnych przemieszczeń struktur geologicznych na stanowisku Wolany

Fig. 7. The results of the relative observations of geological structures on the Wolany station

BUKO (+90 μGal) i SKBA (-44 μGal). Wstępna interpretacja istotnych zmian może świadczyć o tendencji do obniżania się rejonu wokół punktu BUKO, a w rejonie SKBA do podnoszenia. Wartości zmian grawitacji w okresie 2008-2010 na wszystkich punktach sieci pokazano również na ryc. 5, przy czym istotne zmiany obramowano.

■ Rezultaty pomiarów względnych TM-71

Trójwymiarowe, względne obserwacje przemieszczeń sąsiednich struktur tektonicznych na zlokalizowanych uskokach rejestrowane są w lokalnym układzie x, y, z, który zorientowany został na ryc. 3a i 3b. Obserwacje prowadzone były w cyklu miesięcznym, z dokładnością około 0,05 mm.

Na ryc. 6 przedstawiono grafy reprezentujące zmiany x, y, z na stanowisku Ostra Góra.

W kierunku osi x (wzdłuż konsoli szczelinomierza) obserwowane są cykliczne sezonowe zmiany (2008-2011) charakteryzujące rozwieranie i zwieranie szczeliny między sąsiednimi skałami. Amplituda tych zmian osiąga wartość do 0,75 mm.

W prostopadłym kierunku y nie obserwuje się zmian w okresie zima-lato i nie zauważa się trendu długoterminowego.

Pionowe zmiany z mające charakter sezonowy w okresie 2010-2011 osiągają wartości między 0,14 mm a 0,20 mm. Świadczyć to może o podnoszeniu bloku N (północnego) wraz z wzrastającą temperaturą otoczenia. Nie daje to jeszcze podstaw do uznania tego jako trend długoterminowy.

Zmiany w kierunku x, y, z obserwowane na szczelinomierzu w pobliżu wsi Wolany przedstawiono na ryc. 7.

W niepełnym, trzyletnim okresie na osi x nie obserwuje się wpływów sezonowych i termicznych. Rozrzut obserwacji w granicach $\pm 0,04$ mm może sugerować wpływ wilgotności lub innych czynników środowiskowych. Można przypuszczać, że kolejne pomiary wykażą przesunięcie poziome bloku E w kierunku południowym.

Wzdłuż osi y obserwuje się sezonową amplitudę zmian w granicach 0,30 mm. Długoterminowy trend zmian wzdłuż kierunku y można ocenić wstępnie na -0,01 mm/rok.

Względne przemieszczenia bloków w pionie z są nieregularne. Pojedyncza amplituda zmian o wielkości 0,30 mm od lata 2009 do wiosny 2010 wskazuje na osiadanie bloku E. W następnym okresie takich zmian nie obserwuje się.

Obserwacje przemieszczeń względnych struktur tektonicznych na zlokalizowanych uskokach zrealizowane w okresie 2008-2011 wykazały niewielkie ruchy tektoniczne, które mogą się zintensyfikować w kolejnych latach.

PODSUMOWANIE

Badania geodynamiczne na obszarze Parku Narodowego Gór Stołowych i w jego najbliższym otoczeniu prowadzone w okresie 2008-2010/2011 z wykorzystaniem trzech metod badawczych wykazały rejon o różnym stopniu intensywności przemieszczeń struktur geologicznych oraz zmian grawimetrycznych.

Dwa spośród 11 punktów badawczych istotnie przemieściły się w kierunku południowo-wschodnim. Są to:

- NARO (Narożnik) – przemieszczenie istotne wielkości 9,7 mm,
- WAMB (Wambierzyce) – przemieszczenia istotne 12,3 mm.

Istotne zmiany grawitacji zarejestrowano na dwóch innych punktach:

- BUKO (Bukowina) – o wielkości +90 μGal ,
- SKBA (Skalne Baszty) – o wielkości -44 μGal , sygnalizują osiadanie BUKO oraz podnoszenie SKBA.

Zarówno zmiany poziome, jak również grawimetryczne świadczą o niestabilności tektonicznej struktur geologicznych wzdłuż stref uskokowych Pořiči-Hronov oraz Czerwonej Wody, a także po stronie północnej i południowej obu tych stref. Szczegółowa interpretacja tych zmian wychodzi poza zakres niniejszego opracowania. Tym niemniej należy zwrócić uwagę na potencjalne zagrożenia ruchami tektonicznymi w otoczeniu punktów NARO i SKBA, przy których zlokalizowane są trasy turystyczne.

Powyższe fakty uzasadniają potrzebę kontynuowania przedmiotowych badań geodynamicznych, których natura wymaga długich cykli obserwacyjnych.

LITERATURA

Barlik, M., Pachuta, A., Rajner, M., Olszak, T., 2008, 2009, 2010.

Badania grawimetryczne wykonane na stanowiskach geodynamicznych w sieci Góry Stołowe. Maszynopisy, Katedra Geodezji i Astronomii Geodezyjnej, Politechnika Warszawska.

- Cacoń, S., 2004.** System kontrolno-pomiarowy jako podstawa geodynamicznych badań regionalnych i lokalnych w Sudetach i na Bloku Przedśudeckim. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*, vol. L, No. 107, Warszawa, pp. 109-125.
- Cacoń, S., Bosy, J., Kontny, B., 2004.** Recent tectonic activity in the Eastern Sudetes and on the Fore-Sudetic Block on the basis of 1993-2003 investigations. *Reports on Geodesy*, vol. 2 no. 69, Warszawa, pp. 197-211.
- Cacoń, S., Kaplon, J., Kontny, B., Weigel, J., Švábenský, O., Kopecký, J., 2010.** Recent local geodynamics in the central part of the Stołowe Mts. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, vol. 7, no. 3 (159), Prague, pp. 335-342.
- Cacoń, S., Kopecký, J., Kaczalek, M., Mąkowski, K., Kaplon, J., Kontny, B., Bosy, J., 2003.** Results of the geodynamic investigations on the Stołowe Mts. Research Area. *Acta Montana, Ser. A, Geodynamics*, vol. 24, no. 131, Prague, pp. 109-116.
- Cacoń, S., Wojewoda, J., Kaplon, J., 2009.** Geodynamic studies in the Góry Stołowe National Park area. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, vol. 6, no. 3 (155), Prague, pp. 331-338.
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., Meindl, M., 2007.** Bernese GPS Software, Version 5.0, User Manual. Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland.
- Kaplon, J., Cacoń, S., 2009.** Research on the marginal sudetic fault activity with use of GPS and precise leveling techniques. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, vol. 6, no. 3 (155), Prague, pp. 323-329.
- Karnik, V., Procházková, D., Brouček, I., 1984.** Catalogue of earthquakes for the territory of Czechoslovakia for the period 1880-1980. *Travaux Geophysiques*, 555, pp. 155-186.
- Košťák, B., 1969.** A new device for in situ movement detection and measurement. *Exp. Mechanics*, No. 9, pp. 374-379.
- Schenk, V., Schenková, Z., Pospíšil, L., 1989.** Fault system dynamics and seismic activity – Example from the Bohemian Massif and the Western Carpathians. *Geophys. Transactions*, 35, pp. 101-116.
- Wojewoda, J., 2008.** Budowa geologiczna obszaru PNGS [w:] Witkowski A., Pokryszko B. M., Ciężkowski W. (red.) – Przyroda Parku Narodowego Gór Stołowych, PNGS, pp. 24-37.