

Zbigniew Szczerbowski\*, Piotr Banasik\*, Jacek Kudrys\*

## **Przykład wykorzystania techniki GPS w pomiarach wysokościowych na obszarach górniczych\*\***

### **1. Wprowadzenie**

Cała seria artykułów problemowych, poświęconych zagadnieniu łączenia technik satelitarnych i pomiarów klasycznych, jakie pojawiły się w ostatnich latach świadczy zarówno o dużym zainteresowaniu, jak i znaczeniu tej problematyki w zakresie nauk geodezyjnych. Wśród tych, które ukazały się w polskiej literaturze można wyróżnić dotyczące obszarów górniczych [3, 4, 1, 6].

Niestety, tylko nieliczne prace poruszają omawiane zagadnienie w odniesieniu do pomiarów wysokościowych. Ponadto, niewiele jest prac poświęconych temu zagadnieniu w odniesieniu do obszaru Polski centralnej.

Dzięki odpowiednio dokładnemu modelowi geoidy (takie modele zostały już opracowane), wykorzystanie technik satelitarnych daje możliwość realizacji pomiarów wysokościowych o dokładnościach porównywalnych z klasyczną niwelacją geometryczną.

Przedstawione wyniki badań stanowią jeden z nielicznych przykładów prac poświęconych praktycznemu zastosowaniu nawiązania lokalnych osnów wysokościowych z wykorzystaniem technik satelitarnych oraz lokalnego modelu geoidy/quasi-geoidy. Adaptacja tego typu rozwiązania jest szczególnie istotna w przypadku obszarów, gdzie istniejąca osnowa w dużym stopniu jest naruszona (znaczną część reperów nie istnieje lub jest przemieszczona bądź uszkodzona). Do takich obszarów należą właśnie Kujawy, gdzie prowadzenie prac geodezyjnych z uwagi na stan osnowy, zarówno poziomej, jak i wysokościowej, jest utrudnione. Nie bez znaczenia jest tu wymiar społeczno-ekonomiczny takiego rozwiązania dla obszaru, który należy do najuboższych w kraju.

---

\* Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

\*\* Praca wykonana w ramach badań własnych 10.10.150.842

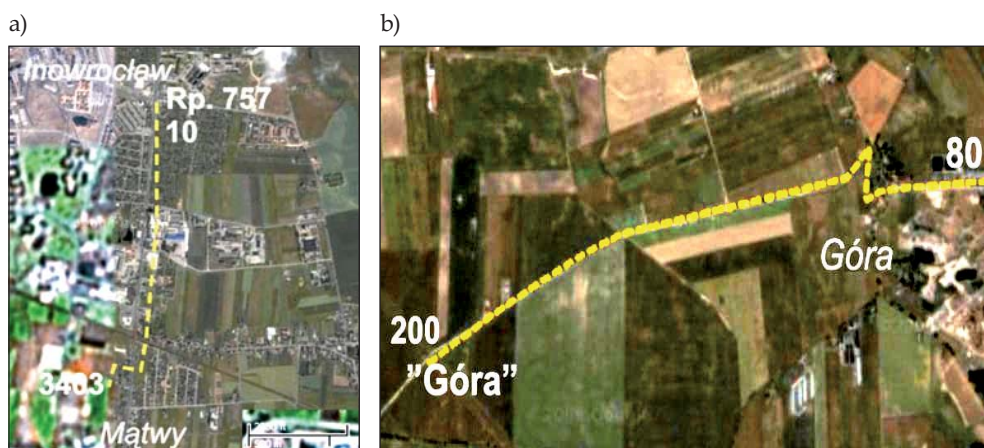
## 2. Charakterystyka rejonu badań

Prace pomiarowe wykonano na dwóch obszarach badawczych (rys. 1), na których zlokalizowano osnowy geodezyjne kopalń soli. Pierwszy obszar badań obejmował miasto Inowrocław (rys. 1a, głównie dzielnica Mątwy), natomiast drugi obszar obejmował wioski: Sikorowo, Łojewo i Góra (rys. 1b).

Obszary te mają podobną charakterystykę geograficzną – istotną z punktu widzenia warunków realizacji pomiarów GPS. Występują one w strefie równiny morenowej, którą wyróżnia brak wypukłych form z wyjątkiem niewielkich wzniesień związanych z wysadowymi złożami w centrum Inowrocławia i we wsi Góra, położonej około 9 km na SE od Inowrocławia. W obu przypadkach celem realizowanych pomiarów było nawiązanie wysokościowe osnowy kopalnianej do państwowej sieci wysokościowej.

Kopalniana osnowa wysokościowa zlokalizowana w Inowrocławiu pokrywa obszar górniczy byłej Kopalni „Solno”. Pomimo zakończonej eksploatacji obserwowane są tu wciąż przemieszczenia powierzchni terenu, co pociąga za sobą konieczność wykonywania precyzyjnych obserwacji wysokościowych. Natomiast w przypadku Góry punkty kopalnianej osnowy wysokościowej są punktami obserwacji przemieszczeń powierzchni terenu będących rezultatem prowadzonej wciąż otworowej eksploatacji soli. W tym przypadku prowadzenie regularnych obserwacji wysokościowych konieczne jest ze względu na eksploatację górniczą oraz podziemne magazynowanie paliw.

Z uwagi na prowadzoną intensywnie w omawianym rejonie produkcję rolniczą realnym problemem jest utrzymanie reperów ziemnych.



Rys. 1. Obszar pomiarów geodezyjnych w rejonie Inowrocławia (a) i Góry (b) oraz lokalizacja wykonanych ciągów niwelacyjnych

Ze względu na dużą powierzchnię upraw często brakuje odpowiednich miejsc do ich stabilizacji, co w tym przypadku oznacza zwykle stabilizację nowych reperów (w związku z dużymi stratami stabilizowanych znaków) czy konieczność prowadzenia dalekich ciągów nawiazawczych (biegnących po granicy wielohektarowych upraw). Z uwagi na wyżej wymienione uwarunkowania możliwość realizacji pomiarów wysokościowych z wykorzystaniem technik satelitarnych wydaje się zasadna. Pomiary tego typu wykonane z dokładnością wystarczającą dla celów inżynierskich i wykorzystujące odpowiednio dokładny model geoidy umożliwiają łatwe i tanie wykonanie niezbędnych nawizań (jak w przypadku osnów dla wspomnianych obszarów górniczych). Dodatkowym walorem tego typu prac jest większa swoboda w doborze punktów nawiazania.

### 3. Prace pomiarowe oraz opracowanie wyników pomiarów

Głównym problemem realizowanych pomiarów niwelacyjnych był brak reperów państwowej osnowy wysokościowej w najbliższym otoczeniu obszaru górniczego. Nieliczne, jakie zachowały się, stanowią ok. 30% stanu zadeklarowanego w zasobach geodezyjnych dla rejonu badań. Obecnie ich lokalizacja nie spełnia wymagań określonych w Instrukcji G-2 z 1981 r. [11]. W przypadku pomiarów wykonanych we wsi Góra reper 200, który został przyjęty jako reper nawiazania, jest zastabilizowany w bliskim otoczeniu nasypu kolejowego. Sieć wysokościowa z rejonu Inowrocławia została nawiazana do reperu 3403 sieci POLREF. W obu przypadkach długość ciągu nawiazawczego wynosiła ok. 2,5 km. Za kryterium dokładności przyjęto wymagania określone w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 19 czerwca 2002 r. w sprawie dokumentacji mierniczo-geologicznej (Dz. U. z dnia 28 czerwca 2002 r.) [10].

Zgodnie z zapisem w wyżej wymienionym rozporządzeniu przydatność punktów wysokościowych do nawiazania ustala się za pomocą kontrolnego pomiaru różnicy wysokości, której wartość w odniesieniu do wielkości określonej podczas pomiaru pierwotnego nie powinna przekraczać dla osnowy podstawowej (niwelacja precyzyjna):

$$\text{I klasy: } \pm 2\sqrt{L} \text{ mm,}$$

$$\text{II klasy: } \pm 4\sqrt{L} \text{ mm,}$$

gdzie  $L$  oznacza długość odcinka niwelacji między punktami [km].

Te wymagania w zakresie dokładności pomiarów niwelacyjnych są niższe w stosunku do określonych w Instrukcji G-2 dla państwowej osnowy wysokościowej I i II klasy. Biorąc pod uwagę długość analizowanych ciągów nawiazawczych, dopuszczalna różnica przewyższeń wyznaczona dla odcinka z pomiarów w kie-

runku głównym i powrotnym powinna wynosić ok.  $\pm 3$  mm dla I klasy i  $\pm 7$  mm dla II klasy osnowy kopalnianej. Ta ostatnia wartość została przyjęta jako kryterium dokładności dla wykonanych ciągów nawiazawczych.

W wykonanych pomiarach wykorzystano sprzęt firmy Leica (własność Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH):

- kodowy niwelator precyzyjny Na 3003 Leica, skonstruowany z myślą o zastosowaniu głównie do realizacji zadań o charakterze precyzyjnym, tj.: niwelacji pierwszego i drugiego rzędu, do zastosowań w geodezji przemysłowej, do obserwacji deformacji powierzchni. Wykorzystuje on analizę obrazu do określania wysokości z odczytów ze specjalnych łąt kodowych. Dodatkowo instrument wyposażono w elektroniczny system obliczania odległości do łąty, co ma istotne znaczenie na etapie wyrównania sieci, pozwalając wprowadzić wagi do obserwacji wysokościowych.

W pełni automatyczny proces pozyskania danych pozwala ograniczyć wpływ czynnika ludzkiego na wartości uzyskiwanych wyników:

- zestaw kodowych precyzyjnych łąt firmy Nedo o długości 4 m,
- kliny stalowe (z pobijakiem), jako punkty pośrednie pomiędzy reperami, zapewniające stabilność przy położeniu (posadowieniu) łąt.

Nowatorskie rozwiązanie techniczne zastosowane w niwelatorze Na 3003, tj. automatyczna korekcja linii celowej przy zmianach temperatury, zapewnia pomiar w warunkach niestabilnego podłoża i niekorzystnych warunków pogodowych, tj. silnego wiatru oraz niskich lub wysokich temperatur. Określone automatycznie wartości mediany i wartości średniej z kilkakrotnych odczytów z łąty pozwoliły skutecznie wyeliminować z obserwacji wpływ zmian czynników terenowych (ruch samochodowy itp.). Dla zwiększenia dokładności pomiaru zadano wielkość tolerancji na poziomie 0,3 mm z uwagi na niekorzystny, z punktu widzenia położenia łąty, obszar działania. Znaczną część prac pomiarowych, zwłaszcza na odcinkach stanowiących nawiazanie wysokościowe do punktów znajdujących się na peryferiach miasta, prowadzono wzdłuż głównych traktów komunikacyjnych Inowrocławia. Odczyty z łąt ustawionych w strefach chwilowych podmuchów wiatru wynikających z ruchu pojazdów były obciążone często błędami wychylenia (systematycznymi co do znaku, przypadkowymi co do wielkości). Dla minimalizacji wpływu czynników terenowych założono 3-krotny pomiar na stanowisku, przy założeniu tolerancji błędu na poziomie 0,3 mm.

Dodatkową zaletą tego instrumentu jest możliwość każdorazowego sprawdzenia pomiaru i powtarzania procedur aż do osiągnięcia wymaganej przez użytkownika dokładności. Dopiero wówczas gdy spełni się warunek zadanej dokładności na stanowisku, następuje zatrzymanie procesu pomiarowego i automatyczny zapis da-

nych w pamięci wewnętrznej instrumentu REC – module GRM 10 (karcie pamięci o pojemności 64 kB). Pozostałą część sieci niwelacji precyzyjnej prowadzono, stosując metodę pomiaru BF (*Back – Forward*), przy założonej tolerancji błędu na stanowisku na poziomie 0,3 mm i 3-krotnym określeniu wysokości na łącie. Wstępne wyrównanie sieci wykonano w programie GEODEZJA (autorstwa B. Cisły). Pomiar ciągu 200-Góra-80 został wykonany w ramach pracy dyplomowej [5]. Wyniki uzyskanych przyrostów (oraz ich różnic dla kierunku głównego i powrotnego) zestawiono w tabeli 1 i 2.

**Tabela 1.** Wartości wyrównanych przewyższeń z niwelacji precyzyjnej dla ciągu nawiązawczego we wsi Góra [5]

Reper	$\Delta H_i$ [m]	Różnica przewyższeń $f_k$ [m]	Średnie przewyższenie $\Delta H$ [m]
80	-18,259	0,007	18,262
200			
80	18,266		

**Tabela 2.** Wartości wyrównanych przewyższeń z niwelacji precyzyjnej dla ciągu nawiązawczego w Inowrocławiu

Reper	$\Delta H_i$ [m]	Różnica przewyższeń $f_k$ [m]	Średnie przewyższenie $\Delta H$ [m]
757	-0,752	0,002	0,753
3403			
757	0,754		

Przedstawione wyniki wykorzystano na dalszym etapie do porównania z uzyskanymi z pomiarów techniką GPS.

W kolejnych pomiarach (w 2004 i 2005 r.) wykorzystano identyczny zestaw, tj. 3 odbiorniki firmy Ashtech: UZ-12 Z-Surveyor z antenami 701008.01B i jeden typu MD-XII z anteną 700228D. Pomiar 2 i 3 serii wykonano metodą statyczną w trzygodzinnych sesjach pomiarowych. Interwał pomiarowy wynosił 15 sekund, a minimalna wysokość horyzontalna obserwowanych satelitów – 5°. Opracowanie obserwacji wykonano przy pomocy oprogramowania AOS 1.6 firmy Ashtech. Ze względu na małe odległości pomiędzy punktami opracowane zostały tylko obserwacje sygnałów GPS wykonane dla częstotliwości L1. Ponieważ w przypadku po-

miarów niwelacyjnych repery początkowe i końcowe ciągów były reperami ściennymi, to w przypadku pomiarów GPS zaistniała konieczność ustawienia odbiornika na punktach pośrednich, które zostały następnie dodatkowo pomierzone niwelacyjnie jako punkty wiążące pomiary niwelacyjne i GPS. W przypadku pomiarów w Inowrocławiu takim punktem pośrednim był zlokalizowany w bezpośrednim sąsiedztwie repery 757 ziemny punkt badawczy 10 (zastabilizowany dla potrzeb projektu badawczego KBN 5 T12E 009 22). Natomiast we wsi Góra zastabilizowano tymczasowo w pobliżu repery 200 punkt Góra. Nawiązanie osnowy kopalnianej dla Kopalni „Góra” wykonano drogą niwelacji (ciąg nawiązawczy pomiędzy reperami 80 i 200), a następnie wykonano kontrolny pomiar GPS punktu Góra, który w ten sposób uzyskał wysokości odniesione do punktu 3403 (sieci POLREF).

W przypadku wyznaczania wysokości punktów na drodze pomiarów GPS konieczne jest uwzględnienie odstępu quasi-geoidy od elipsoidy w myśl równań:

$$H = h - \zeta \quad (1a)$$

lub

$$\Delta H = \Delta h - \Delta \zeta \quad (1b)$$

gdzie:

$H, h$  – odpowiednio wysokość normalna i elipsoidalna,  
 $\zeta$  – odstęp quasi-geoidy od elipsoidy.

W analizowanym przypadku wykorzystano odstęp quasi-geoidy obliczone z modelu *Geoida Niwelacyjna 2001* [7]. Wartości tych odstępów uzupełniono o poprawkę wynikającą z różnych układów wysokości elipsoidalnych (EUREF'89 – sieć punktów POLREF; ITRF'96 – *Geoida Niwelacyjna 2001*) wynoszącą dla punktów pomiarowych w tym rejonie  $d_{\zeta} = 1$  cm

$$\zeta_{\text{EUREF'89-Kronstadt'86}} = \zeta_{\text{GN'2001}} + d_{\zeta} \quad (2)$$

Autorzy modelu *Geoidy Niwelacyjnej 2001* ocenili jego dokładność na porównywalną z dokładnością niwelacji precyzyjnej II klasy. Dokładność ta w zupełności zaspakaja wymagania prac niwelacyjnych realizowanych dla potrzeb geodezji górniczej. W przypadku wyznaczania różnic wysokości pomiędzy punktami i ich porównania z wyznaczonymi na drodze niwelacji precyzyjnej, co było głównym zadaniem wykonanych prac, uwzględniono poprawki wynikające z różnego nachylenia analizowanych powierzchni. W tabeli 3 zestawiono uzyskane wartości współrzędnych elipsoidalnych (B, L, h) oraz różnice wysokości pomiędzy punktami, które objęto pomiarami GPS w Inowrocławiu i Górze w ramach wykonanych nawiązań wysokościowych.

**Tabela 3.** Zestawienie współrzędnych elipsoidalnych punktów objętych pomiarami wysokościowymi

Punkt	B [° ' '' ]			L [° ' '' ]			h [m]
10	52	46	45,25642	18	15	35,76175	123,146
Góra	52	44	33,23113	18	19	16,66935	118,958
3403	52	45	45,90228	18	15	13,59211	123,369

Porównanie przewyższeń uzyskanych z pomiaru GPS oraz niwelacji geometrycznej można zrealizować po uwzględnieniu lokalnego nachylenia quasi-geoidy do elipsoidy. Nachylenie to zależne od kierunku (azymutu) oblicza się za pomocą składowych odchylenia linii pionu według wzoru

$$\Theta_{PK} = \xi \cos A_{PK} + \eta \sin A_{PK} \quad (3)$$

gdzie:

- $\Theta_{PK}$  – odchylenie linii pionu w kierunku z punktu  $P$  do punktu  $K$ ,
- $\xi, \eta$  – średnie wartości składowych odchylenia pionu w punktach  $P$  i  $K$ ,
- $A_{PK}$  – azymut kierunku z  $P$  do  $K$ .

To samo nachylenie quasi-geoidy do elipsoidy można obliczyć na niewielkich odległościach z wykorzystaniem różnicy odstępów quasi-geoidy od elipsoidy w obu punktach

$$\Theta_{PK} = -\frac{\Delta h_{PK} - \Delta H_{PK}}{s_{PK}} = -\frac{\Delta \zeta_{PK}}{s_{PK}} \quad (4)$$

gdzie:

- $\Delta H_{PK}, \Delta h_{PK}$  – przewyższenia z niwelacji geometrycznej i GPS,
- $\Delta \zeta_{PK}$  – różnica odstępów quasi-geoidy od elipsoidy,
- $s_{PK}$  – odległość między punktami  $P$  i  $K$

Po uwzględnieniu wzorów (1) i (2) otrzymamy związek pozwalający obliczyć przewyższenie z niwelacji geometrycznej na podstawie przewyższenia z niwelacji GPS oraz składowych odchylenia linii pionu:

$$\Delta H_{PK} = \Delta h_{PK} + s_{PK} (\xi \cos Az_{PK} + \eta \sin Az_{PK}) = \Delta h_{PK} - \Delta \zeta_{PK} \quad (5)$$

Wyniki porównania przewyższeń uzyskanych z obu technik pomiarowych zawiera tabela 1. W obliczeniach wykorzystano składowe odchylenia linii pionu z modelu *Geoida Niwelacyjna 2001* oraz odległości i azymuty odpowiadające linii geodezyjnej na elipsoidzie GRS-80.

#### 4. Dyskusja wyników

Ostatecznym rezultatem wykonanych pomiarów było uzyskanie wysokości reperów oraz przewyższeń dla oceny porównawczej pomiędzy analizowanymi technikami pomiarowymi. W przedstawionych w tabeli 4 zestawieniach umieszczono także przewyższenia pomiędzy reperami, pomiędzy którymi nie wykonano bezpośrednio pomiarów metodą niwelacji precyzyjnej.

**Tabela 4.** Zestawienie przewyższeń wyznaczonych na drodze pomiarów niwelacyjnych (lub wartości katalogowych) oraz GPS

Odcinek	$\Delta h$ [m]	s [m]	A [ ° ' '' ]	Średnie składowe ["]		$\Delta\zeta$ [m]	$\Delta H^{OBL}$ [m]	$\Delta H^{POM}$ [m]	$\Delta^*$ [m]
				$\xi$	$\eta$				
10 – Góra	-4,188	5815,1	134 32 52,891	4,0	3,5	0,010	-4,198	-4,244	-0,046
Góra – 3403	4,411	5082,4	296 15 27, 426	3,8	3,4	0,034	4,377	4,430	0,053
3403 – 10	-0,223	1881,2	12 45 41,756	3,7	3,8	-0,041	-0,182	-0,186	-0,004

\* rozbieżność pomiędzy wyznaczonymi różnicami wysokości na drodze pomiarów GPS oraz niwelacji precyzyjnej po uwzględnieniu poprawki z tytułu różnicy odstępów quasi-geoidy od elipsoidy ( $\Delta\zeta$ )

Wartości pozyskane z Wojewódzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjno-Kartograficznej współrzędnych wysokościowych (wysokości normalne) wykorzystano tu dla potrzeb wspomnianej oceny. Zastabilizowany tymczasowo punkt Góra był wykorzystany do nawiązania wysokościowego osnowy kopalnianej metodą zarówno niwelacji precyzyjnej, jak i GPS. Wysokość tego punktu została wyznaczona w odniesieniu do pobliskiego reperu 200 (metodą niwelacji) oraz 3403 (techniką GPS). Dodatkowo, dla kontroli odniesiono jego wysokość do punktu 10, gdzie prowadzono także obserwacje GPS. Z przedstawionych przewyższeń właśnie ostatnie (3403-10) było wyznaczone na drodze pomiarów bezpośrednich techniką GPS oraz metodą niwelacji precyzyjnej. W przypadku tego odcinka przedstawiona rozbieżność pomiędzy przewyższeniem wyznaczonym z niwelacji precyzyjnej a pomiarem GPS (po korekcie wynikającej z różnicy odstępów quasi-geoidy od elipsoidy) jest najmniejsza (ostatnia kolumna tabeli 4). W przypadku pozostałych odcinków, dla których końcowym był punkt Góra (jego wysokość wyznaczono w odniesieniu do reperu 200), niwelacja nie była wykonana. W wykonanej analizie wykorzystano wysokości z katalogu, jakie uzyskano w ośrodku dokumentacji geodezyjno-kartograficznej. Niestety, reper ten posiada wysokości z 1973 r., a jego stabilizacja z punktu



widzenia obowiązujących przepisów jest niewłaściwa (bezpośrednie sąsiedztwo torów kolejowych). Tym samym wykonany pomiar wysokościowy techniką GPS miał charakter kontrolny. Wyznaczona wysokość reperu 200 w odniesieniu do punktu wyższej klasy osnowy (3403) z pomiarów GPS umożliwiła ocenę jego stateczności oraz wiarygodność nieaktualizowanych od przeszło 30 lat współrzędnych. Jak wynika z tabeli 4, uzyskane rozbieżności przewyższeń  $\Delta h - \Delta H^{POM}$  są znaczące właśnie dla odcinków opartych o punkt Góra, którego wysokość normalną wyznaczono w dowiązaniu do reperu 200. Wynikać to może zarówno z ich stosunkowo dużej długości, dokładności modelu quasi-geoidy dla orientacji na kierunku określonym przez ten odcinek, jak i z wiarygodności wspomnianych wartości wysokości katalogowych. Uzyskana rozbieżność rzędu 5 cm (dla obu odcinków opartych o punkt Góra) może również wynikać z przemieszczenia reperu 200 na skutek dalekich wpływów prowadzonej otworowej eksploatacji soli w Górze. Zalecony pomiar nawiązawczy metodą klasycznej niwelacji pozwoli na rozstrzygnięcie problemu aktualności wartości współrzędnej wysokościowej tego punktu.

Analizując uzyskane rozbieżności (ostatnia kolumna w tabeli 4), które mogą być wynikiem m.in błędów pomiarów GPS lub przyjętego modelu quasi-geoidy, można stwierdzić, że w jednym przypadku uzyskano w pełni satysfakcjonujący rezultat. Przyjmując kryterium dokładności wymagane dla nawiązań wysokościowych osnow kopalnianych oraz uwzględniając wspomniane rozbieżności jako błąd pomiarów GPS w zakresie wyznaczanych przewyższeń, uzyskany rezultat dla ciągu w Inowrocławiu można określić jako zadowalający. Różnica pomiędzy przewyższeniami uzyskanymi na drodze niwelacji precyzyjnej i pomiarów GPS wyniosła 4 mm na odcinku ok. 2.5 km (odcinek 3403-10). W przypadku nawiązania wysokościowej osnowy kopalnianej rezultat ten jest na poziomie dokładności osnowy I klasy. Jednak analiza wartości przyrostów dla wszystkich boków zamkniętego wskazuje, że punkt Góra nie posiada właściwej wysokości. Wartość katalogowa punktu 200 (w nawiązaniu do niego wyznaczono wysokość punktu „Góra”) jest prawdopodobnie nieaktualna.

## 5. Podsumowanie

Brak większej ilości publikacji poświęconych zagadnieniu pomiarów wysokościowych techniką GPS w zagadnieniach inżynierskich jest główną przeszkodą jej szerszego zastosowania w praktyce inżynierskiej. Wykonywane tego typu pomiary ograniczają się zwykle do eksperymentu naukowego, co nie sprzyja popularyzacji tego typu prac, w pewnym sensie ogranicza rozwój technologiczny i ekonomiczne korzyści wynikające z ich wdrażania.

Zasadę „wykonać więcej, robiąc mniej” można zastosować także w pomiarach wysokościowych, gdzie technika GPS zapewnia dokładność wystarczającą w wielu

zagadnieniach inżynierskich, a nawet równorzędnych z klasyczną niwelacją geometryczną. Potwierdzają to rezultaty, jakie uzyskano w pomiarach omówionych w przedstawionej pracy. Dodatkowymi zaletami tego typu rozwiązań są mniejsze koszty wykonania pomiarów niwelacyjnych techniką GPS (mniejszy skład osobowy, dużo mniej czasu potrzebnego do realizacji pomiaru, itp.). Szczególna zaleta zastosowania tej techniki wynika z większej swobody dobierania punktów nawiązania. Ma to znaczenie w przypadku specyficznych obszarów, gdzie zachodzi potrzeba wykonania długich ciągów ze względu na zniszczenia reperów osnowy wysokościowej. Ponadto, pomiary wysokościowe techniką GPS można wykorzystać w szybkiej ocenie stabilności reperów wysokościowych.

Dokładność wyznaczania wysokości normalnych metodą techniki GPS jest w dużym stopniu uwarunkowana dokładnością przyjętego modelu geoidy/quasi-geoidy. Należy przypuszczać, że kolejny model quasi-geoidy dla obszaru Polski, który obecnie nie jest jeszcze udostępniony będzie w większym stopniu spełniał oczekiwania w zakresie dokładności.

## Literatura

- [1] Banasik P.: *Wykorzystanie quasi-geoidy w pomiarach niwelacyjnych*. Geodezja, UWND AGH, T. 7, Z. 2, Kraków 2001.
- [2] Banasik P., Góral W., Maciaszek P.: *Precyzyjna sieć geodezyjna na obszarze wschodniej części Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (GOP)*. Geodezja, UWND AGH, T. 5, Z. 2, Kraków, 1999, s. 195–205.
- [3] Barlik M.: *Satellite-gravimetric method of displacement investigations on the Earth crust surface on mining area*. New Methods of Geodetic and Photogrammetric Measurements. No.3/4, Faculty of Geodesy and Cartography, Warsaw U. of Tech., 1996, pp. 7–20.
- [4] Cacoń S.: *Zastosowanie techniki satelitarnej GPS w obserwacjach deformacji górotworu KWB Turów*. W: Miernictwo górnicze i ochrona terenów górniczych na przełomie wieków. V Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych. Materiały konferencji nauk-tech. Szczyrk, 29.09–1.10.1999. Katowice GIG 1999, s. 454–460.
- [5] Cmoluch E.: *Nawiązanie Kopalni „Góra” do osnowy wysokościowej I klasy*. Praca dyplomowa Wydz. Geodezji Górniczej i Inż. Środ. AGH. Materiały niepublikowane. Promotor Z. Szczerbowski, 2005.
- [6] Góral W., Szewczyk J.: *Zastosowanie technologii GPS w precyzyjnych pomiarach deformacji*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2004

- [7] Pażus R., Osada E., Olejnik S.: *Geoida Niwelacyjna 2001 – załącznik do instrukcji G-2*, Geodeta 5/2002, Warszawa 2002.
- [8] Instrukcja techniczna G-2: *Wysokościowa osnowa geodezyjna*. Wyd. 2. Wyd. GUGiK Warszawa 1981.
- [9] Instrukcja techniczna G-2: *Szczegółowa pozioma i wysokościowa osnowa geodezyjna i przeliczenia współrzędnych między układami*. Wyd. 5. Wyd. GUGiK Warszawa 2001.
- [10] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 19 czerwca 2002 r. w sprawie dokumentacji mierniczo-geologicznej (Dz. U. z dnia 28 czerwca 2002 r.).
- [11] Wytyczne techniczne G-1.9: *Katalog znaków umownych oraz zasady stabilizacji punktów*. Wyd. GUGiK Warszawa 1984.