

ACTA SCIENTIARUM POLONORUM

Czasopismo naukowe założone w 2001 roku przez polskie uczelnie rolnicze

Geodesia et Descriptio Terrarum

Geodezja i Kartografia

Geodesy and Cartography

10 (1) 2011



Bydgoszcz Kraków Lublin Olsztyn
Poznań Siedlce Szczecin Warszawa Wrocław

Executive Board of *Acta Scientiarum Polonorum*

Jerzy Sobota (Wrocław) – chairman

Wiesław Nagórko (Warszawa), Janusz Falkowski (Olsztyn), Florian Gambuś (Kraków),
Franciszek Kluza (Lublin), Janusz Prusiński (Bydgoszcz), Stanisław Socha (Siedlce),
Waldemar Uchman (Poznań), Bogdan Lasota (Szczecin)

Scientific Board of *Geodesia et Descriptio Terrarum*

Andrzej Borkowski (Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Poland) – chairman,
e-mail: andrzej.borkowski@up.wroc.pl

Aleksandra Bujakiewicz (Warsaw University of Technology, Poland), Roman Galas (Berlin
University of Technology, Germany), Wolfgang Keller (University of Stuttgart, Germany),
Andrzej Krankowski (University of Warmia and Mazury, Olsztyn, Poland), Josef Weigel
(Brno University of Technology, Czech Republic)

Wojciech Dach (Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Poland) – secretary
e-mail: wojciech.dach@up.wroc.pl

Covered by: Agro, Ulrich's Database, Copernicus Index, EBSCOhost

ISSN 1644–0668 (print) ISSN 2083–8662 (on-line)

Print edition is an original (reference) edition

Cover design
Daniel Morzyński

Text editor
Ewa Jaworska, e-mail: ewa.jaworska@up.wroc.pl

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Sopocka 23, 50–344 Wrocław, Poland
e-mail: wyd@up.wroc.pl <http://www.up.wroc.pl>

Printed: 100 + 16 copies Publishing sheets: 2,6 Printing sheets: 2,75

Szanowni Państwo,

Przekazujemy Państwu kolejny zeszyt ACTA SCIENTIARUM POLONORUM Geodesia et Descriptio Terrarum, czasopisma naukowego wydawanego przez wszystkie polskie uczelnie rolnicze i przyrodnicze w 14 seriach. Seria Geodesia et Descriptio Terrarum ukazuje się nakładem Wydawnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Czasopismo nasze publikuje oryginalne prace z zakresu szeroko rozumianej geodezji i kartografii oraz pokrewnych obszarów wiedzy, z naciskiem na aspekty praktyczne. Publikowane są zarówno oryginalne prace badawcze, jak i artykuły o charakterze monograficznym, w języku polskim lub angielskim, ze streszczeniami w obydwu językach, także wszystkie opisy rysunków i tabel są dwujęzyczne. Prace są recenzowane przez najlepszych specjalistów z danej dziedziny. Również w bieżącym numerze dominują prace o charakterze aplikacyjnym.

Od roku 2007 czasopismo wydawane jest jako kwartalnik. Szczegóły dotyczące przygotowania artykułu oraz wymogi redakcyjne można znaleźć na stronie www.acta.media.pl.

Zespół Redakcyjny

Dear Readers,

It is a great pleasure to introduce you the next issue of ACTA SCIENTIARUM POLONORUM Geodesia Terrarum et Descriptio, a scientific journal published by all polish universities of environmental sciences. The series of Geodesia et Descriptio Terrarum is released by publishing house of Wroclaw University of Environmental and Life Sciences.

The journal publishes original papers of broadly understood surveying, mapping and related topics, with emphasis on practical aspects. There are published both original research articles and monographs, in Polish or English, with abstracts in both languages, as well all figures' and tables' captions are bilingual. The papers are reviewed by the best specialists in the field. This issue is also dominated by the application problems.

Since 2007 the journal has been published as a quarterly. Details concerning the instruction for authors and editorial requirements can be found at www.media.pl.

Editorial Team

ANALIZA BŁĘDÓW GENEROWANYCH PODCZAS POMIARU SZCZEGÓŁÓW SYTUACYJNYCH METODĄ GPS RTK

Kamil Kowalczyk

Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Olsztyn

Streszczenie. Celem niniejszej pracy jest opisanie źródeł błędów mających lub mogących mieć wpływ na jakość wyznaczenia współrzędnych szczegółów sytuacyjnych podczas pomiaru metodą GPS RTK z punktu widzenia użytkownika. Źródła błędów podczas pomiaru szczegółów sytuacyjnych można podzielić na dwie grupy. Pierwsze to te, na które jako użytkownik systemu nie mamy wpływu. Do tej grupy można zaliczyć m.in. błędy wynikające z samej dokładności działania GPS, a także te związane z zastosowaniem metody pomiaru, np. RTK. Do drugiej grupy błędów można zaliczyć te, które powstają podczas właściwego pomiaru takie jak: nieprostokątność tyczki, niecentryczne jej ustawienie nad mierzonym szczegółem, zły dobór punktów wpasowania na istniejącą osnowę itp. W pracy omówiono szczegółowo przyczyny powstawania błędów należących do obu grup, oceniono ich wpływ na ostateczną wartość współrzędnych oraz opisano możliwości ich ograniczenia lub eliminacji.

Słowa kluczowe: pomiary szczegółów sytuacyjnych i wysokościowych, GPS RTK, punkt niedostępny, błędy RTK

WSTĘP

Aby wykonać bądź zaktualizować mapę zasadniczą lub mapę ewidencyjną, należy w terenie pomierzyć szczegóły sytuacyjne. Metody pomiaru tych szczegółów zmieniały się wraz z rozwojem technik pomiarowych. Pierwsze metody opierały się na pomiarach liniowych (taśma i węgielnica), pomiarach kątowno liniowych z użyciem teodolitów i dalmierzy kreskowych. Wraz z rozwojem i miniaturyzacją podzespołów elektronicznych pojawiły się elektroniczne nasadki na dalmierze, a w rezultacie instrumenty geodezyjne typu *total station* zawierające w sobie moduły pomiarowe i obliczeniowe. Obecnie coraz popularniejszą metodą pomiaru szczegółów sytuacyjnych jest metoda GPS RTK.

Szczegóły sytuacyjne ze względu na specyfikę pomiaru metodą RTK można podzielić na dwie grupy. Pierwszą grupę stanowią szczegóły, nad którymi bezpośrednio w terenie

można postawić tyczkę z odbiornikiem GPS i wykonać pomiar. Drugą grupę stanowią szczegóły, do których nie ma bezpośredniego dostępu lub nie można nad nimi postawić tyczki z odbiornikiem (np. latarnia). Są to tak zwane punkty niedostępne. Opis metod pomiaru niedostępnych punktów sytuacyjnych metodą RTK można znaleźć np. w pracach Beluch i Krzyżek [2005], Kowalczyk i Węgliński [2010].

Celem niniejszej pracy jest omówienie jak największej liczby błędów mających wpływ na ostateczne współrzędne wyznaczone metodą GPS RTK oraz określenie możliwości ich eliminacji lub ograniczenia ich wpływu.

BŁĘDY WYNIKAJĄCE Z DZIAŁANIA SYSTEMU GPS

Podstawą wyznaczania pozycji i czasu w GPS są odległości anteny odbiornika od satelitów mierzone jako odcinek czasu, w którym sygnał radiowy przebywa drogę satelita–antena. Według wzoru (1) odcinek, w którym sygnał przebywa drogę od satelity do odbiornika, można przedstawić jako sumę trzech składników [Narkiewicz 2003]:

$$\Delta t_c = \Delta t_p + \Delta t_z + \Delta t_b \quad (1)$$

gdzie:

- czas potrzebny na przebycie drogi odbiornik–satelita,
- błąd zegara odbiornika, jest to różnica pomiędzy czasem wskazanym przez odbiornik i czasem GPS,
- błędy systemu.

Składnik pierwszy i drugi są niewiadomymi w równaniu pozycji. Natomiast na składnik trzeci składa się szereg błędów wynikających z działania systemu. Można je podzielić na błędy:

- propagacji sygnału i nieskompensowane efekty relatywistyczne,
- wynikające z działania segmentów kosmicznego i naziemnego,
- powstające w odbiornikach.

W pracy pominięto opis tych błędów ze względu na wszechstronne ich omówienie w literaturze [Narkiewicz 2003, Hofmann-Wellenhof i in. 2000, Lamparski 2001, El-Rabbany 2002].

ŹRÓDŁA BŁĘDÓW I ICH WPŁYW NA DOKŁADNOŚĆ POMIARÓW SZCZEGÓŁÓW SYTUACYJNYCH METODĄ GPS RTK

Do tej grupy błędów można zaliczyć błędy, które są generowane (lub mogą być) podczas właściwego pomiaru.

Podczas pomiarów szczegółów sytuacyjnych powstaje szereg błędów, które ogólnie można sklasyfikować według następującego podziału: błędy wynikające z braku staranności pomiarowej, błędy wynikające z zastosowanej konstrukcji geometrycznej w trakcie pomiaru metodami pośrednimi oraz błędy wynikające z wykorzystania lub niewykorzystania dodatkowego pomiaru punktów wiążących użytych w procesie transformacji z układu satelitarnego na układ płaski lub wysokościowy. Ogólnie, powyższe błędy można zapisać w postaci wzoru (2) [Kowalczyk 2011a]:

$$m_p^2 = m_{pb}^{RTK^2} + m_{dk}^w{}^2 + m_j^2 \quad (2)$$

gdzie:

m_p – błąd wyznaczenia współrzędnych punktu, m_{pb}^{RTK} – błąd wyznaczenia współrzędnych szczegółów sytuacyjnych względem istniejącej osnowy (punktów bazowych – pomiar metodami pośrednimi), m_{dk}^w – wewnętrzna dokładność konstrukcji pośredniej, – błąd wynikający z braku staranności pomiarowego.

W przypadku pomiarów bezpośrednio nad punktem błąd m_{dk}^w jest pomijany.

Do poszczególnych grup błędów wyznaczenia współrzędnych punktu metodą GPS RTK zaliczamy błędy:

- wynikające z wyznaczenia współrzędnych punktów względem istniejącej osnowy geodezyjnej,
- wynikające z braku staranności osoby wykonującej pomiary,
- wynikające z wewnętrznej konstrukcji geometrycznej (metody pośrednie).

BŁĘDY WYNIKAJĄCE Z WYZNACZENIA WSPÓLRZĘDNYCH WZGLĘDEM ISTNIEJĄCEJ OSNOWY GEODEZYJNEJ

Rodzaj użytej stacji referencyjnej

Metoda RTK jest to metoda kinematyczna z jednoczesnym wyznaczeniem pozycji odbiornika w czasie rzeczywistym. Proces wyznaczenia pozycji przebiega w zestawie ruchomym (Odbiornik GPS + kontroler lub zestaw zintegrowany), do którego informacje ze stacji bazowej docierają drogą radiową albo przez Internet (GPRS). Zaletą tej metody jest natychmiastowe wyznaczenie pozycji odbiornika ruchomego. Można wyróżnić pomiary RTK z użyciem własnej stacji bazowej lub też z użyciem stacji wirtualnej. Prezentowane poniżej informacje zaczerpnięto ze strony www.asgeupos.pl.

W pierwszym wariantcie informacje przesyłane są drogą radiową, natomiast pozycja wyznaczana jest z dokładnością $\pm 1 \div 2 \text{cm} + 2 \text{ppm} \cdot S$ w przypadku składowych horyzontalnych i około $\pm 3 \text{cm} + 2 \text{ppm} \cdot S$ w odniesieniu do składowej wysokościowej. Ograniczeniem jest w tym przypadku zasięg radia uzależniony od jego jakości oraz ilości przeszkód terenowych (pagórki, las, budynki itp.). Zasięg radia można poprawić poprzez stosowanie dodatkowej anteny ze wzmacniaczem.

W drugim wariantcie poprawki RTK przesyłane są poprzez Internet z Centrum Zarządzania. Centrum Zarządzania otrzymuje dane obserwacyjne z sieci stacji permanentnych, które spełniają rolę stacji bazowej, a następnie wysyła gotowe informacje do odbiornika. Rodzaj informacji wysyłany do odbiornika uzależniony jest od wyboru przez użytkownika rodzaju poprawek: FKP i MAC (powierzchniowe RTK) lub VRS (z Wirtualnej Stacji Referencyjnej). Wielką zaletą tego rozwiązania jest możliwość użycia tylko jednego odbiornika (Rovera), gdyż rolę stacji bazowej spełnia system Centrum Zarządzania. Odległości pomiędzy stacjami permanentnymi mogą wynosić nawet kilkadziesiąt kilometrów. Wadą tej metody jest konieczność dostępu do Internetu poprzez GPRS. Zdarza się, że nie wszyscy operatorzy telefonii komórkowej mają taki sam zasięg w tym samym miejscu kraju. Receptą na brak zasięgu od jednego operatora jest zmiana karty GSM na kartę innego operatora (przyp. Autora).

W Polsce w ramach systemu ASG-EUPOS do obliczeń i wysyłania poprawek utworzony został serwis czasu rzeczywistego NAWGEO, w którym poprawki wysyłane są w następujących formatach: RTCM (2.3 i 3.1), RTCM FKP (2.3), RTCM VRS (2.3 i 3.1). Może się zdarzyć, iż w danym momencie pomiaru nie otrzymujemy poprawek z tego serwisu w wybranym formacie, wówczas najlepszym rozwiązaniem jest wybranie innego formatu przesyłanych danych.

Dokładność wyznaczenia pozycji z użyciem poprawek powierzchniowych wynosi: $\pm 1 \div 2 \text{ cm} + 2 \cdot \text{ppm} \cdot S$ w odniesieniu do składowych horyzontalnych i około $\pm 3 \text{ cm} + 2 \cdot \text{ppm} \cdot S$ w przypadku składowej wysokościowej.

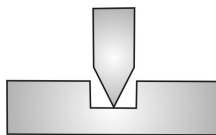
Błąd pomiaru punktów dostosowania w celu wpasowania w układ płaski, wynikający z niecentryczności ustawienia tyczki nad punktem oraz stabilności tyczki

Podczas pomiarów szczegółów sytuacyjnych metodą RTK, szczególnie w układzie 65, należy wykonać pomiar przynajmniej 4 punktów osnowy geodezyjnej traktowanych jako punkty dostosowania w procesie transformacji współrzędnych GPS na współrzędne płaskie w układzie 65 (Wytyczne techniczne G-1.12 2008). Podczas takiego pomiaru należy ustawić tyczkę centrycznie nad punktem osnowy i wykonać pomiar. Pomiar powinien trwać około 30 s. W trakcie tego pomiaru tyczkę należy trzymać pionowo nad punktem. Na jakość pomiaru współrzędnych wpływa stabilność tyczki, wielkość przewagi libelli pudełkowej zamocowanej na tyczce, a także odległość odbiornika GPS zamontowanego na górze tyczki do znaku geodezyjnego. Błąd wynikający z niepionowości ustawienia tyczki na punktem jest trudny do oszacowania. Zależy on w głównej mierze od warunków terenowych (silny wiatr, deszcz, temperatura) oraz użytej libelli pudełkowej (rektyfikacja), a także od jakości jej zamontowania na tyczce.

Jakość centrowania można poprawić poprzez stałą kontrolę techniczną libelli, pomiar w warunkach korzystnych do utrzymania tyczki w pionie lub też stosowania podpórek w przypadku pomiarów w warunkach niekorzystnych.

Błąd pomiaru punktów dostosowania w celu wpasowania w układ wysokościowy

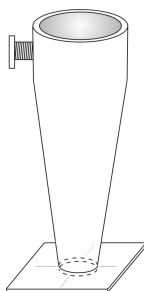
O ile wpływ pionowości tyczki na wyznaczenie współrzędnej x i y może mieć znaczenie, o tyle podczas pomiarów punktów dostosowania w celu wpasowania w układ wysokościowy wpływ ten jest minimalny. Błąd wpasowania może powstać w wyniku nieprawidłowego ustawienia tyczki nad znakiem geodezyjnym (rys. 1).



Rys. 1. Nieprawidłowe ustawienie tyczki nad punktem o znanej wysokości

Fig. 1. Improper survey rod placement over the point with known height

Powstały w wyniku takiego ustawienia tyczki błąd jest rzędu od 1 cm (kamień z krzyżem) do 4 cm (kamień z rurką). Aby zapobiec powstawaniu tego rodzaju błędów, można zastosować dwa rozwiązania. Pierwsze polega na pomiarze przy ustawionej tyczce na punkcie, ale nie na jego środku. Natomiast drugi wymaga zastosowania specjalnej podstawki pod tyczkę geodezyjną (rys. 2).



Rys. 2. Podstawka do tyczki geodezyjnej (rozwiązanie własne autora)
Fig. 2. Survey rod stand (author's design)

Dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów bazowych (pomiar pośredni)

Aby ocenić wpływ błędów wyznaczenia współrzędnych punktów bazowych podczas obserwacji niedostępnych do bezpośredniego pomiaru szczegółów sytuacyjnych, autor przeprowadził pomiary na obiektach testowych [Kowalczyk 2011a]. Poniżej zamieszczono jedynie opis wyników końcowych.

Podczas pomiaru punktów bazowych w układzie 65 istnieje bezwzględna konieczność pomiaru punktów dostosowania na istniejącą osnowę geodezyjną, jeżeli wyznaczeniu podlegają szczegóły 1 i 2 grupy dokładności (średni błąd wyznaczenia pozycji punktu bazowego względem osnowy wyniósł 4 cm). Zastosowane rozwiązanie matematyczne (bez punktów dostosowania) powoduje jego przydatność jedynie do pomiaru szczegółów sytuacyjnych trzeciej grupy dokładnościowej (średni błąd wyznaczenia pozycji punktu bazowego względem osnowy wyniósł 30 cm).

Podczas pomiaru punktów bazowych w układzie 2000 średni błąd wyznaczenia pozycji punktu bazowego z uwzględnieniem punktów dostosowania względem osnowy geodezyjnej wyniósł 2 cm. Natomiast zastosowanie rozwiązań matematycznych spowodowało zwiększenie tego błędu do 3 cm.

Z przeprowadzonych analiz [Kowalczyk 2011a] wynika, że przy wykorzystaniu metod pośrednich pomiaru punktów niedostępnych (metoda wcięć liniowych) może być zastosowana metoda wyznaczenia punktów bazowych w układzie 1965 tylko z wpasowaniem na istniejącą osnowę geodezyjną. W przypadku układu 2000 można wykorzystać oba sposoby, tj. z punktami dostosowania lub też z rozwiązań matematycznych. We wszystkich trzech wariantach błąd położenia punktu bazowego względem osnowy nie może przekroczyć wartości 9 cm.

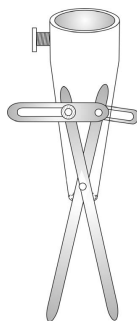
BŁĘDY WYNIKAJĄCE Z BRAKU STARANNOŚCI MIERNICZEGO

Błąd pomiaru szczegółu sytuacyjnego „płaskiego”

Na wielkość tego błędu wpływają pionowość tyczki nad punktem oraz jej stabilność. Ze względu na to, iż pomiar nad szczegółem sytuacyjnym trwa tylko kilka sekund, błąd ten przyjmuje minimalne wartości. Oczywiście najważniejsza jest tu staranność mierniczego.

Błąd pomiaru szczegółu sytuacyjnego „wypukłego”

Błąd ten występuje podczas pomiarów inżynierskich, np. pomiar linki stalowej wyznaczającej poziom masy jezdnej, inwentaryzacja przewodów sieci uzbrojenia terenu itp. Wynika on z samej trudności ustawienia tyczki w najwyższym punkcie np. rury kanalizacyjnej oraz jej pionowego i stabilnego utrzymania. Wielkość tego błędu zależy od staranności mierniczego. Aby błąd ten zminimalizować, można stosować widelki korekcyjne (rys. 3) pomagające ustabilizować tyczkę na rurze (lince).



Rys. 3. Widelki korekcyjne (rozwiązanie własne autora)

Fig. 3. Correction fork (author's design)

BŁĄD WYNIKAJĄCY Z POMIARU ODLEGŁOŚCI RĘCZNYM DALMIERZEM LASEROWYM

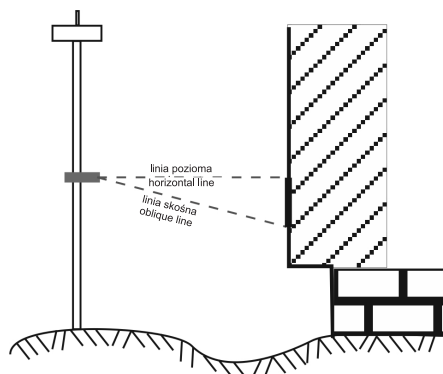
Na błąd wynikający z pomiaru ręcznym dalmierzem laserowym składa się pięć czynników:

- niepoziome usytuowanie ręcznego dalmierza laserowego,
- kąt, pod jakim mierzona jest odległość w stosunku do ściany budynku,
- grubość ocieplenia budynku,
- pionowe ustawienie tyczki, na której zamocowany jest ręczny dalmierz laserowy,
- rodzaj materiału, z jakiego wykonany jest szczegół sytuacyjny (materiał budowlany).

Niepoziome usytuowanie ręcznego dalmierza laserowego

Wpływ na pomiar odległości ręcznym dalmierzem laserowym na jego poziome usytuowanie (rys. 4).

W tabeli 1 zaprezentowano przykładowe przedziały, w jakich można celować na ścianę, aby różnica odległości pomiędzy linią poziomą i skośną nie była większa niż 1 cm. Przedstawione wyniki ograniczają się tylko do odległości 10 metrów od punktu mierzonego, gdyż większe odległości rzadko wykorzystuje się w praktyce. Przedział celowania obliczono z twierdzenia Pitagorasa.



Rys. 4. Pionowy przedział celowania
Fig. 4. Vertical targeting range

Tabela 1. Przykładowe przedziały celowania podczas pomiaru ręcznym dalmierzem laserowym
Table 1. Sample aiming ranges during handheld rangefinder measurement

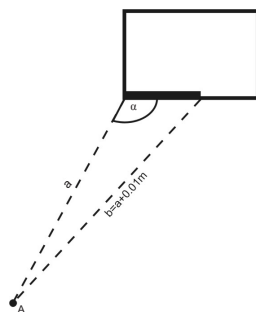
Długość linii poziomej D [m] (length of the horizontal line D)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Pionowy przedział celowania [m] (Vertical targeting range)	0,45	0,42	0,40	0,37	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,14

Z tabeli 1 widać, iż podczas pomiaru odległości ręcznym dalmierzem laserowym wraz ze wzrastającą odległością celowania rośnie także przedział celowania. Podczas pomiaru odległości 1 m przedział ten wynosi 14 cm, natomiast przy odległości 10 m wzrasta do 45 cm.

Zmniejszenie wpływu niepoziomego usytuowania ręcznego dalmierza laserowego można osiągnąć poprzez stosowanie dodatkowej libelli rurkowej sprzężonej z dalmierzem lub też używanie ręcznych dalmierzy laserowych z wbudowanym inklinometrem korygującym niepoziome usytuowanie osi dalmierza.

Wpływ kąta pod jakim mierzona jest odległość w stosunku do ściany budynku

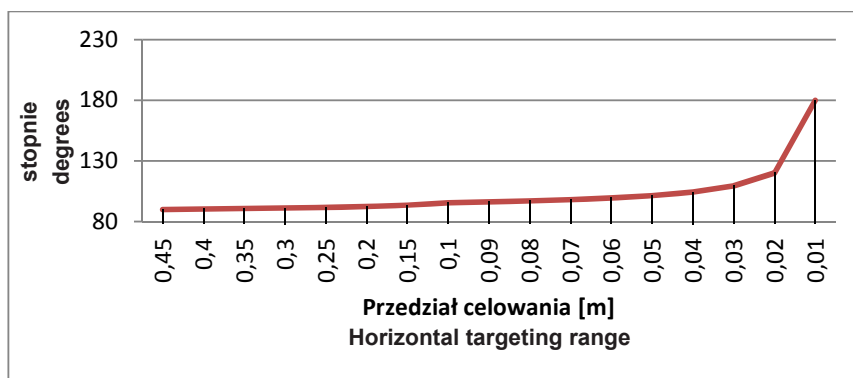
Obliczenie pionowego przedziału celowania nie stanowi problemu, gdyż z reguły ściany budynku są pionowe. Inna sytuacja występuje w przypadku poziomego przedziału celowania (rys. 5). Dlatego też zamiast obliczać poziomy przedział celowania, przyjęto kilka wariantów tego przedziału, a skupiono się na zależności pomiędzy kątem celowania α , poziomym przedziałem celowania oraz mierzoną odległością. Wartości graniczne kąta α przyjęto jako 90° i 180° . Maksymalny poziomy przedział celowania przyjęto jako 45 cm zmniejszający się co 5 cm, natomiast odległości od ściany budynku przyjęto od 1 m do 10 m ze zmianą co 1 m. Założono także, iż różnica pomiędzy teoretyczną odległością od ściany budynku a odległością zmierzoną nie może przekroczyć wartości 1 cm. Do obliczenia wartości kąta α wykorzystano twierdzenie cosinusów.



Rys. 5. Poziomy przedział celowania

Fig. 5. Horizontal targeting range

Po przeprowadzeniu obliczeń okazało się, iż różne odległości od ściany w przypadku tych samych poziomych przedziałów celowania dają bardzo podobne wartości kąta α . Dlatego też na rysunku 6 pokazano tylko zmianę kąta α w zależności od zmieniającego się poziomego przedziału celowania.

Rys. 6. Zmiana wartości kąta α w zależności od przedziału celowaniaFig. 6. Change in the α angle in dependency from targeting range

Kąt α zmienia się w granicach od 90° do 100° , gdy przedział celowania wynosi od 0,45 do 5 cm, natomiast przy przedziale celowania od 5 do 1 cm zmiana ta postępuje bardzo gwałtownie. Odwracając rozumowanie i uzależniając zmianę poziomego przedziału celowania od zmiany kąta α , można stwierdzić, iż największy poziomy przedział celowania otrzymamy, gdy kąt α wynosi 90° .

Wpływ izolacji cieplnej budynku

Podczas pomiaru odległości od punktu bazy wyznaczonego metodą GPS RTK ręcznym dalmierzem laserowym na błąd określenia odległości do właściwego narożnika ma także grubość izolacji cieplnej budynku. Jak pokazano na rysunku 4, ręczny dalmierz laserowy umieszczony jest zazwyczaj na specjalnej podstawie połączonej z tyczką na wysokości około 1,2 metra (w zależności od wysokości pomiarowego). Według instrukcji K1 na mapach wykazuje się położenie budynku zgodnie z położeniem jego przyziemia.

Wykonując pomiar do ocieplonej ściany, mierzone są odległości do ściany, a nie do przyziemia budynku. Dlatego też należy przed pomiarem zmierzyć grubość ocieplenia wystającą poza przyziemie i uwzględnić ją w obliczeniach. Nieuwzględnienie tej grubości może powodować zwiększenie błędu wyznaczenia współrzędnych naroża przyziemia, co przy różnicy 5 cm daje błąd od 8 cm w przypadku kąta 90° do 11 cm w odniesieniu do kąta 45° (135°). Pomijając fakt grubości ocieplenia i nałożenia się także innych błędów podczas pomiaru, wyznaczenie współrzędnych naroża budynku może przekroczyć dopuszczalny błąd położenia szczegółu I grupy (dokładność 10 cm).

Podobnie jak wyżej należy postąpić przy pomiarze punktu niedostępnego, jakim jest podpora (latarni, podcienia itp.), uwzględniając jej promień.

Błędy ze względu na rodzaj materiału, z jakiego zrobiony jest szczegół sytuacyjny

Aby ocenić błąd, jaki powstaje podczas pomiaru odległości ręcznym dalmierzem laserowym, autor przeprowadził szereg testów [Kowalczyk 2011b]. Otrzymane wyniki wykazały, iż maksymalny błąd wynikający z rodzaju materiału budowlanego wynosi 9 mm – styropian biały. Błędy w odniesieniu do pozostałych materiałów wahały się od 1 do 6 mm. Można więc wysunąć wniosek, iż materiał, z jakiego zrobiony jest szczegół sytuacyjny, nie ma znaczącego wpływu na dokładność pomiaru odległości ręcznym dalmierzem laserowym, o ile materiał ten całkowicie nie odbija promienia (lustro, powierzchnia wypolerowana) (www.riegl.com) lub go przepuszcza (szyba).

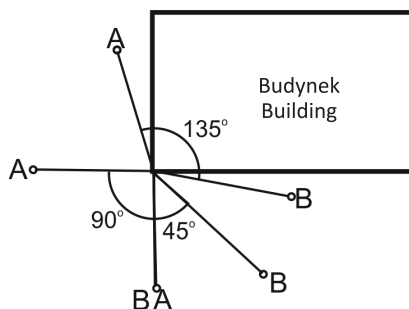
Automatyczny przesył pomierzonej długości ręcznym dalmierzem laserowym do kontrolera

Podczas przepisywania pomierzonej odległości mogą wystąpić pomyłki (błędy grube) – w zasadzie nie do wykrycia przy pomiarze pojedynczego szczegółu sytuacyjnego. Dlatego też najlepszym rozwiązaniem jest automatyczny przesył pomierzonej wartości do kontrolera. Większość ręcznych dalmierzy laserowych wyposażona jest w złącze Bluetooth, umożliwiając komunikację z komputerem. Niestety, nie wszystkie dalmierze współpracują z kontrolerami innych firm.

Inne czynniki mające wpływ na usytuowanie punktów bazowych podczas pomiaru punktu niedostępnego

Innymi czynnikami wpływającymi na usytuowanie punktów bazowych podczas pomiaru punktu niedostępnego są między innymi założenia planistyczne, zaistniała sytuacja terenowa czy dostępność wystarczającej liczby satelitów. O ile na terenach o rozproszonej zabudowie lub we wsiach gminnych nie powinno być problemu z doбором odpowiedniej konstrukcji, o tyle na terenach silnie zurbanizowanych istnieją przeszkody wynikające m.in. z wielkości działek, zabudowy szeregowej, szerokości chodnika, bliskości jezdni. W miastach są także miejsca, gdzie budynki usytuowane są na granicy działek, wówczas dobór konstrukcji wycięcia jest ograniczony poprzez np. szerokość chodnika.

Punkty niedostępne, mierzone metodą wycięć, to najczęściej szczegóły terenowe I i II grupy dokładności takie jak: narożniki budynków i obiekty podobne (cieplarnie, rampy, podpory), latarnie, ogrodzenia, drzewa, krzaki. Na terenach wiejskich budynki rzadko przewyższają ilość dwóch, trzech kondygnacji. Na terenach miejskich, szczególnie w większych aglomeracjach, występuje zwarta zabudowa wysoka. Na rysunku 7 pokazano usytuowanie punktów bazowych względem narożnika budynku (punktu wcinanego).



Rys. 7. Usytuowanie punktów bazowych względem naroża budynku na potrzeby określenia wpływu przysłony terenowej

Fig. 7. Placement of base points along building corner for the purpose of obstacle determination

Biorąc pod uwagę tylko usytuowanie punktów bazowych ze względu na przysłony terenowe (mierzone naroża budynku), najlepszym rozwiązaniem jest umiejscowienie punktów bazowych tak, aby horyzont od strony południowej był jak najbardziej odkryty. Takie założenie wymusza stosowanie małych kątów wcinających lub też zamianę konstrukcji wcięcia liniowego na konstrukcję przedłużenia prostej.

Obecność urządzeń elektrycznych, nadajników

Podczas pomiarów wykonywanych blisko urządzeń wytwarzających pole elektromagnetyczne może ono powodować zakłócenia, które wpłyną na ostateczną jakość otrzymanych współrzędnych. W pracy [In-Su Lee, Linlin Ge 2006] można znaleźć wyniki prób przeprowadzonych pomiarów w pobliżu masztów wysokiego napięcia. Błąd średni otrzymany na podstawie wyników przyjął wartość $\pm 0,05$ m. Wielkość wpływu urządzeń elektrycznych na jakość pomiaru przyjmuje przypadkowe wielkości, których nie jesteśmy w stanie wyeliminować bez ponownego pomiaru. Tak więc zaleca się, aby wykonywać pomiary RTK z dala od tych urządzeń.

BŁĘDY WYNIKAJĄCE Z WEWNĘTRZNEJ KONSTRUKCJI POŚREDNIEJ

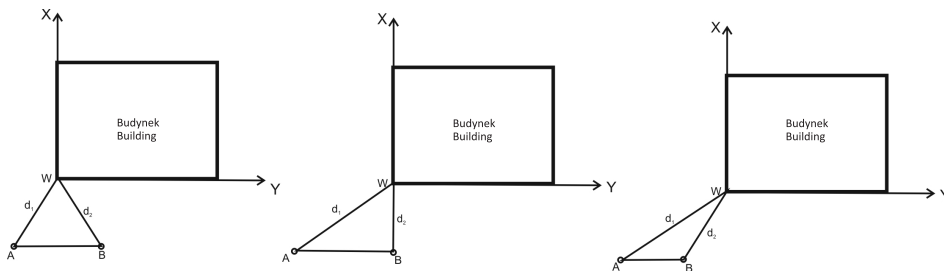
Metody pośrednie pomiaru szczegółów w trybie RTK opierają się na zastosowaniu metod znanych od lat. Należą do nich: metoda wcięcia liniowego, metoda przedłużenia prostej, metoda przecięcia prostych, metoda domiarów prostokątnych.

W metodzie klasycznej punktami bazowymi były punkty osnowy pomiarowej lub szczegółowej albo punkty na linii pomiarowej. W metodzie RTK wybór położenia punktów bazowych jest w zasadzie dowolny w zależności od dostępności satelitów i sytuacji terenowej.

Błędy przy wyznaczeniu współrzędnych punktu niedostępnego metodą wcięć liniowych

Pomiar szczegółu z punktów bazowych metodą wcięcia liniowego polega na wyznaczeniu położenia punktu na podstawie pomierzonych odległości dalmierzem laserowym, np. DISTO lub ruletką między wyznaczanym punktem a punktami o znanym położeniu (punktami bazowymi).

Wcięcie liniowe do punktu niedostępnego można rozważyć w trzech przypadkach ukazanych na rysunku 8 [Beluch i Krzyżek 2005].



Rys. 8. Różne warianty rozmieszczenia punktów bazowych w przypadku wcięcia liniowego
Fig. 8. Different variants of base points placement while linear back section survey

Jeżeli odległości do punktu niedostępnego pomierzone zostały z tym samym błędem $m_1 = m_2 = m$, to wzór na obliczenie błędu średniego położenia punktu wcinanego przyjmie postać wzoru (3) (wytyczne techniczne G-4.1):

$$Mp = \pm \frac{m\sqrt{2}}{\sin(\alpha)} \quad (3)$$

gdzie: α jest kątem przy punkcie niedostępnym W.

Z powyższego wzoru wynika, iż na dokładność wyznaczenia współrzędnych punktu wcinanego W mają wpływ dwa czynniki: błąd pomiaru długości oraz wielkość kąta wcinanego α (przy punkcie wcinanym W). Im sinus kąta wcinanego α jest bliższy wartości 1, tym kąt ma mniejszy wpływ na wartość błędu średniego. W tabeli 2 pokazano wartości błędu średniego w zależności od dokładności pomiaru oraz wartości kąta wcinanego. Błąd pomiaru ręcznym dalmierzem laserowym przyjęto jako 0,3 cm.

Tabela 2. Kształtowanie się wartości błędu średniego punktu niedostępnego w zależności od wielkości błędu pomiaru odległości i kąta wcinanego

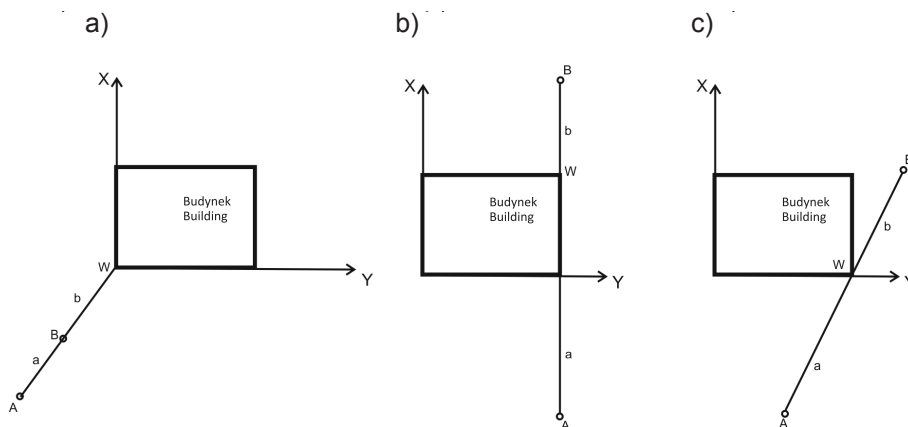
Table 2. The size of mean error of unavailable point in dependency from the size of angle and distance measurement errors

Kąt wcinany Size of angle	Wartość błędu średniego punktu niedostępnego The size of mean error of unavailable [cm]
90°	0,4
45° lub 135°	0,6
22,5° lub 157,5°	1,1
Kąt graniczny (2,5° lub 177,5°)	9,8

Kąt graniczny obliczono z założeniem, iż maksymalny błąd średni Mp może osiągnąć wartość 10 cm [instrukcja techniczna G-4].

Błędy przy wyznaczeniu współrzędnych punktu sytuacyjnego metodą przedłużeń

Na rysunku 9 pokazano przykłady zastosowania pomiaru punktu sytuacyjnego niedostępnego metodą przedłużenia prostej. Współrzędne punktu A zostały wyznaczone techniką GPS RTK. Problemem w tym rozwiązaniu pomiarowym jest wpasowanie punktu B na prostą AW.



Rys. 9. Wyznaczenie współrzędnych punktu niedostępnego metodą przedłużenia prostej
Fig. 9. Determination of coordinates of unavailable point with extension method

Współrzędne narożnika w metodzie przedłużeń prostej mogą być obliczane z następujących wzorów (4), (5):

$$X_W = X_A + (a + b) \cos A_{AB} \quad (4)$$

$$Y_W = Y_A + (a + b) \sin A_{AB} \quad (5)$$

Na wyznaczenie współrzędnych punktu W mają wpływ: odległość pomiędzy punktami A, B i B, W – ich wzajemny stosunek [Cederholm and Jensen 2009] oraz jakość tyczenia punktu B (rys. 9).

Wpływ wzajemnych odległości pomiędzy punktami A, B i B, W

Opis wpływu wzajemnych odległości pomiędzy punktami A, B i B, W można znaleźć w pracy Cederholm i Jensen [2009]. Poniżej przedstawiono wzór [Cederholm and Jensen 2009], który mówi o wpływie długości boków na błąd średni m_k w kierunku linii AW.

$$m_k = \sqrt{2 \left(\frac{d_{BW}}{d_{AB}} \right)^2 + 2 \frac{d_{BW}}{d_{AB}} + 1} \quad (6)$$

Ze wzoru (6) wynika, iż kwadrat wielomianu zależy od stosunku wartości d_{BW} do wartości d_{AB} . Im odległość d_{AB} jest większa do d_{BW} , to błąd m_k jest mniejszy.

Aby poprawić jakość mierzenia, należałoby tak sytuować punkty bazy, by stanowiły przedłużenie ściany budynku, w ten sposób osoba dokonująca pomiar będzie miała stałe punkty odniesienia.

Błąd średni wyznaczenia położenia punktu niedostępnego

Błąd średni położenia punktu niedostępnego przy użyciu metody przedłużeń przyjmie postać wzoru (7) [Beluch i Krzyżek 2005]:

$$Mp = \sqrt{(\sin^4 A_{AB} + \cos^4 A_{AB})m_n^2 + m_d^2} \quad (7)$$

gdzie:

m_n – błąd średni pokrycia naroży budynku przy wyznaczeniu kierunku ściany (cm),

m_d – błąd pomiaru długości.

W tabeli 3 pokazano przykładowe błędy średnie położenia punktu W, przyjmując za błąd średni pomiaru odległości dalmierzem laserowym 3 mm.

Tabela 3. Błąd średni M_p położenia punktu W dla pomiaru punktu niedostępnego metodą przedłużeń prostych

Table 3. Mean error M_p of point W surveyed with line extension method

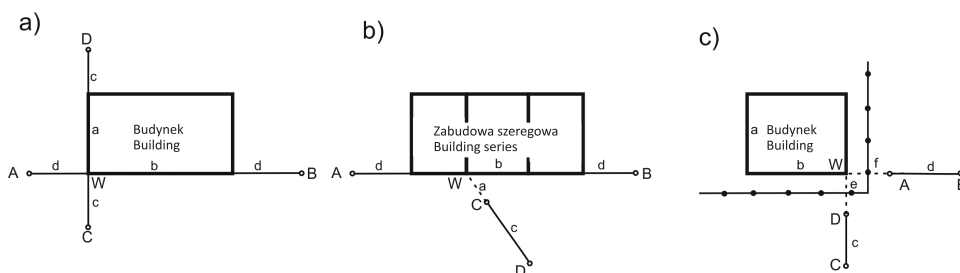
Błąd średni pokrycia naroży budynku przy wyznaczeniu kierunku ściany m_n [cm] Mean error of building corners cover during determination of wall direction m_n [cm]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M_p [cm] (Azymut 45° lub 135°)	1	1	2	3	4	4	5	6	6	7
M_p [cm] (Azymut 90° lub 180°)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Na rysunku 10b pokazano inną konstrukcję stosowaną w metodzie przedłużeń prostej. W tym przypadku w odniesieniu do obu punktów A i B należy uwzględnić błąd tyczenia. Wzór (8) na kwadrat błędu średniego przyjmie postać [Beluch i Krzyżek 2005]:

$$M^2_{PW1} = \left[\left(a \frac{\sin 2A_{AB}}{2d_{AB}} \right)^2 + \left(\frac{d_{AB} - a \sin^2 A_{AB}}{d_{AB}} \right)^2 \right] m^2_{XA} + \left[\left(\frac{a \sin 2A_{AB}}{2d_{AB}} \right)^2 + \left(\frac{d_{AB} - a \cos^2 A_{AB}}{d_{AB}} \right)^2 \right] m^2_{YA} + \left(\frac{a \sin A_{AB}}{d_{AB}} \right)^2 m^2_{XB} + \left(\frac{a \cos A_{AB}}{d_{AB}} \right)^2 m^2_{YB} + m^2_a \quad (8)$$

Błędy przy wyznaczeniu współrzędnych punktu niedostępnego metodą przecięć

Metoda przecięć prostych [Kowalczyk i Węgliński 2010] polega na pomiarze punktów znajdujących się na przedłużeniu ścian budynku (rys. 10). Wpływ na umiejscowienie poszczególnych punktów pomiarowych ma głównie jakość wyznaczenia kierunku. Zakładając, iż budynek jest prostokątem, możemy wyliczyć błąd wyznaczenia kierunku, posługując się wzorami na przecięcie dwóch prostych oraz prawem przenoszenia się błędów.



Rys. 10. Określenie współrzędnych punktu niedostępnego metodą przecięć prostych
Fig. 10. Determination of coordinates of unavailable point with intersection method

Aby policzyć błędy średnie współrzędnych X_w i Y_w wyznaczenia punktu niedostępnego, można posłużyć się następującymi wzorami (9), (10) [Beluch i Krzyżek 2005] (rys. 10a):

$$m^2 X_w = \left[\frac{(X_C Y_D - Y_C X_D) - Y_B (X_D - X_C)}{(Y_B - Y_A)(X_D - X_C)} \right]^2 m^2 X_A + \left[\frac{(X_D Y_C - Y_D X_C) + Y_A (X_D - X_C)}{(Y_B - Y_A)(X_D - X_C)} \right]^2 m^2 X_B \quad (9)$$

$$m^2 Y_w = \left[\frac{(X_B Y_A - Y_B X_A) - X_D (Y_B - Y_A)}{(Y_B - Y_A)(X_D - X_C)} \right]^2 m^2 Y_A + \left[\frac{(X_A Y_B - Y_A X_B) + X_C (Y_B - Y_A)}{(Y_B - Y_A)(X_D - X_C)} \right]^2 m^2 Y_D \quad (10)$$

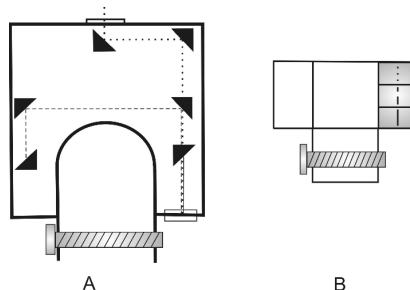
Sumując błędy średnie współrzędnych X_w i Y_w , otrzymamy kwadrat błędu średniego położenia punktu W. W tabeli 4 pokazano obliczone błędy średnie położenia punktu w dwóch przypadkach. Zgodnie z instrukcją G4 długość przedłużona nie może być dłuższa niż połowa linii przedłużanej, dlatego też rozpatrzono dwa warianty. W pierwszym wariantcie: $b=a$, $c=1/2a$, $d=1/2a$, natomiast w drugim wariantcie przyjęto iż: $b=2a$, $c=1/2a$, $d=a$.

Tabela 4. Błąd średni wyznaczenia kierunku ściany Mp w metodzie przecięć
Table 4. Mean error of the wall direction Mp in the intersection method

Błąd pokrycia naroży budynku przy wyznaczeniu kierunku ściany [cm] Mean error of building corners cover during determination of wall direction m_n [cm]	1	2	3	4	5	6
Mp [cm] wariant pierwszy – The first variant	1,7	3,4	5,0	6,7	8,4	10,01
Mp [cm] wariant drugi – The second variant	1,7	3,4	5,0	6,7	8,4	10,01

Należy zauważyć, iż ta metoda dobrze sprawdzi się w przypadku budynków o większych długościach ścian. Natomiast w odniesieniu do budynków o długości ścian 2, 3, 4, 5 metrów (np. suszarnie do płodów rolnych) może nie dawać dobrych rezultatów, gdyż mierniczy musi stać blisko budynku, co wpływa na błąd ustawienia się osoby wykonującej pomiar na przedłużeniu ściany budynku.

Aby poprawić jakość tyczenia punktów bazy, można zastosować do tego celu urządzenie optyczne np. w postaci węgielnicy. Aby uniknąć jednoczesnego trzymania węgielnicy oraz tyczki z odbiornikiem GPS, można zastosować węgielnicę mimośrodową (rys. 11.)



Rys. 11. Węgielnica mimośrodowa (A – schemat działania, B – rzut z przodu), opracowanie własne autora

Fig. 11. Eccentric prism (A – working outline, B – front view), author's own work

Konstrukcja węgielnicy mimośrodowej z zastosowaniem kilku pryzmatów umożliwia obserwowanie obiektów znajdujących się po lewej i prawej stronie oraz obiektu wytyczonego bądź rzutowanego na prostą. Węgielnica jest tak zaprojektowana, aby można ją było przymocować do tyczki geodezyjnej, tak by środek węgielnicy pokrywał się ze środkiem tyczki. Promienie przebiegają wewnątrz węgielnicy, omijając przeszkodę, jaką jest tyczka geodezyjna. Przy rzutowaniu punktu na powierzchnię terenu zamiast pionu sznurkowego wykorzystywana jest tyczka geodezyjna. Położenie węgielnicy na tyczce można dostosować do wysokości osoby dokonującej pomiaru.

PODSUMOWANIE

Podczas pomiarów szczegółów sytuacyjnych metodami GPS RTK spotykamy się z różnorodnością błędów mających ostateczny wpływ na jakość otrzymanych współrzędnych tych szczegółów: błędy wynikające z wyznaczenia współrzędnych punktów względem istniejącej osnowy geodezyjnej, błędy wynikające z braku staranności pomiarowej, błędy wynikające z wewnętrznej konstrukcji geometrycznej (metody pośrednie). W głównej mierze ocenę jakości współrzędnych trzeba rozpatrywać z punktu widzenia aktualizacji mapy zasadniczej z już naniesionymi innymi szczegółami pomierzonymi w zadanym układzie współrzędnych. Źródła błędów powstających podczas pomiaru mogą mieć różnorodny charakter, ale z reguły nie przekraczają wartości kilku centymetrów. Jednak brak staranności w pomiarze lub nieuwzględnienie wpływu niektórych błędów może spowodować fakt przekroczenia dokładności wyznaczonych współrzędnych względem istniejącej osnowy geodezyjnej (dobór warunków odpowiadających metodzie pośredniej podczas pomiarów punktów niedostępnych). Szczególnie jest to ważne w przypadku pomiaru szczegółów sytuacyjnych pierwszej i drugiej grupy dokładności. Niektóre błędy można zminimalizować, stosując zaproponowane w artykule rozwiązania techniczne (widelki korekcyjne, dodatkowe urządzenie optyczne).

Na podstawie przeprowadzonych analiz można wysnuć następujące wnioski szczegółowe:

1. Aby zwiększyć jakość wpasowania w istniejący układ geodezyjny, należy wyka-
zać się starannością przy ustawianiu tyczki geodezyjnej nad mierzonym punktem osnowy
oraz dokonywać takiego wpasowania w korzystnych warunkach atmosferycznych. Ko-
niecznie stosować to wpasowanie podczas pomiarów w układzie 1965.

2. Podczas pomiaru szczegółów sytuacyjnych płaskich utrzymywać tyczkę z odbior-
nikiem stabilnie, natomiast mierząc szczegóły wypukłe lub cienkie, wykorzystać widelki
korekcyjne pozwalające na centryczne ustawienie tyczki nad takim punktem.

3. Stosując do pomiaru odległości ręczny dalmierz laserowy, należy kontrolować jego
poziome usytuowanie, a także tak dobierać usytuowanie punktów bazowych, aby pomiar
odbywał się pod kątem zbliżonym do 90 stopni. Przesył danych z ręcznego dalmierza
laserowego do kontrolera powinien odbywać się w sposób automatyczny. W przypadku
pomiaru budynków ocieplonych uwzględniać szerokość zastosowanego ocieplenia, wy-
konując dodatkowy jego pomiar.

4. Punkty bazowe (metoda pośrednia pomiaru) powinny znajdować się możliwie od
południowej strony horyzontu. Miejsca pomiaru tych punktów powinny być tak dobrane,
aby w pobliżu nie znajdowały się urządzenia wytwarzające pole elektromagnetyczne,
a także by nie występowały inne przeszkody przysłaniające horyzont.

5. Jako metodę pośredniego pomiaru szczegółów sytuacyjnych należy stosować me-
todę wcięcia liniowego. W przypadku wyboru innej metody dobrze jest użyć dodatkowe-
go urządzenia celowniczego (np. zaproponowanej w pracy węgielnicy mimośrodowej).

PIŚMIENNICTWO

- Beluch J., Krzyżek R., 2005. GPS RTK technology used for indirect methods of topographical
surveys, Technical Sciences, Supplement No 2, UWM Olsztyn.
- Cederholm P., Jensen K., 2009. GPS Measurement of inaccessible detail points, Survey Review.
41, 314, 352–363.
- El-Rabbany A., 2002. Introduction to GPS, The Global Positioning System Artech House, Boston.
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 2000. GPS Theory and Practice. Fifth revised
edition. Springer-Verlag Wien, New York.
- In-Su Lee, Linlin Ge, 2006. The performance of RTK-GPS for surveying under challenging envi-
ronmental conditions, Earth Planets Space, 58, 515–522.
- Instrukcja techniczna G-4 1983. Pomiary sytuacyjne i wysokościowe.
- Instrukcja techniczna K-1 1998. Mapa zasadnicza.
- Kowalczyk K., Węgliński R., 2010. Analiza przydatności metod pomiaru szczegółów sytuacyjnych
w technologii GPS RTK, Przegląd Geodezyjny, 9/2010, 3–9.
- Kowalczyk K., 2011a. Ocena przydatności pomiaru punktów niedostępnych metodą GPS RTK
z uwzględnieniem błędów punktów bazowych. Przegląd Geodezyjny, w druku.
- Kowalczyk K., 2011b. Badanie wpływu materiałów budowlanych na dokładność pomiaru długości
ręcznym dalmierzem laserowym. Przegląd Geodezyjny, 6/2011.
- Lamparski J., 2001. Nawstar GPS od teorii do praktyki UWM Olsztyn.
- Narkiewicz J., 2003. Globalny System Pozycjonowania GPS, Wydawnictwo Komunikacji
i Łączności, Warszawa.
- Wytyczne techniczne G-1.12, 2008. Pomiary satelitarne oparte na systemie precyzyjnego pozyc-
jonowania ASGEPOS (Projekt z dnia 1.03.2008 r. z poprawkami).
- www.riegl.com/...pxpriegl/downloads/General-Information-Distancemeter.pdf

ANALYSIS OF THE ERRORS GENERATED DURING THE MEASUREMENT OF SITUATIONAL DETAILS RTK GPS METHOD

Abstract. The goal of this paper is to describe the error sources that may have influence on the accuracy of the determination of the terrain detail whittle GPS RTK survey from the user's point of view. The error sources can be divided in two groups. First, independent from user. This may be GPS system positioning error, or specific technique errors. Second group of errors are those, which are caused by the user: lack of rod perpendicularity, bad centering of rod, wrong choice of points used for transformation. The above errors are described in this paper with the ways to avoid them or at least minimize their effect.

Key words: Point Out, errors RTK, measurements of high and situational details

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 30.03.2011

For citation – do cytowania: Kowalczyk K., 2011. Analiza błędów generowanych podczas pomiaru szczegółów sytuacyjnych metodą GPS RTK. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.* 10(1), 5–22.

CHARAKTERYSTYCZNY KSZTAŁT DZIAŁEK EWIDENCYJNYCH NA TERENACH ZURBANIZOWANYCH – ANALIZA STRUKTURY MORFOLOGICZNEJ MIAST

Agnieszka Bitner

Uniwersytet Rolniczy, Kraków

Streszczenie. Przedmiotem badań prezentowanych w niniejszym artykule jest dwuwymiarowa struktura powstała w wyniku podziału obszaru na działki ewidencyjne. Określenie zależności między obwodem a polem powierzchni działek pozwoliło na scharakteryzowanie typowego kształtu działek na terenach zurbanizowanych. Analizą objęto następujące miasta: Kraków, Zakopane, Starogard Gdański, Bytom oraz Malmö w Szwecji. Zależność obwodu działki, L , od pola powierzchni, S , dla tych miast opisana jest relacją $L = A\sqrt{S}$, gdzie $A = 6,28 \pm 0,27$. Dla analizowanych pięciu obszarów miejskich typowa działka jest prostokątem o stosunku długości boków równym w przybliżeniu 1:8.

Słowa kluczowe: działka ewidencyjna, struktura morfologiczna miast, kształt działki, tereny zurbanizowane, obwód i pole działki

WSTĘP

Analiza morfologiczna jest powszechnie stosowaną metodą badawczą w wielu dziedzinach nauki [Adams 1998, Liszewski 2008, Mandelbrot 1977, Miszewska 1995, Mydel 1978, Pignol i in. 1993, Weaire i Rivier 1984]. Niniejszy artykuł przedstawia analizę struktury morfologicznej miast. Pojęcie struktury morfologicznej miasta jest często używane w geografii urbanistycznej, dlatego na wstępie zostanie przedstawione jego znaczenie w tej dziedzinie nauki. Pojęcie to następnie zostanie uściślone do zakresu, w jakim autorka posługuje się nim w dziedzinie geodezji.

Struktura morfologiczna miasta w geografii [Koter 1979] oznacza układ i wzajemne relacje jednostek składowych przestrzeni miejskiej, wyodrębnionych na podstawie kryterium morfologicznego i genetycznego. Często w literaturze zamiast pojęcia „morfologiczna” stosuje się określenie „morfogenetyczna” [Kulesza 2001]. Morfologia miasta [Koter 1994] jest nauką o budowie zewnętrznej (kształcie i fizjonomii zabudowy)

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Adres do korespondencji – Corresponding author: Agnieszka Bitner, Katedra Zastosowań Matematyki, Uniwersytet Rolniczy, ul. Balicka 253c, 30-198 Kraków, e-mail: rmbitner@cyf-kr.edu.pl

i wewnętrznej (rozplanowaniu) organizmu miejskiego oraz pochodzeniu i ewolucji składających się na ten organizm części, czyli o ich genezie. Analiza morfologiczna miasta w dziedzinie geografii obejmuje nie tylko zbadanie danego stanu układu przestrzennego, ale przede wszystkim prześledzenie faz jego rozwoju i odtworzenie procesów zachodzących w przeszłości w celu wyjaśnienia genezy badanej struktury przestrzeni miejskiej. Jest to zatem analiza kartograficzna połączona z wnikliwymi badaniami historycznymi.

W badaniach przedstawionych w niniejszej pracy pojęcie struktura morfologiczna miasta oznacza wyłącznie strukturę powstałą w wyniku podziału gruntu na działki ewidencyjne. Jest to, innymi słowy, układ granic działek [Litwin i in. 2000] będący wynikiem procesu podziału własnościowego gruntu. Tworzy on strukturę dwuwymiarową badaną w danym czasie. Termin „morfologiczna” odnosi się wyłącznie do geometrycznych własności struktury i w takim znaczeniu stosuje się to pojęcie w matematyce i fizyce. Jednostką podstawową w przedstawionej analizie jest działka ewidencyjna – najmniejsza jednostka powierzchniowa podziału kraju w celach ewidencji gruntów i budynków.

Analiza morfologiczna struktury powstałej w wyniku podziału obszaru na działki ewidencyjne dostarcza wielu cennych informacji o badanym obszarze. Opisana w pracach [Fiałkowski i Bitner 2008, Bitner i in. 2009, Bitner 2010] analiza morfologiczna mozaiki działek umożliwiła określenie uniwersalnych reguł rządzących podziałem na działki oraz znalezienie procesu stochastycznego prowadzącego do obserwowanej struktury podziału. Obszary badawcze położone były na trzech kontynentach. Uniwersalność reguł polegała na tym, że niezależnie od topografii terenu, przepisów prawa oraz uwarunkowań kulturowych i historycznych ludzie statystycznie dokonują podziału własnościowego gruntu w taki sam sposób. Przedstawiona w cytowanych pracach analiza morfologiczna własności struktury podziału gruntu na działki ewidencyjne wykazała istnienie jedynie trzech klas morfologicznych, odpowiadających trzem poziomom urbanizacji obszaru. Rodzaj klasy morfologicznej jest określony jednoznacznie przez postać funkcyjną rozkładu pól powierzchni działek. Na terenach silnie zurbanizowanych rozkład pól powierzchni działek jest zgodny z rozkładem odwrotnie potęgowym o wykładniku równym dwa. Analizą objęto miasta położone w Australii, Ameryce Północnej i Europie. Najstarsze z analizowanych miast – średniowieczne miasto Kraków – okazało się najbardziej reprezentatywne. Wykładnik rozkładu pól powierzchni działek otrzymany w odniesieniu do Krakowa miał wartość równą 2,0.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki analizy morfologicznej struktury powstałej w wyniku podziału terenów zurbanizowanych na działki ewidencyjne. Badaniom poddano strukturę morfologiczną pięciu miast położonych na topograficznie różnych terenach, na których obowiązują różne systemy katastralne. Przedmiotem analizy była relacja allometryczna łącząca pole powierzchni działki z jej obwodem. Na podstawie uzyskanych wyników zostały wyciągnięte wnioski dotyczące charakterystycznego kształtu działek w analizowanych miastach.

WYNIKI ANALIZY

Baza danych

Do analiz wykorzystano dane dotyczące pięciu miast: Krakowa, Zakopanego, Starogardu Gdańskiego, Bytomia oraz Malmö w Szwecji. Baza danych zawiera informacje o polach powierzchni i obwodach wszystkich działek ewidencyjnych położonych

w granicach administracyjnych miast. Podstawowe charakterystyki miast, takie jak liczba mieszkańców, pole powierzchni miasta, liczba działek oraz średnie pole powierzchni i obwód działki, zestawione zostały w tabeli 1. Miasta będące przedmiotem badań różnią się pod względem wielkości, gęstości zaludnienia, położenia geograficznego oraz czasu lokacji.

Tabela 1. Zestawienie informacji o analizowanych miastach
Table 1. Summary of information about the cities analyzed

Miasto City	Całkowita powierzchnia [km ²] Total area	Liczba mieszkańców [tys.] Population	Liczba działek [tys.] Number of parcels	Średnia powierzchnia działki [m ²] Average parcel area	Średni obwód działki [m] Average parcel circumference
Kraków	326,84	734,4	146,948	2224,32	202,90
Zakopane	84,25	29,7	26,101	3227,98	193,66
Starogard Gd.	25,27	50,6	10,024	2521,42	176,67
Bytom	69,39	199,6	33,077	2097,92	168,37
Malmö	174,10	260,6	29,756	5850,41	247,34

Charakterystyczny kształt działki – analiza danych

Założono, że pomiędzy obwodem i polem powierzchni zachodzi następująca relacja allometryczna:

$$L = AS^{\beta} \quad (1)$$

gdzie wykładnik β oraz stała proporcjonalności A są dodatnimi liczbami rzeczywistymi. Na rysunku 1 pokazana została zależność logarytmu długości obwodu działki, L , od logarytmu jej pola powierzchni, S . Przedstawione wyniki dotyczą pięciu miast: Krakowa, Zakopanego, Starogardu Gdańskiego, Bytomia i Malmö.

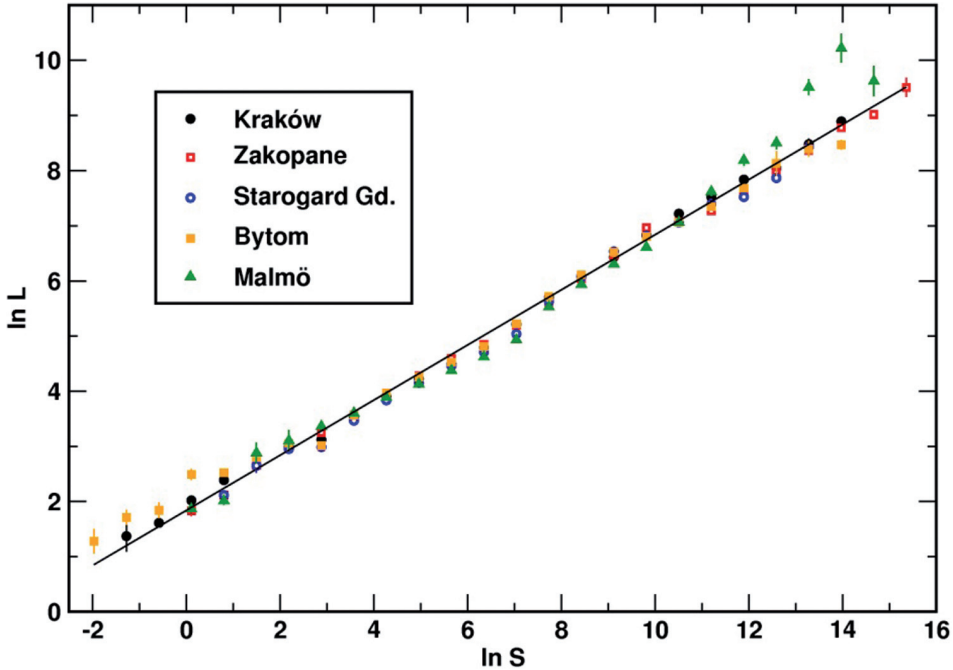
Do wszystkich punktów łącznie, pokazanych na rysunku 1, została dopasowana metodą najmniejszych kwadratów linia prosta w modelu:

$$\ln L = \alpha + \beta \ln S \quad (2)$$

gdzie $\alpha = \ln A$. Otrzymane wartości współczynników α i β każdego miasta oraz wszystkich miast łącznie zestawiono w tabeli 2. W przypadku wszystkich miast łącznie współczynniki te wynoszą $\alpha = 1,838 \pm 0,043$ oraz $\beta = 0,500 \pm 0,005$, przy współczynniku korelacji $r = 0,994$. Oznacza to, że zależność obwodu działki od pola powierzchni wszystkich analizowanych miast opisana jest relacją:

$$L = A\sqrt{S} \quad (3)$$

gdzie $A = 6,28 \pm 0,27$.



Rys. 1. Podwójnie logarytmiczny wykres zależności długości obwodu działki, L , od jej pola powierzchni, S pięciu miast: Krakowa, Zakopanego, Starogardu Gdańskiego, Bytomia i Malmö. Pola powierzchni działek wyrażone są w m^2 , obwody działek w m. Do punktów została dopasowana metodą najmniejszych kwadratów linia prosta (narysowana ciągłą linią). Współczynnik nachylenia prostej wynosi $0,500 \pm 0,005$

Fig. 1. Double logarithmic plot of the relationship between circumference, L , and area, S , of the parcels for the five cities analyzed: Kraków, Zakopane, Starogard Gdański, Bytom, and Malmö. The units of area and circumference are m^2 and m, respectively. The solid line represents the least squares fit of Eq. (2) to the data. The slope of the line is $0,500 \pm 0,005$

Tabela 2. Zestawienie współczynników α i β wyznaczonych metodą regresji liniowej pięciu miast. W ostatniej kolumnie podano współczynniki korelacji r

Table 2. The coefficients α and β determined from the linear regression for the five cities analyzed. In the last column the correlation coefficient, r , is given

Miasto City	β	α	r
Kraków	$0,497 \pm 0,005$	$1,85 \pm 0,04$	0,999
Zakopane	$0,495 \pm 0,005$	$1,82 \pm 0,04$	0,999
Starogard Gdański	$0,501 \pm 0,008$	$1,71 \pm 0,07$	0,997
Bytom	$0,466 \pm 0,008$	$2,09 \pm 0,06$	0,997
Malmö	$0,553 \pm 0,018$	$1,54 \pm 0,16$	0,989
Wszystkie miasta	$0,500 \pm 0,005$	$1,84 \pm 0,04$	0,994

Analizując wyniki przedstawione w tabelach 1 i 2, można zaobserwować wpływ średniej wielkości pola powierzchni działki na wartość parametru α oraz wielkość błędu. Porównując średnie powierzchnie działek otrzymane w przypadku dwóch największych miast, to jest Malmö oraz Krakowa, stwierdzamy, że średnia powierzchnia działki w Malmö jest 2,6 razy większa. Ma to również odzwierciedlenie w wielkości błędu parametru α , który jest czterokrotnie większy oraz w samej wartości parametru α , który dla Malmö przyjmuje wartość najmniejszą. Wielkość miasta mierzona liczbą jego mieszkańców czy powierzchnią w granicach administracyjnych nie ma wpływu na wartość parametru α oraz wielkość błędu. Liczba działek w Krakowie jest największa i stanowi prawie 60% całego analizowanego zbioru działek. Oznacza to, że wpływ tej próby na cały zbiór danych jest największy. Porównując parametry α i β poszczególnych miast oraz wszystkich miast łącznie, zaobserwujemy, że parametry α i β Krakowa są najbliższe parametrom wyznaczonym w odniesieniu do wszystkich miast.

Z danych przedstawionych na rysunku 1 można wyciągnąć inną ważną informację, która dotyczy charakterystycznego kształtu działek. Działki można traktować z dobrym przybliżeniem jako prostokąty. Oznaczmy długości boków tego prostokąta przez a i b . Ponieważ współczynnik proporcjonalności A w równaniu (3) ma stałą wartość dla wszystkich wartości S , możemy przyjąć, że stosunek boków działek jest charakteryzowany stałą:

$$\eta = \frac{b}{a} \quad (4)$$

Relacje wiążące pole powierzchni działki – S oraz jej obwód – L , z parametrem η są następujące:

$$S = \eta a^2 \quad (5)$$

$$L = 2a(1 + \eta) \quad (6)$$

Z równania (3) oraz (5) i (6) dostajemy związek między współczynnikiem A wyznaczonym metodą regresji i parametrem η :

$$A = 2 \frac{1 + \eta}{\sqrt{\eta}} \quad (7)$$

Stąd, współczynnik η wyraża się wzorem:

$$\eta_{1,2} = \frac{A}{8} (A \pm \sqrt{A^2 - 16}) - 1 \quad (8)$$

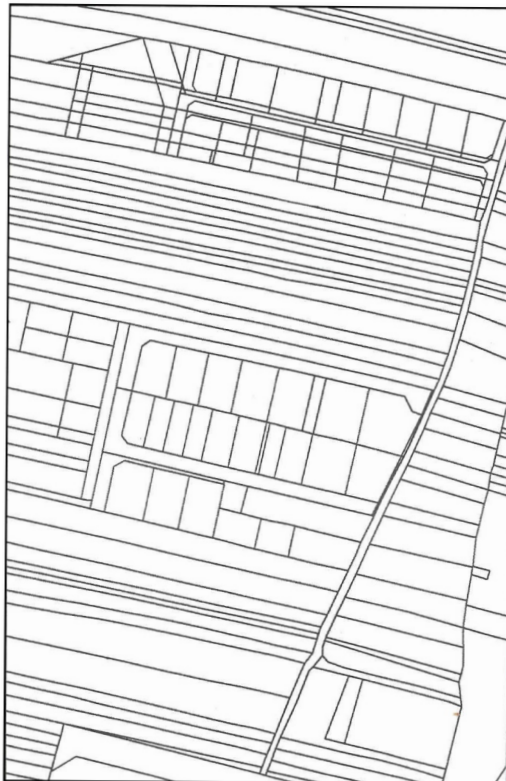
gdzie znaki „+” i „-” odnoszą się, odpowiednio do pierwszego i drugiego indeksu. Warto w tym miejscu odnotować, że rozwiązania η_1 i η_2 równania (8) powiązane są relacją:

$$\eta_1 = \frac{1}{\eta_2} \quad (9)$$

W przypadku wyznaczonej wartości współczynnika A otrzymujemy:

$$\eta_1 = 7,7474 \pm 0,014 \quad (10)$$

Kształt działek we wszystkich analizowanych miastach opisywany jest tym samym parametrem η , można więc przypuszczać, że ma on charakter uniwersalny. Uzyskana wartość współczynnika η (równanie 10) oznacza, że typowa działka położona na terenach zurbanizowanych ma kształt wydłużonego prostokąta o stosunku boków równym w przybliżeniu $b/a \approx 1:8$. Otrzymany wynik wydaje się nieco zaskakujący. Termin *działka położona w granicach administracyjnych miasta* kojarzy się głównie z działką budowlaną, której kształt jest zbliżony do kwadratu. Działek o takim kształcie jest jednak niewiele, a ich powstanie jest zazwyczaj wynikiem scalenia i podziału nieruchomości. Miasto w procesie rozwoju i poszerzania swoich granic zajmuje podmiejskie tereny rolnicze. Działki tam występujące są wąskie i długie. Taki układ granic ulega dodatkowemu „zagęszczeniu” przy zmianie funkcji terenu. Chcąc zapewnić dojazd do jak największej liczby działek, najprostszym jest podział względem boku przystającego do drogi. Wyjątkowo długie i wąskie działki powstają ponadto przy poszerzaniu tras komunikacyjnych. Rysunek 2 przedstawia fragment sieci granic działek w Krakowie.



Rys. 2. Fragment sieci granic działek ewidencyjnych w Krakowie (rejon ul. Armii Krajowej)

Fig. 2. Portion of a map of parcel boundaries network in Kraków (surroundings of the Armii Krajowej street)

Analiza kształtu obiektów płaskich jest również częścią badań geograficzno-osadniczych. Praca Golachowskiego i in. [1974] zawiera przegląd wskaźników wykorzystywanych do określania kształtu miasta. Do ich wyznaczenia posłużyły podstawowe parametry figury, takie jak powierzchnia, obwód, średnica itp. Jedynym miernikiem kształtu wykorzystującym jedynie pole i obwód figury jest wskaźnik κ zaproponowany przez Kostrubca, który jest liczony według formuły:

$$\kappa = \frac{\text{kwadrat obwodu}}{\text{pole powierzchni}} - 4\pi$$

Wskaźnik kształtu κ jest miarą „zwartości” figury. Przyjmuje on wartość minimalną równą zero dla koła i rośnie, jeśli figura wydłuża swój kształt. Wskaźnik κ osiąga wartość nieskończoną dla nieskończonego wąskiego prostokąta. Współczynnik A wyznaczony metodą regresji do zależności (3) wiążącej obwód działki z jej polem powierzchni może służyć do określenia wskaźnika κ . W odniesieniu do danych z pięciu analizowanych miast otrzymujemy następującą wartość wskaźnika kształtu:

$$\kappa = A^2 - 4\pi = 26,8$$

Otrzymana wysoka wartość wskaźnika κ jest charakterystyczna w przypadku figur o znacznie wydłużonych kształtach.

PODSUMOWANIE

Przedstawiona w niniejszym artykule analiza morfologiczna struktury podziału na działki ewidencyjne terenów zurbanizowanych umożliwiła określenie: (1) uniwersalnej zależności, jaka zachodzi pomiędzy obwodem a polem powierzchni działek, (2) charakterystycznego kształtu działek położonych na tych terenach. Analiza ujawniła, że statystycznie działki mają kształt wydłużonych prostokątów. Stosunek długości boków tego prostokąta jest w przybliżeniu równy 1:8. Otrzymany wynik jest zaskakujący, ponieważ termin działka położona w granicach administracyjnych miasta kojarzy się zazwyczaj z działką budowlaną o kształcie zbliżonym do kwadratu. Takie działki są jednak nieliczne i najczęściej powstają w wyniku postępowania scaleniowo-podziałowego. Miasta w procesie rozwoju przestrzennego zajmują otaczające je tereny niezurbanizowane, przejmując jednocześnie ich strukturę morfologiczną. Nowo przyłączony obszar ulega następnie dalszemu procesowi urbanizacji. Długie i wąskie działki, pierwotnie o przeznaczeniu rolniczym, są z czasem dzielone na coraz mniejsze fragmenty. Ostatecznie otrzymujemy obserwowaną i zbadaną w niniejszej pracy strukturę morfologiczną działek położonych na terenach zurbanizowanych.

Najbardziej reprezentatywnym miastem, to znaczy najlepiej odzwierciedlającym własności zaobserwowane całego zbioru analizowanych działek, okazał się Kraków. Wpływ tego miasta może wydawać się największy z powodu liczebności próby. Liczba działek położonych w Krakowie stanowi bowiem blisko 60% całej badanej populacji. Liczebność próby w tym mieście nie jest jedynym czynnikiem wpływającym na reprezentatywność danych. W badaniach Fiałkowskiego i Bitner [2008] oraz Bitner [2009] zbadano rozkład pól powierzchni działek. Wykazano w szczególności, że na terenach silnie zurbanizowanych

rozkład pól powierzchni działek jest zgodny z rozkładem odwrotnie potęgowym o wykładniku równym dwa. Analizą objęte były 33 miasta położone na trzech kontynentach: w Australii, Ameryce Północnej i w Europie. Wspomniany wykładnik charakteryzujący rozkład pól powierzchni działek Krakowa wyniósł $2,00 \pm 0,02$. Kraków okazał się zatem najbardziej reprezentatywnym miastem, mimo że nie był wówczas największym z analizowanych miast. Kraków był natomiast najstarszym ze wszystkich analizowanych miast. Wynik ten sugeruje, że stare miasta są najbardziej reprezentatywne pod względem morfologicznym.

Stosunkowo niewielka liczba analizowanych miast nie pozwala oczywiście formułować na podstawie uzyskanych wyników ogólnych tez dotyczących terenów zurbanizowanych. Morfologie zbadanych miast wykazały jednak dużą regularność. Z tego powodu można sądzić, że przedstawione w pracy wyniki posiadają walor uniwersalności, która zostanie potwierdzona dla innych miast.

PIŚMIENNICTWO

- Adams E.S., 1998. Territory size and shape in fire ants: a model based on neighbourhood interactions. *Ecology*, 79, 1125–1134.
- Bitner A., Hołyst R. i Fiałkowski M., 2009. From complex structures to complex processes: Percolation theory applied to the formation of a city. *Physical Review*, E 80 (3), 037102.
- Bitner A., 2010. Nowa metoda określania poziomu zurbanizowania obszaru na podstawie morfologii podziału gruntu na działki. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi PAN w Krakowie*, 3, 164–179.
- Fiałkowski M., Bitner A., 2008. Universal rules for fragmentation of land by humans. *Landscape Ecology*, 23, 1013–1022.
- Golachowski S., Kostrubiec B., Zagożdżon A., 1974. *Metody badań geograficzno-osadniczych*. PWN, Warszawa.
- Koter M., 1994. Od fizjonomii do morfogenezy i morfologii porównawczej. Podstawowe zagadnienia teoretyczne morfologii miast, [w:] *Zagadnienia geografii historycznej osadnictwa w Polsce*, Uniwersytet M. Kopernika w Toruniu, UŁ, Toruń – Łódź, 23–32.
- Koter M., 1979. Struktura morfogenetyczna wielkiego miasta na przykładzie Łodzi. *Acta Universitatis Lodzianensis, seria II, z. 21*, Łódź.
- Kulesza M., 2001. *Morfogeneza miast na obszarze Polski Środkowej w okresie przedrozbiorowym. Dawne województwa łęczyckie i sieradzkie*. Wyd. UŁ, Łódź.
- Litwin U., Kostera G., Marczevska B., 2000. Granica w krajobrazie. *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie*, 365, 199.
- Mandelbrot B.B., 1977. *Fractal geometry of nature*. Freeman, New York.
- Miszewska B., 1995. Wpływ ekspansji przestrzennej Wrocławia na sukcesję użytkowania ziemi i strukturę morfologiczną miasta. *Czas. Geogr.*, 66, 363–370.
- Mydel R., 1978. *Rozwój struktury przestrzennej miasta Krakowa*. PAN Oddział w Krakowie, Zakład im. Ossolińskich, Wrocław.
- Pignol V., Delannay R., Le Caër G., 1993. Characterization of topological properties of 2D cellular structures by image analysis. *Acta Stereol.*, 12, 149–154.
- Weaire D., Rivier N., 1984. Soap, cells and statistics—random patterns in 2 dimensions. *Contemp. Phys.*, 25, 59–99.

CHARAKTERISTIC SHAPE OF LAND PARCELS ON THE URBANIZED AREAS – THE ANALYSIS OF MORPHOLOGICAL STRUCTURE OF A CITY

Abstract. In this paper a two-dimensional structure resulting from the division of area into land parcels is investigated. Determination of the relationship between the parcel area and circumference allowed to characterize the characteristic parcel's shape. Our study is based on data originating from Kraków, Zakopane, Starogard Gdański, Bytom oraz Malmö in Sweden. The relationship between the parcel circumference, L , and area, S , for the analyzed cities is the following $L = A\sqrt{S}$, gdzie $A = 6,28 \pm 0,27$. For five urban areas analyzed, the typical land parcel is a rectangle of the aspect ratio equal approximately 1:8.

Key words: land parcel, morphological structure of cities, shape of a parcel, urbanized area, circumference and area of a parcel

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 30.03.2011

For citation – Do cytowania: Bitner A., 2011. Charakterystyczny kształt działek ewidencyjnych na terenach zurbanizowanych – analiza struktury morfologicznej miast. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.* 10(1), 23–32.

ASG-EUPOS W TERENACH PRZYGRANICZNYCH

Krzysztof Krzeszowski, Jarosław Bosy

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Uruchomienie przez GUGiK z początkiem czerwca 2008 r. wielofunkcyjnego systemu precyzyjnego pozycjonowania na obszarze Polski ASG-EUPOS dało możliwość wykonania prac geodezyjnych na obszarze całego kraju. System ASG-EUPOS został zrealizowany w ramach europejskiego projektu EUPOS. Jednym z założeń projektu EUPOS jest stosowanie ujednoczonych standardów technicznych w systemach wszystkich krajów członkowskich. Ma to zapewnić jednolite pozycjonowanie na całym obszarze działania systemu EUPOS, także w terenach przygranicznych, gdzie poleganie jedynie na stacjach referencyjnych pojedynczego kraju skutkowało pogorszeniem jakości wyznaczeń. Jednakże wykonywanie pomiarów w terenach, gdzie do wyznaczenia pozycji oprócz krajowych stacji referencyjnych niezbędne jest też korzystanie ze stacji zagranicznych, budzi pewne obawy co do rzetelności wyznaczeń, jak również integracji systemu ASG-EUPOS i systemów zagranicznych z krajową osnową geodezyjną. W pracy opisane zostały systemy GBAS, a w szczególności założenia ogólne i standardy techniczne europejskiego systemu EUPOS oraz szczegółowe opisy jego polskiej i czeskiej realizacji, odpowiednio systemu ASG-EUPOS i systemu CZEPOS. Opracowana została koncepcja przeprowadzenia badań w zakresie weryfikacji działania serwisów systemu ASG-EUPOS w terenach przygranicznych. W myśl tej koncepcji wykonane zostały prace pomiarowe na obszarze o charakterystyce badanego problemu. Na ich podstawie przeprowadzona została analiza dokładności pozycjonowania z wykorzystaniem poszczególnych serwisów systemu ASG-EUPOS i zagranicznych stacji referencyjnych względem danych katalogowych. Dodatkowo przeprowadzona została praktyczna weryfikacja zaleceń zawartych w projekcie wytycznych technicznych G-1.12.

Słowa kluczowe: GBAS, GNSS, ASG-EUPOS, EUPOS, CZEPOS

WSTĘP

Precyzyjne pozycjonowanie GNSS (Global Navigation Satellite System) opiera się aktualnie na systemach GBAS (Ground Based Augmentation System). Systemy GBAS są to systemy naziemnych stacji referencyjnych GNSS pozwalających na pozycjonowanie metodą DGNS i RTK GNSS z dokładnością odpowiednio 1–3 m i 1–3 cm. Stacje

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Adres do korespondencji – Corresponding author: Jarosław Bosy, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, e-mail: jaroslaw.bosy@up.wroc.pl

referencyjne GBAS pełnią rolę źródła danych referencyjnych o zasięgu lokalnym. Usługi pozycjonowania DGNSS i RTK GNSS systemów GBAS, polegające na przesłaniu danych referencyjnych są realizowane za pośrednictwem naziemnych mediów głównie mobilnego Internetu. W grupie systemów GBAS mieszczą się sieci globalne jak IGS (International GNSS Service: igsb.jpl.nasa.gov), kontynentalne (regionalne) – EPN (EUREF Permanent Network: www.epncb.oma.be), i krajowe – SAPOS (www.sapos.de), CZEPOS (czepos.cuzk.cz).

W dniu 2 czerwca 2008 r. Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK) uruchomił operacyjnie w Polsce system GBAS: Wielofunkcyjny system precyzyjnego pozycjonowania na obszarze Polski ASG-EUPOS (www.asgeupos.pl). System ASG-EUPOS jest systemem GBAS pozwalającym na precyzyjne pozycjonowanie zarówno w czasie rzeczywistym, jak i w postprocessingu. Został on zrealizowany w ramach projektu EUPOS (European Position Determination System) [Bosy i in. 2008].

Jednym z założeń projektu EUPOS, którego polską realizacją jest system ASG-EUPOS, jest stosowanie ujednoczonych standardów technicznych w systemach wszystkich krajów członkowskich. Ma to zapewnić jednorodne pozycjonowanie na całym obszarze działania systemu EUPOS, także w terenach przygranicznych, gdzie poleganie jedynie na stacjach referencyjnych pojedynczego kraju skutkowałoby pogorszeniem jakości wyznaczeń (EUPOS: www.eupos.org).

Serwis NAWGEO precyzyjnego pozycjonowania RTK GNSS w czasie rzeczywistym (dokładność centymetrowa) systemu ASG-EUPOS bazuje na rozwiązaniu sieciowym, które w terenach przygranicznych może być realizowane, opierając się na stacjach polskich i państw sąsiadujących. Alternatywnym sposobem pozycjonowania w tym serwisie jest wykorzystywanie tylko jednej stacji referencyjnej. Dokładność pozycjonowania jest jednak wtedy zależna od odległości od stacji referencyjnej. W pracy przedstawiona została koncepcja wykonania badań w zakresie weryfikacji działania serwisów systemu ASG-EUPOS w terenach przygranicznych. W myśl tej koncepcji przeprowadzono prace pomiarowe na obszarze o charakterystyce badanego problemu. Na ich podstawie przeprowadzona została analiza dokładności pozycjonowania z wykorzystaniem poszczególnych serwisów systemu ASG-EUPOS i zagranicznych stacji referencyjnych względem danych katalogowych. Dodatkowo wykonano praktyczną weryfikację zaleceń zawartych w projekcie wytycznych technicznych G-1.12.

METODYKA BADAŃ I CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAWCZEGO

Prace badawcze miały na celu weryfikację działania serwisów systemu ASG-EUPOS na terenach przygranicznych na tle ich wykorzystania w przeprowadzanych tam pracach geodezyjnych. Wychodząc z tego założenia, zasadnym było odstępianie od analizowania działania serwisów NAWGIS i KODGIS, które ze względów dokładnościowych nie znajdują większego zastosowania w pomiarach geodezyjnych. W związku z powyższym, do weryfikacji serwisów czasu rzeczywistego wzięty został jedynie serwis NAWGEO.

Weryfikacja działania serwisu NAWGEO polegała na określeniu dokładności pozycjonowania na punktach o znanych współrzędnych i wysokościach z wykorzystaniem poprawek powierzchniowych, opierając się na stacjach polskich i zagranicznych, wzglę-

dem dokładności przy wykorzystaniu poprawek z pojedynczej stacji polskiej oraz w stosunku do założeń dokładnościowych serwisu. Prace pomiarowe, poprzedzające weryfikację działania serwisu NAWGEO systemu ASG-EUPOS w terenach przygranicznych, obejmowały:

- pomiary testowe w terenie przygranicznym z wykorzystaniem poprawki NAWGEO z pojedynczej stacji w formacie RTCM 3.1.,
- pomiary testowe w terenie przygranicznym z wykorzystaniem poprawek sieciowych serwisu NAWGEO (RTCM 3.1 MAC, RTCM 2.3 FKP, RTCM 3.1 VRS, RTCM 2.3 VRS).

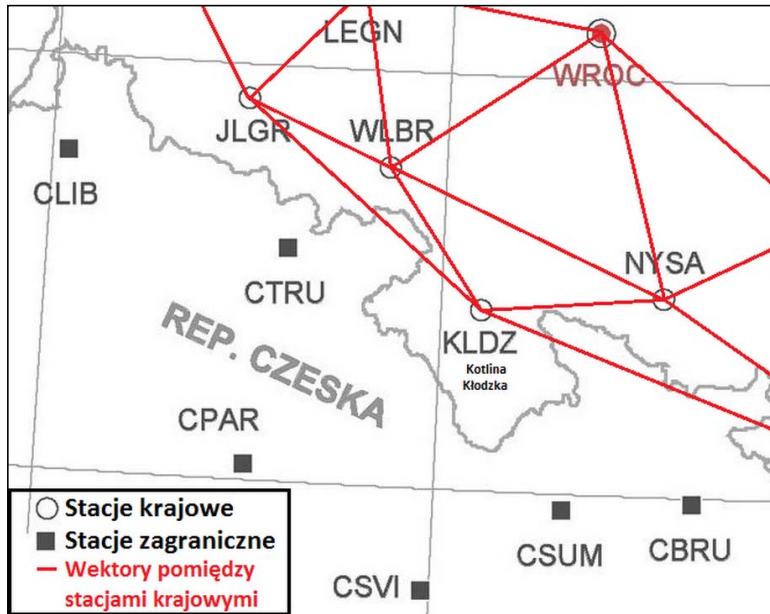
Pomiary metodą RTK na punktach testowych, z wykorzystaniem każdej z poprawek serwisu NAWGEO, wykonane zostały zgodnie z zaleceniami zawartymi w Wytycznych Technicznych G-1.12 odnośnie do pomiarów na punktach osnowy pomiarowej, a mianowicie: dwa niezależne (po powtórnej inicjalizacji odbiornika) 30-sekundowe wyznaczenia na pojedynczym punkcie. Do pomiarów wybrane zostały punkty, na których nie występowały czynniki środowiskowe wpływające na pogorszenie pomiarów GNSS. Natomiast przy wykonywaniu pomiarów wzięto pod uwagę także czynniki zapewniające odpowiednie warunki do wykonywania pomiarów satelitarnych (min. 5 satelitów, maska elewacji – 10° , PDOP < 6.0).

Ponadto, zastosowano także następujące warunki wykonywania pomiarów:

- dla reperów, na których nie było możliwe przeprowadzenie pomiarów satelitarnych, ich wysokości przeniesione zostały metodą niwelacji technicznej w najbliższe miejsca o wystarczająco odkrytym horyzoncie;
- do przeprowadzenia pomiarów wykorzystane zostały dwuczęstotliwościowe odbiorniki GPS i GNSS;
- wybrane punkty testowe znajdowały się w pobliżu granicy Polski wewnątrz trójkąta, którego wierzchołkami są jedna stacja polska oraz dwie stacje zagraniczne, co pozwala na korzystanie z poprawek powierzchniowych wygenerowanych w nawiązaniu do tych właśnie stacji;
- wybrane punkty testowe znajdowały się w pobliżu granicy Polski w odległości od wybranej stacji polskiej większej niż zalecane w wytycznych G-1.12. 5 km, jednak nie większej niż 70 km;
- pomiar na każdym punkcie wykonany został innym odbiornikiem.

Prace pomiarowe przeprowadzone zostały na terenie Kotliny Kłodzkiej – najdalej na południe wysuniętego obszaru Dolnego Śląska, bezpośrednio sąsiadującego z Republiką Czeską.

Na wybór miejsca wykonania prac pomiarowych miał wpływ fakt, iż ze względu na obecne rozmieszczenie polskich stacji referencyjnych (rys. 1) – niemalże na całym obszarze Kotliny Kłodzkiej do wykonywania pomiarów GPS przy użyciu systemu ASG-EUPOS i poprawek powierzchniowych niezbędne jest korzystanie (oprócz polskiej stacji) z czeskich stacji referencyjnych, aby uniknąć zjawiska ekstrapolacji współrzędnych (w przypadku korzystania tylko ze stacji polskich). W związku z powyższym, obszar ten pozwala na praktyczną realizację problematyki badań, gwarantując przy tym pełną wiarygodność zebranych danych pomiarowych.



Rys. 1. Rozmieszczenie stacji referencyjnych wokół Kotliny Kłodzkiej
 Fig. 1. Distribution of reference stations around the Kłodzko Valley

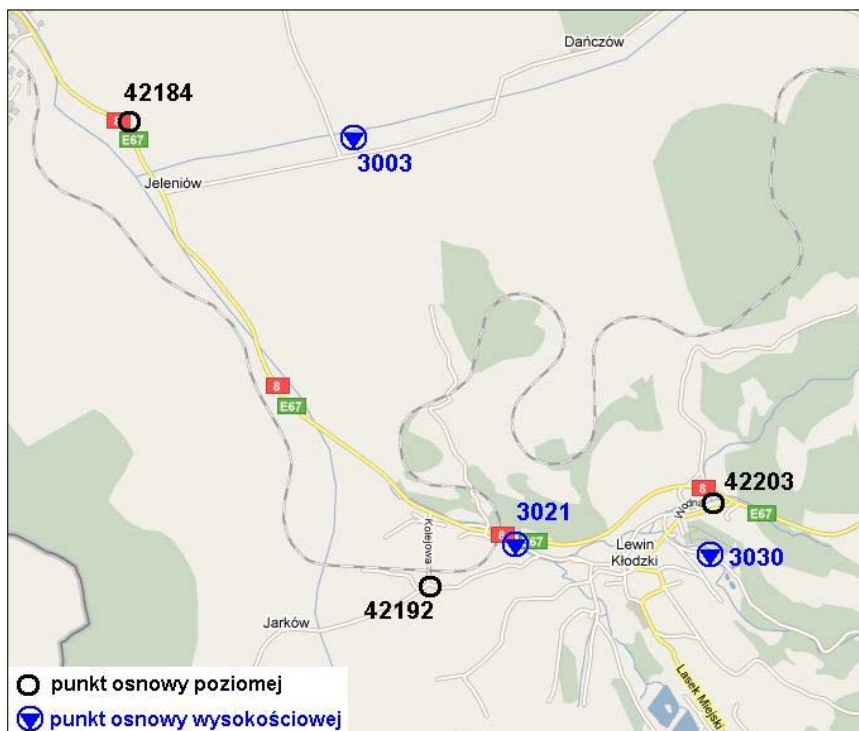
POMIARY TESTOWE I ANALIZA WYNIKÓW

Jako miejsce przeprowadzenia pomiarów testowych wybrane zostały okolice Lewina Kłodzkiego znajdującego się na obszarze Kotliny Kłodzkiej w bliskim sąsiedztwie granicy polsko-czeskiej (rys. 2).

Aby zapewnić możliwość przeprowadzenia rzetelnej weryfikacji poprawności wyznaczeń pozycji, pomiary testowe wykonane zostały na punktach państwowej osnowy geodezyjnej, znajdujących się w pobliżu granicy polsko-czeskiej, z uwzględnieniem wcześniej przyjętych założeń dotyczących warunków technicznych wykonywania pomiarów. W związku z powyższym, do przeprowadzenia testów dokładności wyznaczeń współrzędnych X,Y wybrane zostały 3 punkty osnowy poziomej III klasy, zaś do przeprowadzenia testów dokładności wyznaczeń wysokości wybrane zostały 3 repery III klasy, do których stabilizacji nie było zastrzeżeń. Wybrane punkty osnowy poziomej stanowiły zastabilizowane w gruncie słupy betonowe z rurką, natomiast wybrane repery umiejscowione były na ścianach budynków oraz na filarze wiaduktu kolejowego.

Do realizacji pomiarów satelitarnych na punktach testowych wykorzystane zostały 3 precyzyjne, dwuczęstotliwościowe odbiorniki GNSS:

- odbiornik Trimble R6 z kontrolerem Trimble TSC2,
- odbiornik Trimble R6 z możliwością odbierania, oprócz sygnału GPS, także sygnał GLONASS oraz kontroler Trimble TSC2,
- zestaw Leica Viva RTK Rover z anteną GS15.



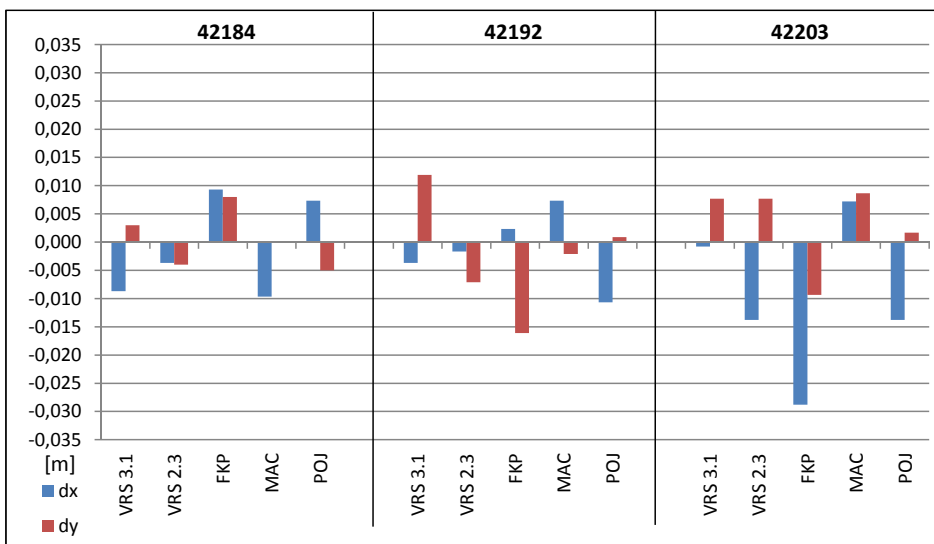
Rys. 2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych

Fig. 2. Distribution of control points

Wysokości reperów przeniesione zostały bezpośrednio na zastabilizowane w twardej podłożu gwoździami metalowymi punkty o wystarczająco do pomiarów satelitar-nych odkrytym horyzoncie. Przeniesienia wysokości dokonano za pomocą niwelatora kodowego Leica SPRINTER 150M, charakteryzującego się błędem średnim podwójnej niwelacji $\pm 1,5\text{mm/km}$.

Na każdym punkcie testowym, dla każdego rodzaju poprawki, wykonane zostały dwa niezależne (po ponownej inicjalizacji odbiornika), 30-sekundowe pomiary, których wyniki zostały uśrednione zgodnie z zasadą, iż powinny pochodzić one z dwóch niezależnych wyznaczeń. Każda para pomiarów została skontrolowana pod względem powtarzalności wyznaczeń, których różnice, według projektu wytycznych G-1.12, nie powinny przekroczyć $d_x, d_y \leq 0,06\text{ m}$, oraz $d_h \leq 0,09\text{ m}$ (rys. 3). W związku z tym, z dalszych rozważań wyłączony został pomiar na punkcie 3003 z wykorzystaniem poprawki FKP, gdyż różnica między dwoma niezależnymi pomiarami na tym punkcie znacznie przekroczyła wartość dopuszczalną. Ponadto przy każdym pomiarze skontrolowane zostały warunki pomiarowe w celu wychwycenia ewentualnych nieprawidłowości.

Uśrednione współrzędne z pomiarów na punktach osnowy poziomej porównane zostały z ich współrzędnymi katalogowymi.

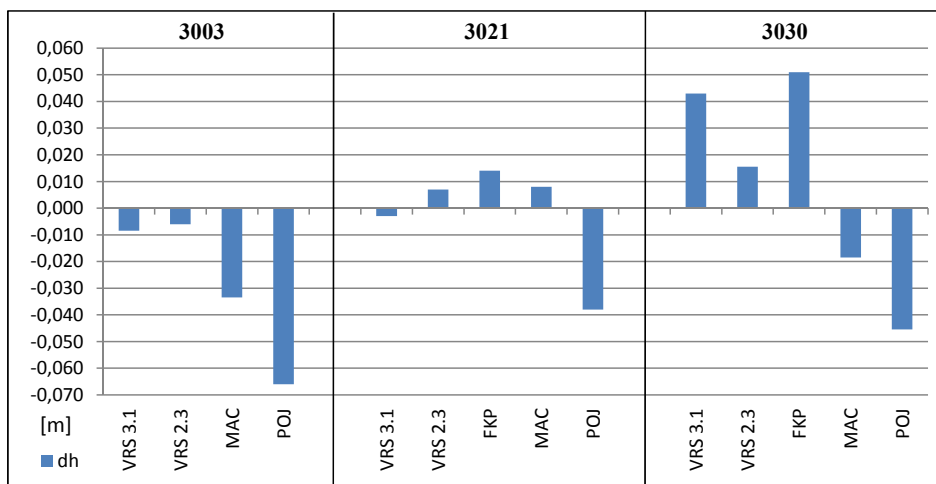


Rys. 3. Różnice współrzędnych z poszczególnych rozwiązań względem ich wartości katalogowych

Fig. 3. The differences between horizontal coordinate components from individual solutions and their catalog values

Największą różnicę współrzędnych względem wartości średniej pomiarów RTK uzyskano przy pomiarze punktu 42203 z wykorzystaniem poprawki FKP, gdzie składowa X wyniosła 2,9 cm. Prawdopodobnie powodem tak dużego, prawie 2-krotnego odstępstwa od wyznaczeń z wykorzystaniem pozostałych poprawek był fakt, że podczas obu, niezależnych pomiarów na punkcie 42203 z wykorzystaniem poprawki FKP dane obserwacyjne rejestrowane były z zaledwie 5 satelitów, podczas gdy przy pozostałych pomiarach na wszystkich punktach wykorzystywano między 6 a 9 satelitów. Aby poprawić dokładność wyznaczeń w tak mniej korzystnych warunkach pomiarowych, należałoby nieco wydłużyć czas pomiaru. Różnice współrzędnych przy pozostałych pomiarach czasu rzeczywistego prawie nie przekroczyły 1,5 cm. Jednakże, zarówno przy pomiarze punktu 42203 z wykorzystaniem poprawki FKP, jak i przy pozostałych pomiarach, różnice te nie przekroczyły deklarowanej przez serwis NAWGEO dokładności (± 3 cm współrzędnych płaskich) 4.

Pochodzące z pomiarów na punktach wysokościowych wysokości elipsoidalne przeliczone zostały na wysokości normalne z zastosowaniem modelu geoidy Geoida niwelacyjna 2001 na podstawie współrzędnych X,Y wyznaczonych podczas pomiaru przez odbiornik. Uzyskane w ten sposób wysokości porównane zostały z wysokościami uzyskanymi z niwelacji.



Rys. 4 Różnice wysokości z pomiarów względem wysokości katalogowych

Fig. 4. The differences between heights from individual measurements and their catalog values

Różnice wysokości normalnych uzyskanych z pomiarów RTK na punktach pomiarowych z wykorzystaniem poprawek powierzchniowych w większości przypadków nie przekroczyły deklarowanej przez serwis NAWGEO dokładności wynoszącej w przypadku pomiarów wysokościowych 5 cm. Wyjątkiem – rezultat pomiaru punktu 3030 z wykorzystaniem poprawki FKP, gdzie różnica ta nieznacznie przekroczyła tę wartość. Różnice uzyskane podczas pomiaru z wykorzystaniem poprawek z pojedynczej stacji, przy pomiarze na dwóch punktach, znacznie odbiegały od rezultatów uzyskanych z wykorzystaniem poprawek powierzchniowych, a przy pomiarze punktu 3003 znacznie przekroczyła deklarowaną w serwisie dokładność. Jednocześnie wyniki pomiarów z wykorzystaniem poprawek właśnie z pojedynczej stacji najbardziej odbiegały od pozostałych rezultatów pomiarów. Jednakże, biorąc pod uwagę następujące fakty:

- pomiar punktu 3030 z wykorzystaniem poprawki FKP charakteryzował się mało korzystnymi warunkami pomiarowymi (pomiar względem jedynie 5-satelitów; PDOP w granicach 4.0–4.1), co należałoby uwzględnić poprzez wydłużenie czasu pomiaru;
- błąd pomiaru z wykorzystaniem poprawek z pojedynczej stacji referencyjnej rośnie wraz ze wzrostem odległości od stacji, która nie powinna przekraczać 5 km, przy czym odległość miejsca pomiaru od wybranej stacji referencyjnej wynosiła ok. 25 km;
- modelowanie geoidy na terenach górzystych, czym charakteryzowało się miejsce wykonywania pomiarów, ze względu na duże zróżnicowanie przebiegu quasi-geoidy jest mniej dokładne niż na obszarach nizinnych, co przy obliczeniu wysokości normalnych z wykorzystaniem modelu Geoida Niwelacyjna 2001 mogło wpłynąć na pogorszenie rezultatów –

należy stwierdzić, iż podobnie jak przy pomiarach poziomych – przy wyznaczeniu wysokości za pomocą wszystkich badanych metod (z wyjątkiem pomiaru względem pojedynczej stacji) uzyskuje się bardzo zbliżone rezultaty, z deklarowaną przez właściciela

systemu ASG-EUPOS dokładnością, niezależnie czy wyznaczane są one względem pojedynczej polskiej, czy powierzchniowo polskich i czeskich stacji referencyjnych.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone pomiary i analizy potwierdziły spełnienie jednego z głównych założeń projektu EUPOS, według którego stosowanie ujednoliconych standardów wymiany danych pomiędzy poszczególnymi realizacjami systemu EUPOS zapewnia jednorodne pozycjonowanie na całym obszarze działania systemu. Niezależnie od rodzaju stosowanej poprawki powierzchniowej serwisu NAWGEO oraz wariantu wyrównania danych z pomiarów statycznych uzyskano zbliżone rezultaty z dokładnością deklarowaną przez właściciela systemu ASG-EUPOS w odniesieniu do poszczególnych serwisów. Jedynie przy zastosowaniu przy pomiarach RTK poprawki z pojedynczej polskiej stacji referencyjnej zaobserwowano znaczne pogorszenie jakości wyznaczeń wysokościowych. Jednakże dokładności uzyskane z wykorzystaniem tej poprawki przy wyznaczeniach poziomych praktycznie nie odbiegały od rezultatów uzyskanych z wykorzystaniem poprawek sieciowych, mimo około 5-krotnego przekroczenia zalecanej przy tego rodzaju poprawce w wytycznych technicznych G-1.12 maksymalnej odległości od stacji referencyjnej wynoszącej 5 km.

Warunkiem wykonywania pomiarów satelitarnych w terenach przygranicznych z wykorzystaniem zalecanych w wytycznych technicznych G-1.12 poprawek powierzchniowych systemu ASG-EUPOS jest bezpośrednie sąsiedztwo z krajem posiadającym własną realizację projektu EUPOS i z którym prowadzona jest współpraca w zakresie wymiany danych z przygranicznych stacji referencyjnych. Na obszarach przygranicznych sąsiadujących z pozostałymi krajami lub na terenach nadmorskich korzystanie z poprawek sieciowych z przyczyn technicznych jest niemożliwe. Jednakże z przeprowadzonych badań wynika, iż dla wyznaczeń poziomych zwiększenie maksymalnej dopuszczalnej odległości od stacji referencyjnej, zalecanej w wytycznych G-1.12 w przypadku korzystania z poprawki z pojedynczej stacji do 25–30 km, znacznie zwiększyłoby zakres działania systemu ASG-EUPOS na tych obszarach, bez straty jakości oferowanych usług. Fakt ten może stanowić podstawę do modyfikacji projektu wytycznych technicznych G-1.12.

PIŚMIENICTWO

- Bosy J., Graszka W., Leończyk M., 2008. Aktywna Sieć Geodezyjna EUPOS jako element składowy państwowego systemu odniesień przestrzennych. *Przegląd Geodezyjny* 12/2008, 10–16.
- EUPOS – Guidelines For Cross-Border Data Exchange [Online] http://www.eupos.org/images/eupos_files/guideline%20for%20cross%20border%20data%20exchange.pdf
- EUPOS – Technical Standards [Online] http://www.eupos.org/images/eupos_files/eupos%20technical%20standards%20isc-r13_2.pdf
- EUPOS – Terms of Reference [Online] http://www.eupos.org/images/eupos_files/eupos%20tor%20isc-r12_4.update20100526.pdf
- Kadaj R., Świętoń T., 2009. Postprocessing po polsku. NAWI nr 19 (dodatek do GEODETY nr 166) MARZEC 2009 http://www.geoforum.pl/documents/site_catalog_text/0_166_N_s32_33_z_0905131546.pdf

Wytyczne techniczne G-1.12. Pomiary satelitarne oparte na systemie precyzyjnego pozycjonowania ASG-EUPOS (Projekt z dnia 1.03.2008 r. z poprawkami) http://www.gugik.gov.pl/gugik/dw_files/981_wytyczne_g_1_12_21_04_2008_1.pdf

Zalecenia techniczne. Pomiary satelitarne GNSS oparte na systemie stacji referencyjnych ASG-EUPOS. http://www.asgeupos.pl/webpg/graph/standards/Zalecenia_ASG_EUPOS_20110207.pdf

Projekt nowelizacji rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz. U. Nr 70, poz. 821) (Stan z dnia: 2008.01.10) http://www.gugik.gov.pl/gugik/dw_files/891_rrm_10_01_2008_1.pdf

ASG-EUPOS SERVICES IN BORDER AREAS

Abstract. Activating by GUGiK at the beginning of June 2008 multifunction system for precise positioning over the area of Poland, gave possibility for conducting geodesic work in the whole territory of the country. ASG-EUPOS system has been conducted within the EUPOS project. One of the assumptions of EUPOS project is usage of unified technical standards in the systems of all the member countries. It is done to ensure unified positioning over the whole coverage area of EUPOS system, also in the border areas where relying only on the reference stations of one country would result in decrease of the positioning accuracy. However doing measurements in the areas where for designating position, except from using national reference stations, usage of foreign stations is necessary raises concerns regarding reliability of positioning as well as integrating ASG-EUPOS and foreign systems with national geodesic warp. In this work the description of GBAS system has been done with particular interest in general assumptions and technical standards of European EUPOS system, together with its detailed Polish and Czech implementation, ASG-EUPOS and CZEPOS respectively. The concept of research verifying the operability of the ASG-EUPOS in the border areas was done. Following this concept measurement work was done in the area with the characteristic features of problem. Based on it the analysis of positioning precision with usage of ASG-EUPOS and foreign reference station was done against catalogue data. What is more the practical verification of recommendations included in project of technical guidelines G-1.12 was done.

Key words: GBAS, GNSS, ASG-EUPOS, EUPOS, CZEPOS

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 30.03.2011

For citation – Do cytowania: Krzeszowski K., Bosy J., 2011. ASG-EUPOS w terenach przygranicznych. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.* 10(1), 33–42.

SPIS TREŚCI CONTENTS

Kamil Kowalczyk

Analiza błędów generowanych podczas pomiaru szczegółów sytuacyjnych metodą GPS RTK	5
Analysis of the errors generated during the measurement of situational details RTK GPS method	

Agnieszka Bitner

Charakterystyczny kształt działek ewidencyjnych na terenach zurbanizowanych – analiza struktury morfologicznej miast	23
Characteristic shape of land parcels on the urbanized areas – the analysis of morphological structure of a city	

Krzysztof Krzeszowski, Jarosław Bosy

ASG-EUPOS w terenach przygranicznych.....	33
ASG-EUPOS services in border areas	