

**WYKORZYSTANIE POMIARÓW GNSS DO WYZNACZANIA
WSPÓLRZĘDNYCH PODSTAWOWEJ OSNOWY REALIZACYJNEJ NA
TERENACH ODDZIAŁYWAŃ GÓRNICZYCH**

**THE USE OF GNSS MEASUREMENTS FOR THE DETERMINATION OF BASIC
REALIZATION NETWORK COORDINATES IN MINING IMPACT AREAS**

Zbigniew Siejka

Katedra Geodezji, Uniwersytet Rolniczy im. Hugo Kołłątaja w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: osnowa realizacyjna, GNSS, wyznaczenie nieoznaczoności, wyrównanie wektorów GPS

STRESZCZENIE: W pracy przedstawiono metodykę pomiaru i opracowania podstawowej osnowy realizacyjnej zakładanej dla obsługi inżynierskiego obiektu liniowego. Przedmiotowa osnowa realizacyjna założona została na odcinku 6 km w ciągu autostrady A-4 na terenie miasta Katowice pomiędzy węzłami „Murckowska” i „Mikołowska” na potrzeby modernizacji tego odcinka autostrady. Punkty osnowy były w większości stabilizowane w pasie modernizowanej autostrady co istotnie utrudniało precyzyjne wyznaczenie ich współrzędnych, głównie ze względu na duże natężenie ruchu kołowego oraz pracujący ciężki sprzęt budowlany. Dlatego, bardzo istotnym w takich przypadkach staje się określenie optymalnej metodyki pomiaru i opracowania obserwacji satelitarnych dla uzyskania wiarygodnych i wysokodokładnych wyznaczeń pozycji. Zaproponowana metoda pomiaru oraz opracowania obserwacji umożliwiła otrzymanie średnich dokładności wyznaczenia współrzędnych po wyrównaniu na poziomie 3÷5 mm przy dwugodzinnych sesjach obserwacyjnych.

1. WPROWADZENIE

Podstawę prawidłowo wykonanego pomiaru geodezyjnego stanowi układ odniesienia a ściśle jego fizyczna realizacja za pomocą punktów osnów geodezyjnych. Obecnie przy zakładaniu punktów osnów lokalnych, których współrzędne charakteryzują się zwykle wyższą dokładnością bezwzględną możemy wykorzystywać stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS. Stacje te z założenia mają realizować stabilny i jednorodny układ odniesienia niemniej jednak doświadczenia praktyczne wskazują na problem pewnej niespójności lokalnej i globalnej realizacji układu. Zadaniem geodety jest na tym etapie zastosowanie takiego rozwiązania aby przez umiejętne zastosowanie techniki GNSS współrzędne wyznaczonej osnowy lokalnej charakteryzowały się optymalną dokładnością. Udostępniony w Polsce 2 czerwca 2008 roku system ASG-EUPOS ma za zadanie wspomagać w precyzyjnym wyznaczaniu pozycji, przy wykorzystaniu w pomiarach

technik satelitarnych. Może to polegać na udostępnianiu stosownych poprawek dla pomiarów czasu rzeczywistego, obserwacji ze stacji referencyjnych bądź też wykorzystania serwisu automatycznego postprocessingu. W pracy zaproponowano pewne alternatywne rozwiązania, które mogą służyć optymalizacji układu elementów nawiązania przy zakładaniu lokalnych sieci realizacyjnych. Ich wyniki odniesiono do obliczeń wykonanych za pomocą serwisu automatycznego postprocessingu POZGEO.

2. ROZMIESZCZENIE WYZNACZANYCH PUNKTÓW OSNOWY

Przedmiotowa osnowa realizacyjna stanowiła osnowę podstawową i złożona była z 14 punktów wyznaczanych techniką GPS zlokalizowanych wzdłuż modernizowanego odcinka autostrady A-4 na długości około 6 km. Punkty w terenie zastabilizowane były w ten sposób aby możliwe było jej dalsze zagęszczenie punktami osnowy szczegółowej realizowanymi w sposób klasyczny. Natomiast cała osnowa miała umożliwić sprawne prowadzenie geodezyjnej obsługi modernizowanego odcinka autostrady za pomocą klasycznych pomiarów geodezyjnych. Punkty rozmieszczone były po obu stronach drogi. Jednak z uwagi na wysoki stopień zainwestowania terenu wzdłuż całego modernizowanego odcinka oraz prowadzone prace remontowe, geometryczny rozkład satelitów nad obserwowanymi punktami nie był optymalny a dodatkowo istniała możliwość odbierania sygnałów odbitych. Należało więc tak zaprojektować pomiary aby istniała kontrola wyznaczonych współrzędnych punktów. Lokalizację pomierzonych punktów osnowy geodezyjnej techniką GPS przedstawia Rys. 1.



Rys. 1 Lokalizacja punktów osnowy geodezyjnej

3. PRZEPROWADZENIE POMIARÓW GPS

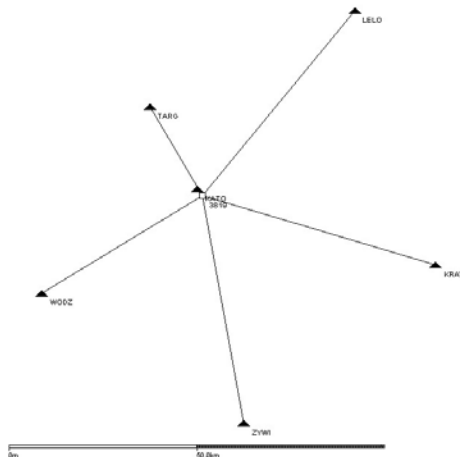
Pomiar GPS przeprowadzono w ciągu jednego dnia przy użyciu siedmiu zestawów dwuczęstotliwościowych odbiorników GPS. Były to: dwa zestawy Trimble R8, dwa zestawy Trimble 5800 i trzy zestawy Zeiss RM24. Obserwacje satelitarne wykonano przy

założeniu dwugodzinnej sesji pomiarowej na każdym wyznaczanym punkcie, z interwałem rejestracji danych 5 sekund przy kącie obcięcia horyzontu 10 stopni. Pomiary wykonano tylko na punktach wyznaczanych osnowy realizacyjnej, zakładając z góry, że nawiązanie sieci zostanie wykonane do punktów aktywnej sieci geodezyjnej ASG-EUPOS. Pomiary wykonano zgodnie z opracowanym wcześniej projektem wykonania obserwacji GPS, w którym uwzględniono analizę warunków obserwacyjnych. Przy ustalaniu kolejności pomiarów na poszczególnych punktach brano pod uwagę geometrię sieci oraz optymalny czas dojazdu do punktu.

4. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Opracowanie wyników pomiarów wykonano w dwóch zasadniczych wariantach. W wariantcie pierwszym opracowanie wykonano przy wykorzystaniu serwisu POZGEO przesyłając obserwacje z poszczególnych odbiorników w uniwersalnym formacie Rinex na serwer systemu ASG-EUPOS. Moduł automatycznego postprocessingu APPS wykorzystuje algorytm o nazwie BETA do wyznaczenia pojedynczego wektora. Wykorzystuje on specjalny układ potrójnych różnic obserwacji fazowych GPS typu Schreibera (Kadaj, Świętoń 2008). Natomiast jako kontrolne rozwiązanie obok metody BETA stosowany jest algorytm podwójnych różnic faz. W obu przypadkach do rozwiązania wektora zastosowano kombinację dwóch fazowych częstotliwości L1 i L2, która umożliwia eliminację wpływu refrakcji jonosferycznej.

Wyrównanie dla każdego z wyznaczanych punktów zostało wykonane niezależnie w nawiązaniu do sześciu najbliższych stacji referencyjnych (KATO, TARG, WODZ, ZYWI, LELO i KRAW). Geometryczny układ elementów nawiązania dla pojedynczego rozwiązania przedstawia Rys. 2.



Rys. 2. Układ elementów nawiązania wykorzystany w serwisie POZGEO

W obliczeniach automatycznego postprocessingu wykorzystane zostały orbity precyzyjne „precise”. System wyznaczył współrzędne wszystkich pomierzonych punktów i wygenerował raporty z obliczeń. Na ich podstawie w tabeli 1 zestawiono wyniki wyrównania – współrzędne kartezjańskie punktów wraz z błędami średnimi.

Tabela 1. Wyniki wyrównania sieci za pomocą serwisu POZGEO

Nr pkt.	ROZWIĄZANIE - POZGEO					
	X	mx	Y	my	Z	mz
38 19	3863843.3 560	0.0 078	1334475.0 620	0.0 057	4879981.2 980	0.0 081
50 03	3863536.6 170	0.0 041	1334493.7 210	0.0 053	4880209.3 420	0.0 042
38 12	3863361.5 660	0.0 049	1334123.8 360	0.0 065	4880466.6 200	0.0 054
12 91	3863622.3 490	0.0 074	1333629.2 850	0.0 065	4880350.3 590	0.0 091
72 75	3863622.7 800	0.0 033	1333129.7 500	0.0 032	4880500.6 740	0.0 034
39 84	3863685.2 080	0.0 028	1333109.1 430	0.0 030	4880475.7 820	0.0 031
39 81	3863838.5 370	0.0 042	1332360.5 780	0.0 045	4880557.4 640	0.0 045
39 66	3863909.0 230	0.0 033	1331873.6 490	0.0 037	4880645.7 780	0.0 043
67 09	3864085.9 330	0.0 048	1331337.8 540	0.0 049	4880660.6 010	0.0 051
40 43	3864096.8 720	0.0 049	1331124.6 800	0.0 049	4880706.9 410	0.0 046
40 39	3864063.7 820	0.0 051	1330525.7 120	0.0 052	4880889.5 330	0.0 049
59 41	3864186.1 810	0.0 048	1330476.4 780	0.0 050	4880805.7 940	0.0 046
MI N		0.0 028		0.0 030		0.0 031
M AX		0.0 078		0.0 065		0.0 091
SR ED		0.0 048		0.0 049		0.0 051
δ		0.0 015		0.0 011		0.0 018

W celu weryfikacji uzyskanych wyników wyrównania sieci za pomocą serwisu POZGEO przeprowadzono alternatywne manualne wyrównania własne zrealizowanej sieci. z wykorzystaniem serwisu POZGEO-D.

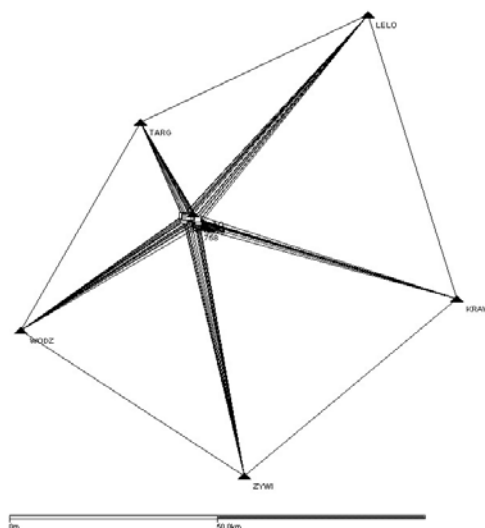
W tym celu składowe wektorów sieci wyznaczanych punktów obliczono przy wykorzystaniu programu firmowego Trimble Total Control ver. 273.

W następnej kolejności przeprowadzono tzw. swobodne wyrównanie sieci pomierzonych punktów w nawiązaniu do jednego punktu referencyjnego o numerze 3981 położonego w przybliżeniu w „środku ciężkości” układu obserwacyjnego. Wyrównanie to miało charakter kontrolny a jego podstawowym celem było sprawdzenie wewnętrznej zgodności uzyskanych wyników pomiarów, bez ewentualnego obciążania ich błędnością punktów nawiązania lub błędnością obserwacji na tych punktach. Na tym etapie opracowania wyeliminowano 6 wektorów, które nie uzyskały pełnej precyzji wyznaczenia (rozwiązania typu fixed).

W następnym etapie zrealizowano własne opracowania sieci w nawiązaniu do stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS. W tym celu za pomocą strony www pobrano obserwacje z sześciu najbliższych fizycznych stacji referencyjnych oraz wygenerowano obserwacje dla wybranych wirtualnych stacji referencyjnych. Stacje wirtualne zlokalizowano tak, aby nie znajdowały się dalej niż 10 km od punktów wyznaczanych.

Składowe wektorów sieci wyznaczanych punktów obliczono za pomocą programu firmowego TTC ver.273, przy wykorzystaniu orbit precyzyjnych oraz modeli absolutnych anten skalibrowanych według standardu IGS.

Ścisłe wyrównanie sieci wyznaczanych punktów przeprowadzono przy pomocy programu GEONET w nawiązaniu do stacji referencyjnych jako punktów oporowych. W pierwszym etapie opracowania wykonano kontrolę zamknięcia trójkątów w sieci wektorowej GPS. Na tym etapie opracowania wyeliminowano 9 wektorów, których odchyłka przekraczała zadaną wartość krytyczną 20 mm. Następnie wykonano ścisłe wyrównanie sieci wyznaczanych punktów, wyniki otrzymano w układzie ETRF-89. Średnie błędy wyznaczanych punktów po wyrównaniu przekroczyły nieznacznie wartość 6 mm (tabela 2) natomiast przeciętna wartość poprawki do wektorów GPS wyniosła 3.5 mm, a maksymalna była równa 17.2 mm.



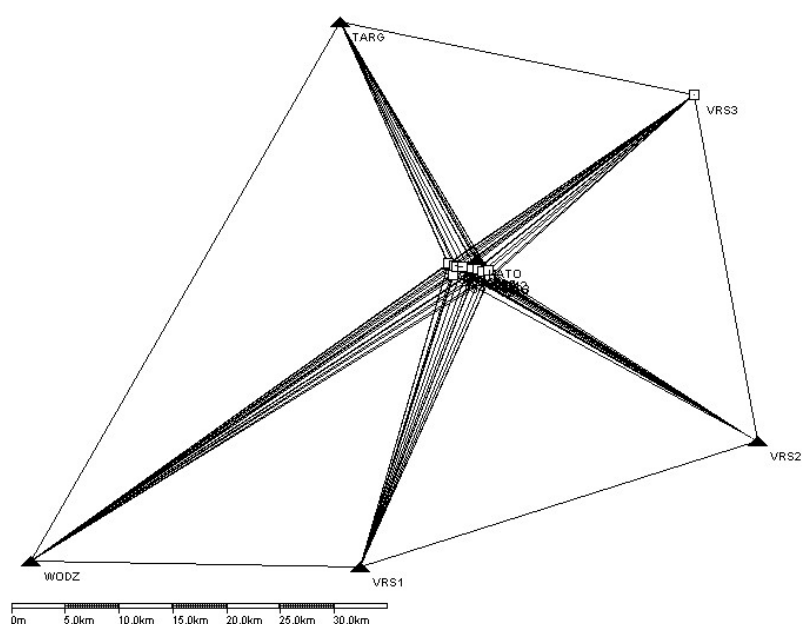
Rys. 3. Nawiązanie sieci punktów GPS do fizycznych stacji referencyjnych CORS

Tabela 2. Wyniki wyrównania sieci w nawiązaniu do stacji fizycznych

Nr pkt.	ROZWIĄZANIE 2 - POZGEO-D					
	X	mx	Y	my	Z	mz
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
129 1	3863622. 365	0.00 52	1333629. 292	0.00 49	4880350. 346	0.00 63
381 2	3863361. 573	0.00 26	1334123. 856	0.00 23	4880446. 671	0.00 30
381 9	3863843. 336	0.00 41	1334475. 064	0.00 33	4879981. 348	0.00 43
396 6	3863909. 044	0.00 41	1331873. 663	0.00 41	4880645. 821	0.00 39
398 1	3863838. 551	0.00 27	1332360. 590	0.00 28	4880557. 508	0.00 32
398 4	3863685. 242	0.00 23	1333109. 152	0.00 22	4880457. 832	0.00 27
403 9	3864063. 812	0.00 37	1330525. 745	0.00 35	4880889. 580	0.00 37
404 3	3864096. 881	0.00 29	1331124. 710	0.00 29	4880706. 976	0.00 31
500 3	3863536. 640	0.00 33	1334493. 732	0.00 34	4880209. 396	0.00 40
594 1	3864186. 222	0.00 35	1330476. 789	0.00 33	4880805. 830	0.00 36
670 9	3864085. 942	0.00 26	1331337. 867	0.00 26	4880660. 652	0.00 28
727 5	3863622. 814	0.00 27	1333129. 761	0.00 25	4880500. 720	0.00 32
MI N		0.00 23		0.00 22		0.00 27
MA X		0.00 52		0.00 49		0.00 63
SR ED		0.00 33		0.00 32		0.00 37
$\bar{\sigma}$		0.00 09		0.00 08		0.00 10

W rozwiązaniu tym do nawiązania sieci wektorów GPS wykorzystano fizyczne stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS, układ elementów nawiązania przedstawia Rys. 3. Długości wektorów nawiązujących sieć punktów wyznaczanych zawierały się w tym przypadku w przedziale: od około 1.5 km do ponad 68 km.

Celem weryfikacji uzyskanych wyników opracowania sieci wykonano jeszcze jedno alternatywne wyrównanie sieci pomierzonych wektorów GPS. Tym razem do nawiązania sieci wykorzystano kombinację referencyjnych stacji fizycznych (CORS) oraz stacji wirtualnych oznaczonych jako: VIR1, VIR2, VIR3 wygenerowanych za pomocą systemu VRS w serwisie POZGEO-D (Rys. 4).

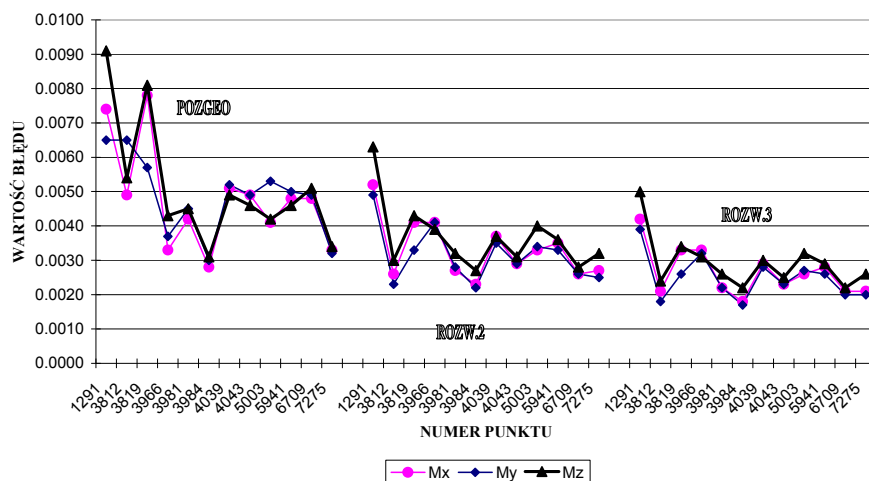


Rys. 4. Nawiązanie sieci punktów GPS, kombinacja stacji fizycznych i wirtualnych

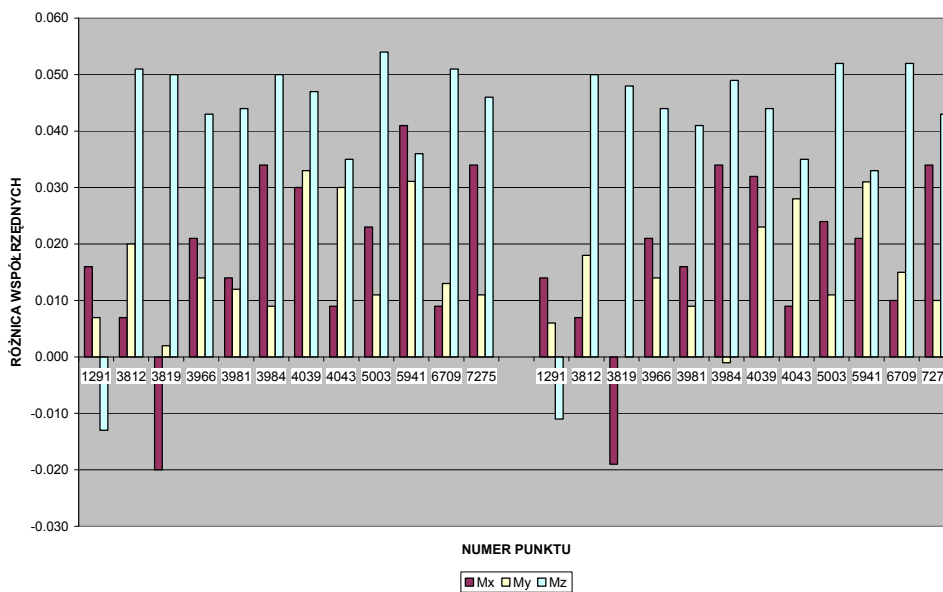
Tabela 3. Wyniki wyrównania sieci w nawiązaniu do stacji fizycznych i wirtualnych

Nr pkt.	ROZWIĄZANIE 3 - POZGEO-D					
	X	mx	Y	my	Z	mz
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
129 1	3863622. 363	0.00 42	1333629. 291	0.00 39	4880350. 348	0.00 50
381 2	3863361. 573	0.00 21	1334123. 854	0.00 18	4880446. 670	0.00 24
381 9	3863843. 337	0.00 33	1334475. 062	0.00 26	4879981. 346	0.00 34
396 6	3863909. 044	0.00 33	1331873. 663	0.00 32	4880645. 822	0.00 31
398 1	3863838. 553	0.00 22	1332360. 587	0.00 22	4880557. 505	0.00 26
398 4	3863685. 242	0.00 18	1333109. 142	0.00 17	4880457. 831	0.00 22
403 9	3864063. 814	0.00 29	1330525. 735	0.00 28	4880889. 577	0.00 30
404 3	3864096. 881	0.00 23	1331124. 708	0.00 23	4880706. 976	0.00 25
500 3	3863536. 641	0.00 26	1334493. 732	0.00 27	4880209. 394	0.00 32
594 1	3864186. 202	0.00 28	1330476. 788	0.00 26	4880805. 827	0.00 29
670 9	3864085. 943	0.00 21	1331337. 869	0.00 20	4880660. 653	0.00 22
727 5	3863622. 814	0.00 21	1333129. 760	0.00 20	4880500. 717	0.00 26
MI N		0.00 18		0.00 17		0.00 22
MA X		0.00 42		0.00 39		0.00 50
ŚR ED		0.00 26		0.00 25		0.00 29
δ		0.00 07		0.00 06		0.00 08

Wykorzystanie pomiarów GNSS do wyznaczenia współrzędnych podstawowej osnowy realizacyjnej na terenach oddziaływań górniczych



Rys. 5. Błędy współrzędnych po wyrównaniu w układzie ETRF-89



Rys. 6. Różnice współrzędnych punktów uzyskane z rozwiązania POZGEO i POZGEO-D

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W pracy przedstawiono metodykę pomiaru i opracowania obserwacji satelitarnych GPS dla sieci geodezyjnych o podwyższonej dokładności z wykorzystaniem systemu ASG-EUPOS. Zaproponowane rozwiązania są bardzo ekonomiczne, bowiem nie wymagają klasycznego nawiązania pomiarów poprzez wykonywanie obserwacji na punktach osnowy wyższego rzędu. Analiza kolejnych wariantów rozwiązania sieci wykazała, że najlepsze wyniki (najmniejsze błędy wyznaczonych współrzędnych) uzyskano przy wyrównaniu sieci wykorzystując do nawiązania kombinację fizycznych i wirtualnych stacji referencyjnych. Rozwiązanie to podnosi dokładność wyznaczenia wektora poprzez skrócenie jego długości (zmniejszenie błędów refrakcji i błędów orbit) oraz poprawę geometrii układu nawiązania.

Opracowanie manualne sieci z wykorzystaniem serwisu POZGEO-D daje istotnie lepsze wyniki (Rys. 5) w porównaniu do opracowania z wykorzystaniem automatycznego serwisu POZGEO. Rozwiązanie manualne w stosunku do rozwiązania automatycznego z wykorzystaniem serwisu POZGEO, poprawiło błędy średnie współrzędnych przeciętnie o 30%. Natomiast wykorzystanie do nawiązania wirtualnych stacji referencyjnych dało wynik w postaci zmniejszenia błędów o kolejne 20 %. Rozwiązanie manualne jest bardziej elastyczne i zapewnia więcej możliwości kontroli poprawności wyznaczenia położenia punktów, między innymi zapewnia powiązanie sąsiednich punktów sieci. Wymaga jednak posiadania specjalistycznego oprogramowania i pewnego doświadczenia użytkownika wykonującego obliczenia. Automatyczne obliczenia, z kolei, nie wymagają specjalistycznego oprogramowania do postprocessingu po stronie użytkownika, a jedynie oprogramowanie do konwersji surowych danych z formatu odbiornika do uniwersalnego pliku Rinex. Jednak automatyczne obliczenia są mało elastyczne i pierwsze doświadczenia autora wykazały, że wektory nie obliczone w automatycznym postprocessingu dają się obliczyć przy zastosowaniu indywidualnego manualnego podejścia.

6. LITERATURA

Kadaj R., Świetoń T. 2008. Algorytm i oprogramowanie modułu automatycznego postprocessingu (APPS) w polskim systemie satelitarnych stacji referencyjnych (ASG-EUPOS). Politechnika Rzeszowska.

THE USE OF GNSS MEASUREMENTS FOR THE DETERMINATION OF BASIC REALIZATION NETWORK COORDINATES IN MINING IMPACT AREAS

KEY WORDS: realization network, GNSS, designation of indeterminacy, adjustment of GPS vectors

SUMMARY: The paper presents a methodology for measuring and development of the basic realization network, established for the engineer line object. The objective realization network has been established over a distance of 6 km in the A-4 motorway in the city of Katowice between nodes "Murckowska" and "Mikołowska" for upgrading this section of motorway. Network points were mostly stabilized in lane highway modernized, which significantly hinder the precise designation of their coordinates, mainly because of the cars passing through and working heavy construction equipment. Therefore it is also important in such cases to define an optimal methodology for measurement and development the satellite observations to obtain reliable and high-precision determinations of positions. The proposed method of measurement and the development of observation allowed to obtain the average accuracy of the coordinates determination after adjustment at 3÷5 mm, 2-hour observation sessions.

Dr inż. Zbigniew Siejka
e-mail: rmsiejka@cyf_kr.edu.pl
tel. +12 6624510