

Roman KADAJ<sup>1</sup>

## PROBLEMATYKA NUMERYCZNEGO OPRACOWANIA PRECYZYJNYCH SIECI ZINTEGROWANYCH Z WYKORZYSTANIEM STACJI ASG-EUPOS, NA PRZYKŁADACH SIECI REALIZACYJNYCH DLA TRAS KOMUNIKACYJNYCH

### Streszczenie

W pracy przedstawiono kilkietapowy algorytm wyrównania precyzyjnych sieci trójwymiarowych, tworzących układy obserwacyjne złożone z wektorów GNSS i pomiarów klasycznych. W celu uzyskania najwyższej dokładności wyników, wyrównanie sieci zintegrowanej powinno realizować się na elipsoidzie odniesienia, co wymaga przekształcenia wektorów GNSS na wektory linii geodezyjnych (rzutowania wektorów trójwymiarowych na elipsoidę). Taka operacja eliminuje ewentualne błędy systematyczne o kierunku wertykalnym (błędy wyznaczeń wysokości anten lub ich parametrów kalibracyjnych). Drugie założenie dotyczy wyboru punktów nawiązania sieci. Postuluje się by były to wyłącznie stacje referencyjne, które są wyznaczone z wysoką dokładnością w jednolitym układzie odniesienia. Podano przykłady obliczeń precyzyjnych sieci realizacyjnych dla tras komunikacyjnych. Wszelkie niezbędne do procesu obliczeniowego programy obliczeniowe są dostępne w pakiecie GEONET\_2006.

**Słowa kluczowe:** sieci geodezyjne zintegrowane, GNSS i pomiary klasyczne, ASG-EUPOS, wyrównanie sieci na elipsoidzie, GEONET\_2006

### 1. Wstęp

Pojawienie się (w roku 2007) systemu ASG-EUPOS (np.: Bosy, 2008) otworzyło nowe możliwości technologiczne w zakładaniu wielkoobszarowych, precyzyjnych osnów geodezyjnych, w szczególności osnów realizacyjnych do budowy autostrad lub traktów szynowych o zwiększonych wymaganiach geometryczno-jakościowych. Niemal regułą jest dziś stosowanie technologii zintegrowanych, w których statyczne obserwacje GNSS zapewniają generalnie „sztywność” konstrukcji geometrycznej całej sieci, natomiast obserwacje klasyczne, stanowią użytkowe „wypełnienie” i kontrolę głównej konstrukcji (sieci wektorowej GNSS), zwłaszcza w sytuacji, gdy pomiar GNSS, ze względu na warunki miejscowe nie jest możliwy do wykonania. Trzeba dodać, że klasyczna niwelacja precyzyjna, co najmniej w zakresie wspomagającym zadanie niwelacji satelitarnej, jest stale niezbędnym elementem w wyznaczeniu precyzyjnych wysokości normalnych.

Co w tym zadaniu wnosi ASG-EUPOS? Głównym elementem systemu jest sieć ponad 100 stacji (z uwzględnieniem pobliskich stacji zagranicznych (czeskich, słowackich i niemieckich), których współrzędne kartezjańskie – geocentryczne XYZ zostały wyznaczone z dokładnością sub-milimetrową (błąd średni współrzędnej szacuje się co najwyżej na 0.005m). Serwis o nazwie POZGEO-D oferuje użytkownikom (zarejestrowanym w systemie) pozyskiwanie obserwacji satelitarnych wykonanych na stacjach systemu w postaci plików danych w formacie RINEX. Umożliwia to użytkownikowi, korzystającemu z własnego programu post-processingu, wyznaczenie wektorów łączących wybrane stacje z punktami osnowy użytkownika, czyli utworzenie sieci, w której punktami nawiązania będą stacje referencyjne. Klasyczne, precyzyjne sieci realizacyjne, wedle reguł opisywanych w kursie geodezji inżynierskiej, były zakładane jako konstrukcje niezależne. Niezależność od mało dokładnych osnów państwowych gwarantowała ich wysoką dokładność

---

<sup>1</sup>prof. dr hab. inż., Katedra Geodezji im. K. Weigla, Politechnika Rzeszowska

wewnętrzna. W zakładaniu i opracowaniu sieci realizacyjnych obowiązywała więc zasada niejako odwrotna do zasady „od ogółu do szczegółu”, stosowanej w ośnawach państwowych. Najpierw dokonywano więc wyrównania niezależnego sieci, a następnie, dla celów lokalizacyjnych (inwetryzacyjnych), wpasowywano taką sieć do układu państwowego przy założeniu 4-parametrowej transformacji Helmerta (bez zniekształceń postaciowych geometrii sieci). Obecnie, przy wykorzystaniu stacji ASG-EUPOS, mamy (w aspekcie precyzyjnych sieci realizacyjnych) niejako powrót do tradycyjnej zasady geodezyjnej, ponieważ punkty nawiązania (stacje referencyjne) reprezentują dokładność porównywalną z dokładnością precyzyjnych pomiarów klasycznych.

Problem opracowania sieci zintegrowanych wymaga szczególnie przestrzegania pewnych reguł wynikających z wiedzy o układach odniesienia, możliwych deformacjach systematycznych, zwłaszcza dotyczących zniekształceń skali przy łączeniu pseudo-observacji GNSS z obserwacjami klasycznymi. Wymienimy je i zilustrujemy na przykładach w kolejnych punktach niniejszej publikacji.

## **2. Zasady i etapy opracowania sieci zintegrowanej z wykorzystaniem stacji ASG-EUPOS**

W typowym zadaniu sieć zintegrowana zawiera wektory GNSS oraz obserwacje klasyczne (kąty, kierunki, długości, różnice wysokości), przy czym wektory GNSS powinny zawsze, niezależnie od obserwacji klasycznych, tworzyć sieć wyznaczalną, pozwalającą na wewnętrzną kontrolę tej sieci.

Kompletne zadanie opracowania numerycznego sieci obejmuje następujące etapy:

### **Opracowanie wstępne:**

- A) Wyrównanie trójwymiarowej sieci wektorowej GNSS w układzie kartezjańskim, geocentrycznym, przy założeniu niezmienności współrzędnych XYZ wybranych stacji referencyjnych. Ewentualna eliminacja wektorów „odstających” i korygowanie modelu stochastycznego układu wektorów.
- B) Przekształcenie wyników na elipsoidę odniesienia GRS-80 i do układu odwzorowawczego „2000” lub „1992”.
  - B.1) Transformacja współrzędnych XYZ na współrzędne geodezyjne B,L,
  - B.2) Rzutowanie wektorów GNSS na elipsoidę – utworzenie wektorów linii geodezyjnych
- C) Kontrolne wyrównanie sieci GNSS na elipsoidzie z wykorzystaniem wektorów linii geodezyjnych oraz kontrolne wyrównanie różnic wysokości elipsoidalnych. Finalna weryfikacja modelu stochastycznego sieci GNSS.
- D) Kontrolne wyrównanie sieci klasycznej w układzie odwzorowawczym „2000” lub „1992”, przy założeniu stałości wszystkich punktów sieci GNSS. Weryfikacja i ewentualne korygowanie modelu stochastycznego sieci klasycznej. Przeliczenie wynikowych współrzędnych xy2000 (lub xy1992) na współrzędne geodezyjne B,L.

### **Opracowanie finalne:**

- E) Wyrównanie sieci zintegrowanej na elipsoidzie GRS-80 przy założeniu stałości współrzędnych B,L stacji referencyjnych
- F) Przeliczenie wyników do układu kartograficznego mapy projektu inwestycji, np. xy2000, xy1992, xy65 lub układ lokalny.

Wymienione etapy komentujemy, akcentując kwestie, które mają istotny wpływ na wyniki końcowe.

### 3. Kontrolne wyrównania sieci GNSS (etapy: A,B,C).

Wyrównanie trójwymiarowej sieci wektorowej GNSS, jako sieci niezależnej lub co najwyżej nawiązanej do punktów „pewnych” jakimi są stacje referencyjne, jest zadaniem wstępnym, umożliwiającym kontrolę poprawności wewnętrznej układu wektorów. W tym zadaniu ograniczamy się tylko do minimalnej liczby punktów nawiązania (minimum 1 punkt o współrzędnych geodezyjnych BLH lub kartezjańskich – geocentrycznych XYZ), by ewentualne błędne punkty nie spowodowały niewłaściwych wniosków dotyczących poprawności samych wektorów. Wiadomo, że współrzędne stacji referencyjnych cechują się zarówno wysoką dokładnością jak i niezawodnością (wyznaczone były wielokrotnie w 24h sesjach). Dlatego zamiast wyrównywania trójwymiarowej sieci swobodnej wektorów GNSS racjonalne jest założenie wszystkich wykorzystywanych stacji referencyjnych jako punktów nawiązania.

Wyrównanie trójwymiarowej sieci wektorowej GNSS (etap A) stanowi podstawę do kolejnych etapów prowadzących do integracji tej sieci z pomiarami klasycznymi. W etapie B dokonujemy więc rzutowania trójwymiarowych wektorów kartezjańskich GNSS ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) na elipsoidę odniesienia (GRS-80), (Kadaż, 1997, 2007, 2010). Pod pojęciem rzutowania wektora na elipsoidę rozumiemy przekształcenie wektora kartezjańskiego w wektor linii geodezyjnej:

$$(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z) \Rightarrow (A_g, s, \Delta H_e)$$

$A_g$  - azymut linii geodezyjnej

$s$  - długość linii geodezyjnej

$\Delta H_e$  - różnica wysokości elipsoidalnych końców wektora,

przy czym linia geodezyjna łączy rzuty normalne (helmertowskie) końców wektora na elipsoidzie. Bardzo ważnym warunkiem poprawności tej operacji (uzyskania właściwej skali długości linii geodezyjnej) jest to, by przed rzutowaniem, sieć wektorowa była określona przy założeniu poprawnej wysokości elipsoidalnej punktu referencyjnego. Warunek ten jest analizowany dokładnie w [Kadaż, 2008], a jego spełnienie jest gwarantowane oczywiście poprzez nawiązanie sieci do co najmniej jednej stacji referencyjnej. Azymuty i długości linii geodezyjnych tworzą na elipsoidzie zbiór wektorów biegunowych, które mogą być łatwo integrowane z pomiarami klasycznymi. Różnica w stosunku do obserwacji klasycznych polega tylko na tym, że wektory biegunowe GNSS są pseudo-obszernymi nie wymagającymi już redukcji fizycznych i topograficznych. Pomijając szczegóły stwierdzamy, że obserwacje klasyczne przed wyrównaniem na elipsoidzie powinny być zredukowane z fizycznej przestrzeni pomiarowej do przestrzeni matematycznej definiowanej przez geometrię elipsoidy.

Oczywiście, możemy rozważać również wyrównanie sieci zintegrowanej w dowolnym układzie odwzorowawczym elipsoidy (np. w układach: „2000”, „1992”). W takim przypadku wszystkie pseudo-obszernie lub bezpośrednie obserwacje podlegają dodatkowo redukcjom odwzorowawczym. W przypadku wykorzystania stacji referencyjnych takie postępowanie może prowadzić jednak do złych wyników spowodowanych samą błędnością poprawek (redukcji) odwzorowawczych, zwłaszcza dla długich, nawet 50-100 km wektorów GNSS. Typowe wzory redukcji odwzorowawczych nie uwzględniają tak dużych rozpiętości, które nie występują i nigdy nie występowały w pomiarach klasycznych. Można wszakże zastosować specjalne, numeryczne metody redukcji odwzorowawczych obserwacji opisane w Wytocznych Technicznych G-1.10 ale najbardziej bezpieczną i w pełni dostępną praktycznie metodą jest wyrównanie sieci wprost na elipsoidzie. Etap kontrolny C stanowi więc realizację takiego postulatu w odniesieniu do samej sieci GNSS.

Drugim, nie mniej istotnym argumentem przemawiającym za wyrównaniem wektorów GNSS na elipsoidzie jest to, że sama operacja rzutowania wektorów i ich przekształcenia na wektory linii geodezyjnych powoduje automatyczną eliminację ewentualnych błędów określenia wysokości anten lub ich parametrów kalibracyjnych (w szczególności model anteny może nie występować w zbiorach modeli standardowych). Faktyczne przesunięcie centrum fazowego anteny względem centrum geometrycznego ma zwykle najistotniejszą składową pionową. Z doświadczeń numerycznych widać często, że – pomimo przeświadczenia o poprawności wykonania wszystkich redukcji, jednostkowy średni błąd sieci z wyrównania na elipsoidzie jest mniejszy od analogicznego błędu jednostkowego sieci trójwymiarowej. Świadczy to o tym, że czynniki zniekształceń wertykalnych nie są do końca identyfikowalne, powodując pogorszenie ogólnego wyniku wyrównania sieci trójwymiarowej w

stosunku do wyniku wyrównania tej samej sieci na elipsoidzie.

W wyniku wyrównania sieci GNSS na elipsoidzie otrzymujemy dla wszystkich punktów sieci pary współrzędnych geodezyjnych B,L (GRS-80). Można je oczywiście przekształcić matematycznie do układów odwzorowawczych elipsoidy, np. „2000”, „1992”. Kontrolne wyrównanie sieci klasycznej, wymienione w etapie D wykonujemy przy założeniu stałości punktów wyznaczonych w sieci GNSS i ewentualnie innych punktów klasy wyższej, do której ta sieć jest nawiązana. Wyrównanie to możemy realizować już w dowolnym układzie odwzorowawczym, jakkolwiek nie ma żadnych przeciwwskazań aby realizować je również jako wyrównanie sieci na elipsoidzie. Na tym etapie wykrywamy ewentualne błędy, a w oparciu o otrzymane charakterystyki dokładnościowe dokonujemy ewentualnej modyfikacji modelu stochastycznego.

Wszystkie wymienione etapy wstępne mają na celu przygotowanie zbiorów danych do finalnego wyrównania sieci zintegrowanej na elipsoidzie.

#### **4. Opracowanie finalne sieci zintegrowanej**

Zarówno opracowania wstępne (kontrolne) jak też finalne opracowania numeryczne sieci zintegrowanej można realizować programami systemu GEONET\_2006. W pakiecie dostępny jest m.in. program wyrównania sieci na elipsoidzie dla wszystkich praktycznie stosowanych rodzajów danych pomiarowych – pseudo-observacji GNSS i obserwacji klasycznych – oraz warunków nawiązań.

Wyrównanie finalne sieci zintegrowanej, wykorzystującej jako punkty nawiązania stacje referencyjne wykonujemy programem wyrównania sieci na elipsoidzie. Kwestią dyskusyjną może być włączenie do zbioru punktów nawiązania punktów osnów państwowych wyższych klas. Dla zachowania wysokiej, nawet kilkumilimetrowej precyzji pomiarów GNSS (przy stosowaniu 2-3h sesji) przy wysokiej precyzji nawiązań do stacji referencyjnych, nie byłoby wskazane włączanie do zbioru nawiązań jakichkolwiek punktów osnów państwowych. Dotyczy to również sieci POLREF, których dokładność wyznaczeń (w latach 90-tych) jest istotnie gorsza niż dokładność wyznaczeń stacji referencyjnych. Błąd położenia punktów sieci POLREF szacuje się optymistycznie na ok. 2-3 cm. Dlatego przy opracowaniu sieci precyzyjnych, nawiązanych do stacji ASG-EUPOS, niejako regułą powinno być potraktowanie wszystkich włączonych do sieci punktów osnów państwowych, tylko jako punktów kontrolnych– wyznaczanych, służących ewentualnie tylko późniejszemu wpasowaniu tej sieci i obiektów z nią związanych (bez zniekształceń afinicznych) do odpowiedniego układu państwowego lub lokalnego.

Drugim powodem za odrzuceniem nawiązania do osnów państwowych przy opracowaniu precyzyjnych sieci wykorzystujących stacje ASG-EUPOS jest fakt, że układ odniesienia stacji referencyjnych nie jest dokładnie tożsamy z układem odniesienia reprezentowanym przez sieć POLREF i nawiązane do niej sieci klas I+II, a następnie także klasy III. Stacje referencyjne zostały wyznaczone w układzie europejskim na epokę '2005, natomiast nowe osnowy państwowe, zapoczątkowane założeniem w latach 90-tych sieci POLREF i nawiązaniem do niej dawnych sieci klasy I i II, zostały wyznaczone w układzie ETRF89 na epokę '1989. Różnica pomiędzy układami w obszarze Polski wynosi (zależnie od lokalizacji) 1-2.5 cm. Dlatego, zależnie od konkretnych warunków technicznych zadania (wykorzystanie w celach realizacyjnych także istniejących osnów państwowych), konieczna może być transformacja konforemna (bez zniekształceń geometrii wewnętrznej) nowo-założonej sieci na epokę '1989. Zadanie to realizuje się standardowo w oparciu o punkty dostosowania lub przy wykorzystaniu dostępnych wzorów i algorytmów transformacji współrzędnych geocentrycznych pomiędzy epokami układu ETRF.

#### **5. Przykład zintegrowanej sieci realizacyjnej dla budowy II linii metra warszawskiego**

Rys.1 pokazuje symbolicznie układ 4 stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS wykorzystanych do utworzenia zintegrowanej sieci realizacyjnej dla budowy II linii metra warszawskiego. Najdłuższe odległości do stacji wynosiły ok. 36 km. Sieć podstawowa założona metodą statyczną GNSS zawierała 42 punkty (tab.1). Została ona zagęszczona klasyczną siecią I rzędu złożoną dodatkowo ze 126 punktów. Rys. 2 pokazuje symbolicznie strukturę sieci klasycznej, zaś tab. 2 wykaz charakterystycznych parametrów ilościowych i finalnie uzyskane parametry dokładnościowe

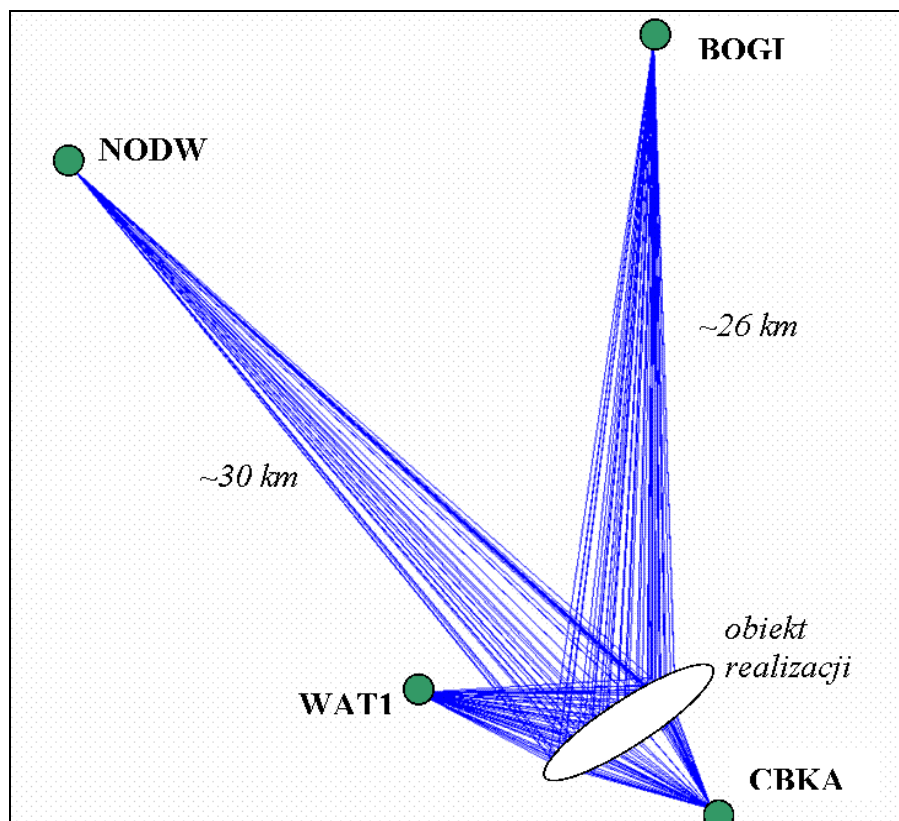
sieci zintegrowanej.

W założeniach technicznych postawiono wysokie wymagania dokładnościowe – wyznaczenie współrzędnych punktów z precyzją milimetrową w układzie „2000” (odrębnym zagadnieniem, które tu pomijamy było finalne transformowanie współrzędnych do układu WARSZAWA\_75 oraz opracowanie wysokościowe). Całość opracowania wykonano zgodnie z opisanymi wyżej zasadami, z których najważniejsze to:

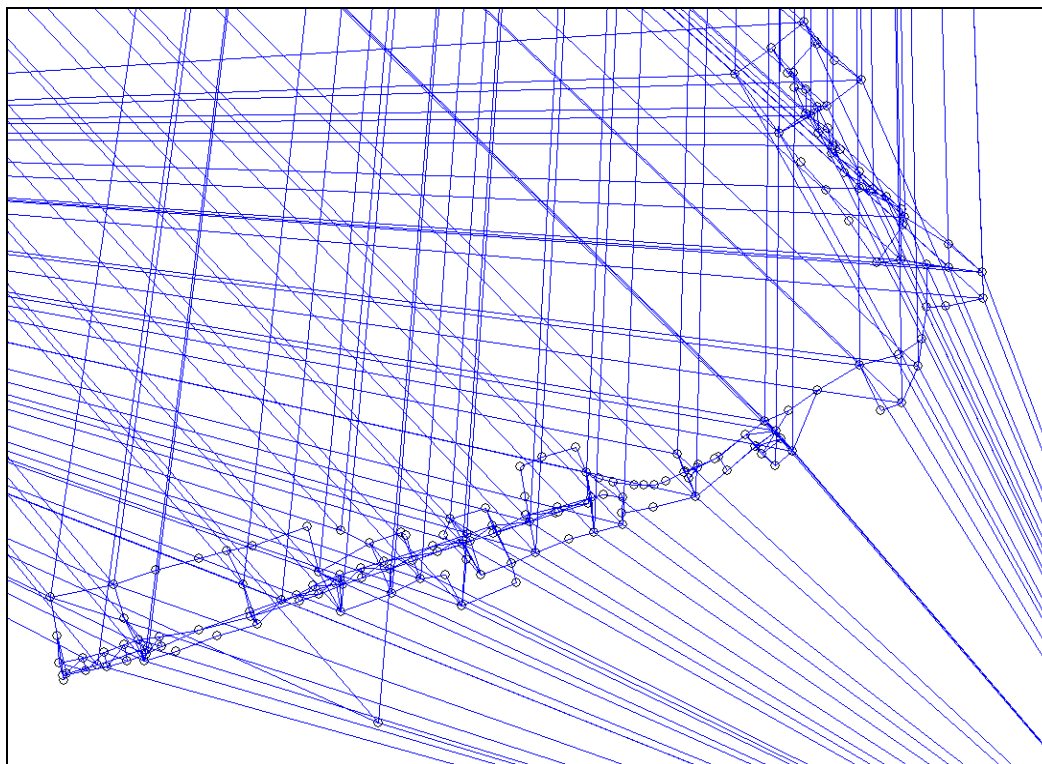
- Ustalenie wag obserwacji i pseudo-obszacji w ramach wstępnych, odrębnych wyrównań sieci GNSS i klasycznej.
- Przyjęcie wyłącznie stacji referencyjnych jako punktów nawiązania sieci zintegrowanej.
- Wyrównanie sieci na elipsoidzie GRS-80, we współrzędnych geodezyjnych B,L i ich finalne przeliczenie do układu „2000/21”.

Na przykładzie sieci podstawowej (sieć wektorowa GNSS nawiązana do stacji referencyjnych) wykazano, że jej wyrównanie jako sieci trójwymiarowej w układzie geocentrycznym jest mniej dokładne niż wyrównanie na elipsoidzie (po utworzeniu wektorów linii geodezyjnych). Efekt jest odnotowany syntetycznie w tab. 1. W raporcie wyrównania sieci trójwymiarowej zauważamy przede wszystkim ponad dwukrotne zwiększenie błędu średniego jednostkowego (w postaci niemianowanej) z 0.92 (dla sieci na elipsoidzie) do 2.41 (dla sieci trójwymiarowej). Ponadto, maksymalna odchyłka długości wektora w sieci trójwymiarowej wynosi 0.12m co absolutnie nie występuje w sieci wyrównanej na elipsoidzie. Efekt taki potwierdza się również na innych obiektach trójwymiarowych sieci wektorowych GNSS, a jego przyczyna leży w wymiarze wysokościowym. W wyniku rzutowania wektorów na elipsoidę eliminują się ewentualne błędy w pomiarze wysokości anten lub w definicji ich parametrów kalibracyjnych ale najbardziej prawdopodobne wydają się być faktycznie większe błędności wyznaczeń wektorów w składowej pionowej, zwłaszcza dla zbyt krótkich sesji obserwacyjnych.

Generalnie, uzyskane precyzje wyznaczeń (błędy położeń punktów sieci przeciętnie na poziomie ok. 5mm) spełniły oczekiwania założeń technicznych.



Rys. 1. Układ stacji referencyjnych, wykorzystanych do pomiaru podstawowej sieci realizacyjnej dla budowy II linii metra warszawskiego.



Rys. 2. Zintegrowana sieć realizacyjna dla budowy II linii metra warszawskiego

Tablica 1. Podstawowa sieć realizacyjna II linii METRA – parametry ilościowe i jakościowe (porównanie wyrównania na elipsoidzie z wyrównaniem trójwymiarowym).

### Parametry wyrównania na elipsoidzie GRS-80 (ETRF'89)

Liczba wszystkich punktów sieci	lp =	46
Liczba stałych punktów nawiazania	ls =	4
Liczba punktów wyznaczanych	lr =	42
Liczba azymutów geodezyjnych (GNSS)	lazg =	348
Liczba długości GNSS	ldg =	348
Liczba niewiadomych współrzędnych	n =	84
Łączna Liczba obserwacji	m =	696
Nadwymiarowość układu obserwacyjnego	m-n =	612

GLOBALNY WSKAŹNIK NIEZAWODNOŚCI:  $z = 0.8793$   $z\% = 87.9\%$

Przeciętny błąd położenia (w łuku)  $Mp(sr) = 0.0042$  m

Maksymalny błąd położenia (w łuku)  $Mp(max) = 0.0075$  m

Błąd średni jednostkowy  $Mo = 0.9232$  (w. niemianowana)

Estymaty cząstkowe  $Mo$  i liczby stopni swobody:

- dla długości  $Mo(1) = 1.0019$   $f1 = 306.0$

- dla azymutów  $Mo(4) = 0.8370$   $f4 = 306.0$

Odchyłka maksymalna długości linii geodezyjnej:

$vD(max.) = -0.0294$

### Parametry wyrównania w układzie geocentrycznym XYZ (ETRF'89)

Błąd średni jednostkowy  $Mo = 2.4261$

Odchyłka maksymalna długości wektora:

$vD(max.) = 0.1211$

Tablica 2. Zintegrowana sieć realizacyjna II linii warszawskiego METRA. Finalne parametry ilościowe i dokładnościowe.

PARAMETRY CAŁKOWITOLICZBOWE SIECI			
Liczba wszystkich punktów sieci	lp =	170	
Liczba stałych punktów nawiazania	ls =	4	
Liczba punktów wyznaczanych	lr =	166	
Liczba obserwacji katowych	lka =	11	
Liczba stacji obserwacji kierunkowych	lst =	357	
Liczba obserwacji kierunkowych	lki =	1254	
Liczba azymutów geodezyjnych (GNSS)	lazg =	348	
Liczba długości klasycznych	ldk =	303	
Liczba długości GNSS	ldg =	348	
Liczba niewiadomych współrzędnych	n =	332	
Łączna Liczba obserwacji	m =	1907	
Nadwymiarowość układu obserwacyjnego	m-n =	1575	
GLOBALNY WSKAŹNIK NIEZAWODNOŚCI: z = 0.8259 z% = 82.6%			
Przeciętny błąd położenia (w łuku) Mp(sr) =	0.0030	m	
Maksymalny błąd położenia (w łuku) Mp(max)=	0.0067	m	dla punktu:
1003			
Błąd średni jednostkowy Mo =	0.84226	(w. niemianowana)	
Estymaty cząstkowe Mo i liczby stopni swobody:			
- dla długości	Mo(1) =	0.93693	f1 = 537.7
- dla kątów	Mo(2) =	0.33391	f2 = 9.1
- dla kierunków	Mo(3) =	0.70903	f3 = 740.8
- dla azymutów	Mo(4) =	0.97257	f4 = 287.4

Podobne struktury sieci realizacyjnych opartych na stacjach systemu ASG-EUPOS stosuje się aktualnie przy budowie autostrad. Przykład opracowania precyzyjnej sieci realizacyjnej dla fragmentu autostrady A1 był przedmiotem prezentacji konferencyjnej.

### Literatura

- [1] BOSY J. *Referat programowy konferencji: „Wielofunkcyjny system precyzyjnego pozycjonowania satelitarne ASG-EUPOS”*. GUGiK - Warszawa 24.06.2008.
- [2] KADAJ R. *Wyrównanie sieci wektorowej GPS i jej transformacja do układu odwzorowawczego elipsoidy Krasowskiego lub GRS-80 (WGS-84) w programach systemu GEONET*. Mat. Seminarium: Zastosowanie Technik Kosmicznych w Geodezji i Geodynamice, Kraków 22-23 września 1997.
- [3] KADAJ R. *Sieci wektorowe GPS z obserwacjami klasycznymi w aspekcie modernizacji państwowych osnów geodezyjnych*, Materiały II Ogólnopolskiej Konferencji N-T „Kartografia numeryczna i informatyka geodezyjna”, Rzeszów–Polańczyk–Solina, 27-29.09.2007, s. 171-179.
- [4] KADAJ R. *Ocena jakościowa (ekspertyza) dotycząca Podstawowej Sieci Realizacyjnej Metra (PSRM) oraz Podstawowej Wysokościowej Sieci Realizacyjnej Metra (PWSRM) centralnego odcinka II linii metra w Warszawie*, Wykonano na zlecenie Warszawskiego Przedsiębiorstwa Geodezyjnego, 29.11.2010.
- [5] GEONET–system obliczeń geodezyjnych, ® © ALGORES-SOFT Rzeszów, 1992-2008, [www.geonet.net.pl](http://www.geonet.net.pl)

## **NUMERICAL ELABORATION OF PRECISE INTEGRATED NETWORKS WITH THE USE OF ASG-EUPOS SYSTEM IN COMMUNICATION ROUTE CONTROL NETWORKS**

### **Summary**

This article presents the precise 3D integrated networks adjustment consisting of classical measurements and GNSS vectors. Obtaining the highest exactitude results, adjustment of integrated networks should be settled on ellipsoid reference, which requires GNSS vectors to geodetic lines conversing (3D vector ellipsoid projection) Such operation eliminates the possible vertical systematic errors (the ones of inaccurate determination of antenna's height or its calibration parameters). The second assumption is related to the choice of reference points. The choice of reference stations, which are determined in consistent reference frame is highly suggested. Examples of all calculations are here to find. Software programs and procedures are available in the GEONET\_2006 edition.

**Key words:** integrated geodetic networks, GNSS and classical measurements, control networks, ASG-EUPOS, network adjustment on the ellipsoid, GEONET\_2006