INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 1/II/2012, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 207–217
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Grzegorz Oleniacz

ANALIZA EFEKTÓW ZASTĄPIENIA PUNKTÓW NAWIĄZANIA KLASYCZNEJ POZIOMEJ OSNOWY SZCZEGÓŁOWEJ III KLASY WEKTORAMI DO STACJI SYSTEMU ASG-EUPOS

EFFECTS OF REPLACING THE CLASSICAL 3RD CLASS HORIZONTAL GEODETIC NETWORK REFERENCE POINTS BY VECTORS TO ASG-EUPOS SYSTEM STATIONS

Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono przeprowadzone przez autora analizy dotyczące wyników wyrównania klasycznej poziomej osnowy geodezyjnej III klasy zintegrowanej z pomiarami GNSS w systemie ASG-EUPOS. Badania przeprowadzono na dwóch regularnych modelach teoretycznych o zbliżonych parametrach gęstości punktów nawiązania i długości boku w sieci lecz o różnych konstrukcjach geometrycznych pod względem kształtu sieci i długości ciągów.

Słowa kluczowe: pozioma osnowa III klasy, ASG-EUPOS, integracja pomiarów GNSS i klasycznych

Summary

This paper shows contents of analyses regarding the adjustment of the classic 3rd class horizontal geodetic network integrated with GNSS measurements in the ASG-EUPOS system. The tests were carried out on two regular theoretical models with similar parameters of reference points density and the network side length, but with different geometric structures in terms of shape and travers length.

Key words: *horizontal geodetic network, ASG-EUPOS, integration of classical and GNSS measurements*

WSTĘP

Pozioma osnowa III klasy na przestrzeni kilkudziesięciu lat jest rozwijana i modernizowana w oparciu o różne, zmieniające się wraz z rozwojem techniki, technologie pomiarowe. Wprowadzenie do geodezji pomiarów satelitarnych GPS/GNSS usprawniło proces projektowania nowych i modernizacji już istniejących osnów. Dało to możliwość wzmocnienia konstrukcji sieci poprzez pomiar wektorów pomiędzy punktami osnów wyższego rzędu, a punktami opracowywanej sieci lub wewnątrz tej sieci bez konieczności szukania wizury i pomiaru długich ciągów metodami klasycznymi. Jednak, aby móc zmierzyć zaprojektowany wektor wykonawca musi dysponować co najmniej dwoma, ciągle jeszcze droższymi od tachimetrów, odbiornikami GNSS. Uruchomienie w 2008 roku systemu ASG-EUPOS sprawiło, że do pomiarów szczegółowych metodą RTK (jak i z wykorzystaniem postprocessingu) wystarcza jeden odbiornik wyznaczający współrzędne na podstawie wektorów do stacji permanentnych rozmieszczonych równomiernie w systemie na terenie Polski i nie tylko.

Łatwo można sobie wyobrazić sytuację (a nie rzadko zdarza się tak w praktyce), gdy w modernizowanej osnowie zginie jeden lub kilka punktów nawiązania lub gdy projektowana sieć jest lokalnie słabsza pod względem dokładności lub niezawodności. Wykorzystując klasyczne metody pomiarowe należałoby zaprojektować dodatkowe ciągi lub wydłużyć już istniejące (ewentualnie w razie korzystnej sytuacji terenowej wykonać tylko dodatkowe obserwacje, na przykład do widocznych z daleka obiektów wysokich). Dysponując co najmniej dwoma odbiornikami GNSS, właściwie nie przejmując się wizurami i odległościami, można zaprojektować do pomiaru dodatkowe wektory pomiędzy punktami osnowy lub do punktów nawiązania. A co jeżeli mamy tylko jeden odbiornik?

Celem niniejszego artykułu jest prezentacja przeprowadzonej przez autora analizy efektów zastąpienia tradycyjnych punktów nawiązania poziomej osnowy III klasy wektorami do stacji permanentnych systemu ASG-EUPOS. Wektory takie można uzyskać z pomiarów statycznych, korzystając z serwisu POZGEO D. Technologia pomiarów GNSS daje obecnie możliwość wyznaczenia nawet długich wektorów z błędem nieprzekraczającym 1cm. W dalszej części artykułu przedstawiono metodykę badań, opis obiektów testowych oraz wyniki przeprowadzonych obliczeń i wnioski.

METODYKA PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Badania przeprowadzono na regularnych modelach teoretycznych o parametrach zbliżonych do przeciętnych poziomych osnów szczegółowych III klasy, wyznaczonych na podstawie własnego opracowania danych dotyczących osnów z 56 powiatów. Wyjściowymi obiektami były wielowęzłowe sieci prostolinio-

wych ciągów poligonowych o długościach boków równych 250m. Punkty nawiązania stanowiły około 7% wszystkich punktów w sieci [Oleniacz, Skrzypczak, w druku]. Obiekty te były umiejscowione centralnie w kwadracie o boku 70km, utworzonym przez cztery stacje systemu ASG-EUPOS [Leończyk, Oruba, Ryczywolski, 2008]. Do analiz przyjęto średni błąd pomiaru kierunku równy 30^{cc} i długości równy 10mm, natomiast błąd podłużny wektora niezależnie od jego długości założono na poziomie 10mm, a błąd poprzeczny każdego wektora (azymutu wektora) przeliczono jako równoważny podłużnemu.

Następnie kilkakrotnie usuwano ze zbioru punktów nawiązania, za każdym razem coraz to większą liczbę systematycznie rozmieszczonych w danej sieci punktów. Natomiast do zbioru obserwacji kolejno dołączano wektory pomiędzy stacjami systemu ASG-EUPOS, a owymi punktami zmienionymi ze stałych na wyznaczane. Tak przekształcone obiekty każdorazowo przeliczane były czterokrotnie według schematu, najpierw do zbioru obserwacji dołączano po jednym wektorze do każdego punktu (najkrótszym), potem po dwa, trzy i cztery wektory.

Aby przeanalizować efekty wprowadzonych zmian w stosunku do obiektów pierwotnych badano zmienność czterech parametrów oceny jakościowej osnów geodezyjnych:

- średniokwadratową wartość błędu położenia punktu w sieci – Mp (sr),
- maksymalny błąd położenia punktu w sieci – Mp (max),
- wewnętrzną niezawodność globalną sieci – Zw,
- wewnętrzną niezawodność lokalną sieci [GUGiK, 2002].

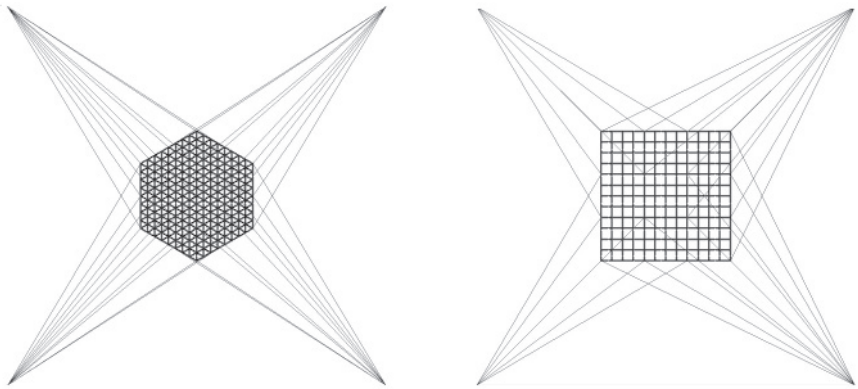
Jako parametr określający lokalną niezawodność sieci przyjęto stosunek kwadratu błędu średniego obserwacji przed wyrównaniem do kwadratu błędu średniego obserwacji po wyrównaniu i za każdym razem wychwytywano wartości najmniejsze (najmniejsza niezawodność lokalna).

Wyniki obliczeń uzyskano przy pomocy wstępnych analiz dokładności sieci poziomej w systemie GEONET.

OPIS OBIEKTÓW TESTOWYCH

Analizy przeprowadzono na dwóch obiektach testowych symulujących sieć poziomą III klasy. Strukturę geometryczną obu obiektów, wraz z wektorami do stacji referencyjnych przedstawiono schematycznie na rysunku 1.

Wyjściowy obiekt testowy pierwszego typu to sieć złożona z 3217 punktów, spośród których 217 to punkty nawiązania. Ciągi poligonowe mają długość 1500m i tworzą siatkę trójkątów równobocznych. W całości osnowa układa się w kształt sześciokąta foremnego o boku 12km oraz rozpiętości 24x20,8km i zajmuje powierzchnię około 375km^2.



Źródło: opracowanie własne
Source: own study

Rysunek 1. Obiekty testowe
Figure 1. The test objects

Druga konstrukcja charakteryzuje się mniejszym zagęszczeniem punktów, jest mniej zwarta i mniej sztywna geometrycznie. Składa się z ciągów o długości 2000m tworzących regularną siatkę kwadratów. Cała konstrukcja ma rozpiętość 24x24km i zajmuje 576km^2. Znajduje się w niej 2353 punkty, w tym 169 z nich to punkty nawiązania.

WYNIKI OBLICZEŃ

Wyniki obliczeń pierwszych trzech z opisanych wcześniej parametrów jakościowych dla pierwszego obiektu (siatka trójkątów) przedstawiają tabele od 1 do 3. W pierwszej kolumnie tych tabel znajdują się informacje o ilości klasycznych punktów nawiązania sieci, a w drugiej widnieje liczba punktów, do których dołączano wektory. Kolejne kolumny zawierają wyniki poszczególnych obliczeń danej konfiguracji obiektu z dołączanymi kolejno wektorami z jednej, dwóch, trzech lub czterech stacji referencyjnych do każdego z przewidzianych punktów. Pierwszy wiersz z danymi (wariant 0ASG – czyli sieć bez wektorów) w celach porównawczych zawiera te same dane niezależnie od kolumny.

Dla bardziej wyraźnego uchwycenia zmian badanych parametrów osnowy z dołączonymi wektorami w stosunku do pierwotnej postaci sieci sporządzone zostały wykresy zmian tych parametrów dla danego obiektu – rysunki od 2 do 4.

Tabela 1. Siatka trójkątów – Mp (sr) [m]
Table 1. Net of triangles – mean error of position [m]

klasyczne pkt naw	wektory do punktów	1 wektor	2 wektory	3 wektory	4 wektory
271	0 ASG	0,0202	0,0202	0,0202	0,0202
210	7 ASG	0,0202	0,0202	0,0202	0,0202
198	19 ASG	0,0203	0,0202	0,0202	0,0202
156	61 ASG	0,0206	0,0203	0,0202	0,0201
61	156 ASG	0,0213	0,0206	0,0202	0,0201
19	198 ASG	0,0217	0,0207	0,0203	0,0200
7	210 ASG	0,0217	0,0207	0,0203	0,0200
0	217 ASG	0,0218	0,0207	0,0202	0,0200

Źródło: opracowanie własne
Source: own study

Tabela 2. Siatka trójkątów – Mp (max) [m]
Table 2. Net of triangles – maximum error of position [m]

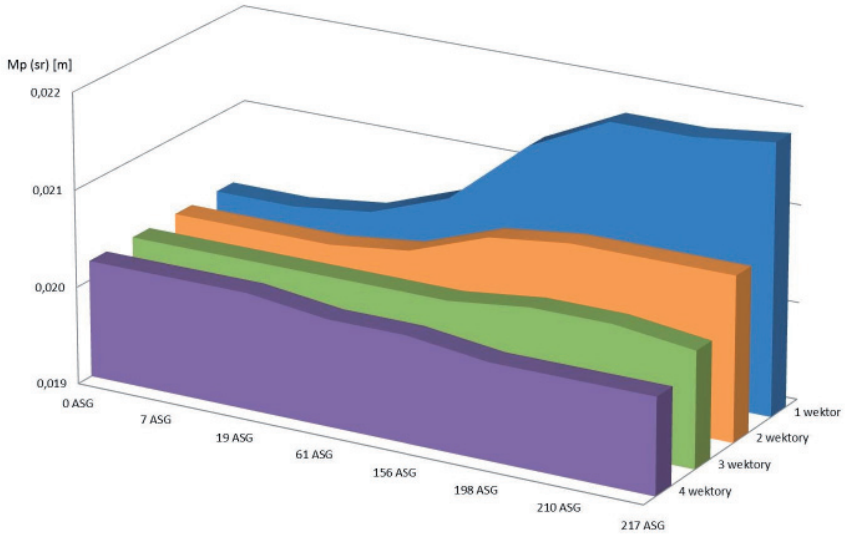
klasyczne pkt naw	wektory do punktów	1 wektor	2 wektory	3 wektory	4 wektory
271	0 ASG	0,0283	0,0283	0,0283	0,0283
210	7 ASG	0,0290	0,0287	0,0286	0,0285
198	19 ASG	0,0290	0,0287	0,0286	0,0285
156	61 ASG	0,0290	0,0287	0,0286	0,0285
61	156 ASG	0,0290	0,0287	0,0286	0,0285
19	198 ASG	0,0297	0,0290	0,0288	0,0287
7	210 ASG	0,0297	0,0290	0,0288	0,0287
0	217 ASG	0,0298	0,0291	0,0289	0,0287

Źródło: opracowanie własne
Source: own study

Tabela 3. Siatka trójkątów – Zw
Table 3. Net of triangles – global reliability

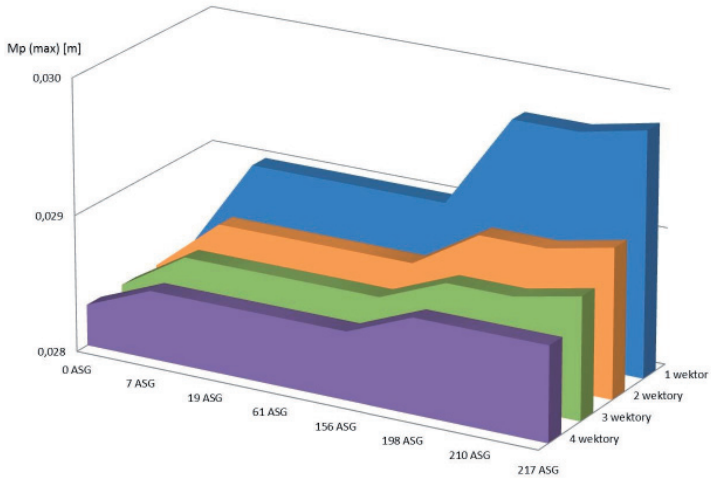
klasyczne pkt naw	wektory do punktów	1 wektor	2 wektory	3 wektory	4 wektory
271	0 ASG	22,60%	22,60%	22,60%	22,60%
210	7 ASG	22,56%	22,70%	22,84%	22,98%
198	19 ASG	22,49%	22,87%	23,24%	23,61%
156	61 ASG	22,25%	23,44%	24,59%	25,70%
61	156 ASG	21,73%	24,64%	27,35%	29,87%
19	198 ASG	21,50%	25,14%	28,46%	31,49%
7	210 ASG	21,44%	25,28%	28,76%	31,93%
0	217 ASG	21,40%	25,36%	28,94%	32,19%

Źródło: opracowanie własne
Source: own study



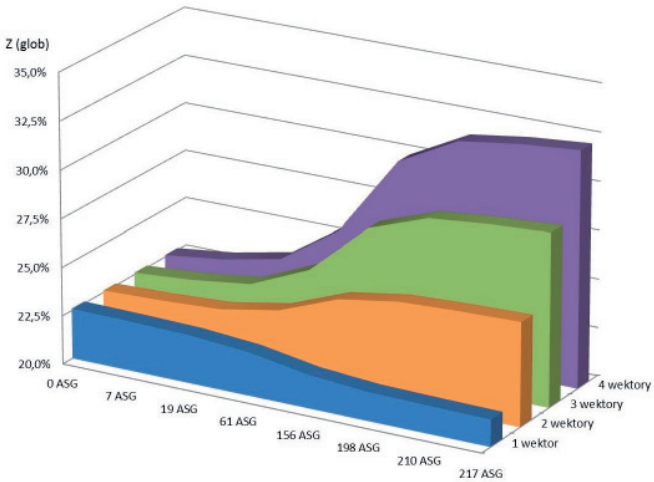
Źródło: opracowanie własne
Source: own study

Rysunek 2. Siatka trójkątów – trend zmian Mp (sr)
Figure 2. Net of triangles – changes of mean error of position



Źródło: opracowanie własne
Source: own study

Rysunek 3. Siatka trójkątów – trend zmian Mp (max)
Figure 3. Net of triangles – changes of maximum error of position



Źródło: opracowanie własne
Source: own study

Rysunek 4. Siatka trójkątów – trend zmian Zw
Figure 4. Net of triangles – changes of global reliability

Rezultaty obliczeń dokonanych na drugim obiekcie i jego modyfikacjach (siatka kwadratów) przedstawione zostały analogicznie do pierwszego przypadku. Wyniki obliczeń zestawiono w tabelach od 4 do 6, natomiast trend zmian parametrów pokazują wykresy – rysunki od 5 do 7.

Tabela 4. Siatka kwadratów – Mp (sr) [m]
Table 4. Net of squares – mean error of position [m]

klasyczne pkt naw	wektory do punktów	1 wektor	2 wektory	3 wektory	4 wektory
169	0 ASG	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281
165	4 ASG	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281
160	9 ASG	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281
153	16 ASG	0,0282	0,0281	0,0280	0,0280
144	25 ASG	0,0282	0,0281	0,0280	0,0280
120	49 ASG	0,0284	0,0280	0,0279	0,0278
49	120 ASG	0,0289	0,0280	0,0277	0,0275
25	144 ASG	0,0290	0,0280	0,0276	0,0274
16	153 ASG	0,0291	0,0280	0,0276	0,0273
9	160 ASG	0,0291	0,0280	0,0275	0,0273
4	165 ASG	0,0291	0,0280	0,0275	0,0272
0	169 ASG	0,0291	0,0280	0,0275	0,0272

Źródło: opracowanie własne.
Source: own study.

Tabela 5. Siatka kwadratów – Mp (max) [m]
Table 5. Net of squares – maximum error of position [m]

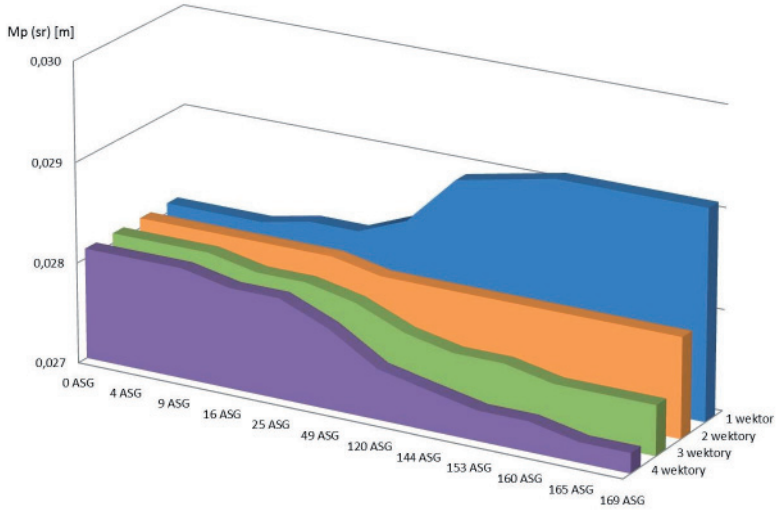
klasyczne pkt naw	wektory do punktów	1 wektor	2 wektory	3 wektory	4 wektory
169	0 ASG	0,0419	0,0419	0,0419	0,0419
165	4 ASG	0,0424	0,0421	0,0421	0,0420
160	9 ASG	0,0424	0,0421	0,0421	0,0420
153	16 ASG	0,0424	0,0421	0,0421	0,0420
144	25 ASG	0,0424	0,0421	0,0421	0,0420
120	49 ASG	0,0424	0,0421	0,0421	0,0420
49	120 ASG	0,0425	0,0422	0,0421	0,0420
25	144 ASG	0,0425	0,0422	0,0421	0,0420
16	153 ASG	0,0425	0,0422	0,0421	0,0420
9	160 ASG	0,0425	0,0422	0,0421	0,0420
4	165 ASG	0,0425	0,0422	0,0421	0,0420
0	169 ASG	0,0430	0,0425	0,0423	0,0422

Źródło: opracowanie własne
Source: own study

Tabela 6. Siatka kwadratów – Zw
Table 6. Net of squares – global reliability

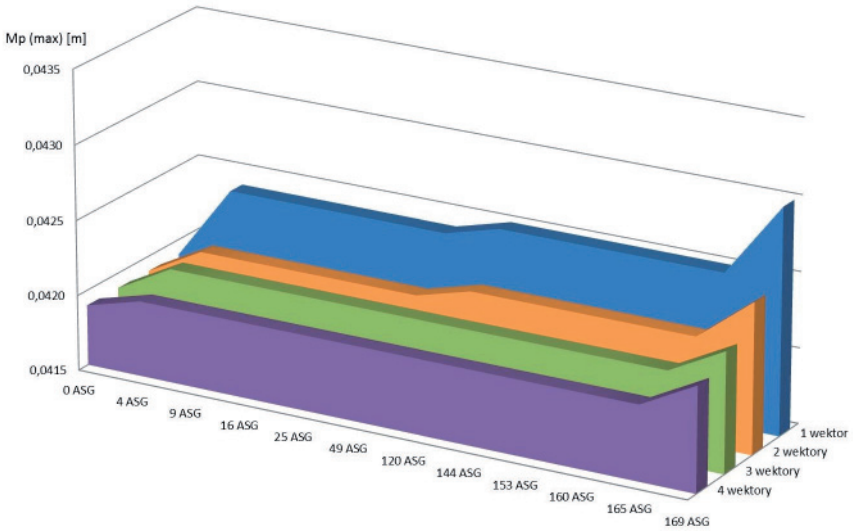
klasyczne pkt naw	wektory do punktów	1 wektor	2 wektory	3 wektory	4 wektory
169	0 ASG	16,89%	16,89%	16,89%	16,89%
165	4 ASG	16,87%	17,00%	17,12%	17,25%
160	9 ASG	16,84%	17,12%	17,40%	17,68%
153	16 ASG	16,79%	17,29%	17,79%	18,28%
144	25 ASG	16,74%	17,51%	18,28%	19,02%
120	49 ASG	16,59%	18,09%	19,53%	20,93%
49	120 ASG	16,16%	19,67%	22,89%	25,87%
25	144 ASG	16,02%	20,16%	23,92%	27,34%
16	153 ASG	15,97%	20,35%	24,30%	27,87%
9	160 ASG	15,93%	20,49%	24,58%	28,27%
4	165 ASG	15,90%	20,59%	24,78%	28,56%
0	169 ASG	15,87%	20,67%	24,94%	28,78%

Źródło: opracowanie własne
Source: own study



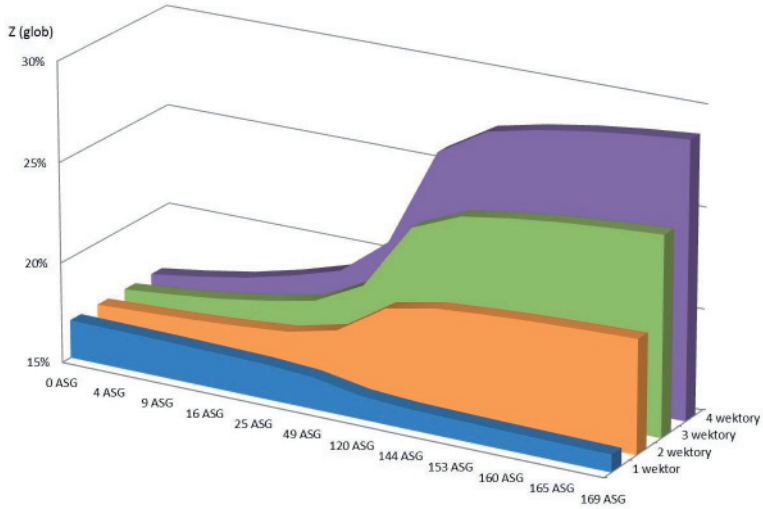
Źródło: opracowanie własne
Source: own study

Rysunek 5. Siatka kwadratów – trend zmian Mp (sr)
Figure 5. Net of squares – changes of mean error of position



Źródło: opracowanie własne
Source: own study

Rysunek 6. Siatka kwadratów – trend zmian Mp (max)
Figure 6. Net of squares – changes of maximum error of position



Źródło: opracowanie własne
Source: own study

Rysunek 7. Siatka kwadratów – trend zmian Zw
Figure 7. Net of squares – changes of global reliability

Odnośnie czwartego, wspomnianego wcześniej parametru jakościowego nie podano wyników jego obliczeń, a jedynie monitorowano jego wartość przy obliczeniach kolejnych wariantów poszczególnych sieci. Minimalna wartość tego lokalnego współczynnika niezawodności pozostawała za każdym razem na tym samym poziomie co świadczyłoby o braku występowania w sieciach lokalnych słabszych obszarów w stosunku do wersji początkowej.

WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników można ocenić, że zastąpienie brakujących (utraconych) punktów nawiązania wektorami do stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS nie pogarsza jakości poziomych osnów III klasy począwszy od sytuacji, w której dołączane zostają co najmniej dwa wektory do każdego punktu. Można natomiast stwierdzić znaczący wpływ ilości wektorów na współczynnik globalnej niezawodności wewnętrznej sieci, co jest w tej sytuacji oczywiste. Dołączenie czterech wektorów, a w sieciach o słabszej geometrycznie konstrukcji trzech wektorów, powoduje nawet polepszenie średniokwadratowej wartości błędu położenia punktu – Mp (sr). Wszelkie zmiany parametrów dokładnościowych sieci zarówno korzystne jak i niekorzystne zawierały się w granicach ±1mm lub jego ułamków.

Pozostaje jeszcze problem niezawodności zewnętrznej sieci rozumianej jako stosunek nadwymiarowej liczby elementów nawiązania do liczby wszystkich elementów nawiązania [GUGiK, 2002]. W rozpatrywanych przypadkach ubywa klasycznych punktów ze zbioru punktów nawiązania, a dołączane są jedynie stacje referencyjne. Zagadnienie to staje się istotne w przypadkach ekstremalnych, dających efekt nawiązania sieci jedynie do 4 lub kilku punktów. Zapewne w zależności od położenia mierzonej sieci w stosunku do rozmieszczenia stacji systemu ASG-EUPOS, liczbę takich punktów nawiązania można zwiększyć. Poza tym, nie rozstrzygnięta jest kwestia niezawodności samych punktów nawiązania, spośród których położenie stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS jest systematycznie monitorowane. Po dwóch latach obserwacji odchylenie standardowe sezonowych zmian współrzędnych dla stacji systemu nie przekroczyło 5mm [Oruba, Ryczywolski, Wajda, 2010].

Na koniec należy wspomnieć, że wektory do tych samych punktów powinny być niezależne, tj. wyznaczone w różnych sesjach obserwacyjnych. Wektory wyznaczone z jednej sesji są wzajemnie zależne poprzez wspólny zbiór obserwacyjny na punkcie wyznaczanym i teoretycznie nie można wykluczyć sytuacji kiedy zakłócenia w odbiorze sygnałów satelitarnych spowodują pozorną zgodność wewnętrzną układu wektorów zależnych, natomiast wyznaczona pozycja będzie błędna [Kadaj, 2009].

BIBLIOGRAFIA

GUGiK, *Wytyczne Techniczne G-2.5. Szczegółowa pozioma i wysokościowa osnowa geodezyjna – projektowanie, pomiar i opracowanie wyników*". Wydanie pierwsze, Warszawa 2002,

Kadaj R. *Jak rachować pomiary GPS*, NAWI – dodatek do Miesięcznika geoinformacyjnego Geodeta, Warszawa, marzec 2009,

Leończyk M., Oruba A., Ryczywolski M. *The precise satellite positioning system ASG-EUPOS*, International Conference GEOS 2008 Proceedings, 27-28.02.2009, VUGTK, Praga 2008,

Oleniacz G., Skrzypczak I., *Analiza długości boków poziomych osnów III klasy na podstawie danych z 56 powiatów,* praca w druku,

Oruba A., Ryczywolski M., Wajda S. *Coordinate stability monitoring module working within ASG-EUPOS reference station network*, EUREF 2010 International Symposium, 2-5.06.2010, Gavle (Sweden) 2010.

Mgr inż. Grzegorz Oleniacz
e-mail: oleniacz@prz.edu.pl
Politechnika Rzeszowska,
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Katedra Geodezji,
ul. Poznańska 2,
35-084 Rzeszów