

ANALIZA DOKŁADNOŚCI WYZNACZANIA WYSOKOŚCI Z POMIARÓW GPS

© Dawidowicz K., 2001

Источники ошибок, которые искажают результаты GPS-измерений, подразделяются на три группы: ошибки собственно спутников, ошибки приемника, ошибки, связанные с распространением волн. В каждой из групп выделены несколько факторов. Автор выбрал по одному фактору из каждой группы и произвел анализ влияния их на точность определения высот на эллипсоиде с помощью GPS-измерений.

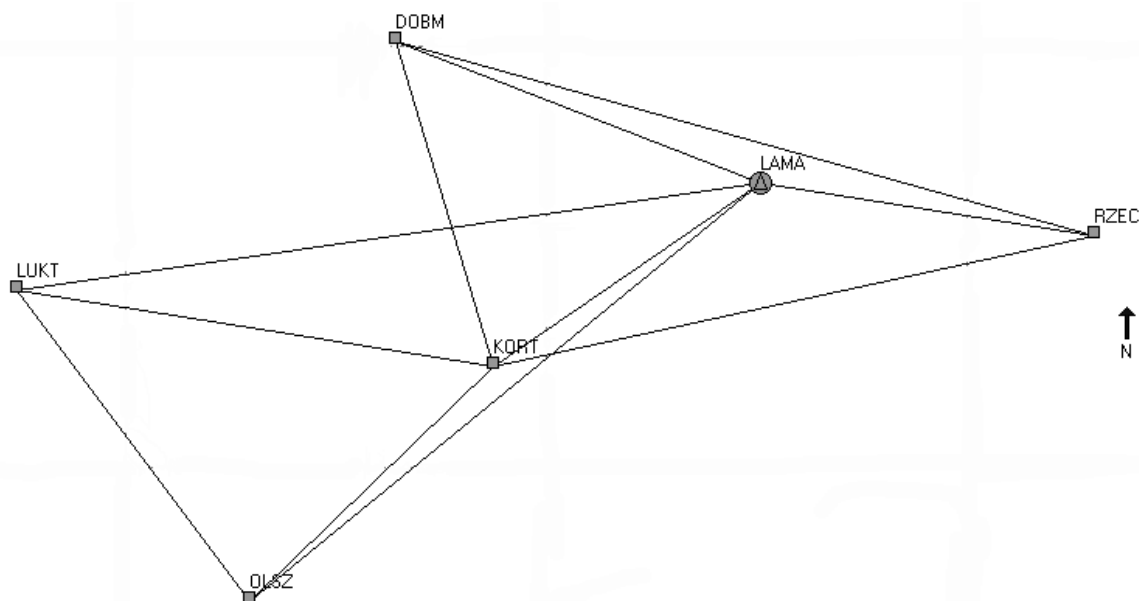
The error sources distorted GPS measuring was divided on the three groups i satellite, receiver and pulse propagation errors. A few factors were distinguished in every group. The analysis of the influence of the chosen one factor from every group on the altitude definition accuracy over the ellipsoid by means of GPS measuring was made by author.

Wstęp

Dokładność pomiarów GPS degradowuje szereg czynników. Ogólnie źródła błędów dzieli się na trzy grupy: błędy związane z satelitą, błędy związane z odbiornikiem, błędy związane z propagacją fal. O ile istnieje szereg pozycji opisujących istotę tych zakłóceń (Hofmann-Wellenof i in., 1994; Leick, 1995; Rothacher i Marwart, 1996; Van Sickle, 1996), to trudno spotkać opracowania dotyczące ich wpływu na dokładność wyznaczenia różnic wysokości elipsoidalnych (Ollikainen, 1997). Wprawdzie badaniom wpływów czynników zewnętrznych na wyniki pomiarów GPS poświęcono w literaturze dość dużo uwagi, to w większości przypadków były jednak poświęcone wyznaczaniu bezwzględnych wartości współrzędnych punktów metodą pseudoodległości. Celem pracy jest zbadanie wpływu jonosfery, jakości orbit i zmienności położenia centrów fazowych anten na dokładność wyznaczenia różnic wysokości elipsoidalnych.

Charakterystyka sieci testowej

W okolicach Olsztyna założono sieć testową składającą się z sześciu punktów (rys. 1) dla których wykonano pomiary satelitarne GPS.



Rys. 1. Sieć testowa

Obszar objęty pomiarem zawiera się odpowiednio między $53^{\circ}33'$ a $54^{\circ}00'$ szerokości geograficznej północnej oraz $20^{\circ}04'$ a $20^{\circ}56'$ długości geograficznej wschodniej. Najdłuższy mierzony wektor sieci (LAMA-OLSZ) ma długość około $45,5\text{km}$, najkrótszy natomiast (LAMA-RZEC) – około $17,9\text{km}$.

W niniejszej pracy wykorzystano wyniki czterech kampanii pomiarowych GPS. Kampania N97 została przeprowadzona 20.11.1997 a kampania N98 – 15.12.1998. Obserwacje wykonywano od 9.00 do 13.00 czasu lokalnego. Nazwy punktów, typy odbiorników i anten podane są w tabeli 1.

Tabela 1

Wykaz danych dotyczących kampanii GPS z 20.11.1997 i 15.12.1998

PUNKT	N97		N98	
	ODBIORNIK	ANTENA	ODBIORNIK	ANTENA
KORT	Ashtech Z-XII3	700718	Ashtech Z-XII3	700228
LUKT	Ashtech Z-XII3	700228	Ashtech MD-XII	700228
OLSZ	Ashtech Z-XII3	700228	Ashtech MD-XII	700228
DOBM	Ashtech Z-XII3	700718	Ashtech Z-XII3	700718

N99A i N99B to kampanie dwudniowe. Pierwszą przeprowadzono w okresie 22-23.06.1999, a drugą w dniach 8-9.11.1999. Obserwacje wykonywano w godzinach od 9.00 do 17.00 czasu lokalnego. Pozostałe informacje zawarte są w tabelach 2 i 3.

Tabela 2

Wykaz danych dotyczących kampanii GPS z 22.06.1999 i 8.11.1999

PUNKT	ODBIORNIK	ANTENA
LUKT	Ashtech Z-XII3	700718
OLSZ	Ashtech Z-XII3	700718
KORT	Ashtech Z-XII3	DORNE MARGOLIN T
LAMA	Ashtech Z-XII3	DORNE MARGOLIN T

Tabela 3

Wykaz danych dotyczących kampanii GPS z 23.06.1999 i 9.11.1999

PUNKT	ODBIORNIK	ANTENA
DOBM	Ashtech Z-XII3	700718
RZEC	Ashtech Z-XII3	700718
KORT	Ashtech Z-XII3	DORNE MARGOLIN T
LAMA	Ashtech Z-XII3	DORNE MARGOLIN T

We wszystkich kampaniach anteny ustawiano nad punktami na statywach geodezyjnych, centrowanie odbywało się za pomocą pionu optycznego firmy Wild. Wyjątkiem jest punkt LAMA, gdzie centrowanie jest wymuszone.

Wykorzystane oprogramowanie

Obserwacje GPS były opracowywane dwoma zestawami oprogramowania: GPPS5.2 / FILLNET3.1 oraz BERNESE4.0. Programy GPPS i FILLNET są produktami firmy ASHTECH [ASHTECH XII GPPS, 1990]. Przeznaczone są one głównie do opracowywania pomiarów wykonanych odbiornikami tej firmy (tzw. „programy firmowe”).

Program BERNESE został opracowany przez naukowców z Instytutu Astronomicznego Uniwersytetu w Bernie (Szwajcaria). Wersja 4.0 została udostępniona w 1996 roku. BERNESE jest pakietem wielorakich programów do opracowywania obserwacji GPS, stworzonym dla użytkowników techniki GPS, którzy wykorzystują ją do badań naukowych i zadań geodezyjnych zawierających elementy badawcze.

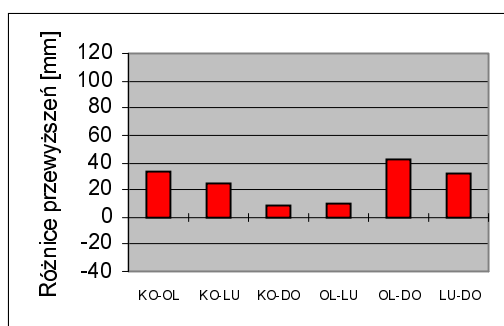
Wpływ jonosfery na wysokości wyznaczone z pomiarów GPS

Dla sieci pokrywających mały obszar, gdzie długości wektorów nie przekraczają 25km [Van Sickle, 1996] błąd refrakcji jonosferycznej w dużym stopniu znosi się w pomiarach różnicowych (zadawalającą dokładność powinny dawać więc tu pomiary na jednej częstotliwości). Gdy długości są większe, zaleca się pomiar sieci odbiornikami dwuczęstotliwościowymi i opracowanie obserwacji przy wykorzystaniu kombinacji liniowej $L3$ która niemal całkowicie eliminuje wpływ refrakcji jonosferycznej [Hofmann-Wellenhof, 1994; Leick, 1995; Van Sickle, 1996]. Typowe współczesne odbiorniki geodezyjne GPS to zwykle instrumenty jednoczęstotliwościowe [Van Sickle, 1996], stąd w programach firmowych standardowa opcja opracowania to $L1$.

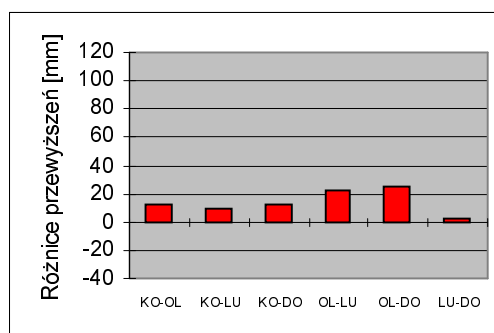
Przedstawione w tym rozdziale analizy miały na celu określenie wpływu jonosfery na wyznaczone wysokości punktów w sieci, w której długości wektorów mieszczą się w przedziale od 20 do 45km. Obliczenia wykonano zestawem GPPS / FILLNET. Porównano rozwiązanie z wykorzystaniem dwóch częstotliwości (kombinacja liniowa $L3$) oraz rozwiązanie na częs-

totliwości L1. Wyniki dla poszczególnych kampanii przedstawiają wykresy 1 – 6. Ponieważ program GPPS nie posiada modeli zmienności położenia centrów fazowych anten (szerzej na ten temat w dalszej części), a w kampaniach z 1999 roku wykorzystywano różnorodny sprzęt pomiarowy, to kolor jasny na wykresach oznacza błąd łączny – wywołany wpływem jonosfery i zmiennością położenia centrów fazowych anten.

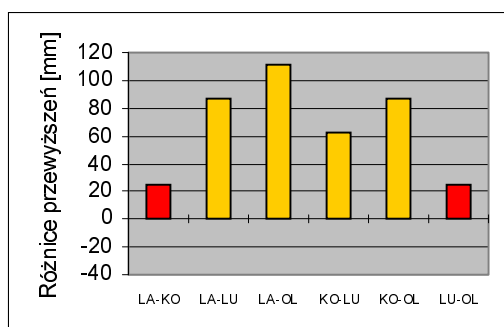
Wartości oznaczające błąd spowodowany wpływem jonosfery (kolor ciemny na wykresach) dochodzą do 4cm . Wartości oznaczające błąd łączny osiągają nawet 11cm .



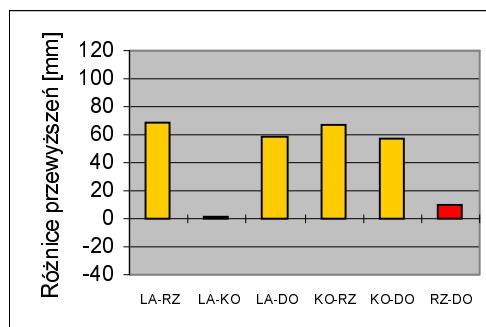
Wykres 1. Wartości bezwzględne różnic przewyższeń wektorów między rozwiązaniem L3 a L1 dla kampanii N97



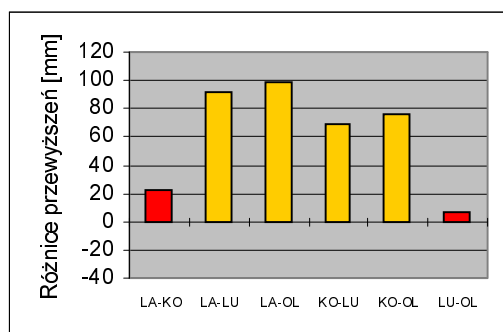
Wykres 2. Wartości bezwzględne różnic przewyższeń wektorów między rozwiązaniem L3 a L1 dla kampanii N98



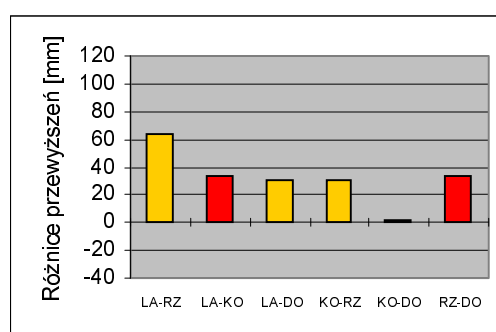
Wykres 3. Wartości bezwzględne różnic przewyższeń wektorów między rozwiązaniem L3 a L1 dla kampanii N99A (23.06.1999)



Wykres 4. Wartości bezwzględne różnic przewyższeń wektorów między rozwiązaniem L3 a L1 dla kampanii N99A (22.06.1999)



Wykres 5. Wartości bezwzględne różnic przewyższeń wektorów między rozwiązaniem L3 a L1 dla kampanii N99B (8.11.1999)



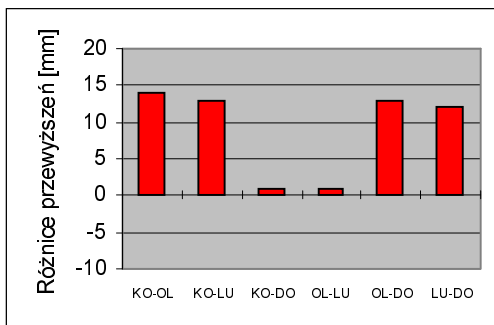
Wykres 6. Wartości bezwzględne różnic przewyższeń wektorów między rozwiązaniem L3 a L1 dla kampanii N99B (9.11.1999)

Badanie wpływu jakości orbity na wyznaczone wysokości elipsoidalne

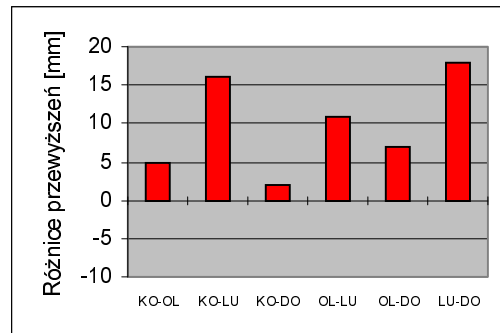
Dokładność wyznaczenia pozycji techniką GPS zależy w dużej mierze od znajomości parametrów orbit satelitów. Każdy satelita transmituje poprzez depezę nawigacyjną swoją własną ekstrapolowaną efemerydę orbitalną. Orbita ta charakteryzuje się błędem równym około $2.5 \div 3m$. W celu poprawienia dokładności wyznaczeń pozycji GPS możemy skorzystać z orbit precyzyjnych. Wyznaczeniem elementów tych efemeryd zajmują się Centra Analiz Międzynarodowej Służby GPS.

Zastępowanie orbit nawigacyjnych orbitami precyzyjnymi jest szczególnie istotne dla wektorów długich, które osiągają setki kilometrów. Problem nie jest tak istotny dla sieci małych i średnich wielkości.

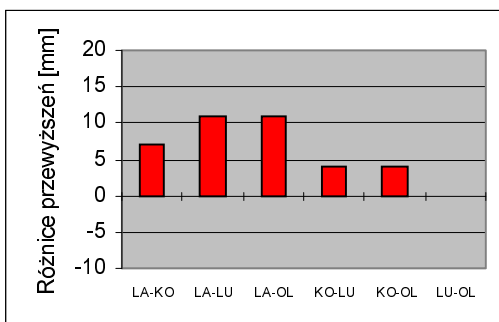
Przy opracowaniu obserwacji satelitarnych wykorzystano orbitę precyzyjną i orbitę nawigacyjną. Obliczenia te wykonano programem BERNESE4.0. Na wykresach 7-12 przedstawione są wartości bezwzględne różnic pomiędzy przewyższeniem danego wektora uzyskanym z rozwiązania z użyciem orbity precyzyjnej a przewyższeniem uzyskanym z rozwiązania z użyciem orbity nawigacyjnej. Jak wynika z przedstawionych wykresów różnice te wahają się w granicach od 0 do $1.8cm$.



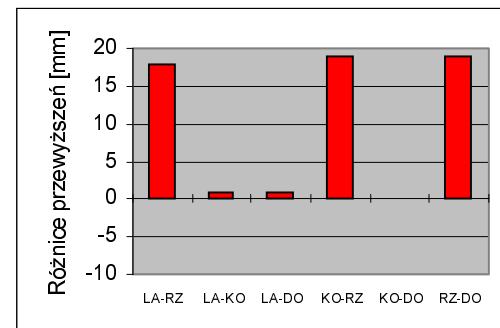
Wykres 7. Wartości bezwzględne różnic przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z użyciem orbity precyzyjnej i nawigacyjnej (kampania N97 z 20.11.1997)



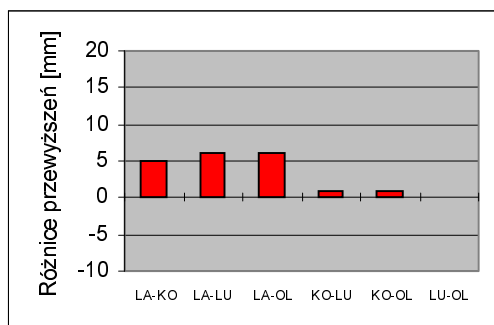
Wykres 8. Wartości bezwzględne różnic przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z użyciem orbity precyzyjnej i nawigacyjnej (kampania N98 z 15.12.1998)



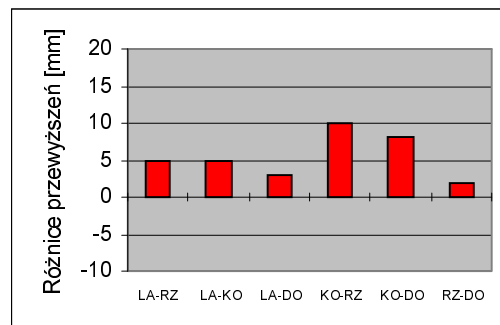
Wykres 9. Wartości bezwzględne różnic przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z użyciem orbity precyzyjnej i nawigacyjnej (kampania N99A z 22.06.1999)



Wykres 10. Wartości bezwzględne różnic przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z użyciem orbity precyzyjnej i nawigacyjnej (kampania N99A z 23.06.1999)



Wykres 11 Wartości bezwzględne różnic przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z użyciem orbity precyzyjnej i nawigacyjnej (kampania N99B z 8.11.1999)

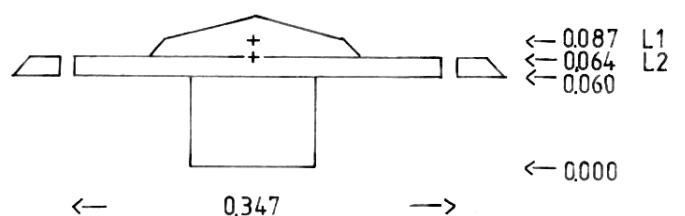


Wykres 12 Wartości bezwzględne różnic przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z użyciem orbity precyzyjnej i nawigacyjnej (kampania N99B z 9.11.1999)

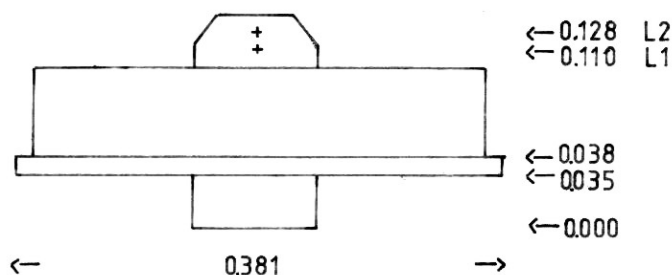
Badanie wpływu nie modelowania położenia centrum fazowego anteny na wyznaczone wysokości z pomiarów GPS

Zmienność centrum fazowego anteny najkrócej można określić jako niepokrywanie się punktu rzeczywistego centrum fazowego anteny z punktem nominalnym tj. punktem zaznaczonym na antenie lub wskazanym przez producenta w instrukcji. Badania laboratoryjne dowiodły, że wszystkie anteny GPS wykazują zmienność położenia centrum fazowego w zależności od kierunku, z którego dociera do nich sygnał satelitarne.

Program BERNESE umożliwia opracowanie obserwacji, wykonanych przy wykorzystaniu różnych typów anten, poprzez uwzględnienie różnic położenia ich centrów fazowych. Modelowane są także zmiany położenia centrów w zależności od kierunku z którego dociera sygnał satelitarne.



Rys. 2. Centra fazowe anteny 700718

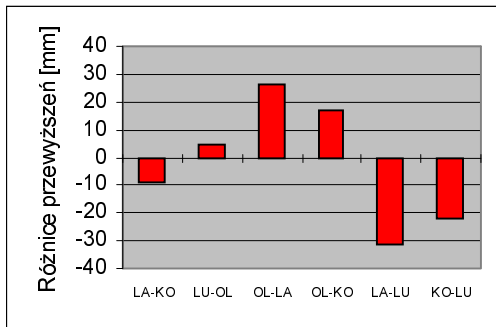


Rys. 3. Centra fazowe anteny DORNE MARGOLIN T

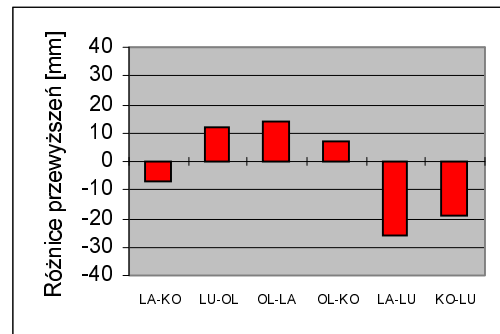
W tej części pracy zbadano jak dużych błędów wysokości można się spodziewać jeżeli programem GPPS (programem nie zawierającym modelowania zmienności centrów fazowych) będziemy opracowywali obserwacje z dwóch różnych typów anten. Wykorzystano do tego obserwacje przeprowadzone w 1999 roku. W każdym z czterech dni pomiarowych wykorzystano dwie ashtech'owskie anteny geodezyjne typu 700718 oraz dwie anteny typu DORNE MARGOLIN T. Nominalne położenie centrów fazowych tych anten przedstawiają kolejno rysunki 2 i 3.

Dla programu BERNESE wysokość anteny podaje się do tzw. Antenna Reference Point [Rothacher i Mervart, 1996], dla programu GPPS – do centrum fazowego $L1$. Wysokości pomierzone w terenie przeliczono odpowiednio i stosowano zgodnie z tymi zaleceniami.

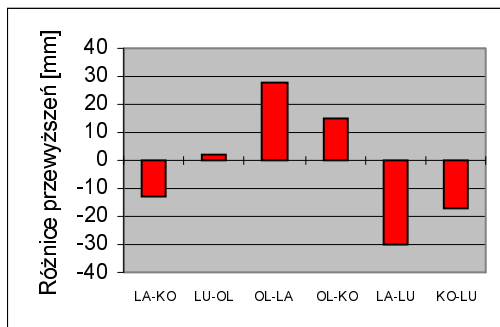
Wyniki obliczeń przedstawione są na wykresach 13 – 20 (kampania N99A z 22-23.06.1999). Pierwsze dwie wartości odnoszą się do wektorów, na końcach których znajdowały się jednakowe anteny. Pozostałe obliczono dla wektorów na końcach których znajdowały się anteny 700718 i DORNE MARGOLIN T.



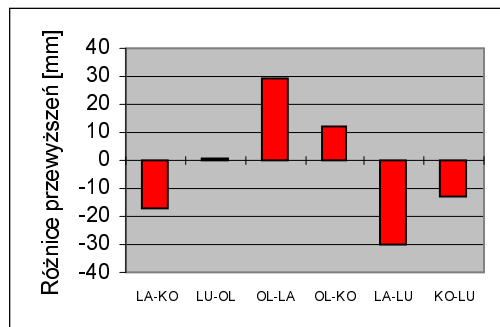
Wykres 13. Różnice przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z wykorzystaniem **BERNASE** i **GPPS**
(punkt stały: LAMA, pomiar z 22.06.1999)



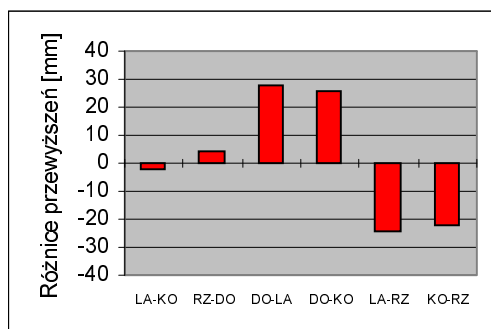
Wykres 14. Różnice przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z wykorzystaniem **BERNESE** i **GPPS**
(punkt stały: KORT, pomiar z 22.06.1999)



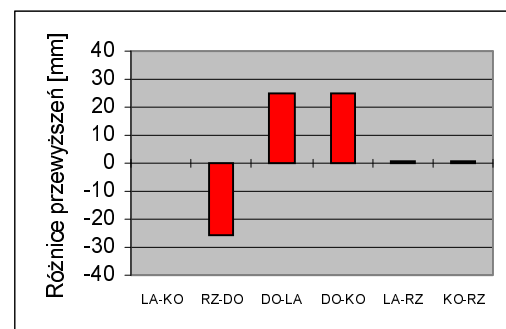
Wykres 15. Różnice przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z wykorzystaniem **BERNASE** i **GPPS**
(punkt stały: LUKT, pomiar z 22.06.1999)



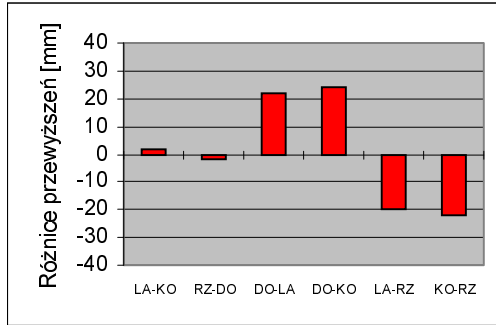
Wykres 16. Różnice przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z wykorzystaniem **BERNESE** i **GPPS**
(punkt stały: OLSZ, pomiar z 22.06.1999)



Wykres 17. Różnice przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z wykorzystaniem **BERNASE** i **GPPS**
(punkt stały: LAMA, pomiar z 23.06.1999)

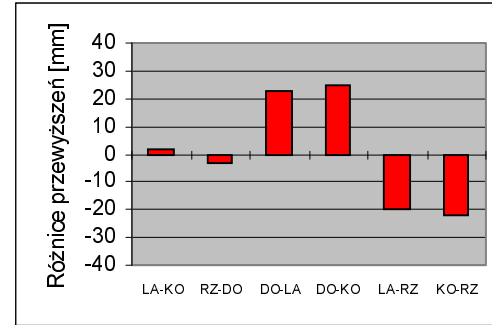


Wykres 18. Różnice przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z wykorzystaniem **BERNESE** i **GPPS**
(punkt stały: KORT, pomiar z 23.06.1999)



Wykres 19. Różnice przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z wykorzystaniem *BERNASE* i *GPPS*

(punkt stały: *DOBM*, pomiar z 23.06.1999)



Wykres 20. Różnice przewyższeń wektorów między rozwiązaniem z wykorzystaniem *BERNESE* i *GPPS*

(punkt stały: *RZEC*, pomiar z 23.06.1999)

W wypadku wektora na którego końcach umieszczono takie same anteny, rozpatrywana różnica nie przekracza $\pm 1\text{cm}$, natomiast na wektorach gdzie były niejednakowe anteny osiąga wartość około $\pm 2.5\text{cm}$. Należy przypuszczać, że różnica ta jest błędem wyznaczenia przewyższeń tych wektorów spowodowanym nie modelowaniem położenia centrum fazowego anten przez program *GPPS*, a jej wartość – wartością charakterystyczną dla pary anten 700718 i *DORNE MARGOLIN T*. W skrajnych wypadkach łączny wpływ trzech omawianych wyżej czynników może powodować błędy określenia wysokości elipsoidalnych przekraczające 10cm .

1. *ASHTech XII GPPS, GPS Post Processing System, Ashtech INC, Sunnyvale, CA, USA, 1990.* 2. *Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. GPS Theory and Practice, Springer-Verlag, Austria, Wien, 1994.* 3. *Leick A. GPS satellite surveying, John Wiley & sons INC., USA, New York, 1995.* 4. *Rothacher M., Mervart L. Bernese GPS Software Version 4.0, Astronomical Institute University of Bern, Switzerland, Bern, 1996.* 5. *Van Sickle J. GPS for Land Surveyors, Ann Arbor Press INC, USA, Michigan, Chelsea, 1996.*