

MARIA CISAK

**BADANIE WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH
NA WYNIKI POMIARÓW WYKONANYCH PRZY UŻYCIU
ODBIORNIKÓW GPS FIRMY ASHTECH**

ZARYS TREŚCI. W pracy przedstawiono analizę wpływu warunków meteorologicznych na współrzędne wektorów różnej długości mierzonych odbiornikami GPS firmy Ashtech. Wyniki pomiarów obliczono i opracowano przy użyciu firmowego pakietu programów Ashtecha - GPPS, dającego możliwość uwzględniania danych meteorologicznych mierzonych na punktach obserwacyjnych.

Analiza wykazała, że uwzględnianie w programie obliczeniowym danych meteorologicznych, mierzonych każdorazowo na punktach obserwacyjnych powoduje dodatkowe błędy i zmniejszenie dokładności wyznaczanych sieci.

Wstęp

Satelity systemu GPS krążą po orbitach wokół Ziemi na wysokości około 20 000 km. Wysyłają one zakodowane sygnały radiowe, które muszą przeniknąć przez wszystkie warstwy atmosfery, aby mogły być zarejestrowane przez odbiorniki. Tak jak wszystkie fale, sygnały te podlegają wpływowi zjawiska refrakcji, które w efekcie powoduje opóźnienie sygnału. Atmosferę można podzielić na dwie części, górną - jonosferę i dolną, przyziemną - troposferę. Uważa się, że refrakcja jonosferyczna ma wpływ na mierzone wektory dopiero wówczas, gdy ich długość jest większa niż 12 - 15 km. Dla dłuższych wektorów zaleca się stosowanie odbiorników umożliwiających odbiór sygnałów nadawanych na dwóch częstotliwościach, co znacznie redukuje wpływ refrakcji jonosferycznej.

Do wyznaczania poprawki troposferycznej stosowane są empiryczne modele atmosfery, np.: Sastamoinena, Hopfield, Lanyi, Davisa, Hartla, Rahnemoona

i inne. Większość z tych modeli była testowana podczas kampanii GPS w 1987 r. na Międzynarodowej Sieci Łuku Kalabryjskiego, obejmując punkty odległe od siebie nawet o 1500 km. W efekcie nie stwierdzono istotnych różnic w ich stosowaniu (Kaniuth i in., 1989).

Opóźnienie troposferyczne w pomiarach GPS ma, oczywiście, znaczny wpływ na wyznaczenie współrzędnych pojedynczego punktu, gdyż wartość poprawki spowodowanej tym opóźnieniem sięga kilku metrów, nawet w przypadku sygnałów dochodzących z zenitu. Metoda różnicowa stosowana w pomiarach geodezyjnych eliminuje tę poprawkę w znacznej części. Nadal jednak może to być wartość znacząca, szczególnie przy małych kątach elewacji i długich wektorach. Największym ograniczeniem precyzji pomiarów GPS przy małych kątach elewacji jest niedokładność określenia wpływu efektu pary wodnej w modelowaniu atmosfery (Janes i in., 1989).

Przeprowadzone badania

Firmowe programy GPS, w tym pakiet programów GPPS firmy Ashtech, zawierają opcje umożliwiające wprowadzanie danych meteo do obliczeń mierzonych wektorów. W instrukcji obsługi odbiornika i programu obliczeniowego producent sugeruje, że dla wektorów krótszych niż 10 km lub o przewyższeniu mniejszym niż 300 m można nie mierzyć polowych warunków meteorologicznych i nie wprowadzać danych ich dotyczących. Należałoby się spodziewać, że wprowadzenie tych danych poprawi wyniki obliczeń. W pracy podjęto próbę przeanalizowania wpływu warunków meteo w punktach obserwacyjnych na kilku wybranych sieciach. Przeanalizowano zarówno sieci o bokach poniżej 10 km jak i o bokach dłuższych na następujących obiektach: "Radom", "Kępice", trawers Lamkówko - Borowa Góra, "Tatry". Korzystano z danych obserwacyjnych i prac Zakładu Astronomii Geodezyjnej i Geodezji satelitarnej IGiK a w szczególności z nie opublikowanych opracowań Marii Dobrzyckiej, Anieli Makowskiej, Jana Cisaka. Obliczenia wykonano w trzech wersjach:

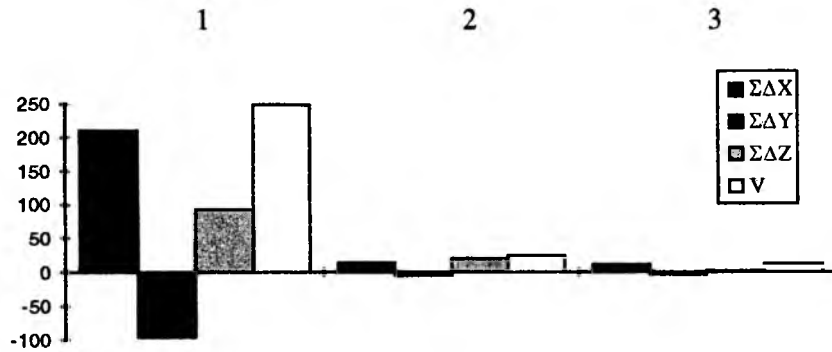
- a) dla danych meteorologicznych zmierzonych w terenie,
- b) dla programowych danych standardowych, (20°C, 1010.0 hPa, 50 %)
- c) dla średniej z mierzonych na końcach każdego wektora warunków - temperatury, ciśnienia i wilgotności.

Na obiekcie "Radom" wybrane zostało w sposób losowy "oczko" tej sieci składające się z 5 wektorów. Wyniki zamknięcia "oczka" czyli sumy przyrostów współrzędnych wraz z długością wektora niezamknięcia, przedstawia tabl. 1 oraz rys 1.

ZAMKNIĘCIE "OCZKA" SIECI "RADOM" na podstawie obliczeń z przyjętymi różnymi warunkami meteorologicznymi

Tablica 1

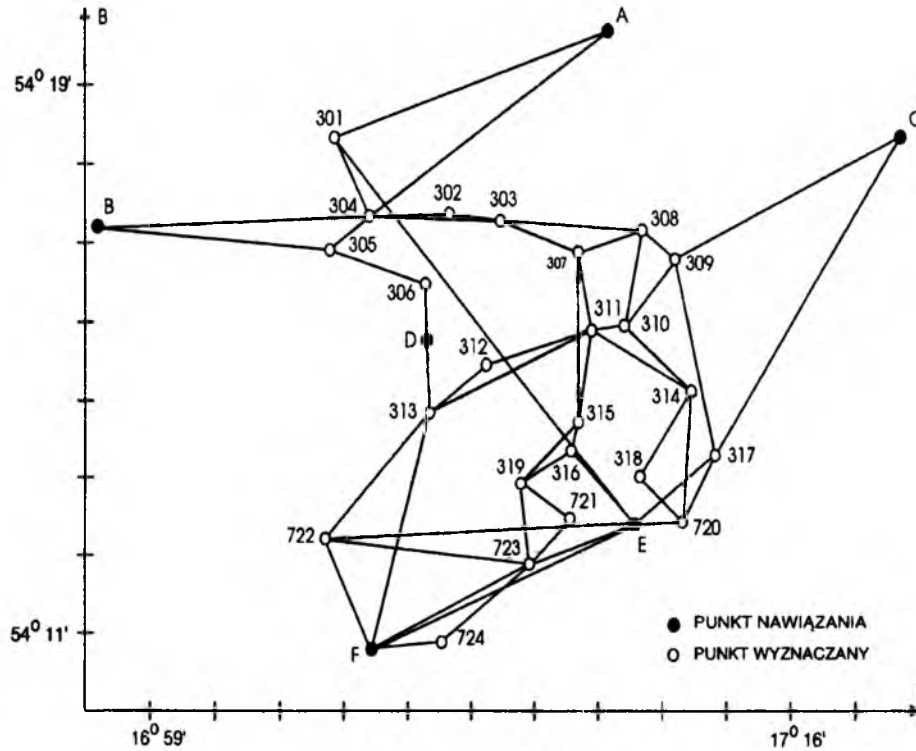
wektor data	Warunki meteorologiczne pomierzone				średnie	zmiana		
	t	p1	p2	m		o 1°C	o 1.3 hPa	o 10%
732 - 901	18.5 - 17.8	20.0 - 20.0	18.1 - 18.1	20.0 - 20.0	20.0 - 21.0	20.0 - 20.0	20.0 - 20.0	20.0 - 20.0
1991.08.07	998.0 - 997.2	1010.0 -	998.0 - 997.2	1010.0 -	1010.0 -	1010.0 -	1010.0 -	1010.0 -
dlugość	94.0 - 94.0	1010.0	94.0 - 94.0	1010.0	1010.0	1011.3	1010.0	1010.0
	3074.447	50.0 - 50.0	3074.448	3074.448	50.0 - 50.0	50.0 - 50.0	50.0 - 60.0	3074.448
901 - 908	18.9 - 21.3	-	20.1 - 20.1	-	-	-	-	-
1991.08.07	994.8 - 992.0	-	994.8 - 992.0	-	-	-	-	-
dlugość	96.4 - 84.9	2537.815	90.6 - 90.6	2537.815	2537.815	2537.815	2537.815	2537.814
908 - 909	25.4 - 23.5	-	24.4 - 24.4	-	-	-	-	-
1991.08.07	991.4 - 994.4	-	991.4 - 994.4	-	-	-	-	-
dlugość	67.8 - 81.0	7452.944	74.4 - 74.4	7452.944	7452.944	7452.944	7452.944	7452.957
909 - 903	23.4 - 22.3	-	22.8 - 22.8	-	-	-	-	-
1991.08.06	997.8 - 996.0	-	997.8 - 996.0	-	-	-	-	-
dlugość	85.6 - 82.9	2797.937	84.2 - 84.2	2797.937	2797.937	2797.937	2797.937	2797.937
903 - 732	19.4 - 17.6	-	18.5 - 18.5	-	-	-	-	-
1991.08.06	997.3 - 998.4	-	997.3 - 998.4	-	-	-	-	-
dlugość	90.2 - 96.0	1847.601	93.1 - 93.1	1847.601	1847.601	1847.601	1847.601	1847.600
$\Sigma \Delta x$	+0.211	+0.014	+0.012	+0.012	+0.030	+0.023	+0.066	+0.066
$\Sigma \Delta y$	-0.096	-0.005	-0.004	-0.004	-0.012	-0.009	-0.026	-0.026
$\Sigma \Delta z$	+0.092	+0.020	+0.002	+0.002	+0.040	+0.032	+0.087	+0.087
Vnz	0.249	0.025	0.013	0.013	0.051	0.040	0.112	0.112



1. meteo z pomiaru, 2. meteo standard, 3. wartości średnie meteo

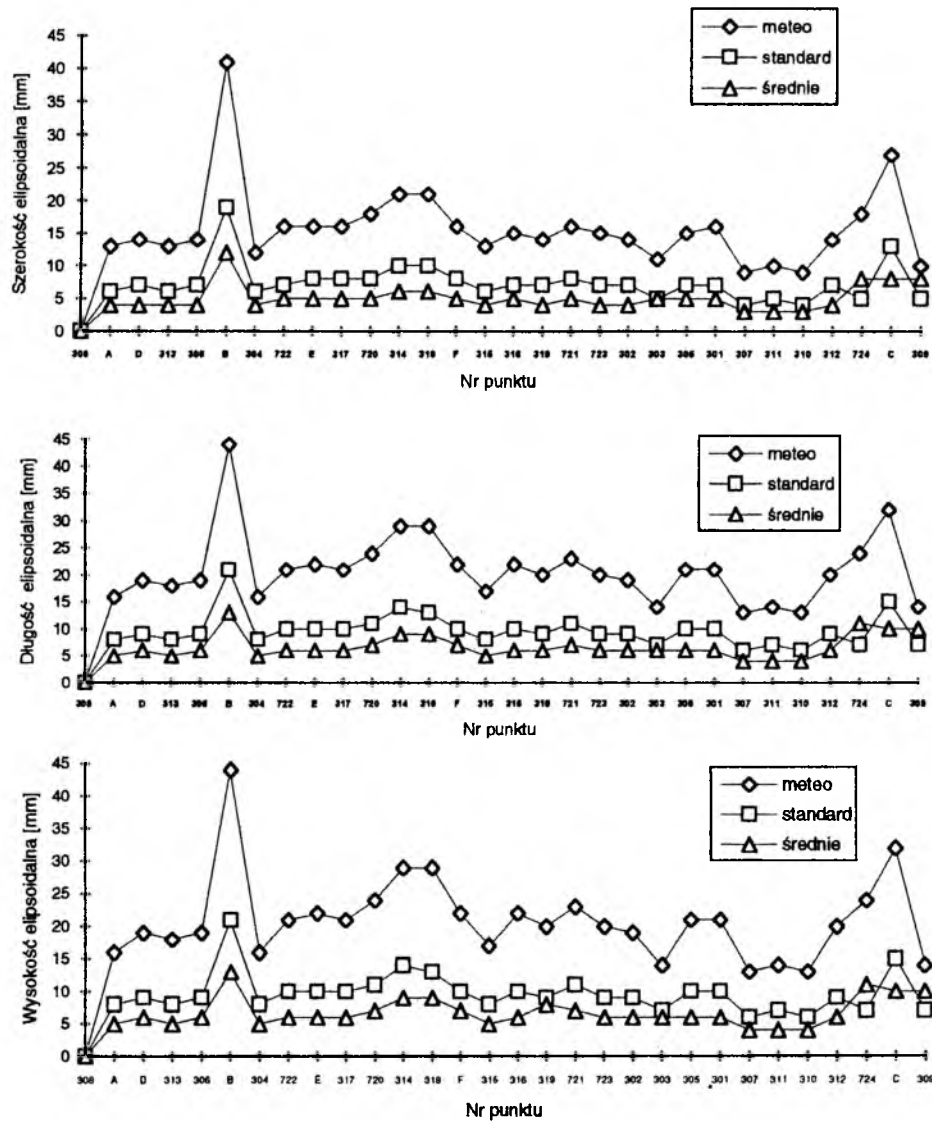
Rys. 1. Zamknięcie "oczka" sieci "Radom" z obliczeń z przyjętymi różnymi warunkami meteo w mm

W tabelicy 1 zamieszczono również wyniki obliczeń i zamknięcia "oczka" w przypadku symulowanych zmian temperatury, ciśnienia i wilgotności w stosunku do standardu odpowiednio o 1°C , lub 1.3 hPa lub 10 % - wartości w przybliżeniu odpowiadające dokładności pomiaru. Na obiekcie "Kępcice" (rys. 2) przeliczono i wyrównano całą sieć również w trzech wymienionych wersjach.



Rys. 2. Szkic sieci "Kępcice"

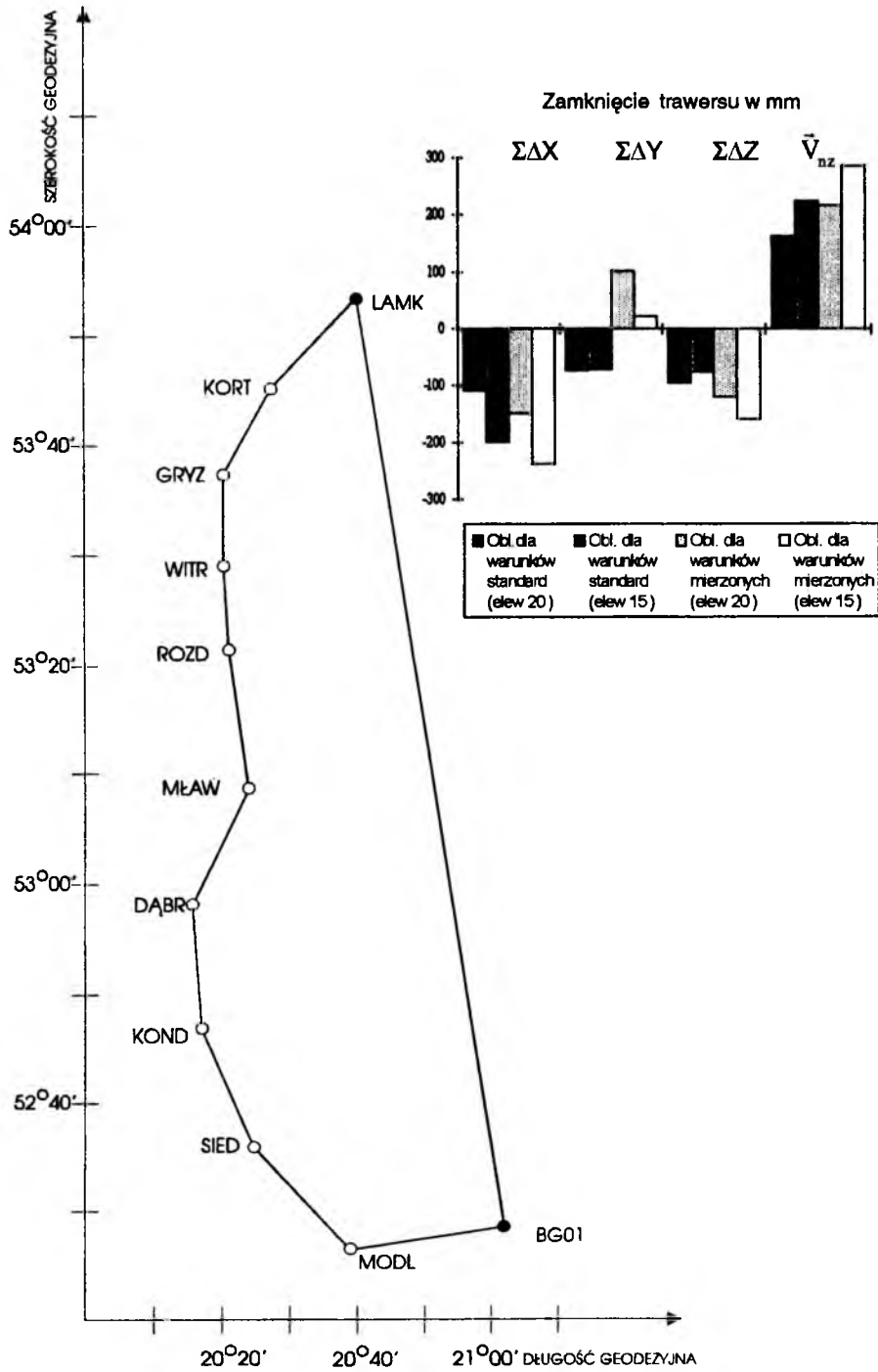
Rozkład błędów standardowych położenia punktów po wyrównaniu dla trzech wersji obliczeniowych naniesiono na wykresy (rys 3).



Rys. 3. Rozkład błędów standardowych dla punktów po wyrównaniu sieci "Kępice"

Podobne obliczenia i zestawienia wykonano dla dłuższych wektorów rzędu 20-30 km oraz wektorów trawersu Łankówko - Borowa Góra (rys. 4).

Największe problemy pojawiły się w czasie pomiarów eksperymentalnych prowadzonych przez A. Makowską w Tatrach. W pomiarach tych warunki



Rys. 4. Trawers Borowa Góra - Lamkówko

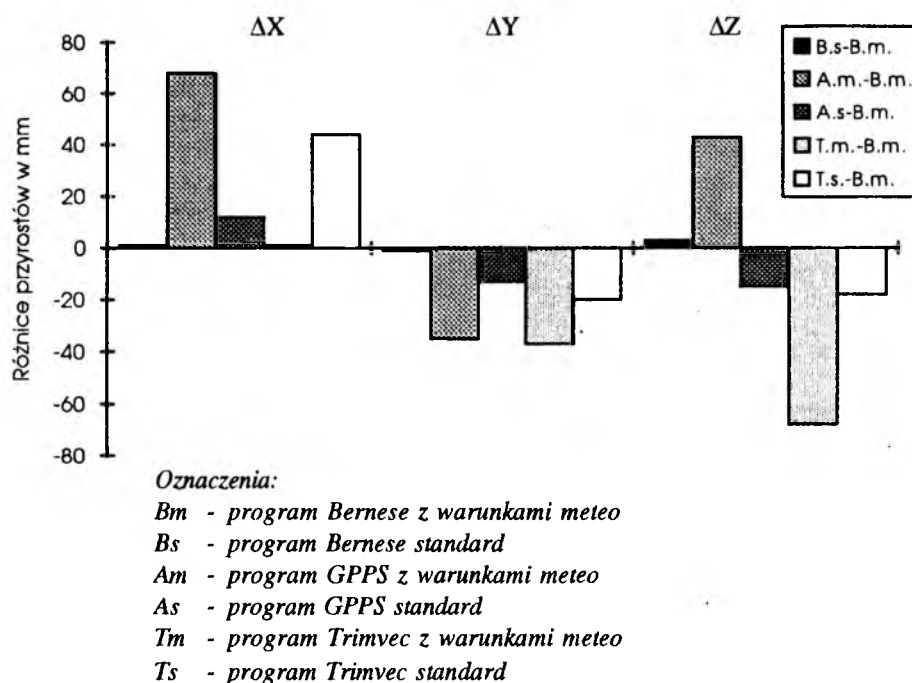
Tablica 2

Obliczenie pomiarów "TATRY '91" wykonanych odbiornikami Ashtech,
różnymi programami w wersji "standard" i "meteo"
(z danych A. Makowskiej)

Oznaczenie wektora	Rodzaj obliczenia	Δx	Różnice Δx	Δy	Różnice Δy	Δz	Różnice Δz
$\Delta H=148$ m ZAKO - LAPL meteo 14.8°C 14.6°C 71.6% 83.9% 923.6 907.3	BERN.MET	5113.881	0.000	2352.459	0.000	-5015.052	0.000
	BERN.STD	.880	+0.001	.460	-0.001	.055	+0.003
	GPPS.MET.	.813	+0.068	.494	-0.035	.095	+0.043
	GPPS.STD.	.869	+0.012	.472	-0.013	.037	-0.015
	TRIM.MET	.880	+0.001	.496	-0.037	4.984	-0.068
	TRIM.STD	.837	+0.044	.479	-0.020	5.034	-0.018
$\Delta H=694$ m K.M. - LAPL meteo 9.2°C 14.6°C 86.7% 83.9% 836.5 907.3	BERN.MET	8169.562	0.000	6584.695	0.000	-7623.476	0.000
	BERN.STD	.561	+0.001	.696	-0.001	.480	+0.004
	GPPS.MET.	.997	-0.435	.508	+0.187	.027	-0.449
	GPPS.STD.	.563	-0.001	.706	-0.011	.473	-0.003
	TRIM.MET	.582	-0.020	.681	+0.014	.410	-0.066
	TRIM.STD	.550	+0.012	.668	+0.027	.448	+0.028
$\Delta H=841$ m K.M. - ZAKO meteo 9.2°C 14.8°C 86.7% 71.6% 836.5 923.6	BERN.MET	3055.681	0.000	4232.236	0.000	-2608.424	0.000
	BERN.STD	.681	0.000	.236	+0.000	.425	-0.001
	GPPS.MET.	6.141	-0.460	.050	+0.186	7.969	+0.455
	GPPS.STD.	5.691	-0.010	.234	+0.002	8.440	-0.016
	TRIM.MET	.702	-0.021	.185	+0.051	.426	-0.002
	TRIM.STD	.713	-0.032	.189	+0.047	.414	+0.010

meteorologiczne wydawały się odgrywać istotną rolę gdyż występujący w górach gradient ciśnienia i temperatury powodował, że na końcach wektorów o przewyższeniach dochodzących do 2000 m występowały znaczne różnice temperatury a przede wszystkim ciśnienia. A. Makowska wykonała obliczenia sieci w trzech omawianych wersjach.

Z analizy zamknięcia "oczek" oraz błędów położenia punktów po wyrównaniu okazało się, że najlepsze rozwiązanie, a właściwie jedyne możliwe do przyjęcia występuje przy obliczeniach ze standardowymi warunkami meteo. Wprowadzenie warunków mierzonych dawało wyniki różne od "standardowych" nawet o kilkadziesiąt centymetrów. Korzystając z pobytu J.Cisaka w Fińskim Instytucie Geodezyjnym jesienią 1992 r. zwróciliśmy się z prośbą do Markku Poutanena o policzenie kilku wektorów sieci tatrzańskiej programem "Bernese" z uwzględnieniem zmierzonych warunków meteo. Wektory te policzono również programem Trimvec w wersjach "meteo" i "standard". Tablica 2 przedstawia zestawienie uzyskanych wyników i ich różnice w stosunku do wyników programu Bernese "meteo" jako najdoskonalszego z dotychczas używanych (rys.5).



Rys. 5. Wykres zmian współrzędnych wektora Zakopane - Laplace obliczonych różnymi programami w odniesieniu do programu Bernese (meteo)

We wszystkich omówionych przypadkach wyniki otrzymane dla danych "standard" są lepsze lub znacznie lepsze od otrzymanych dla danych

rzeczywistych. Wykresy i zestawienia wykazują, że wprowadzenie uśrednionych warunków daje porównywalne wyniki z danymi wersji "standard". Z obliczeń sieci tatrzańskiej jak też wielu innych, w których występowały znaczne odstępstwa temperatury czy ciśnienia od standardowych (pomiaru w Ugandzie), wynika jednak, że uśrednianie danych meteo też pogarsza wyniki w stosunku do standardowych.

Niezależnie od przedstawionych wyników, w pracy (Newby i in., 1987) analizowano wpływ mierzonych danych meteo na punktach na dokładność sieci. Stwierdzono, że posługiwanie się interpolowanymi wartościami ciśnienia i temperatury uzyskanymi z danych meteo rejestrowanych na czterech lotniskach, daje lepsze wyniki niż uwzględnianie w obliczeniach danych meteo z bezpośrednio obserwowanych na punktach sieci.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz i danych cytowanych w publikacjach można jednoznacznie stwierdzić, że uwzględnianie lokalnych danych meteo, obserwowanych na punktach sieci, w programach GPPS firmy Ashtech prowadzi do istotnie większych błędów wyznaczania sieci niż stosowanie wartości standardowych. Najnowsza wersja instrukcji odbiorników firmy Wild-Leica w zasadzie nie zaleca pomiarów meteo, zwracając uwagę, że błędne ich mierzenie może wprowadzić większe błędy pomiarowe. Potwierdzeniem naszej konkluzji jest to, że w najnowszych wersjach programów obliczeniowych zrezygnowano z uwzględniania danych meteorologicznych.

LITERATURA

Pachelski W. 1991: *Globalny System Pozycyjny (GPS)*. Wykład na kursie szkoleniowym Poznań 1991 r.

Beutler G. i in. 1991: *GPS Software principles, concepts, and experiences*. Praca opublikowana w materiałach Sympozjum GPS in Central Europe - March 1991, Penc, Hungary.

Kaniuth K. i in. 1989: *A comparative analysis of various procedures for modeling the tropospheric delay in a regional GPS network*. Praca opublikowana w materiałach 5th Sympozjum on Satellite Positioning - March 1989, New Mexico.

Newby S.P., Langley R.B., Janes H.W. 1989: *The spatial correlation of meteorological measurements in tropospheric delay modelling*. Praca opublikowana w materiałach 5th Sympozjum Satellite Positioning - March 1989, New Mexico.

Janes H.W., Langley R.B., Newby S.P. 1989: *A Comparison of several models for the prediction of tropospheric propagation delay*. Praca opublikowana w materiałach 5th Sympozjum Satellite Positioning - March 1989, New Mexico.

Cisak J., Dobrzycka M., Makowska A.: - prace niepublikowane

Recenzowała: prof.dr hab.inż. Maria Dobrzycka
Przyjęto do opublikowania w kwietniu 1994 r.

Maria Cisak

EXAMINATION OF IMPACT OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON GPS
MEASUREMENTS USING ASHTECH RECEIVERS

S u m m a r y

Differential character of GPS geodetical measurements eliminates the main part of impact of tropospheric refraction on these measurements. However that impact still exists and it can be of significant contribution. The aim of this work was to make analysis and reveal influence of different atmospheric conditions measured at points of network on results of the measured vectors.

Analysis has been done on the basis of measurements and computations, which were performed with the use of Ashtech receivers and software. Networks with side lengths less than 10 km were analysed, as well as networks with longer sides - "Radom", "Kepice", Trawes Lamkówko-Borowa Góra" and "Tatry". While studying the results of this analysis, presented in graphs and tables, the following conclusion can be drawn: atmospheric conditions measured at observation site and entered into computations made results of measurements worse, in all versions of Ashtech GPPS software. For analysis of the selected vectors from "Tatry" network, prepared by A. Makowska, Bernese and Trimvec programs were utilized. It was proved, that use of Bernese program in "meteo" and "standard" versions gave results very close to those obtained with the use of GPPS software - standard version. That similarity was not so evident in case of applying Trimvec program.

Non-representative locally measured meteorological conditions are the main reason of the observed phenomenon, specially as far as air humidity is concerned. Meteo data determined in close surroundings of the measuring point do not correspond with the structure of atmosphere at the whole profile, i.e. 20 000 km. Modelling of atmosphere, which assumes its averaged structure, plays important role here; entering meteo data measured sometimes with large errors in addition changes this structure unfavourably.

On the basis of the performed analyses and literature information it can be concluded, that while taking into account local meteo data determined at measuring points, significantly higher errors of determination of network coordinates are obtained, than in case of applying standard values.

Translation: Zbigniew Bochenek

Мария Цисак

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ
С ПОМОЩЬЮ ПРИЁМНИКА GPS ASHTECH

Резюме

Дифференциальный характер измерений GPS в геодезии исключает значительную часть влияния тропосферной рефракции на эти измерения. Влияние это однако остаётся и может иметь значительную величину. Целью

работы было проведение анализа и выявление, в какой степени разные атмосферные условия на пунктах сети и точность их измерения влияют на результаты определяемых векторов разных длин.

Анализ был проведён на основе измерений и вычислений, выполненных приёмником с программным обеспечением фирмы Ashtech. Анализируются как сети со сторонами менее 10 км, так и сети с более длинными сторонами, на следующих объектах, называемых сокращенно "Радом", "Кемпице", "Траверс Ламкувко - Борова Гура" и "Татры". Вывод, который вытекает после анализа этих результатов, представленных в таблицах и графиках, следующий: введение измеряемых на месте наблюдений метеорологических условий ухудшало результаты во всех версиях фирменной программы GPPS Ashtech. Для анализа наблюдений избранных векторов сети "Татры", обработанной А.Маковской, были использованы программы Bernese и Trimvec. Оказалось, что использование программы Bernese в версии "метео" и "стандарт" давало результаты очень близкие к полученным с помощью программы GPPS в версии "стандарт". Менее очевидным способом подтверждается эта закономерность при использовании программы Trimvec.

Одной из причин этого является непрезентативность измеренных локально метеорологических условий особенно, если дело касается влажности воздуха. Метеорологические данные, полученные при измерении в ближайшем окружении наблюдательной станции, не соответствуют структуре атмосферы для всего хода сигнала, т.е. на расстоянии 20 000 км. Существенную роль играет, разумеется, способ моделирования атмосферы, предполагающий некоторую усреднённую её структуру; введение метеорологических данных, измеренных неоднократно с большими ошибками на станции, деформирует эту модельную структуру.

На основе проведённых анализов и данных литературы можно сказать, что учитывание локальных метеорологических данных, полученных на измерительных станциях в программах GPPS фирмы Ashtech, приводит к значительно большим ошибкам определения координат сети, чем при применении стандартных величин.

Перевод: Róża Tołstikowa

