

Mieczysław Kunz

*Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Wydział Biologii i Nauk o Ziemi*

## **GLOBALNY SYSTEM POZYCJONOWANIA (GPS) DLA TWORZENIA GIS**

### **Global Positioning System (GPS) for GIS creation**

Praca przedstawia podstawowe wiadomości z zakresu Globalnego Systemu Pozycjonowania (GPS). Dokonano opisu podsystemów GPS oraz pokazano przykładowe zastosowanie w badaniach przyrodniczych. Zamieszczona charakterystyka wykorzystywanych map topograficznych pozwala na integrację GPS z tworzonymi systemami GIS.

#### **1. WPROWADZENIE**

Jednym z najważniejszych problemów przed którym stają osoby prowadzące badania i monitoring środowiska przyrodniczego jest precyzyjna lokalizacja obiektów badań. Problem lokalizacji towarzyszy człowiekowi od momentu pierwszej wędrówki. Do tej pory najczęściej stosowaną formą zapisu pozycji było zaznaczenie symbolem graficznym miejsca pomiaru na podkładzie topograficznym. Ta niezbyt dokładna metoda powodowała wiele komplikacji przy późniejszym nanoszeniu danych na mapę numeryczną oraz powodowała, że powtarzalność takich badań po pewnym czasie stawała się bardzo trudna do zrealizowania, a czasami wręcz niemożliwa.

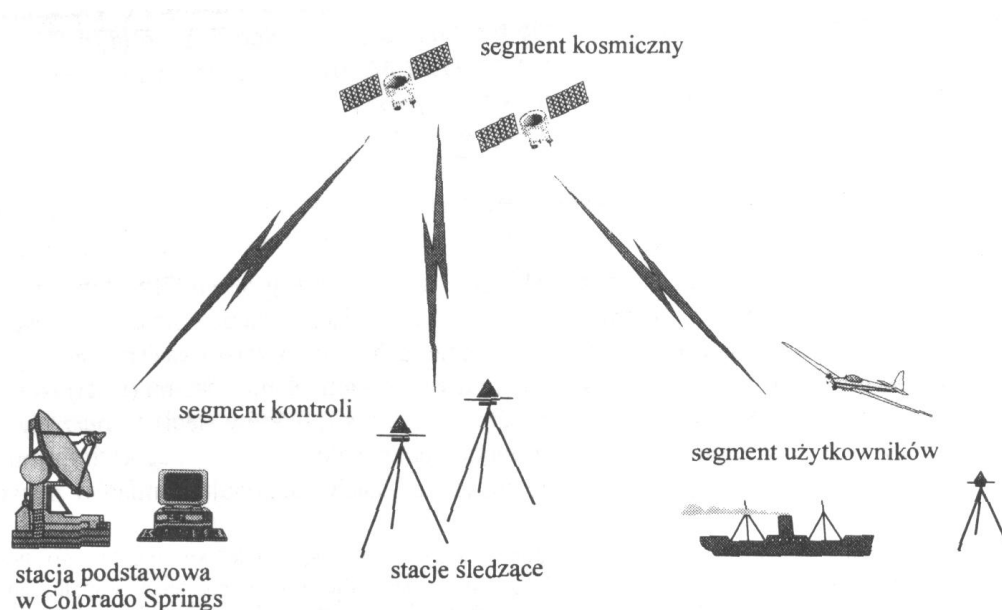
Globalny System Pozycjonowania GPS został zaprojektowany i zbudowany na potrzeby armii Stanów Zjednoczonych i jest zarządzany przez Navstar GPS Joint Program Office z siedzibą w Los Angeles. Prace nad tym systemem rozpoczęto w 1973 roku, ale dopiero po ponad 20 latach rozwoju uzyskał on zakładane parametry. Głównym celem tego systemu jest precyzyjne, trójwymiarowe określenie pozycji w każdym miejscu kuli ziemskiej, niezależnie od pory dnia i nocy oraz warunków pogodowych.

Sygnaly z satelitów mogą być odbierane przez dowolny odbiornik GPS bez żadnych opłat, a liczba użytkowników jest nieograniczona. W początkowych założeniach system został zaprojektowany tylko do użytku wojskowego, ale ze względu na ogromne koszty jego tworzenia, został również udostępniony użytkownikom cywilnym.

Globalny System Pozycjonowania GPS znajduje coraz szersze zastosowanie w badaniach środowiska przyrodniczego, powstają nowe typy odbiorników ułatwiających pomiar i integrację z GIS.

## 2. OPIS SYSTEMU GPS

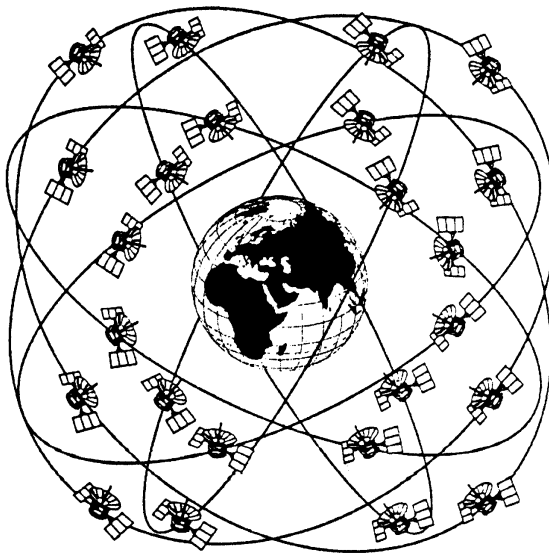
System GPS składa się z trzech podstawowych modułów: kosmicznego, kontrolnego i użytkowego (rys. 1). **Segment kosmiczny** zbudowany jest z 24 satelitów podstawowych oraz 6 zapasowych (rys. 2), poruszających się po sześciu pół-synchronicznych orbitach kołowych, nachylonych pod kątem  $55^\circ$  względem płaszczyzny równika. Satelity NAVSTAR umieszczone są na wysokości około 20 200 km nad powierzchnią Ziemi a czas obiegu satelity wokół Ziemi wynosi około 12 godzin.



Rys. 1. Schemat systemu GPS

Naziemny **segment kontrolny** to pięć stacji rozmieszczonych w następujących regionach świata: Colorado Springs, Hawaje, Wyspy Wniebowzięcia, Diego Garcia i Kwajalein. Centrala naziemna mieści się w bazie lotnictwa wojskowego Stanów Zjednoczonych w Falcon w pobliżu Colorado Springs. Zadaniem tego modułu jest zapewnienie łączności pomiędzy satelitami a główną stacją odbiorczą, obliczanie efemeryd dla satelitów oraz wyznaczanie poprawki zegarów pokładowych i korekta orbit. Ma to decydujący wpływ na dokładność systemu, ponieważ w wyniku działania różnych czynników orbity satelitów ulegają stopniowym zmianom. Dane te przesyłane są kilka razy dziennie na pokład satelity a część z tych danych jest następnie nadawana w kanale L1 do odbiorników nawigacyjnych.

**Segment użytkowy** tworzą różnego rodzaju odbiorniki nawigacyjne lub geodezyjne. Odbiorniki te umożliwiają określanie pozycji w czasie rzeczywistym na podstawie sygnałów emitowanych przez widoczne satelity. Są to odbiorniki samodzielnie funkcjonujące lub wbudowane w inne systemy. Sygnał satelitarny rozchodzi się prostoliniowo, dlatego też wszystkie wysokie przeszkody terenowe mogą ograniczyć jego odbiór.



Rys. 2. Konstelacje satelitów GPS

Podobny system o nazwie GLONASS został uruchomiony w byłym Związku Radzieckim. Pełna konstelacja satelitów GLONASS składa się także z 24 satelitów rozmieszczonych na trzech płaszczyznach orbitalnych, nachylonych pod kątem  $64,8^\circ$ .

### 3. ZASADA DZIAŁANIA SYSTEMU

Każdy satelita emituje: sygnały pomiarowe w dwóch pasmach częstotliwości L1 (1575,42 MHz) i L2 (1227,60 MHz), sygnały czasu własnego zegara, przekazuje informacje dotyczące swojego położenia w przestrzeni oraz własne dane identyfikacyjne. Częstotliwości L1 i L2 są modulowane i kodowane różnymi sygnałami: kodem C/A, P i Y. Kod C/A jest kodem ogólnie dostępnym i mniej dokładnym. Kod P jest precyzyjnym kodem, ale dostępnym tylko dla uprawnionych użytkowników, natomiast kod Y jest zastrzeżony dla armii USA. Do końca kwietnia 2000 roku sygnał z satelitów GPS był zakłócany selektywnie (SA) i dokładność takich systemów wynosiła około 100 m. Od 1-go maja 2000 roku rząd Stanów Zjednoczonych zniósł celowe zakłócanie sygnału SA przez co dokładność pomiaru prostych, ręcznych odbiorników zwiększyła się do kilku metrów.

Zasada działania systemu GPS polega na pomiarze odległości pomiędzy satelitą, którego pozycja jest znana, a odbiornikiem. Mierzona odległość jest określana poprzez pomiar czasu propagacji sygnału radiowego z satelity do odbiornika. Znana odległość od satelity lokuje odbiornik (a więc punkt pomiaru) na sferze o promieniu równym zmierzonej odległości. Znana odległość od dwóch satelitów lokuje odbiornik na okręgu będącym przecięciem dwóch sfer. Jeżeli dokonamy pomiaru odległości do trzech satelitów GPS, to trzy powierzchnie kuliste reprezentujące odległości od tych satelitów przetną się w dwóch punktach. Jeden wyznacza położenie naszego odbiornika, zaś drugi punkt bez trudu odrzucimy jako rozwiązanie niemożliwe. Dla wyznaczenia trzech współrzędnych (XYZ) miejsca obserwacji konieczne jest jednoczesne obserwowanie minimum czterech satelitów.

#### **4. TECHNOLOGIA POMIARÓW GPS ORAZ TWORZENIE I AKTUALIZACJA DANYCH GIS**

Obserwacje GPS znalazły zastosowanie w wielu dziedzinach działalności człowieka, chociaż pierwotnie zaprojektowane były do nawigacji wojskowej. Wykonywanie obserwacji odbiornikiem GPS odbywa się w pełni automatycznie. Sposób prowadzenie obserwacji GPS zależy przede wszystkim od celów jakim pomiary mają służyć. Wyznaczaniu współrzędnych punktów pomiarowych (pomiar nawigacyjny) można prowadzić dwiema metodami. Pierwsza z nich to obserwacja pojedynczego punktu przy wykorzystaniu jednego odbiornika. Obserwacja trwa nie dłużej niż dwie minuty, a dokładność waha się od kilku do kilkunastu metrów (po odkodowaniu sygnału C/A). Drugi sposób to pomiar różnicowy (DGPS), polegający na obserwacjach przez minimum dwa odbiorniki: bazowy i ruchomy. Odbiornik bazowy wykonuje ciągle obserwacje na punkcie o znanych współrzędnych, odbiornik ruchomy wykonuje około 2 minutowe obserwacje na punkcie. Odległość pomiędzy odbiornikiem bazowym a ruchomym nie może przekraczać 500 km. Takie wspólne opracowanie obserwacji pozwala na uzyskanie dokładności około 2 cm.

GPS pozwala na szybkie pomiary kartograficzne i dzięki temu na łatwe tworzenie baz danych GIS. Wyposażone w odpowiednie oprogramowanie odbiorniki GPS umożliwiają rejestrację informacji o aktualnej pozycji. Pojedynczy pomiar zajmuje zazwyczaj kilkadziesiąt sekund, a pamięć odbiornika pozwala na zapisanie do kilkuset punktów wraz z atrybutami dla inwentaryzowanych obiektów. Po zakończeniu sesji terenowej następuje transfer danych z odbiornika do komputera, a następnie, po odpowiednim przetworzeniu, do systemu GIS. Tak zorganizowana praca pozwala na szybkie i wygodne kartowanie terenowe zarówno elementów punktowych, liniowych, jak i powierzchniowych.

Odbiorniki GPS posiadają zazwyczaj współrzędne geograficzne w układzie WGS-84, a stosowane mapy są zwykle sporządzone w innym układzie odniesienia. Obecnie trwają prace nad zbudowaniem odbiorników zdolnych do jednoczesnych pomiarów z wykorzystaniem sygnałów z satelitów NAVSTAR i GLONASS.

## 5. MAPY TOPOGRAFICZNE I ICH WYKORZYSTANIE W POMIARACH GPS

Przy ujednocnianiu metod pomiaru GPS w zastosowaniach przyrodniczych, a zwłaszcza w trakcie automatycznego transferu współrzędnych na mapę numeryczną występują trudności spowodowane faktem wydawania map topograficznych w różnych układach współrzędnych i w różnych odwzorowaniach. W zależności od posiadanych materiałów kartograficznych, jak również od używanego oprogramowania GIS, występuje potrzeba transformacji współrzędnych z jednego układu współrzędnych do drugiego, oraz zdefiniowania w odbiorniku GPS odpowiednich parametrów układu rejestracji. Poniżej scharakteryzowano najbardziej popularne i dostępne mapy topograficzne, będące podstawowym źródłem danych dla celów GIS.

### **Mapy topograficzne w układzie "1942"**

Jednolity układ współrzędnych o nazwie „1942” został przyjęty do stosowania na mapach topograficznych na Konferencja Służb Geodezyjnych Krajów Socjalistycznych w Sofii w 1952 r. Termin "układ współrzędnych 1942" jest używany w dwojakim znaczeniu, po pierwsze oznacza układ współrzędnych geodezyjnych oparty na elipsoidzie Krasowskiego (układ odniesienia), a po drugie jest nazwą układu współrzędnych prostokątnych płaskich w odwzorowaniu Gaussa-Krügera. Powierzchnią odniesienia jest elipsoida Krasowskiego 1940, a punktem przyłożenia elipsoidy do geoidy jest punkt środkowy okrągłej sali obserwatorium w Pułkowie.

W układzie „1942” były wydawane mapy topograficzne w skalach 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000 i 1:200 000.

Wykorzystanie map w układzie 1942 i odbiorników GPS do odczytywania współrzędnych płaskich prostokątnych jest możliwe tylko w przypadku urządzeń, które mają możliwość zdefiniowania w pamięci odbiornika odwzorowania poprzecznego Merkatora (Transverse Mercator).

### **Mapy topograficzne w układzie "1965"**

Na początku lat sześćdziesiątych została podjęta decyzja o wycofaniu niejawnego układu współrzędnych „1942” z użytku cywilnego i zastąpienia go nowym układem współrzędnych, nazwanym układem współrzędnych „1965”. W ostatecznej postaci przybrał on formę pięciu lokalnych układów współrzędnych (stref odwzorowawczych) dla obszaru Polski: w strefach 1-4 układu „1965” zastosowano odwzorowanie quasi-stereograficzne Roussilhe’a w strefie 5 (dla rejonu Śląska) odwzorowanie Gaussa-Krügera. Granice poszczególnych stref pokrywały się z granicami ówczesnych województw. Zastosowane zależności matematyczne, wyprowadzenia wzorów roboczych i współczynniki przeliczeń pomiędzy układem „1942” a układem „1965” bardzo długo pozostały niejawne. Z chwilą wejścia w życie ustawy z dnia 22 stycznia 1999 r. o ochronie informacji niejawnych (Dz. U. 11 poz. 95 z późniejszymi zmianami) informacje o układzie 1965 zostały odtajnione.

W układzie „1965” były wydawane mapy topograficzne w skalach 1:5000, 1:10 000, 1:25 000 i 1:50 000 oraz mapy zasadnicze w skalach 1:5000, 1:2000, 1:1000 i 1:500.

Wykorzystanie map w układzie 1965 i odbiorników GPS jest możliwe tylko w przypadku urządzeń, które mają możliwość zdefiniowania w pamięci odbiornika odwzorowania stereograficznego.

### **Mapy topograficzne w układzie GUGIK "1980"**

Odwzorowanie „GUGiK-80” jest podwójnym, wiernokątnym, azymutalnym odwzorowaniem elipsoidy Bessela na płaszczyznę sieczną. Punkt główny odwzorowania jest położony w przybliżeniu w geometrycznym środku Polski i ma współrzędne:  $\varphi=52^{\circ}10'$ ,  $\lambda=19^{\circ}10'$ . W celu zmniejszenia zniekształceń, rozmiary elipsoidy odniesienia pomniejszono o 1/3500, dzięki czemu zerowe zniekształcenia długości układają się wzdłuż okręgu o promieniu 215 km. W punkcie głównym zniekształcenie wynosi  $-0,29$  m/km, zaś maksymalne zniekształcenie na południowo-wschodnich krańcach Polski ma wartość  $+0,91$ m/km.

Na skutek ingerencji cenzury wprowadzono celowe zniekształcenia osnowy matematycznej map wykonanych w układzie „1980”. Siatka kartograficzna została przesunięta i lekko skrzywiona względem jej rzeczywistego położenia, przesunięcia te są zmienne i osiągają maksymalnie wartość 90 m.

Układ „GUGiK-80” był podstawą dla opracowania map topograficznych w skalach 1:100 000, 1:200 000 i 1:500 000.

Uwzględniając występujące na mapach zniekształcenia znacznie przewyższające błędy pozycji określanej odbiornikiem GPS nie jest wskazane posługiwanie się tymi mapami przy korzystaniu z odbiorników GPS.

### **Mapy topograficzne w układzie "UTM"**

Dla map topograficznych opracowywanych zgodnie ze standardami europejskimi preferowanym odwzorowaniem jest uniwersalne poprzeczne odwzorowanie Merkatora (UTM – Universal Transverse Mercator). Jest to odwzorowanie wiernokątne, poprzeczne, sieczne, walcowe z  $6^{\circ}$  strefami odwzorowania, których skrajne południki pokrywają się z południkami arkuszy *Międzynarodowej Mapy Świata* w skali 1:1 000 000. Z odwzorowaniem UTM jest związany układ współrzędnych płaskich prostokątnych UTM.

Odwzorowanie UTM zostało zaprojektowane dla zastosowań międzynarodowych pomiędzy  $80^{\circ}$  szerokości geograficznej południowej i  $84^{\circ}$  szerokości geograficznej północnej. Powierzchnia elipsoidy jest podzielona na 60 stref po  $6^{\circ}$  każda (każda strefa ma jednolity system współrzędnych prostokątnych), ponumerowanych kolejno od 1 do 60, w których strefa o numerze 1 znajduje się pomiędzy  $180^{\circ}$  i  $174^{\circ}$  długości geograficznej zachodniej, a wzrost numerów stref następuje na wschód.

Na obszarze Polski występują trzy strefy odwzorowcze układu UTM o następujących południkach środkowych: strefa 33 ( $L_0 = 15^{\circ}$ ), strefa 34 ( $L_0 = 21^{\circ}$ ), strefa 35 ( $L_0 = 27^{\circ}$ ).

Układ współrzędnych płaskich prostokątnych jest stosowany na wojskowych mapach w skalach od 1:10 000 do 1:500 000. Układ charakteryzuje się

następującymi właściwościami: osie współrzędnych są oznaczone jako E (rzędna), N (odcięta) i przedstawiane w kolejności E, N. Współrzędne jego punktu początkowego wynoszą odpowiednio:  $E_0 = 500\,000,00\text{m}$ ,  $N_0 = 0,00\text{m}$  (dla półkuli północnej).

Obrazem układu współrzędnych płaskich prostokątnych na mapach lądowych, lotniczych i morskich jest siatka kilometrowa, która definiuje położenie układu współrzędnych w odniesieniu do powierzchni terenu.

W układzie UTM są wydawane mapy topograficzne w skalach 1:25 000 – 1:1 000 000. W odróżnieniu od map wydanych w układzie 1942 mapy te mają dwukrotnie większy format, zawierają legendę znaków i symboli oraz objaśnienia w dwóch lub trzech językach. Zawartość i forma graficzna map jest zbliżona do map wydawanych w układzie 1942.

Układ odniesienia WGS-84 (*World Geodetic System*) i układ współrzędnych UTM są standardowymi układami stosowanymi w odbiornikach GPS, co umożliwia wykorzystanie map wykonanych w układzie UTM łącznie z odbiornikami GPS, bez konieczności modyfikowania parametrów odbiornika.

### **Mapy topograficzne w układzie "1992"**

W wyniku międzynarodowych pomiarów satelitarnych GPS w lipcu 1992 roku terytorium Polski zostało włączone do zintegrowanego europejskiego systemu odniesień przestrzennych ETRS (*European Terrestrial Reference System*). Jest on wykorzystywany w następujących międzynarodowych systemach nawigacyjnych: powietrznych, wodnych i lądowych.

Zmiana państwowego systemu odniesień przestrzennych jest konsekwencją integracji politycznej i gospodarczej Polski z państwami Europy Zachodniej. Zmiana ta pozwoli ujednoczyć i usystematyzować krajową dokumentację geodezyjną i kartograficzną, która dotychczas jest opracowywana w wielu, często niezależnych od siebie układach współrzędnych.

Europejski System Odniesienia ETRS-89 (*European Reference System 1989*) jest utworzony na podstawie geocentrycznego, globalnego systemu odniesienia jakim jest ITRS (*International Terrestrial Reference System*). Zgodnie z postanowieniem, przyjętym w 1992 r. przez podkomisję EUREF w Bernie, elipsoidą europejskiego systemu odniesienia ETRS-89 jest elipsoida GRS 80. Układ "1992/19" oparty jest na współrzędnych geograficznych geodezyjnych stacji obserwacyjnych, obliczonych w układzie europejskim ETRF-89.

W układzie 1992 są wydawane mapy wydawane wcześniej w układzie współrzędnych 1942. Skale map, znaki umowne, wielkości arkuszy itd. pozostały takie same. Wymiary arkuszy map topograficznych oraz ich powierzchnie odnoszą się do wszystkich arkuszy położonych w tym samym pasie, wymiary i powierzchnie arkuszy maleją ku północy, natomiast zwiększają się ku południu.

Układy współrzędnych "2000/15", "2000/18", "2000/21", "2000/24" są tworzone na podstawie współrzędnych geograficznych geodezyjnych obliczonych w układzie europejskim ETRF-89.

Układ współrzędnych ETRS-89 pokrywa się z układem WGS-84. Umożliwia to wykorzystywanie map wykonanych w układach 1992/19 i 2000 łącznie

z odbiornikami GPS, które mają możliwość modyfikowania odwzorowania poprzecznego Merkatora (*Transverse Mercator*).

## 6. TRANSFORMACJA WSPÓLRZĘDNYCH ETRF-89

Już w pierwszych próbach integracji GPS – GIS pojawiły się problemy z transformowaniem współrzędnych z układu ETRF-89 lub WGS-84 do układu „1965”. W 1991 roku Gajderowicz opracował pierwszą wersję programu transformacji współrzędnych lokalnych X', Y', Z' do układu państwowego. Po uzyskaniu pierwszych doświadczeń produkcyjnych poprawiono wartości parametrów opisujących odwzorowania układu „1965” i przygotowano wersję handlową programu, któremu nadano nazwę TRANSGPS.

### LITERATURA

- Czarnecki K., 1995. *Geodezja współczesna w zarysie*. Wydawnictwo Wiedza i Życie, Warszawa.
- Frączyk P., Lamparski J., Modliński G., 1996. *Podstawy działania systemu GPS*. I Krajowa Konferencja Zastosowań GPS, Poznań.
- Frączyk P., 1997. Satelitarne systemy lokalizacyjne. *Infotel 1*.
- Gajderowicz I., 1997. *Transformacja pozycji wyrażonych w układzie WGS-84 do państwowego układu współrzędnych*. II Krajowa Konferencja Zastosowań GPS, Poznań.
- Rybka Z., 1994. *Układy współrzędnych geodezyjnych i odwzorowania map topograficznych w Polsce*. Praca dyplomowa, Politechnika Warszawska, Warszawa.
- Graszka W. 1997. *Pozycjonowanie i nawigowanie z wykorzystaniem globalnego systemu nawigacyjnego*. Zeszyty WSOWRiA, Toruń.
- Graszka W., Wiśniowski J., 1992. *Globalny System wyznaczania pozycji – GPS*. Zeszyty WSOWRiA, Toruń.
- Kartanas E., Lipiński E. J., 1997. Możliwości wykorzystania Globalnego Systemu Lokalizowania. *Wiadomości Ekologiczne XLIII* (4): 309-315.
- Lipiński E. J., 1996. Zastosowanie pomiarów DGPS. *Telecom Forum 9*.
- Śledziński J., 1995. Globalny System Pozycyjny. *Geodeta 5*.

### SUMMARY

The paper presents the basic knowledge concerning Global Positioning System (GPS). There were made GPS subsystems description and their example application in environmental studies. Described characteristics of topographic maps use in Poland allows for the GPS/GIS integration.

**Mieczysław Kunz**  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika  
Instytut Geografii  
ul. Gagarina 5, 87-100 Toruń  
e-mail: met@cc.uni.torun.pl