

Programy do przeliczeń współrzędnych

ROMAN KADAJ

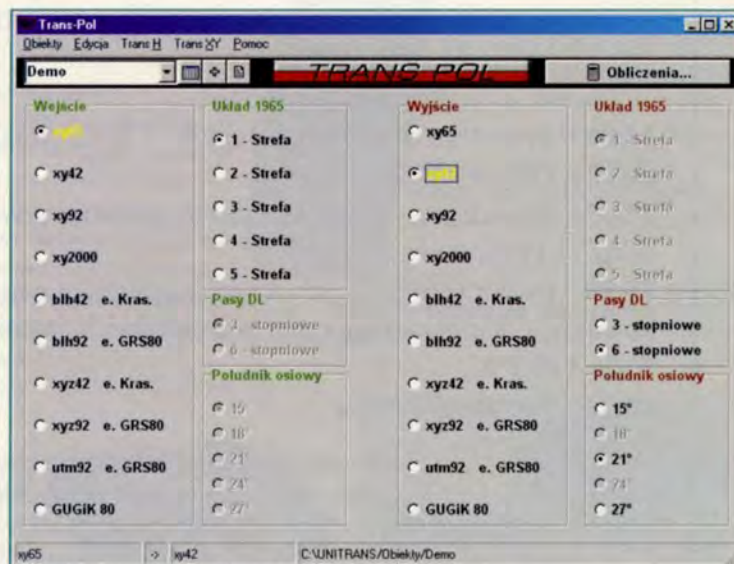
Po sporej porcji teorii (GEODETA 9-12/2000) przyszedł czas na prezentację przykładowych programów do przeliczeń (transformacji) współrzędnych pomiędzy różnymi układami w Polsce. Podstawowe algorytmy w tym zakresie były treścią poprzednich publikacji. W istotnej części odpowiadają one standardom ujętym w nowej edycji Wytycznych Technicznych G-1.10 oraz nowej Instrukcji Technicznej G-2.

Jak to jednak bywa ze standardami geodezyjnymi (i chyba nie tylko), zanim nastąpi ich praktyczne „dotarcie”, są one zwykle przedmiotem ożywionych dyskusji. W omawianym zakresie taką szczególną kwestią dyskusyjną są na przykład sposoby wzajemnych dopasowań układów matematycznych i empirycznych (por.: „Osnowy a układy”, GEODETA 12/2000). Nie można wykluczyć również, że powróci dyskusja na temat zasadności samej definicji strefowego układu „2000” dla mapy zasadniczej (układ nie ma, jak na razie, realizacji praktycznej).

Program TRANSPOL

Program o nazwie TRANSPOL [1] powstał jako załącznik (na CD-ROM-ie) do nowej edycji Wytycznych Technicznych G-1.10. Zgodnie z założeniem wydawcy program ma przeznaczenie testowe i kontrolne, odnoszące się do metod i algorytmów opisanych w treści wytycznych. Program realizuje więc matematyczne przeliczenia współrzędnych pomiędzy układami płaskimi: „1965”, „1942”, „GUGIK-80”, „1992”, „2000”, UTM (dla stref polskich) oraz układami współrzędnych geograficznych geodezyjnych BLH i kartezjańskich XYZ elipsoid: GRS-80 i Krasowskiego. Dodatkowymi funkcjami numerycznymi programu są:

- Transformacje wysokościowe pozwalające na przeliczenie wysokości elipsoidalnych na normalne (lub odwrotnie). Mogą być one realizowane dwiema metodami (menu TRANS_H – rys. 1):



Rys. 1. Ilustracja funkcji programu TRANSPOL

- na podstawie numerycznego modelu geoidy niwelacyjnej (wielkości odstępów geoidy od elipsoidy GRS-80, zapisanych w pliku binarnym dla całego obszaru Polski w siatce punktów o rozdzielczości minutowej),
 - poprzez lokalną aproksymację geoidy (quasi-geoidy) na podstawie dostępnego zbioru punktów dostosowania o wyznaczonych wysokościach niwelacyjnych.
- Uwaga: w ostatecznej wersji publikacyjnej programu występuje tylko pierwsza metoda.
- Transformacja Helmerta (przez podobieństwo), uruchamiana w menu TRANS_XY, będąca m.in. narzędziem do realizacji korekt lokalnych układu „1965” (por. GEODETA 12/2000).
- W środowisku programu TRANSPOL dostępny jest edytor tekstowy umożliwiający przygotowanie lub importowanie zbioru

| Nr | x | y | zniekształcenie [cm/km] | konwergencja [°] | informacje o strefie |
|------|--------------|--------------|-------------------------|------------------|----------------------|
| 5 | 5562200.0236 | 7597703.0263 | 4.020 | 1.167853 | <2000> Lo = 21 |
| 16 | 5565284.4975 | 7600726.5584 | 4.756 | 1.205163 | <2000> Lo = 21 |
| 4053 | 5560754.2884 | 7601924.9431 | 5.055 | 1.217737 | <2000> Lo = 21 |
| 2022 | 5563768.8547 | 7605674.9741 | 6.010 | 1.263733 | <2000> Lo = 21 |
| 19 | 5563975.6059 | 7607407.0103 | 6.463 | 1.284521 | <2000> Lo = 21 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Tab. 1. Przykład pliku wynikowego xy2000.1

rów wejściowych oraz eksportowanie lub drukowanie protokołów wynikowych. Należy podkreślić, że wszelkie zbiory wejścia-wyjścia mają postać tekstową, co daje możliwość łatwego „kontaktu” z innymi aplikacjami geodezyjnymi lub kartograficznymi. Wszelkie zbiory danych są przyporządkowane dowolnie definiowanym obiektom, a te odpowiadają w sposób naturalny podkatalogom folderu OBIEKTY. Pewną wadą programu może być to, że dla wszystkich zbiorów wejścia-wyjścia przyjęto ściśle określone nazwy standardowe, skojarzone z nazwami układów współrzędnych. Owa „sztywność” nazw sprzyja jednak pewnemu „ładowi” w zarządzaniu danymi (teza ta potwierdziła się m.in. kilkuletnimi doświadczeniami w eksploatacji systemu obliczeniowego GEONET). Na przykład, wejściowe zbiory współrzędnych układów „1965”, „1942”, „1992”, „2000” nazywają się odpowiednio: xy65, xy42, xy92, xy2000. Natomiast zbiory współrzędnych geograficznych geodezyjnych mają nazwy: blh42 (dla elipsoidy Krasowskiego) i blh92 (dla elipsoidy GRS-80). Zbiorom wynikowym przypisywane są automatycznie podobne nazwy, ale z rozszerzeniem *.1 (rozróżnienie takie jest oczywiście konieczne, przy czym usuwając rozszerzenie, możemy je zastosować wprost jako zbiory wejściowe do dalszych przeliczeń). Jeśli zbiór wynikowy dotyczy układu odwzorowawczego, to dla każdego przeliczonego punktu, oprócz współrzędnych x, y, wyznaczane są również elementy pola zniekształceń odwzorowawczych, a mianowicie:

- elementarne zniekształcenie długości w cm/km,
- konwergencja (zbieżność południków) w gradach.

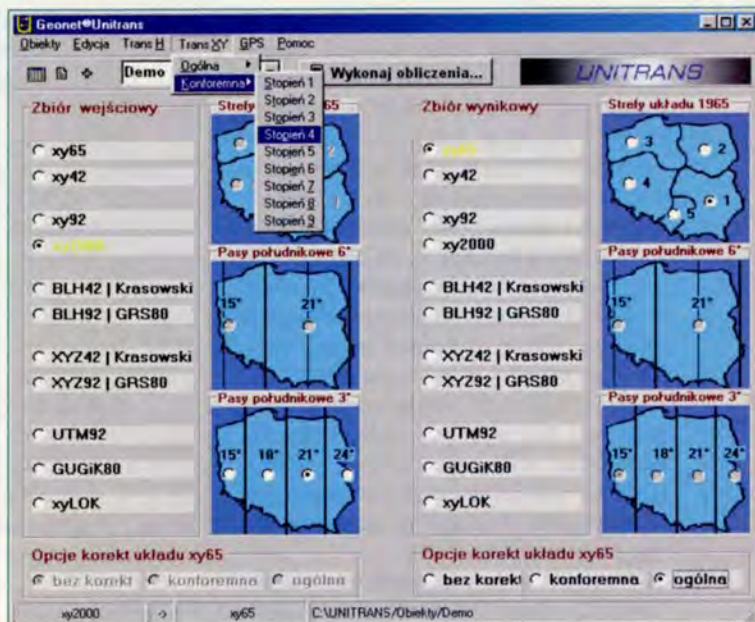
Ewentualne dodatkowe informacje (komentarze) mają na celu identyfikowanie strefy odwzorowawczej danego układu. Przykład fragmentu pliku wynikowego xy2000.1 podano w tabeli 1. Obsługa programu jest bardzo prosta. Zasadnicza część okna głównego jest podzielona na dwie części, odpowiadające zbiorom informacji wejściowych i wynikowych. Na liście zbiorów wejściowych i wynikowych oraz w okienkach parametrów (stref) należy zaznaczyć właściwe pozycje i zainicjować obliczenia widocznym u góry przyciskiem.

Program ma możliwość bezpośrednich przeliczeń współrzędnych pomiędzy strefami tego samego układu podstawowego (np. „1965”, „2000”, „1942”). Niestety, dla układu „1965” program TRANSPOL nie posiada „narzędzia” korekt globalnych [por. GEODETA 12/2000], więc bezpośrednie przeliczenie między strefami dokonuje się tylko poprzez współrzędne matematyczne. Dla zastosowania korekt lokalnych należałoby dysponować współrzędnymi katalogowymi punktów łącznych w obu strefach układu, pomiędzy którymi takie przeliczenie następuje. Ten warunek może być jednak trudny lub fizycznie niemożliwy do spełnienia. Korekty lokalne układu „1965” można zrealizować poprzez funkcję TRANS_XY. W tym przypadku zbiory danych (wykazy współrzędnych pierwotnych i aktualnych) powinny mieć odpowiednie nazwy standardowe: xy1, xy2. Zbiory wynikowe zawierają m.in. analizę dokładności transformacji oraz ostateczny wykaz współrzędnych z uwzględnieniem tzw. korekty Hausbrandta.

Program GEONET®_unitrans

Program GEONET®_unitrans jest wyodrębnionym modulem systemu obliczeniowego GEONET, obejmującym m.in. zadania obliczeniowe sieci geodezyjnych. W aktualnej wersji 6.2 stanowi pełną aplikację dla WINDOWS '95, '98, 'NT (2000). W stosunku do programu TRANSPOL zawiera niżej opisane funkcje dodatkowe.

- Realizacja korekt globalnych (dla każdej strefy) układu „1965” w dwóch wersjach (przyciski w dolnej części okna – rys. 2):

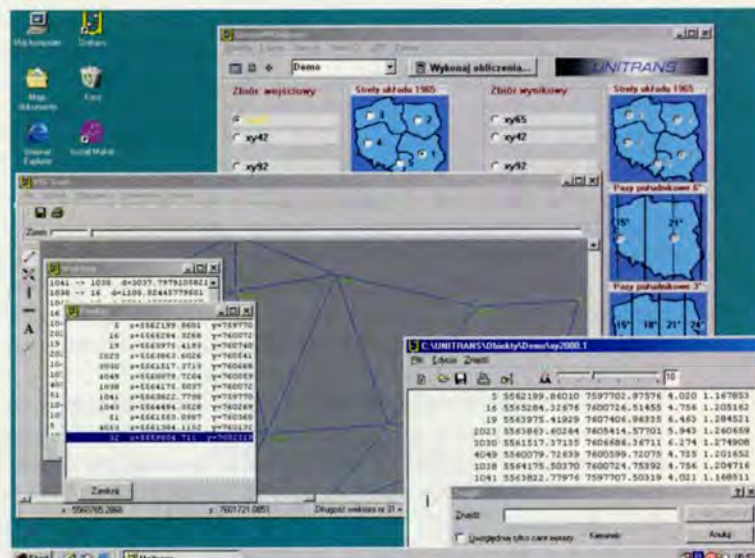


Rys. 2. GEONET®_unitrans. Rozszerzone funkcje numeryczne: opcje korekt globalnych układu „1965”, transformacje wielomianowe stopnia 1-9, układy lokalne, obliczenia sieci GPS

- konforemnej, poprzez zastosowanie algebraicznych wielomianów zespolonych (opcja ta umożliwi zachowanie lokalnego kształtu figur pomiędzy układem wejściowym i wynikowym, co ma znaczenie na przykład przy transformacji sieci GPS),
- ogólnej (niekonforemnej), poprzez zastosowanie ogólnych wielomianów algebraicznych.

Opcja ta umożliwia „lepsze” wpasowanie się w układ rzeczywisty „1965” określony przez współrzędne katalogowe punktów, osiągając dokładność wpasowania wyższą niż dokładność kartometryczna archiwalnych wydawnictw mapy zasadniczej. Z tego względu korekta ta może mieć zastosowanie na przykład przy przekształcaniu zwektoryzowanych obrazów tej mapy do nowych układów odwzorowawczych.

Korekty globalne umożliwiają „automatyczne” wpasowanie się w empiryczny układ „1965” (określony przez archiwalne współrzędne punktów) lub (przy wychodzeniu z empirycznego układu



Rys. 3. GEONET®_unitrans. Funkcje edycyjne: graficzne i tekstowe

„1965”) eliminację błędów systematycznych tego układu. Będzie to mieć zapewne istotne znaczenie przy przeliczeniach masowych z układu „1965” do układu „2000”. Istotnym praktycznie zadaniem może okazać się wówczas przeliczenie współrzędnych pomiędzy strefami (empirycznego) układu „1965”. Korekty globalne umożliwią wykonanie takiego zadania, gdy z powodu braku punktów łącznych wykonanie korekty lokalnej nie będzie możliwe. Należy zaznaczyć jednak, że jeśli dysponujemy odpowiednim zbiorem punktów łącznych, zastosowanie korekty globalnej nie wyklucza możliwości dodatkowego wykonania korekty lokalnej (łącznie z korektą posttransformacyjną Hausbrandta). Funkcję tę przejmują już podprogram TRANS_XY.

■ Transformacje wielomianowe (konforemne i ogólnowielomianowe) do stopnia $n = 9$ włącznie, realizowane dla dowolnej pary zbiorów współrzędnych pierwotnych (xy_1) i aktualnych (xy_2) (funkcja TRANS_XY). Funkcja ta jest „wyposażona” opcjonalnie w korektę Hausbrandta, dzięki czemu może być użyta w szczególności jako narzędzie korekty lokalnej przy operacjach związanych z układem „1965”.

■ Uwzględnienie układów lokalnych w zadaniach transformacji współrzędnych. W konstrukcji programu GEONET[®]_unitrans założono, że przejście pomiędzy jakimś układem lokalnym a innym stosowanym układem (np. „1992”, „2000”) odbywa się (wewnętrznie) za pośrednictwem układu „1965”. W tym celu należy dołączyć do programu odpowiedni dla danego układu lokalnego plik parametrowy o nazwie par.lok (plik umieszcza się w wybranym folderze roboczym, w którym zamierzamy wykonywać stosowne przeliczenia współrzędnych). Utworzenie plików parametrowych umożliwi omówiona powyżej funkcja transformacji konforemnej w menu TRANS_XY (wstępne analizy tego zadania potwierdzają, że pomiędzy układami lokalnymi a układem „1965” adekwatne jest założenie wiernokątności przekształcenia, przy czym dla układów lokalnych na obszarach o rozpiętości powyżej 5 km nie wystarcza zastosowanie liniowej transformacji przez podobieństwo – Helmerta – ze względu na zmienność skali układu „1965” należy stosować wielomiany stopnia wyższego od 1). Do tego celu muszą być znane w obu układach współrzędne punktów dostosowania (łącznych). W opisany sposób, przy założeniu wielomianów konforemnych, określono formuły transformacyjne dla kilku układów lokalnych, m.in. miasta Krakowa i miasta Łodzi (ŁAM). W obu podanych przypadkach wykorzystano mniej więcej po 600 punktów łącznych, przyjmując wielomiany konforemne odpowiednio stopnia 4 i 3. Dla obu wymienionych obiektów uzyskano błąd standardowy dopasowania wynoszący 0.03 m. Podwyższanie stopnia wielomianu nie poprawia już tego wyniku, więc nie jest uzasadnione (odchyłki na punktach łącznych mają charakter losowy). Przykład pliku parametrowego dla układu lokalnego Krakowa przedstawiono w tabeli 2.

■ Graficzna prezentacja zbiorów wejścia-wyjścia z użyciem dodatkowych narzędzi graficznych (łączenie punktów, określanie wzajemnych odległości, wyznaczanie powierzchni obszarów, zmiana skali, wprowadzanie opisów, wydruk szkicu). Moduł ten stanowi przede wszystkim narzędzie kontrolne, jakie wynika z wizualizacji danych i wykonania prostych operacji kartometrycznych.

| | | | |
|--------------|--|---|----------|
| KRAKÓW | = nazwa układu | | |
| 1 | = numer strefy układu 1965 | | |
| 4 | = stopień wielomianu | | |
| 5403753.6142 | 4557547.7203 | współrzędne środka w układzie 1965/1 | |
| -30499.5824 | 291170.6455 | " " " " | lokalnym |
| 0.5E-04 | = skala normująca dla transformacji xy65/1 => xy_lok | | |
| -0.0034 | 0.0251 | parametry $(a_0, b_0), (a_1, b_1), \dots, (a_4, b_4)$ | |
| -19988.0365 | -787.4663 | wielomianu | |
| -0.1691 | 0.2192 | zespolonego | |
| 0.0163 | -0.0132 | stopnia $n = 4$ | |
| -0.0549 | 0.0110 | | |
| 0.5E-04 | = skala normująca dla transformacji odwrotnej | | |
| -0.0025 | 0.0252 | parametry $(a_0, b_0), (a_1, b_1), \dots, (a_4, b_4)$ | |
| -19980.9579 | 787.1874 | wielomianu | |
| -0.1420 | 0.2374 | zespolonego | |
| -0.0140 | 0.0156 | stopnia $n = 4$ | |
| -0.0516 | 0.0215 | | |

Tabela 2. Przykład pliku parametrowego par.lok dla układu lokalnego miasta Krakowa (w kwestiach teoretycznych zob. GEODETA 10/2000)

■ Obliczenie sieci wektorowej GPS. Moduł ten wraz z procedurami transformacyjnymi współrzędnych umożliwia pełne opracowanie numeryczne sieci GPS, na co składa się:

- wstępna kontrola układu wektorów (protokół oceny wyznaczalności, niezawodności sieci oraz odchyłek zamknięć figur),
- ścisłe wyrównanie sieci w trójwymiarowym układzie kartezjańskim XYZ elipsoidy GRS-80 wraz z analizą dokładności,
- transformacja wyników do płaskiego układu odwzorowanego i systemu wysokości normalnych.

Ponieważ problematyka powyższa wykracza poza zasadniczy temat, zamykamy ją, odwołując się do opisu metodologicznego dołączonego do instrukcji obsługi programu.

Uwagi końcowe

Opisane programy TRANSPOL i GEONET[®]_unitrans prezentuję jako przykłady bezpośrednio związane z treścią wykładów [GEODETA 9-12/2000]. Z pewnością jednak w wielu krajowych ośrodkach naukowych i badawczo-rozwojowych tworzone są również aplikacje komputerowe o podobnym przeznaczeniu.

Dla informacji dodam, że algorytmy lub procedury transformacyjne, zawarte w programach TRANSPOL i GEONET[®]_unitrans, zostały zastosowane także w centralnej bazie danych GEOS w CODGiK, jak również w innych krajowych programach, m.in. w systemie GEO-INFO.

kadajr@algores.intertele.pl

Na zakończenie pragnę tą drogą podziękować panom: dyrektorowi Departamentu Geodezji GUGiK dr. inż. Ryszardowi Pażusowi, mgr. inż. Aleksandrowi Danielskiemu z firmy SYSTHERM-INFO z Poznania, mgr. inż. Aleksandrowi Bielickiemu – geodecie województwa łódzkiego, dr. inż. Krzysztofowi Buczkowskiemu z Politechniki Warszawskiej, plk. dr. inż. Stanisławowi Salwowskiemu z firmy INFOPRO z Warszawy oraz pani mgr inż. Marioli Michalak z firmy GEOMAT z Poznania za inspirowanie, życzliwą zachętę i finansowe wspieranie prac w tym zakresie. Szczególne podziękowania składam redakcji miesięcznika GEODETA za zaproszenie na strony pisma.

Literatura:

1. *Wytyczne Techniczne G-1.10* (nowa edycja), Załącznik na CD-ROM-ie: Program TRANSPOL (w wydawnictwie), © Główny Geodeta Kraju, GUGiK, Warszawa 2000;
2. *Instrukcja Techniczna G-2* (nowe wydanie), GUGiK, Warszawa 2000;
3. *GEONET[®]_unitrans: uniwersalny program transformacji współrzędnych*, © ALGORES-SOFT s.c. Rzeszów (wersje: 5.1 – 2000, 6.1/6.2 – 2001).