

Roman J. Kadaj

Problematyka korekt układu „1965” i ich rozwiązanie w programie GEONET_unitrans

[Publikacja internetowa, www.geonet.net.pl, ALGORES-SOFT, 2002-11-12].

Dlaczego korekty są konieczne?

Powszechnie znane są już matematyczne formuły transformacji współrzędnych pomiędzy różnymi układami (opisano je np. w załączonym pliku **uklady.doc**). Wprawdzie stanowią one kanwę podstawowych algorytmów przeliczeniowych (używanych m.in. przez program **GEONET_unitrans** jak również przez program **TRANSPOL** – jako załącznik do Wytocznych Technicznych G-1.10), to dla konkretnych zadań praktycznych związanych na przykład z przeliczeniem współrzędnych pomiędzy układem **1965** a układem **2000** lub **1992** nie są to jeszcze formuły wystarczające. Powodem takiego stanu rzeczy jest to, że układ **1965** we wszystkich jego pięciu strefach, został faktycznie zrealizowany z istotnymi odchyleniami systematycznymi w stosunku założeń teorii odwzorowań i w relacji do parametrów jakościowych (dokładnościowych) do obecnej techniki GPS. Fizyczna realizacja układu następuje oczywiście poprzez punkty osnów geodezyjnych, których współrzędne są obciążone zawsze „sumarycznym” błędem procesów pomiarowo-obliczeniowych.

Dla przykładu, wyobraźmy sobie, że np. punkt I lub II klasy, wyznaczony poprawnie w układzie **1992** lub na elipsoidzie **GRS-80** transformujemy do układu **1965** stosując odpowiednie wzory teoretyczne (przechodząc pośrednio pomiędzy elipsoidami **GRS-80** i **KRASOWSKIEGO**). Wyznaczone współrzędne konfrontujemy ze współrzędnymi punktu, istniejącymi już w archiwalnych bazach osnów układu **1965**. Może się okazać, że różnice współrzędnych sięgają nawet wartości 1m (!). Otrzymany rezultat jest przede wszystkim wynikiem błędności dawnych wyznaczeń osnów w układzie **1965**. Odchyłki mogą mieć dwójaki charakter: jako zjawiska lokalne lub strefowe. W drugim przypadku, wektory przesunięć punktów wykazują pewne prawidłowości na znacznym obszarze strefy (tak jest np. w strefie 5 układu **1965**, gdzie faktyczne współrzędne x różnią się od ich odpowiedników matematycznych o ok. 45cm). W każdym przypadku, przeliczenia związane z archiwalnym układem **1965** (dotyczy to również zasobów kartograficznych) należy dodatkowo skorygować (programy udostępniane jako komercyjne narzędzia obliczeniowe nie powinny tego pomijać).

Manualnie czy automatycznie?

Procedury korekt są oparte na funkcjach wielomianowych, których parametry wyznacza się w oparciu o punkty dostosowania (punkty posiadające współrzędne w obu układach). Najprostszą postacią rachunkową mają tzw. **korekty lokalne**, polegające na zastosowaniu konforemnej transformacji liniowej (**Helmerta**) oraz tzw. korekty **Hausbrandta**. Niestety, postępowanie takie stwarza sytuacje niejednoznaczne (np. na styku dwóch różnych obiektów), mogące prowadzić do pogorszenia wyników. Niekiedy może być też wręcz niemożliwe (na granicach stref układu **1965** lub w obszarach, gdzie punkty sieci uległy przemieszczeniom) lub obciążone dużą zawodnością (przy braku dostatecznej liczby punktów dostosowania). Jeśli weźmiemy dodatkowo pod uwagę, że na wykonawcę nałożony zostaje obowiązek „zdobycia” odpowiedniej liczby punktów dostosowania, to prostota korekty lokalnej staje się tylko pozorna. Największy problem pojawia się wtedy, gdy transformacja nie dotyczy pojedynczych punktów osnów geodezyjnych lecz kompletnych obrazów kartograficznych map (wektorowych lub rastrowych). „Aż się prosi” potrzeba dysponowania technologią automatyczną, ale tego nie rozwiązuje opisana korekta lokalna.

Rozwiązaniem problemu są tzw. **korekty globalne**, które zostały już wyznaczone w formie specjalnych funkcji wielomianowych (korekcyjnych) dla każdej strefy układu **1965**. Podstawą do estymacji parametrów funkcji były wszystkie punkty klasy I, przyjęte jako punkty dostosowania. Utworzone w ten sposób funkcje korekcyjne pozwalają w sposób automatyczny likwidować istotny składnik błędu **1965**, umożliwiając np. poprawną transformację współrzędnych do układu **2000** lub **1992**. Efekty i oceny statystyczne odchyłek na punktach I klasy, dla poszczególnych stref układu **1965**, ujmuje tabela 1.

O szczegółach systemu korekt w programie GEONET_unitrans

Automatyczne **korekty globalne** zostały zaaplikowane przez firmę **ALGORES-SOFT** we wszystkich wersjach programu **GEONET_unitrans**. Program umożliwia opcjonalny wybór zarówno **korekt lokalnych** jak też **globalnych**.

Wyróżniamy w szczególności następujące rodzaje korekt:

- **korekty globalne** (dla całej strefy) o charakterze przekształcenia wiernokątnego (realizowana przez wielomiany zespolone),
- **korekty globalne** o charakterze lokalnie afinicznym (realizowana przez wielomiany ogólne),
- **korekty lokalne** (ograniczone do obszaru opracowania, fragmentu strefy) oparte na danym lokalnym zbiorze punktów dostosowania (punktów łącznych), realizowane przy zastosowaniu transformacji Helmerta oraz dodatkowej korekty (korekty post-transformacyjnej) Hausbrandta, mającej na celu „wyzerowanie” odchyłek na punktach łącznych i odpowiednie skorygowanie z tego tytułu wszystkich pozostałych punktów transformowanych.

Korekty globalne różnią się zasadniczo od korekt lokalnych tym, że nie wymagają odszukiwania, identyfikowania i kontroli poprawności lokalnego układu punktów łącznych. Funkcje realizujące korekty globalne wyznaczono już dla każdej strefy układu **1965** (w oparciu o dostępne w różnych układach współrzędne punktów I klasy) i „wstawiono” je na stałe do programu transformującego w formie odpowiedniej procedury.

Rozwiązanie zastosowane w pakiecie programów **GEONET_unitrans** ma możliwość opcjonalnego wyboru następujących opcji transformacji na wejściu do - lub wyjściu z – układu **1965**:

- **opcji matematycznej** (bez korekt globalnych),
- **opcji matematycznej - skorygowanej** (z globalną korektą konforemną),
- **opcji empirycznej** (z globalną korektą afiniczną – ogólnowielomianową).

Korekty globalne działają automatycznie, natomiast realizacja korekt lokalnych wymaga dodatkowych informacji zewnętrznych (wykazu współrzędnych punktów łącznych) i realizuje się za pomocą odrębnego programu transformacji płaskiej (menu TRNS_xy).

Globalna korekta konforemna dla stref układu **1965** jest reprezentowana przez wielomiany zmiennej zespolonej (stopnia 1 dla strefy 5 lub stopnia 5 dla wszystkich pozostałych stref układu **1965**). Opiera się ona na założeniu, że przekształcenie pomiędzy układem empirycznym a matematycznym (lub odwrotnie) zachowuje cechę wiernokątności. Lokalnie korekta ta nie zmienia kształtu transformowanej sieci, co ma znaczenie np. przy opracowywaniu sieci GPS – jej transformowaniu do układu **1965**. Na podstawie testów przeprowadzonych w poszczególnych strefach układu **1965** można stwierdzić, że globalne korekty konforemne powodują zmniejszenie odchyłek (względem układu empirycznego) przeciętnie o ok. 70% (por. tab. 1). Korekta może być stosowana dwukierunkowo, tzn. także przy przekształceniach odwrotnych (z układu **1965** do układu **1992** lub **2000**).

Globalna korekta afiniczna, realizowana za pomocą wielomianów stopnia 5-6, sprowadza układ matematyczny do postaci odchylającej się od układu empirycznego przeciętnie już tylko o rząd kilku centymetrów (od 0.02 do 0.05 m). Globalna korekta afiniczna może mieć zastosowanie zwłaszcza przy przekształcaniu wektorowych obrazów map. Korekta może być stosowana dwukierunkowo (do - i z układu **1965**).

Kilka uwag krytycznych dotyczących metodyki korekt lokalnych

Korekta lokalna realizuje się dwuetapowo: najpierw za pomocą znanej transformacji Helmerta (liniowej transformacji konforemnej) w oparciu o zidentyfikowane punkty dostosowania klasy wyższej niż klasa punktów transformowanych, a następnie poprzez tzw. korektę Hausbrandta [3], mającą na celu „redystrybucję” powstałych odchyłek na wszystkie punkty transformowane (w szczególności punkty dostosowania zachowują dokładnie współrzędne archiwalne). Korekta tego rodzaju jest proponowana m.in. w projektach nowych przepisów technicznych (Instrukcja G-2). Pomimo bardzo klarownego geometrycznego podejścia, korekta lokalna - oprócz wspomnianych już wymagań dodatkowych w zakresie punktów łącznych - ma pewne wady technologiczne, które mogą niekiedy prowadzić do pogorszenia rezultatów. Dotyczy to kwestii niejednoznaczności „na styku” dwóch niezależnie opracowywanych obiektów oraz problemu możliwej nieaktualności danych, w oparciu o które wyznacza się lokalne parametry transformacji.

- Niejednoznaczność wynika wprost z pewnej dowolności lokalnego układu punktów dostosowania (punktów łącznych transformacji). Jeśli dwa niezależnie opracowywane obiekty (sieci) sąsiadują ze sobą i korzystają z różnych (ale niekoniecznie rozłącznych) zbiorów punktów dostosowania wówczas powstaje problem uzgodnienia współrzędnych punktów położonych na granicy dwóch obszarów („uzgodnienie styków”). Opisany efekt nie musi być wynikiem jakiegoś błędnego punktu dostosowania. Jest to efekt geometryczny, który można zobrazować na przykład zastąpieniem powierzchni regularnej wycinkami płaszczyzn. W przeciwieństwie do omawianych korekt lokalnych korekty globalne prowadzą do wyników jednoznacznych, pod warunkiem, że są skonstruowane jako funkcje ciągłe dla całej strefy odwzorowawczej. Nie analizujemy już szerzej możliwych efektów „większego kalibru”, kiedy przy niekorzystnym układzie lub niewielkiej liczebności punktów dostosowania „zdarzą się” współrzędne z istotnym błędem. Jeśli weźmiemy pod uwagę bliskie już potrzeby przetwarzania dotychczasowego zasobu numeryczno-kartograficznego z układu **1965** do układu **2000**, to względy ekonomiczne (masowość przetwarzania) i niezawodnościowe (do czego nawiązano powyżej) oraz kwestie inne tu wymieniane uzasadniają przyjęcie automatycznych korekt globalnych, jako „generalnie” zweryfikowanego elementu przetwarzania. Dodajmy, że element ten jako część programu jest dla użytkownika „niewidzialny”.

- Problem nieaktualności danych może zaistnieć w sytuacji, gdy współrzędne archiwalne dotyczą innych położenia znaków fizycznych niż ich stan obecny, tj. na moment wykonywania nowych pomiarów. Łatwo zauważyć, że korekta lokalna spowoduje przemieszczenie układu punktów transformowanych, a tym samym całą „treść” nowego pomiaru względem archiwalnego obrazu mapy. Tej wady nie mają korekty globalne (współczynniki korekt globalnych wyznacza się wprawdzie w oparciu o nowo-wyrównane współrzędne punktów I klasy na elipsoidzie GRS-80 ale to wyrównanie zrealizowano jak wiadomo w oparciu o te same zbiory obserwacyjne, z których pozyskiwano współrzędne w układzie **1965**).

Pewną osobliwą różnicą pomiędzy korektami globalnymi i lokalnymi jest to, że korekty globalne można realizować dwukierunkowo pomiędzy matematycznym układem **1965** a jego odpowiednikiem empirycznym: $(x, y)_{1965} \Leftrightarrow (-x, -y)_{1965}$. Odwrotna korekta lokalna wymaga natomiast, by najpierw przekształcić „błędne” współrzędne do układu nowego, a dopiero na płaszczyźnie tego układu dokonać stosownych dopasowań transformacyjnych w oparciu o punkty dostosowania. Oczywiście, takie postępowanie nie jest wadą korekt lokalnych, zmienia tylko w pewnym sensie kolejność operacji elementarnych.

Statystyka odchyleń pomiędzy matematycznym a empirycznym (rzeczywistym) układem „1965” oraz efekty zastosowania korekt globalnych.

Tabela 1 podaje przeciętne (co do wartości bezwzględnej) i maksymalne odchylenia współrzędnych matematycznych (bez korekty i z korektami globalnymi) od współrzędnych archiwalnych, zidentyfikowane na punktach I klasy. Ze szczegółowej analizy różnic współrzędnych można wynieść, że istotne odchylenia „od matematyki” widoczne są zwłaszcza w strefie 3 układu 1965, gdzie historycznie rzecz biorąc osnowa geodezyjna nie stanowiła jednolitego i jednorodnego układu obserwacyjnego. Drugie nie mniej istotne spostrzeżenie dotyczy strefy 5, gdzie zaznacza się widoczne przesunięcie układu empirycznego po osi X w granicach ok. 0.45 m.

Tabela 1: Statystyka odchylek rzeczywistego układu 1965

Wartości odchylek współrzędnych pomiędzy układem matematycznym a układem rzeczywistym „1965” oraz efekty zastosowania korekt konformnych i afinicznych									
PRZECIĘTNE [m]							MAKSYMALNE - WYPADKOWE [m]		
Strefa	bez korekty		z korekta konforemną		z korekta afiniczną		bez korekty [m]	z korekta konforemną [m]	z korekta afiniczną [m]
	e _x [m]	e _y [m]	e _x [m]	e _y [m]	e _x [m]	e _y [m]			
1	0.15	0.17	0.09	0.12	0.05	0.05	0.6	0.4	0.3
2	0.19	0.10	0.04	0.05	0.03	0.04	0.6	0.2	0.2
3	0.20	0.18	0.04	0.04	0.04	0.03	1.0	0.3	0.2
4	0.10	0.12	0.03	0.05	0.03	0.03	0.5	0.2	0.2
5	0.45	0.07	0.05	0.04	0.04	0.02	0.8	0.5	0.5

Globalna korekta konforemna eliminuje tylko systematyczne deformacje strefowe rzeczywistego układu 1965. Ten rodzaj korekty ma znaczenie wtedy, gdy istotnym warunkiem jest zachowanie lokalnego podobieństwa figur, określonych np. precyzyjnymi pomiarami GPS. Może więc służyć do przekształcenia nowych osnów geodezyjnych z układu 1992 lub 2000 do rzeczywistego układu 1965. Zastosowanie tej korekty nie wyklucza dodatkowego użycia korekty lokalnej (jeśli taka możliwość istnieje) z wyrównaniem odchylek na punktach dostosowania.

Globalna korekta afiniczna, jak wynika z tabeli 1, eliminuje istotnie błędność układu 1965, sprowadzając ją do poziomu losowych błędów pomiarowych. Jak wynika ze szczegółowych analiz, tego rodzaju korekta może i powinna być stosowana przy wszelkich przekształceniach obrazów kartograficznych (wektorowych, rastrowych) z układu 1965 do układu 2000 lub 1992 (w tym do automatycznej konwersji plików map cyfrowych, do transformacji siatek kalibracyjnych lub naroży arkuszy map). Również i ta korekta nie wyklucza możliwości dodatkowego zastosowania korekty lokalnej (np. przy transformacji osnów szczegółowych lub pomiarowych do układu 2000 - jeśli w grę wchodzi zachowanie wartości współrzędnych na pewnych punktach dostosowania).

Przykłady ze strefy 3 układu „1965”

Tab. 2

Nap	Elipsoida GRS-80						Współrzędne 1965/3 archiwalne-katalogowe		a) Współrzędne matematyczne		b) Współrzędne z korekta ogólna	
	B			L			~x	~y	x	y	x	y
1	54	29	48.41158	16	27	23.89046	6100829.29	3465383.92	..829.402	..384.822	..829.248	..383.973
2	54	34	3.31863	16	47	34.97248	6108592.40	3487201.83	..592.190	..202.697	..592.303	..201.902
4	54	30	42.61947	16	35	45.13176	6121443.82	3522413.70	..474.249	..422.405	..474.731	..421.882
6	53	52	27.40835	14	26	51.01597	6034445.71	3332750.36	..446.298	..749.779	..445.734	..750.349
7	53	54	30.76120	14	21	52.51828	6038456.44	3327442.32	..457.102	..441.692	..456.517	..442.350
8	53	40	49.52161	14	21	57.08250	6013080.87	3326582.08	..081.345	..581.449	..080.909	..581.989

Wzięto współrzędne B,L kilku punktów I klasy, wyrównanej na elipsoidzie GRS-80. Równocześnie odnotowano archiwalne (katalogowe) współrzędne tych punktów w układzie 1965 strefa 3. Współrzędne B,L przeliczono na płaszczyznę układu 1965 dwójako: a) według wzorów matematycznych (bez korekty), b) przy zastosowaniu ogólnej korekty wielomianowej.

Wyniki pokazują jak bardzo istotne jest zastosowanie korekty aby przy przechodzeniu do układu 1965 wpasować się możliwie najlepiej w układ empiryczny określony przez współrzędne katalogowe: Współrzędne matematyczne różnią się od katalogowych maksymalnie o ok. 0.90m, natomiast po zastosowaniu korekty różnice zmniejszają się nie przekraczając poziomu 0.10m. Zestawienie odchylek podaje tabela 3.

Korekta pozwala w tym przykładzie na lepsze wpasowanie się w istniejący układ archiwalny. W przypadku transformacji odwrotnej (przeliczenie współrzędnych z układu **1965** do układu **2000**, ta sama funkcja korekty poprawia błędne współrzędne katalogowe przed ich ostateczną transformacją do układu **2000**.

Tab.3

Odchyłki				
Nr	dla (x,y)mat.		dla (x,y) z korektą	
	ex	ey	ey	ey
1	0.112	0.902	-0.042	0.054
2	-0.210	0.867	-0.097	0.072
4	0.033	0.868	-0.019	0.045
6	0.588	-0.581	0.024	-0.011
7	0.662	-0.628	0.077	0.030
8	0.475	-0.631	0.039	-0.091

Informacje dodatkowe o programie GEONET unitrans

Pakiet GEONET_unitrans wersja 8.0

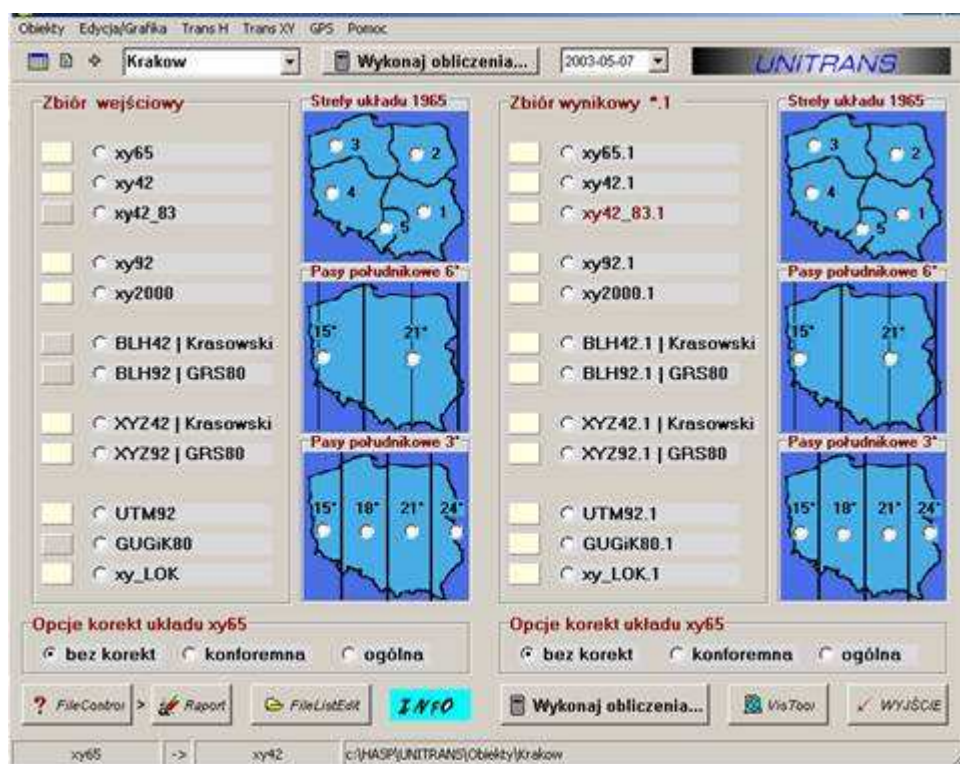
Programy realizujące tylko matematyczne przekształcenia współrzędnych (np. program **TRANSPOL**) są dziś ogólnie dostępne, wolne od opłat licencyjnych.

Pakiet **GEONET_unitrans**, oprócz pełnego zestawu narzędzi korekcyjnych, lokalnych i globalnych zawiera programy związane z transformacjami współrzędnych i zadaniami kartografii numerycznej

- **Moduł obliczeniowy sieci GPS** (konwersja plików postprocessingu, kontrole zamknięć wektorów, wyrównanie sieci GPS do 10000 punktów i 30000 wektorów),
- **Programy transformacji wielomianowej**, konforemnej i afinicznej do stopnia $n=9$, oparte na punktach dostosowania. Służą one m.in. do wyznaczenia parametrów transformacji: Układ **lokalny** \leftrightarrow Układ **1965** umożliwiając włączenie danego układu lokalnego do zbioru układów pomiędzy którymi możliwa jest automatyczna transformacja.
- **Procedury transformacji wysokościowej (niwelacji satelitarnej)** wykorzystujące punkty dostosowania lub numeryczny model geoidy.
- **Edytor graficzny VisTool** w wersji 3.0.
- **Aplikacje służące automatycznej konwersji (transformacji) map wektorowych** (zapisanych w plikach *.dgn lub *.dwg) dla środowisk MICROSTATION lub AutoCAD.

NIEKTÓRE ZMIANY WPROWADZONE OD WERSJI 8.2 W STOSUNKU DO WERSJI POPRZEDNICH PAKIETU:

Okno wejściowe udostępnia więcej funkcji kontrolnych:



Wprowadzono dodatkowy program, diagnozujący poprawność zbiorów wejściowych. Program uruchamiany jest przyciskiem <FileControl>. W wyniku tworzy protokół w postaci pliku tekstowego RAPORT.txt, wyświetlany przy wykorzystaniu przycisku <RAPORT>. Częstym błędem w dotychczasowej praktyce było pomijanie liczby w polu wysokości w zbiorach BLH42 lub BLH92. To powodowało taki skutek, że zamiast wysokości punktu był czytany numer z wiersza następnego, zaś pozostała część rekordu była pomijana (pozorny efekt czytania co drugiego punktu). Przy sprawdzeniu takiego zbioru pojawi się obecnie informacja o błędzie (niepełne rekordy danych). Należy podkreślić, że w

polu wysokości elipsoidalnej musi być wpisana liczba. Jeśli brakuje informacji wysokościowej lub - jeśli ze względu na rodzaj przekształcenia jest ona nieistotna - to w polu tym należy wpisać liczbę: 0.

W palecie przycisków z nazwami zbiorów wejściowych i wynikowych umieszczono dodatkowo prostokątne panele. Jeśli określony zbiór fizycznie istnieje w danym folderze roboczym wówczas odpowiadający panel jest "podświetlony". Informacja ta jest wskazówką, które transformacje są w danym folderze możliwe do wykonania. Panele pełnią też funkcję przycisków, za pomocą których dokonujemy edycji odpowiedniego zbioru (z dostępem do wszystkich funkcji edytora).

Dodatkowe przyciski u dołu okna umożliwiają, niezależnie od funkcji dostępnych z menu, egzekucję zadań transformacji, dostęp do edycji/importu dowolnego zbioru, wywołanie edytora graficznego "VisTool" lub zamknięcie programu.

Najważniejsze zmiany funkcjonalne:

Zmieniona jest funkcja korekt ogólnych układu "1965" – obecnie ma ona postać ujednoliconą, obowiązującą m.in. także w programie SWDE-konwerty 2000. Wielomianowe funkcje korekt (wielomiany stopnia $n = 12 - 16$) zostały wyznaczone w oparciu o wszystkie punkty klasy I + II.

Zmodyfikowano programy modułu GPS oraz programów pomocniczych. Wprowadzono parametry modyfikujące błędy średnie składowych wektorów GPS (elementami dodatkowymi są: błąd średni centrowania i pomiaru wysokości anteny) oraz umożliwiono (opcjonalnie) automatyczne korygowanie tych błędów średnich na podstawie informacji po wyrównaniu sieci (a-posteriori).

MACIERZ TYPÓW PRZEKSZTAŁCEŃ POMIĘDZY UKŁADAMI:

Macierz typów przekształceń pomiędzy różnymi układami stanowi uporządkowany zbiór bezpośrednich funkcji transformacyjnych realizowanych przez program w wyniku pojedynczych jego egzekucji. Macierz tę obrazuje poniższa tabela informacyjna:

	1965	1942	1983	1992	2000	BLHk	BLHg	XYZk	XYZg	UTMg	GU80	Lok
1965	t,k,e	t,k,e	t,k,e	t,k,e	t,k,e	t,k,e	t,k,e	t,k,e	t,k,e	t,k,e	t,k,e	k
1942	t,k,e	T	t	t	t	t	t	t	t	t	t	e
1983	t,k,e	T	t	t	t	t	t	t	t	t	t	e
1992	t,k,e	T	t	t	t	t	t	t	t	t	t	e
2000	t,k,e	T	t	t	t	t	t	t	t	t	t	e
BLHk	t,k,e	T	t	t	t	t	t	t	t	t	t	e
BLHg	t,k,e	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	e
XYZk	t,k,e	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	e
XYZg	t,k,e	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	e
UTMg	t,k,e	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	e
GU80	t,k,e	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	e
Lok	k	e	e	e	e	e	e	E	e	e	e	-

W pierwszej kolumnie i w pierwszym wierszu występują skrócone nazwy układów przyporządkowane według następującego słownika:

Lp	Nazwa skrócona	Nazwa pełna	Nazwa Zbioru wejściowego
1	1965	1965	Xy65
2	1942	1942	Xy42
3	1983	1942 / 83	Xy42_83
4	1992	1992	Xy92
5	2000	2000	Xy2000
6	Blok	BLH(Krakowski)	BLH42
7	Blag	BLH(GRS-80)	BLH92
8	XYZk	XYZ(Krakowski)	XYZ42
9	XYZg	XYZ(GRS-80)	XYZ92
10	UTMg	UTM(GRS-80)	UTM92
11	GU80	GUGIK-80	GUGIK80
12	Lok	Układ lokalny[*]	Xy_lok

Uwagi dodatkowe:

W komórkach na skrzyżowaniu wierszy i kolumn, odpowiadających określonym transformacjom pomiędzy układami występują symbole typów przekształceń, oznaczających odpowiednio:

t - przekształcenie (transformacja) współrzędnych realizowane według formuł matematycznych (teoretycznych, odwzorowawczych) pomiędzy dwoma układami, kartograficznymi, globalnymi (elipsoidalnymi).

k - przekształcenie wielomianowe – konforemne lub złożenie przekształceń, z których finalne ma tę własność. W szczególności są to przekształcenia dotyczące rzeczywistego (archiwalnego) układu „1965”, w których w stosunku do przekształcenia matematycznego zastosowano korekty konforemne.

e - przekształcenie ogólnie-wielomianowe (lokalnie afiniczne, empiryczne) lub złożenie przekształceń, z których finalne ma tę własność. W szczególności są to przekształcenia dotyczące rzeczywistego (archiwalnego) układu „1965”, w których w stosunku do przekształcenia matematycznego zastosowano korekty ogólnie-wielomianowe.

Jeśli w komórce występuje „ t, k, e” , to oznacza możliwość opcjonalnego zastosowania przekształceń alternatywnych: teoretycznych (bez korekt), z użyciem wielomianowej korekty konforemnej, z użyciem korekty ogólnie-wielomianowej układu „1965”.

W przypadku układów lokalnych zakładamy, że transformacje do układu ‘1965’ i odwrotne są typu „k”, gdyż realizująca je formuła (zgodnie z przyjętym założeniem) jest określana przez wielomian konforemny (parametry wielomianu są estymowane w oparciu o punkty dostosowania). Natomiast przejście pomiędzy układem lokalnym a dowolnym innym układem realizowane jest wewnętrznie (w procedurze - bez udziału operatora) poprzez pośrednie przejście przez układ „1965”, gdzie przyjmuje się automatycznie realizację korekty ogólnie-wielomianowej. Takie ujęcie wynika stąd, że formuły przejścia pomiędzy układem lokalnym, a układem „1965” są wyznaczane w oparciu o istniejące w obu układach punkty osnów geodezyjnych (jako punktów dostosowania), a współrzędne tych punktów reprezentują pewne rzeczywiste układy odniesienia. Zatem chcąc automatycznie przejść do innego układu należało na poziomie układu „1965” (jako pośredniego ogniwa przekształcenia) zastosować korektę tego układu jako układu rzeczywistego (nie matematycznego). Wybrano do tego celu korektę ogólnie-wielomianową cechującą się optymalnym „opisem” deformacji rzeczywistego układu „1965”, przy wykorzystaniu wielomianów stopnia 12-16 (w komórkach podany jest symbol „e”). W tym sensie wzięto pod uwagę głównie zadania transformacji dla potrzeb kartograficznych. Nie jest to jednak podejście obowiązkowe przy zastosowaniu omawianego programu, zwłaszcza w problematyce osnów geodezyjnych.

Zawsze istnieje możliwość rezygnacji z użycia korekty globalnej, np. na rzecz korekty lokalnej z użyciem transformacji HELMERTA i korekty post-transformacyjnej HAUSBRANDTA (dotyczy to również układów lokalnych i ich bezpośrednich przekształceń, np. do układu „2000”). W przypadku, gdy na wejściu lub wyjściu jest układ „1965”, wówczas – oczywiście - wybór typu przekształcenia jest opcjonalny. Jeśli natomiast na wejściu jest układ lokalny i realizujemy przekształcenie do układu innego niż „1965”, np. do układu „2000” , wówczas chcąc wykluczyć automatyczne użycie korekty globalnej, możemy zastosować dwa etapy postępowania: najpierw przekształcamy do układu „1965”,

a następnie z układu „1965”, według naszej woli – bez korekt globalnych lub z ich użyciem. Oczywiście, na poziomie układu docelowego możemy zastosować korektę lokalną opartą na punktach dostosowania.

Elementy diagonalne (przekątniowe) schematu to przekształcenia danego układu na siebie. Jeśli np. jest to układ wielostrefowy to operacja diagonalna może oznaczać transformację ze strefy na strefę tego samego układu. W przypadku układu „1965” operacja diagonalna może też oznaczać np. przeliczenie z układu rzeczywistego (empirycznego) do układu matematycznego (na wejściu stosujemy opcję korekty, natomiast na wyjściu – opcję bez korekt).

Wszystkie zbiory wynikowe są tworzone jako zbiory jawne - tekstowe. Wynikowe zbiory współrzędnych płaskich utworzone programem **unitrans.exe** zawierają obok współrzędnych elementarne zniekształcenie liniowe (w punkcie odwzorowania) wyrażone w [cm / km] oraz wartość konwergencji w gradach. Dodatkowo w tych zbiorach wynikowych podawana jest krótka informacja tekstowa identyfikująca układ i strefę.

Opcje korekt układu „1965” stosujemy wyłącznie przy przeliczeniach, w których jednym ze zbiorów wejściowych lub wynikowych jest układ „1965”, za wyjątkiem przypadku, gdy układem drugim jest układ lokalny (formuła przejścia pomiędzy układem lokalnym a układem „1965” jest już oparta na danych rzeczywistych).

**PRZYKŁADY DO TESTOWANIA PROCEDUR TRANSFORMACJI WSPÓŁRZĘDNYCH
(w szczególności funkcji korekt układu "1965").
Obliczenia wykonano programem GEONET_unitrans**

1) Współrzędne geograficzne-geodezyjne na elipsoidzie GRS-80 (WGS-84) jako dane pierwotne:

Nr	B			L			H [m]
	°	'	"	°	'	"	
40	51	24	0	19	6	0	0.0000
50	51	18	0	23	12	0	0.0000
60	49	18	0	22	12	0	0.0000
70	49	30	0	19	30	0	0.0000
80	52	30	0	20	6	0	0.0000
90	54	6	0	20	6	0	0.0000
100	54	6	0	23	6	0	0.0000
110	52	18	0	23	0	0	0.0000
120	53	0	0	14	18	0	0.0000
130	54	0	0	15	0	0	0.0000
140	54	24	0	18	6	0	0.0000
150	52	18	0	15	6	0	0.0000
160	52	6	0	18	18	0	0.0000
170	50	24	0	17	30	0	0.0000
180	51	6	0	15	12	0	0.0000
190	50	6	0	18	12	0	0.0000
200	51	0	0	18	18	0	0.0000
210	50	18	0	19	24	0	0.0000
220	50	0	0	19	6	0	0.0000

2) Współrzędne geocentryczne (XYZ) dla GRS/WGS-84 elipsoidy:

Nr	X	Y	Z	[m]
40	3767841.60686	1304732.13781	4961428.95879	
50	3672899.99889	1574206.95028	4954480.40408	
60	3858285.84080	1574537.28607	4812381.34344	
70	3912253.40292	1385401.59042	4826856.82966	
80	3653987.33752	1337169.47967	5036864.58472	
90	3519917.33022	1288106.82418	5143278.36844	
100	3447679.10346	1470559.75792	5143278.36844	
110	3597887.24799	1527212.52833	5023285.81848	
120	3727493.17111	950126.09533	5070543.50324	
130	3629191.07534	972438.81782	5136743.83131	
140	3536967.65832	1156059.22895	5162788.13404	
150	3773648.39946	1018208.48220	5023285.81848	
160	3727621.42771	1232792.92010	5009646.05105	
170	3885138.42421	1224979.43978	4891269.48565	
180	3872976.80576	1052264.50886	4940538.21290	
190	3894255.71448	1280366.13214	4869931.32657	
200	3818618.38249	1262887.28558	4933544.62011	
210	3850466.41975	1355963.27494	4884171.57287	
220	3881721.70431	1344166.65723	4862789.03759	

3) Współrzędne geograficzne-geodezyjne dla elipsoidy Krasowskiego

Nr	B[o ' "]	L[o ' "]	H [m]
40	51 24 1.1072950	19 6 6.4439190	-34.4560
50	51 18 0.8676800	23 12 6.3556216	-27.8553
60	49 18 1.0100122	22 12 6.0923012	-30.4235
70	49 30 1.1577218	19 30 6.1640269	-34.8818
80	52 30 1.0036219	20 6 6.6027594	-32.2649
90	54 6 0.9392471	20 6 6.8763019	-31.4897
100	54 6 0.7538810	23 6 6.8163398	-26.9265
110	52 18 0.8369502	23 0 6.5150140	-27.7647
120	53 0 1.3392412	14 18 6.7398966	-41.1487
130	54 0 1.2603625	15 0 6.9116025	-39.3762
140	54 24 1.0518909	18 6 6.9590848	-34.3883
150	52 18 1.3150431	15 6 6.6212479	-40.3615
160	52 6 1.1283054	18 18 6.5631601	-35.3517
170	50 24 1.2403957	17 30 6.3137239	-37.6922
180	51 6 1.3515551	15 12 6.4333391	-41.0344
190	50 6 1.2104903	18 12 6.2635974	-36.7104
200	51 0 1.1704027	18 18 6.3934174	-35.9967
210	50 18 1.1323997	19 24 6.2772488	-34.5858
220	50 0 1.1616190	19 6 6.2386772	-35.2618

4) Współrzędne centryczne (XYZ) dla elipsoidy Krasowskiego

Nr	X	Y	Z
40	3767817.95169	1304855.77303	4961510.72038
50	3672877.36416	1574331.21241	4954562.65274
60	3858263.32689	1574661.03742	4812463.42571
70	3912230.16459	1385524.93687	4826938.58139
80	3653963.73860	1337293.47660	5036946.49530
90	3519893.44518	1288231.14311	5143360.31752
100	3447655.90385	1470684.52567	5143360.65329
110	3597864.37562	1527336.93808	5023368.06248
120	3727468.05976	950249.40767	5070624.75029
130	3629165.98955	972562.43582	5136825.19800
140	3536943.25260	1156183.33320	5162869.86554
150	3773623.59324	1018331.74520	5023367.13235
160	3727597.45686	1232916.57547	5009727.73839
170	3885114.52352	1225102.65024	4891351.01952
180	3872952.20114	1052387.53817	4940619.49099
190	3894232.04251	1280489.38898	4870012.93648
200	3818594.59174	1263010.72644	4933626.27249
210	3850443.02377	1356086.74966	4884253.33743
220	3881698.28089	1344290.03140	4862870.75565

5) Współrzędne w układzie "2000"

Nr	STREFA 1(15)		zniekształcenie		konwergencja	
	x	y	[cm/km]	[g]		
120	5874397.28998	5453007.88134	-4.991	-0.621172	<2000>	Lo = 15
130	5985455.11274	5500000.00000	-7.700	-0.000000	<2000>	Lo = 15
150	5796282.97227	5506821.27152	-7.643	0.087914	<2000>	Lo = 15
180	5662793.60592	5514008.25037	-7.459	0.172943	<2000>	Lo = 15
STREFA 2(18)						
40	5696722.20058	6576544.68389	-0.509	0.955238	<2000>	Lo = 18
70	5485894.08650	6608644.53945	6.794	1.267466	<2000>	Lo = 18
140	6029979.78209	6506494.05009	-7.648	0.090345	<2000>	Lo = 18
160	5774068.21079	6520555.85821	-7.181	0.263029	<2000>	Lo = 18
170	5585029.64609	6464453.25011	-6.149	-0.428067	<2000>	Lo = 18
190	5551561.70080	6514308.27912	-7.449	0.170481	<2000>	Lo = 18
200	5651693.35514	6521057.66183	-7.156	0.259050	<2000>	Lo = 18
210	5574725.03947	6599738.57785	4.513	1.196942	<2000>	Lo = 18
220	5541000.31431	6578858.42041	-0.065	0.936324	<2000>	Lo = 18
STREFA 3(21)						
60	5463263.67194	7587269.91899	1.652	1.010909	<2000>	Lo = 21
70	5485894.08650	7391355.46055	6.794	-1.267466	<2000>	Lo = 21
80	5818912.34980	7438886.14434	-3.117	-0.793378	<2000>	Lo = 21
90	5996959.40490	7441128.62875	-3.449	-0.810065	<2000>	Lo = 21
STREFA 4(24)						
50	5685327.26581	8444209.46987	-3.880	-0.693734	<2000>	Lo = 24
100	5996959.40490	8441128.62875	-3.449	-0.810065	<2000>	Lo = 24
110	5796749.26763	8431788.14599	-1.990	-0.879171	<2000>	Lo = 24

6) Układ "1992"

Nr			zniekształcenie, zbieżność połudn.		
	x	y	[cm/km]	conv. [g]	
40	392603.69592	506954.36554	-69.941	0.086836	<1992>
50	389859.35815	792662.71651	35.210	3.644579	<1992>
60	164093.24889	732559.31778	-3.539	2.696791	<1992>
70	181515.34216	536192.85383	-68.391	0.422452	<1992>
80	515474.83402	574647.78298	-63.158	0.969699	<1992>
90	693407.86814	571908.61238	-63.653	0.990093	<1992>
100	700620.40775	767956.69785	18.139	3.692371	<1992>
110	500201.88063	772625.10084	21.274	3.518702	<1992>
120	580843.80196	184773.45123	52.015	-4.174065	<1992>
130	689131.39152	237946.30216	14.300	-3.597663	<1992>
140	726591.22943	441590.72689	-65.813	-0.813124	<1992>
150	499829.66153	234187.83286	16.769	-3.430631	<1992>
160	470659.30721	452066.45240	-67.179	-0.613744	<1992>
170	282505.46395	393428.20932	-56.048	-1.284309	<1992>
180	366114.42706	234050.09872	16.882	-3.287831	<1992>
190	248390.01221	442802.84911	-65.981	-0.681943	<1992>
200	348362.37846	450896.27521	-67.038	-0.604459	<1992>
210	270391.16407	528479.45780	-69.004	0.341958	<1992>
220	236973.23814	507164.55603	-69.937	0.085116	<1992>

7) Układ "1965" (teoretyczny)- wynik przekształceń matematycznych z elipsoidy GRS-80

STREFA 1 (quasi-stereographic projection)							
Nr	x	y [m]	[cm/km]	conv.[g]			
40	5555090.67391	4499130.75730	-3.573	-1.711467	<1965>	strefa:	1
50	5544227.35941	4784711.61613	-2.950	1.828405	<1965>	strefa:	1
60	5320281.86674	4718333.23263	-2.723	0.951457	<1965>	strefa:	1
70	5343133.01149	4522449.11592	-2.523	-1.347547	<1965>	strefa:	1
210	5432244.87051	4517217.58423	-10.450	-1.441002	<1965>	strefa:	1
220	5399416.38159	4494961.43989	-4.808	-1.694453	<1965>	strefa:	1
STREFA 2 (quasi-stereographic projection)							
80	5751109.43013	4507882.08219	-12.600	-1.239113	<1965>	strefa:	2
90	5929121.38200	4511370.59872	-5.551	-1.252123	<1965>	strefa:	2
100	5929388.75171	4707595.25153	-3.951	1.429328	<1965>	strefa:	2
110	5728990.33217	4705240.24364	-9.946	1.324124	<1965>	strefa:	2
STREFA 3 (quasi-stereographic projection)							
130	6047264.65611	3369464.18446	-7.960	-1.798885	<1965>	strefa:	3
140	6090464.61802	3572012.39221	-11.776	0.982978	<1965>	strefa:	3
STREFA 4 (quasi-stereographic projection)							
40	5599713.61183	3872026.96414	-2.008	2.113840	<1965>	strefa:	4
150	5698190.56149	3595894.72687	-9.852	-1.374760	<1965>	strefa:	4
160	5676026.88472	3814642.06588	-10.877	1.424644	<1965>	strefa:	4
170	5486011.51454	3761974.13471	-5.665	0.716705	<1965>	strefa:	4
180	5564576.99089	3600022.77367	-11.099	-1.276649	<1965>	strefa:	4
200	5553685.61097	3817366.63450	-8.672	1.413824	<1965>	strefa:	4
STREFA 5 (GAUSS-KRUEGER projection)							
40	996633.78669	246983.41612	-1.578	0.124572	<1965>	strefa:	5
200	952330.34657	190911.74365	0.907	-0.566947	<1965>	strefa:	5
210	874348.90528	268592.10007	-0.475	0.379071	<1965>	strefa:	5
220	840896.01781	247281.07047	-1.570	0.122057	<1965>	strefa:	5

Uwaga: dla kontroli, niektóre punkty wyznaczono w różnych strefach układu.

7a) Układ "1965" rzeczywisty (empiryczny, dopasowany do danych archiwalnych)
[przekształcenie pomiędzy układem rzeczywistym a teoretycznym realizują
funkcje korekt wielomianowych]

STREFA 1							
40	5555090.85753	4499130.72807	-3.573	-1.711467	<1965>	strefa:	1
50	5544227.28850	4784711.69631	-2.950	1.828405	<1965>	strefa:	1
60	5320281.92444	4718332.95870	-2.723	0.951457	<1965>	strefa:	1
70	5343133.24144	4522448.95114	-2.523	-1.347547	<1965>	strefa:	1
210	5432245.26404	4517217.61085	-10.450	-1.441002	<1965>	strefa:	1
220	5399416.79489	4494961.35872	-4.808	-1.694453	<1965>	strefa:	1
STREFA 2							
80	5751108.98309	4507882.30505	-12.600	-1.239113	<1965>	strefa:	2
90	5929121.31579	4511370.61833	-5.551	-1.252123	<1965>	strefa:	2
100	5929388.88756	4707595.20553	-3.951	1.429328	<1965>	strefa:	2
110	5728990.32765	4705240.36993	-9.946	1.324124	<1965>	strefa:	2
STREFA 3							
130	6047264.02223	3369464.34621	-7.960	-1.798885	<1965>	strefa:	3
140	6090464.84299	3572012.34467	-11.776	0.982978	<1965>	strefa:	3
STREFA 4							
40	5599713.80897	3872026.90682	-2.008	2.113840	<1965>	strefa:	4
150	5698190.52623	3595894.79264	-9.852	-1.374760	<1965>	strefa:	4
160	5676026.79802	3814641.71068	-10.877	1.424644	<1965>	strefa:	4
170	5486012.00804	3761973.94271	-5.665	0.716705	<1965>	strefa:	4
180	5564577.02196	3600022.86200	-11.099	-1.276649	<1965>	strefa:	4
200	5553686.19138	3817366.49582	-8.672	1.413824	<1965>	strefa:	4
STREFA 5							
40	996633.98642	246983.36144	-1.578	0.124572	<1965>	strefa:	5
200	952330.93837	190911.62686	0.907	-0.566947	<1965>	strefa:	5
210	874349.30710	268592.10962	-0.475	0.379071	<1965>	strefa:	5
220	840896.43004	247280.97269	-1.570	0.122057	<1965>	strefa:	5

Uwaga: dla kontroli, niektóre punkty wyznaczono w różnych strefach układu "1965"
