

**Kazimierz Fic**

***Oddział Kartografii Morskiej BHMW***

## **TRANSFORMACJE UKŁADÓW WSPÓLRZĘDNYCH STOSOWANE W ODDZIALE KARTOGRAFII MORSKIEJ BIURA HYDROGRAFICZNEGO MARYNARKI WOJENNEJ**

W procesie opracowywania morskich map nawigacyjnych w zasadzie wykorzystuje się współrzędne geodezyjne (geograficzne) B i L ( $\varphi$  i  $\lambda$ ). Przedstawianie punktów we współrzędnych płaskich (x i y) ma mniejsze znaczenie i wykorzystuje się je do rozwiązywania zadań pomocniczych np. w transformacji układów współrzędnych.

Od 1995 roku BHMW rozpoczęło opracowywanie map morskich w układzie współrzędnych i na elipsoidzie WGS-84. Zaistniała zatem konieczność transformacji wszystkich dotychczas stosowanych układów współrzędnych do nowego układu. Najistotniejszymi układami współrzędnych, w których opracowywano materiały źródłowe są:

- „1942” (później 1942/83). W układzie tym opracowane były mapy topograficzne służące do nanoszenia linii i sytuacji brzegowej (Służba Topograficzna WP) oraz materiały sondażowe wykonywane przez jednostkę hydrograficzną Marynarki Wojennej;
- „1965” - mapy podstawowe wykonywane przez jednostki cywilne;
- „Rauenberg” - materiały sondażowe wykonywane przez Urzędy Morskie oraz dotychczas wykonywane mapy morskie;
- układy lokalne jak „Gdańsk 70” czy „miejski Szczeciński”, niektóre materiały sondażowe i sytuacyjne;
- ED-50 - układ współrzędnych stosowany na mapach morskich państw „zachodnich” i przyległych do naszych wód morskich.

W pierwszej kolejności przystąpiono do opracowania: katalogu współrzędnych (w różnych układach), tablic do przeliczania współrzędnych geodezyjnych na płaskie i odwrotnie, tablic kartograficznych dla elipsoidy WGS-84. Wszystkie tablice obliczone zostały na wzór dotychczas istniejących w głównej mierze dla elipsoidy Krassowskiego. Obliczenia zostały dokonane przy pomocy kalkulatora. Następnie przystąpiono do transformacji posiadanych współrzędnych do układu WGS-84.

Wszystkie transformacje powodują zniekształcenia i błędy, które rosną ze wzrostem obszaru. Dla celów geodezyjnych zniekształcenia i błędy często są niedopuszczalne i dyskwalifikują przez to niektóre metody transformacji. Natomiast dla potrzeb kartografii morskiej zniekształcenia i błędy mogą być większe, dlatego też stosowanie większości sposobów transformacji może być dopuszczalne. Jeżeli przyjmiemy, że błędy naniesienia pozycji na opracowywaną mapę nie powinny przekraczać 0,01 mm w skali mapy to np. dla map w skali 1:150 000 dokładność pozycji punktów może wynosić nawet 1,5 metra. Natomiast dla potrzeb geodezji taka dokładność jest niedopuszczalna.

Aby zastosować jakąkolwiek metodę transformacji niezbędne jest posiadanie odpowiedniej ilości punktów wspólnych w starym i nowym układzie współrzędnych. W początkowym okresie BHMW nie posiadało żadnego punktu wspólnego, dlatego przystąpiono do transformacji wybranych punktów w układzie „1942” do WGS-84 przy pomocy modelu transformacji Bursy-Wolfa, wykorzystując dostępne wówczas współczynniki transformacji:

$$\Delta X = + 29,199 \text{ m}$$

$$\Delta Y = - 106,452 \text{ m}$$

$$\Delta Z = - 68,869 \text{ m}$$

$$k = - 1,4789 \times 10^{-6}$$

$$\varepsilon_x = -0,594'' = - 2,8798 \times 10^{-6} \text{ [rad]}$$

$$\varepsilon_y = -0,124'' = - 6,0117 \times 10^{-7} \text{ [rad]}$$

$$\varepsilon_z = -0,066'' = +3,1998 \times 10^{-7} \text{ [rad]}$$

Wektorowe równanie transformacyjne w tym modelu ma postać:

$$X_{wes} = \Delta X + (1+k) \times X_{42} + \varepsilon_z \times Y_{42} - \varepsilon_y \times Z_{42}$$

$$Y_{wes} = \Delta Y + (1+k) \times Y_{42} + \varepsilon_z \times X_{42} - \varepsilon_x \times Z_{42}$$

$$Z_{wes} = \Delta Z + (1+k) \times Z_{42} + \varepsilon_y \times X_{42} - \varepsilon_x \times Y_{42}$$

Zamianę współrzędnych geodezyjnych na współrzędne przestrzenne (kartezjańskie) i odwrotnie dokonuje się według wzorów przyjętych i stosowanych w geodezji. BHMW nie posiadało programów do przeliczeń, dlatego metoda była czasochłonna i wymagała wzmożonej uwagi ze względu na możliwość pomyłek. Współczynniki do transformacji nie były precyzyjne i metoda transformacji nie była zbyt dokładna. W późniejszym okresie, kiedy już otrzymano niektóre współrzędne punktów sieci POLREF, dokonano porównania i okazało się, że metodą Bursy-Wolfa popełniono następujące błędy na wybranych punktach:

- Barzowice  $\Delta = 2,18 \text{ m}$
- Roszczyce  $\Delta = 1,16 \text{ m}$
- Buszkowy  $\Delta = 1,29 \text{ m}$

Ponieważ OKM wykorzystywał obliczone tą metodą współrzędne do dalszej transformacji, to błędy były przenoszone.

Do transformacji metodą Bursy-Wolfa wybierano takie punkty, z których można było tworzyć trójkąty i dalej transformować współrzędne metodą afiniczną. Ukształtowanie naszego wybrzeża pozwala na ograniczone stosowanie metody afinicznej. Metodę tą można stosować tylko w Zatoce Gdańskiej, Zalewie Wiślanym, Zatoce Pomorskiej i Zalewie Szczecińskim. Natomiast na wybrzeżu środkowym od Rozewia do Niechorza metodę można stosować w ograniczonym zakresie. Dla wybrzeża środkowego najkorzystniejszą wydaje się być metoda Helmerta. Zarówno transformacja afiniczna jak i Helmerta wykonywane są we współrzędnych płaskich. Z tego powodu konieczne są transformacje współrzędnych geodezyjnych na płaskie i odwrotnie. Jak już wspomniano wcześniej w OKM opracowano tablice do przeliczeń współrzędnych dla różnych elipsoid. Tablice obliczono jedynie dla pasa o szerokości  $2^\circ$  (od szerokości geograficznej  $53^\circ$  do  $55^\circ$ ).

W późniejszym okresie został opracowany program komputerowy „PRZELICZANIE”. Program ten opracowano dla elipsoid Bessela, Krassowskiego, Hayforda i WGS-84 (GRS-80) gdzie uwzględniono odwzorowania: Gaussa-Krügera oraz UTM. W programie istnieje również możliwość przeliczania współrzędnych w odwzorowaniach 1992 i 2000. Program jest wykorzystywany do chwili obecnej. W BHMW dosyć szeroko stosuje się transformacje metodą Mołodziejskiego, która jest zalecana przez Międzynarodową Organizację Hydrograficzną. Z całą pewnością metoda ta nie nadaje się do transformacji współrzędnych dla potrzeb geodezji, ale może być wystarczająco dokładna dla potrzeb nawigacji i kartografii morskiej. Warunkiem jest posiadanie w miarę dokładnych wartości  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  i  $\Delta Z$ .

Zaproponowane wartości  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  i  $\Delta Z$  przez Międzynarodową Organizację Hydrograficzną dla transformacji układu „1942” do układu WGS-84 (USER’S HANDBOOK ON DATUM TRANSFORMATIONS INVOLVING WGS-84 – dokument S-60), nie spełniały oczekiwań, błędy transformacji nawet dla kartografii okazały się nie do przyjęcia. Błędy transformacji wynosiły ponad 11 metrów. Należy jednak zaznaczyć, że publikacja S-60 nie podała (w I wydaniu) wartości parametrów na obszar Polski. W późniejszych wydaniach S-60 podano już wartości parametrów dla Polski i wówczas błędy transformacji zmniejszyły się do wartości około 2 metrów.

Z chwilą otrzymania niektórych punktów z sieci POLREF obliczono własne współczynniki z podziałem na rejony.

W tabeli 1 przedstawiono parametry transformacyjne układu „1942” do WGS-84 dla metody Mołodziejskiego.

**Tabela 1**

Rejon	$\Delta a$ [m]	$\Delta f \times 10^4$	$\Delta X$ [m]	$\Delta Y$ [m]	$\Delta Z$ [m]
<b>Rosja (wg S-60)</b>	-108	0,00480795	28	-130	-95
<b>Strefa wybrzeża RP (wg OKM BHMW)</b>	-108	0,00480795	23,5736	-124,3915	-82,8901
<b>Zatoka Gdańska (wg OKM BHMW)</b>	-108	0,00480795	28,166	-122,853	-76,429
<b>Wybrzeże Środkowe (wg OKM BHMW)</b>	-108	0,00480795	21,6822	-124,9018	-85,5669
<b>Zatoka Pomorska (wg OKM BHMW)</b>	-108	0,00480795	14,4800	-126,9166	-95,5598

W miarę otrzymywania nowych współrzędnych punktów systematycznie poprawiano współczynniki transformacyjne dla wszystkich stosowanych metod.

W tabeli 2 przedstawiono uzyskane dokładności transformacji układu „1942” do WGS-84 metodą Mołodziejskiego i metodą afiniczną.

**Tabela 2**

<b>Punkty</b>	<b>wg współczynników z S-60</b>	<b>Dla całego wybrzeża współ. własne</b>	<b>Dla rejonów współ. własne</b>	<b>Transformacja afiniczna współczynniki dla rejonów</b>
<b>Rybina</b>	11,15 m	0,14 m	0,08 m	0,08 m
<b>Grabno</b>	11,28 m	0,15 m	0,16 m	0,09 m
<b>Rzewnowo</b>	11,59 m	0,15 m	0,15 m	0,07 m
<b>Świnoujście</b>	11,64 m	0,22 m	0,13 m	-----
<b>Glinki</b>	11,62 m	0,12 m	0,13 m	0,02 m

Do porównania dokładności (tabela 2) wzięto punkty sieci POLREF, których nie wykorzystano do obliczeń współczynników transformacji za wyjątkiem Świnoujścia dla metody afinicznej.

Początkowo wszystkie obliczenia transformacyjne wykonywane były ręcznie tzn. za pomocą kalkulatora a obecnie funkcjonuje program komputerowy „KONWERSJE”. W programie tym opracowane są transformacje Mołdziejskiego, afiniczna i Helmerta.

Po wykonaniu transformacji punktów w układzie „1942” do WGS-84 rozpoczęto wyszukiwanie i dopasowywanie punktów w układzie Rauenberg i WGS-84. W następnej kolejności obliczono współczynniki do wszystkich metod transformacji układu Rauenberg do WGS-84. Podobnie postąpiono z układem „65” oraz lokalnymi „Gdańsk 70” i „miasta Szczecin”.

W miarę otrzymywania nowych informacji o współrzędnych punktów w układzie WGS-84 (POLREF) uaktualniany jest katalog punktów kartograficznych oraz poprawiane współczynniki do transformacji.

Katalog zawiera stałe punkty brzegowe, oznakowanie pływające (pławy) i akweny morskie (redy, kotwicowiska itp.)

Wszystkie punkty określone bezpośrednio w układzie WGS-84, zarówno przez Urzędy Morskie, jednostkę hydrograficzną MW oraz inne instytucje związane z gospodarką morską są traktowane jako „punkty pewne” i wypierają współrzędne otrzymane poprzez transformacje.

Czy istnieje konieczność doskonalenia transformacji starych układów współrzędnych do układu WGS-84? Tak istnieje, ponieważ często zdarza się wykorzystywać archiwalne materiały do różnego rodzaju porównań lub kontrolnego sprawdzania. Czasem bywa również tak, że nowe materiały są opracowywane w starych układach np. „Gdańsk 70”. Ponadto nie wszystkie punkty stałe zostały określone w układzie WGS-84 i dlatego, w miarę otrzymywania nowych danych,

należy uaktualniać współczynniki do transformacji i poprawiać obliczone wcześniej współrzędne.

Rozporządzenie Prezesa Rady Ministrów (Dz.U.Nr.70 poz.821 z 2000 roku) nakłada, na wszystkie instytucje i urzędy, obowiązek przejścia na nowe układy współrzędnych do końca 2009 r. Po tym okresie też będzie istniała potrzeba znajomości transformacji starych układów do nowych opartych o elipsoidę WGS-84 (GRS 80).