

OPRACOWANIE MAPY POZIOMYCH RUCHÓW SKORUPY ZIEMSKIEJ NA OBSZARZE EUROPY NA PODSTAWIE DANYCH SERWISU EPN

© Bednarek R., Kontny B., 2007

Сучасні геодинамічні дослідження в глобальному і регіональному масштабах реалізуються мережею перманентних GNSS станцій, що розташовані по всій поверхні Землі.

Континентальна мережа EPN (EUREF перманентна мережа) це європейська мережа майже 200 станцій, основне призначення яких – обслуговування ETRF89. Один із багатьох доступних продуктів цієї мережі – часові зміни координат станцій, що вивчаються у рамках проекту “EPN Coordinate Time Series Analysis». Аналіз, інтерпретація і візуалізація векторів швидкості руху перманентних станцій можуть використовуватися для різноманітних геодинамічних досліджень, особливо в місцевому масштабі. Основна мета даного дослідження полягала в тому, щоб знайти кореляцію між полем швидкостей перманентних станцій EPN та тектонікою Європи. Приведені методика та технологія досліджень. Одним із результатів дослідження було знайти відповідь на питання про можливості визначення усереднених векторів швидкості для кожної окремої тектонічної одиниці, яка би ілюструвала рух цілої тектонічної структури.

Contemporary geodynamic investigations on a global and regional scale are being realized by network of permanent GNSS stations distributed all over the Earth. The Continental EPN (EUREF Permanent Network) is a European network of 200 permanent stations and the main assignment of EPN is the maintenance of ETRF89. One from many available products as part of project “EPN Coordinate Time Series Analysis Special Project” are components of the velocity vectors of EPN stations. The data, which are gathered by the permanent stations and transferred to analysis centres, allow to create weekly combined EPN solutions. They are the basis for the estimation of coordinates and velocities for each of the EPN stations. The analysis, interpretation and visualization of motion velocity vectors of permanent stations can be used for different interdisciplinary research, especially for locally geodynamic investigations. The main aim of the elaboration was to find a correlation between velocity fields of EPN stations and the tectonics of Europe. Based on the geological maps, major tectonic structures have been distinguished. For each unit the continuous velocity field has been developed by means of kriging’s method of interpolation implemented in Surfer software. Moreover, to establish the areas of homogenous changes, the k-means method of cluster analysis technique was used. One of the research stages was to find the answer to the question about possibility to determine average velocity vector of motion for each tectonic unit, which will be illustrating mobility of the whole tectonic structure.

1. Wprowadzenie. Współczesne badania geodynamiczne w skali globalnej i regionalnej realizowane są przez sieć stacji permanentnych GNSS rozmieszczonych na całej Ziemi. Kontynentalna sieć EPN (EUREF Permanent Network)^[1] została utworzona pod egidą Międzynarodowej Asocjacji Geodezyjnej (IAG), a dokładnie przez Podkomisję EUREF, która powołana została na Zgromadzeniu Generalnym IUGG^[2] w Vancouver w 1987r. w celu zdefiniowania, realizacji i utrzymania europejskiego systemu i układu odniesienia. Odpowiedzialna za ogólne zarządzanie siecią EPN jest specjalna grupa robocza (EUREF TWG), która przedstawia wytyczne, zasady i priorytety dla EPN publikując je w

^[1] EPN (EUREF Permanent Network) – <http://www.epncb.oma.be/>

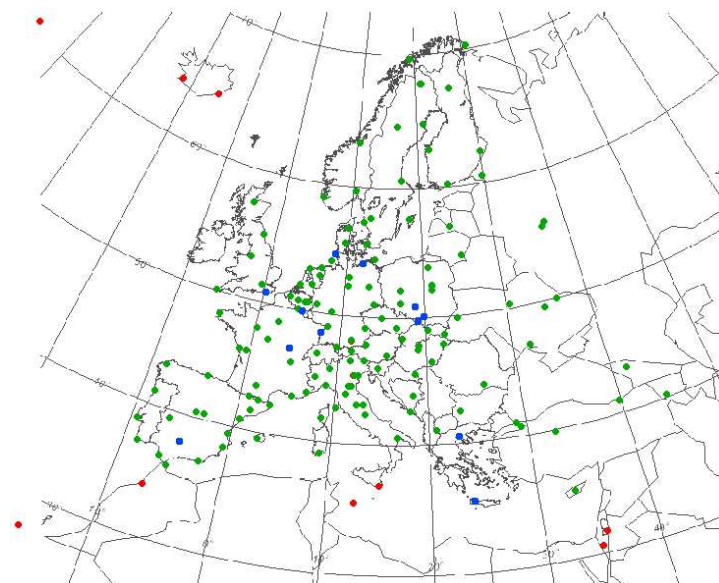
^[2] IUGG – The International Union of Geodesy and Geophysics

rezolucjach i na corocznych sympozjach. Zadaniem sieci EPN jest konserwacja układu ETRF89, ale również gromadzone dane wykorzystywane są w celach naukowych, takich jak: analiza szeregów czasowych dla badań geodynamicznych oraz estymacja parametrów troposfery (EUREF TWG, 2002). EPN jest społeczną organizacją skupiającą ponad 100 europejskich agencji i uniwersytetów, która opracowuje konkretne produkty w oparciu o dane z obecnie około 200 permanentnych stacji GNSS, rozproszonych w prawie wszystkich europejskich krajach.

Jednym z produktów udostępnionych w ramach projektu „EPN Coordinate Time Series Analysis Special Project” są składowe wektory prędkości ruchu stacji EPN. Dane, gromadzone na stacjach i przesyłane do centrów analiz, pozwalają na wyznaczenie tygodniowych rozwiązań sieci, które są podstawą do estymacji współrzędnych i prędkości każdej stacji EPN. Analiza, interpretacja i wizualizacja wektorów prędkości ruchu stacji EPN może być wykorzystana do różnych analiz interdyscyplinarnych, a w szczególności dla lokalnych badań geodynamicznych.

Dane źródłowe stanowiły składowe wektory prędkości stacji sieci EPN w układzie ETRF2000 oraz ITRF2000 (na epokę 1997.0) wyrażone w milimetrach na rok. Estymowane prędkości stacji uzyskuje się na podstawie wyrównania cotygodniowych rozwiązań sieci EPN, kombinowanych z rozwiązań lokalnych centrów analiz. Do obliczeń wykorzystano rozwiązania od 860 do 1378 tygodnia GPS, z których wyeliminowane zostały obserwacje odstające. Aktualizowane co miesiąc współrzędne i prędkości stacji obliczane są wykorzystując oprogramowanie CATREF, które pozwala zminimalizować wpływ zmian współrzędnych punktów nawiazania na końcowy wynik (Kenyeres, 2006). Składowe wektory prędkości podane w układzie ETRF2000 są odniesione do płyty europejskiej. Szczegółowy opis procedury wyznaczenia wszystkich produktów dostępnych w ramach tego projektu można znaleźć na stronie internetowej serwisu EPN (<http://www.epncb.oma.be>). Ponadto w badaniach wykorzystano współrzędne geodezyjne B i L stacji sieci EPN oraz daty rozpoczęcia pracy każdej stacji permanentnej.

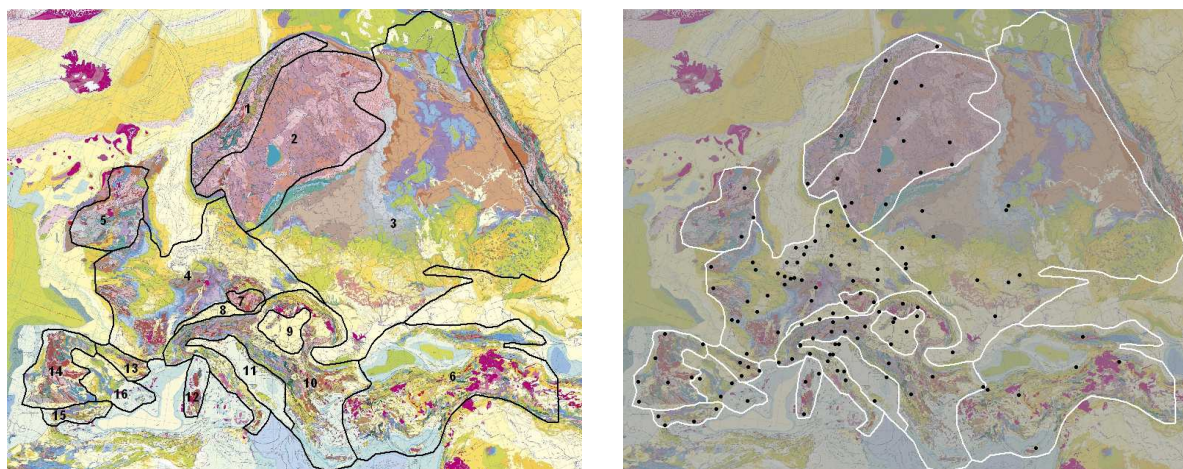
2. Analiza danych źródłowych. Dane źródłowe stanowiły podstawę do dalszych analiz mających na celu wybranie stacji permanentnych spełniających kilka warunków. Za główne kryterium wyboru stacji do dalszych badań uznano odpowiednią długość szeregu czasowego współrzędnych na podstawie którego estymowano prędkości każdej stacji oraz lokalizację stacji na obszarze Europy. Do dalszych badań zakwalifikowano stacje permanentne sieci EPN, które rozpoczęły prace przed 1 stycznia 2003 roku. Warunek ten zapewniał, iż w badaniach nie zostaną uwzględnione stacje o zbyt krótkim szeregu czasowym współrzędnych. Ze względu na fakt, iż w ramach sieci EPN pracuje kilkanaście stacji zlokalizowanych poza kontynentem europejskim, wykonano odpowiednią selekcję stacji ze względu na ich położenie. Ostatecznie ze 175 stacji permanentnych zakwalifikowano do dalszych analiz 140 stacji (rys.1).



Rys. 1. Rozmieszczenie stacji permanentnych EPN (kolor zielony – stacje zweryfikowane pozytywnie do dalszych badań, kolor niebieski – stacje o zbyt krótkim szeregu czasowym współrzędnych, kolor czerwony – stacje położone poza obszarem badań)

3. Podział obszaru badań na 16 jednostek tektonicznych. Podział obszaru badań na główne jednostki tektoniczne wykonano w oparciu o mapy geologiczno-tektoniczne i rozmieszczenie stacji

permanentnych. Granice obszarów zostały wydzielone zgodnie z przebiegiem granic głównych struktur tektonicznych Europy widocznych na mapach i innych opracowaniach (Asch, 2005; Bogdanov, Khain, 1981; West, 2001; Mizerski, 2006; Battaglia et al., 2004). Analiza lokalizacji stacji permanentnych na tle budowy geologiczno-tektonicznej kontynentu pozwoliła na wydzielenie 16 głównych jednostek (rys.2).



Rys. 2. Podział Europy na 16 jednostek tektonicznych oraz rozmieszczenie 140 stacji sieci EPN na tle mapy geologicznej.

W tabeli 1 zestawiono oznaczenia dla każdej wyodrębnionej jednostki tektonicznej przydatne przy późniejszej interpretacji pola wektorowego prędkości stacji sieci EPN.

Analizując rys.2 można zauważyć, iż do obszaru kontynentu europejskiego dołączony został obszar alpidów Azji Mniejszej. Spowodowane jest to tym, iż na tym obszarze zlokalizowanych jest 6 stacji sieci EPN, które pokazują bardzo istotne zachowanie się skorupy ziemskiej w tej części kontynentu. Natomiast w badaniach nie uwzględniono danych z 2 stacji znajdujących się na Islandii, ponieważ wyspa jest fragmentem części Grzbietu Śródaltantycznego, oddzielającego płytę północnoamerykańską od płyty eurazjatyckiej.

Tabela 1

nr	Oznaczenie wydzielonych jednostek The denotation of distinguished structures	liczba stacji
1	Kaledonidy skandynawskie	4
2	Tarcza bałtycka	14
3	Platforma wschodnioeuropejska	14
4	Platforma paleozoiczna Europy zachodniej i środkowej	36
5	Kaledonidy Wysp Brytyjskich	3
6	Alpidy Azji Mniejszej	6
7	Masyw Czeski	3
8	Alpejskie zapadlisko przedgórskie	3
9	Zapadlisko panońskie	5
10	Strefa Alpidów	22
11	Mikropłyta adriatycka (Adria)	8
12	Sardynia i Korsyka	3
13	Pireneje	4
14	Masyw Iberyjski	7
15	Betydy	4
16	Strefa środkowo-wschodnia Półwyspu Iberyjskiego	4

4. Wyniki analizy skupień. Podział obszaru badań na jednostki również można wykonać przez grupowanie punktów o podobnych wektorach prędkości stosując technikę analizy skupień, jednak związane jest to z wyborem odpowiedniej metody. Analizę wykonano w programie STATISTICA (StatSoft, 2005) wykorzystując metodę k-średnich oraz odległość euklidesową pomiędzy obserwacją i od skupienia k dla M zmiennych ilościowych X_j :

$$D(i,k) = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (X_{ij} - \overline{X}^{(k)}_j)^2} \quad (1)$$

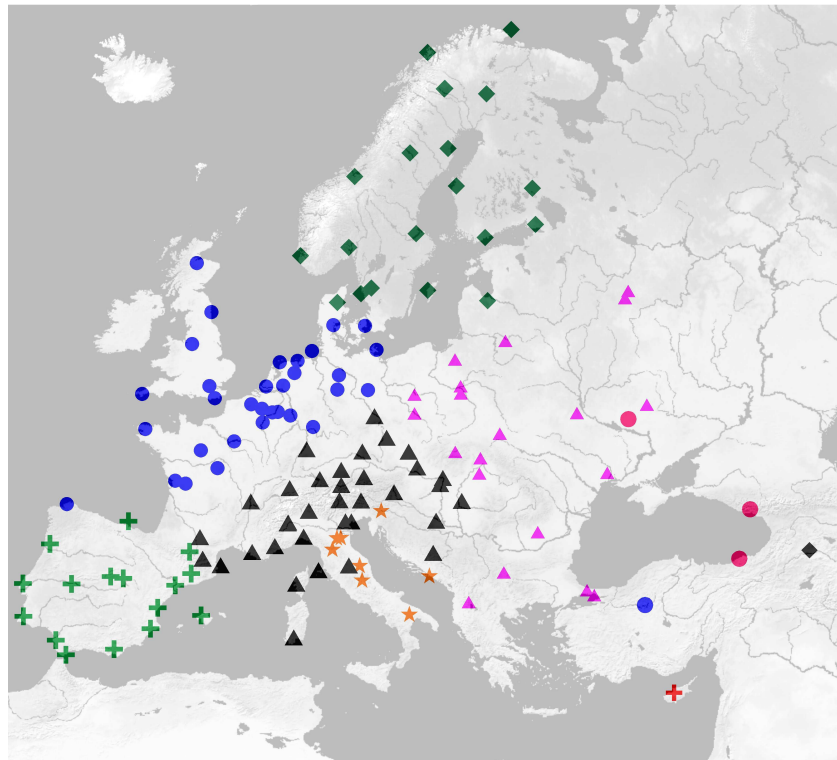
gdzie: $\overline{X}^{(k)}_j$ jest średnią dla zmiennej j i skupienia k .

Podstawą podziału była zmienna czterowymiarowa $X_j = [x_i ; y_i ; V_{N,i} ; V_{E,i}]$ zawierająca współrzędne punktów oraz ich składowe wektorów prędkości. Przed rozpoczęciem analiz dane zostały zestandaryzowane według wzoru:

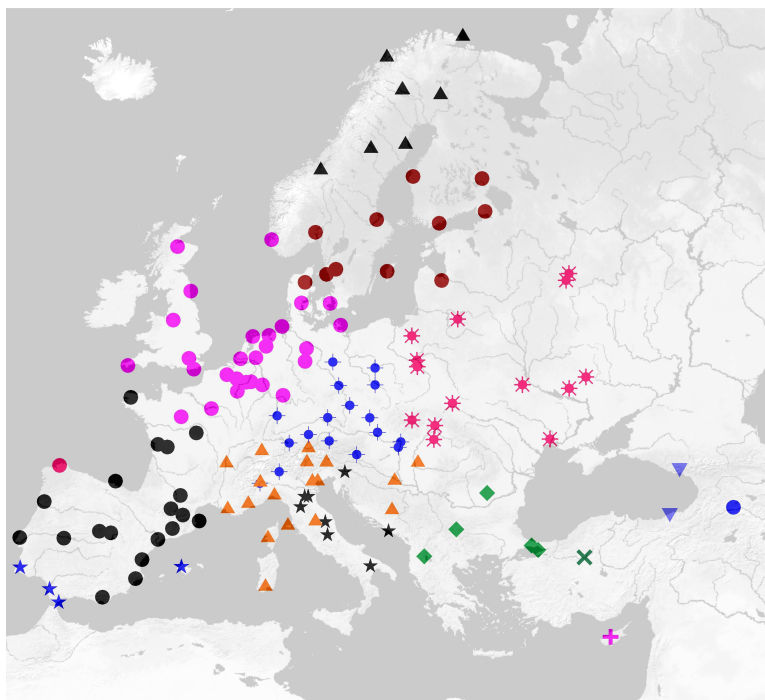
$$X'_j = \frac{X_j - \text{Min}(X_j)}{\text{Max}(X_j) - \text{Min}(X_j)} \quad (2)$$

Zgrupowanie punktów o podobnych wektorach prędkości pozwoliło zaobserwować, czy dokonany podział koresponduje z występowaniem głównych jednostek tektonicznych. Wykorzystanie techniki analizy skupień do grupowania stacji permanentnych o podobnych wektorach prędkości przeprowadzono już w publikacji (Kontny et al., 2004), jednak wykorzystano inne dane źródłowe i inną metodę partycjonowania danych.

Na rysunkach 3-4 zilustrowano wyniki analizy skupień wykonanej dla wektorów prędkości punktów w układzie ITRF2000, zredukowanych modelem APKIM2000 do prędkości wewnątrzpłytyowych. W badaniach wykonano również analizy dla danych w układzie ETRF2000 oraz sprawdzono wpływ ustalenia różnych wag dla zmiennych V_E i V_N na wynik grupowania.



Rys. 3. Wyniki analizy skupień przy podziale na 10 klas

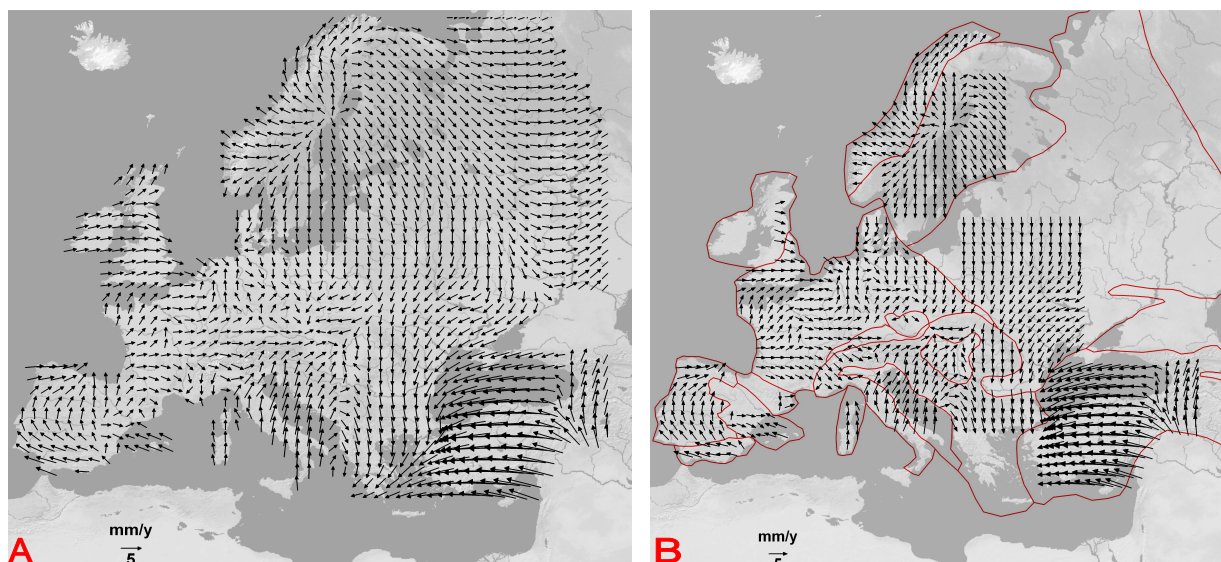


Rys. 4. Wyniki analizy skupień przy podziale na 15 klas

W wyniku analizy skupień zostało wyodrębnionych 5 głównych grup stacji: pierwsza w obrębie Półwyspu Skandynawskiego, druga obejmująca obszar Europy zachodniej i środkowej, trzecia – strefa alpidów, czwarta- Półwyspu Iberyjskiego i piąta największa w obrębie platformy wschodnioeuropejskiej. Pozostałe grupy stanowią pojedyncze stacje. Stacje zlokalizowane na Półwyspie Skandynawskim (w obrębie tarczy bałtyckiej i kaledonidów skandynawskich) zostały przydzielone do jednej grupy, przy podziale na 10 klas, ale już dla większej liczby klas wyraźnie widać wyodrębnione 2 grupy na tym obszarze. Ustalenie wag dla zmiennych składowych prędkości stacji pozwala sprawdzić, w jakim stopniu grupowanie danych nastąpiło ze względu na położenie punktów, a w jakim ze względu na wartości składowych prędkości. Wykonane analizy dla znormalizowanych danych nie potwierdziły potrzeby zastosowania wagowania. Zgrupowanie punktów o podobnych wektorach prędkości metodą k-średnich pozwoliło zaobserwować korelację pomiędzy prędkościami stacji a tektoniką Europy. Niezależnie od liczby wydzielonych klas, część stacji stale przyporządkowywana jest do tej samej grupy (np. 9 stacji na obszarze płyty adriatyckiej).

5. Mapy poziomych ruchów skorupy ziemskiej na obszarze Europy. Wykonanie ciągłego pola wektorowego prędkości ruchu skorupy ziemskiej na podstawie danych pochodzących z dyskretnych punktów, rozmieszczonych nieregularnie związane jest z wyznaczeniem wartości pola poza punktami pomiarowymi. Przy przeliczeniu wartości dyskretnych na regularną siatkę punktów zachodzi problem interpolacji wartości pola w węzłach siatki. Do obliczenia wartości w węzłach siatki zastosowano metodę krigingu wykorzystując program Surfer 8.0. Szczegółowy opis metody krigingu zaimplementowanej w programie Surfer można odnaleźć w wielu opracowaniach (np. Isaaks, Srivastava, 1989; Cressie, 1991).

Sprawdzenie korelacji między prędkościami stacji EPN a tektoniką Europy przeprowadzono na podstawie dwóch siatek interpolacyjnych, utworzonych w programie Surfer metodą krigingu. Pierwsza, oznaczona jako Model A, wykonana została w oparciu o dane ze wszystkich stacji EPN w obrębie całego obszaru badań. Natomiast Model B powstał przez zmozaikowanie 16 siatek wykonanych niezależnie dla danych ze stacji położonych w obrębie każdej wyodrębnionej jednostki tektonicznej. Pola wektorowe prędkości poziomych ruchów skorupy ziemskiej dla modelu A i B przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Pole wektorowe prędkości poziomych ruchu skorupy ziemskiej w układzie ETRF2000-model A i model B

Szczegółowe porównanie modeli A i B wykonano przez wyznaczenie wartości rezydualnych prędkości stacji, otrzymanych przez odjęcie od rzeczywistych prędkości punktów wartości wyinterpolowanych z modelu. W tabeli 2 przedstawiono wyniki porównania wybranych parametrów statystycznych wartości rezydualnych, wyznaczonych dla składowej wschodniej i północnej.

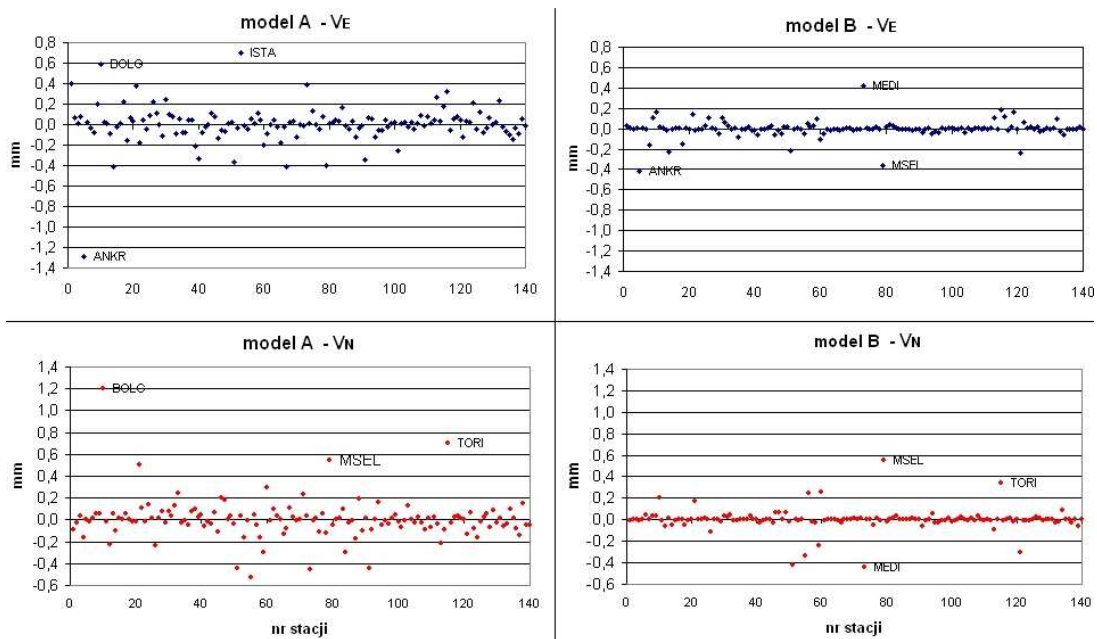
Z uwagi na brak odpowiedniej reprezentacji stacji permanentnych na obszarze Europy, pole wektorowe prędkości punktów wykonane dla modelu B, nie obejmuje całego kontynentu. Analizując rys. 5, który pokazuje pole wektorowe prędkości stacji (model B) na tle wyodrębnionych głównych jednostek tektonicznych, można zaobserwować pewną zależność w charakterze pola wektorowego prędkości a rozmieszczeniem głównych jednostek tektonicznych.

Tabela 2

The comparison of statistical parameters for residual velocities of EPN stations

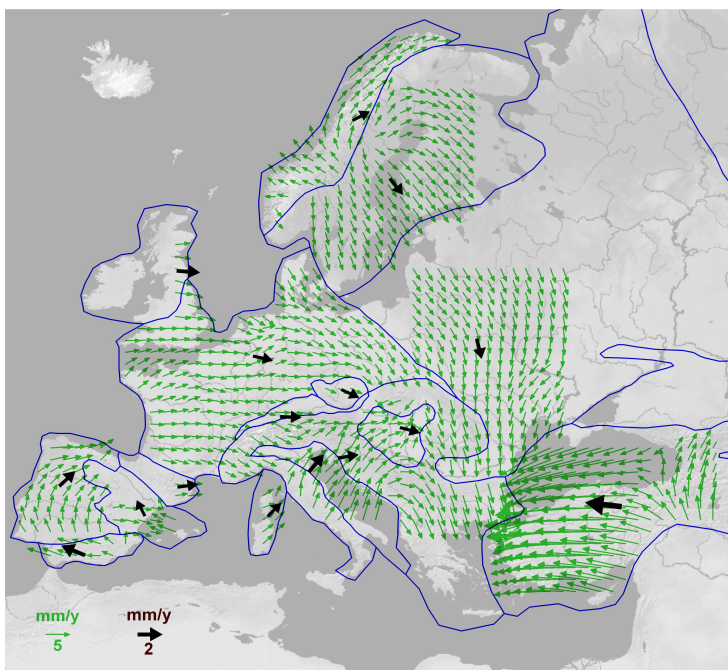
	model A		model B	
	V_E	V_N	V_E	V_N
liczba stacji /number of stations	140	140	140	140
suma /sum	0,05	0,49	-0,27	-0,04
wartość min	-1,29	-0,53	-0,42	-0,44
wartość max	0,70	1,21	0,42	0,56
średnia / mean	0,000	0,004	-0,002	0,000
odchylenie standardowe / standard deviation	0,19	0,18	0,08	0,10

Porównanie parametrów statystycznych rezydów prędkości ruchu stacji dla modelu A i B jednoznacznie pokazuje, iż model B lepiej odzwierciedla mobilność skorupy ziemskiej (rys.6). Odchylenie standardowe dla rezydów, obliczonych dla modelu B, jest prawie dwukrotnie mniejsze w porównaniu z modelem A. Na podstawie analizy porównawczej modelu A i B wykazano korelację między prędkościami stacji a tektoniką Europy.



Rys. 6. Wykresy rezydualnych prędkości stacji EPN dla modelu A i B

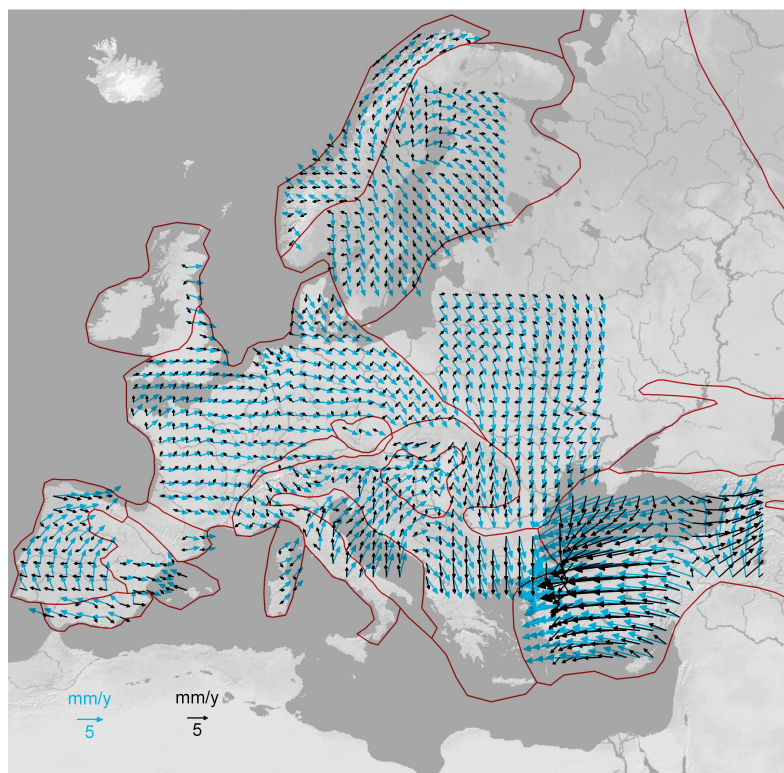
Celem analiz przeprowadzonych w kolejnej części było sprawdzenie czy na podstawie pola wektorowego prędkości poziomych ruchu skorupy ziemskiej można dokonać oceny mobilności każdej wyodrębnionej jednostki tektonicznej. Badania miały również odpowiedzieć na pytanie, czy można dla każdej jednostki tektonicznej wyznaczyć średni wektor prędkości ruchu, który będzie obrazował mobilność całej jednostki. W tym celu dla każdego z wyodrębnionych bloków tektonicznych wyznaczono średni wektor prędkości poziomych stacji. Na rys.7 przedstawiono średni wektor prędkości ruchu każdej jednostki na tle pola wektorowego prędkości, otrzymanego z połączonych 16 siatek interpolacyjnych. Średnie wektory prędkości, widoczne na rys. 7, zaczepiono w środku siatki interpolacyjnej dla każdego z 16 bloków.



Rys. 7. Pole wektorowe prędkości poziomych ruchu skorupy ziemskiej w układzie ITRF2000 zredukowane modelem APKIM2000 (kolor zielony) oraz średnie wektory prędkości dla głównych jednostek tektonicznych (kolor czarny)

Od prędkości stacji EPN w układzie ITRF2000, zredukowanej modelem APKIM2000 do prędkości wewnątrzpłytowych, odjęto odpowiednią średnią wartość prędkości całej jednostki. Dla tak przygotowanych danych wykonano 16 siatek interpolacyjnych i wygenerowano pole wektorowe prędkości

poziomych ruchu skorupy ziemskiej (zgodnie z modelem B). Na rys.8 porównano ze sobą 2 pola wektorowe na tle granic głównych jednostek tektonicznych.



Rys. 8. Porównanie pola wektorowego prędkości poziomych ruchu skorupy ziemskiej w układzie ITRF 2000 zredukowanego modelem APKIM2000 (kolor niebieski) z polem wektorowym zredukowanym dodatkowo o średnie wektory prędkości głównych jednostek tektonicznych (kolor czarny)

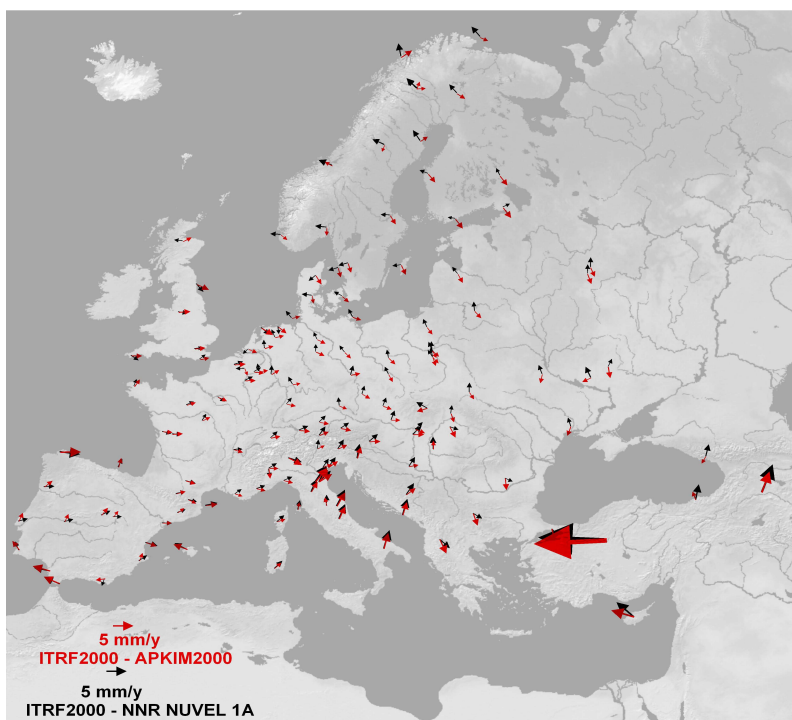
Wyznaczony średni wektor prędkości dla każdego z 16 bloków, może być interpretowany jako wektor przemieszczenia całej jednostki, jedynie dla obszarów o równomiernym rozmieszczeniu stacji oraz pozbawionych wewnętrznych deformacji. Na rys. 7 można zaobserwować, iż średnie wektory prędkości obliczone dla każdej jednostki tektonicznej zgodne są z polem wektorowym jedynie dla 4 niewielkich bloków: Betydy, Sardinia i Korsyka, Adria, Masyw Czeski. W obrębie pozostałych jednostek, średni wektor ma zbliżony kierunek i zwrot tylko do części ciągłego pola wektorowego. Skorupa ziemska na tych obszarach poddawana jest ciągłej wewnętrznej deformacji i nie można wyznaczyć jednego kierunku przemieszczeń.

Na rys. 8 można zaobserwować dla których obszarów wyznaczony średni wektor prędkości jest reprezentatywny dla całej jednostki tektonicznej. Regiony, gdzie pole wektorowe, zredukowane o średnią z jednostek, reprezentują bardzo małe wektory (oznaczone kolorem czarnym) świadczą o tym, iż średni wektor prędkości dobrze aproksymuje mobilność danego obszaru. Pole wektorowe prędkości, zredukowane o średnią z jednostek, dla obszaru alpidów wyraźnie pokazuje, iż wektor średni nie oddaje prawdziwego kierunku przemieszczeń. Rezydualne wartości wektorów prędkości pola nadal pokazują duże przemieszczenia, co może świadczyć o nadal trwających tam procesach związanych z powstawaniem alpejskiej strefy fałdowej.

6. Globalne modele ruchu płyt tektonicznych. Aby zaobserwować wewnątrzpłytkową mobilność skorupy ziemskiej na podstawie epokowych bądź permanentnych pomiarów, realizowanych przy użyciu GNSS, należy uwzględnić mobilność całej płyty tektonicznej. Wyznaczone wektory prędkości stacji permanentnych lub specjalnie zastabilizowanych punktów sieci redukują się o prędkość ruchu całej płyty, wyznaczoną na podstawie modeli globalnych, przedstawiających absolutny ruch płyt tektonicznych. Obliczenie absolutnego ruchu płyt litosferycznych wykonywano wielokrotnie, przy użyciu różnych metod (Czechowski, 1994). Do wyznaczenia wartości wektorów rotacji geologicznego modelu NUVEL-1 użyto ponad tysiąc danych geofizycznych pochodzących z 22 granic płyt tektonicznych. Zawierały one m.in. tempa rozrostu dna oceanicznego, azymuty uskoków transformujących oraz dane dotyczące trzęsień Ziemi (de Mets et al., 1994). Geodezyjnym modelem obrazującym współczesne ruchy płyt tektonicznych jest

model APKIM (Actual Plate Kinematic and deformation Model), który opracowywano na podstawie pomiarów technikami kosmicznymi VLBI, SLR, GPS i DORIS. W najnowszym modelu APKIM2005, bazującym na ITRF2005, wykorzystano dane zawierające 305 prędkości stacji przypisanych do sztywnej płyty oraz 143 prędkości w strefach deformacji (<http://www.dgfi.badw.de>).

Celem kolejnych analiz było porównanie prędkości ruchu skorupy ziemskiej w obrębie kontynentu europejskiego, na podstawie danych ze stacji EPN, z globalnymi modelami ruchu płyt tektonicznych. Od prędkości ruchu stacji sieci EPN (ITRF2000) odjęto wartości prędkości, wyznaczone dla każdego z modeli i w ten sposób otrzymane różnice, między modelem geologicznym NNR NUVEL 1A a geodezyjnym APKIM2000, przedsta-wiono na rys.9.



Rys. 9. Porównanie wektorów prędkości poziomych punktów w układzie ITRF2000 zredukowanych globalnymi modelami ruchu płyt tektonicznych do prędkości wewnątrzpłytyowych

Porównując modele, które przedstawiają absolutny ruch płyt tektonicznych, należy pamiętać, iż są to modele globalne stworzone dla całej Ziemi. Model geologiczny NNR NUVEL 1A, w odróżnieniu do modelu geodezyjnego APKIM2000, nie odzwierciedla współczesnych ruchów skorupy ziemskiej, lecz średnie prędkości ruchu w okresie ostatnich 3 milionów lat.

7. Podsumowanie. Badania współczesnych ruchów skorupy ziemskiej na podstawie wieloletnich pomiarów realizowanych przez sieci stacji permanentnych GNSS, rozmieszczonych na całej Ziemi, dostarczają wiarygodne informacje o mobilności tektonicznej i górotwórczej badanych obszarów. W niniejszej artykule spróbowano pokazać współczesną dynamikę skorupy ziemskiej Europy, w aspekcie ruchów poziomych oraz zbadać korelację między prędkościami stacji permanentnych GNSS a budową geologiczno-tektoniczną kontynentu. Sieć EPN liczy dziś około 200 stacji permanentnych rozmieszczonych w obrębie kontynentu. W badaniach wykorzystano jedynie 140 z nich głównie ze względu na zbyt krótki szereg czasowy współrzędnych na podstawie którego estymowano prędkości stacji. Brak odpowiedniej reprezentacji stacji, równomiernie rozmieszczonych na obszarze całego kontynentu, nie pozwala dokonać pełnej oceny mobilności skorupy ziemskiej.

Podziału obszaru Europy na 16 jednostek badawczych dokonano w oparciu o mapy geologiczne, ale również konieczne było uwzględnienie rozmieszczenia stacji permanentnych. Obszar alpidów Europy południowej stanowił jedną jednostkę badawczą, ale przeprowadzone analizy wyraźnie pokazują konieczność wyodrębnienia mniejszych bloków ze względu na występującą tam ciągłą wewnętrzną deformację. Związane jest to jednak z problemem znalezienia odpowiedniej reprezentacji stacji.

Grupowanie punktów o podobnych wektorach prędkości stosując technikę analizy skupień jest przydatne do identyfikacji obszarów o zbliżonym charakterze deformacji. Pozwala to również sprawdzić korelację między prędkościami stacji a tektoniką Europy. Analiza pola wektorowego prędkości ruchu skorupy ziemskiej wykonanego dla każdego podobszaru i dla całej Europy, wykazała jednoznacznie korelację między ciągłym polem wektorowym prędkości horyzontalnych stacji EPN a budową geologiczno-tektoniczną kontynentu.

Wyznaczenie wartości rezydualnych prędkości, przez odjęcie średniego wektora przemieszczeń dla każdej jednostki, jest przydatne do weryfikacji wyodrębnionych obszarów pod kątem zróżnicowania modelu deformacji powierzchniowych. Rezydualne prędkości, wyznaczone dla obszaru alpidów Europy południowej, świadczą o nadal trwających tam procesach związanych z powstawaniem alpejskiej strefy fałdowej i ciągłej wewnętrznej deformacji. Globalne modele ruchu płyt tektonicznych pozwalają na wyznaczenie prędkości ruchu dowolnego punktu położonego na danej jednostce tektonicznej, ale nie uwzględniają lokalnych deformacji skorupy ziemskiej. Zaprezentowana metodyka badań i sposób interpretacji wyników, mogą być wykorzystane przy opracowaniu kinematyki deformacji powierzchniowych skorupy ziemskiej dowolnych obszarów Ziemi, na podstawie stale powiększającej się liczby stacji permanentnych GNSS

1. Bednarek R., Kontny B. (2007). *Opracowanie mapy poziomych ruchów skorupy ziemskiej na obszarze Europy na podstawie danych serwisu EPN*, Praca magisterska w Instytucie Geodezji i Geoinformatyki UP we Wrocławiu. 2. Asch, K. (2005): *IGME 5000: 1 : 5 Million International Geological Map of Europe and Adjacent Areas – final version for the internet.* – BGR, Hannover, <http://www.bgr.de/karten/igme5000/downloads.htm>. 3. Battaglia M., Bürgmann R., Murray M.H., Serpelloni E. (2004). *The Adriatic region: an independent microplate within the Africa-Eurasia collision zone.*, *Geophys. Res. Lett.*, 31(9). 4. Bogdanov A.A., Khain V.E.(1981). *International Tectonic Map of Europe and Adjacent Regions*, 1:2,500 000 scale., 20 sheets, Academy of Sciences of the USSR, Moscow, UNESCO, <http://www.geo.uu.nl/GIS/tectonic.htm>. 5. Cressie N. A. C. (1991). *Statistics for Spatial Data*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 900 pp. 6. Czechowski L.(1994). *Tektonika płyt i konwekcja w płaszczu Ziemi*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. 7. De Mets et al. (1994). *Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions*, *Geophys. Res. Lett.* Vol. 21 No. 20, p. 2191-2194. 8. EUREF Technical Working Group (2002). *Status of the European Reference Frame – EUREF*, IAG Symposia, Vol. 125, Springer-Verlag, Berlin-Tokyo, pp. 42-46. 9. Isaaks E. H., and Srivastava, R.M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York, 561 pp. 10. Kenyeres A. (2006). *New Products at the EPN Time Series Special Project: Status Report*, Riga, EUREF Publication N16, http://www.epncb.oma.be/_newsmails/papers/index.php. 11. Kontny B., Bosy J., Borkowski A. (2004), *Correlation between EPN station velocities and the tectonic of Europe*, *Artificial Satellites, Journal of Planetary Geodesy*, Vol. 39, No. 2, pp. 155-164. 12. Mizerski W.(2006). *Geologia regionalna kontynentów*, Wyd. PWN, Warszawa. 13. StatSoft, Inc. (2005). *Statistica (data analysis software system)*, version 7.1. <http://www.statsoft.com>. 14. West I. (2001). *Geological Map of Western Europe*, <http://www.fossil.net/system/geolkaart/europe.jpg>.