

● ● ● ● ● ● ● ● ● ● **MATERIAŁY** ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● **DO DZIEJÓW GEOFIZYKI**

Marek GRAD
Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

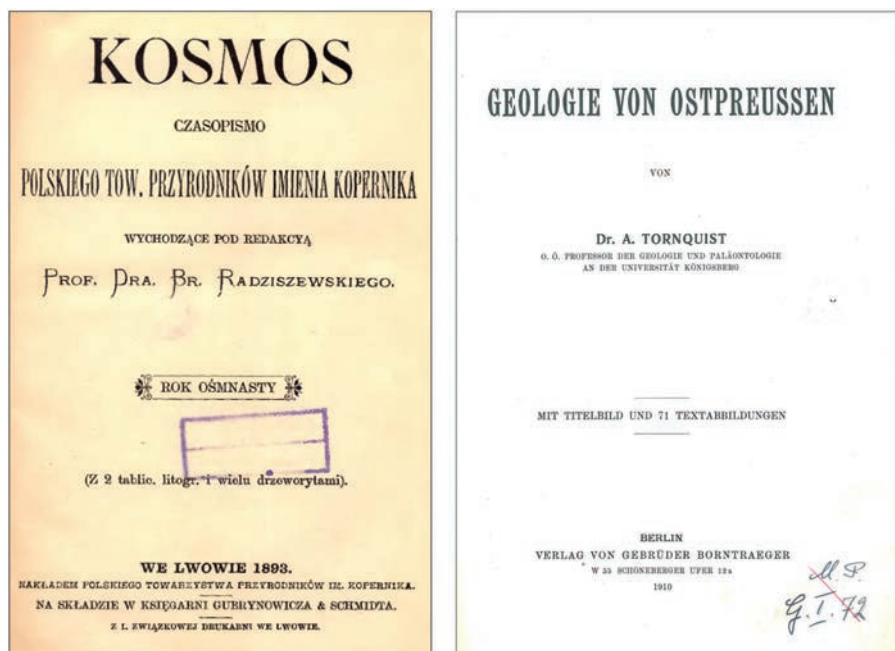
LINIA TEISSEYRE'A-TORNQUISTA – EWOLUCJA POGLĄDÓW NA TEMAT KRAWĘDZI KRATONU WSCHODNIOEUROPEJSKIEGO

TEISSEYRE-TORNQUIST LINE –
EVOLUTION OF THE VIEW ON THE EDGE
OF THE EAST EUROPEAN CRATON

Wstęp

Od ponad stu lat nasza wiedza o południowo-zachodniej krawędzi kratonu wschodnioeuropejskiego wiąże się nierozdzielnie z nazwiskami polskiego geologa Wawrzyńca Teisseyre'a i niemieckiego geologa i paleontologa Alexandra Tornquista. Na przełomie XIX i XX wieku stwierdzili oni fundamentalne różnice w geologii sztywnej platformy wschodnioeuropejskiej i jej bardziej mobilnego przedpola (Teisseyre 1893, 1903; Tornquist 1908, 1910; rys. 1).

Na obszarze Europy Środkowej występują trzy wielkie w skali kontynentalnej jednostki tektoniczne: prekambryjski kraton wschodnioeuropejski, waryscyjska platforma Europy Zachodniej i orogen alpejski – Karpaty. Referencyjną strukturą jest ostra krawędź kratonu wschodnioeuropejskiego. Na obszarze Polski południowo-zachodnią krawędzią kratonu jest strefa Teisseyre'a-Tornquista (TTZ), której kontynuacją na północy jest strefa Sorgenfrei-Tornquista (STZ; Sorgenfrei, Buch 1964). W przeszłości strefa Teisseyre'a-Tornquista nazywana była linią Teisseyre'a, linią Tornquista lub linią Teisseyre'a-Tornquista (TTL). Była ona rozumiana jako element liniowy (rozłam lub strefa rozłamowa) określający krawędź kratonu. Inne znaczenie ma transeuropejska strefa szwu (TESZ), termin wprowadzony przez Asgera Berthelsena (1992, 1998), określający zespół terranów pomiędzy platformą wschodnioeuropejską i waryscyjską. Nie jest to struktura liniowa, ale strefa akrecji terranów o szerokości dochodzącej



Rys. 1. Okładka czasopisma *Kosmos* z 1893 roku, w którym został opublikowany pierwszy artykuł Wawrzyńca Teisseyre'a odnoszący się do krawędzi płyty podolskiej (po lewej) oraz okładka książki Alexandra Tornquista *Geologie von Ostpreussen* z 1910 r., w której zamieszczono mapę z granicą pomiędzy płytą saksońską i płytą bałtycko-rosyjską (po prawej)

Fig. 1. Cover page of journal *Kosmos*, where the first paper of Wawrzyniec Teisseyre related to edge of the Podolian plate was published in 1893 (left) and cover page of book *Geologie von Ostpreussen* by Alexander Tornquist where the map with the boundary between Saxonian and Baltic-Russian plates was published in 1910 (right)

do 100-200 km. Terminów TTL i TESZ nie należy mylić, co jednak ma miejsce na wielu mapach dotyczących tego obszaru (Dadlez i in. 2005).

W niniejszej pracy przedstawiono historię badań strefy Teisseyre'a-Tornquista, ewolucję poglądów na temat brzegu kratonu, a także współczesną charakterystykę geofizyczną tego obszaru.

Wawrzyniec Teisseyre, płyta podolska i linia Berdo-Narol

Polski geolog Wawrzyniec Teisseyre (1860-1939), według zachowanej metryki chrztu Karol Wawrzyniec (patrz Teisseyre 2018), jako pierwszy scharakteryzował w roku 1893 południowo-zachodnią krawędź paleozoicznego bloku podolskiego, a w 1903 opublikował odpowiednią mapę.

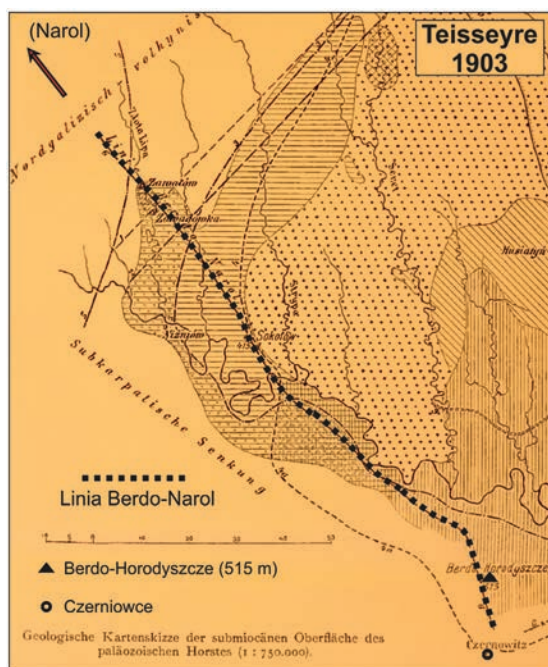
W pracy *Całokształt płyty paleozoicznej Podola galicyjskiego* (Teisseyre 1893) opisał swoje obserwacje dotyczące różnic struktury geologicznej wzdłuż Dniestru, a odpowiedni fragment tekstu ze strony 324 brzmi następująco: »Całe to zagłębienie powierzchni dewońskiej zasłanej cenomanem lub trzeciorzędem świadczyłoby o tem, że dolina Dniestru od Czernelicy po Uścieszko ma historię rozwoju odrębną, inną aniżeli dolina Dniestru koło Niżniowa lub Zaleszczyk«. Rozdzielający te części rozłam jest fragmentem linii Berdo-Narol, która biegnie od wzgórza Berdo-Horodyszcz (515 m n.p.m.) na południu do miejscowości Narol na północy (Teisseyre 1903; rys. 2). Całkowita długość linii Berdo-Narol wynosi około 320 km. Ciekawym faktem jest, że w końcu XIX wieku na obszarze badań Wawrzyńca Teisseyre'a praktycznie nie było głębokich odwiertów (Zuber 1893; Niedźwiedzki 1896). Studia obszaru Czernelica-Uścieszko-Niżniów-Zaleszczyki były więc oparte głównie na badaniach doliny rzeki Dniestr i jej wysokich brzegów.

Wawrzyniec Teisseyre zasugerował istnienie podziemnych stref tektonicznych i wprowadził termin „kryptotektoniki” (oryginalna pisownia; Teisseyre 1926). Termin ten oznacza „pogrążoną tektonikę”, odpowiednio w języku francuskim „cryptotectonique”, a w angielskim „cryptotectonics” (patrz także Teisseyre, Teisseyre 2002; Grad 2018; Teisseyre 2018).

Alexander Tornquist, płyta saksońska i płyta bałtycko-rosyjska

Alexander Johannes Heinrich Tornquist (1868-1944) był niemieckim geologiem i paleontologiem; z pewnością zaś nie szwedzkim magnetologiem, jak to przedstawiano w niektórych najnowszych publikacjach. Studiując geologię Prus Wschodnich (Tornquist 1908, 1910) zauważył zasadniczą różnicę w geologii pokrywy osadowej sztywnej platformy wschodnioeuropejskiej i bardziej mobilnej płyty saksońskiej. Należy tu jednak wymienić rolę wcześniejszych prac innych autorów, które Alexander Tornquist wykorzystał w swojej interpretacji.

W roku 1899 i 1902 Albert Schüch opublikował dwie książki z wynikami pomiarów magnetycznych na wybrzeżu Bałtyku (Ostseeküste). Dobrze udokumentowane wyniki zostały przedstawiane w postaci map elementów pola magnetycznego (deklinacji, inklinacji i poziomej składowej pola) zredukowanych do epoki 1895,5 (Schüch 1899, 1902). Mapę deklinacji południowego Bałtyku przedstawiono na rysunku 3 (Schüch 1899). Zaznaczono na niej obszary skomplikowanych anomalii Skanii, Bornholmu, okolic Koszalina i na Mazurach. Bardzo podobny obraz obserwuje się również dla inklinacji i poziomej składowej pola magnetycznego (Schüch 1902). Te trzy mapy Schücka były później interpretowane przez Wilhelma Deecke. W jego pracy *Erdmagnetismus und Schwere in ihrem Zusammenhange...* znajduje się następujący fragment: »Na mapie deklinacji Schücka wyróżniają się dziwnie niezależną pozycją pruskie landy na zachód



Rys. 2. Południowa część linii Berdo-Narol (SW brzeg paleozoicznego horstu) według Teisseyre'a (1903) – podkreślona grubą, przerywaną czarną linią

Fig. 2. Southern part of Berdo-Narol line (SW edge of the Paleozoic horst) according to Teisseyre (1903) – highlighted by thick broken line

od Wisły. Podział na dwie części, z których wschodnia przebiega wzdłuż granicy z Rosją o kierunku N-S, a zachodnia część pokazuje linie zamkniętych krzywych o kierunku ENE-WSW» (Deecke 1906, s. 114; tłum. autora). Była to pierwsza próba interpretacji tektonicznych na podstawie danych magnetycznych. Deecke stwierdził, że obszary na wschód i na zachód od Wisły mają całkowicie różny obraz magnetyczny – spokojny przebieg izolinii na zachód od Wisły i silnie zaburzony na wschodzie. Z interpretacji tej skorzystał Tornquist (1910), wyznaczając południowo-zachodnią granicę krystalicznej platformy wschodnioeuropejskiej i podkreślając jej tektoniczne znaczenie – powołując się na pracę Deeckiego pisze: »Ta ważna granica między dwoma krami tektonicznymi (płytami) w Europie jest równie ważna jak granica tektoniczna pomiędzy bazaltowym płaskowyżem Wysp Owczych na północnym zachodzie i Kaledonidami europejskimi północnej Szkocji i gór skandynawskich na południowym wschodzie. Jest ona śledzona stycznie do Karpat, do Gałacza (miasto we wschodniej Rumunii)« (Tornquist 1910, s. 223). Co ciekawe w swoich opracowaniach Alexander Tornquist nie powoływał się na prace Wawrzyńca Teisseyre'a. W publikacji



Rys. 3. Mapa deklinacji magnetycznej południowego Bałtyku zredukowana do epoki 1895,5 według Schücka (1899); obszary o skomplikowanym obrazie deklinacji magnetycznej dla Skanii, Bornholmu, Koszalina i Mazur zaznaczone zostały okręgami; gruba linia oznacza granicę między dwoma różnymi europejskimi płytami – saksońską i bałtycko-rosyjską – odpowiednio na zachód i na wschód od Wisły

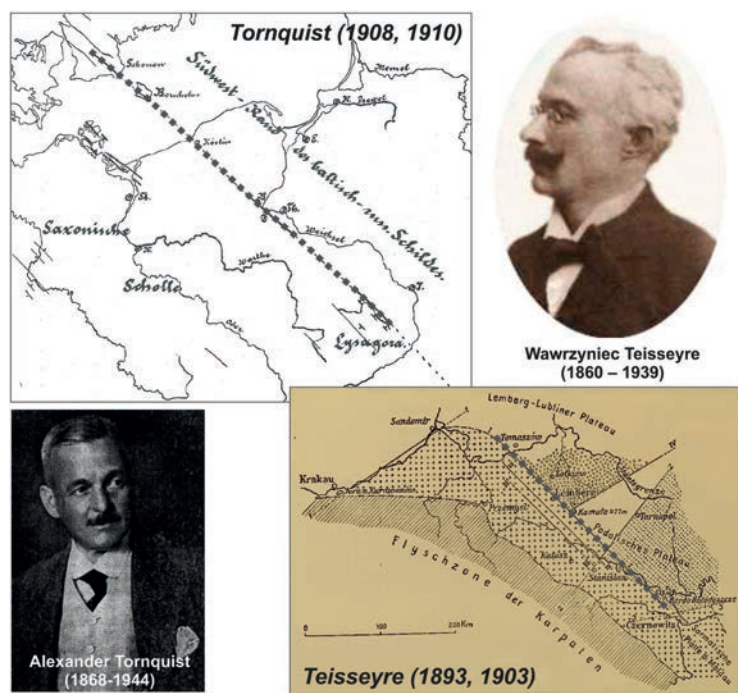
Fig. 3. Magnetic declination map of southern Baltic Sea reduced to epoch 1895.5 according to Schück (1899); areas of complicated pattern of magnetic declination for Scania, Bornholm, Koszalin and Mazuria we highlighted by circles; thick line shows a boundary between two different plates in Europe – Saxonian and Baltic-Russian – west and east of Wisła (Vistula) River, respectively

Geologie von Ostpreussen Tornquist załączył ponadto ciekawą mapę pochodzącą z pracy Preußa (1910), która pokazuje granicę między płytami rosyjską i saksońską, odzwierciedlającą zasięgi źródeł solankowych (Tornquist 1910, rys. 70).

Linia Teisseyre'a-Tornquista

Linia Teisseyre'a-Tornquista (TTL) to termin utworzony dla upamiętnienia polskiego geologa Wawrzyńca Teisseyre'a i niemieckiego geologa i paleontologa Alexandra Tornquista. W swej południowej części TTL przebiega skrajem horstu podolskiego, wzdłuż linii Berdo-Narol (Teisseyre 1893, 1903), a w części północnej skrajem płyty bałtyckiej, wzdłuż linii Skania-Łysogóry (Tornquist 1908, 1910). Obie linie spotykają się w okolicy Sandomierza (rys. 4). Przebieg linii między kratonem wschodnioeuropejskim (osteuropäischer Schild) oraz obszarem saksońskim (saxonisches Faltungsfeld) i Karpatami został opublikowany przez Tornquista na jego tektonicznej mapie Europy (Tornquist 1913).

Wawrzyniec Teisseyre i Alexander Tornquist wyznaczyli linie niezależnie od siebie, nie cytując (nie znając?) wzajemnie swych prac. Publikacje Teisseyre'a (1903) i Tornquista (1910) zostały natomiast wymienione w pracy Nowaka



Rys. 4. Pochodzenie terminu "Linia Teisseyre'a-Tornquista". Dolna mapa pokazuje linię Berdo-Narol, SW brzeg płyty podolskiej według Teisseyre'a (1893, 1903); "Linia Teisseyre'a", linia Berdo-Narol biegnie od wzgórza Berdo-Horodyszcz (515 m n.p.m.) w pobliżu Czerniowców, przez Lwów (Lemberg), do miejscowości Narol w pobliżu Tomaszowa. Górna mapa pokazuje SW brzeg płyty bałtyckiej według Tornquista (1908, 1910); "Linia Tornquista" ciągnie się na NW od Łysogór, przez Bydgoszcz (Bromberg), Koszalin (Kostlin) i Borholm, do Skanii w południowej Szwecji. Obie linie spotykają się w pobliżu Sandomierza (Sandomir); obok map fotografie obu geologów

Fig. 4. Origin of the term "Teisseyre-Tornquist Line". Lower map shows Berdo-Narol line, SW edge of the Podolian plate horst according to Teisseyre (1893, 1903); the "Teisseyre Line", Berdo-Narol line goes from Berdo-Horodyszcz hill (515 m a.s.l.) close to Czerniowce, through Lvov (Lemberg), towards Narol town, close to Tomaszów. Upper map shows SW edge of the Baltic plate according to Tornquist (1908, 1910); the "Tornquist Line" continues to NW from Łysogóra, through Bydgoszcz (Bromberg), Koszalin (Kostlin) and Borholm, towards Scania in southern Sweden. Both lines meet together closely to Sandomierz (Sandomir); next to the map are photos of both geologists

(1916). Nieco później, komentując rozdział dotyczący geologii Polski w *Handbuch von Polen*, Teisseyre napisał między innymi: »Owóż Tornquist stwierdził niejako dalszy ciąg jednej z dyslokacji podolskich nad dolną Wisłą i w poprzek Bałtyku aż po Skanię« (Teisseyre 1917, s. 126). Kontynuację jednej z dyslokacji podolskich stwierdził też w innej pracy: »Tutaj trzeba sobie przypomnieć,



Rys. 5. Strona tytułowa artykułu Wawrzyńca Teisseyre'a w czasopiśmie *Kosmos* (1921); rysunek 8 z tej pracy przedstawia schematyczny przekrój wzdłuż linii Dolina – Kałusz; oznaczenia na przekroju: I – formacja solna; II – pstra formacja solna; III – senon podolski; krawędź bloku podolskiego odpowiada linii Berdo-Narol

Fig. 5. Cover page of Wawrzyniec Teisseyre paper in *Kosmos* (1921); figure 8 from this paper shows a schematic cross-section along the line Dolina – Kałusz; on the section: I – salt formation; II – bunter salt formation; III – podolian senon; the edge of the Podolian block corresponds to the Berdo-Narol line

że linia Berdo-Narol przedłuża się sposobem anastomozy na Radom-Skanie, gdzie dalszy ciąg jej udowodnił Tornquist» (Teisseyre 1921b). W tym samym roku Wawrzyniec Teisseyre opublikował prace, w których przedstawił (chyba jedyny?) przekrój geologiczny w poprzek linii Berdo-Narol (rys. 5), z wyraźną krawędzią bloku podolskiego. Ilustracja ukazała się w czasopiśmie *Kosmos* (Teisseyre 1921b) oraz w *Sprawozdaniach PIG* (Teisseyre 1921b). Ciekawostką jest, że artykuł w *Sprawozdaniach PIG* opublikowano w dwóch kolejnych wersjach, po polsku i po francusku.

Brzeg kratonu w świetle danych sejsmologicznych

Krawędź kratonu wschodnioeuropejskiego dobrze odzwierciedlają dane sejsmologiczne. Pierwszym dobrze udokumentowanym trzęsieniem ziemi w Galicji było zdarzenia z 17 sierpnia 1875 roku. Zostało ono szczegółowo opisane w artykule *Rzecz o trzęsieniu ziemi, oraz opis trzęsienia ziemi w Galicji wschodniej w 1875 r.* (Kreutz 1876). W pracy zamieszczono mapę z epicentrum i obszarem odczucia trzęsienia. Linie ograniczające obszar trzęsienia są wydłużone w kierunku NW-SE i nie przekraczają linii Berdo-Narol. Podobny efekt blokowania energii sejsmicznej w północnej części TTZ i STZ zaobserwował

Schweitzer (1995). Obserwacje kilkuset trzęsień ziemi i eksplozji w Europie pokazały, że krawędź kratonu ma głębokie założenia sięgające 200 km i jest strukturalną granicą między wschodnią i zachodnią Europą.

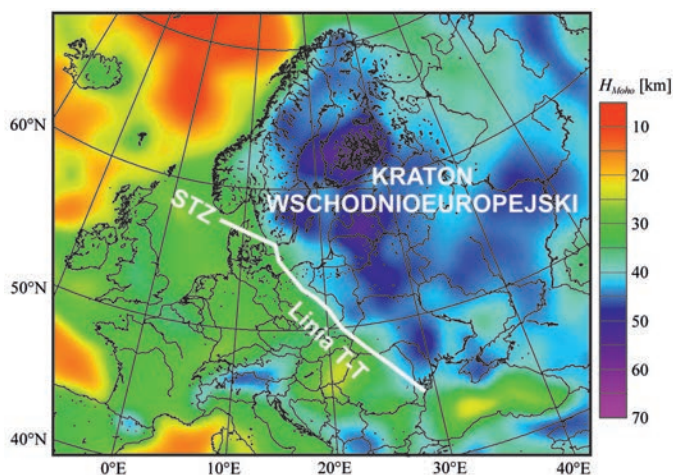
Podobne blokowanie energii sejsmicznej stwierdzono w czasie dwóch stosunkowo silnych trzęsień ziemi w obwodzie Kaliningradzkim, o magnitudzie $M_w = 5,0$ i $M_w = 5,2$, w dniu 21 września 2004 roku (Gegersen i in. 2007). Były to najsilniejsze tego typu zjawiska w regionie w historii rejestracji instrumentalnych, odczuwalne makroskopowo w kierunku na północ i południe od epicentrum (nawet do odległości do 800 km w południowej Finlandii), z nagłym odcięciem przez strefę Teisseyre'a-Tornquista (Gegersen i in. 2007).

Współczesne badania geofizyczne wokół linii Teisseyre'a-Tornquista

Obszar kontaktu prekambryjskiego kratonu wschodnioeuropejskiego, waryscyjskiej platformy Europy Zachodniej i Karpat był przez wiele lat intensywnie badany przy użyciu różnych metod geologicznych (m.in. Pożaryski 1957; Kubicki i in. 1972; Znosko 1979, 1986; Pharaoh 1999; Dadlez i in. 2005; Karnkowski 2008; Narkiewicz i in. 2011; Puziewicz i in. 2017) i geofizycznych (m.in. Dąbrowski 1971; Zielhuis, Nolet 1994; Królikowski, Petecki 1997; Grad i in. 1999, 2016, 2018; Wybraniec 1999; Majorowicz i in. 2003; Petecki i in. 2003; Ernst i in. 2008; Wilde-Piórko i in. 2010; Majorowicz, Wybraniec 2011; Jóźwiak 2013).

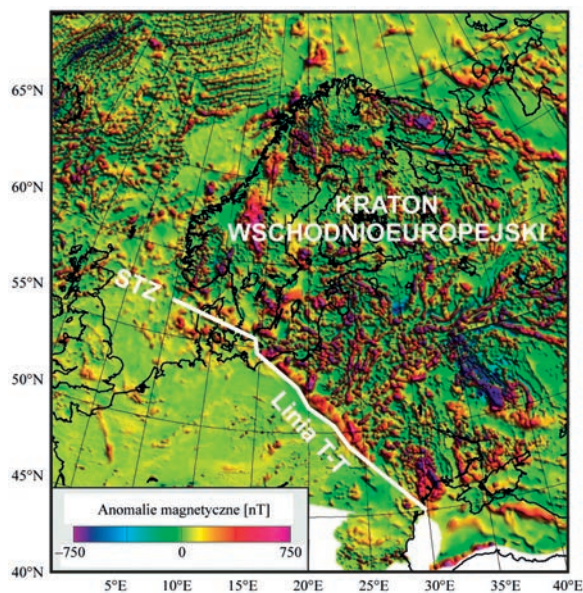
Metodami geofizycznymi dokumentującymi różnice między obszarem kratonu wschodnioeuropejskiego i platformy waryscyjskiej są metody sejsmiczne, magnetyczne, grawimetryczne, badania strumienia ciepłego i badania elektromagnetyczne. Referencyjną strukturą tego obszaru jest linia Teisseyre'a-Tornquista (TTL) określająca krawędź kratonu i strefa akrecji terranów TESZ na południowym zachodzie.

Na obszarze TTL i TESZ krystaliczna skorupa ziemska pokryta jest sekwencją skał osadowych o łącznej grubości sięgającej 10 km. Podłoże krystaliczne na tej głębokości nie zostało osiągnięte głębokimi odwiertami, a informacje o nim pochodzą głównie z badań sejsmicznych (np. Grad i in. 2016). Na obszarze tym głębokość granicy Moho zmienia się w szerokim przedziale 29-49 km, odpowiednio dla platformy waryscyjskiej i kratonu wschodnioeuropejskiego. Strefa TTL ciągnie się od Skanii do Morza Czarnego i rozdziela skorupę płyty europejskiej na „grubą” wschodnią i „cienką” zachodnią (Grad i in. 2009). Ilustruje to rysunek 6 przedstawiający mapę głębokości granicy Moho w Europie Środkowej. Różnice struktury sięgają znacznie głębiej – sejsmiczna granica LAB (ang. *lithosphere-aesthenosphere boundary*) osiąga głębokość 190-200 km pod kratonem wschodnioeuropejskiej i około 90 km pod platformą waryscyjską (Wilde-Piórko i in. 2010; Grad i in. 2018). Również wyniki tomografii sejsmicznej



Rys. 6. Linia Teisseyre'a-Tornquista (Linia T-T) na tle mapy głębokości granicy Moho w Europie Środkowej (Grad i in. 2009); STZ – oznacza strefę Sorgenfrei-Tornquista

Fig. 6. Teisseyre-Tornquist Line (Linia T-T) on the map of Moho depth in Central Europe (Grad et al. 2009); STZ – is Sorgenfrei-Tornquist Zone



Rys. 7. Linia Teisseyre'a-Tornquista (Linia T-T) na tle mapy anomalii magnetycznych Europy Środkowej oświetlonej z SE (Wybraniec 1999);

STZ – oznacza strefę Sorgenfrei-Tornquista

Fig. 7. Teisseyre-Tornquist Line (Linia T-T) on the map of magnetic anomalies of Central Europe illuminated from SE (Wybraniec 1999);

STZ – is Sorgenfrei-Tornquist Zone

plaszcz Ziemi pokazują, że TESZ i TTL rozdzielają obszary o dużych prędkościach fal S (do +4%) pod kratonem i małych prędkości (do -4%) pod platformą waryscyjską i Karpatami (Zielhuis, Nolet 1994).

Na współczesnej mapie anomalii magnetycznych (Wybraniec 1999) TTL dzieli Europę Centralną na dwa obszary. Pierwszy, na północnym wschodzie, charakteryzuje się znacznymi anomaliami (± 750 nT) i niejednorodnym ich rozkładem. Obszar na południowym zachodzie cechuje się stonowanymi anomaliami magnetycznymi (poniżej ± 100 nT), co może wynikać z głęboko zalegającego, magnetycznie aktywnego, podłoża. W północnej Polsce rozkład anomalii magnetycznych wykazuje wiele podobieństw do magnetycznych map sprzed stu lat, które opublikował Schück (rys. 3; Schück 1899, 1902).

Na obszarze Polski anomalie grawimetryczne Bouguera w TESZ osiągają małe wartości, ok. -60 mGal. Sąsiadujące obszary terranów paleozoicznych na SW i kratonu na NE charakteryzują się anomaliami bliskimi zeru lub pozytywnymi anomaliami do +20 i +10 mGal. Modelowania grawimetryczne pokazują również, że w TESZ gęstość górnego płaszcz jest o 100-130 kg/m³ większa niż w obszarach sąsiednich (m.in. Królikowski, Petecki 1997; Wybraniec 1999).

Brzeg kratonu jest również bardzo wyraźnie widoczny na mapach ziemskiego strumienia cieplnego. TTL rozdziela obszar „zimnej” litosfery kratonu, gdzie strumień ciepła wynosi ok. 40 mW/m², od „gorącej” litosfery ze strumieniem 60-80 mW/m² dla paleozoicznych terranów na południowym zachodzie (m.in. Majorowicz i in. 2003; Majorowicz, Wybraniec 2011).

Wyniki badań elektromagnetycznych w Polsce pokazały wyraźne różnice właściwości geoelektrycznych litosfery kratonu, TESZ i platformy paleozoicznej (Ernst i in. 2008; Jóźwiak 2013). Najbardziej spektakularnym wynikiem jest stwierdzenie występowania w skorupie TESZ na głębokości 20-30 km kompleksu skał o wysokim przewodnictwie elektrycznym osiągającym 10000 S. Przewodnictwo górnego płaszcz jest również zmienne, a grubość płyt litosfery „elektrycznej”, utożsamianej z ośrodkiem o dużej oporności, wynosi 120-140 km pod platformą paleozoiczną i 220-240 km pod kratonem wschodnioeuropejskim.

Dane kompleksowych badań sejsmicznych, grawimetrycznych i strumienia cieplnego, z wykorzystaniem danych geologicznych, pozwoliły na petrologiczną interpretację skał skorupy ziemskiej i górnego płaszcz Ziemi obszaru (Puziewicz 2006; Puziewicz i in. 2017; Grad i in. 2018).

Mimo wieloletnich badań geofizycznych i geologicznych ciągle pozostają wątpliwości i różnice poglądów co do przebiegu linii Teisseyre’a-Tornquista w Polsce. Oczywistym powodem jest duża głębokość zalegania podłoża krystalicznego, nieosiągalnego bezpośrednio wierceniami. Generalnie nie ma wątpliwości co do przebiegu TTL o kierunku NW-SE, ale wyznaczona przez różnych autorów lokalizacja TTL może różnić się nawet o 50 km (Dadlez 1982; Pożaryski i in. 1992; Karnkowski 2008; Narkiewicz i in. 2011).

Podsumowanie

Wkład Wawrzyńca Teisseyre'a i Alexandra Tornquista w wyznaczenie przebiegu SW krawędzi kratonu wschodnioeuropejskiego w Europie Środkowej jest bezdyskusyjny. Teisseyre jako pierwszy udokumentował przebieg SW brzegu horstu podolskiego (linia Berdo-Narol), przy czym należy zwrócić uwagę, że w swoich pracach powoływał się również na wcześniejsze prace innych geologów: Wilhelma Blöde (1830, 1845), Aloisego Altha (1874, 1881), Józefa Siemiradzkiego i Emila Dunikowskiego (1891) oraz Eduarda Suessa (1883-1888). Wspomniana „dyslokacja” miała już bogatą literaturę: »Domyślał się jej pomiędzy Dniestrem a Prutem jeszcze Alth, później E. Suess w znanym dziele „Antlitz der Erde”. Suess kładzie nacisk na to, że płyta paleozoiczna Podola odzwierciedla stosunki wielkiej płyty rosyjskiej« (Teisseyre 1917, str. 125). Tornquist również wykorzystywał wyniki swoich poprzedników: Alberta Schücka (1899, 1902), Wilhelma Deecke (1906) i Hansa Preußa (1910).

Efektem prac Teisseyre'a (1893, 1903, 1917) i Tornquista (1908, 1910, 1913) było udokumentowanie przebiegu południowo-zachodniej krawędzi kratonu, która na obszarze Polski nazywana była linią Teisseyre'a, linią Tornquista, linią Teisseyre'a-Tornquista (TTL) lub strefą Teisseyre'a-Tornquista (TTZ). Podsumowując, rozłamy i strefy rozłamowe związane z SW krawędzią kratonu wschodnioeuropejskiego winny być rozumiane następująco:

- Linia Teisseyre'a-Tornquista (TTL) jest elementem liniowym, ostrą krawędzią cokołu krystalicznego górnej ("granitowej") skorupy ziemskiej kratonu.
- Strefa Teisseyre'a-Tornquista (TTZ) jest strefą o szerokości do kilkudziesięciu kilometrów, związaną z krawędzią kratonu. W pokrywie osadowej może przejawiać się systemem uskoków (struktury kwiatowe? system uskoków anastamozujących?). Kontynuacją TTZ na północy jest strefa Sorgenfrei-Tornquista (STZ).
- Strefa szwu transeuropejskiego (TESZ) jest terminem określającym zespół terranów pomiędzy kratonem wschodnioeuropejskim i platformą paleozoiczną; TESZ nie należy mylić z TTL, TTZ i STZ.

L i t e r a t u r a

- Alth A., 1874, Über die palaeozoischen Gebilde Podoliens und deren Versteinerungen, Abhandlungen der K.K. Geologischen Reichsanstalt, VII (1), 78 s.
- Alth A., 1881, Wapień niżniowski i jego skamieliny, Pamiętnik Akademii Umiejętności w Krakowie. Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, 6, 160 s.
- Berthelsen A., 1992, From Precambrian to Variscan Europe, [w:] A continent revealed – the European Geotraverse, D.J. Blundell, R. Freeman, S. Mueller (red.), Cambridge University Press, New York, 153-164

- Berthelsen A., 1998, The Tornquist zone northwest of the Carpathians: an intraplate pseudosuture, *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, 120 (2), 223-230, DOI: 10.1080/11035899801202223
- Blöde W.G.E., 1830, Über die Übergangs-Gebirgsformation im Königreich Pohlen, nebst einer vorangehenden Übersicht der sämtlichen Gebirgsformationen von Pohlen und einer nachfolenden Aufstellung der in Pohlen vorkommenden Mineralien, Wilhelm Gottlieb Korn, Breslau, 140 s.
- Blöde W.G.E., 1845, Die Formationsysteme von Polen und dem Angrenzenden Länderstrich als Fortsetzung der versuchsweilen darstellung der Formationsysteme vom Europäischen Russland, Carl Kray, St. Petersburg, 75 s.
- Dadlez R., 1982, Tektonika permo-mezozoiku a głębokie rozłamy strefy Teisseyre'a-Tornquista na terenie Polski, *Kwartalnik Geologiczny*, 26 (2), 273-284
- Dadlez R., Grad M., Guterch A., 2005, Crustal structure below the Polish Basin: is it composed of proximal terranes derived from Baltica?, *Tectonophysics*, 411 (1-4), 111-128, DOI: 10.1016/j.tecto.2005.09.004
- Dąbrowski A., 1971, Badania magnetyczne w Polsce dla potrzeb regionalnego rozpoznania geologicznego, *Annales de la Société Géologique de Pologne*, 41 (2), 409-416
- Deecke W., 1906, Erdmagnetismus und Schwere in ihrem Zusammenhange mit dem geologischen Bau von Pommern und dessen Nachbargebieten. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie* 22, 114-138
- Ernst T., Brasse H., Cerv V., Hoffmann N., Jankowski J., Józwiak W., Kreutzmann A., Neska A., Palshin N., Pedersen L.B., Smirnov M., Sokolova E., Varentsov I.M., 2008, Electromagnetic images of the deep structure of the Trans-European Suture Zone beneath Polish Pomerania, *Geophysical Research Letters*, 35 (15), 10.1029/2008GL034610
- Grad M., 2018, Podolian, Saxonian and Baltic plates – from Teisseyre-Tornquist Line to TESZ, *Mineralogia – Special Papers*, 48, 23-24
- Grad M., Janik T., Yliniemi J., Guterch A., Luosto U., Tiira T., Komminaho K., Środa P., Höing K., Makris J., Lund C-E., 1999, Crustal structure of the Mid-Polish Trough beneath the TTZ seismic profile, *Tectonophysics*, 314 (1-3), 145-160, DOI: 10.1016/S0040-1951(99)00241-3
- Grad M., Tiira T., ESC Working Group, 2009, The Moho depth map of the European Plate, *Geophysical Journal International*, 176 (1), 279-292, DOI: 10.1111/j.1365-246X.2008.03919.x
- Grad M., Polkowski M., Ostaficzuk S.R., 2016, High-resolution 3D seismic model of the crustal and uppermost mantle structure in Poland, *Tectonophysics*, 666, 188-210, DOI: 10.1016/j.tecto.2015.10.022
- Grad M., Puziewicz J., Majorowicz J., Chrapkiewicz K., Lepore S., Polkowski M., Wilde-Piórko M., 2018, The geophysical characteristic of the lower lithosphere and asthenosphere in the marginal zone of the East European Craton, *International Journal of Earth Sciences*, 107 (8), 2711-2726, DOI: 10.1007/s00531-018-1621-y

- Gregersen S., Wiejacz P., Dębski W., Domański B., Assinovsky B.A., Guterch B., Mäntyniemi P., Nikulin V.G., Pacesa A., Puura V., Aronov A.G., Aronova T.I., Grünthal G., Husebye E.S., Sliupa S., 2007, The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 164 (1-2), 63-74, DOI: 10.1016/j.pepi.2007.06.005
- Handbuch von Polen: Beiträge zu einer allgemeinen Landeskunde: auf Grund der Studienergebnisse der Mitglieder der Landeskundlichen Kommission beim Generalgouvernement Warschau, 1917, Verlag von Dietrich Reimer, Berlin, 466 s.
- Jóźwiak W., 2013, Electromagnetic study of lithospheric structure in the marginal zone of East European Craton in NW Poland, *Acta Geophysica*, 61 (5), 1101-1129, DOI: 10.2478/s11600-013-0127-z
- Karnkowski P.H., 2008, Regionalizacja tektoniczna Polski – Niz Polski, *Przegląd Geologiczny*, 56, 895-903
- Kreutz F., 1876, Rzecz o trzęsieniu ziemi, oraz opis trzęsienia ziemi w Galicyi wschodniej w 1875 r., *Kosmos*, 1, (w trzech częściach) 1-12, 54-65, 100-119
- Królikowski C., Petecki Z., 1997, Crustal structure at the Trans-European suture zone in northwest Poland based on gravity data, *Geological Magazine*, 134 (5), 661-667
- Kubicki S., Ryka W., Znosko J., 1972, Tektonika podłoża krystalicznego prekambryjskiej platformy w Polsce, *Kwartalnik Geologiczny*, 16 (3), 523-541
- Majorowicz J., Čermak V., Šafanda J., Krzywiec P., Wróblewska M., Guterch A., Grad M., 2003, Heat flow models across the Trans-European Suture Zone in the area of the POLONAISE'97 seismic experiment, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28 (9-11), 375-391, DOI: 10.1016/S1474-7065(03)00059-7
- Majorowicz J., Wybraniec S., 2011, New terrestrial heat flow map of Europe after regional paleoclimatic correction application, *International Journal of Earth Science*, 100 (4), 881-887, DOI: 10.1007/s00531-010-0526-1
- Narkiewicz M., Grad M., Guterch A., Janik, T., 2011, Crustal seismic velocity structure of southern Poland: preserved memory of a pre-Devonian terrane accretion at the East European Platform margin, *Geological Magazine*, 148 (2), 191-210, DOI: 10.1017/S001675681000049X
- Niedźwiedzki J., 1896, Mikrofauna kopalna ostatnich próbek wiercenia we Lwowie r. 1894, *Kosmos*, 21, 240-247
- Nowak J., 1916, Geologische Karte des vordiluvialen Untergrundes von Polen und der angrenzenden Länder. Mitteil. d. geol. Gesellsch. in Wien. Bd. IX, 63-74 mit 1 Karte (1:6000000)
- Petecki Z., Polechońska O., Cieśla E., Wybraniec S., 2003, Magnetic map of Poland, scale 1:500 000, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa
- Pharaoh T.C., 1999, Palaeozoic terranes and their lithospheric boundaries within the Trans-European Suture Zone (TESZ): a review, *Tectonophysics*, 314 (1-3), 17-41, DOI: 10.1016/S0040-1951(99)00235-8
- Pożaryski W., 1957, Południowo-zachodnia krawędź Fennosarmacji, *Kwartalnik Geologiczny*, 1 (3/4), 383-424

- Požaryski W., Grocholski A., Tomczyk H., Karnkowski P., Moryc W., 1992, The tectonic map of Poland in the Variscan epoch, *Przegląd Geologiczny*, 40, 643-651
- Preuß H., 1910, Die Salzstellen des Nordostdeutschen Flachlandes und ihre Bedeutung für die Entwicklungsgeschichte unserer Halophyten-Flora, *Schriften der Physikalisch-Ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg*, 51, 71-86
- Puziewicz J., 2006, Skąły dolnej skorupy i najwyższego płaszczu ziemi na obszarze eksperymentu POLONAISE'97 – Modele petrologiczno-sejsmiczne, *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 188, 53-68
- Puziewicz J., Polkowski M., Grad M., 2017, Geophysical and petrological modeling of the lower crust and uppermost mantle in the Variscan and Proterozoic surroundings of the Trans-European Suture Zone in Central Europe, *Lithos*, 276, 3-14, DOI: 10.1016/j.lithos.2016.06.013
- Schück A., 1899, Magnetische Beobachtungen an der Deutschen Ostseeküste, westlicher Teil: Schleswig-Holstein, Mecklenburg und Darsserdort, publikacja własna autora, Hamburg, 37 s.
- Schück A., 1902, Magnetische Beobachtungen an der Deutschen Ostseeküste IIa, publikacja własna autora, Hamburg, 14 s.
- Schweitzer J., 1995, Blockage of regional seismic waves by the Teisseyre-Tornquist Zone, *Geophysical Journal International*, 123 (1), 260-276, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1995.tb06674.x
- Siemiradzki J., Dunikowski E., 1891, Szkic geologiczny Królestwa Polskiego, Galicji i krajów przyległych, *Pamiętnik Fizyograficzny*, 11, 149 s.
- Sorgenfrei T., Buch A., 1964, Deep tests in Denmark 1935-1959, *Dannmarks geologiske Undersogelse*, III (36), 146 s.
- Suess E., 1883, *Das Antlitz der Erde*. Tom 1, Tempsky – Freytag, Prag-Wien-Leipzig, 778 s.
- Suess E., 1888, *Das Antlitz der Erde*. Tom 2, Tempsky – Freytag, Prag-Wien-Leipzig, 703 s.
- Teisseyre W., 1893, Całokształt płyty paleozoicznej Podola galicyjskiego. Rzecz o przyszłych wierceniach głębokich na Podolu opolskim, *Kosmos*, 18, 319-336
- Teisseyre W., 1903, Der paläozoische Horst von Podülän und die ihn umgehenden Senkungsfelder, *Beiträge zur Paläontologie und Geologie Österreich-Ungarns und des Orients*, XV, 101-126
- Teisseyre W., 1917, Ocena dzieła: „Handbuch von Polen”. Abt. 5. Tektonische Verhältnisse, *Kosmos*, 42 (1/4), 122-129
- Teisseyre W., 1921a, O stosunkach wewnętrznych zapadlin przedkarpaccich do krawędzi fliszu karpacciego, *Sprawozdania Polskiego Instytutu Geologicznego*, 1 (2/3), 103-121
- Teisseyre W., 1921b, Zarys tektoniki porównawczej Podkarpacia, *Kosmos*, 46 (2/3), 242-474
- Teisseyre W., 1926, Metoda kryptotektoniki a podłoże Karpat, *Kosmos*, 51, 410-417
- Teisseyre B., 2018, Wspomnienie o Wawrzyńcu Teisseyre w 80. rocznicę śmierci, *Przegląd Geofizyczny*, 63 (4), 375-382
- Teisseyre R., Teisseyre B., 2002, Wawrzyniec Karol de Teisseyre: A pioneer in the study of „cryptotectonics”. *EOS Transactions*, 83 (47), 541-546

- Tornquist A., 1908, Die Feststellung des Südwesttrends des baltisch-russischen Schildes und die geotektonische Zugehörigkeit der ost-preussischen Scholle, *Schriften der Physikalisch-Ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg*, 49 (1), 1-12
- Tornquist A., 1910, *Geologie von Ostpreussen*, Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin, 231 s.
- Tornquist A., 1913, *Grundzüge der geologischen Formations- und Gebirgskunde*, Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin, 296 s.
- Wilde-Piórko M., Świeczak M., Grad M., Majdański M., 2010, Integrated seismic model of the crust and upper mantle of the Trans-European Suture zone between the Precambrian craton and Phanerozoic terranes in Central Europe, *Tectonophysics*, 481 (1-4), 108-115, DOI: 10.1016/j.tecto.2009.05.002
- Wybraniec S., 1999, Transformations and visualization of potential field data, *Polish Geological Institute Special Papers*, 1, 88 s.
- Zielhuis A., Nolet G., 1994, Shear-wave velocity in the upper mantle beneath Central Europe, *Geophysical Journal International*, 117 (3), 695-715, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1994.tb02463.x
- Znosko J., 1979, Teisseyre-Tornquist tectonic zone: some interpretative implications of recent geological and geophysical investigations, *Acta Geologica Polonica*, 29 (4), 365-382
- Znosko J., 1986, O międzynarodowej mapie tektonicznej SW krawędzi platformy wschodnioeuropejskiej, *Przegląd Geologiczny*, 34 (10), 545-552
- Zuber R., 1893, O prawdopodobnych rezultatach głębokich wierceń we Lwowie, *Kosmos*, 18, 308-312

S t r e s z c z e n i e

Nie ma wątpliwości co do znaczącego wkładu Wawrzyńca Teisseyre'a i Alexandra Tornquista w wyznaczenie przebiegu SW krawędzi kratonu wschodnioeuropejskiego w Europie Centralnej (Teisseyre 1893, 1903; Tornquist 1908, 1910; rys. 1). Teisseyre jako pierwszy udokumentował SW krawędź horstu podolskiego (linia Berdo-Narol), jednak w swoich pracach powoływał się na wcześniejsze prace innych geologów: Wilhelma Blöde (1830, 1845), Aloisego Altha (1874, 1881), Józefa Siemiradzkiego i Emila Dunińskiego (1891), oraz Eduarda Suessa (1883-1888). Również Tornquist wykorzystywał wyniki swoich poprzedników: Alberta Schücka (1899, 1902), Wilhelma Deecke (1906) i Hansa Preußa (1910). Linia Teisseyre'a-Tornquista (TTL) w jej południowej części biegnie SW skrajem horstu podolskiego wzdłuż linii Berdo-Narol (Teisseyre 1893, 1903), a w części północnej wzdłuż SW krawędzi płyty bałtyckiej, linii Skania-Lysogóry (Tornquist 1908, 1910). Obie linie spotykają się w pobliżu Sandomierza (rys. 3). Nowoczesne badania geofizyczne pokazują, że krawędź kratonu jest ważną strukturą litosfery, dobrze widoczną w tomografii sejsmicznej, na mapie głębokości granicy Moho (rys. 6), w anomaliiach grawitacyjnych i magnetycznych (rys. 7), jak również w badaniach strumienia

ciepła i elektromagnetycznych. Położenie SW krawędzi kratonu określone przez różnych autorów może się różnić nawet o 50 km. Z tego powodu częściej używany jest termin „strefa” niż „linia”. Terminy opisujące SW krawędź kratonu powinny być rozumiane tak jak poniżej.

- Linia Teisseyre'a-Tornquista (TTL) jest elementem liniowym, ostrą krawędzią cokołu krystalicznego górnej ("granitowej") skorupy ziemskiej kratonu.
- Strefa Teisseyre'a-Tornquista (TTZ) jest strefą o szerokości do kilkudziesięciu kilometrów związaną z krawędzią kratonu. W pokrywie osadowej może przejawiać się systemem uskoku. Kontynuacją TTZ na północy jest strefa Sorgenfrei-Tornquista (STZ).
- Strefa szwu transeuropejskiego (TESZ) jest terminem określającym zespół terenów pomiędzy kratonem wschodnioeuropejskim i platformą paleozoiczną; TESZ nie należy mylić z TTL, TTZ i STZ.

Słowa kluczowe: Wawrzyniec Teisseyre, Alexander Tornquist, kraton wschodnioeuropejski, linia Teisseyre'a-Tornquista, skorupa krystaliczna.

S u m m a r y

There is no doubt in a significant contribution of Wawrzyniec Teisseyre and Alexander Tornquist in the determination of the SW edge of the East European Craton (Teisseyre 1893, 1903; Tornquist 1908, 1910; fig. 1). Wawrzyniec Teisseyre first documented SW edge of the Podolian horst (Berdo-Narol line), however in his papers he mentioned earlier contributions of other geologists: Wilhelm Blöde (1830, 1845), Alois Alth (1874, 1881), Józef Siemiradzki and Emil Dunikowski (1891), and Eduard Suess (1883-1888). Similar in the case of Alexander Tornquist – earlier contributions of Schück (1899, 1902), Deecke (1906) and Preuß (1910), has benefited him by designating the southwest edge of the crystalline East European Craton (EEC). The Teisseyre-Tornquist Line (TTL) follows in its southern part the SW edge of the Podolian horst, along Berdo-Narol line (Teisseyre, 1893, 1903) and in its northern part along the SW edge of the Baltic plate, Scania-Łysogóry line (Tornquist, 1908, 1910). Both lines meet together closely to Sandomierz (fig. 3). Modern geophysical investigations show that the edge of the craton is a major lithospheric structure, well seen in seismic tomography, Moho depth map (fig. 6), gravity and magnetic (fig. 7) data, as well as in terrestrial heat flow and electromagnetic investigations. The location of SW edge of the EEC determined by different authors is different and the variation in location may reach up to 50 km. It could be reason, that instead of “line” a term “zone” is mostly used. However, the understanding of terms describing SW edge of the EEC should be as bellow.

- Teisseyre-Tornquist Line (TTL) conceived as a linear feature is border of crystalline, “granitic” upper crust of the EEC.

- Teisseyre-Tornquist Zone (TTZ) is a few tens of kilometers wide zone related to craton edge. In the sedimentary cover it could manifests itself as a system of faults. To the north it continues as Sorgenfrei-Tornquist Zone (STZ).
- Trans-European Suture Zone (TESZ) is a term for an assemblage of suspect terranes boarded by the EEC and Paleozoic Platform; TESZ should not be mistaken with TTL, TTZ and STZ.

Key words: Wawrzyniec Teisseyre, Alexander Tornquist, East European Craton, Teisseyre-Tornquist Line, crystalline crust.