

INWERSJA BASENOWA: ZNACZENIE POJĘCIA I PRZYKŁADY Z BASENÓW SUDECKICH (CZĘŚĆ PIERWSZA) Jurand Wojewoda

HISTORIA POJĘCIA INWERSJI

Historia pojęcia inwersji w odniesieniu do procesów sedymentacji i tektoniki na obszarach basenowych wywodzi się z 19-wiecznej hipotezy geosynklijalnej, zgodnie z którą, inwersji, czyli odwróceniu, ulegają rozległe fleksuralne obniżenia wypełnione miększymi osadami (**geosynkliny**), przekształcając się w analogiczne obszary wypiętrzone (**geoantykliny**) (Dana, 1863). Pierwsza pisemna wzmianka o inwersji pochodzi od **Jamesa Halla (1859)**, rzeczywistego odkrywcy geosynklin, który pisze: „**Najbardziej wypiętrzone partie ziemskiej skorupy, czyli góry, wyrastają poprzez gigantyczną inwersję reliefu z najbardziej obniżonych regionów, z których biorą swój początek...**” („*the most elevated parts of the earth's crust – the mountains – had risen by a gigantic inversion of relief from the more depressed regions where they had originated...*”) (por. Aubouin, 1965; Dott 1985).



James Hall
(1811-1898)



James Dwight Dana
(1813-1895)



Suess Eduard
(1831-1914)

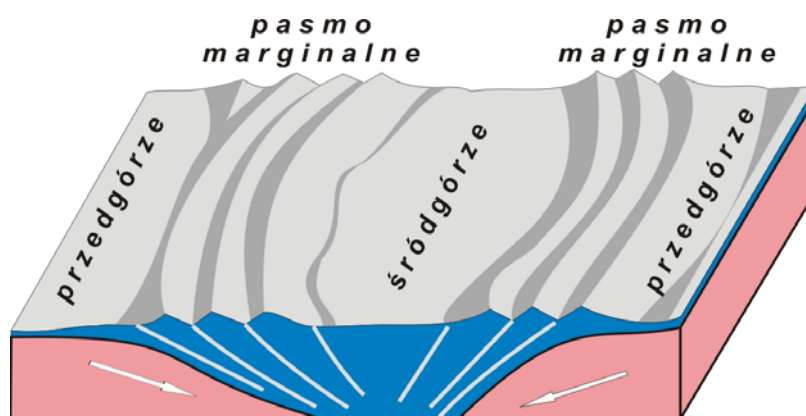


Fig. 1 Model symetrycznego, dwustronnego orogenu przedstawiony przez Kobera 1921 (fig. 30) inspirowany pracami J.D. Dana i E. Suessa

Takie, **geomorfologiczne** rozumienie inwersji, odnoszące się do stwierdzenia zmiany stanu konkretnego obszaru Ziemi można uznać zatem za pierwotne. Nie implikuje ono w żaden sposób przyczyn samej zmiany stanu. Początkowo, również żadnych konkretnych przyczyn nie sugerował amerykański geolog **James Dwight Dana**, który w swoim dziele z 1863 roku sformułował co prawda „*generalne prawa rozmieszczenia łądów i ich rzeźby*”, ale jeżeli chodzi o pasma górskie zaliczył je jedynie do „*młodszych obszarów kontynentalnych*” (przypis 1).

Pod koniec XIX wieku, geolog szwajcarski **Eduard Suess** przedstawił zręby **kontrakcyjnej hipotezy orogenu** (1875, 1885, 1888 & 1893). Suess w ogromnym stopniu wpłynął na kształtowanie się poglądów o ewolucji basenów. Inspirowany jego poglądami Dana już w 1873 roku przedstawił model rozwoju geosynkliny właśnie w kontekście hipotezy kontrakcyjnej (por. Dott 1997; Sengor 1999).

PRZYPIS 1

“I. The continents have mountains along their borders, while the interior is relatively low; and these border mountain-chains often consist of two or three ranges elevated at different epochs. II. The highest mountain-border faces the largest ocean, and conversely. III. The continents have their volcanoes mainly on their borders, the interior being almost wholly without them, although they were largely covered with salt water from the Azoic age to the Tertiary. Also metamorphic rocks later than the Azoic are most prevalent along their borders. IV. Nearly all the volcanoes of a continent are on that border which faces the largest ocean. V. The strata of the continental borders are for the most part plicated on a grand scale, while those of the interior are relatively but little disturbed. VI. The successive changes of level on coasts, even from the Azoic age to the Tertiary, have been in general parallel to the border mountain-chains. VII. The continents and oceans had their general outline or form defined in earliest times

(Dana, 1863, pp. 731-732)



Abraham Ortel
(Ortelius, 1527-1598)



Fig. 2 Schemat otwarcia Atlantyku (Antonio Snider-Pellegrini (1858)

Warto podkreślić, że Wegner nie był pierwszym, który postulował rozpad kontynentów. Kartograf holenderski **Abraham Ortel (Ortelius)** w swoim *Thesaurus Geographicus* wydanym w Antwerpii w 1596 roku sugerował związki kształtu między kontynentami. W 1858 roku **Antonio Snider-Pellegrini** opublikował rycinę, na której wyraźnie postuluje otwarcie Atlantyku między Afryką i Ameryką (Fig. 2), a w 1910 roku amerykański geolog **F. B. Taylor** wskazał „zderzające się kontynenty”, jako przyczynę powstawania gór.



Alfred Lothar Wegener
(1880-1930)



William J. Morgan



Xavier Le Pichon

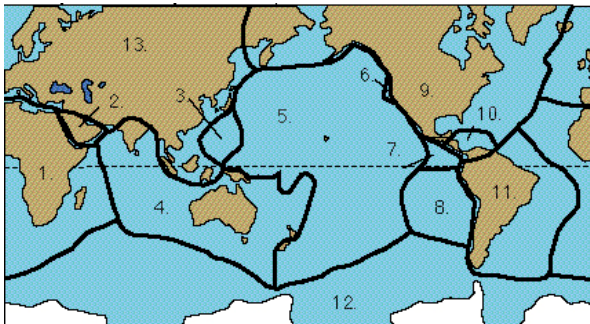


Fig. 4 Główni twórcy globalnej teorii tektoniki płyt (górną); główne płyty litosfery wydzielane w teorii tektoniki płyt (dół): (1) Juan de Fuca, (2) Pacyfik, (3) Arabia, (4) Cocos, (5) Afryka, (6) Nazca, (7) Antarktyka, (8) Indie-Australia, (9) Karaibska, (10) euroazjatycka, (11) N-Ameryka, (12) S-Ameryka, (13) Filipiny

W 1908 roku niemiecki geofizyk **Alfred Wegener** pierwszy przedstawił sugestywną koncepcję pochodzenia współczesnych oceanów i kontynentów, znaną pod nazwą teorii **wędrowki kontynentów** (ang. (*continent drift*)) (Wegener 1912, 1915 i 1929; Du Toit 1927) (Fig. 3).

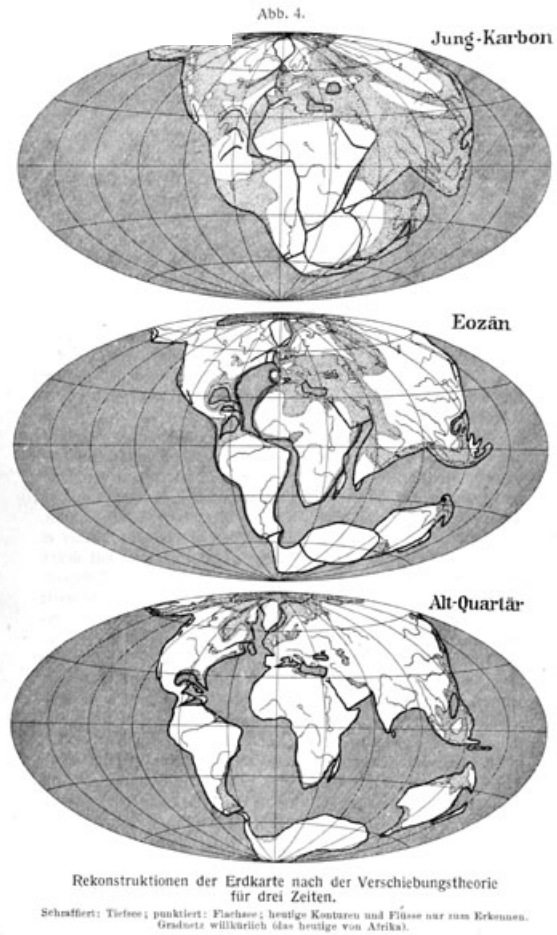
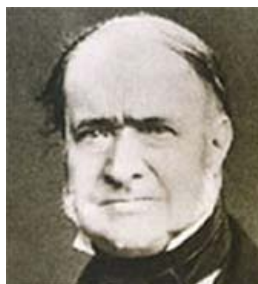


Fig. 3 Rozpad Pangei - oryginalna ilustracja z pracy Alfreda Wegenera (1929)

Pomimo, że teoria wędrowki kontynentów A. Wegenera była początkowo lekceważona, a nawet zarzucona, to jednak zapoczątkowała ona nowy okres w historii badań geologicznych, a zwłaszcza geotektonicznych, który szeroko określa się pod mianem **mobilizmu**. W latach 60-tych XX wieku, kiedy dokonano rewolucyjnych odkryć struktury i wieku współczesnych oceanów, a zwłaszcza **grzbietów śródoceanicznych** i zjawiska **spreadingu**, na bazie mobilizmu wegenerowskiego powstała globalna teoria geotektoniczna - **tektonika płyt**, która w zmodyfikowanych formach obowiązuje do dzisiaj (Morgan 1968; Le Pichon i inni 1973)(Fig. 4).

KONTRAKCYJNY MODEL INWERSJI



Élie de Beaumont
(1798-1874)



Hans Stille
(1876-1966)

Przyczyny inwersji rozumianej jako **wypiętrzenie obszaru basenowego**, były różnie wskazywane, przez różnych geologów, w zależności od wyznawanych przez nich **globalnych modeli tektonicznych**. Zanim jednak te ostatnie ugruntowały się w geologii, w 1848 oraz 1852 roku, geolog francuski **Élie de Beaumont** w objaśnieniach do mapy Francji w skali 1:500000 stwierdził, że zwiększająca się ku południowi miąższość osadów miocenu wiąże się z **subsydencją spowodowaną kontrakcją** i tym samym zasugerował kompresyjny rozwój basenu alpejskiego (wg Şengör 1999).

Przełom XIX i XX wieku zdominowały poglądy prezentowane przez **Leopolda Kobera** (1921) i **Hansa Stille** (1924), które wywodziły się wprost z hipotezy kontrakcyjnej Suessa (tzw. **szkoła tektoniczna Kobera-Stillego**). Wprowadzając do geologii pojęcie **kratonu** i przedstawiając zmodyfikowany **model orogenu fałdowego Kobera**, jako efekt **kompresji** obszarów **międzykratonicznych** (Stille w sposób zasadniczy wpłynął na późniejszy rozwój badań strukturalnych). Prace Stillego (1929 a i b), poświęcone tektonice i paleogeografii Europy Środkowej, do dzisiaj wielu geologom wyznaczają ramy prowadzonych badań w zakresie tematyki basenowo-orogenicznej. Schemat Stillego (1929 b, p. 342) jest sugestywnym pierwowzorem dwuwymiarowego odwzorowania inwersji, w jej niemal współczesnym pojmowaniu (Fig. 5).

W 1966 roku **J. Tuzo Wilson** opublikował artykuł, w którym przedstawił schemat ewolucyjny znany obecnie pod nazwą **cyklu Wilsona** (Fig. 6). W rzeczywistości schemat ten stanowił próbę połączenia znanych wcześniej pojęć, tzn. geosynklin i **kratonów**, w jednym modelu przestrzenno-ewolucyjnym. Koncepcja Wilsona zapoczątkowała praktykę wiązania basenów sedimentacyjnych z orogenerami i tym samym dała pojęciową podstawę do wprowadzenia w późniejszym okresie terminu inwersji basenowej.

Schematy paleogeograficzno-strukturalne Suessa i Stillego, wzmocnione później powszechnie lansowanym diagramem Wilsona, w istotny sposób wpłynęły na kolejne interpretacje orogenu waryscyjskiego (*Central European Variscan Belt sensu* Kossmat 1927) (Fig. 7 i 8), w tym również obszaru Sudetów (m. in. Narębski 1992; Franke & Żelaźniewicz 2002 & 2006; Aleksandrowski i inni 2006).

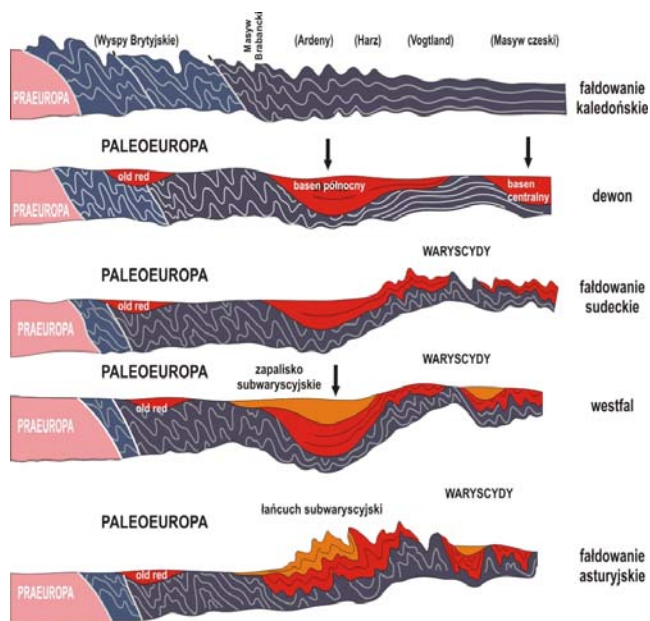


Fig. 5 Schemat rozwoju strefy subwaryscyjskiej (pierwowzór inwersji basenowych) (Stille 1929)

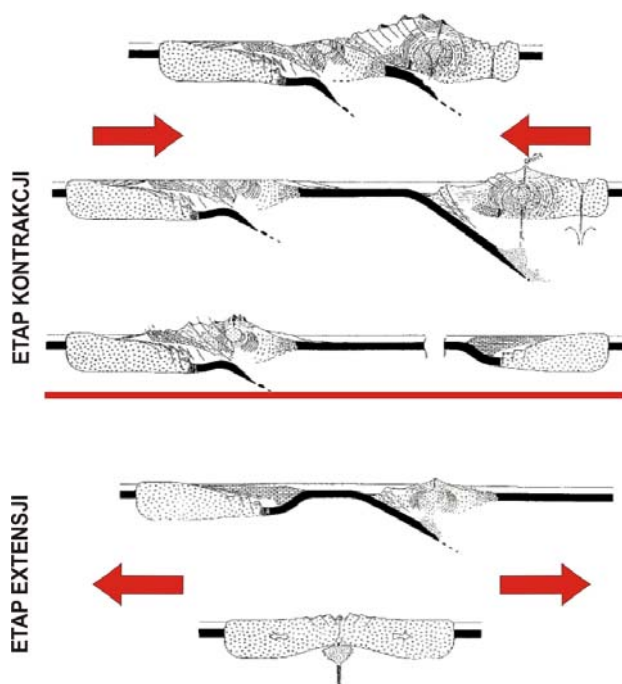


Fig. 6 Schemat przestrzenno-ewolucyjny znany pod nazwą cyklu Wilsona



Kossmat Franz
(1871-1938)

Podobnie, rekonstrukcje paleogeograficzne Zieglera (1982) mają swoje korzenie w XIX-wiecznej hipotezie kontrakcji.

Postulowany przez tektonikę płyt proces **kolizji**, stosowany w odniesieniu do **aktywnych krawędzi** płyt, skutecznie przenosi istotę lokalnej kontrakcji na schemat orogenu alpejskiego w Europie (Ziegler 1985, 1989 & 1990), a nawet na obszar basenu duńsko-polskiego (m. in. Dadlez 1980, Krzywiec 2002). Ponieważ w obowiązujących schematach reologicznych tektoniki płyt **regionalna kompresja** (siła) jest uznawana za główną przyczynę **regionalnego skrócenia**, czyli kontrakcji (odkształcenie), zatem konsekwentnie modele inwersji basenowych dla w/w obszarów są wyprowadzane właśnie z regionalnej kompresji. Kontrakcyjne modele inwersji basenowych oparte na regionalnej kompresji zostały ostatnio zaproponowane zarówno dla warietydów sudeckich (m.in. Mazur & Kryza 1996; Kozdrój 2003; Mazur i inni 2006), jak i basenu duńsko-polskiego (m.in. Krzywiec 2000, 2002 i 2005; Mazur i inni 2005).

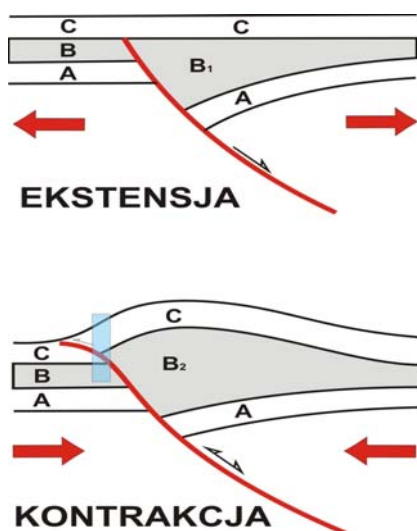


Fig. 8 Schemat inwersji kontrakcyjnej. Przestrzeń B1 i B2 powinny być takie same. Na niebiesko zaznaczony obszar inwersji stratygraficznej.



Fig. 7a Sugestywny schemat warietydów Europy Kossmata (1927)



Fig. 7b Schemat warietydów Europy nawiązujący do schematu Kossmata 1927 (Dallmayer i inni, 1995; Franke & Żelazniewicz 2002)



Fig. 7c Tektonicy, uczestnicy zjazdu Niemieckiego Towarzystwa Geologicznego (DGG) w miejscowości Goslar w 1927 roku, gdzie podjęto brzemienne w skutkach „uzgodnienia” dotyczące stanu wiedzy i kierunku dalszych badań geologicznych w Europie. Oznaczenia: c – Hans Stille, f – Franz Kossmat.

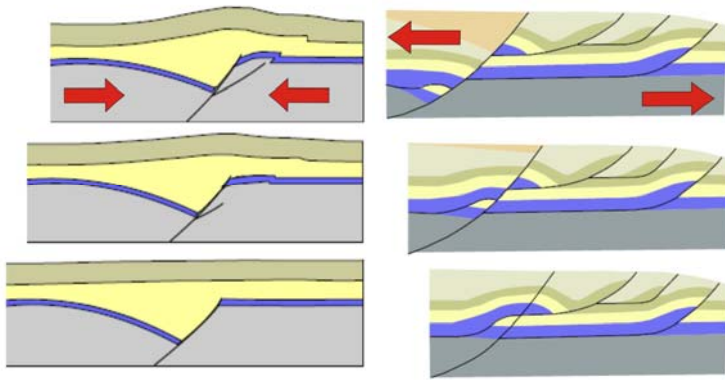


Fig. 9 Schemat kontrakcyjnej inwersji ujemnej (lewa strona) i dodatniej (prawa strona) (wg. Schlische 2003; Andresen 2006)

W zależności od następstwa procesów tektonicznych wyróżnia się **inwersję dodatnią**, kiedy po etapie ekstensji (i obniżania) obszaru basenowego następuje etap jego kontrakcji (i wypiętrzenia) spowodowanej kompresją oraz **inwersję ujemną**, kiedy procesy te następują w odwrotnej kolejności (Fig. 9).

Inwersja kontrakcyjna jest pojęciem czysto geometrycznym, co znalazło wyraz w próbie jej ilościowej oceny. Po pierwsze, założeniem podstawowym jest zbilansowanie przestrzeni geologicznej przed i po inwersji, co sprowadza się do kilku prostych zasad (Williams i inni, 1989). Przede wszystkim, aby tylko na podstawie przesłanek geometrycznych (np. interpretacja sekcji sejsmicznych) stwierdzić inwersję zdefiniowaną jak wyżej, należy wykazać, że przestrzeń wypełniona osadami wskutek subsydencji jest równa przestrzeni „wypchniętej” z basenu sedimentacyjnego (poza wpływ środowiskowych procesów basenowych), czyli uznania, że wielkości B1 i B2 ze schematu na figurze 8 są takie same. Niestety, w niektórych pracach poświęconych kontrakcyjnej inwersji basenowej, zasada ta nie jest traktowana serio, a wnioskowanie o istnieniu zjawiska inwersji jest czysto - wrażeniowe. Aby ułatwić ocenę ilościową inwersji wprowadzony został tzw. **współczynnik inwersji** (Williams i inni, 1989), który opiera się na prostych i poniekąd łatwych do zweryfikowania cechach geometrycznych ujawnionych na 2-wymiarowych odwzorowaniach architektury basenowej (sekcje sejsmiczne) (Fig. 10). Warto również podkreślić, że wymienione wyżej parametry procesy - ekstensja i obniżanie oraz kompresja i wypiętrzenie, są przez wielu geologów traktowane jako jednoznacznie ze sobą powiązane, co wprost wynika z uproszczonego schematu reologicznego, który zwykle stosuje się dla objaśniania odkształceń litosferycznych.

Kontrakcja stanowi obecnie często postulowany mechanizm przebudowy architektury basenów sedimentacyjnych. Proponowane współcześnie tektoniczne, **kontrakcyjne modele przebudowy architektury basenów sedimentacyjnych** często są określane mianem inwersji basenowej, chociaż w rzeczywistości sens tego pojęcia nie zawsze odpowiada jego pierwotnemu znaczeniu. Powszechnie przyjmuje się, że **inwersja oznacza przeciwny do wyjściowego (inicjalnego, początkowego) kierunku i styl deformacji przestrzeni geologicznej** (np. Schlische, 2003)(Fig. 8).

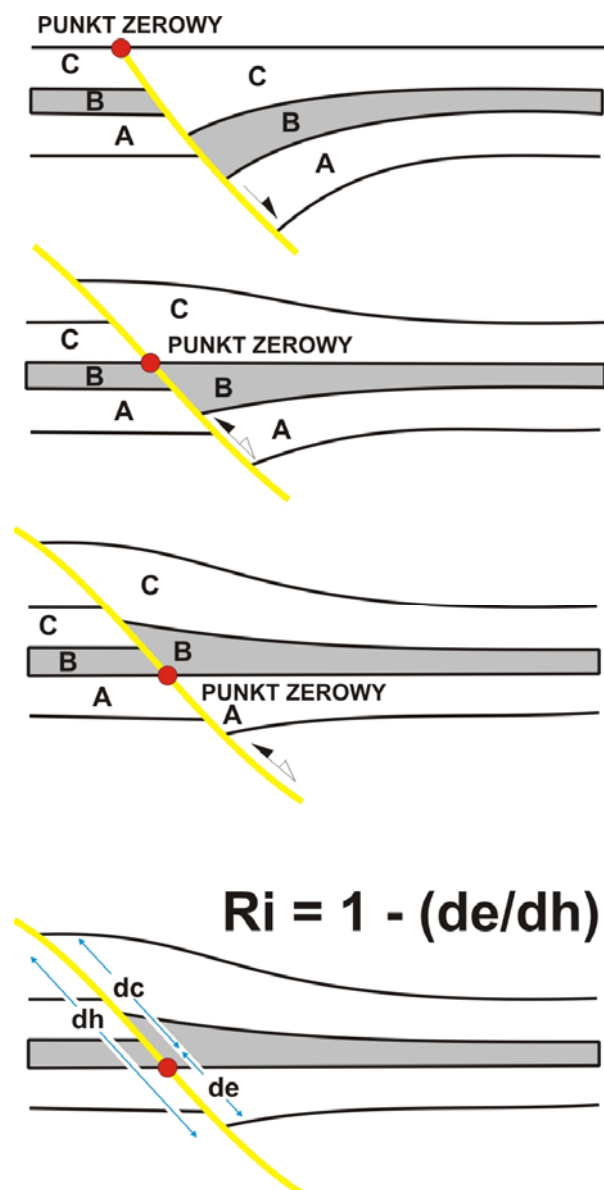


Fig. 10 Położenie tzw. punktu zerowego oraz parametry geometryczne współczynnika inwersji R_i

Do struktur tektonicznych zaliczanych jako wskaźnikowe dla inwersji dodatniej, zalicza się między innymi **antykliny**, **uskoki odwrócone** i **przesuwce**, powstałe wskutek reaktywacji uskoku pierwotnie normalnych, powstałych w okresie ekstensji poprzedzającej kontrakcję (m. in. (Harding 1983; Bally 1984; Lowell 1995). Fałdy wiązane z inwersją dodatnią często mają strzałkowy, harpunowy kształt i, od miejsca, skąd pochodzą pierwsze ich opisy, określane są mianem tzw. **faldów sundajskich** (White & Wing 1978). Liczne przykłady zespołów struktur tektonicznych zinterpretowanych jako rezultaty inwersji basenowych znajdują się w pracach Cooper & Williams (1989), Coward (1994, 1996) oraz Buchanan & Buchanan (1995).

EKSTENSYJNY MODEL INWERSJI



Daniel Peter McKenzie

W 1978 roku geolog brytyjski **Daniel P. McKenzie** przedstawił prosty model rozwoju basenów sedymentacyjnych wskutek **prostego rozciągania litosfery**. Jako przyczynę powierzchniowej subsydencji w fazie inicjalnej formowania się basenu McKenzie wskazuje zmniejszenie grubości sztywnej litosfery, przy czym zasadniczym mechanizmem cienienia są przemieszczenia bloków wzdłuż normalnych uskoku o listrycznych lub płaskich powierzchniach nachylonych pod kątem od ok. 30 do 60. W późniejszych etapach subsydencja może być dodatkowo wywołana **fleksyjnym ugięciem brzegu** basenu oraz **grawitacyjnym obciążeniem** wskutek wypełniania basenu osadami. Subsydencji w basenie towarzyszy termiczna, izostaticzna reakcja podłoża, które tworzy elewację aż do fazy rozerwania płyty litosferycznej i powstania **ryftu** (Fig. 11A).

Model McKenzie zainspirował wielu kolejnych geologów i doczekał się licznych modyfikacji (por. Wernicke 1981 & 1985) (Fig. 11 B & C). Współcześnie stwierdza się różne przypadki tzw. **basenów ekstensyjnych**, które, pomimo podobieństwa zasadniczych cech, często mają unikalną architekturę i wykazują swoistą ewolucję. Pełny przegląd problematyki można znaleźć w pracach poświęconych takim basenom (m.in. Allen & Allen 1990; Kuszniir i inni 1992).

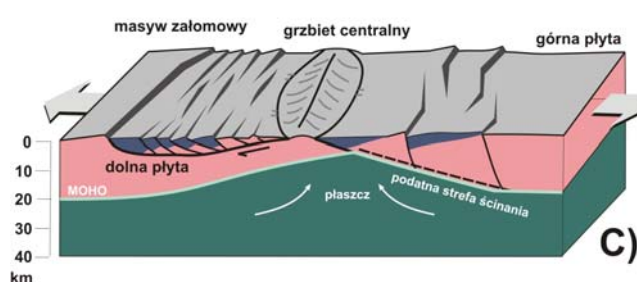
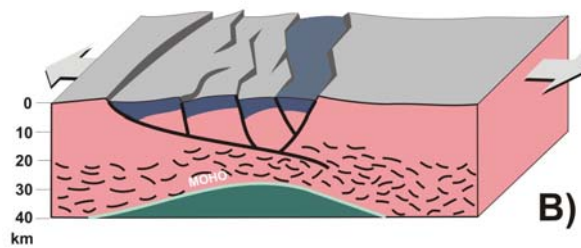
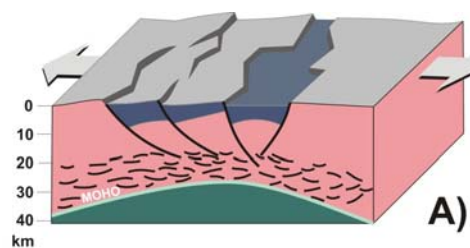
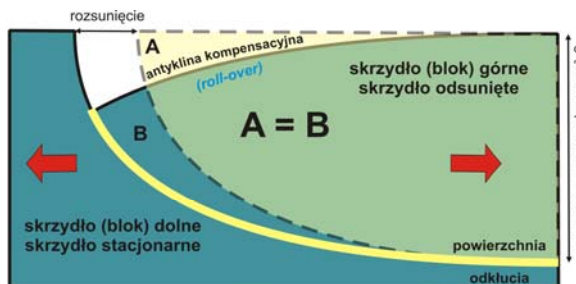


Fig. 12 Najważniejsze zjawiska strukturalne związane z architekturą basenów ekstensyjnych (Gibbs 2002)

Fig. 11 Schemat pensyjnego rozwoju basenu sedymentacyjnego wskutek rozciągania (A) (McKenzie 1978); rozciągania i prostego ścinania (B) oraz prostego ścinania (Wernicke 1981 & 1985)

Z powstawaniem i ewolucją basenów ekstensyjnych ściśle wiążą się takie pojęcia, jak **antyklina kompensacyjna** (ang. *roll over*), **uskok przeciwstawny** (ang. *antithetic fault*), czy **powierzchnia odłączenia** (ang. *detachment plane*) (Fig. 12) (Gibbs 2002).

Sformułowanie “inwersja basenowa” (ang. *basin inversion*) pojawiło się stosunkowo niedawno w literaturze geologicznej. Początkowo było używane przez geologów naftowych w odniesieniu do **obszarów na przemian obniżanych i podnoszonych** (Glennie & Boegner 1981; Bally 1984). O ile we współczesnej analizie basenowej (por. Allen & Allen 1990) przyjmuje się na ogół rozciąganie jako główną przyczynę formowania się basenów, o tyle w odniesieniu do inwersji basenowej postulowane są różne mechanizmy. Jeden z takich mechanizmów wskazał Van Bemmelen (1949 & 1954), który postulował wtórną, powierzchniową **faldową tektonikę grawitacyjną** na zboczach obniżanego basenu sedimentacyjnego. W odniesieniu do basenów ekstensyjnych sformułowanie *inwersja* została użyta po raz pierwszy przez wspomnianego

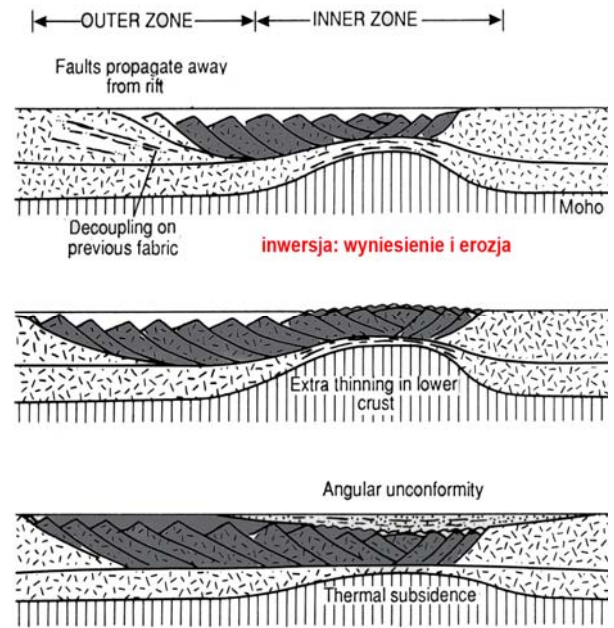


Fig. 13 Pierwotne zastosowanie sformułowania *inwersja* w odniesieniu do basenu ekstensyjnego: wypiętrzenie centralnej części basenu i erozja (Coward 1986)

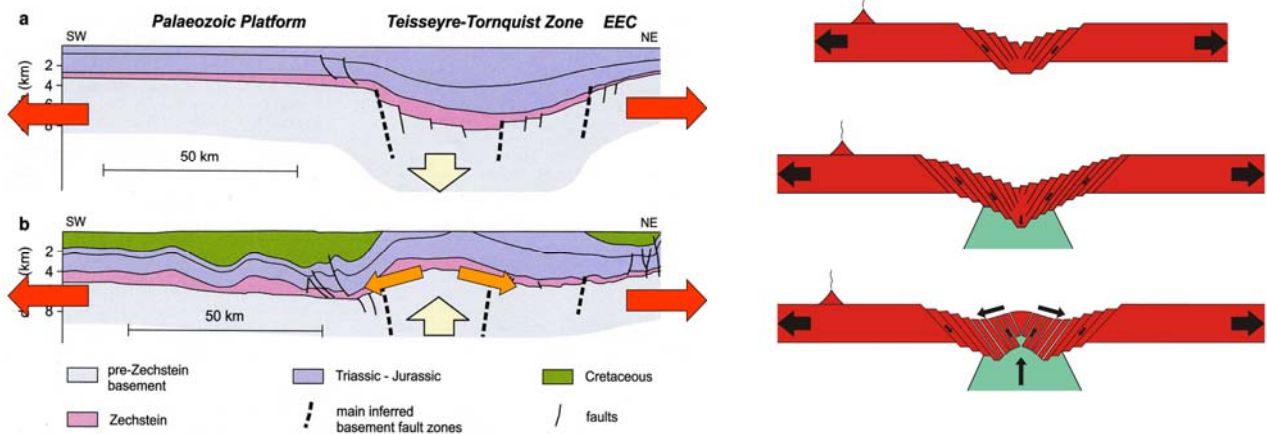


Fig. 14 Ekstensyjna interpretacja inwersji basenu duńsko-polskiego (z lewej) i ogólny model inwersji basenu ekstensyjnego (z prawej) (Koziar 2007)

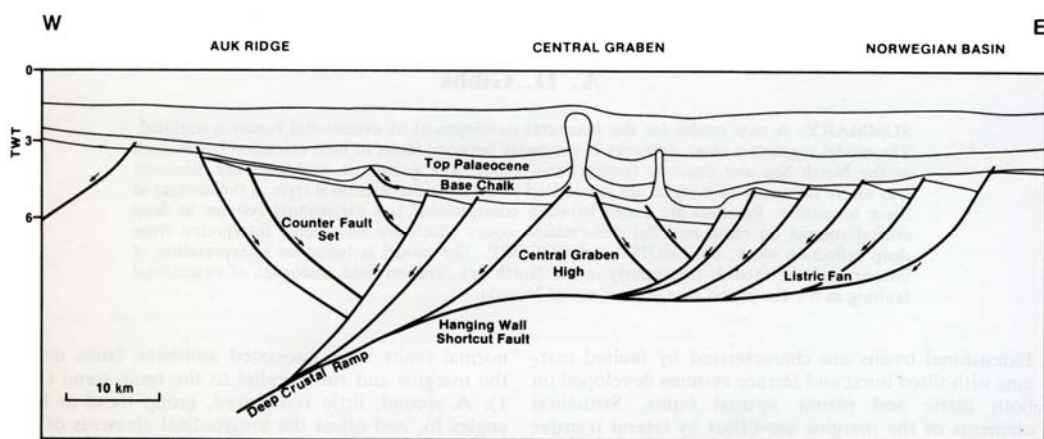


Fig. 15 Ekstensyjne stopnie antyetyczne (Central Graben, Morze Północne) (Gibbs 2002)

wcześniej Cowarda w 1986 roku. Coward użył tego sformułowania zarówno w odniesieniu do **pionowego wypiętrzenia** centrum basenu, jak i do związanej z tym **erozji wewnątrzbasenowej** (Fig. 13). Analogiczny model dla basenu duńsko-polskiego przedstawił ostatnio Koziar (2007) (Fig. 14).

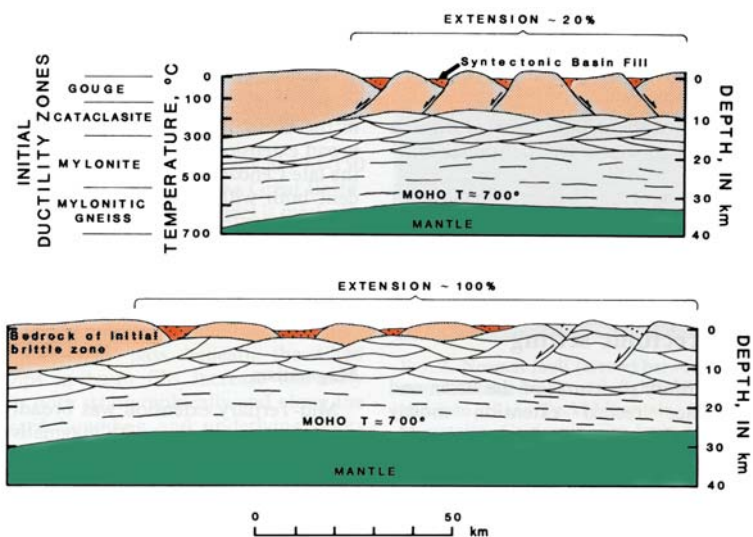


Fig. 16 Schemat struktury ekstensywnej prowincji Basin and Range

sji basenowej. Debata trwa cały czas, a zakres znaczeniowy tego pojęcia pozostaje ciągle niejednoznaczny. Jest kilka przyczyn takiego stanu rzeczy. Przede wszystkim dlatego, że ewolucja każdego basenu obejmuje etapy różne pod względem istoty zachodzących procesów i zmian. **Powstanie basenu** to etap, w którym szeroko rozumiany kontekst geotektoniczny i stan litosfery pozycjonują i wyznaczają jego ramy. **Wypełnianie basenu** zależy w znaczącej mierze od czynników egzogenicznych, jak klimat, potencjał denudacyjny, czy rozmiary basenu. Etap **inwersji basenowej**, o ile do takiej dochodzi, jest najmniej zdefiniowanym procesem, a jego początek może nastąpić w dowolnym momencie poprzednich etapów (!) lub w różnym czasie w różnych miejscach basenu. Inwersja to proces, który zaznacza się zarówno w procesach sedymentacyjnych i stratygrafii basenu, jak i w przebudowie pierwotnej architektury wypełnień basenowych.

Tak więc jeżeli traktować analizę basenową jako opis przebiegu sedymentacji z jednej strony i poszukiwanie strukturalnych przesłanek inwersji z drugiej, koniecznością staje się stosowanie różnej metodyki właściwej dla tych zadań. Tym samym, poza problemami natury czysto **semantycznej**, pojęcie inwersji basenowej jest trudne do zdefiniowania z powodów **metodologicznych**.

SEMANTYKA SFORMUŁOWANIA INWERSJA BASENOWA

Nazwa **basen (sedymentacyjny)** (ang. *sedimentary basin*) jest szeroko stosowana. Znamienne, że próby definiowania tego pojęcia były nieliczne, podczas gdy różnym **klasyfikacjom** basenów sedymentacyjnych poświęcono bardzo wiele prac. Dobrym przykładem jest tutaj podręcznik Mialla (1984), w którym autor przytacza różne klasyfikacje basenów sedymentacyjnych, a nawet porządkuje liczne metody badawcze wchodzące w skład **analizy basenowej**, jednak samego pojęcia nie definiuje. Według jednej z pierwszych definicji pojęcia, którą podali Mitchell i Reading (1986), basen sedymentacyjny to **obniżony obszar, na którym występują osady lub skały osadowe o znacznej miąższości w centrum obszaru i mniejszej na jego brzegach**. Inaczej definiują basen sedymentacyjny Allen i Allen (1990), według których jest to **region o długotrwałej subsydencji powierzchni Ziemi**. Jeszcze inaczej ujął to Nichols (1999), według którego jest to miejsce, gdzie **gromadzą się osady w następstwie stratygraficznym**, a dodatkowo są to osady **o miąższości od setek do tysięcy metrów na powierzchni od tysięcy do milionów km kw**. Wyrazem **inwersja** (łac. *inversio*) określa się **odwrócenie zwykłego układu, wartości elementów, faz procesu** itd. Zgodnie z powyższym znaczeniem poszczególnych wyrazów zbitka znaczeniowa „inwersja basenowa”, musiałaby oznaczać jeden z następujących wariantów lub ich kombinację:

Innym, zupełnie naturalnym mechanizmem inwersji basenowej w warunkach stałej ekstensji jest model **ekstensyjnych stopni antytetycznych** (ang. *extensional duplex*, wg. Dahlstrom 1969) i ściśle związanych z nimi **uskoków niskokątowych** (ang. *low-angle faults*, por. Morley 2002), który znalazł zastosowanie w wielu regionach świata, w tym w klasycznym obszarze „*Basin and Range Province*” w Ameryce (Fig. 16) (Hamilton 2002; Jackson 2002 a & b; Kuznir i inni 2002; Leeder & Gawthorpe 2002) oraz w wielu miejscach Północnego Atlantyku (Gibbs 2002).

W 1987 roku odbyło się Londynie spotkanie Royal Society poświęcone zagadnieniu tektoniki inwersyjnej, które rozpoczęło szeroką debatę nad pojęciem inwersji basenowej.

1. **Proces polegający na wypiętrzeniu obszaru wcześniej obniżonego.** Taki proces (*ang. transformation of an area of subsidence to one of uplift*) jest przyjmowany przez wielu badaczy, jako główne kryterium inwersji basenowej (np. Schlischie, 2003). Często też proces taki jest określany jako **inwersja dodatnia** (*ang. positive inversion*).
2. **Proces polegający na zamianie względnego rozmieszczenia obszarów, na których występują osady lub skały osadowe o znacznej miąższości.** Taki proces może nastąpić w dwóch sytuacjach. Jeżeli dotyczy osadów w trakcie sedimentacji (wypełniania basenu), to polega na przemieszczaniu się (migracji) obszarów o najwyższym tempie akomodacji lub na redepozycji osadów w obrębie basenu. Jeżeli dotyczy osadów zdeponowanych lub skał osadowych, wtedy może polegać na erozji wewnątrzbasenowej lub może być spowodowane transportem tektonicznym (odkształceniem).
3. **Proces polegający na zamianie (odwróceniu) następstwa stratygraficznego osadów (skał osadowych).** Taki proces może nastąpić w następstwie redepozycji osadów, głównie masowej i w obrębie basenu lub wskutek tektonicznej przebudowy architektury basenowej.

Jak wynika z przedstawionych wyżej możliwości, pojęcie inwersji basenowej może być stosowane jedynie w odniesieniu do **udokumentowanej zmiany stanu (cech) basenu sedimentacyjnego**. W szczególności odnosi się do cech osadów (skał osadowych), które stanowią element architektury basenowej. Użycie tego pojęcia w odniesieniu do konkretnego procesu, czy to sedimentacyjnego, czy tektonicznego, który prowadzi do takich zmian musi być oparte na niezależnych przesłankach. Ujmując rzecz bardziej kategorycznie można stwierdzić, że samo **stwierdzenie istnienia zjawiska inwersji basenowej nie przesądza o charakterze procesu, który do takiej inwersji doprowadził**.

STRATYGRAFICZNE PRZESŁANKI INWERSJI BASENOWEJ



Niell Stensen (Steno)
(1638-1686)

Przesłanki stratygraficzne stanowią z całą pewnością jedno z najważniejszych kryteriów inwersji basenowej. W XVII wieku duński geolog i paleontolog **Niels Stensen**, znany również pod nazwiskiem Nicholas Steno, ogłosił dwie fundamentalne zasady stratygrafii. Pierwsza, znana jest pod nazwą **zasady pierwotnego poziomego ułożenia osadów**, pomimo, że współcześnie znacznie straciła na swojej ostrości, stanowi podstawę dla wielu współczesnych metod opisu strukturalnego i interpretacji struktur tektonicznych. Stanowi również punkt wyjścia dla nowoczesnych metod stratygrafii sekwencyjnej – tzw. **metody inwersyjnej**, polegającej na **dekompakcji** skał osadowych i odtworzeniu ich

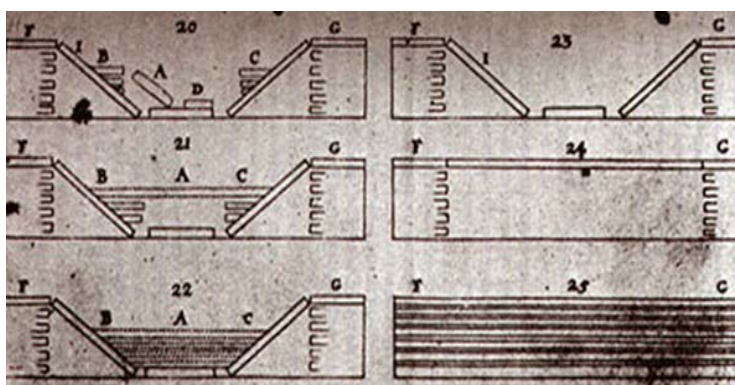


Fig. 17 „Jaskinia Steno” schemat ilustrujący zasadę superpozycji (wg. Rudwick 1976)

ciła na swojej ostrości, stanowi podstawę dla wielu współczesnych metod opisu strukturalnego i interpretacji struktur tektonicznych. Stanowi również punkt wyjścia dla nowoczesnych metod stratygrafii sekwencyjnej – tzw. **metody inwersyjnej**, polegającej na **dekompakcji** skał osadowych i odtworzeniu ich

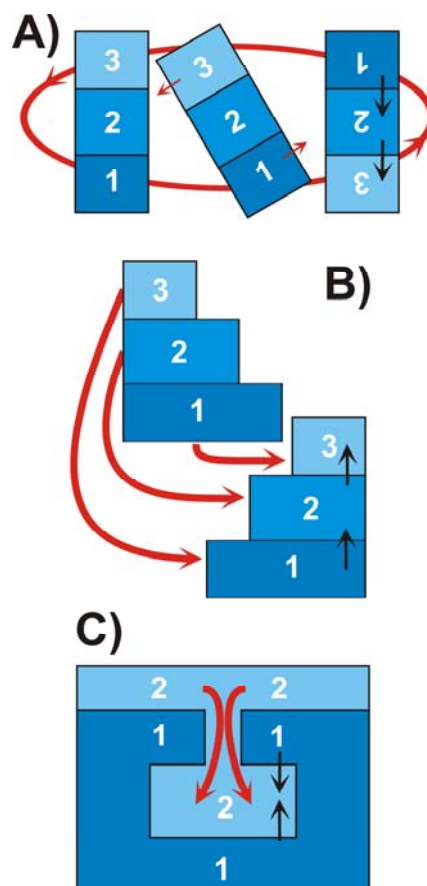


Fig. 18 Rodzaje inwersji stratygraficznej

pierwotnych, wzajemnych relacji w przestrzeni basenu. Druga zasada znana jest pod nazwą **prawa superpozycji**, które określa możliwe następstwo przestrzenne zjawisk (np. osadów), jako funkcję wieku (Fig. 17). Również i ta zasada zdecydowanie utraciła swój uniwersalny charakter w nowoczesnej stratygrafii.

Przedstawione wyżej zasady pozwalają ustalić zarówno normalne, jak i odwrócone następstwo stratygraficzne. To ostatnie często określane jest mianem **inwersji stratygraficznej**. Zasadniczo wyróżnia się 3 różne rodzaje inwersji stratygraficznej (Fig. 18). Pierwszy

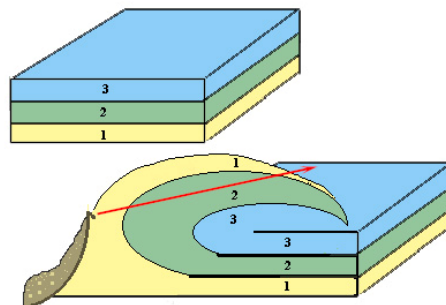


Fig. 19 Inwersja stratygraficzna spowodowana impaktem – upadkiem meteorytu

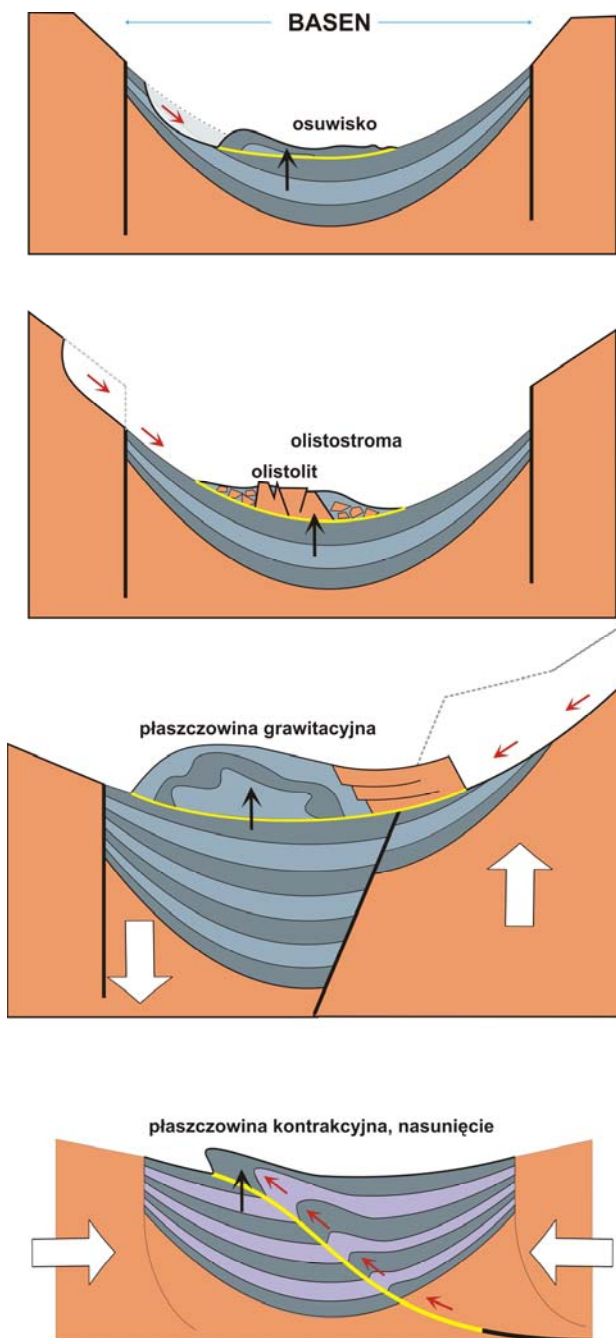


Fig. 20 Różne mechanizmy powstawania powtórzonych sekwencji stratygraficznych w basenach

rodzaj inwersji polega na odwróceniu sekwencji poprzez rotację (Fig. 18 A). Ten rodzaj inwersji może powstać wyłącznie wskutek odkształcenia ośrodka jako nierozdzielnej całości, np. wskutek sfałdowania tektonicznego lub synsedymencyjnego. Drugi rodzaj inwersji wiąże się zwykle z redepozycją sukcesji osadowej w odwróconej kolejności, np. wskutek wydarzenia (upadek meteorytu, ześlizg) (Fig. 18 B & 19), ale również w trakcie długotrwałej redepozycji osadów w tzw. środowiskach przejściowych. Jeden z pierwszych opisów takiej inwersji zawdzięczamy Darwinowi, który na Bermudach stwierdził odwrócenie następstwa wiekowego osadów plażowych w porównaniu do następstwa gleb na lądzie. Ostatni przypadek inwersji dotyczy tak wyjątkowych zjawisk i procesów, jak osady i sedimentacja jaskiniowa, czy wypełnianie dajek neptunicznych (Fig. 18 C). W skali basenowej inwersja tego rodzaju wiąże się przede wszystkim może być spowodowana wulkanizmem i subwulkanizmem.

Szczególnym przypadkiem jest inwersja stratygraficzna polegająca na powtórzeniu sekwencji w takiej samej kolejności. Przyczyny takiej inwersji mogą być różne, od wewnątrz basenowych zjawisk redepozycji (np. **osuwiska**, **ześlizgi**), poprzez redepozycję dużych fragmentów spoza basenu (np. **olistolity**, **olistostrony**, **płaszczyzny grawitacyjne**) do odkształcenia tektonicznego pierwotnej architektury basenu (np. **płaszczyzny kontrakcyjne**) (Fig. 20). Warto tutaj wspomnieć, że granice pojęciowe między intraklastem, olistolitem a płaszczyzną grawitacyjną nie są ostre. Zwykle dotyczą one skali zjawisk od najmniejszych do największych. Np. pomimo identycznej genezy przyjmuje się, że olistostroma tym się różni od debrytu, że będąc osadem jednego wydarzenia, ma rozmiary pozwalające na wyznaczenie jej granic na mapie w skali co najmniej 1:25000. Podobnie olistolity tym się różnią od zwykłego koluwium ześlizgowego, że pochodzą spoza basenu i mogły ulec rotacji w trakcie transportu. Z kolei olistolit od płaszczyzny różni się przede wszystkim tym, że ma zachowaną, pierwotną strukturę wewnętrzną, w niewielkim stopniu zaburzoną i z zachowanym pierwotnym następstwem stratygraficznym.

SEDYMENTOLOGICZNE PRZESŁANKI INWERSJI BASENOWEJ

Aby stwierdzić rodzaj inwersji stratygraficznej w sukcesjach osadowych trzeba ustalić pozycję jednostek sedymentacyjnych (warstw, ławic), czyli wskazać ich strop oraz spąg. Niezwykle przydatne są tutaj sedymentacyjne i diagenetyczne wskaźniki pierwotnego kierunku ku górze (ang. *way-up indicators*) (Fig. 21) (Wojewoda 1992).

O inwersji paleogeograficznej (geomorfologicznej) w basenie mogą świadczyć wskaźniki **inwersji facjalnej** w basenie sedymentacyjnym (Fig. 22). O inwersji facjalnej mogą świadczyć między innymi następujące cechy osadów i architektury basenowej:

- zmiana kierunków paleoprzepływu lub paleotransportu w profilu pionowym;
- zmiana kierunków paleotransportu w kolejnych, jednoczasowych jednostkach stratygraficznych;
- zmiany batymetryczne w basenie (np. spłylenie) wyznaczone w oparciu o zespoły facjalne, wskaźniki paleontologiczne i geochemiczne;
- zmiany lokalizacji depocentrów i obszarów o największej subsydencji;
- redukcja pierwotnej miąższości osadów basenowych wskutek erozji ($M_k < M_p$); (Fig. 23)
- wewnątrzbasenowa redepozycja osadów basenowych w następstwie osuwisk, spływów i ześlizgów;
- dowody tzw. **autokanibalizmu basenowego**, tzn. dowody na jednoczesne wypełnianie basenu i przechodzenie jego fragmentów do obszarów zasilających basen, np. obecność olistolitów i olistostrom w obrębie osadów basenowych;

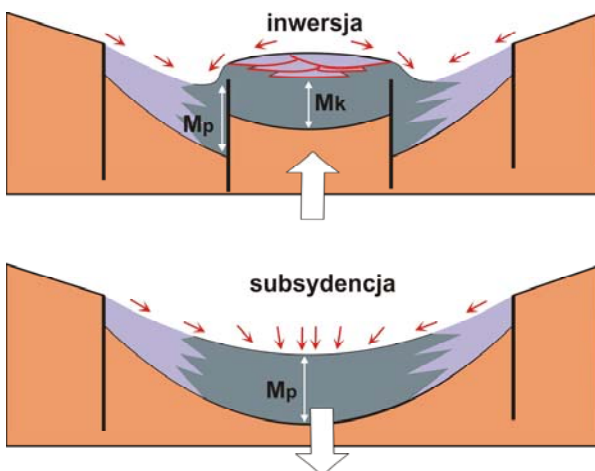


Fig. 22 Ideogram inwersji paleogeograficznej (geomorfologicznej) basenu i jej zapis (skutek) w formie różnych zjawisk inwersji facjalnej

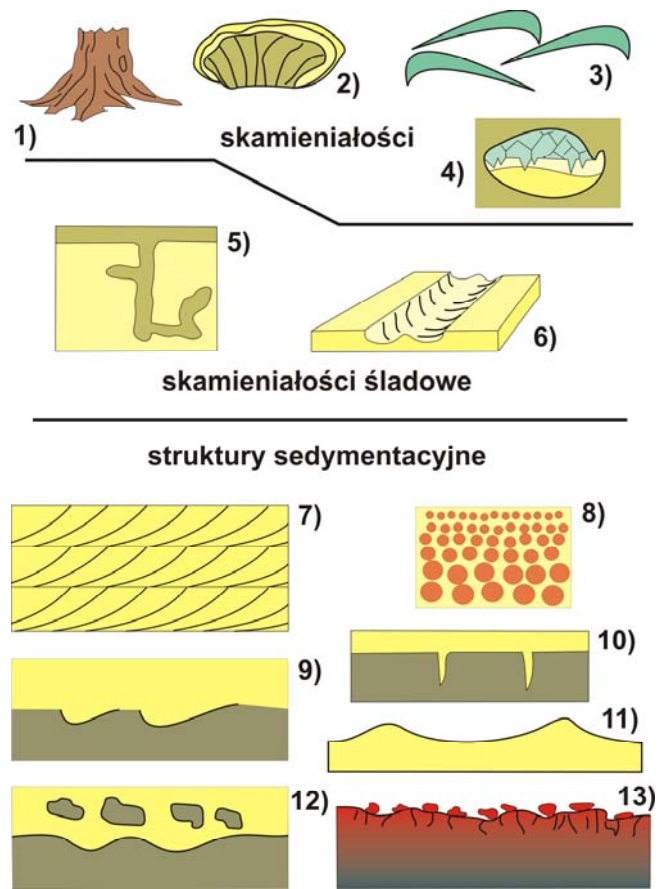


Fig. 21 Przykładowe wskaźniki kierunku góra-dół w osadach. (1) pnie drzew, (2) bioherma, (3) stabilna hydraulicznie orientacja muszli, (4) struktura geopetalna, (5) ślad żerowania, (6) trop, (7) warstwowanie przekątne, (8) frakcjonalne uziarnienie, (9) rozmycie erozyjne, (10) szczeliny z wysychania, (11) ripplemarki falowe, (12) oderwane intraklasty, (13) powierzchnia wietrzenia (Wg Nichols 2000, Wojewoda 1992)

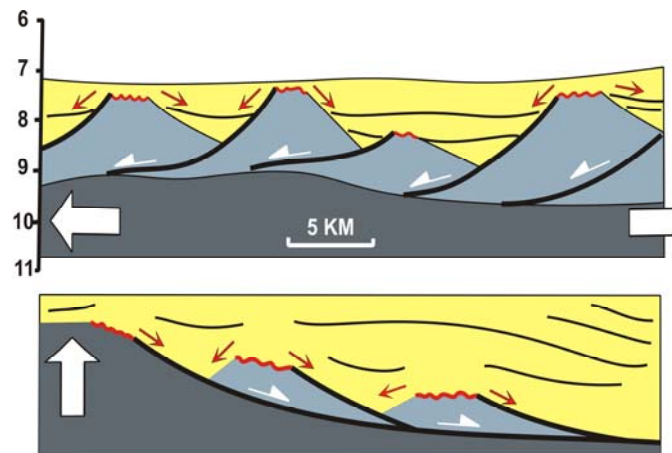


Fig. 23 Erozja bloków dupleksu ekstensyjnego w podłożu centrum basenu (wg. De Charpal i inni 1978) (górze) i bloków ześlizgowych (płaszczyzn grawitacyjnych) na zboczu basenu (wg. Gibas 2002) (dół)

Trzeba podkreślić, że inwersja facjalna nie musi być spowodowana przyczynami tektonicznymi, jak to sugeruje Fig. 22. Może do niej również dojść wskutek zmian o charakterze typowo środowiskowym, jak np. zmiana klimatu (dotyczy głównie środowisk lądowych i przybrzeżnych), czy eustatyczne zmiany poziomu wody w oceanach (dotyczy głównie obszarów przybrzeżnych, w mniejszym stopniu, poprzez zmiany podstawy erozyjnej, również środowisk lądowych).

Pośrednim wskaźnikiem inwersji w basenie są zjawiska diagenetyczne, a zwłaszcza **stopień kompaktacji osadów**. Ponieważ kompaktacja jest w głównej mierze spowodowana ciśnieniem nadkładu, tym samym jest ważnym wskaźnikiem głębokości pogrzebienia. Interpretacje ewolucyjne basenów sedymentacyjnych powinny zawsze być przeprowadzane w oparciu o geometrię jednostek sedymentacyjnych po procedurze **dekompaktacji**.

TEKTONICZNE PRZESŁANKI INWERSJI BASENOWEJ

Bezpośrednim **tektonicznym wskaźnikiem inwersji** są mezo- i mikrostruktury związane z powierzchniami uskokowymi. Jeżeli konkretny uskoku powstał wskutek ekstensji, o czym może świadczyć geometria jego powierzchni (uskoki listryczne) lub wskaźniki ruchu na jego powierzchni (rysy, zadziory, kulisowe spękania sprzężone i inne), a następnie był reaktywowany w warunkach kontrakcji, o czym mogą świadczyć wtórne, nałożone na starsze wskaźniki ruchu, wtedy można mówić o **inwersji transportu tektonicznego** na tym uskoku. Przedstawiony wyżej przypadek dotyczy tzw. inwersji dodatniej (czytaj opis wcześniej), ale może również mieć miejsce sytuacja odwrotna, kiedy na uskoku kontrakcyjnym istnieją udokumentowane wskaźniki jego reaktywacji w warunkach ekstensji (inwersja ujemna).

Pośrednim wskaźnikiem inwersji tektonicznej może być typ uskoku, np. uskoku odwrócony, lub nasunięcie. Trzeba jednak wyraźnie podkreślić, że sam fakt istnienia takich struktur tektonicznych jest przejawem kontrakcji, czyli skrócenia przestrzeni geologicznej, nie zaś inwersji transportu tektonicznego. Błędem, nie tylko terminologicznym, jest częste określanie w literaturze polskiej uskoków odwróconych mianem „uskoków inwersyjnych”, co sugeruje proces inwersji tektonicznej w trakcie ich powstawania. Trzeba koniecznie odróżniać te dwa pojęcia, przy czym **uskok odwrócony** (ang. *reverse fault*), to uskoku, którego skrzydło wiszące (ang. *hanging wall*) znajduje się powyżej powierzchni uskokowej (Fig. 24), natomiast **uskok inwersyjny** (ang. *inversed fault*), to uskoku na którym doszło do zmiany kierunku transportu tektonicznego na przeciwny. Związek obydwu wyżej zdefiniowanych kategorii nie jest oczywisty, ani konieczny. Uskoku odwrócony może powstać wskutek inwersji transportu tektonicznego (Fig. 25), ale może powstać również wskutek ekstensji, jako efekt czysto geometrycznego dopasowania przestrzeni geologicznej (Fig. 26). Zasadniczą rolę w prawidłowej interpretacji tych zjawisk odgrywa skala rozpoznania całego procesu w skali basenu.

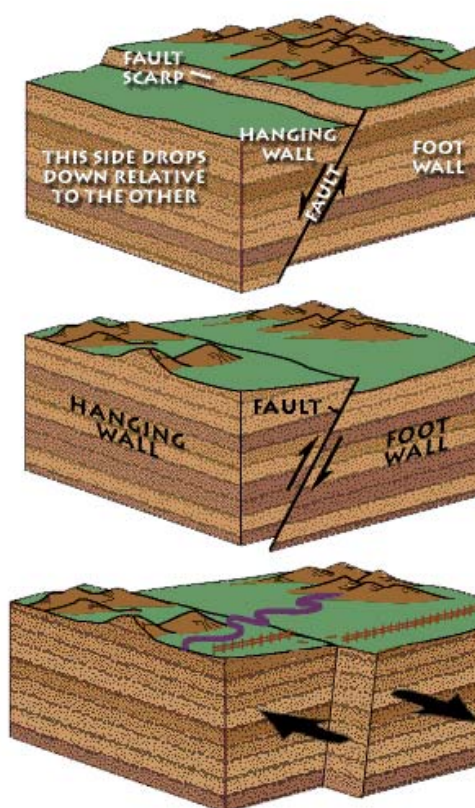


Fig. 24 Diagramy przedstawiające różne typy uskoków i nazwy definiujące ich elementy (wg. USGS)

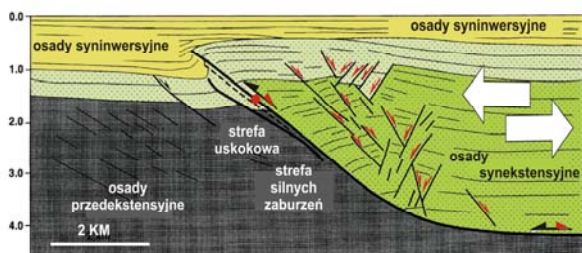


Fig. 25 Zespół uskoków interpretowanych jako efekt inwersji ruchu tektonicznego, miocen, Morze Natuna (Bunks i inni, 1993)

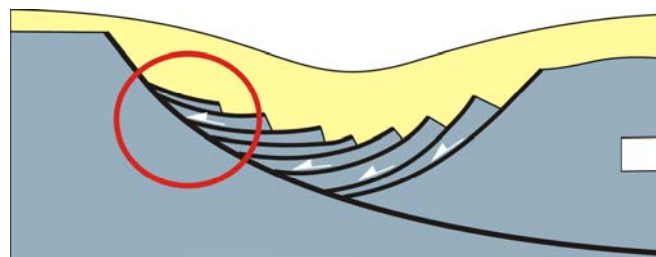


Fig. 26 Mechanizm powstawania uskoków odwróconych i zasunięć w warunkach ekstensji („stos zwrotny bloków”, ang. *counter fan*) (Gibbs 2002)

PODSUMOWANIE I NAJWAŻNIEJSZE WNIOSKI

1. Pojęcie inwersji w geologii ma długą historię. Początki pojęcia sięgają dziedzin geologii, które dysponują suwerenną metodyką badawczą, czyli stratygrafii, geomorfologii oraz sedymentologii, i odnoszą się do dokumentowanych zjawisk **inwersji stratygraficznej** oraz **inwersji facjalnej**. Te ostatnie w dużej mierze wypełniają pierwotny sens i znaczenie **inwersji basenowej**.

2. W latach 80-tych doszło do nieuprawnionej zmiany zakresu znaczeniowego inwersji basenowej, która zaczęła być utożsamiana z **inwersją kinematyczną** konkretnych stref uskokowych na granicy lub w obrębie utworów, które stanowią wypełnienie basenów sedymentacyjnych. Zmiana ta ma co najmniej 2 przyczyny. Pierwsza to przyjmowany *a priori* imperatyw budowania modeli orogenu na podstawach **teorii kontrakcyjnej**. Druga, to rozpowszechnienie czysto **geometrycznego wnioskowania** o kinematyce basenów oparte na obrazach geofizycznych (przekroje sejsmiczne), często bez wnikania w treść geologiczną obserwowanych form przestrzennych. Obydwie przyczyny pośrednio wiążą się ze zmianą kompetencyjną badań basenowych, które z uwagi na rodzaj informacji wyjściowych **stały się domeną geofizyków i tektoników**.

3. Podstawowe znaczenie dla trafnego rozpoznania inwersji basenowej (poza ewidentnymi przykładami orogenu) ma **zestawienie niezależnych dowodów i przesłanek stratygraficznych, facjalnych i strukturalnych**. Wnioskowanie oparte tylko na prostych schematach geometrycznych i ograniczone do lokalnych, uznanych za wskaźnikowe obszarów może być wyjaśniane w różny sposób i niekoniecznie skutkuje tezą o inwersji basenu sedymentacyjnego jako całości.

WSKAŹNIKI INWERSJI W BASENACH SUDECKICH

W literaturze poświęconej formacjom osadowym i basenom sedymentacyjnym w Sudetach można znaleźć liczne przykłady zjawisk, które mogą być wskaźnikami różnych rodzajów inwersji (Fig. 27). W sposób oczywisty inwersję basenową dokumentują regionalne jednostki strukturalne, zbudowane w przewodzie ze skał osadowych (lub wulkanogenicznych), przebudowanych tektonicznie, które obecnie tworzą elewacje geomorfologiczne (jednostka kaczawska, jednostka bardzka i w znacznej części jednostka świebodzka). Niezwykle ważne dla interpretacji regionalnych są izolowane wychodnie skał osadowych różnego wieku, które występują na elewacjach podłoża waryscyjskiego (zlepieńce z Kletna, kreda rowu Zieleńca, Spalanej i Dusznik, osady neogeńskie masywu Śnieżnika i Gór Orlickich). Każdy taki obiekt stanowi odrębny przyczynek do zrozumienia ewolucji strukturalnej Sudetów.

	BASEN KACZAWSKI	BASEN N-SUDECKI	BASEN C-SUDECKI	BASEN BARDZKI	BASEN ŚWIEBODZKI	BASEN NACHODU	BASEN NYSY KL.	BASENY PRZEDSUDECKIE
INWERSJA STRATYGRAFICZNA								
odwrócone następstwo	■			■				■
olistolity, olistostromy	■		■	■	■	■	■	
dajki neptuniczne		■	■	■				
INWERSJA FACJALNA								
inwersja paleotransportu			■				■	■
inwersja batymetryczna	■		■	■		■		■
powierzchnia niezgodności			■	■		■		■
cechy teksturalne			■	■	■			■
INWERSJA TEKTONICZNA								
inwersja kinematyczna			■			■		
uskoki odwrócone	■	■	■	■	■	■	■	■
uskoki inwersyjne					■	■		

Fig. 27 Przykłady różnego rodzaju inwersji opisane w literaturze poświęconej osadom i basenom sedymentacyjnym w Sudetach (kolorem żółtym zaznaczone są przykłady omawiane w trakcie referatu)

LITERATURA CYTOWANA

- Allen, P. A. & Allen, R. A., 1990.** Basin Analysis: Principles and Applications. Blackwell Science, 551 pp.
- Aubuoin, J., 1965.** Geosynclines. In: Developments in Geotectonics, 1. Elsevier, Amsterdam, London, New York.
- Bally, A. W., 1984.** Tectogenese et sismique reflexion. Bulletin de la Société Géologique de France 24:279–285.
- Bemmelen, R.W., van, 1949.** The Geology of Indonesia. Nijhoff, Hague, 997 pp.
- Bemmelen, R.W., van, 1954.** Mountain Building. Nijhoff, Hague, 177 pp.
- Dadlez, R., 1980.** Tectonics of the Pomeranian Swell (NW Poland), Kwartalnik Geologiczny, 24, 4, 741–767.
- Dahlstrom, C.D.A., 1969.** Balanced cross sections. Can. J. Earth. Sci., 6, 743-757.
- Dana, J.D., 1863.** Manual of Geology: Treating of the Principles of the Science with Special Reference to American Geological History, for the Use of Colleges, Academies and Schools of Science. Theodore Bliss, Philadelphia, 798 pp.
- Dana, J. D. 1873.** On some results of the earth's contraction from cooling including a discussion of the origin of mountains and the nature of the earth's interior. American Journal of Science, 5, 423-443.
- Dott, Jr., R.H., 1997.** James Dwight Dana's old tectonics — global contraction under divine direction. Am. J. Sci., 297, 283–311.
- Franke, W. & Żelaźniewicz, A., 2000.** The eastern termination of the Variscides: terrane correlation and kinematic evolution. In: [eds.] W. Franke, V. Haak, O. Oncken & D. Tanner - Orogenic Processes: Quantification and Modelling in the Variscan Belt. Geol. Soc., London, Spec. Publ., 179, 63–86.
- Dewey, J.F., 2002.** Plate tectonics and the evolution of the British Isles. In: Holdsworth, R.E. & Turner, J.P. [compilers] - Extensional Tectonics: Faulting and Related Processes. The Geological Society Key Issue in Earth Sciences, 2, 1, 13-54.
- Dott Jr., R.H., 1985.** James Hall's discovery of the craton. Geol. Soc. Am. Centen. Spec. Vol. I, 157–167.
- Dufrénoy, A., Élie de Beaumont, L., 1848.** Explication de la Carte Géologique de la France, Tome Deuxieme. Imprimerie Nationale, Paris, 813 pp.
- Du Toit, A., 1927.** Our Wandering Continents: a Hypothesis of Continental Drifting. Edinburgh.
- Élie de Beaumont, L., 1852.** Notice sur les Systeme's des Montagnes. P. Bertrand, Paris, I, 1–528; II, 529–1068; III, 1069–1543.
- Franke, W. & Żelaźniewicz, A., 2002.** Structure and evolution of the Bohemian Arc. In: [eds.] J. A. Winchester, T. C. Pharaoh & J. Verniers - Palaeozoic Amalgamation of Central Europe. Geol. Soc., London, Spec. Publ., 201, 279–293.
- Gibbs, A.D., 2002.** Structural evolution of extensional basin margins. In: Holdsworth, R.E. & Turner, J.P. [compilers] - Extensional Tectonics: Faulting and Related Processes. The Geological Society Key Issue in Earth Sciences, 2, 2, 13-14.
- Glennie, K. W. and Boegner, P. L. F., 1981.** Sole pit inversion tectonics, in Illing, L. V. and Hobson, G. D., (eds), Petroleum Geology of the Continental Shelf of Northwest Europe, Heyden, pp. 110-120.
- Hall, J., 1859.** Description and figures of the organic remains of the lower Helderberg Group and the Oriskany Sandstone. Natural History of New York; Palaeontology. Geol. Surv., Albany, N.Y., 3: 544 p.
- Hamilton, W., 2002.** Crustal extension in the Basin and Range Province, southwestern United States. In: Holdsworth, R.E. & Turner, J.P. [compilers] - Extensional Tectonics: Faulting and Related Processes. The Geological Society Key Issue in Earth Sciences, 2, 1, 75-96.
- Hayward, A.B. & Graham, R.H., 2002.** Some geometrical characteristics of inversion. In: Holdsworth, R.E. & Turner, J.P. [compilers] - Extensional Tectonics: Faulting and Related Processes. The Geological Society Key Issue in Earth Sciences, 2, 1, 225-247.
- Jackson, J. A., 2002 a.** Active normal faulting and crustal extension. In: Holdsworth, R.E. & Turner, J.P. [compilers] - Extensional Tectonics: Faulting and Related Processes. The Geological Society Key Issue in Earth Sciences, 2, 2, 135-149.
- Jackson, J. A., 2002 b.** Active normal faulting in central Greece: An overview. In: Holdsworth, R.E. & Turner, J.P. [compilers] - Extensional Tectonics: Faulting and Related Processes. The Geological Society Key Issue in Earth Sciences, 2, 2, 151-168.
- Kober, L., 1921.** Der Bau der Erde. Gebr. Borntraeger, Berlin, 324 pp.
- Kossmat, F., 1927.** Gliederung des varistischen Gebirgsbaues. ABH Sächsischen Geol. Landesamts, 1: 1–39.
- Kozdrój, W., 2003.** Ewolucja geotektoniczna krystaliniku Wschodnich Karkonoszy. W: Ciężkowski W., Wojewoda J., Żelaźniewicz A., [red.] – Sudety Zachodnie: od wnedu do czwartorzędu. WIND, Wrocław, 67-80.
- Krzywiec, P., 2002.** Mid-Polish Trough inversion – seismic examples, main mechanisms, and its relationship to the Alpine-Carpathian collision. EGU Stephan Mueller Special Publication Series, 1, 151–165.
- Krzywiec, P., 2000.** On mechanism of the Mid-Polish Trough inversion, Polish Geological Institute Bulletin, 393, 135–166.
- Krzywiec, P., 2005.** O stylu strukturalnym ekstensji i inwersji bruzdy śródpolskiej w oparciu o wyniki interpretacji danych sejsmicznych. Referaty XIV, PTG Oddz. w Poznaniu, UAM IG Poznań, s. 91-111.
- Kuszniir, N.J. & Ziegler, P.A., 1992.** The mechanics of continental extension and sedimentary basin formation: a simple-shear/pure-shear flexural cantilever model. Tectonophysics, 215, 117-131.
- Kuszniir, N.J., Roberts, A.M. & Morley C.K., 2002.** Forward and reverse modeling of rift basin formation. In: Holdsworth, R.E. & Turner, J.P. [compilers] - Extensional Tectonics: Faulting and Related Processes. The Geological Society Key Issue in Earth Sciences, 2, 1, 199-222.
- Leeder, M.R. & Gawthorpe, R.L., 2002.** Sedimentary models for extensional tilt-block/half-graben basins. In: Holdsworth, R.E. & Turner, J.P. [compilers] - Extensional Tectonics: Faulting and Related Processes. The Geological Society Key Issue in Earth Sciences, 2, 1, 171-184.
- Le Pichon, X., Franchetau, J. & Bonin, J., 1973.** Plate Tectonics. Elsevier, New York, 300 pp.
- Mazur, S., Aleksandrowski, P., Kryza R. & Oberc-Dziedzic, T., 2006.** The Variscan Orogen in Poland. Geol. Quart., 50, 1, 89–118.
- Mazur, S. & Kryza, R., 1996.** Superimposed compressional and extensional tectonics in the Karkonosze-Izera Block, NE Bohemian Massif. In: Europe and Other Regions (eds. O. Oncken and C. Janssen), Basement Tectonics, 11, 51–66. Potsdam, Kluwer, Dordrecht.
- Mazur, S., Dunlap W.J., Turniak, K. & Oberc-Dziedzic, T., 2006.** Age constraints for the thermal evolution and erosional history of the central European Variscan belt: new data from the sediments and basement of the carboniferous foreland basin in western Poland. Journal of the Geological Society, London, 163, 1011-1024.
- Mazur, S., Scheck-Wenderoth, M. & Krzywiec, P., 2005.** Different modes of the Late Cretaceous–Early Tertiary inversion in the North German and Polish basins. International

- Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau), 94, 782-798.
- McKenzie, D.P., 1978.** Some remarks on the development of sedimentary basins. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 40, 25-32.
- Miall, A. D., 1984.** Principles of Sedimentary Basin Analysis. New York, Springer-Verlag, 490 pp.
- Mitchell, A. H. C. & Reading, H. G., 1986.** Sedimentation and tectonics. W: Reading, H. G. (red.), *Sedimentary Environments and Facies*, Blackwell Science, 471-519.
- Morgan, W.J., 1968.** Rises, trenches, great faults and crustal blocks. *J. Geophys. Res.*, 73, 1959-1982.
- Morley, C. K., 2002.** developments in the structural geology of rifts over the last decade and their impact on hydrocarbon exploration. In: Holdsworth, R.E. & Turner, J.P. [compilers] - *Extensional Tectonics: Faulting and Related Processes*. The Geological Society Key Issue in Earth Sciences, 2, 1, 115-146.
- Narębski, W., 1992.** Lower to Upper Paleozoic tectonomagmatic evolution of NE part of the Bohemian Massif. *Zentralblatt für Geol. Paläont.*, H. 9/10, 961-972.
- Nicholas, G., 1999.** *Sedimentology and Stratigraphy*. Blackwell Science, 355 pp.
- Ortelius, A., 1596.** *Thesaurus Geographicus* Leaf Nnn verso. Plantin, Antwerpia.
- Rudwick, M. J.S., 1976.** *The Meaning of Fossils: Episodes in the History of Paleontology*. Chicago: University of Chicago Press.
- Schlische, R.W., 2003.** Progress in understanding the structural geology, basin evolution, and tectonic history of the Eastern North American Rift System. In: P.M., LeTourneau & P.E. Olsen [Eds.] - *The Great Rift Valleys of Pangea in Eastern North America*, v. 1: Tectonics, Structure, and Volcanism. Columbia University Press, New York.
- Şengör, A.M.C., 1999.** Continental interiors and cratons: any relation? *Tectonophysics*, 305, 1-42.
- Snider-Pellegrini, A., 1858.** *La Création et ses Mystères dévoilés*. Franck et Dentu, Paris.
- Stille, H., 1924.** Grundfragen der Vergleichenden Tektonik. *Borntrager*, 443 pp.
- Stille, H., 1929 a.** Tektonische Formen in Mitteleuropa und Mittelasien. *Z. Dtsch. Geol. Ges.* 81, 2-9.
- Stille, H., 1929 b.** Die subvariszische Vortiefe. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Bd. 81, 339-354.
- Suess, E., 1875.** *Die Entstehung der Alpen*. W. Braumu"ller, Wien, 168 pp.
- Suess, E., 1885.** *Das Antlitz der Erde*, Ib. F. Tempsky, Prag and G. Freytag, Leipzig, pp. IV; 311-779.
- Suess, E., 1888.** *Das Antlitz der Erde*, II. F. Tempsky, Prag and Wien, and G. Freytag, Leipzig, 704 pp.
- Suess, E., 1893.** Are great ocean depths permanent? *Nat. Sci.* 2, 180-187.
- Taylor, F.B., 1910.** Bearing of the Tertiary Mt. Belt on the Origin of Earth's Plan. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 21, 179-226.
- Wegener, A., 1912.** Die Entstehung der Kontinente. *Geol. Rundschau* 3, 276 - 292.
- Wegener, A., 1915.** Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. *Sammlung Vieweg*, Braunschweig, 23, 94 pp.
- Wegener, A., 1929.** Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. *Sammlung Vieweg*, Braunschweig, 66 (4), 231 pp.
- Wernicke, B., 1981.** Low-angle normal faults in the Basin-and-Range Province.: nappe tectonics in an extending orogen. *Nature*, 291, 645-648.
- Wernicke, B., 1985.** Uniform-sense normal imple shear of the continental lithosphere. *Can. J. Earth Sci.*, 22, 108-125.
- Williams, G. D., Powell, C. M. & Cooper, M. A., 1989.** Geometry and kinematics of inversion tectonics. In: Cooper, M. A. & Williams G. D. [eds.] - *Inversion Tectonics*, Geological Society Special Publication, London: Geological Society, 44, 3-15.
- Wilson, J.T., 1966.** Did the Atlantic close and then re-open? *Nature*, 211, 676-681.
- Wojewoda, J., 1992.** Wyznaczenie stropu i spągu w skałach osadowych. Instrukcje i metody badań geologicznych: "Badania elementów tektoniki na potrzeby kartografii wiertniczej i powierzchniowej", zeszyt 51: 13-35.
- Ziegler, P.A., 1982.** *Geological atlas of Western and central Europe*. Elsevier, 130 pp + załączniki.
- Ziegler, P.A., [ed.], 1985.** Compressional Intra-Plate Deformations in the Alpine Foreland. *Tectonophysics*, 137, 420 pp.
- Ziegler, P.A., 1989.** Geodynamic model for Alpine intra-plate compressional deformation in Western and Central Europe. In: M.A. Cooper & G.D. Williams [Eds.] - *Inversion Tectonics*, Geological Society Special Publication, 44, 63-85, 1989.
- Ziegler, P.A., 1990.** *Geological atlas of western and central Europe*, Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V., 239 pp.

(KONIEC CZĘŚCI PIERWSZEJ)