

Mistrzowie Techniki 2021
Dolnego Śląska i LGOM

Nowe złoża rud
Cu+Ag Nowa Sól

Zasoby ciepła geotermalnego
kopalń rud miedzi

INNOWACJE • SUROWCE • ENERGETYKA • PRZEMYSŁ • BUDOWNICTWO • TRANSPORT • EKOLOGIA

KONSULTING

13/14 2022

III/IV kwartał

KWARTALNIK NAUKOWO-TECHNICZNY TOWARZYSTWA KONSULTANTÓW POLSKICH

ISSN 2353-5091

POLSKI

MISTRZOWIE TECHNIKI DOLNEGO ŚLĄSKA I ZAGŁĘBIA MIEDZIOWEGO WYBRANI!



W NUMERZE:

- Laureaci konkursów na Mistrza Techniki
- Wywiad z odkrywcą nowego złoża Cu-Ag
- 35-lecie Zarządu Oddziału TKP w Lubinie

4.

Przestrzeń, zjawiska i procesy geologiczne (II):

Linie i powierzchnie geologiczne

Jurand Wojewoda, Politechnika Wroclawska

Przestrzeń, zjawiska i procesy geologiczne (II): Linie i powierzchnie geologiczne.

W pracy przedstawiono 6 tez metodologicznych dotyczących przestrzeni geologicznej. (1) Dwa najważniejsze sposoby opisu przestrzeni geologicznej to odwzorowanie oraz modelowanie. Ich zastosowanie wynika ze skali zjawisk geologicznych oraz celu, jaki chcemy osiągnąć. (2) Z kolei poprawna kategoryzacja (grupowanie) i hierarchizacja obiektów geologicznych stanowi podstawę metodologiczną klasyfikacji zjawisk geologicznych. (3) Charakter powierzchni ograniczających obiekty (zjawiska) geologiczne wymusza konkretną metodologię ich opisu, oraz zakres jego zastosowania. (4) Płaskie materialne powierzchnie geologiczne skali regionalnej i większych (por. Wojewoda 2021) nie rzeczywistości nie istnieją. (5) Względne przemieszczenie wzdłuż materialnych powierzchni geologicznych niemal zawsze wiąże się z lokalną lub regionalną konwersją ruchu translacyjnego w rotacyjny. (6) Naturalne powierzchnie geologiczne, w tym struktury zniszczeniowe, zwykle są efektem stabilizacji układu mas geologicznych. Powierzchnie łączące tę właściwość z możliwością konwersji ruchu, to m.in. minimalne powierzchnie prostokątne - helikoidy.

Space, phenomena and geological processes (II): lines and geological surfaces

The paper presents 6 methodological theses concerning geological space. (1) The two most important ways to describe geological space are mapping and modeling. Their use results from the scale of geological phenomena and the goal we want to achieve. (2) In turn, the correct categorization (grouping) and hierarchization of geological objects is the methodological basis for the classification of geological phenomena. (3) The nature of the surfaces delimiting geological objects (phenomena) forces a specific methodology for their description and the scope of its application. (4) Flat material geological surfaces of the regional and larger scale (see Wojewoda 2021) do not really exist. (5) Relative displacement along material geological surfaces almost always involves a local or regional conversion of translation into rotational motion. (6) Natural geological surfaces, including damage structures, usually result from the stabilization of the geological mass system. The surfaces that combine this property with the possibility of motion conversion, include minimum rectangular surfaces - helicoids.

Пространство, явления и геологические процессы (II): линии и геологические поверхности

В статье представлены 6 методологических тезисов, касающихся геологического пространства. (1) Двумя наиболее важными способами описания геологического пространства являются картографирование и моделирование. Их использование вытекает из масштаба геологических явлений и цели, которую мы хотим достичь. (2) В свою очередь правильная кategoryзация (группировка) и иерархизация геологических объектов является методологической основой классификации геологических явлений. (3) Характер поверхностей, разграничивающих геологические объекты (явления), обуславливает специфическую методику их описания и сферу ее применения. (4) Плоских материальных геологических поверхностей регионального и более крупного масштаба (см. Wojewoda 2021) реально не существует. (5) Относительное перемещение по материальным геологическим поверхностям почти всегда связано с локальным или региональным преобразованием поступательного движения во вращательное. (6) Естественные геологические поверхности, включая структуры повреждения, обычно возникают в результате стабилизации системы геологических масс. К поверхностям, сочетающим это свойство с возможностью преобразования движения, относятся минимальные прямоугольные поверхности - геликоиды.

Wstęp

Jednym z najważniejszych pojęć przestrzennych jest powierzchnia. I chociaż to punkt stanowi elementarny wyznacznik przestrzeni euklidesowej, a najprostsze formy geometryczne wyznaczają linie (zbiory) lub odległości między punktami (wektory), to właśnie powierzchnie najbardziej intuicyjnie odnoszą się do tego, co nazywamy przestrzenią. To one wyznaczają granice w przestrzeni. To one również wyznaczają, w klasycznym rozumieniu, granice materii, zwłaszcza tej ziemskiej. Ta natomiast stanowi przedmiot jakże materialnej dziedziny wiedzy o rzeczywistości – geologii. Tutaj omawiam zagadnienie w formie komentarzy do wybranych tez odnoszących się do tzw. przestrzeni geologicznej (por. Wojewoda 2021), jednak Czytelnik może zawsze sięgnąć do szerszej formuły poruszanych zagadnień (Wojewoda 2019). Choć wybrane tezy/zasady mogą się wydawać oczywiste, to jednak nie zawsze pamiętamy o ich stosowaniu w praktyce poznawczej.

Teza 1. Dwa sposoby opisu przestrzeni geologicznej to odwzorowanie oraz modelowanie. Ich zastosowanie wynika ze skali zjawisk geologicznych oraz celu, jaki chcemy osiągnąć.

Odwzorowanie versus modelowanie

Parmenides z Elei (ok. 540-470 p.n.e.) głosił, że głównym pojęciem (w ogóle) jest byt, nota bene zawsze utożsamiany z prawdą. Dzisiaj takie sformułowanie można by uznać za anachroniczne zwłaszcza, że ten sam filozof uważał umysł, za bierne narzędzie odtwarzające tylko rzeczy istniejące wskazując jednocześnie na to, że byt nie jest tym co widzimy, lecz tym, o czym pomyśleliśmy.

Odwzorowanie i modelowanie powierzchni geologicznych to dwie z technik, lub raczej sposobów ich opisu. Różnicę między nimi w uproszczeniu ukazuje ilustracja (Fig. 1). Co do zasady, w odwzorowaniu przestrzennym każdemu punktowi określonego zbioru przyporządkowujemy jeden

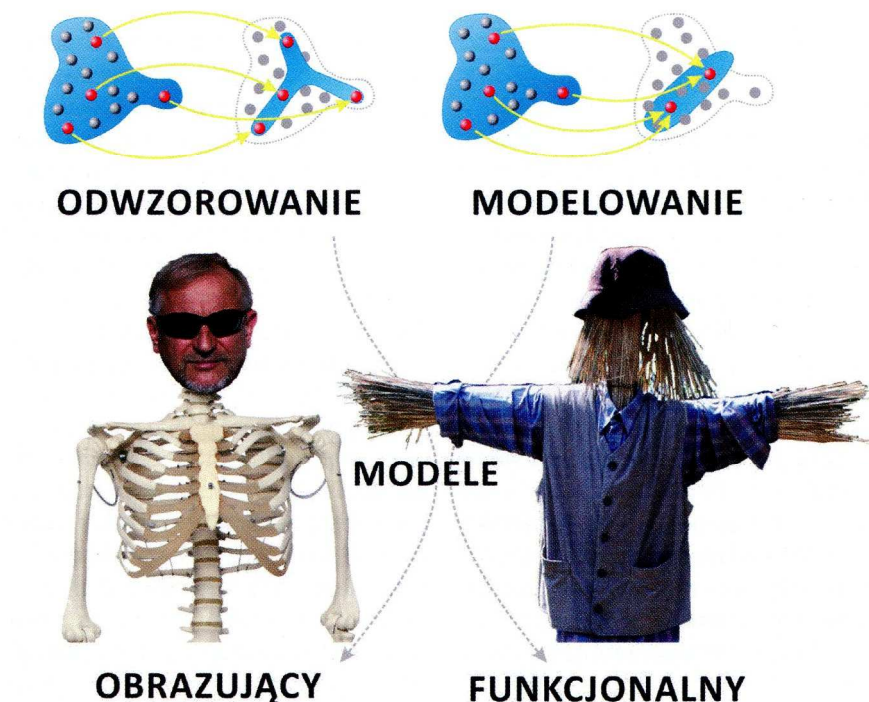


Fig. 1. Ideogramy ukazujące różnicę między odwzorowaniem a modelem (wykorzystano źródła: Strach na wróble z Kaszubskiego Parku Etnograficznego we Wdzydzach (<http://www.pomocieszkolne24.pl>) oraz makietę szkieletu człowieka (<http://www.pomocieszkolne24.pl/szkielety/1/1977>)).

i jedyny (!) jego odpowiednik, chociaż samo odwzorowanie nie musi obejmować wszystkich punktów tego zbioru. Zbiór wynikowy może mieć zmienne atrybuty wynikające ze sposobu (kodu) odwzorowania (transformacji, cechowania, znaczenia itp.). Z kolei modelowanie to de facto kształtowanie nowej przestrzeni, czy zbioru punktów. Model może, ale nie musi mieć nic wspólnego z przestrzenią (obiektem), którą „modeluje” (naśladuje). Jednak główną różnicę stanowi to, że odwzorowanie ma walor informacji o przestrzeni i ją obrazuje, natomiast model musi być przede wszystkim funkcjonalny i czemuś służyć. Nawet najlepiej wykonany szkic, czy rzeźba kolana, nie zastąpi, choćby i brzydkiej lecz funkcjonalnej jego protezy. W naukach przyrodniczych oraz w technice, w tym również w geologii, najczęściej dochodzi do rozwiązań kompromisowych. Z jednej strony jest to leżące u ich podstawy fenomenologiczne poznanie zjawisk oparte na odwzorowaniu, z drugiej natomiast dążenie do stworzenia najbardziej wiarygodnych i funkcjonalnych modeli zjawisk lub zachodzących procesów.

Kategoryzacja i hierarchizacja zjawisk oraz procesów geologicznych

Teza 2. Poprawna kategoryzacja (grupowanie) i hierarchizacja obiektów geologicznych stanowi podstawę metodologiczną klasyfikacji zjawisk geologicznych

Relację między ontologią a nauką, najlepiej określają różnice między tymi pojęciami. Ontologia nie stanowi listy, katalogu, czy taksonomii zjawisk, stwarza natomiast formalne przesłanki, wedle których takowe mogą być budowane. Ontologiczne relacje między zjawiskami, w przeciwieństwie do nauki, nie są ujmowane funkcyjnie i nie są ilościowe. Można by rzec (w uproszczeniu), że w obrębie każdej dziedziny wiedzy, przy uznaniu jednoznaczności przekazu informacji, nauka rozpoczyna proces poznawczy od mierzenia (opisu) zjawisk i predykcji procesów, natomiast ontologia to tworzenie taksonomii zjawisk. W praktyce, zjawiska oraz procesy najpierw kategoryzujemy, czyli przyporządkowujemy im symbol/termin w określonej grupie pojęć, a następnie je hierarchizujemy, czyli umiejscawiamy w hierarchicznej

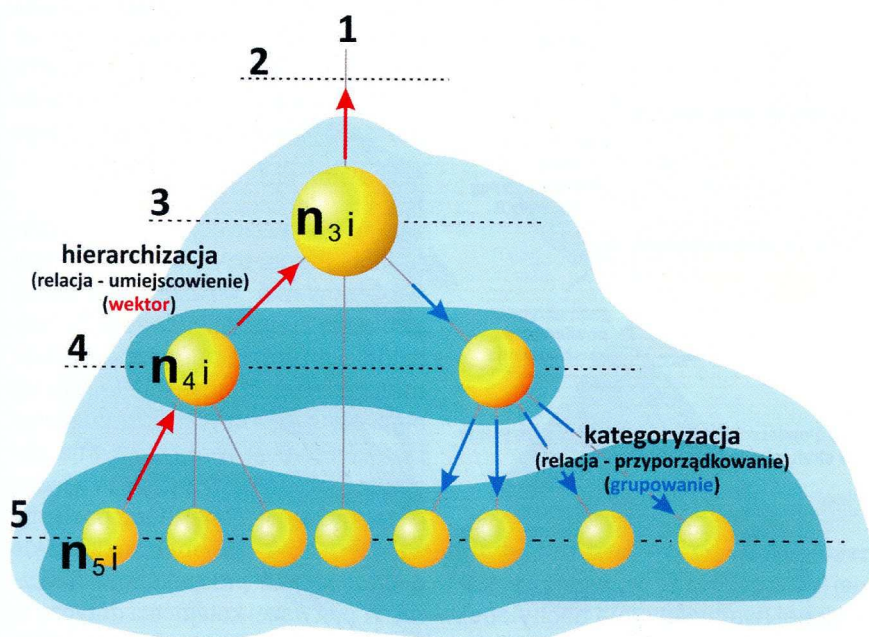


Fig. 2. Diagram ukazujący istotę grupowania i hierarchizacji zjawisk lub procesów, czyli podstawę treściową tezaursów (dziedzinowych słowników, encyklopedii, atlasów, map przeglądowych i.t.p.).

strukturze klas opisujących daną dziedzinę. Trzeba też pamiętać, że każda klasa w hierarchicznej strukturze posiada również cechy dziedziczone z klas nadrzędnych (Fig. 2). Przykładowe grupowanie i hierarchizację powszechnie uznanych, choć wybranych zjawisk oraz procesów w przestrzeni i czasie geologicznym przedstawiają odpowiednio Fig. 3 i Fig. 4. W praktyce geologicznej taką procedurę określamy jako superpozycję przestrzenno-czasową, a jej poprawne przeprowadzenie stanowi podstawę metodologiczną wnioskowania w geologii (i nie tylko).

Teza 3. Charakter powierzchni ograniczających obiekty (zjawiska) geologiczne wymusza konkretną metodologię ich opisu, oraz zakres jego zastosowania

Rodzaje powierzchni geologicznych

Powierzchnie w geologii mają różny charakter. Mogą wyznaczać granice realnych, materialnych obiektów geologicznych (powierzchnie materialne), mogą wyznaczać granice materii o różniących się atrybutach, np. stanie lub rodzaju materii (powierzchnie geometryczne), mogą wreszcie

stanowiąc odwzorowanie lub model przestrzenny wybranej cechy ośrodka geologicznego lub kombinacji cech, zwykle o charakterze umownym, często wręcz arbitralnym (powierzchnie abstrakcyjne). Nie sposób w całości omówić wszystkie możliwe sytuacje, jakie występują w geologii. Jedno jest pewne prawidłowe rozpoznanie charakteru powierzchni lub trafne jej zdefiniowanie, ma znaczenie zasadnicze dla przyjęcia właściwej metody

badawczej – opisu i interpretacji. Ma to również bezpośrednie przełożenie na czysto aplikacyjne, praktyczne skutki przyrodnicze, gospodarcze i społeczne. Zatem kilka przykładów.

Jedną z pierwszych cech skał wszelkiego rodzaju jest ich warstwowanie. Przejawia się ono mniej lub bardziej równoległymi lub współkształtymi powierzchniami, które występują w skałach tego samego rodzaju lub oddzielają od siebie skały różne – warstwy. Te geometryczne powierzchnie zwane są potocznie powierzchniami warstwowania (Fig. 5). Warstwowanie dotyczy przestrzeni geologicznej w różnej skali (por. Wojewoda 2021). Najpowszechniej warstwowanie występuje w osadach i skałach osadowych, gdzie stanowi zapis sedymentacji, czyli erozji, transportu lub depozycji osadów w określonym miejscu, np. na dnie morza, jeziora, na pustyni, czy w podłożu lodolodu. Każdy epizod lub okres depozycji skutkuje nagromadzeniem materiału o ściśle określonych właściwościach, które są efektem sposobu sedymentacji, czyli procesu sedymentacji. Tak właśnie definiuje się w geologii warstwę osadu. Każda zmiana procesu sedymentacji skutkuje zmianą cech osadu, co w przypadku osadów kopalnych (skał osadowych) daje podstawę do wnioskowania nt. procesów sedymentacji w przeszłości. W szczególności daje możliwość okre-

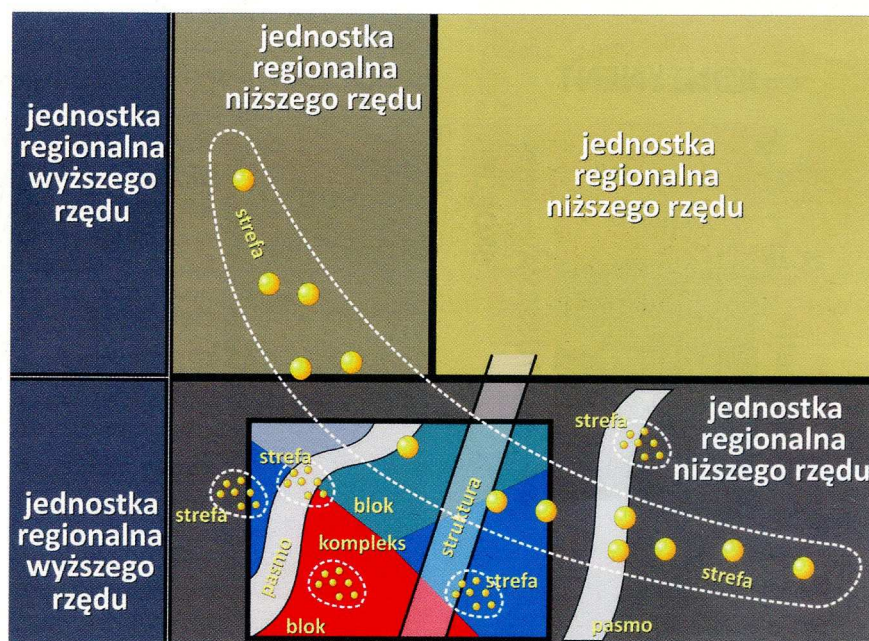


Fig. 3. Schematyczny przykład grupowania i hierarchizacji wybranych zjawisk przestrzennych geologiczno-strukturalnych.

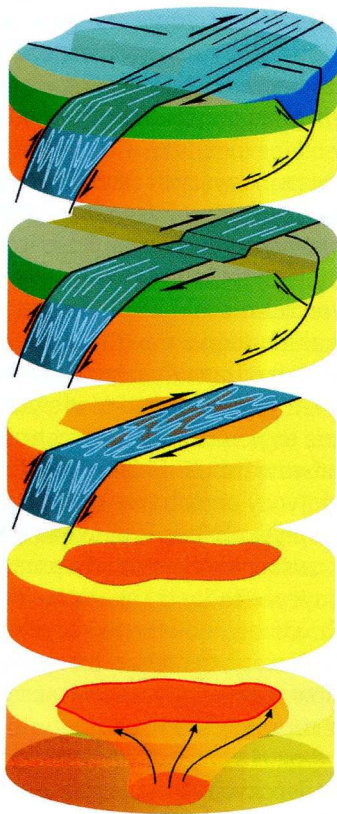


Fig. 4. Schematyczny przykład grupowania i hierarchizacji (superpozycji) wybranych zjawisk i procesów geologicznych.

ślenia takich parametrów, jak: sposób sedymentacji, tempo depozycji oraz charakter zmian tychże w czasie (np. sedymentacja ciągła, rytmiczna, cykliczna, wydarzeniowa, por. Wojewoda, 2015). Układ warstw pozwala również na określenie, czy depozycja materiału

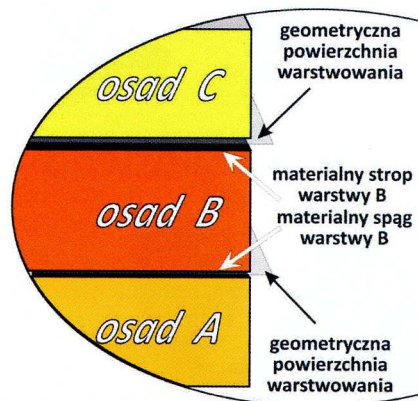


Fig. 5. Powierzchnie materialne i geometryczne w skali lokalnej i regionalnej.

następowała na powierzchni poziomej (warstwowania poziome), czy nachylonej (warstwowania nachylone), co ma z kolei zasadnicze znaczenie w rekonstrukcjach dawnej (pierwotnej) przestrzeni geologicznej (np. paleopionu). Każda warstwa osadu posiada dwie ograniczające ją powierzchnie – spąg i strop. Początkowo pojęcia te stosowano do kopalni użytecznych, np. pokładów węgla, soli, rudy, i oznaczały odpowiednio dolną i górną granicę pokładu. Obecnie są nieco inaczej pojmowane. Spąg warstwy jest materialną powierzchnią przynależną do warstwy, która wyznacza zasięg najstarszego osadu w jej obrębie. Wyznacza zatem początek konkretnego procesu sedymentacji i ma zawsze charakter po-

wierzchni depozycyjnej. Strop warstwy wyznacza zasięg najmłodszego osadu, zachowanego w jej obrębie. Prawdopodobne rozpoznanie charakteru powierzchni stropowych warstw ma zasadnicze znaczenie dla rekonstrukcji przebiegu sedymentacji w czasie.

Kolejny przykład dotyczy powierzchni globalnych, czyli takich, których występowanie i zasięg wyznacza strukturę Ziemi jako planety. Te najbardziej rozpoznawalne to oczywiście materialne powierzchnie terenu na obszarach lądowych kontynentów i powierzchnia wody (lodu) na obszarach oceanicznych. Nasza wiedza o strukturze w głębszej Ziemi pochodzi z pośrednich przesłanek, takich jakie dostarcza m.in. prospekcja geofizyczna. W pierwszej kolejności dotyczy to granic między najważniejszymi fragmentami ziemskiej litosfery, której odmienny skład i struktura na współczesnych kontynentach i oceanach były jednym z pierwszych najważniejszych odkryć globalnej geologii (Fig. 6). Dzisiejsza wiedza pozwala wyróżnić w budowie Ziemi kilka „warstw”, w tym najbardziej zewnętrzną litosferę, z której powierzchniowa część - skorupa ziemska, pozostaje w zasięgu bezpośredniego rozpoznania. Skorupa kontynentalna zbudowana jest w przewadze ze skał osadowych, magmowych i metamorficznych o dużej zawartości krzemionki. Potocznie

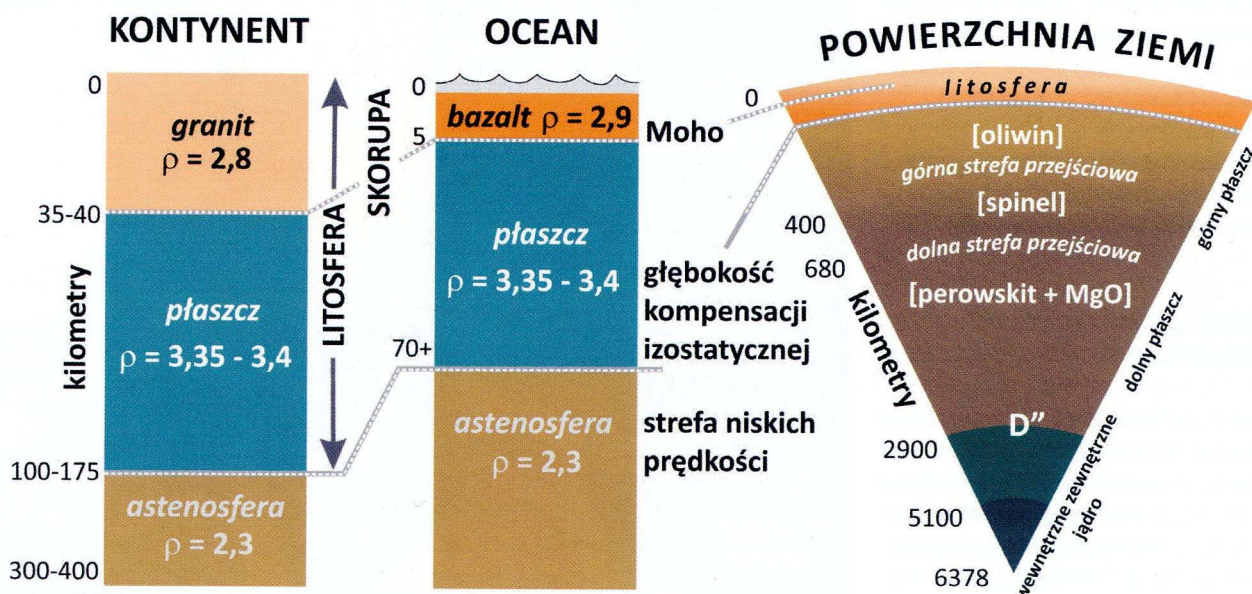


Fig. 6. Powierzchnie materialne i geometryczne w skali globalnej, planetarnej (wg Anderson 1989, 2007; Angevine i inni, 1990; Burns 1993, zmienione).

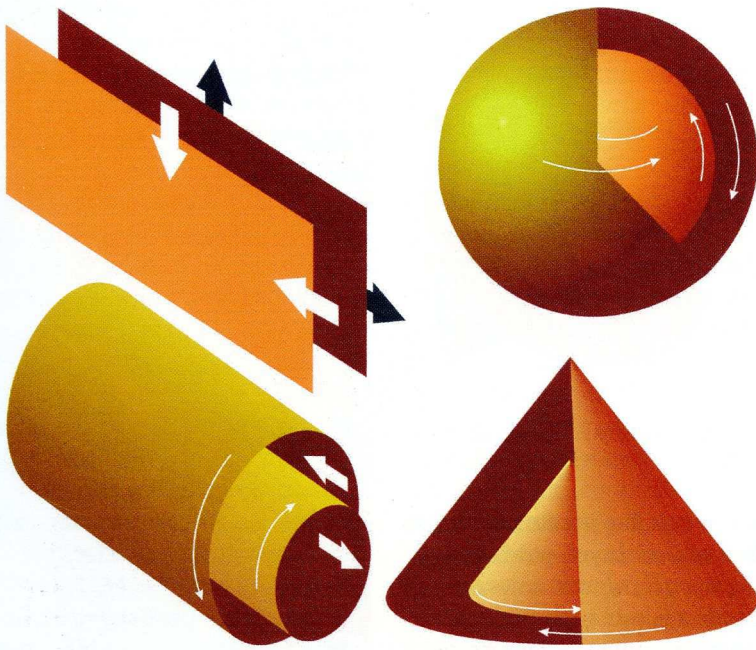


Fig. 7. Cztery przykłady prostych powierzchni, wzdłuż których może nastąpić sztywne, stało-objętościowe przemieszczenie (płaszczyzna, sfera, cylinder oraz stożek), nie wymuszające deformacji obiektów (brył) o współkształtnych powierzchniach.

nazywana jest „skorupą granitową” i ma przeciętną gęstość ok. $2,8 \text{ g/cm}^3$. Tymczasem skorupa oceaniczna ma nieco większą gęstość (ok. $2,9 \text{ g/cm}^3$) i zbudowana jest niemal wyłącznie z bazaltoidów i serpentynitów, skał ubogich lub pozbawionych krzemionki. Dolną „warstwę” ziemskiej litosfery stanowi górny płaszcz o znacznie większej gęstości od skorupy (ok. $3,4 \text{ g/cm}^3$). Płaszcz zbudowany jest w przewadze z glinokrzemianów (perydoty). Granicę między skorupą a górnym płaszczem wyznacza odkryta w 1909 r. przez chorwackiego sejsmologa A. Mohorovičića tzw. powierzchnia Moho. Jest niewielkiej grubości strefa, w której następuje radykalna zmiana właściwości sprężystych skał. Jednak nie jest to materialna powierzchnia geologiczna, lecz granica geometryczna rozdzielająca ośrodki skalne o różnych zachowaniach reologicznych. Podobne granice/powierzchnie geologiczne występują również głębiej w płaszczu. Tzw. górna granica przejściowa jest również powierzchnią geometryczną i też rozdziela dwa ośrodki skalne o różnych gęstościach – górny płaszcz od podścielającej go astenosfery. Jak można zauważyć, użyto wyżej sformułowań „warstwa” oraz „strefa”. Zarówno skorupa, płaszcz, jak i strefy przejściowe spełniają definicję warstwy, gdyż

są to przestrzenie ograniczone współkształtnymi powierzchniami granicznymi, jednak w żadnym wypadku nie są one płaskie...

Powierzchnie abstrakcyjne stanowią kwintesencję procedury modelowania. Mało, że nie są materialne, to ich kształt określa wyłącznie ludzki umysł, który próbuje tworzyć przydatne i łatwo przyswajalne analogii... geometryczne, czasem materialne. Przykładem może być poziomicowy model powierzchni terenu – poziomice są całkowicie abstrakcyjnymi liniami, gdyż z definicji powinny stanowić wspólny iloczyn zbioru punktów materialnych (powierzchnia terenu) i geometrycznych (tworzących powierzchnie poziome na różnych wysokościach). Są to dwa rozdzielne zbiory ontologiczne, które z założenia nie mogą mieć elementów wspólnych. Tak więc albo uznamy, że poziomice nie ma, albo przyjmijmy użyteczną zasadę, że materialna powierzchnia posiada swoje geometryczne odwzorowanie, jakże przydatne w modelowaniu i praktycznych zastosowaniach. Innymi przykładami abstrakcyjnej powierzchni fizycznej, są np. powierzchnia piezometryczna w wodonośnej warstwie naporowej, powierzchnia wolumenu opadów deszczu (izohiety) czy nateżenia wstrząsów sejsmicznych (izosejsmy).

Teza 4. Płaskie materialne powierzchnie geologiczne skali regionalnej i większych (por. Wojewoda 2021) nie rzeczywistości nie istnieją.

Powyższa teza wprost wynika z planetarnych i astronomicznych procesów kształtujących naszą planetę, w których dominującą rolę odgrywa z jednej strony grawitacja, z drugiej natomiast dynamika układu słonecznego. Również procesy termodynamiczne we wnętrzu Ziemi ściśle nawiązują do (wynikają ze?) warstwowo-sferycznej struktury naszej planety. Nie wyklucza to możliwości formowania się płaskich powierzchni geologicznych w małej skali (lokalnej, ponadlokalnej), które mogą powstawać wszędzie tam, gdzie w tworzeniu się materii i przestrzeni geologicznej przeważają procesy niezależne od wyżej wymienionych. Jedynym przykładem procesu, który z definicji tworzy powierzchnie płaskie, jest krystalizacja i związane z nią powierzchnie kryształów. Mogą to być również procesy tektoniczne i ich skutki – płaskie powierzchnie zniszczeń w małej i średniej skali (np. spękania ciosowe, uskoki), procesy sedimentacji i ich produkty – płaskie powierzchnie sedimentacyjne (np. warstwowanie, powierzchnie erozyjne), czy procesy metamorficzne o mieszanym cha-

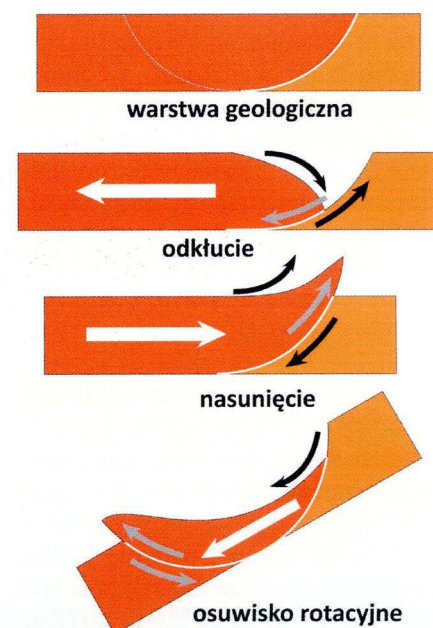


Fig. 8. Schematyczne modele różnych możliwości transformacji ruchu translacyjnego w rotację (powierzchnie cylindryczne).

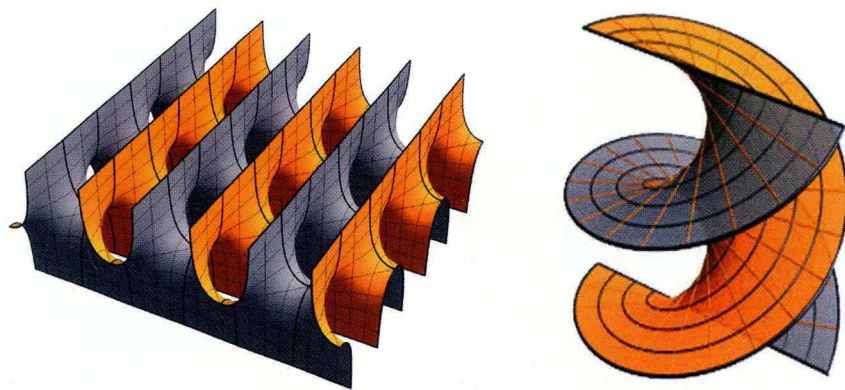


Fig. 9. Przykłady (modele graficzne) minimalnych powierzchni prostokreślnych – prostej (z prawej, helikoida) oraz złożonej (z lewej, powierzchnia Scherka).

rakterze i związane z nimi płaskie powierzchnie ścinania oraz rekrytalizacji, np. foliacja (por. Wojewoda 2017, 2021).

Możliwość względnego przemieszczania się sztywnych brył w taki sposób, aby nie ulegały one deformacji (odkształceniu) jest w zasadzie możliwe tylko w przypadku konkretnych kierunków i konkretnych prostych brył, wzdłuż współkształtnych powierzchni (Fig. 7). Warstwowo-sferyczna przestrzeń geologiczna z definicji narzuca istotne ograniczenia związane z geokinematyką, czyli ruchem oraz transportem w takiej przestrzeni. Każde przemieszczenie materii wzdłuż linii prostej niezgodne ze wskazanymi na Fig. 7 z definicji musi naruszać/przecinać współkształtne granice przestrzeni geologicznej. Tymczasem tak się nie dzieje, a odstępstwa dotyczą stosunkowo rzadkich sytuacji, kiedy ruch odbywa się w przybliżeniu równoległe do siły grawitacji i prostopadle do powierzchni geosfer (np. diapiryzm, wulkanizm). Oznacza to, że większość procesów związanych z ruchem realizuje się albo na powierzchni sfer, albo we wnętrzu warstw sferycznych. Pierwszy przykład dobrze ilustruje sytuacja „wędrówki na wprost” po powierzchni ziemi, która de facto oznacza wędrówkę po jednym z możliwych okręgów/obwodów Ziemi, i która kończy się w miejscu jej rozpoczęcia. Mechanizm taki w pewnym zakresie odnosi się również do względnej rotacji jądra i płaszcza Ziemi, co m.in. skutkuje polaryzacją magnetyczną całej planety.

Teza 5. Względne przemieszczenie wzdłuż materialnych powierzchni geologicznych niemal zawsze wiąże się z lokalną lub regionalną konwersją ruchu translacyjnego w rotacyjny.

Powierzchnie geologiczne a geokinematyka

Drugi przykład dobrze ilustrują powierzchnie uskokowe. Te płaskie mogą być albo tylko pionowe lub stożkowe (rozłamy) i wtedy z definicji może na nich dochodzić tylko do względnych poziomych przemieszczeń (uskoki przesuwowe), albo mogą być bardzo niskokątowe lub poziome i wtedy z definicji muszą w przekroju z powierzchnią Ziemi tworzyć zamkniętą linię przekrojową o zasięgu

nieprzekraczającym ok. 1200 km przy grubości skorupy ziemskiej ok. 33 km (skala ponadregionalna, por. Wojewoda 2021). Względne przemieszczenia wzdłuż takiej powierzchni mogą być rotacyjne, jak i lokalnie translacyjne (nasunięcia, odkłucia).

Gdy powierzchnie nie są płaskie, wtedy może wzdłuż nich dochodzić do różnych przemieszczeń, jednak na znacznie mniejszą skalę. W każdym przypadku ruch punktów odbywa się wzdłuż trajektorii krzywoliniowych (kolistych, eliptycznych), a przemieszczeniom brył towarzyszy transformacja ruchu translacyjnego w rotacyjny. Dobrym przykładem tych zjawisk procesów mogą być głębokie rozłamy śródkontynentalne (intrakratoniczne), czy uskoki transformujące na obsza-

rach oceanicznych, ale również tzw. osuwiska rotacyjne powszechnie spotykane na niestatecznych zboczach wyrobisk, nasypów oraz na obszarach górskich (np. powierzchnie cylindryczne, stożkowe, Fig. 8). Z kolei najlepszym modelem ilustrującym jak kształt powierzchni wymusza transformację ruchu translacyjnego w rotacyjny i odwrotnie, jest zwykła śruba lub np. niezwykle użyteczny przyrząd, jakim jest zwykły korkociąg.

Teza 6. Naturalne powierzchnie geologiczne, w tym struktury zniszczeniowe, zwykle są efektem stabilizacji układu mas geologicznych. Powierzchnie łączące tę właściwość z możliwością konwersji ruchu, to m.in. minimalne powierzchnie prostokreślnie - helikoidy.

Minimalne powierzchnie prostokreślnie i ich znaczenie w geologii

Do tzw. powierzchni minimalnych zaliczamy zarówno sferę, jak i płaszczyznę. Spełniają one bowiem warunek, że są to powierzchnie, które w każdym punkcie mają średnią krzywiznę równą zero (mat). Cechą łączącą te powierzchnie jest to, że rozdzielają (tną) przestrzeń na dwie części, a granica między nimi spełnia kryterium minimum. Inną ich cechą jest to, że są najmniejszymi powierzchniami, które ograniczają możliwie największą ilość np. materii (powierzchnie ekwipotencjalne), jak w przypadku kul cieczy o dużej gęstości/lepkości w cieczy mniej gęstej/lepkiej. W przypadku fizycznych powierzchni minimalnych warto podkreślić jeszcze jedną ich cechę – przemieszczenie/translacja równoległe do takich powierzchni wymaga minimalnej energii, podczas gdy ruch w kierunku poprzecznym do nich jest co najmniej utrudniony, jeśli nie niemożliwy.

Inną kategorią niezwykle ciekawych powierzchni są tzw. powierzchnie prostokreślnie. W potocznym rozumieniu są to powierzchnie, przez których każdy punkt przechodzi prosta, nazywana jej tworzącą, która zawiera

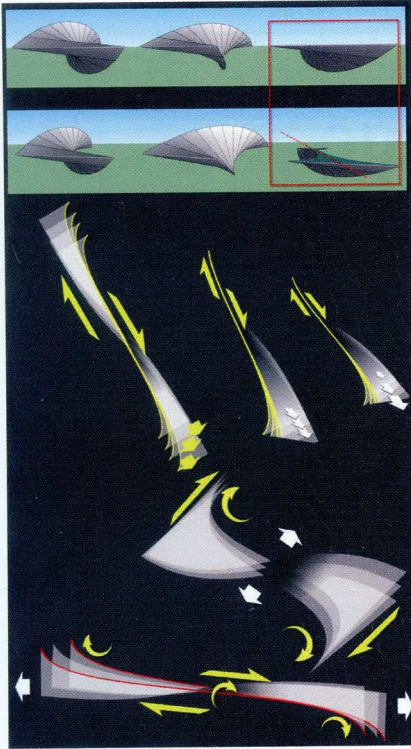


Fig. 10. Przykłady cyfrowych modeli helikoidalnych powierzchni uskokowych. Fig. 1. Ideogramy ukazujące różnicę między odwzorowaniem a modelem (wykorzystano źródła: Strach na wróble z Kaszubskiego Parku Etnograficznego we Wdzydzach (<http://www.pomocieszkolne24.pl>) oraz makietę szkieletu człowieka (<http://www.pomocieszkolne24.pl/szkielety/1/197/>)).

się w tej powierzchni. Zgodnie z powyższym płaszczyzna jest również powierzchnią prostokreślną, chociaż specyficzną, nietypową. Najbardziej znane powierzchnie prostokreślne to powierzchnie stożkowe, walcowe oraz paraboloida hiperboliczna, hiperboloida jednopowłokowa, powierzchnia Ennepera, konoida oraz helikoida. Powierzchnie te tak powszechnie występują wokół nas, w tym również w przestrzeni geologicznej, jako materialne powierzchnie geologiczne, że często nie zdajemy sobie z tego sprawy i nie dostrzegamy ich specyfiki. To choćby stożkowe hałdy piasku, śmieci, czy stożki wulkaniczne, a u wylotu dolin rzecznych – stożki napływowe; walce słupów, kabli, rur, pni drzew, czy większość intruzji wulkanicznych, uskoków i koryt rzecznych; nisze osuwiskowe, łańcuchy DNA, śruby, korkociągi, czy pofałdowane warstwy, diapiry solne, układy gałęzi drzew i brokuły; skręcone muszle ślimaków, rogi zwierząt i nieskończenie wiele innych zjawisk. Powierzchnie prostokreślne są o tyle ciekawe, że pomimo ich „zakrzywienia”

możemy się przemieszczać równoległe do nich/po nich również wzdłuż linii prostej, uogólniając torem ruchu bezwładnego. Przypomnijmy, że ruch taki charakteryzuje brak lub równowagę się wszystkich sił działających na obiekt.

Jedyną prostą powierzchnią (nie licząc płaszczyzny oraz tzw. złożonej powierzchni minimalnej Scherka), która jednocześnie jest powierzchnią minimalną i prostokreślną, jest helikoida (Fig. 9). Tym samym powierzchnie helikoidalne potencjalnie spełniają zarówno warunki „optymalizacji” podziału przestrzeni, są stabilne i każdy ruch wzdłuż nich łączy ze sobą, lub wzajemnie transformuje translację i rotację (jak np. wspomniany wyżej korkociąg). Tym samym nic dziwnego, że w wielu przypadkach, kiedy obserwujemy skutki zniszczeń materiałowych (uskoki, fałdy, rozerwania, powierzchnie ściśnięcia, rynny erozyjne itp.) lub różne sposoby uporządkowania materii w przestrzeni geologicznej (formy terenu, foliacja, strumienie lawy, intruzje magmowe) właśnie helikoidy lub ich fragmenty stanowią najczęściej spotykaną strukturę geologiczną. Warto tutaj dodać, że autorowi udało się stworzyć modele numeryczne kilku realnie występujących w Sudetach powierzchni uskokowych o ewidentnych cechach powierzchni helikoidalnej (Fig. 10, por. Wojewoda i in., 2010; Wojewoda 2019). Ostatnie lata przyniosły sporo nowej wiedzy na temat znaczenia uskoków helikoidalnych w geokinematyce (m.in. Tchalenko 1970; Neylor i in., 1986; Saltzer & Poland 1992; Hippertt 1994; Fowler 1996; Ueta i in., 2000; Taniyama 2011; Giaconia i in., 2013; Asaoka i in., 2016; Yang i in., 2017; Bakeev i in., 2019).

Literatura

- Anderson, D.L., 1989.** Where on Earth is the crust? *Physics Today*, 42, 38–42.
- Anderson, D.L., 2007.** *New Theory of the Earth* (2nd edition). Cambridge University Press, 384 p.
- Asaoka, A., Sawada, Y., Yamada, S., 2016.** Riedel shear band formation with flower structures that develop at the surface ground on a strike slip fault. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 751-754.
- Bakeev, R.A., Stefanov, Y.P., Kocharyan, G.G., 2019.** Stages of strike-slip faulting and block structure dynamics. *Proceedings of the International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures* 2019, AIP Conf. Proc. 2167, 020025-1–020025-4; <https://doi.org/10.1063/1.5131892>. Published by AIP Publishing. 978-0-7354-1912-4/\$30.00
- Burns, R.G., 1993.** *Mineralogical Applications of Crystal Field Theory*. Cambridge University Press. 354 p.
- Fowler, T.J., 1996.** The properties and geological environments of helicoids: axially symmetric surfaces in torsion and non-torsion deformations. *J. Structural Geology*, 18, 4, 505-517.
- Giaconia, F., Booth-Rea, G., Martínez-Martínez, J.M., Azañón, J.M., Pérez-Romero, J., Villegas, I., 2013.** Mountain front migration and drainage captures related to fault segment linkage and growth: The Polopos transpressive fault zone (southeastern Betics, SE Spain). *J. Structural Geology*, 46, 76-91.
- Hippertt, J.F., 1994.** Structures indicative of helicoidal flow in a migmatite diapir (Bacão Complex, southeastern Brasil). *Tectonophysics*, 234, 169-196.
- Naylor, M.A., Mandlo, G., Sijpesteijn, C.H.K., 1986.** Fault geometries in basement-induced faulting under different initial stress states. *J. Structural Geology*, 8, 7, 737-752.
- Saltzer, S.D., Poland, D.D., 1992.** Distinct element modeling of structures formed in sedimentary overburden by extensional reactivation of basement normal faults. *Tectonics*, 11, 1, 165-174.
- Taniyama, H., 2011.** Numerical analysis of overburden soil subjected to strike-slip fault: Distinct element analysis Nojima fault. *Engineering Geology*, 123, 194-203.
- Tchalenko, J.S., 1970.** Similarities between shear zones of different magnitudes. *GSA Bull.*, 81, 1625-1640.
- Ueta, K., Tani, K., Kato, T., 2000.** Computerized X-ray tomography analysis of three-dimensional fault geometries in basement-induced wrench faulting. *Engineering Geology*, 56, 197-210.
- Wojewoda, J., Koszela, S., Aleksandrowski, P., 2010.** A kilometre-scale low-angle detachment related to strike-slip faulting in Late Cretaceous mudstones of the Table Mountains (Central Sudetes, SW Poland) [Kilometrowej skali niskokątowej nasunięcie w późno-kredowych mułowcach Gór Stolowych (Środkowe Sudety)]. In: 8th Meeting of the Central European Tectonic Studies Group (CETeG), Małocice Kapitulne near Kielce, Holy Cross Mountains, Poland, Abstracts, 127-128.
- Wojewoda, J., 2017.** Powierzchnie w Geologii, powierzchnie geologiczne... W: E. Dobierzewska-Mozrzymska, A. Jeziński, [red.] – *Dzieła Natury, Dzieła Człowieka, Historia. Studium Generale*, t. XXI, 63-83.
- Wojewoda, J., 2019.** Geological lines, geological surfaces, scale issues in geology, structural entropy, fractal nature of geological structures ... In: 20th Czech-Polish Workshop On Recent Geodynamics of the Sudeten and the Adjacent Areas, Jakuszyce, October 25-27th, 12-13.
- Wojewoda, J., 2020.** Real curve geological surface: examples and implications. XX Conference of PHD Students and Young Scientists, Wrocław, October 14-16th, 22-23.
- Wojewoda, J., 2021.** Przestrzeń, zjawiska i procesy geologiczne (I): uwarunkowania, skala oraz implikacje metodologiczne. *Konsulting Polski*, 11/12, 45-47.
- Yang, Xiao, Guanghui, Wu, Wu, Yongliang, Lei., Chen, Tinting, 2017.** Analogue modeling of through-going process and development pattern of strike-slip fault zone. *Petrol. Explor. Develop.*, 44, 3, 368–376.ch.