

Lidia Dudek

Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Zastosowanie szybkich technik do bilansowania przekrojów geologicznych

Od ponad trzydziestu lat geolodzy i geofizycy używali technik bilansowania do ograniczenia interpretacji przekrojów geologicznych, aby uzyskać coraz łatwiejsze rozwiązania. Jakość końcowej interpretacji najczęściej zależy od jakości interpretowanych danych, doświadczenia w bilansowaniu i interpretacji oraz czasu przeznaczanego na interpretację. Powszechne problemy w bilansowaniu przekrojów są widoczne podczas szczegółowej analizy skrzydeł wiszących uskoku, skrzydeł zrzuconych uskoku, powierzchni uskokowych oraz płaszczyzn. Podczas takiej analizy można identyfikować braki zgodności w liczbie powierzchni uskokowych oraz płaszczyzn w warstwach i ich miąższościach, a także w przemieszczeniach wzdłuż uskoku. Szybkie techniki nie gwarantują poprawnej interpretacji przekroju geologicznego, lecz służą do dokładniejszej analizy problematycznych obszarów w przekroju poprzecznym, który mógłby wymagać szczegółowej analizy lub ponownej interpretacji. Uzyskanie pozytywnego wyniku rekonstrukcji uwiarygodnia spójność przyjętej hipotezy geologicznej, a potwierdzeniem wiarygodności interpretacji testowanego przekroju geologicznego jest uzyskanie geometrycznej spójności wszystkich wyodrębnionych warstw na przekroju, przedstawiającym basen sedymentacyjny przed deformacją.

Application of quick-look techniques in geological cross sections balancing

For more than 30 years, geologists and geophysicists have used balancing techniques to constrain their cross-sectional interpretations in detached contractional settings. The quality of the resulting interpretations commonly directly correlates to the quality of the data, the balancing and interpretational experience of the interpreter, and the time allotted for the interpretation. We demystify the balancing process and present quick-look techniques for quickly and effectively detecting and preventing common cross section balancing errors in detached contractional settings. Common balancing problems are highlighted through close scrutiny of hanging-wall and footwall ramps and flats, such analysis helps identify inconsistencies in the numbers of ramps and flats, in the strata and stratal thicknesses in corresponding ramps, and in displacement along the fault. The geologists checks the geometrical coherence of the hypotheses by looking at the computed geometry of the predeformational state. While a successful restoration does not guarantee a correct final interpretation, it checks the geometrical soundness of the geologist's hypotheses.

Wprowadzenie

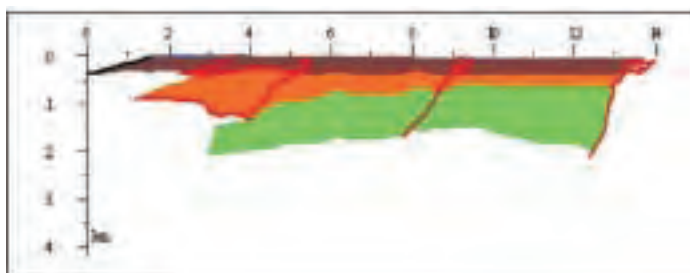
W latach 60., wielu naukowców używało pojęcia zrównoważonych przekrojów poprzecznych przez ograniczenie ich interpretacji [1-7, 9, 10, 12, 13, 15, 17, 20-22].

W oparciu o szczegółową interpretację głębokościowych profili sejsmicznych, obecnie przekrój poprzeczny uważa się za zrównoważony, jeżeli spełnia następujące cztery kryteria [19]:

- 1) wyinterpretowana geometria musi odzwierciedlać obserwowane naturalne struktury rozpatrywanego terenu,
- 2) warstwa przed deformacją oraz geometrie uskoku muszą wyglądać „rozsądnie”, po tym jak fałdy zostaną przywrócone do stanu przed deformacją i przesunięcie na uskokach zostanie cofnięte (tj. kiedy zdeformowany przekrój jest odrestaurowany, geometrie uskoku nie mogą „zygzakiem” zachodzić na siebie lub przecinać przekroje),
- 3) musi być zachowana masa (masa tj. powierzchnia

przekroju poprzecznego) między zdeformowanym przekrojem poprzecznym, a odtworzonym przekrojem poprzecznym (lub uwzględniona, jeżeli istnieje dowód stwierdzający stratę objętości, lub przemieszczenie się poza płaszczyznę przekroju),

- 4) fizycznie możliwa historia kinematyczna musi opisywać rozwój struktur; od stanu niezniekształconego do zniekształconego.



Rys. 1. Wynik nieprawidłowego odrestaurowania przekroju geologicznego do stanu przed deformacją

Te powyżej opisane sprawdzenia i bilansowania wymagają szczegółowego rozpatrzenia zdeformowanego przekroju poprzecznego i skonstruowania odtworzonego przekroju poprzecznego dla każdego interpretacyjnego powtórzenia. Jest to bardzo żmudny i czasochłonny proces. Pomimo iż odpowiednie kryteria dla bilansowania nie są aż tak skomplikowane i są dość łatwo osiągalne w literaturze, to jednak przy bardziej skomplikowanej budowie tektonicznej mogą przysporzyć sporo problemów. Dlatego właśnie stosuje się serie szybkich technik, które pozwalają w sposób mało czasochłonny i efektywny ocenić wybrane przekroje dla celów bilansowania, bez wykonywania odtworzenia. W niniejszym artykule skupiono szerszą

uwagę na tego typu technikach, opisując kiedy można ich używać i co dzięki nim można uzyskać. Techniki te mogą być użyte w następujących sytuacjach:

- na dowolnym etapie procesu interpretacji; zarówno podczas, jak i po rekonstrukcji przekroju,
- dla zinterpretowanych geologicznie czasowych i głębokościowych profili sejsmicznych,
- jako wstępny proces dla bilansowania.

Techniki te nie gwarantują poprawnej interpretacji przekroju, lecz zwracają uwagę na obszary potencjalnie problematyczne w przekrojach, które wymagają dokładniejszej analizy i precyzyjnego wytłumaczenia procesów tektonicznych.

Założenia szybkich technik

W celu jak najszerszego zastosowania szybkich technik definiuje się grupę prostych założeń, które są generalnie najbardziej wiarygodnymi w większości wybranych fałdów i powierzchni ścięć (tablica 1). Pomimo, że jedno lub więcej z tych założeń może się nie sprawdzić w wybranym rejonie, lub przy bardziej szczegółowych zbliżeniach [11], nie znaczy to, że nie można użyć szybkich technik, ale oznacza, że techniki te mogą wymagać oddzielnych adaptacji w pojedynczych przypadkach.

W rzeczywistości, jeśli zastosuje się szybką technikę, aby skonstruować i ocenić przekrój, gdzie są obecne odejścia od założenia (tablica 1), użytkownik może skupić się na tych częściach przekroju i postanowić, czy przekrój wymaga modyfikacji, lub czy geologia obszaru jest zgodna z interpretacją. Bez względu na to interpretatorzy w wybranych kompresyjnych układach powinni brać pod uwagę warunki brzegowe (przedstawione w tablicy 1) w badanym obszarze.

Tablica 1. Założenia dla szybkich technik [20]

⇒ Brak przemieszczeń poza płaszczyznę przekroju.
⇒ Stała powierzchnia przekroju (tj. brak straty objętości lub kompaktacji).
⇒ Stała grubość podłoża (tj. równoległe faldowanie).
⇒ Faldowanie jest zależne od uskoku (a nie spowodowane przepływem soli lub łupków).
⇒ Brak regionalnych ścinów w przekroju (tj. wszystkie jednostki musiały mieć tą samą ilość skrócenia).
⇒ Brak uskokuw pozasekwencyjnych lub odnowionych starych uskokuw.
⇒ Skaly muszą być nieprzeobrażone.
⇒ Przesunięcie uskoku nastąpiło po skończonej depozycji.
⇒ Konsekwentna sekwencja warstwy (tj. żadnych głównych braków spójności).

Ograniczenia szybkich technik

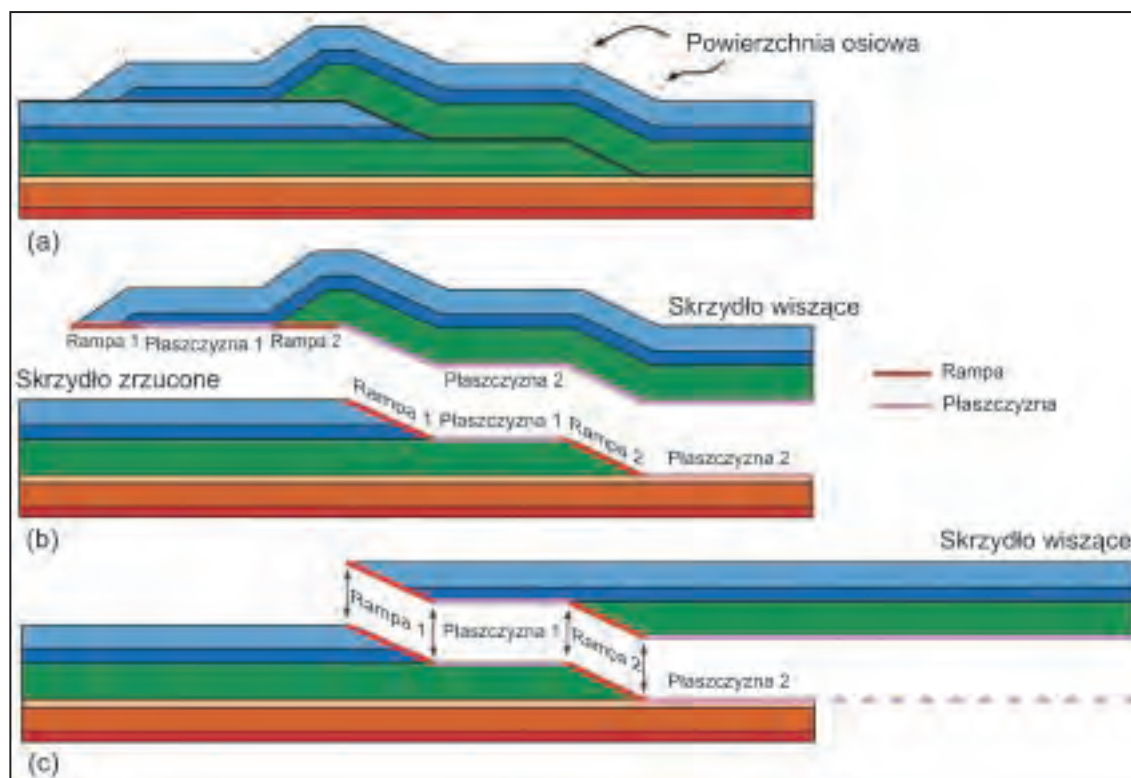
W wybranych strefach nasunięcia, gdzie prawdziwe są warunki brzegowe (pokazane w tablicy 1), zdeformowana warstwa skrzydła wiszącego uskoku musi bezpośrednio odzwierciedlać geometrię skrzydła zrzuconego (podstawy), z którego została ona oderwana [2, 11, 12, 19, 22]. Brak ciągłości ramp i płaszczyzn pomiędzy blokami uskokuw jest powszechnym źródłem różnic bilansowania. Zatem jednym z ważnych kroków w procesie szybkiej interpretacji jest uważne rozróżnie-

nie pomiędzy rampami i płaszczyznami w skrzydłach wiszących i zrzuconych (każda rampa i płaszczyzna mają dopasowane odpowiedniki w obydwu blokach uskokuw (rysunek 2) [19].

Jednym z pierwszych kroków przy analizowaniu przekroju jest odseparowanie skrzydła wiszącego od skrzydła zrzuconego [(warstwy skrzydła wiszącego to te powyżej uskoku, a warstwy podstawy (skrzydło zrzucone) są usytuowane poniżej uskoku (rysunek 2b)]. Rampy powstają

wówczas, gdy uskok przecina przekrój [tworząc odcięcia zarówno w skrzydle wiszącym, jak i podstawie (rysunek 2b)], a powierzchnie płaskie tam, gdzie warstwy są równoległe do powierzchni uskoku (zarówno w skrzydle wiszącym, jak i podstawie). Ten proces identyfikacji rampa-powierzchnia płaska pokazany jest na rysunkach

2b i 2c. Aby zbilansować taki przekrój, liczba ramp i powierzchni płaskich musi znaleźć odpowiednie pary w skrzydle wiszącym i skrzydle zrzuconym oraz muszą one zawierać te same warstwy, co pozwala dopasować się razem dwóm blokom rozdzielonym uskokiem, kiedy zdeformowany przekrój jest odrestaurowany (rysunek 2c).



Rys. 2. Przekroje poprzeczne ilustrujące identyfikację ramp i płaszczyzn w skrzydłach wiszących i zrzuconych uskoku

- przekrój poprzeczny z powierzchnią osiową antykliny i synkliny (powierzchnie osiowe pomagają zlokalizować skrzydło wiszące i przejście ramp w powierzchni płaskie skrzydeł zrzuconych w uskokach związanych z fałdami),
- identyfikacja skrzydła wiszącego, ramp, skrzydła zrzuconego (warstwy są ścięte przez uskoki) i powierzchni płaskich (warstwy są równoległe do uskoku),
- warstwy są cięte przez rampy, a numery ramp i powierzchni płaskich powinny być analogiczne w skrzydle wiszącym i zrzutowym.

Rodzaje technik

Rysunki 3 i 4 przedstawiają serie zdeformowanych i odtworzonych do stanu przed deformacją przekrojów, które pokazują jak wykryć problemy w odrestaurowaniu przekrojów przy użyciu szybkich technik. Każdy z tych rysunków przedstawia pojedynczy problem; różne ilości ramp i płaszczyzn. Pierwsza kolumna przekrojów poprzecznych w każdym rysunku przedstawia potencjalne problemy interpretacyjne oraz to, jak wygląda odrestaurowany przekrój (tj. mało prawdopodobny przekrój oznaczony przyrostkiem „s”). Druga kolumna przekrojów pokazuje wiarygodny sposób poprawienia mało prawdopodobnego przekroju, aby otrzymać wiarygodne odrestaurowanie (wiarygodny oznaczony literką „p”). Do

interpretatora należy decyzja, czy mało prawdopodobny przekrój musi być zmodyfikowany, lub czy istnieje geologicznie zrozumiałe wytłumaczenie, rozwiązujące ten problem. Jest to o tyle istotne, gdyż każda zła interpretacja jest źródłem złej lokalizacji otworu wiertniczego, przez nieodpowiednią identyfikację hipotetycznego zbiornika i potencjalnego miejsca nagromadzenia węglowodorów.

Niezgadająca się liczba ramp i płaszczyzn

Jak wspomniano poprzednio, liczba ramp i płaszczyzn musi się zgadzać w skrzydle wiszącym i w podstawie (skrzydle zrzutowym). Części a i b (rysunek 3) ilustrują

dwa przypadki, gdzie istnieje niezgodność liczby ramp i płaszczyzn. Pierwszy ma większą liczbę ramp podstawy (rysunek 3a), a drugi ma większą liczbę ramp skrzydła wiszącego (rysunek 3b). Rysunki 3a-s pokazują mało wiarygodny przekrój, który ma dwie rampy podstawy (jedną w zielonej warstwie przekroju i jedną w dwóch niebieskich warstwach) i tylko pojedynczą rampę skrzydła wiszącego (jedna ciągła rampa; od podstawy warstwy zielonej do góry, do warstwy jasnoniebieskiej). Kiedy odtworzy się tą niezgodność, wynikiem jest przerwa pomiędzy podstawą i blokiem skrzydła wiszącego. Aby przekrój został zbilansowany, dwa bloki uskokowe powinny pasować razem w odrestaurowanym stanie, bez jakichkolwiek przerw i nakładania. Aby uzyskać ten efekt liczba ramp skrzydła wiszącego musi się równać liczbie ramp podstawy (skrzydła zrzuconego). Poprawne bilansowanie jest przedstawione na rysunku 3a-p; mało wiarygodny przekrój został poprawiony i podczas bilansowania zostaje zachowany bilans mas. Modyfikując przekrój, aby zaakceptować dwie rampy w skrzydle wiszącym, potencjalnie zwiększa się pułapkę w skrzydle wiszącym tak, że lokalizacja odwiertu ma sens (odwiert ten byłby negatywny w pierwszym przypadku (rysunek 3a-s)). Dlatego też tak ważna jest głębokościowa interpretacja profili sejsmicznych i jej geometryczne odtworzenie w przypadku znajdowania odpowiedniego miejsca do usytuowania otworu wiertniczego.

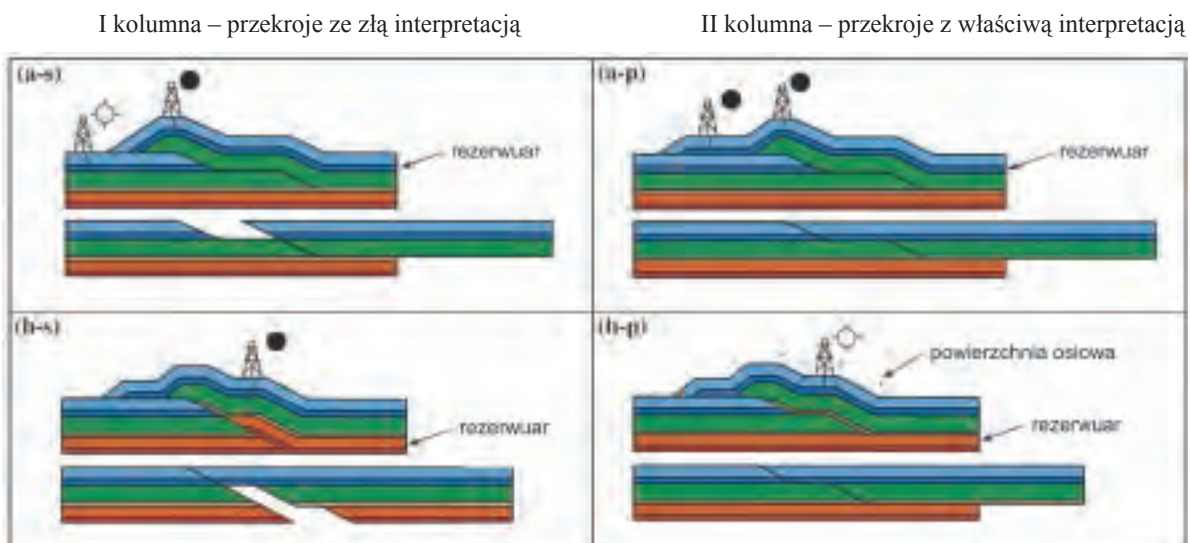
Podobny problem istnieje w przypadku, gdy liczba ramp podstawy jest mniejsza niż liczba ramp skrzydła wiszącego. Rysunek 3b-s pokazuje jedną ciągłą rampę podstawy poprzez cały przekrój i trzy pojedyncze rampy skrzydła wiszącego (w kolorach brązowych). Tak jak na

rysunku 3a-s, podczas odtwarzania przekroju do stanu przed deformacją pojawia się przerwa pomiędzy blokiem podstawy i skrzydła wiszącego (rysunek 3b-s). Należy więc modyfikować liczbę skrzydeł grzbietowych fałdów (która może być ograniczona przez dane sejsmiczne), aby spowodować, że przerwa może być ustalona poprzez dodanie innej rampy podstawy i odjęcie rampy w skrzydle wiszącym. Zmodyfikowany w ten sposób przekrój (rysunek 3b-p), poprzez ograniczenie geometrii ramp i płaszczyzn skrzydła wiszącego, staje się bardziej wiarygodny. W tym przykładzie potencjalny odwiert na rysunku 3b-p jest negatywny, ponieważ bilansowanie pokazuje, że zbiornik (brązowa warstwa) nie jest zaangażowany w proces fałdowania.

Niekonsekwentne grubości w rampach skrzydeł wiszący i zrzuconych

Jednym z powszechnie obserwowanych problemów w publikowanych przekrojach wybranych pasów fałdowych jest sytuacja, gdy warstwa ograniczająca w rampie podstawy jest różna od warstwy ograniczającej w odpowiedniej rampie skrzydła wiszącego (albo w ilości warstw obecnych, albo w grubości warstw) (rysunek 4).

Takie problemy występują w odkształconych przekrojach na tylnych częściach ramp podstawy, gdzie warstwy powinny wrócić do swoich oryginalnych poziomów, tj. do wysokości powierzchni warstwy przed deformacją [12, 22]. Problemy występują wówczas, gdy warstwy w skrzydle wiszącym są albo powyżej (rysunek 4a), albo poniżej (rysunek 4b) ich oryginalnych poziomów w podstawie. W pierwszym przypadku (rysunek 4a) poszczególne



Rys. 3. Poprzeczny przekrój geologiczny z niezgadającą się liczbą ramp i płaszczyzn

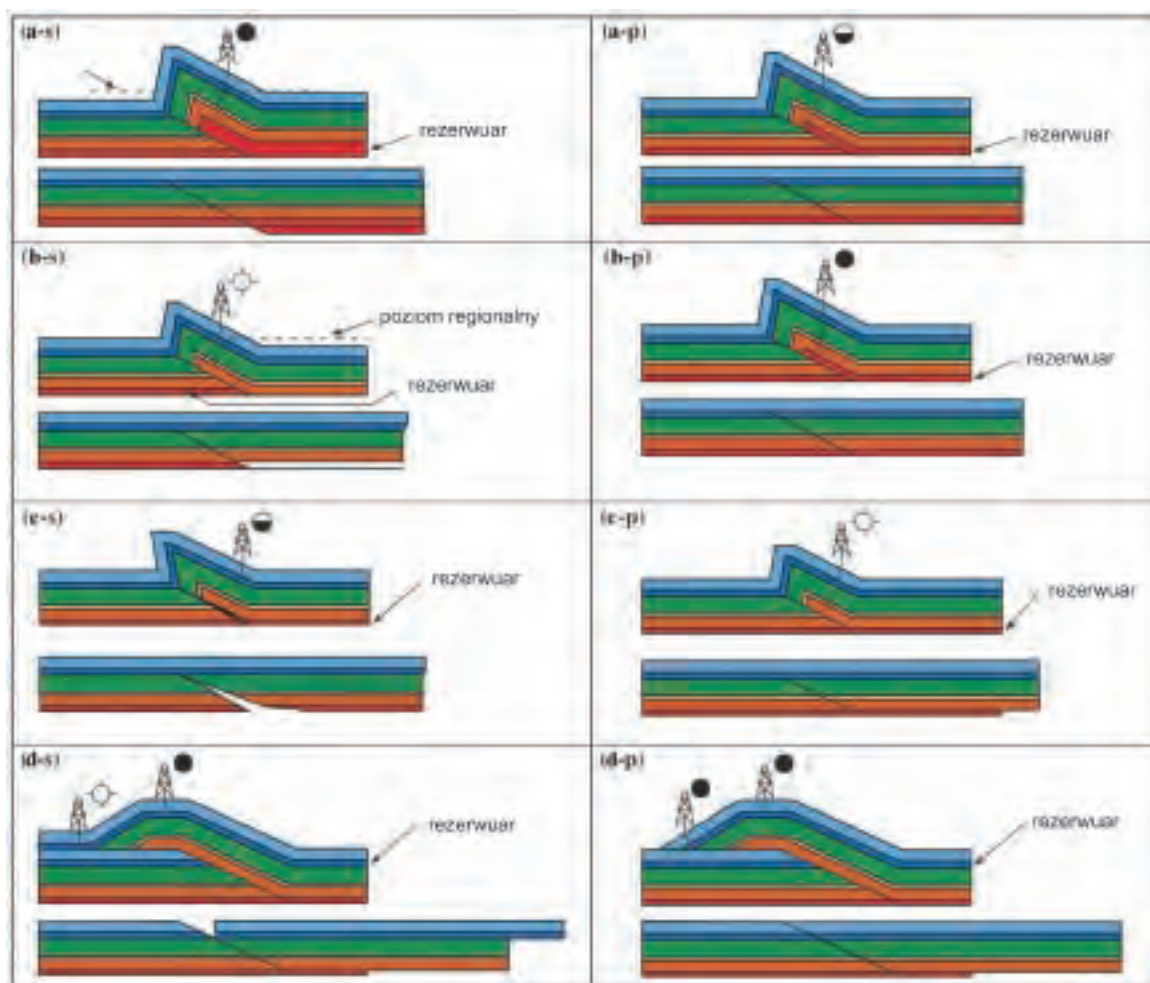
gólne warstwy podstawy muszą być podniesione, przez przesunięcie widoczne w skrzydle wiszącym (przerwana linia na rysunku 4a-s). Rozwiązanie tego problemu możliwe jest poprzez zwiększenie miąższości, co powinno mieć uzasadnienie w ponownej interpretacji obrazu sejsmicznego. W odtworzonym do stanu przed deformacją przekroju (rysunek 3a-s) dodatkowy materiał w brązowej warstwie występuje poniżej uskoku, co świadczy o tym, że nie jest to prawidłowy obraz. Aby uzyskać wiarygodny przekrój zbilansowany (rysunek 3a-p) wszystkie warstwy w skrzydle wiszącym powinny być obniżone do ich początkowego poziomu. Ta modyfikacja w przekroju redukuje oczekiwaną objętość pułapki (rysunek 3a-p).

W drugim przypadku warstwy skrzydła wiszącego są poniżej ich regionalnych poziomów w podstawie (rysunek 4b-s). W przekroju odtworzonym do stanu przed deformacją brak materiału powoduje przerwę pomiędzy blokiem skrzydła wiszącego i uskokiem. Aby skorygować tę interpretację (rysunek 4b-p) warstwy skrzydła wiszącego są podniesione do tego samego poziomu, jak ich odpowied-

ni podstawy. Ta zmiana powoduje, że w skrzydle wiszącym pojawia się warstwa zbiornikowa i usytuowanie tam odwiertu może przynieść oczekiwany sukces wydobywczy (rysunek 4b-p). Rysunek 4c-s przedstawia tzw. problem „cienkiej rampy”. Ta sytuacja występuje, gdy odcięta rampa skrzydła wiszącego posiadają mały kąt odcięcia, w odniesieniu do odpowiednich kątów odcięcia rampy podstawy. Niezgodność ta powoduje problem miąższości w warstwie rampy bezpośrednio powyżej uskoku (warstwa brązowa na rysunku 4c-s).

Podczas bilansowania takiego przekroju widoczna staje się przerwa, powodująca, że interpretacja jest niepoprawna. Wyeliminowanie tego problemu może nastąpić poprzez spłylenie odcinka powyżej jednostki ze zwięzającą się rampą (brązowa warstwa). W tym przypadku spłylenie odcinka usuwa obecność rezerwuaru (brązowa warstwa) w hipotetycznej pułapce (rysunek 4c-p).

Rysunek 4d przedstawia interpretację, gdzie przekrój ma wszystkie swoje warstwy na swoich poziomach regionalnych, ale różne warstwy są odwzorowane w ram-



Rys. 4. Poprzeczne przekroje geologiczne z niezgodnymi miąższościami w skrzydłach wiszących i liczbami ramp skrzydeł zruconych

pach skrzydła wiszącego i podstawy (tj. górne dwie niebieskie warstwy są odwzorowane w podstawie, ale są częścią sekwencji przykrywającej w skrzydle wiszącym (rysunek 4d-s).

Jeżeli odtworzy się taki przekrój do stanu przed deformacją, wówczas powstaje przerwa w warstwach nie-

bieskich. Należy skorygować taki przekrój tak, aby mógł być zbilansowany. W tym celu należy wydłużyć rampe skrzydła wiszącego, aby zawarła wszystkie jednostki (takie jak w podstawie – rysunek 4d-p). W przypadku tej interpretacji, hipotetyczny odwiert może nawiercić warstwy tworzące antyklinę (rysunek 4d-p).

Zastosowanie szybkich technik

Podane powyżej przykłady są proste, a w niektórych przypadkach dokładna analiza i użycie tych technik pomaga użytkownikowi znaleźć błędy w interpretacji. Większość problemów może być spowodowana różnicami we wzajemnie odpowiadających rampach i płaszczyznach,

i w związku z tym kluczem do stosowania szybkich technik jest szczegółowe analizowanie ramp oraz płaszczyzn w skrzydłach wiszących i skrzydłach zrzuconych (podstawach) uskoków. W tablicy 2 podano serie zaleceń, których należy przestrzegać stosując szybkie techniki.

Tablica 2. Pytania, czyli lista sprawdzająca do stosowania szybkich technik [20]

1.	Czy liczba ramp i płaszczyzn odpowiada w skrzydle wiszącym i skrzydle zrzuconym, czyli w podstawie?
2.	Czy każda rampa skrzydła wiszącego należy dokładnie do tej samej warstwy co odpowiadająca jej rampa skrzydła zrzuconego?
3.	Zakładając sedimentację synorogeniczną, czy warstwy w każdej rampie skrzydła wiszącego są mniej więcej tej samej grubości, co warstwy w odpowiadających im rampach skrzydła zrzuconego?
4.	Zakładając, że każda rampa – zarówno w skrzydle wiszącym, jak i zrzuconym – spoczywa na podobnie opadającym segmencie uskoku, czy ich kąty odeięcia są diametralnie różne?
5.	Zakładając brak ramp skrzydła zrzuconego w wyselekcjonowanych uskoku, czy warstwy w skrzydłach wiszących wracają do swoich pierwotnych poziomów?
6.	Czy każda płaszczyzna w skrzydle wiszącym ma w przybliżeniu tę samą długość, co odpowiadająca jej powierzchnia w skrzydle zrzuconym?
7.	Czy uskoki przecinają główną część przekroju w kierunku przemieszczania się i czy unieszczają one starsze warstwy nad młodszymi?
8.	Czy wielkość przemieszczenia i jego kierunek zmieniają się konsekwentnie wzdłuż każdego uskoku?

Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono metody wykorzystania szybkich technik w celu ograniczenia interpretacji przekrojów geologicznych. Wielu naukowców ma tendencję do rysowania bardzo skomplikowanych interpretacji głębokościowych przekrojów sejsmicznych. Niestety podczas odtwarzania do stanu przed deformacją okazuje się, że poszczególnych elementów nie da się

dopasować tak, aby otrzymać spójność geometryczną. Realny model otrzymujemy wówczas, kiedy cały przekrój może być odtworzony do stanu przed deformacją i zostaje zachowany bilans mas. Każda zła interpretacja jest źródłem złej lokalizacji otworu wiertniczego, przez nieodpowiednią identyfikację hipotetycznego zbiornika i potencjalnego miejsca nagromadzenia węglowodorów.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej Kostecki

Literatura

- [1] Bally A.W., Gordy P.L., Stewart G.A.: *Structure, seismic data and orogenic evolution of southern Canadian Rocky Mountains*. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, vol. 14, p. 337-381, 1966.
- [2] Boyer S., Elliot D.: *Thrust systems*. AAPG Bulletin, vol. 66, p. 1196-1230, 1982.
- [3] Dahlstrom C.D.A.: *Balanced cross sections*. Canadian Journal of Earth Science, vol. 6, p. 743-757, 1969.
- [4] Dahlstrom C.D.A.: *Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains*. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, vol. 18, p. 332-406, 1970.
- [5] DePaor D.G.: *Balanced sections in thrust belts. Part I: Construction*. AAPG Bulletin, vol. 72, p. 73-91, 1988.
- [6] Dixon J.S.: *Regional structural synthesis. Wyoming salient of Western Overthrust belt*. AAPG Bulletin, vol. 66, p. 1560-1580, 1982.

- [7] Elliot D.: *The construction of balanced cross sections*. Journal of Structural Geology, vol. 5, p. 101, 1983.
- [8] Geiser P.A.: *The role of kinematics in the construction and analysis of geological cross sections in deformed terranes* [in: Mitra G., Wojtal S., eds., Geometries and mechanisms of thrusting, with special reference to the Appalachians]. Geological Society of America Special Paper, 222, p. 47-76, 1988.
- [9] Hossack J.R.: *The use of balanced cross-sections in the calculation of orogenic contraction*. Journal of the Geological Society of London, vol. 136, p. 705-711, 1979.
- [10] Jones P.B.: *Quantitative geometry of thrust and fold belt structures*. AAPG Methods in Exploration, 6, 26 p., 1987.
- [11] Koyi H.A., Teixell A.: *Where is the footwall flat? A cautionary note on template constraints*. Journal of Structural Geology, vol. 21, p. 373-377, 1999.
- [12] Marshak S., Woodward N.B.: *Introduction to cross section balancing* [in: Marshak S., Mitra G., eds., Basic methods of structural geology]. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 446, p. 1770, Balancing Quick-Look Technique, 1988.
- [13] McClay K.R., Price N.J.: *Thrust and nappe tectonics*. Geological Society Special Publication, 9, 539 p., 1981.
- [14] McClay K.R.: *Thrust tectonics*. London, Chapman and Hall, 447 p., 1992.
- [15] Mitra S., Namson J.S.: *Equal-area balancing*. American Journal of Science, vol. 289, p. 563-599, 1989.
- [16] Mitra S.: *Balanced structural interpretations in fold and thrust belts* [in: Mitra S., Fisher G.W., eds., Structural geology of fold and thrust belts]. Baltimore, Johns Hopkins University Press, p. 53-77, 1992.
- [17] Suppe J.: *Principles of structural geology*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 537 p., 1985.
- [18] Tearpock D.J., Bischke R.E.: *Applied subsurface geological mapping*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 648 p., 1991.
- [19] Wilkerson M.S., Marshak S.: *Fold-thrust belts – an essay* [in: van der Pluijm B.A., Marshak S., eds., Earth structure]. US Division, WCB/McGraw-Hill, 485 p., 1997.
- [20] Wilkerson M.S., Dicken C.L.: *Quick-look techniques for evaluating two-dimensional cross sections in detached contractional settings*. AAPG, vol. 85, NO10, 2001.
- [21] Woodward N.B.: *Valley and Ridge thrust belt: balanced cross sections*. Pennsylvania to Alabama: University of Tennessee, Appalachian Basin Industrial Associates and Department of Geological Sciences, Studies in Geology, 12, 64 p., 1985.
- [22] Woodward N.B., Boyer S.E., Suppe J.: *Balanced geological cross-sections: an essential technique in geological research and exploration*. Washington, American Geophysical Union, 132 p., 1989.



Mgr inż. Lidia DUDEK – absolwentka Wydziału Geologiczno-Poszukiwawczego Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Pracownik Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie na stanowisku: starszy specjalista badawczo-techniczny, wykonująca prace w zakresie modelowania, generacji i ekspulsji węglowodorów.