

Współczesny reżim tektoniczny w Polsce na podstawie analizy testów szczelinowania hydraulicznego ścian otworów wiertniczych — dyskusja

Michał Śmigieński*, Marek Koprianiuk*



M. Śmigieński M. Koprianiuk

W *Przeglądzie Geologicznym* ukazał się artykuł M. Jarosińskiego (2005), w którym zostały przedstawione wyniki badań nad wyznaczaniem współczesnego reżimu tektonicznego na terenie Polski. Autor wykorzystuje nie stosowaną do tej

pory w kraju, perspektywiczną metodę określania wartości głównych naprężeń na podstawie testów szczelinowania hydraulicznego ścian otworów wiertniczych.

Prezentowana metoda w uproszczeniu polega na odczytaniu z wykresów ciśnienia i tempa pompowania płynu wielu parametrów takich jak ciśnienie zniszczenia P_b , ciśnienie rozwarcia istniejącego pęknięcia P_{ro} oraz wartość ciśnienia w punkcie ugięcia krzywej spadku ciśnienia ISIP. Dodatkowo niezbędne jest oszacowanie obciążenia litostatycznego S_v , wytrzymałości tensyjnej skały T_0 pomniejszonej o wartość naprężenia termalnego σ_T i znajomość ciśnienia złożowego P_0 . Przyjmując założenie, iż wartość ciśnienia w punkcie ISIP odpowiada wartości najmniejszego naprężenia poziomego S_h , ortogonalności regionalnego pola naprężeń i równoległości otworu do jednej z głównych osi możliwe jest wykorzystanie przytaczanych przez autora wzorów do wyznaczenia wartości największego naprężenia horyzontalnego, a co za tym idzie reżimu tektonicznego i anizotropii pola naprężeń. Autor wykorzystuje dane z 12 otworów wiertniczych znajdujących się w południowej części kraju wydzielając 4 domeny: Karpaty, zapadlisko przedkarpackie, basen lubelski oraz monokline przedśudecką.

Ze względu na wagę ogólnych implikacji dotyczących obecnego pola naprężeń problematyka ta zmusza do wnikliwej analizy wybranej przez autora procedury i konsekwencji stosowanego aparatu metodycznego. Przy uważnej analizie tekstu nasuwają się wątpliwości dotyczące trzech bardzo istotnych dla przedstawionych wyników o charakterze regionalnym, kwestii:

- 1) poprawność przeprowadzonych rachunków,
- 2) wiarygodności wartości określonych parametrów, na podstawie których otrzymano prezentowane wyniki badań,
- 3) zasadności wyciągniętych wniosków.

Poprawności przeprowadzonych rachunków

W artykule występują różnice między wartościami tych samych parametrów zamieszczonymi w tekście a podanym w tabeli (Jarosiński, 2005, tab. 2). Jednocześnie Autor popełnił błędy w przeprowadzonych rachunkach. Przykładowo:

□ Jodłówka-21. Autor wyznacza wartość P_{ro} na 61 MPa natomiast do obliczenia naprężenia S_H przyjmuje wartość 62 MPa. Podana w tabeli anizotropia S_H/S_V 1,05 nie odpowiada wynikowi dzielenia zarówno dla wartości S_H z tabeli ($S_H=84$ MPa; $84/76=1,11$), jak i tekstu ($S_H=85$ MPa; $85/76=1,12$). Przyjmując za poprawną wartość szczegółowo obliczoną przez autora w tekście za błędną należy uznać również wartość anizotropii S_H/S_h (jest 1,40 a powinno być $85/60=1,42$).

□ Wola Zalewska-1. Wartości P_0 i S_h podane w tekście (25,5 i 47) różnią się od wartości z tabeli (25 i 46). W efekcie wyznaczona wartość anizotropii S_H/S_h również jest błędna (jest 1,51 a powinno być $69,5/47=1,48$).

□ Stężyca-2. Błędnie obliczono zarówno wartość anizotropii S_H/S_V (jest 1,11 a powinno być $63/55=1,15$), jak i S_H/S_h (jest 1,29 a powinno być $63/47=1,34$).

□ Stężyca-3K. Wartość S_h różni się między tekstem (53 MPa) a tabelą (52 MPa), również podana w tabeli wartość naprężenia dyferencjalnego S_H-S_h jest błędna.

Różnice w wartościach parametrów przytoczonych w tekście i tabeli sprawiają, iż artykuł jest niejasny. Ponadto przeprowadzone przez autora obliczenia anizotropii zostały wykonane z dokładnością do jednej setnej, dlatego też dziwi mnogość błędów rachunkowych powodujących niekiedy zmiany już na pierwszym miejscu po przecinku. Jest to szczególnie istotne, gdyż obliczone wartości naprężeń i anizotropii są podstawą dla wyciągania wszystkich wniosków.

Wiarygodność wartości określonych parametrów

W omawianej pracy kluczowe znaczenie dla otrzymanych końcowych wyników i wyciągniętych z nich wniosków ma określenie wartości parametrów S_h , P_{ro} , P_b , P_0 , T_0 , σ_T i S_v . Niewielkie zmiany tych parametrów w znaczący sposób wpływają na otrzymane wyniki. Tym samym określenie wielkości błędu z jakim wartości te zostały wyznaczone i uwzględnienie go w rachunkach jest niezbędnym elementem zapewniającym oczekiwany przez czytelnika poziom wiarygodności przeprowadzonych analiz. Autor wspomina o licznych czynnikach mogących zwiększyć błąd ostatecznego wyniku. W przeprowadzonych rachunkach autor nie uwzględnia jednak żadnego zakresu błędu, podając pojedyncze wartości obliczonych parametrów. Całkowity błąd oszacowania wartości S_H według autora „w niektórych przypadkach może przekroczyć 5 MPa”. Nasuwa się istotne pytanie o ile może przekroczyć tą wartość i w ilu przypadkach. Dla otworu Stuposiany-4 błąd już 5 MPa stanowi ponad 20% wyznaczonej wartości S_H co ma duży wpływ na rodzaj określonego reżimu i wartości wyznaczonej anizotropii naprężeń. W związku z tym należałoby się zastanowić, czy wartość tego błędu nie dyskwalifikuje danych z części otworów.

Największe znaczenia ma błąd w oszacowaniu wartości S_h . Autor przyjmuje, że błąd ten przeważnie wynosi zaledwie 1 MPa i zależy „od kształtu krzywej spadku ciśnienia”. Tym samym nie odnosi się do licznych czynników,

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; m.smigielnski@uw.edu.pl; m.koprianiuk@uw.edu.pl

na które sam zwrócił uwagę w rozdziałach dotyczących metodyki i specyfiki przeprowadzonych w Polsce testów:

□ przeprowadzano tylko jeden cykl zabiegu szczelinowania, a dopiero przy znacznej powtarzalności tego typu cyklów punkt ISIP zbliża się do wartości S_h ,

□ używano zwykle do kilkunastu m^3 płynu, co zwiększa ryzyko rozbieżności między ISIP a S_h ,

□ ciśnienie w interwale szczelinowania nie było mierzone bezpośrednio w otworze, a wyliczane jako suma obciążeń hydrostatycznych i hydrodynamicznych oraz oporu w instalacji,

□ długie interwały szczelinowania obniżają precyzję otrzymanych wyników.

Tab. 1. Wartości anizotropii pola naprężeń S_H/S_h dla poszczególnych otworów wiertniczych w zależności od wielkości błędu S_h

Błąd [MPa]	-3	-2	-1	0	1	2	3
Otwór	C		B	A	B	C	
Osobnica-93	1,20	1,29	1,36	1,43	1,50	1,56	1,62
Osobnica-138	–	–	–	?1,5	–	–	–
Stuposiany-4	1,08	1,23	1,36	1,47	1,56	1,65	1,72
Tuligłowy-40	1,06	1,16	1,25	1,33	1,41	1,48	1,54
Przemyśl-89	1,48	1,55	1,61	1,67	1,72	1,77	1,81
Jodłówka-21	1,33	1,36	1,39	1,42	1,44	1,47	1,49
Wola Zalew.-1	1,38	1,41	1,45	1,48	1,51	1,54	1,57
Stężycza-1	1,59	1,62	1,64	1,67	1,69	1,71	1,74
Stężycza-2	1,23	1,27	1,30	1,34	1,38	1,41	1,44
Stężycza-3K	1,38	1,41	1,44	1,47	1,50	1,53	1,55
Mełgiew-7K	1,41	1,43	1,45	1,47	1,48	1,50	1,52
Grochowice-3	1,04	1,12	1,19	1,25	1,31	1,37	1,42

Kolor szary — zmiana wartości anizotropii na pierwszym miejscu po przecinku w stosunku do wartości wyznaczonych przez Autora. A — wartości wyznaczone przez autora (Jarosiński, 2005) po poprawieniu błędów rachunkowych, B — wartości wyznaczone z uwzględnieniem założonego w pracy błędu S_h , C — wartości wyznaczone z uwzględnieniem większego błędu S_h .

Tab. 2. Reżimy tektoniczne dla poszczególnych otworów wiertniczych w zależności od wielkości błędu w oszacowaniu S_h z uwzględnieniem błędu w oszacowaniu S_H o wartości +/-5 MPa

Błąd [MPa]	-3	-2	-1	0	1	2	3
Otwór	B		A			B	
Osobnica-93	nf	ss/nf	ss/nf	ss	ss	ss	ss
Osobnica-138	–	–	–	tf	–	–	–
Stuposiany-4	nf	nf	ss/nf	ss/nf	ss	ss	ss/tf
Tuligłowy-40	nf	nf	nf	nf/ss	ss	ss	ss
Przemyśl-89	ss/nf	ss/nf	ss	ss	ss	ss	ss
Jodłówka-21	nf	ss/nf	ss/nf	ss	ss	ss	ss
Wola Zalew.-1	nf	ss/nf	ss/nf	ss	ss	ss	ss
Stężycza-1	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss
Stężycza-2	nf	ss/nf	ss/nf	ss	ss	ss	ss
Stężycza-3K	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss
Mełgiew-7K	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss
Grochowice-3	nf	nf	nf	nf/ss	nf/ss	ss	ss

Znaki wartości błędów S_H i S_h są zgodne. Oznaczenia reżimów tektonicznych zostały przyjęte za Autorem. Kolor biały — reżim zgodny z podanym przez Autora bez względu na wpływ założonych błędów. Kolor jasnoszary — reżim nie może być jednoznacznie wyznaczony ze względu na błąd w oszacowaniu S_H . Kolor ciemnoszary — reżim różni się od podanego przez Autora bez względu na wielkość błędu S_H . A — reżim wyznaczony z uwzględnieniem założonego w pracy błędu S_h , B — reżim wyznaczony z uwzględnieniem większego błędu

Autor przyznaje, iż „powyższe niedostatki testów ... podnoszą ryzyko błędu interpretacyjnego” ale jednocześnie nie podaje żadnych wartości liczbowych tego błędu. Również przemilcza wpływ przyjęcia uproszczonych wzorów zakładających ortogonalność głównych osi pola naprężeń w stosunku do powierzchni ziemi oraz równoległość otworu do jednej z tych osi na otrzymane wyniki. Jak powszechnie wiadomo, osie pola naprężeń odbiegają nawet znacznie od tych założeń (Twiss & Moores, 2001). Dodatkowo głębokie otwory wiertnicze w swych dolnych odcinkach mają krzywoliniowe profile. Przynajmniej wpływ ostatniego z tych dwóch czynników mógł być oszacowany przy użyciu danych wiertniczych i rozważań teoretycznych. Możliwe, że powyższe czynniki generują błąd mniejszy od postulowanego przez autora 1MPa jednakże w tekście nie zostało to zaznaczone.

Z przygotowanych przez autorów niniejszej polemiki tabel jednoznacznie wynika, że niewielkie błędy w oszacowaniu wartości samego tylko parametru S_h mogą mieć zasadniczy wpływ nie tylko na określenie wielkości anizotropii ale również reżimów tektonicznych (tab. 1 i 2). Dla przykładu w otworze Stuposiany-4 poprawnie obliczona anizotropia S_H/S_h równa się 1,47, tymczasem wprowadzając do rachunków wartość błędu S_h (+/-1MPa) otrzymujemy zakres od 1,36 do 1,56 (tab. 1). Uwzględnienie tego błędu na poziomie zakładanym przez autora w przypadku 7 z 11 pozostałych otworów również powoduje zmianę wartości anizotropii S_H/S_h na pierwszym miejscu po przecinku (tab. 1). Tym samym znaczącym nadużyciem jest podawanie w całym artykule wartości anizotropii z większą dokładnością.

Ponadto błąd S_h w połączeniu z podanym przez autora błędem w oszacowaniu S_H o wartości +/-5MPa uniemożliwia jednoznaczne wyznaczenie reżimu tektonicznego dla 7 otworów (tab. 2). Przykładowo, dla otworu Tuligłowy-40 Autor wyznacza reżim tektoniczny „uskoków normalnych“ (nf). Jednakże uwzględnienie samego błędu S_H powoduje, że równie dobrze reżim ten można zinterpretować jako „uskoków przesuwczych” (ss). Podobna sytuacja ma miejsce w otworach Grochowice-3 i Stuposiany-4. Dodatkowy wpływ błędu S_h (+/-1MPa) rozszerza możliwość odmiennych interpretacji na otwory Osobnica-93, Jodłówka-21, Wola Zalew.-1 i Stężycza-2. Skoro autor założył wielkość możliwych błędów S_H i S_h nasuwa się pytanie dlaczego nie uwzględnił ich wpływu na otrzymane wyniki w przeprowadzonych rachunkach. Warto zauważyć, że jeśli wymienione wcześniej czynniki powodują

jednak błąd S_h większy np. 3MPa to sam jego wpływ sprawia, że w większości z przebadanych otworów precyzyjne określenie reżimu tektonicznego jest czystą spekulacją (tab. 2).

Powyższa krótka analiza nie obejmuje zagadnienia dokładności oznaczenia wartości pozostałych parametrów użytych przez autora do wyznaczenia wartości naprężeń. Parametry te również mogą mieć znaczący wpływ na uzyskane wyniki. W szczególności dotyczy to oszacowania wartości T_0 , σ_T i S_v .

Zasadność wyciągniętych wniosków

Na podstawie uzyskanych wyników badań autor wyciąga wiele wniosków. Nawet zakładając, iż obliczone wartości są wiarygodne przynajmniej część z tych konkluzji budzi u czytelnika wątpliwości. Autor twierdzi, iż „względnie jednorodne wyniki dla poszczególnych jednostek strukturalnych podnoszą zaufanie do wykonanych analiz”. Pojęcie „względnie jednorodnego wyniku” jest mało obiektywne. Dla przykładu w zapadlisku przedkarpackim obliczona przez autora anizotropia S_H/S_h waha się od 1,33 (Tuligłowy-40) do 1,66 (Przemyśl-89). Średnia arytmetyczna z wartości S_H/S_h w tej jednostce mieści się w podanym przez autora, wąskim przedziale 1,45–1,48. Odchylenie standardowe od średniej wynosi jednak aż 0,14 i kilkukrotnie przekracza 0,03. Na tle tego wąskiego przedziału wyznaczony zbiór wartości anizotropii jest raczej niejednorodny. Dalej, czytelnik może odnieść wrażenie, że takie wartości anizotropii naprężeń poziomych (1,45–1,48) są reprezentatywne dla obszaru Polski. W rzeczywistości w zaledwie trzech z dwunastu analizowanych otworów wartość anizotropii spełnia te kryteria, a sama ilość przebadanych otworów w każdej z analizowanych jednostek jest

dalece niewystarczająca aby mogła posłużyć do wyciągnięcia wniosków regionalnych.

Podsumowanie

Podsumowując należy zaznaczyć, iż w omawianym artykule autor przedstawił wyniki interesujących i pionierskich w naszym kraju badań. Założenia prezentowanej metody i sposób rozumowania autora są bez zarzutu. Jednocześnie, co jest godne podkreślenia, autor wspominał o czynnikach mogących wpłynąć negatywnie na dokładność wyznaczonych parametrów pola naprężeń. Jednakże:

- ❑ posiadane przez autora dane i uzyskane z nich wyniki nie uprawniają do rozciągania wniosków na teren całego kraju, co sugeruje tytuł pracy, ani nawet na skalę regionalną,

- ❑ uśrednienie niewielkich zbiorów danych bez podania wartości odchylenia standardowego może prowadzić do mylnych konkluzji,

- ❑ brak uwzględnienia wielkości błędu w przeprowadzonych obliczeniach i prezentowanych wynikach obniża wiarygodność pracy,

- ❑ podanie wartości poszczególnych parametrów i wyznaczonych na ich podstawie reżimów oraz wielkości anizotropii jako pewnych przedziałów a nie pojedynczych wartości nie obniżyłoby w znaczącym stopniu wartości merytorycznej pracy a jednocześnie dałoby czytelnikowi jasny obraz dokładności i stopnia zaufania jakim można te wyniki darzyć.

Literatura

- JAROSIŃSKI M. 2005 — Współczesny reżim tektoniczny w Polsce na podstawie analizy testów szczelinowania hydraulicznego ścian otworów wiertniczych. *Prz. Geol.*, 53: 863–872.
- TWISS R. & MOORES J. 2001 — *Structural Geology*. W.H. Freeman and Company, New York.