

ALFRED MICHALYUK*, WIESŁAW BUJAKOWSKI**, ZENON PILECKI**

Dylatancyjne torpedowanie — metoda zwiększenia wydajności otworów wodnych — na podstawie doświadczeń ukraińskich

Słowa kluczowe

Otwory wodne, torpedowanie masywu skalnego metodą strzałową, metoda dylatancyjnego torpedowania

Streszczenie

Przedstawiono metodę dylatancyjnego torpedowania masywu skalnego dla zwiększenia wydajności otworów wodnych — nowych i długo eksploatowanych, na podstawie doświadczeń ukraińskich. Omówiono efekt fizyczny i metodykę dylatancyjnego torpedowania. Podkreślono zalety i ograniczenia metody w porównaniu do innych metod dla poprawy efektywności eksploatacji. Zestawiono wyniki uzyskane metodą w kilkudziesięciu otworach na Ukrainie, w Rosji, Litwie oraz w Chinach. Wskazano na możliwość wykorzystania metody w Polsce.

Wprowadzenie

Otwory wodne, np. eksploatacyjne, chłonne, cyrkulacyjne itp., reprezentują najbardziej rozpowszechnioną grupę budowli geoinżynierskich. Duża ilość tego typu otworów związana jest z jednej strony z wielokierunkowością ich funkcjonalnego wykorzystania, z drugiej zaś z nieprzerwanym wzrastającym zapotrzebowaniem na dostawy wody pitnej i przemysłowej.

Obecnie otwory wodne wykorzystuje się w celu:

- pompowania słodkich i mineralnych wód podziemnych dla zaopatrzenia w wodę pitną i przemysłową, a także dla celów balneologicznych,
- zatłaczania wody w formacje geologiczne dla podtrzymania ciśnienia złożowego przy eksploatacji złóż węglowodorów (ropa, gaz) oraz przy zrzucie toksycznych odpadów przemysłowych,

* Prof. dr inż., Instytut Geofizyki Akademii Nauk Ukrainy, Kijów.

** Dr inż., Polska Akademia Nauk, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

- budowy systemów dla wydobycia i zatłaczania wód geotermalnych,
- przygotowywania procesów technologicznych przy wydobyciu łatworozcieńczalnych i łatwotopliwych związków.

Otwory wodne są bardzo rozpowszechnione; przykładowo na Ukrainie przemysłowe wydobycie wód podziemnych realizuje się za pomocą ponad 100 tys. otworów wiertniczych. Wiele tysięcy z tych otworów jest wykorzystywanych w procesach eksploatacji surowców mineralnych. Na ich funkcjonowanie przeznaczają się znaczne środki, stąd ważnym zadaniem jest zabezpieczenie ciągłości pracy otworów i ich racjonalne wykorzystanie w czasie bieżącym i w przyszłości. Doświadczenie pokazuje jednak, że z biegiem czasu wydajność otworu znacznie spada. Według uśrednionych danych, po 10 latach eksploatacji obniża się ona o rząd wielkości, wymuszając potrzebę przeprowadzenia kosztownych remontowo-rekonstrukcyjnych prac lub wywiercenia nowego otworu — co nie zawsze jest możliwe do wykonania. W wielu przypadkach istnieje możliwość przeprowadzenia różnego typu działań dla rekonstrukcji otworu, a także zwiększenia jego pierwotnej wydajności. Jedną z takich metod jest torpedowanie, czyli wykonanie kompleksu prac bazujących na oddziaływaniu fali wybuchowej na elementy otworu i na strefę okołootworową, za pomocą specjalnych torped strzałowych. Torpedowanie, jako metoda zwiększająca wydajność otworu i charakteryzująca się wysoką operatywnością i ekonomicznością, znajduje coraz szersze zastosowanie przy wydobyciu podziemnych płynów w krajach WNP i Dalekiego Wschodu. Jej wykorzystanie w otworach wodnych jest nadal niewielkie.

1. Charakterystyka typowych otworów wodnych

Otwory wodne, można podzielić na dwie grupy:

- 1) otwory eksploatujące wodonośne horyzonty w miękkich, słabozwężłych aluwjach,
- 2) otwory w zwięzłych, silnych i statecznych masywach skalnych — geologicznie związanych z magmowym lub osadowym pochodzeniem.

W pierwszej grupie otworów mogą być używane różnego typu filtry, charakteryzujące się małą trwałością i ulegające łatwemu zniszczeniu przy silnym wybuchu. Poza tym, prace strzałowe w takich otworach powinny minimalizować konsolidację gruntu w przestrzeni okołootworowej. W związku z tym torpedowanie jest ukierunkowane na oczyszczenie filtrów, w których przepuszczalność jest obniżona przez zailenie, zapiaszczenie, nagromadzenie osadów chemicznych oraz korozję itp. Zrozumiałe jest, że w powyższych przypadkach wykorzystuje się dostatecznie małe ładunki wybuchowe, a najlepszy efekt torpedowania sprowadza się jedynie do uzyskania pierwotnej wydajności otworu. Technika i technologia prac strzałowych w takich otworach została szczegółowo opisana w pracy Szlajferta i Wolnickiej (1970).

Otwory drugiej grupy, z uwagi na wysoką wytrzymałość masywu skalnego, stwarzają odmienną sytuację. Filtracyjna część takich otworów obudowana jest perforowanymi rurami okładzinowymi i charakteryzuje się dostatecznie wysoką wytrzymałością (wytrzymuje znacznej wartości obciążenia dynamiczne). W masywach skalnych strefa miażdżenia powstała w wyniku wybuchu jest znacznie mniejsza niż strefa spękania. Przepuszczalność takiej strefy okołootworowej zazwyczaj wzrasta, przyczyniając się do zwiększenia wydajności otworu. W ten sposób torpedowanie otworu drugiego typu powinno stanowić cel nie tylko jego rekonstrukcji, ale także

znacznego zwiększenia wydajności. Przedstawione poniżej rozwiązania będą odnosić się konkretnie do otworów wodnych, aczkolwiek schemat funkcjonowania tych otworów nie różni się znacząco od otworów przeznaczonych do pozyskiwania innych podziemnych płynów — ropy, gazu i innych.

Obecnie w IGSMiE PAN w Krakowie prowadzone są badania, których celem jest pozyskiwanie energii cieplnej skumulowanej w wodach złożowych.

Badania dotyczą również zagospodarowania istniejących i pracujących ujęć wód pitnych. Wprawdzie badania te znajdują się na etapie prac wstępnych, jednakże wyniki wskazują na potrzebę ich kontynuacji i realizacji w pogłębionym zakresie.

Badania złóż wód podziemnych ukierunkowano na określenie ich mocy cieplnych możliwych do zagospodarowania. Analizowano obszary byłych województw skierniewickiego i nowosądeckiego, przyjmując wstępnie następujące kryteria dla eksploatacji poziomu wodonośnego: minimalna wydajność — 4 m³/h; minimalna głębokość występowania horyzontu — 10 m p.p.t.. Wyniki tych analiz obrazuje zestawienie w tabeli 1.

TABELA 1

Potencjał cieplny wód podziemnych na obszarze byłych województw skierniewickiego i nowosądeckiego

TABLE 1

Heat energy potential of geothermal water in Skierniewice and Nowy Sącz province

Miejscowość	Ilość ujęć	Sumaryczna wydajność [m ³ /h]	Oszacowana temperatura [°C]	Sumaryczna moc cieplna [kW]
Byłe woj. nowosądeckie				
Gorlice	8	60,2	7,6—8,7	200
Gródek n/Dunajcem	8	40,4	7,9—8,5	167
Kościelisko	3	102,0	10,8—20,2	1 325
Krynica	12	106,7	7,5—12,5	680
Rożnów	5	52,6	8,4—10,3	302
Szczawa	2	50,6	10,7—11,5	358
Tylicz	7	45,4	7,1—9,4	190
Wysowa	4	34,0	7,8—8,5	130
Byłe woj. skierniewice — miasto Skierniewice				
Poz. — Trzeciorzęd	9	600,0	10,0	3 492
Poz. — Kreda górna	7	550,0	20,5	9 872
Poz. — Kreda dolna	1	200,0	28,0	5 300

Z powyższego zestawienia wynika, że potencjalne moce istniejących ujęć są dość znaczne i zależą głównie od wydajności. Sposoby umożliwiające jej zwiększenie bezpośrednio przyczyniają się do podniesienia efektywności ekonomicznej ujęcia ciepła.

2. Metodyka dylatancyjnego torpedowania

Sposób torpedowania wykorzystuje zdolność eksplozji do wytworzenia w otaczającym masywie skalnym systemu makroszczelin, charakteryzujących się wysoką przepuszczalnością. W tym celu wykorzystuje się standardowe torpedy, zdolne do przenoszenia całkowitego, skompionego ładunku wybuchowego w postaci litego lub prasowanego materiału wybuchowego o masie do 5,2 kg (Szlajfert, Wolnickaja 1970), albo torpedy uzbrojone analogicznym konstrukcyjnie ładunkiem, lecz o innej masie, zgodnie z indywidualnymi obliczeniami dla konkretnych warunków górnictwo-geologicznych. Jednakże taka technologia charakteryzuje się wieloma uwarunkowaniami mechanicznego oddziaływania wybuchu podziemnego. Po pierwsze, obszar makroszczelin, który można rozpatrywać jako nowy efektywny promień otworu (Michalyuk 1968), nawet na stosunkowo małych głębokościach — do 100—200 m, gdzie wpływ ciśnienia masywu skalnego można zaniedbać, nie przewyższa $15\text{--}20 r_3$ (r_3 — promień ładunku w przeliczniku trotylowym) (Michalyuk 1980). Pozwala to oczekiwać zwiększenia wydajności otworu, nawet przy wykorzystaniu najgrubszych, seryjnych torped zaledwie o 50—60%. Zauważmy, że jako pozytywną określa się taką operację, która prowadzi do zwiększenia wydajności otworu nie mniej niż o 70% (Kuzniecowa i in. 1987). Ze wzrostem głębokości, a co za tym idzie — ciśnienia w masywie skalnym, rozmiary strefy podwyższonej przepuszczalności i ilość szczelin szybko zmniejszają się z odległością w sposób wykładniczy (Szlajfert, Wolnickaja 1970; Michalyuk 1986). Już na głębokości 1,5—2,5 km, charakterystycznej dla otworów geotermalnych i chłonnych, obszar ten skraca się 2—2,5 raza, co oznacza, że wydajność takich otworów może zmienić się nie więcej niż o 35—50%. Uwzględniając charakterystyczną dla masywów skalnych złożoność struktury geologicznej, w tym obecność przewarstwień, efektywność zazwyczaj wykorzystywanych technologii torpedowania staje się problematyczna. Powiększenie strefy makrozniszczeń można uzyskać dzięki zwiększeniu masy ładunku wybuchowego w torpedzie, jednakże, jak pokazuje doświadczenie, wykorzystanie takich ładunków, zwiększa strefę miażdżenia wybuchu w sąsiedztwie otworu i równocześnie silnie zarysowuje się problem stateczności i hermetyczności otworu. Utrudnia to osiągnięcie zamierzonego celu w tego typu pracach.

Przedstawione powyżej niedogodności w znacznym stopniu ogranicza metoda dylatancyjnego torpedowania (Michalyuk i in. 1999), której fizyczne podstawy opisane zostały w pracy Michalyuka (1986). Zjawisko dylatacji wykorzystane w metodzie polega na wytworzeniu szczelin wskutek wystąpienia naprężeń ścinających w strefach osłabień w masywie skalnym. Sens tej metody zawiera się w tym, że przeprowadzenie robót strzałowych ukierunkowane jest na stworzenie w otaczającym otwór masywie skalnym silnie rozwiniętego pola naprężeń ścinających, powodujących słabo zależną od ciśnienia w masywie skalnym dylatację struktury skały i w efekcie zwiększenie jej przepuszczalności (o rząd wielkości i więcej). Jak pokazano w pracy Michalyuka i innych (1999), taką zmianę właściwości skały wokół otworu obserwuje się w odległościach do $70\text{--}80 r_3$, co pozwala oczekiwać powiększenia jej wydajności 2,5—3 razy.

3. Doświadczenia wynikające z zastosowania metody torpedowania dylatancyjnego

W tabeli 2 przedstawiono ogólne dane o skali zastosowania doświadczalno-przemysłowych torpedowań za ostatnie dwa dziesięciolecia. Przyjęto następujące oznaczenia: q_0 — uśredniona wydajność otworu przed torpedowaniem, q — uśredniona wydajność otworu po torpedowaniu.

TABELA 2

Zestawienie danych o torpedowaniu w otworach wiertniczych

TABLE 2

Experience of using dilatancy blasting technology in bore-holes

Lp.	Miejsce wdrożenia	Litologia	Typ kolektora	Liczba otworów wiert.	Wydajność [m ³ /h]		q/q ₀	Metoda prowadzenia prac strzałowych
					q ₀	q		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wodne otwory eksploatacyjne								
1.	Spółka produkcyjna GRANITAS Litwa	granity, wapień warstwowe, piaskowce	szczelinowy, szczelinowo-porowy	20	10,17	35,86	3,53	strzelanie prochowe i rozrywanie z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu w celu dylatancyjnej destrukcji strefy okołotworowej
				w tym:				
				3	12,42	29,95	2,1—2,8	wykorzystanie ciśnienia gazów prochowych
				12	10,15	35,99	2,7—3,9	torpeda dwusekcyjna z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu
			5	10,86	39,10	2,4—4,5	torpeda trójsekcyjna z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu	
2.	TOMSKMELIORACJA Triest, Rosja	skały kompleksu osadowego	szczelinowo-porowy	6	1,85	12,20	6,60	torpeda dwusekcyjna z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu z użyciem środków ochrony otworu
3.	Spółka produkcyjna TURKMIENIELHO-ZWODOPRAWOD Turkmenistan	warstwowe osady terygeniczne i węglanowe	szczelinowo-porowy	9	8,33	23,30	2,80	torpeda trójsekcyjna z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu
4.	Zarząd gospodarki wodociągowo-kanalizacyjnej, Tarnopol, Ukraina	skały kompleksu osadowego	szczelinowo-porowy	14	68,40	119,00	1,74	torpeda dwusekcyjna z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu z użyciem środków ochrony otworu
5.	Wieś Gorkienka, okręg Kijowsko-Swiatoszynski, Ukraina	granitoidy	szczelinowy	3	3,07	27,97	9,10	torpedy seryjne z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu, z użyciem środków ochrony otworu

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wodne otwory chłonne								
6.	Zarząd wydobycia ropy i gazu ACHTYRKANIE-FTIEGAZ, Ukraina	osady terygeniczne	szczelinowo-porowy	2	33,30	100,00	3,00	torpeda dwu- i trójsekcyjna z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu
7.	Spółka produkcyjna ASTRACHAŃGAZ-PROM, Rosja	piaskowce	szczelinowo-porowy	2	—	—	5,9—9,0	torpeda dwusekcyjna z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu
Otwór geotermalny (projekt)								
8.	NOWOSIELOWSKAJA PŁOSZCZAD, Krym, Ukraina	osady terygeniczne	szczelinowo-porowy	4	30,6— —280,8	176,0— —490,0	1,75— —5,75	torpeda dwu- i trójsekcyjna z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu z użyciem środków ochrony otworu
9.	OKTJABRSKAJA PŁOSZCZAD, Krym, Ukraina	osady terygeniczne	szczelinowo-porowy	4	28,8— —72,0	172,8— —252,0	3,5—6,0	torpeda dwu- i trójsekcyjna z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu z użyciem środków ochrony otworu
Otwory do wypłukiwania siarki								
10.	Jaworowska Spółka produkcyjna SIERA Ukraina	karbonaty	szczelinowo-porowy	1	0,50	2,05	4,10	współdziałanie bezpośrednich i odbitych fal wybuchowych w otworze modelowym
				3	6,80	9,84	1,4—1,5	współdziałanie bezpośrednich i odbitych fal wybuchowych w otworze przemysłowym
Otwory naftowe — wydajność [tony/dobę]								
11.	Zarząd wydobycia ropy i gazu MAMONTONIEFT, Rosja	piaskowce	szczelinowo-porowy	3	14,13	44,03	3,12	torpeda dwu- i trójsekcyjna z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu
12.	Zarząd wydobycia ropy i gazu NADWORNAJANIE FTIEGAZ, Ukraina	piaskowce warstwowe	szczelinowo-porowy	4	—	—	1,5—2,0	torpeda dwu- i trójsekcyjna z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu
13.	Złoże JAN-CZIEN Chiny	piaskowce	porowy	1	0,50	2,00	4,00	torpeda dwusekcyjna z ultrakrótkim opóźnieniem wybuchu

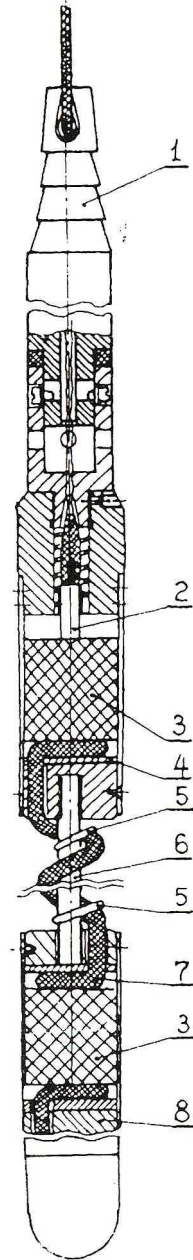
Informacja o otworach wodnych (eksploatacyjnych, chłonnych, hydrotermalnych i geotechnologicznych) w tym zestawieniu jest dla porównania uzupełniona posiadanymi danymi o wykorzystaniu analogicznych metod torpedowania w otworach wydobywających ropę naftową. W ten sposób o efektywności nowej technologii torpedowania świadczą wyniki uzyskane

na podstawie pracy w zmiennych warunkach, w ponad sześćdziesięciu otworach. Dane te pozwalają na przyjęcie wysoko prawdopodobnych wniosków.

Należy zaznaczyć, że prace strzałowe były prowadzone zarówno w obudowanych otworach, jak również w otworach nieobudowanych, w skałach magmowych, zwięzłych piaskowcach i wapieniach. W ostatnim przypadku opisanym w tabeli 2 rury okładzinowe kończyły się na kontakcie ze skałami złożowymi — krystalicznymi. Dopuszczalną wielkość ładunku w tym przypadku określono w zależności od odległości między końcem rur okładzinowych a środkiem torpedy. Jeżeli ta odległość przekraczała 5 m, nie występowały żadne problemy ze statecznością rur okładzinowych (Wajchelt 1960). W odmiennym przypadku do ochrony otworu wykorzystywane były odpowiednie sposoby, opisane dokładnie w pracy (Kołodziej i in. 1998).

O ile obszar okołotworowy w większości przypadków nie posiadał dokładnie wydzielonych strukturalnych niejednorodności, torpedowanie otworów przebiegało w warunkach ultrakrótkiego opóźnienia inicjacji wybuchu, dwóch albo trzech torped sekcyjnych. Torpedy tego typu składają się z dwóch albo trzech podstawowych ładunków, inicjowanych za pomocą lontu detonacyjnego, tak aby wzajemne oddziaływanie fal wybuchowych od oddzielnych ładunków było zgodne z odpowiednim schematem superpozycji energii wybuchów (Michalyuk 1986). Schemat ten dobiera się w taki sposób, aby wykrzystać maksymalnie przestrzenne rozwijanie się procesów dylatacyjnych. W związku z ograniczeniem rodzajów materiałów wybuchowych dopuszczonych do stosowania w głębokich otworach, ładunki były przygotowywane ze standardowych trotylowych lub trotyloheksagenowych petard, a w pojedynczych przypadkach z plecionki lontu detonacyjnego. Ogólny schemat takich torped pokazano na rysunku 1.

Metodyka obliczania wielkości ładunku poszczególnych sekcji torpedy, a także długości lontu detonacyjnego — opóźniacza, została omówiona w pracy Michalyuka (1986). W praktyce suma-



Rys. 1. Ogólny schemat budowy torpedy
 1 — końcówka kablowa, 2 — cylinder zapłonowy, 3 — ładunek wybuchowy, 4 — przekładka, 5 — blokada (obejma), 6 — sworznie łączeniowy, 7 — lont detonacyjny (opóźniacz), 8 — łącznik

Fig. 1. The scheme of torpedo

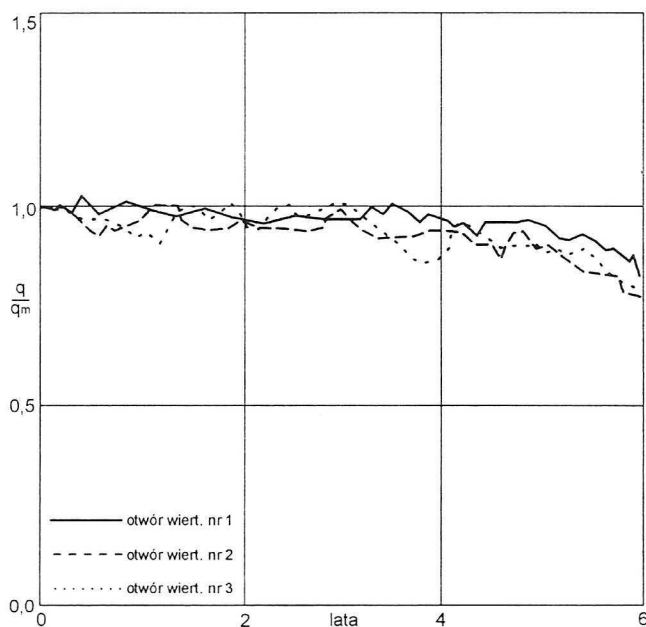
ryczna masa materiału wybuchowego w torpedach zmieniała się w przedziale od 3,6 do 8 kg w otworach obudowanych w złożu i od 6 do 20 kg w otworach nieobudowanych. Czas opóźnienia zmieniał się w przedziałach $t_n \leq \Delta t \leq t+$, gdzie: t_n — czas narastania ciśnienia fali wybuchowej, $t+$ — całkowity czas działania ciśnienia. W zależności od właściwości skał, przyjętego schematu superpozycji fal wybuchowych i masy ładunków, Δt zmieniało się od 41 do 400 μs i odpowiednio zmieniała się długość lontu detonacyjnego (opóźniacza) od 30 cm do 2,6 m. W torpedach wieloładunkowych zastosowano dodatkowe elementy zapobiegające wzajemnemu oddziaływaniu ładunków z poszczególnych sekcji. Ponieważ każdy otwór charakteryzuje się określoną geologią i właściwościami fizycznymi skał i masywu skalnego, konstrukcją rur okładzinowych, jakością korka cementowego itp., prace strzałowe, zgodnie z technologią dylatancyjną są realizowane według specjalnego projektu, bazującego na badaniach laboratoryjnych próbek rdzeniowych. W badaniach tych symuluje się ciśnienie masywu skalnego oraz ciśnienie warstwowe, dla określenia warunków prowadzenia prac strzałowych, najkorzystniejszych z punktu widzenia rozwoju procesów dylatancyjnych w złożu.

Technologia dylatancyjnego torpedowania, zgodnie z rozporządzeniem Państwowego Komitetu Ukrainy Nadzoru Bezpieczeństwa Pracy (rozp. nr 07-11/2984 z 23 października 1996 r.), została dopuszczona do użytku jako typowa i nie wymagająca specjalnego zezwolenia na zastosowanie.

Analizując przedstawione w tabeli 2 rezultaty doświadczalno-przemysłowych prac, łatwo przekonać się o wysokiej efektywności technologii dylatancyjnych torpedowań otworów wodnych. W zależności od właściwości skał strefy okołotworowej i masy ładunku wybuchowego, wydajność otworu zwiększa się od 1,74 do 12,7 raza, a średnio 3,66 dla wszystkich torpedowanych otworów. W otworach z odsłoniętym złożem, w których możliwe jest użycie silniejszych ładunków, efektywność technologii jest kilkakrotnie wyższa; wydajność otworu wzrasta średnio 5,5 raza, a w obudowanych otworach — 2,8 raza. Fakt ten jest związany z dwoma przyczynami: po pierwsze — zwiększoną masą materiału wybuchowego w torpedzie, a po drugie — efektem ekranującym obudowy otworu. Badania eksperymentalne i teoretyczne (Kołodziej i in. 1998) pokazują, że przy dobrej jakości korka cementowego rura okładzinowa zmniejsza amplitudę fali wybuchowej propagującej w masywie skalnym o 30—35%, co powoduje zmniejszenie promienia strefy dylatancyjnej i obniżenie wydajności otworu. Należy zauważyć, że uśrednione dane o efektywności technologii dylatancyjnych są zgodne z prognozami teoretycznymi. Interesujący jest fakt, że największa efektywność torpedowania jest zauważalna w litych kolektorach typu szczelinowego. I tak, jeżeli w porowych skałach osadowych wydajność otworu rośnie od 1,5 do 3,9 raza (rzadko od 5 do 9 razy), to w skałach magmowych, których przepuszczalność określa się poprzez ich szczelinowatość, wydajność otworu zwiększa się o rząd wielkości i więcej — do 10—12 razy. Jest to zgodne z analizami bazującymi na laboratoryjnych doświadczeniach, wykonywanych na rdzeniach skalnych, mówiących o tym, że odpowiednia zmiana porowatości i przepuszczalności pod wpływem dylatacji jest większa dla gęstych masywów skalnych. Poza tym, procesy dylatancyjne w skałach szczelinowych są związane ze znaczącymi i przeważnie nieodwracalnymi zmianami rozwarcia szczelin, co także przyczynia się do zwiększenia przewodności hydraulicznej masywu skalnego. Istotnym elementem technologicznym w obróbce strefy okołotworowej, wykonanej dla zwiększenia wydajności otworu, jest utrzymanie stabilnego w czasie, dodatniego efektu przeprowadzonych prac. Niestety, najczęściej

efekt ten jest krótkotrwały. Podwyższona wydajność otworu, w wyniku użycia najbardziej dokładnej technologii stacjonarnego hydroszczelinowania firmy „Frakmaster”, zaznacza się jedynie w okresie 4—7 miesięcy (rzadko do roku). Przykładowo, analogiczny czas trwania dodatniego efektu uzyskuje się w obróbce kwasowej i przy oddziaływaniu na masyw skalny gazami prochowymi (Michalyuk i in 1999).

Obserwacje zmiany w czasie wydajności otworów, w których zastosowano technologię dylatancyjnego torpedowania, były prowadzone przez okres 6 lat na otworach radonowych okręgu Kijowsko-Swiatoszyńskiego i siedmiu lat na otworach naftowych NGDU „Mamontownieft”. Ustalono, że w ciągu sześciu lat eksploatacji otworów wodnych ich wydajność obniżyła się zaledwie o 18,5—21,4%. Dynamika tego procesu określana była na podstawie rezultatów comiesięcznych pomiarów wydajności trzech otworów, co zilustrowano na rysunku 2.



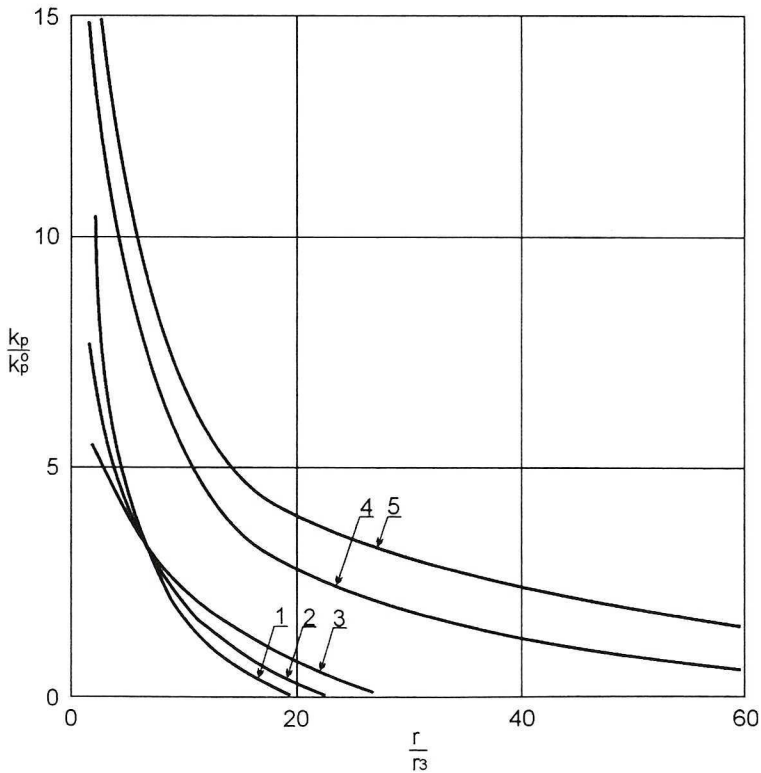
Rys. 2. Charakterystyka zmiany stosunku wydajności otworu q/q_m w czasie

Fig. 2. Characteristics of productivity changes vs. time

Jak widać, zauważalne (powyżej 5%) obniżenie wydajności otworów zaznacza się dopiero w czwartym roku ich eksploatacji. Analogiczna stabilność dodatniego efektu procesu torpedowania zaznacza się także w otworach naftowych: 65% otworów zachowało podwyższoną wydajność w okresie 3—5-letnim, a w 35 otworach wydajność nawet podczas sześcioletniej eksploatacji przewyższał dwukrotnie wielkość pierwotną. Prawdopodobnie fakt ten był związany z mechanizmem dylatancyjnym w masywie skalnym, który przyczynił się do samoistnego pękania międzyziarnowego i międzyblokowego.

4. Efektywność technik strzałowych

W związku z tym, że obecnie istnieje dostatecznie duży wybór otworowych materiałów wybuchowych i technologii przeprowadzania prac strzałowych, specjalną uwagę należy skupić na ocenie porównywalnej efektywności istniejących technik strzałowych, ukierunkowanych na poprawę wydajności otworów wodnych. W tym kontekście przy pracach strzałowych w otworach eksploatujących wodę, w krystalicznych masywach skalnych (np. granitach), wykorzystywane były (poza dwu- i trójsekcyjnymi torpedami) typowe, skupione ładunki sprasowanego trotylu. Jak pokazały badania, przy ładunkach prochowych uzyskuje się ciśnienia pozwalające zwiększyć wydajność otworów niewiele więcej niż dwa razy. Analogiczny rezultat był uzyskany w pracy Bieliajewa i innych (1967). Torpedowanie w warunkach ultrakrótkiego opóźnienia wybuchu okazało się ponad półtorakrotnie bardziej efektywne niż przy ładunkach prochowych



Rys. 3. Zależność zmian przepuszczalności granitów od znormalizowanej odległości od źródła wybuchu dla różnych technik strzałowych

k_p^0 — pierwotna przepuszczalność masywu skalnego, k_p — przepuszczalność po torpedowaniu;
 krzywa 1 — skupiony ładunek prasowanego trotylu, krzywa 2 — skupiony ładunek z amonowo-saletrowego materiału wybuchowego, umieszczonego w korpusie z materiału polimerowego, krzywa 3 — ładunek typu TNT z powietrzną przerwą pomiędzy kolejnymi ładunkami w torpedzie, (17% objętości materiału wybuchowego),
 krzywe 4 i 5 — dotyczą detonacji dwu- i trójsekcyjnych torped

Fig. 3. Dependency of permeability changes of granite vs. normalised distance from blasting source for different blasting techniques

z użyciem dwusekcyjnych torped i ponad dwukrotnie w stosunku do torped z trzema sekcjami ładunków. Analogiczne wyniki uzyskano także przy torpedowaniu otworów skupionymi ładunkami. Efektywność strzelania okazała się w tym przypadku dwukrotnie mniejsza niż dla torped w metodzie dylatancyjnej dekonsolidacji masywu skalnego.

Specjalne, małoskalowe badania procesów hydrodynamicznych, w warunkach niestacjonarnej absorpcji wody, pokazały, że wyższa efektywność dylatancyjnego torpedowania otworu związana jest z bardziej znaczącym rozwojem przestrzennym strefy podwyższonej przepuszczalności (rys. 3). Porównując krzywe 2 i 3 z krzywą 1 należy zauważyć, że efektywność prostszych materiałów wybuchowych i ładunków z przerwami powietrznymi (jeżeli termodynamiczne warunki na głębokości umieszczenia torpedy dopuszczają ich użycie), praktycznie nie różni się od przeciętnych skupionych ładunków trotylowych. W tych przypadkach promień strefy zwiększonej przepuszczalności ogranicza się odległościowo do 20—25 r_3 . Torpedowanie w warunkach ultrakrótkiego opóźnienia wybuchu pozwala powiększyć ten promień do 60—80 r_3 , pozwalając na bardziej znaczące zwiększenie wydajności otworu. Jak pokazały obliczenia, użycie metody dylatancyjnego torpedowania daje efekt porównywalny z innymi metodami, lecz używa się tutaj ładunków dziesięciokrotnie i stukrotnie mniejszych niż w tradycyjnych metodach prac strzałowych z użyciem całkowitych skupionych ładunków. Fakt ten ma znaczenie dla ochrony rur okładzinowych przed zniszczeniem, podwyższenia ekonomiczności operacji oraz uwzględnia aspekty ekologiczne. Wyniki torpedowania otworów wodnych i otworów naftowych potwierdzają zasadę, że zmiana stosunku wydajności otworów praktycznie nie zależy od lepkości płynu (tab. 2).

Podsumowanie

Znaczne zwiększenie wydajności otworu wodnego w wyniku torpedowania jest możliwe zarówno dla nowych otworów, jak i otworów z długim okresem eksploatacji. Oznacza to, że metoda dylatancyjnego torpedowania może być wykorzystana zarówno dla znacznego zwiększenia wydajności lub absorpcyjnej zdolności otworu, jak również dla odbudowania ich przepuszczalności, która obniżyła się w okresie eksploatacji pod wpływem różnorodnych przyczyn wspomnianych wcześniej. Jak pokazuje doświadczenie, w przypadku otworów z długim okresem eksploatacji uzyskuje się nie mniej niż 80% ich pierwotnej wydajności, co jest szczególnie ważne dla głębokich, kosztownych otworów, np. Eksploatacyjnych, geotermalnych, naftowych itp. Na podstawie doświadczeń ukraińskich można sądzić, że metoda dylatancyjnego torpedowania może znaleźć zastosowanie w warunkach polskich — w otworach wodnych eksploatowanych dla różnych celów — balneologicznych, geotermalnych czy wydobycia wody pitnej itp.

LITERATURA

- Bieliajew B.M., Wasiliew S.A., Nikołajew S.I., 1967 — Rozryw płastow dawlenijem parachowych gazow. M. WNIOENG, 63 s.
- Kołodij W.I., Michalyuk A.W., Muchin E.A., 1998 — Zaszczita obsadnych kołon skważiń pri wrywnych rabotach. Kijew Izd-Wo „WIPOŁ”, 54 s.
- Kuzniecowa O.L., Efimowa S.A., Zujkow J.F. i in., 1987 — Akusticzeskoje wozdejstwie na prizabojnuju zonu płasta. Niftianoje Chazjajstwo, nr 5, s. 34—36.
- Michalyuk A.W., 1968 — Primienienie podziemnych jadiernych wrywow w neftianoj i gazowej promysliennosti. M. WNIOENG, 121 s.
- Michalyuk A.W., 1980 — Gornyje porody pri nierawnomiernych dinamiczeskich nagruzkach. Kijew, Nauk. Dumka, 154 s.
- Michalyuk A.W., 1986 — Torpedirowanije i impulsnyj gidrozryw płastow. Kijew, Nauk. Dumka, 208 s.
- Michalyuk A.W., Muchin E.A., Michajluk S.A., Zacharow W.W., 1999 — Diłatancjonnyje tiechnologii torpedirowanija skważiń dla intensifikacii dobyczy podziemnych fluidow. Kijew, Izd-Wo „WIPOŁ”, 66 s.
- Szlajfert M.A., Wolnickaja E.M., 1970 — Uwieliczenije diebitow wodjanych skważiń wrywom. M. Niedra, 63 s.
- Wajchelt F., 1960 — Rukawodstwo po promysliennym wrywnym rabatom. M. Gostrojizdat, 496 s.

ALFRED MICHALYUK, WIESŁAW BUJAKOWSKI, ZENON PILECKI

DILATANCY BLASTING — THE METHOD OF WATER-WELLS EFFICIENCY INCREASE BASED ON UKRAINIAN EXPERIENCE

Key words

Water-wells, rock mass blasting, the method of dilatancy blasting

Abstract

The method of dilatancy blasting in rock mass surrounding water-wells — new ones or long-term exploited has been introduced. In many cases of water wells there is a possibility of carrying out the well's reconstruction to get productivity increase. The one of the methods is dilatancy blasting with the help of special prepared torpedo. That method uses the effect of explosion wave acting on well's elements and surrounding rock mass. Some physical basis and methodology have been described in the paper. The dilatancy effect used in the method is based on the physical process going to produce some cracks in rock mass. The essential use of blasting technique is focused to get the field of shear stresses in the direction of discontinues or weak zones. It causes that the increase of permeability in surrounding rock mass is achieved. Usually, rock mass properties changes are observed in the distance of 70—80 times well's radius. It uses to expect 2.5—3 times more in productivity.

In the text some advantages and limitations of the method were underlined comparing to other methods. The most of experience in using the method have been gathered from a few tens of wells placed on the territory of Ukraine and also Russia, Lithuania and China. The possibilities of using this method in Polish conditions have been pointed too.