

Łukasz Habera

*Institut Nafty i Gazu, Kraków*

## Małosednicowe perforatory do zabiegów perforacji przez rury wydobywcze

W artykule podjęto próbę wskazania parametrów, które w istotny sposób wpływają na efektywność prac perforacyjnych, a związane są z koniecznością ograniczenia wymiarów zewnętrznych sprzętu strzałowego. Przedstawiono ładunki kumulacyjne o różnej geometrii, jako kluczowy element perforatora oraz wskazano skutki ograniczenia ich wymiaru zewnętrznego, wraz z wynikami symulacji komputerowej. Autor omawia główne parametry geometryczne projektowania perforatora małosednicowego, do których zaliczył: gęstość perforacji, kąt przesunięcia fazowego oraz głębokość kanału perforacyjnego. Omówiony został wpływ wyżej wymienionych czynników na skuteczność zabiegu perforacji w oparciu o wskaźnik produktywności odwiertu oraz zjawisko Skin Efektu.

### Small-diameter perforator dedicated to perforation jobs through exploitation pipes

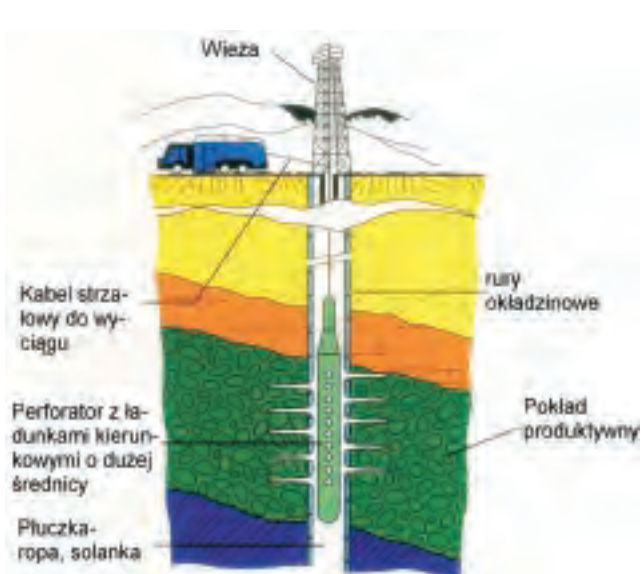
Until recently the drilling operation in Poland was carried out at not demanding geological condition. As the time went by the exploration had been made in more rough condition, and it was followed by change of technical equipment and well completion. This work outline the need of designee a shooting tools with limited diameter which can be used by exploitation pipes. Author indicates the main perforating parameter and their influence on skin effect and perforating jobs efficiency.

### Wprowadzenie

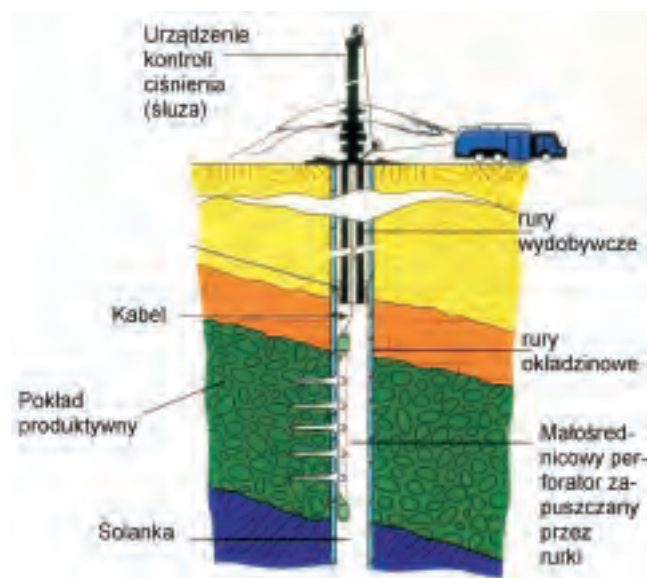
Ciągły rozwój w dziedzinie rozwiązań konstrukcyjnych wgłębnego wyposażenia odwiertów pociąga za sobą konieczność dopasowania sprzętu strzałowego do zmieniających się warunków technicznych, a zwłaszcza zmniejszenia gabarytów perforatorów zapuszczanych na kablu strzałowym przez rurki wydobywcze, których średnica sukcesywnie ulega zmniejszeniu do np. 2 7/8" [7, 8]. W pracy tej podjęto próbę wska-

zania parametrów, które w istotny sposób wpływają na efektywność prac perforacyjnych, a związane są z koniecznością ograniczenia wymiarów zewnętrznych sprzętu strzałowego.

Rysunek 1 przedstawia typowy sposób perforacji na przewodzie strzałowym z wykorzystaniem perforatora korpusowego typu PRS. Z punktu widzenia techniki strzelniczej istnieje konieczność projektowania per-



Rys. 1. Perforacja tradycyjnym perforatorem typu PRS [1]



Rys. 2. Perforator małosednicowy, bezkorpusowy [1]

foratorów o ograniczonych gabarytach (poniżej 3"), znajdujących zastosowanie w pracach strzałowych zakładających wprowadzenie perforatora do otworu przez rury wydobywcze. Odpowiedzią na wytyczne inżynierów, projektujących wglębne wyposażenie odwiertów zaopatrzonych w rury wydobywcze o średnicach nie przekraczających trzech cali [8], są nowe konstrukcje perforatorów małośrednicowych (zwłaszcza bezkorpusowych), dających się umieścić w żądanym

interwale złożowym w sposób szybki i stosunkowo tani. Zaletą tych konstrukcji jest łatwość stosowania, polegająca na zapuszczeniu przez rurki wydobywcze perforatora na zadaną głębokość, gdzie przewidziane są prace strzałowe (perforacyjne, reperforacyjne), jak również szybkie wyciągnięcie sprzętu na powierzchnię i rozpoczęcie/wznowienie pracy odwiertu [7]. Na rysunku 2 przedstawiono perforator małośrednicowy, bezkorpusowy.

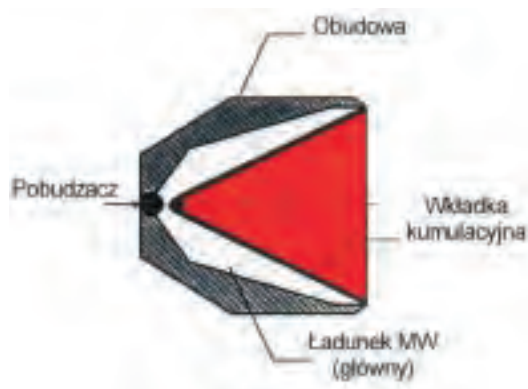
### Elementy konstrukcji ładunków kumulacyjnych do perforacji odwiertów

Głównym celem niniejszej pracy jest wskazanie kryteriów doboru perforatorów małośrednicowych zapuszczanych przez rury wydobywcze. Przy użyciu tego rodzaju technologii, wprowadzania środków strzałowych do otworu wiertniczego, zastosowanie mają zwłaszcza perforatory bezkorpusowe, których naczelnym elementem konstrukcji jest żerdź nośna – stanowiąca szkielet i mocowanie ładunków kumulacyjnych. Ta stosunkowo prosta budowa urządzenia pozwala na ograniczenie rozmiarów perforatora i stanowi odpowiedź na coraz powszechniejsze stosowanie rur wydobywczych o małych średnicach. Troską inżynierów projektujących perforatory o najmniejszych średnicach jest próba połączenia reżimu narzucającego ograniczenie gabarytów urządzenia, z zachowaniem najlepszych parametrów perforatora. Starając się zaprojektować perforator o jak najmniejszej średnicy zewnętrznej należy pamiętać, iż kluczowym zadaniem technicznym jest równomierne (choć w różnych konfiguracjach) rozlokowanie ładunków kumulacyjnych na żerdzi nośnej, z zachowaniem limitu przestrzeni dyktowanej przez wymiar wewnętrzny rurek wydobywczych. Poniżej przedstawiono ogólną charakterystykę ładunków kumulacyjnych, których znajomość jest wysoce przydatna zarówno na etapie projektowania, jak i wdrażania wszelkiego typu perforatorów. Ładunek kumulacyjny składa się z czterech elementów:

- obudowy/osłony zewnętrznej,
- ładunku materiału wybuchowego (MW) głównego,
- ładunku MW pierwotnego,
- wkładki kumulacyjnej [4].

Rysunek 3 przedstawia przykład typowej konstrukcji ładunku kumulacyjnego tzw. otwartego, do stosowania w perforatorze rurowym, jak również bezkorpusowym o małej średnicy. Przedstawiona poniżej charakterystyka podkreśla wagę właściwego doboru składowych części ładunku kumulacyjnego, w aspekcie

ograniczania ich wymiaru zewnętrznego i efektywności wykonywanego zabiegu zabiegu.



Rys. 3. Konstrukcja ładunku kumulacyjnego [4]

#### Obudowa ładunku kumulacyjnego

Obudowa ładunku jest zwykle masywna, grubościenna, o specjalnie zaprojektowanych kształtach tak, aby energia detonacji materiału wybuchowego w jak największej części skierowana była na formowanie strumienia. Najczęściej stosowane materiały na obudowy to: stal, cynk, aluminium, stop cynk-aluminium (stosowane są również szkło i ceramika). Niezależnie od zastosowanych materiałów, we wszystkich przypadkach obudowa wymaga niezbędnej dokładności i tolerancji wykonania, w celu zapewnienia właściwej skuteczności ładunków [4].

#### Główny ładunek materiału wybuchowego (MW)

Główny ładunek MW wykonywany jest na bazie MW o odpowiedniej, wymaganej dla ładunku odporności na temperaturę. W zależności od temperatury, w której stosowane mogą być ładunki kumulacyjne (co związane jest z głębokością zabiegu) oraz czasu ich

przebywania w odwiercie, stosuje się: pentryt (PETN), heksogen (RDX), oktogen (HMX), heksanitrostilben (HNS) lub PYX.

MW stosowany do ładunku głównego zawiera lepiszcze – również odporne na temperaturę. Materiał ten jest prasowany do obudowy z uformowanym zagłębieniem stożkowym, odpowiednim dla wkładki kumulacyjnej. Zastosowanie materiału o możliwie największej jednorodności oraz jego odpowiedni i symetryczny rozkład wpływają na optymalny kształt wytworzonego strumienia kumulacyjnego i jego zdolność perforacji [4].

#### **Pierwotny ładunek materiału wybuchowego (MW)**

Pierwotny ładunek MW, znajdujący się w miejscu pobudzenia detonacji ładunku, stanowi ogniwo pośrednie między ładunkiem głównym MW a lontem detonującym. Ma on na celu zwiększenie niezawodności pobudzenia detonacji układu kumulacyjnego i zapewnienie dostatecznie wysokich parametrów deto-

nacji w punkcie pobudzenia. Jest to istotne ze względu na bardzo małe odległości; od miejsca pobudzenia do wierzchołka wkładki (np. 4-5 mm). Ładunek pierwotny zwykle stanowi niewielką porcję (np. 500 mg) MW, takiego jak w ładunku głównym, lecz w postaci czystej i o bardzo dużym rozdrobnieniu, a przez to posiadającego większą wrażliwość [4].

#### **Wkładka kumulacyjna**

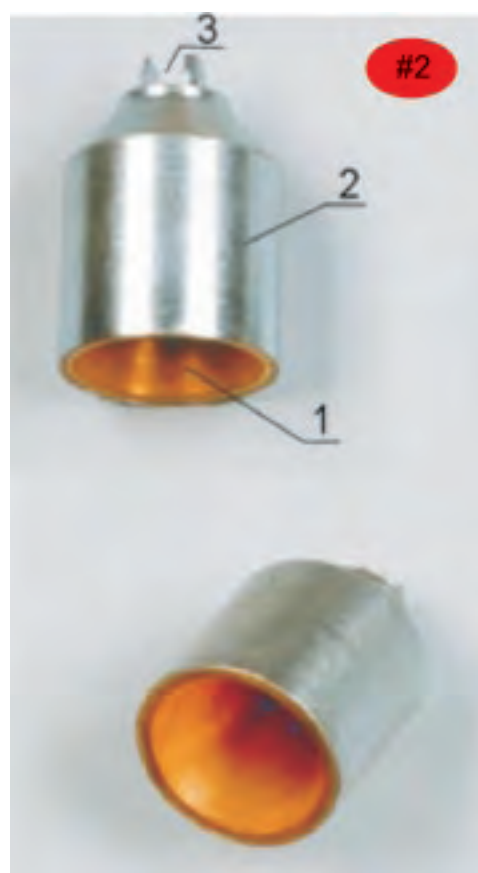
Wkładka kumulacyjna montowana jest do zagłębienia stożkowego w ładunku głównym. Zazwyczaj wkładka kumulacyjna wykonywana jest z metalu – głównie miedzi. Układ kumulacyjny z tego typu wkładką, w przypadku perforacji odwiertów powoduje zaczopowanie powstałego kanału, z powodu istnienia tzw. zbitki.

Wkładki kumulacyjne nowoczesnej konstrukcji wykonywane są w technologii metalurgii proszków. Wykonuje się je z kompozycji (mieszanin) proszków metali, pozwalających na uzyskanie wysokich



**Rys. 4.** Ładunek osiowo-kierunkowy ŁOKT-H-Fe-33-150

1 – wkładka kumulacyjna z prasowanych proszków metali Cu lub Cu/W; 2 – obudowa stalowa; 3 – uchwyt na lont; materiał wybuchowy – 16 g heksoflen (98% heksogen/RDX + 2% fluoropolimer) w obudowie stalowej [6]



**Rys. 5.** Ładunek osiowo-kierunkowy ŁOKT-H-Fe-39-150

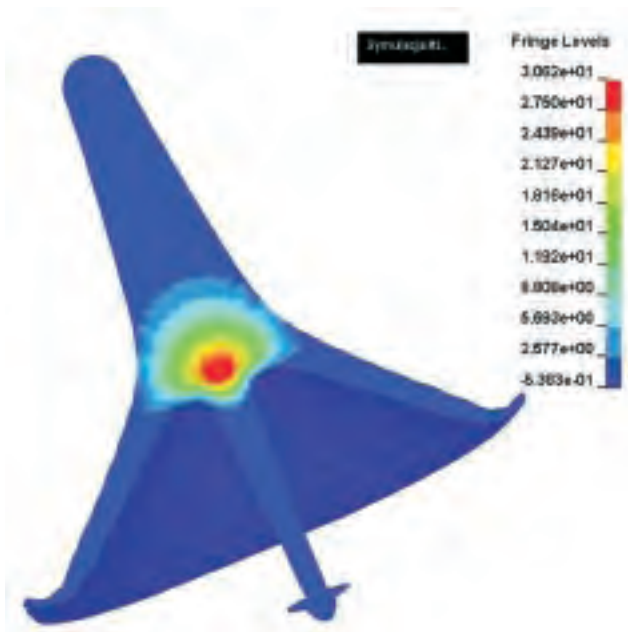
1 – wkładka kumulacyjna z prasowanych proszków metali Cu lub Cu/W; 2 – obudowa stalowa; 3 – uchwyt na lont; materiał wybuchowy – 32 g heksoflen (98% heksogen/RDX + 2% fluoropolimer) w obudowie stalowej [6]

gęstości materiału, a przez to odpowiednio wysokiej zdolności perforacji układu kumulacyjnego. Ładunki z wkładkami proszkowymi pozbawione są już szkodliwego efektu czopowania kanału perforacyjnego przez zbitkę.

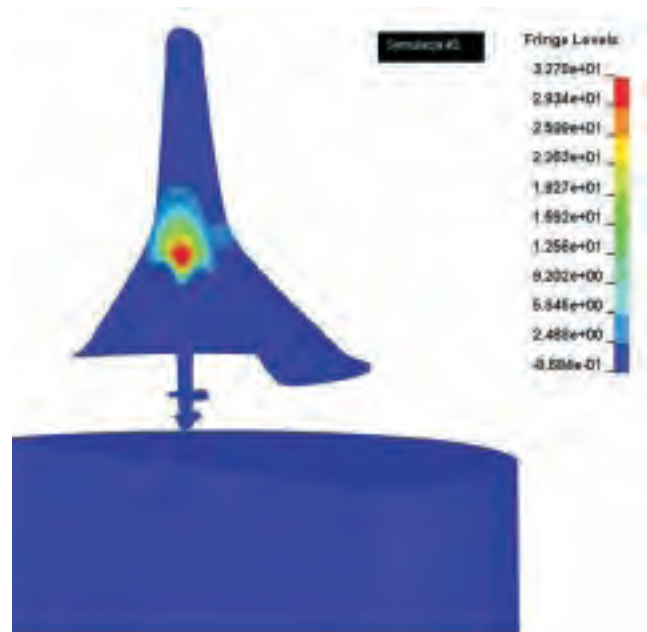
Materiały stosowane do wkładek z proszków metali to głównie: miedź, wolfram, cyna i ołów. Stosuje się również inne metale i ich mieszaniny: aluminium, cynk, bizmut, kobalt, molibden, nikiel i tantal. W ładunkach

kumulacyjnych o optymalnej konstrukcji, przeznaczonych do głębokiej perforacji, stosuje się wkładki o zwiększonej gęstości i tak projektuje ich kształt, aby uzyskiwać strumień kumulacyjny o jednorodnej gęstości i pożądanym gradiencie prędkości. Parametry te w pierwszym rzędzie wpływają na głębokość perforacji ładunku [4].

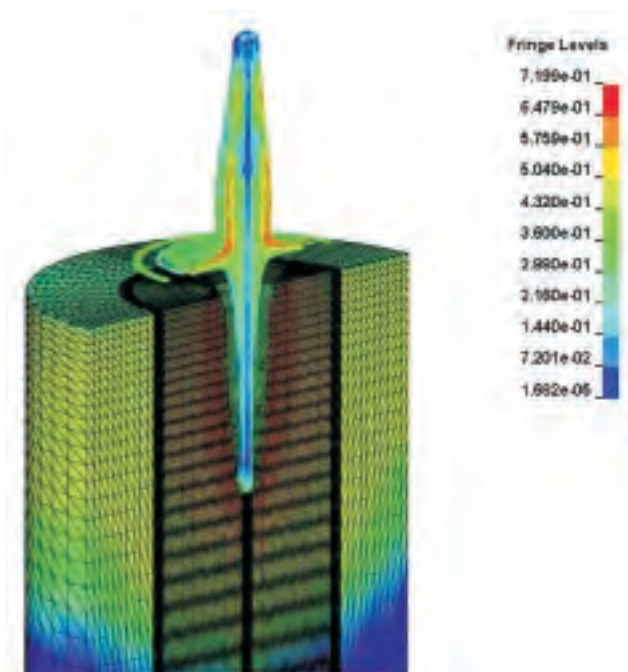
Projektując perforator małowabarytowy należy wziąć pod uwagę fakt, iż zastosowanie ładunków ku-



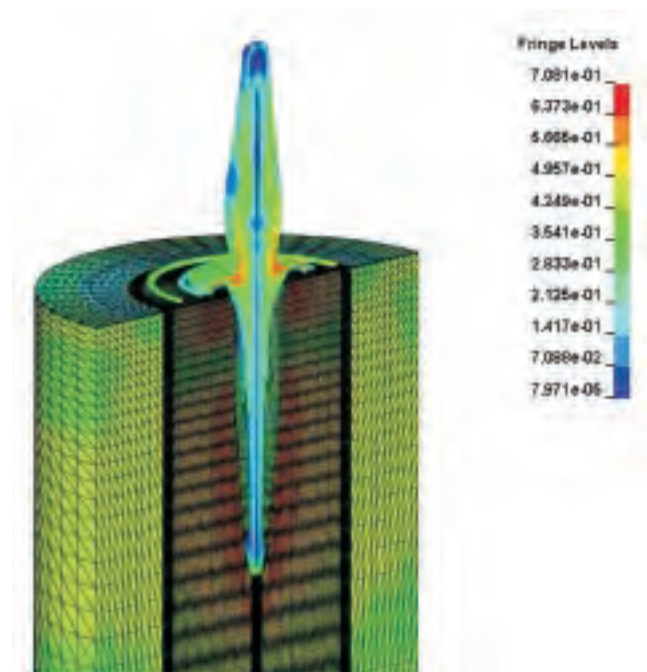
Rys. 6. Rozkład ciśnienia w ładunku kumulacyjnym #1 [GPa]



Rys. 7. Rozkład ciśnienia w ładunku kumulacyjnym #2 [GPa]



Rys. 8. Rozkład naprężeń w ładunku kumulacyjnym i caliznie skalnej dla modelu #1



Rys. 9. Rozkład naprężeń w ładunku kumulacyjnym i caliznie skalnej dla modelu #2

mulacyjnych o zredukowanych gabarytach spowoduje niebezpieczeństwo niedostatecznego sferforowania matrycy skalnej. Przedstawione na rysunkach 4 i 5 ładunki osiowo-kierunkowe, stanowiące propozycję wykorzystania w budowie perforatora małosrednicowego, różnią się między sobą głębokością wkładki kumulacyjnej (odpowiednio 33 mm i 39 mm) oraz naważką materiału wybuchowego (16 g i 32 g). Ta niewielka zmiana w budowie ładunku kumulacyjnego powoduje wyraźne różnice w praktycznym działaniu. W przypadku ładunku mniejszego, oznaczonego numerem 1, na rysunku 4 zdolność przebicia w stali St3 wynosi 100 mm, podczas gdy ładunek oznaczony numerem 2, na rysunku 5 przebija przeszkodę ze stali St3 o grubości 160 mm. Większe różnice działania omawianych ładunków odnotowujemy w możliwościach przebicia rdzenia skalnego. Dla ładunku #1 jest to przedział

250-400 mm, a dla ładunku większego #2 przebijane rdzenie tej samej skały mieszczą się w przedziale grubości 400-720 mm. Spostrzeżenie to nie powinno być ignorowane – zwłaszcza w przypadku projektowania i doboru środków strzałowych dla zabiegów, w których priorytetem jest głębokość wykonania kanałów perforacyjnych. Podobny rezultat wykazała symulacja komputerowa, przeprowadzona na modelu ładunków #1 i #2 przy pomocy programu LS-Dyna.

Model ładunku kumulacyjnego – osiowo-kierunkowego #1, wykazuje mniejszą wartość maksymalnego ciśnienia perforacji (30,62 GPa) w stosunku do porównywanego modelu ładunku #2 (32,70 GPa). Takie wyniki ciśnieniowe mają swoje odzwierciedlenie na mapie naprężeń matrycy skalnej i oddziaływującego na nią ładunku kumulacyjnego, co przedstawiono na rysunkach 8 i 9.

### Parametry perforacyjne determinujące efektywność zabiegu

Prawidłowe i długoterminowe działanie odwiertu w znacznej mierze zdeterminowane jest sposobem sferforowania otworu, czyli odpowiednim dobraniem kluczowych parametrów perforacji. Zasadniczo można wyróżnić trzy grupy parametrów, które wpływają na produktywność odwiertu:

- 1) parametry geometryczne: głębokość kanału perforacyjnego  $L_p$ , promień kanału perforacyjnego  $r_p$ , odległość pomiędzy perforacjami  $\Delta z$ , kąt fazowania  $\varphi$ ,
- 2) parametry charakteryzujące rodzaj udostępnienia złoża: perforacja całego poziomu produkcyjnego, perforacja selektywna, perforacja interwałowa,
- 3) parametry fizyczne wykonania zabiegu: przy podciśnieniu (*underbalance*), przy nadciśnieniu (*overbalance*).

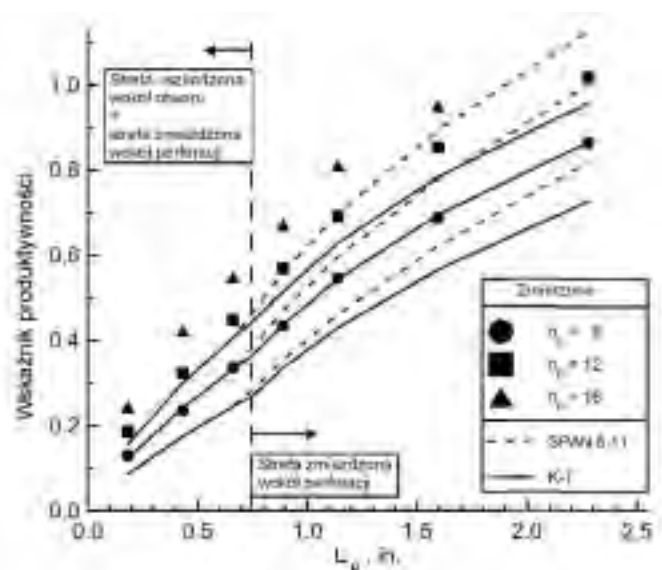
W pracy tej scharakteryzowane zostaną czynniki geometryczne grupy pierwszej, które bezpośrednio zależą od budowy perforatora.

#### Długość kanału perforacyjnego

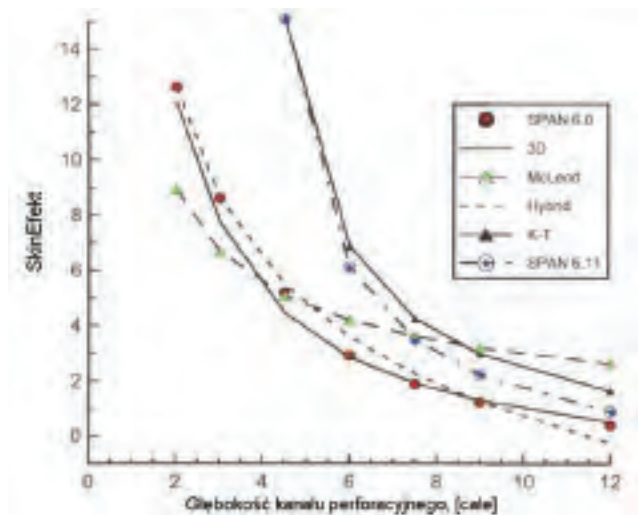
Jednym z istotniejszych celów projektowania perforatorów małosrednicowych jest właściwe wykonanie dostatecznie długiego, jednorodnego (co do kształtu) i wolnego od zanieczyszczeń podetonacyjnych kanału perforacyjnego [2, 11].

Choć w rzeczywistości trudno jest sprawdzić, jakie powstały otwory perforacyjne w wyniku prze-

prowadzonego zabiegu, to badania laboratoryjne wykonane na rdzeniach skalnych, w warunkach ciśnienia i temperatury odpowiadających warunkom złożowym, jednoznacznie pokazują zależność głębokości kanału perforacyjnego i produktywności odwiertu – co zostało zilustrowane na rysunku 10. Wykres ten przedstawia zestawione dane pomiarowe, wykazujące wzrost produktywności odwiertu wraz ze wzrastającą głębokością



**Rys. 10.** Wpływ głębokości kanału perforacyjnego na produktywność odwiertu;  $n_p$  – oznacza ilość strzałów na stopę, odpowiednio 24, 36, 48 strzałów/metr; linia ciągła przedstawia wyniki obliczeń uzyskane metodą zaproponowaną przez Karakas-Tariq (1991); linia przerywana pokazuje wyniki symulacji z wykorzystaniem pakietu SPAN 6.11 [11]



Rys. 11. Wpływ głębokości kanału perforacyjnego na skin-efekt [11]

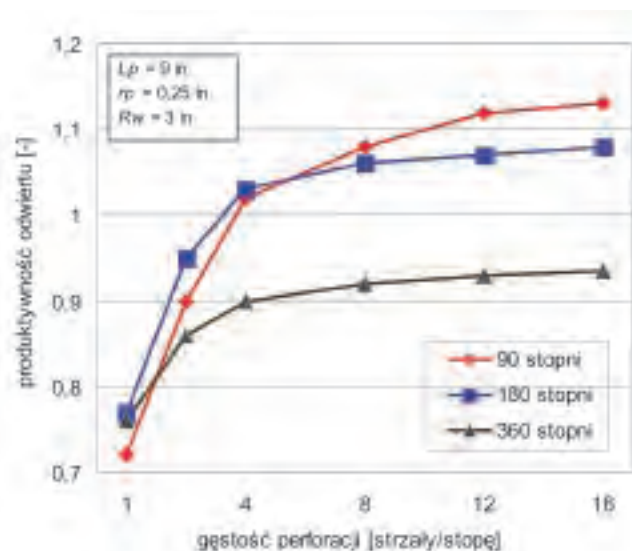
kanału perforacyjnego. Dostarcza również informacji, jak zmienia się produktywność odwiertu wraz ze zmianą ilości wykonanych otworów perforacyjnych na jednostkę długości – odpowiednio 8, 12, 16 strzałów na stopę (24, 36, 48 strzałów na metr).

Właściwie zaprojektowany perforator, jak również efektywnie przeprowadzony zabieg zapewniający głęboko penetrujące kanały, obniża współczynnik skin-efektu. Charakterystykę tego zjawiska obrazuje rysunek 11, przedstawiający zależność bezwymiarowego współczynnika skin-efektu i głębokości kanału perforacyjnego, wyrażonego w calach. Dane zawarte na wykresie przedstawiają wyniki obliczeń skin-efektu za pomocą czterech różnych metod analitycznych (Karakas-Tariq, 3D, Mc Leod, Hybrid), jak również rezultaty symulacji komputerowej (SPAN 6.0 i SPAN 6.11). Kluczowe założenia w powyższej symulacji to: w pełni sperforowany horyzont produktywny i gęstość perforacji wynosząca cztery strzały na stopę (12 strzałów na metr) [11].

### Gęstość rozmieszczenia otworów perforacyjnych

Współczesne konstrukcje perforatorów, w tym te o najmniejszych średnicach, pozwalają na bardzo zróżnicowane rozlokowanie ładunków wybuchowych wewnątrz korpusu. Właściwy dobór gęstości strzałów jest bardzo istotny z uwagi na korzyści, jakie może przynieść, w postaci intensywnie spenetrowanego horyzontu produktywnego, jak również niosących ze sobą zagrożeń – choćby w postaci nadmiernego uszkodzenia formacji skalnej [2, 9]. Rysunek 12 ilustruje produktywność

odwiertu w funkcji różnej gęstości perforacji. Można zauważyć wyraźną tendencję do zwiększania produktywności odwiertu wraz ze zwiększeniem liczby strzałów na jednostkę długości. Wykres pokazuje, iż przy wykonaniu 1 lub 2 otworów perforacyjnych na stopę (3-6 otworów na metr) skin-efekt jest silnie dodatni i powoduje niską produktywność odwiertu. Przy zwiększeniu ilości perforacji do około 4 kanałów na stopę (12 otworów na metr) produktywność odwiertu równa jest jedności. Oznacza to, że wydatek eksploatowanego płynu złożowego przy rzeczywistym gradiencie ciśnienia równa się wielkości wyliczonej analitycznie dla tych samych warunków złożowych i geometrii odwiertu. Oznacza to również, że współczynnik skin-efektu wynosi zero [5, 11]. Obserwując poniższy wykres należy zauważyć, iż dalsze zwiększanie ilości perforacji nie wpływa znacząco na poprawę produktywności odwiertu.



Rys. 12. Produktywność odwiertu w funkcji gęstości strzałów

### Kąt fazowy otworów perforacyjnych

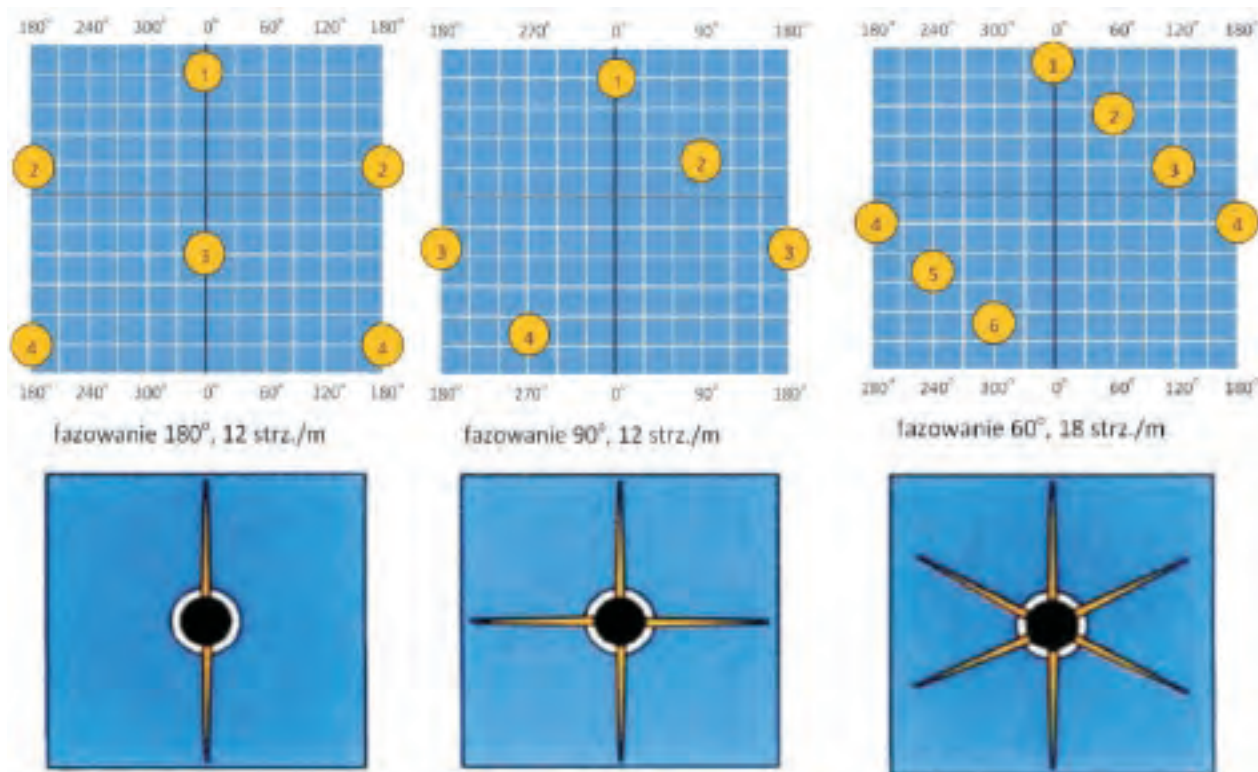
Mając na uwadze konieczność ograniczenia wymiarów zewnętrznych perforatora, projektant musi pamiętać o bardzo istotnym elemencie geometrycznym technologii perforacji, silnie wpływającym na wielkość skin-efektu, jakim jest kąt fazowy rozmieszczenia otworów. Na rysunku 12 obserwujemy jak kąt fazowy, czyli przesunięcie między ładunkami kumulacyjnymi (wyrażone miarą kątową), wpływa na produktywność odwiertu. Przy fazowaniu 360° (w literaturze również oznaczane 0°) otwory perforacyjne znajdują się jeden pod drugim, co skutkuje wysokim współczynnikiem skin-efektu. Znacznie lepsze rezultaty i zmniejszenie współczynnika skin-efektu uzyskuje się przy fazowaniu

180°. Ten rodzaj fazowego rozmieszczenia ładunków pozwala osiągnąć zerową wartość współczynnika skin-efektu i – jak pokazuje rysunek 12 – możliwe jest uzyskanie produktywności odwiertu przekraczające wartość jedności.

Optymalizując przestrzeń potrzebną dla ułożenia ładunków kumulacyjnych w perforatorach małośred-

nicowych nie napotyka się na poważniejsze problemy z formą rozlokowania ładunków wybuchowych. Dla rozpatrywanego przypadku (rysunek 12), dalsze zacieśnienie kąta fazowania do wartości 90° nie przynosi już tak dobrych rezultatów.

Przykładowe konfiguracje geometrycznego rozłożenia ładunków kierunkowych pokazano na rysunku 13.



Rys. 13. Kąt fazowy i gęstość rozlokowania ładunków kierunkowych [1]

## Podsumowanie

Zarurowany odwiert musi być sperforowany, by zapewnić komunikację pomiędzy otworem a skałą zbiornikową. Perforacja sama w sobie, jako fizyczna ingerencja w macierz skalną, powoduje zaburzenie przepływu płynu – generując dodatkowy spadek ciśnienia w odwiercie. Właściwy dobór parametrów geometrycznych perforatora małośrednicowego może zapewnić bardzo zadowalające rezultaty, w postaci niskiej wartości współczynnika skin-efektu i wysokiej produktywności odwiertu.

Zastosowanie materiału wybuchowego o możliwie największej jednorodności oraz jego odpowiedni i symetryczny rozkład wpływa na optymalny kształt wytworzonego strumienia kumulacyjnego i jego zdolność perforacji.

Wykonanie długich kanałów perforacyjnych, sięgających głęboko w formację skalną, odpowiednio rozlo-

kowanych w przesunięciu fazowym, a także jednorodnie rozmieszczonych wzdłuż całego poziomego produktywnego sprzyja obniżeniu ryzyka spowodowania nadmiernego uszkodzenia matrycy skalnej.

Wykonanie obudowy ładunku (która jest zwykle masywna, grubościenna, o specjalnie zaprojektowanych kształtach) tak, aby energia detonacji MW w jak największej części skierowana była na formowanie strumienia, stanowić będzie – w opinii autora – najpoważniejsze wyzwanie konstrukcyjne, w aspekcie ograniczenia wymiaru zewnętrznego i implementacji w perforatorze małośrednicowym. Niezależnie od zastosowanych materiałów, we wszystkich przypadkach obudowa wymaga niezbędnej dokładności i tolerancji wykonania, w celu zapewnienia właściwej skuteczności ładunków.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Raczkowski

## Literatura

- [1] Baker Hughes, Baker Atlas; *Perforating Capabilities*, 1998.
- [2] Behrmann L.A., Pucknell J.K., Bishop S.R., Hsia T.Y.: *Measurement of Additional Skin Resulting from Perforation Damage*. Paper SPE 22809, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Texas 6-9.10.1991.
- [3] Frodyma A., Griesgraber K.: *Zjawiska dynamiczne zachodzące we wczesnym okresie perforacji wykonywanej przy podciśnieniu*. Nafta-Gaz nr 4, 2007.
- [4] Frodyma A., Wilk Z., Godzik E., Koślik P.: *Nowa technologia perforacji – perforatory z reaktywnymi ładunkami kierunkowymi z warstwową wkładką kumulacyjną*, Praca INiG 932/STS, grudzień 2007.
- [5] Hagoort J.: *An Analytical model for predicting the productivity of perforated wells*. Journal of Petroleum Science and Engineering, 56, 199-218, 2007.
- [6] Katalog produktów Instytutu Przemysłu Organicznego w Warszawie.
- [7] Leosz A.: *Aktualne możliwości udostępnienia i wglębnego zbrojenia odwiertów dla wielohoryzontowych złóż gazu ziemnego*. Bóbrka 2002.
- [8] Limanówka L., Grygieńcza T.: *Sposoby wyposażenia odwiertów na Niżu Polskim*. Praca PGNiG S.A. w Warszawie zielonogórski Zakład Górnictwa Nafty i Gazu, Zielona Góra 2002.
- [9] Pucknell J.K., Behrmann L.A.: *An Investigation of the Damaged Zone Created by Perforating*. Paper SPE 22811, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Texas 6-9.10.1991.
- [10] Szostak L., Chrzęszcz W.: *Naftowa Inżynieria Złożowa*. Kraków 2000.
- [11] Turhan Y.: *Assessment of total skin factor in perforated wells*. SPE 82249, European Formation Damage Conference, The Hague, 13-14.05.2003.



Mgr inż. Łukasz HABERA – absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie, słuchacz Studium Doktoranckiego w AGH, inżynier branżowy w Zakładzie Techniki Strzelniczej INiG. Zajmuje się projektowaniem sprzętu strzałowego i technologii wykorzystania materiałów wysokoenergetycznych.



## ZAKŁAD TECHNIKI STRZELNICZEJ

Kierownik: mgr inż. Antoni Frodyma

31-855 Kraków, ul. Bagrowa 1 tel.: +48 012 653 25 12 wew. 137

Oferta

OFERUJEMY:

- badania i projektowanie sprzętu strzałowego przeznaczonego do udostępniania poziomów perspektywicznych techniką strzelniczą; perforatory korpusowe i bezkorpusowe dla różnych średnic
- sprzęt strzałowy do prac ratunkowych i specjalnych, obcinacze ruri przewodu wiertniczego, cięcie konstrukcji z wykorzystaniem materiałów wybuchowych
- przywracanie cyrkulacji w otworze wiertniczym - likwidacja ciśnienia różnicowego
- małoseryjna produkcja sprzętu strzałowego dla górnictwa naftowego
- badania termobaryczne (komora 180°C, 150 MPa)



INSTYTUT NAFTY I GAZU  
ul. Lubec 25 A, 31-503 Kraków  
tel.: +48 12 421 00 33 fax: +48 12 430 38 85  
www.inig.pl office@inig.pl