

Piotr Koślik, Zenon Wilk

*Instytut Przemysłu Organicznego – Oddział w Krupskim Młynie*

Antoni Frodyma, Łukasz Habera

*Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

## Nacinacz kumulacyjny – badania symulacyjne i próby sprawnościowe nowego urządzenia do przywracania cyrkulacji w odwiercie

Zespół badawczy opracował nowe urządzenie do usuwania stanów awaryjnych związanych z utratą cyrkulacji w otworze. W projekcie wykorzystano doświadczenia Instytutu Przemysłu Organicznego – Oddział w Krupskim Młynie w zakresie projektowania, optymalizacji konstrukcji i produkcji liniowych ładunków kumulacyjnych przeznaczonych do cięcia blach, rur i konstrukcji stalowych. Przedstawiono fragmenty prac związanych z projektowaniem i optymalizacją konstrukcji nacinacza kumulacyjnego rur wydobywczych. Zaprezentowano fragment badań optymalizacyjnych – symulacyjne badania komputerowe w programie Ansys Autodyn2D funkcjonowania modelu nacinacza w odwiercie. Dla opracowanego nacinacza do rur wydobywczych (2<sup>3</sup>/<sub>8</sub> cala) typu ŁKN-150-60-34/150, tj. o średnicy 34 mm i długości nominalnej cięcia 150 mm, wykonano testy poligonowe i próby sprawnościowe w odwiercie.

Słowa kluczowe: ładunek kumulacyjny liniowy, usuwanie awarii, przywracanie cyrkulacji w odwiercie.

### Tube side cutter – simulation and performance testing of new equipment for restoring circulation in boreholes

The research team has developed a new instrumentation equipment, to remedy the loss of circulation in boreholes. The project employed the experience of the Institute of Organic Chemistry in the scope of designing, construction optimization and production of linear shaped charges, intended for cutting steel sheets, pipes and structures. A part of works, connected with tubing side cutter designing and optimization, was presented. Furthermore a part of the optimization research – simulation computer testing with Ansys Autodyn2D software of tubing side cutter functioning in a borehole was presented. The developed tubing side cutter (for 2<sup>3</sup>/<sub>8</sub>” tubing) ŁKN-150-60-34/150 type, i.e. 34 mm OD and 150 mm cutting length was subjected to fire ground tests and performance trials in a borehole.

Key words: linear cumulative charge, removing breakdown, restoring circulation in borehole.

### Wprowadzenie

Ładunki kumulacyjne stosowane są w Polsce przede wszystkim w górnictwie nafty i gazu oraz w niewielkich ilościach w kopalniach odkrywkowych. Najważniejszymi wymaganiami wobec ładunków kumulacyjnych i urządzeń zabiegowych związanymi z ich zastosowaniem w otworach wiertniczych są: odporność na wysokie temperatury (w niektórych przypadkach do 250°C) i ciśnienie (do 100 MPa) oraz

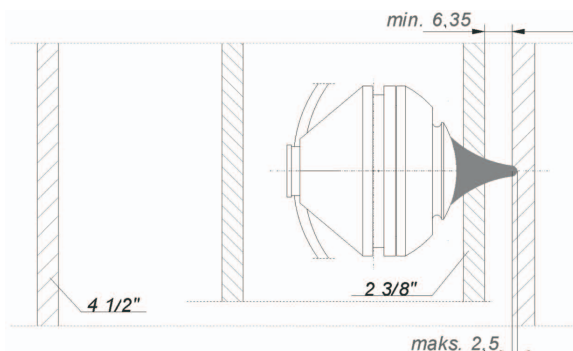
wodoodporność, a także określona maksymalna lub minimalna zdolność przebiccia/cięcia (w sytuacjach, gdy niedopuszczalne jest uszkodzenie materiału za przebijaną przeszkodą). Nie są to jednak jedyne działania, w których ładunki kumulacyjne mogą znaleźć zastosowanie. Można ich używać również w pracach specjalistycznych poza górnictwem, np. przy demontażu maszyn i urządzeń, w pracach wyburzeniowych czy też zwią-

zanych z ratownictwem (do neutralizowania niebezpiecznych zbiorników, butli z gazem i niewybuchów).

W górnictwie otworowym mamy również do czynienia z awariami wiertniczymi. Jedną z nich jest np. utrata cyrkulacji w otworze w trakcie eksploatacji ropy naftowej lub gazu ziemnego, np. wskutek osadzania się parafin i hydratów w rurkach wydobywczych lub zapiaszczenia filtra dennego. Do usuwania takich awarii stosowane jest specjalne urządzenie zabiegowe – perforator-przebijak (rysunek 1) [1, 2].



ŁOKTC-Fe-27-130-70  
(przebijak)



Rys. 1. Widok ładunku kumulacyjnego – przebijaka i jego działanie w urządzeniu małośrednicowym opuszczanym do odwiertu poprzez rurki wydobywcze o średnicy 2 3/8”

Przebijak kumulacyjny zbrojony to specjalne ładunki o ograniczonym zasięgu radialnym, jednocześnie tworzące duże otwory wlotowe o średnicy 15÷20 mm [4].

Małośrednicowy perforator-przebijak, konstrukcji INiG Kraków, uzbrojony środkami strzałowymi produkcji IPO – Krupski Młyn (ładunki kumulacyjne, lont detonujący, głowiczka zapalnikowa), umożliwia odzyskanie cyrkulacji bezpośrednio po odpaleniu w przypadku rur wydobywczych o minimalnej średnicy wewnętrznej nie mniejszej niż 42 mm (ograniczenie wynika z wymiarów porzeczných konstrukcji nośnej perforatora-przebijaka) [3]. W celu odtworzenia pełnego przypiływu w przewodzie wydobywczym o średnicy 2 3/8 cala (tj. o powierzchni przekroju wewnętrznego około 15 cm<sup>2</sup>) należy wykonać 5÷10 otworów ładunkami ŁOKTC-Fe-27p-130-70 (przebijak); masa materiału wybuchowego (MW) w ładunku wynosi 7 g. Łącznie w trakcie zabiegu wewnątrz rury wydobywczej, na określonym odcinku, ulega detonacji od 35 g do 70 g MW.

W związku z nowymi wymaganiami użytkowników i koniecznością przywracania cyrkulacji w rurkach wydobywczych

o średnicach wewnętrznych np. 2 3/8” i mniejszych, zaproponowano do wykonywania zabiegu przywracania cyrkulacji użycie ładunków kumulacyjnych liniowych.

W pracy wykorzystano doświadczenia Instytutu Przemysłu Organicznego – Oddział w Krupskim Młynie w zakresie projektowania, optymalizacji konstrukcji i produkcji liniowych ładunków kumulacyjnych, m.in. przeznaczonych do cięcia blach, płyt i konstrukcji stalowych. Ładunki kumulacyjne liniowe o optymalnych parametrach mogą być bardzo skuteczne. Na przykład przy wykorzystaniu ładunków produkcji IPO, z typoszeregu ŁKL-D/M, do wykonania cięcia 1 mb blachy stalowej o grubości 1,5 mm wystarcza zaledwie 10 g materiału wybuchowego, a do cięcia blachy o grubości 6 mm – odpowiednio: 32 g materiału wybuchowego. Do cięcia wybuchowego blach o grubościach 10÷12 mm, zależnie od ich wytrzymałości, wystarczająca jest gramatura MW ładunków liniowych wynosząca 80÷100 g/mb [8].

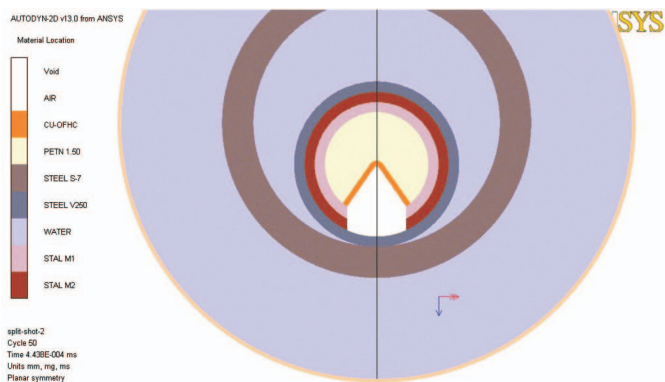
W przypadku zastosowania liniowych ładunków kumulacyjnych w głębokich otworach niezbędne jest zaprojektowanie dla nich odpowiednio wytrzymałej obudowy i optymalne dobranie gramatury ładunku w zależności od wymaganej grubości cięcia. Również istotnym wymaganiem może być tutaj ograniczenie maksymalnej średnicy urządzenia zabiegowego, które z odpowiednim prześwitem musi zostać zapuszczane do odwiertu.

W artykule przedstawiono fragmenty prac związanych z projektowaniem i optymalizacją takiej konstrukcji. Nowy typ urządzenia dla górnictwa otworowego przeznaczony do nacinania rur wydobywczych, w którym zastosowane są ładunki kumulacyjne liniowe, nazwano **nacinaczem kumulacyjnym**. Zaprezentowano fragment badań optymalizacyjnych – symulacyjne badania komputerowe w programie Ansys Autodyn2D funkcjonowania modelu nacinacza w odwiercie. Dla opracowanego nacinacza do rur wydobywczych (2 3/8 cala) typu ŁKN-150-60-34/150, tj. o średnicy 34 mm, długości nominalnej cięcia 150 mm, dostosowanego do warunków otworowych (odporność na temperaturę do 150°C, odporność na ciśnienie do 60 MPa), wykonano testy poligonowe i próby sprawnościowe.

### Badania symulacyjne

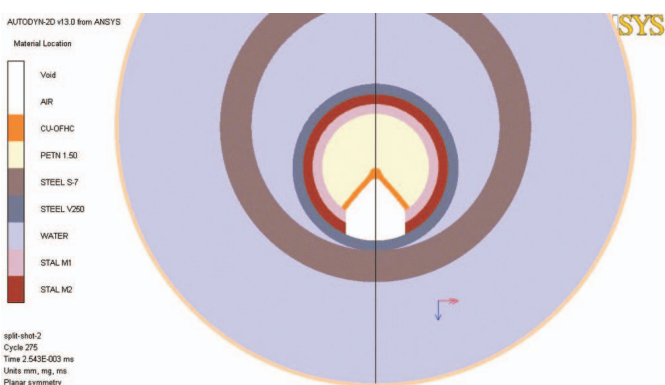
Analizie numerycznej poddano układ przedstawiający przekrój poprzeczny rur okładzinowych odwiertu 4 1/2 cala wraz z rurą wydobywczą 2 3/8 cala, wewnątrz której znajduje się nacinacz kumulacyjny. Budowę geometryczną modelu przedstawiono na rysunku 2.

Dane materiałowe dla modelowania numerycznego funkcjonowania nacinacza przyjęto z bazy danych programu Ansys oraz badań własnych [1, 2, 7, 9]. Poszczególne elementy nacinacza stanowią: ładunek kumulacyjny liniowy zawierający MW (PETN 1.5), wkładkę kumulacyjną z miedzi

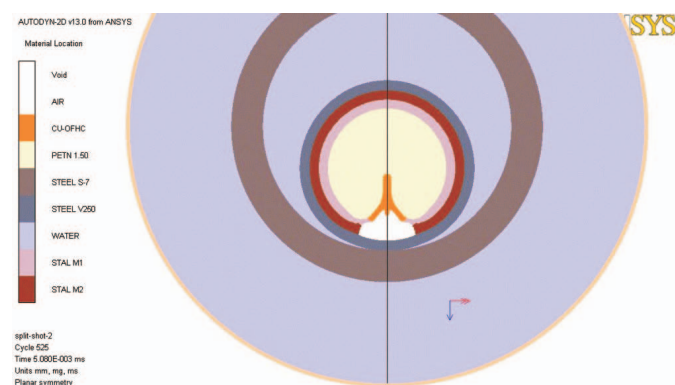


Rys. 2. Model geometryczny układu badawczego funkcjonowania naczynia

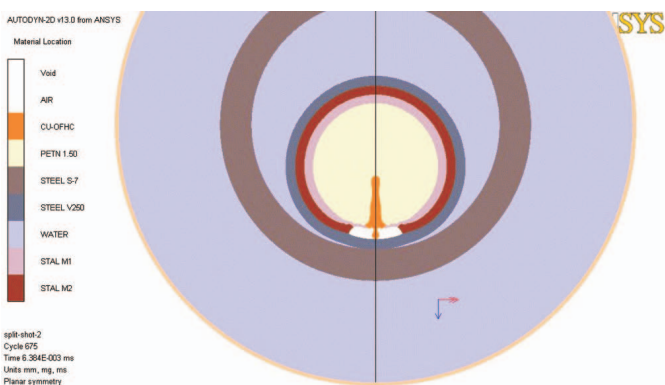
(CU-OFHC) i osłonę ładunku z dwóch dobranych warstw materiału (M1 i M2). Są one umieszczone w osłonie rurowej/korpusie (STEEL V250). Korpus musi być odpowiednio wytrzymały i szczelny, w rzeczywistych warunkach ma zapewnić pustą przestrzeń dla formowania się strugi kumulacyjnej. Korpus naczynia przylega w osi działania ładunku kumulacyjnego do rury wydobywczej (Stal S-7). W modelu tym przyjęto w otworze obecność płuczki wiertniczej ( $H_2O$ ). Cały układ modelu został wykonany w domenie Eulera w postaci dwuwymiarowej. Materiał wybuchowy opisany jest w modelu równaniami stanu typu EOS JWL. Dla elementów metalowych przyjęto opis równaniami stanu Johnsona-Cooka.



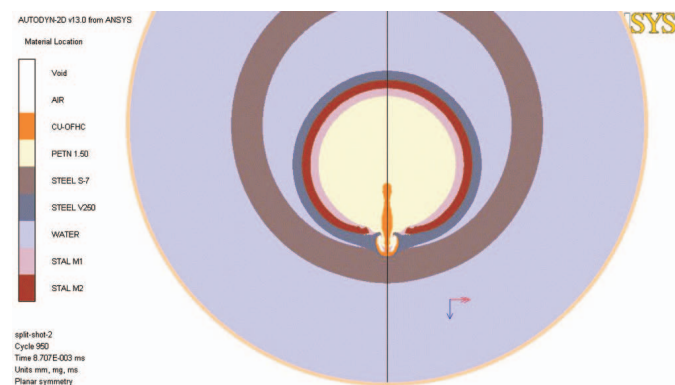
$T = 2,54 \mu s$  (koniec detonacji MW)



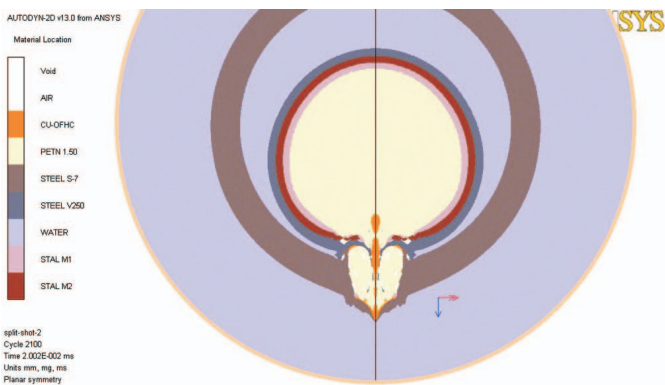
$T = 5,08 \mu s$  (formowanie się strumienia kumulacyjnego)



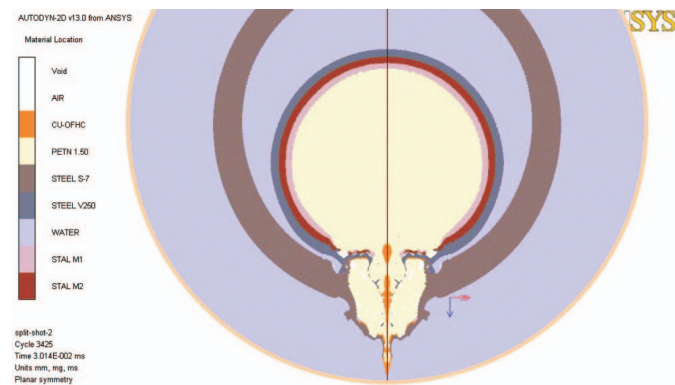
$T = 6,38 \mu s$  (strumień dociera do ścianki korpusu naczynia)

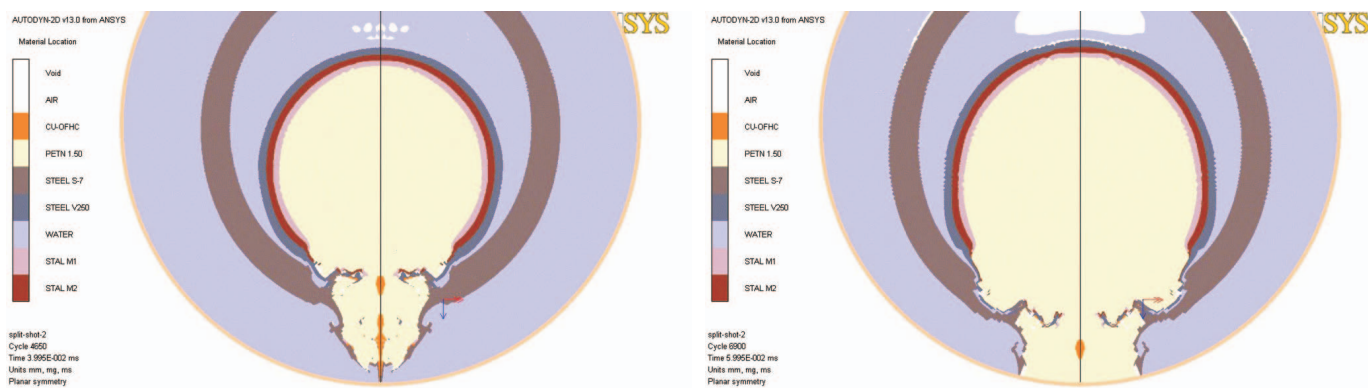


$T = 8,70 \mu s$  (strumień przecina ściankę korpusu naczynia)



$T = 20 \mu s$  i  $T = 30 \mu s$  (strumień przecina ściankę rury 2 3/8 cala)





$T = 40 \mu s$  i  $T = 60 \mu s$  (koniec procesu przecinania, widoczne nieskuteczne pozostałości zbitki z wkładki kumulacyjnej)

Rys. 3. Wyniki symulacji numerycznej funkcjonowania nacinacza kumulacyjnego – obrazy deformacji materiałów (*Material Location*) dla wybranych momentów czasowych

Na podstawie przeprowadzonych symulacji otrzymuje się szereg informacji i parametrów – między innymi: czas detonacji, ciśnienia, prędkości strumienia kumulacyjnego, przemieszczenia, gęstości, naprężenia, energie w układzie. W całym modelowanym układzie badawczym można wyznaczyć dowolnie kontrolne punkty pomiarowe, które po całym cyklu obliczeń numerycznych umożliwiają dostęp do historii procesu zachodzących zjawisk. Na rysunku 3 przedstawiono wybrane sekwencje z modelowania – rejestracje deformacji materiałów (*Material Location*) dla wybranych momentów czasowych.

Powyższe sekwencje obrazów z symulacji działania nacinacza kumulacyjnego potwierdzają prawidłowość jego funkcjonowania. Dobry kształt wkładki kumulacyjnej i dystans od przegrody pozwalają na uformowanie się skutecznego strumienia kumulacyjnego. Strumień metalu utworzony z wkładki kumulacyjnej ładunku liniowego posiada energię kinetyczną dostatecznie dużą, aby nacinać stal ścianki osłony/korpusu ( $g = 3,0 \text{ mm}$ ) i rurę wydobywczą (w modelu przyjęto grubość ścianki  $10 \text{ mm}$ ). Łączna grubość stali do przecięcia wynosi  $13 \text{ mm}$ .

Na skutek działania wybuchowego nacinaka utworzony zostaje w rurze wydobywczej kanał o szerokości około

$20 \text{ mm}$  (patrz rysunek 3, czas  $T = 60 \mu s$ ). Oznacza to, że dla otwarcia pełnego przepływu w przewodzie wydobywczym o średnicy  $2\frac{3}{8}$  cala (tj. o powierzchni przekroju wewnętrznego około  $15 \text{ cm}^2$ ) wystarczy wykonać cięcie nacinaczem kumulacyjnym o długości około  $7\div 8 \text{ cm}$ . W praktycznym rozwiązaniu należy przyjąć ładunek kumulacyjny o długości około  $10 \text{ cm}$ , ze względu na mniejszą skuteczność końcówek. W przedstawionej powyżej analizie numerycznej ładunek kumulacyjny posiada gramaturę  $160 \text{ g/mb}$ . Wobec tego dla zabiegu udroźnienia przewodu wydobywczego o średnicy  $2\frac{3}{8}$  cala wystarczający byłby nacinacz kumulacyjny o takiej konstrukcji, z ładunkiem o tej gramaturze i o długości  $10 \text{ cm}$ , a więc zawierający  $16 \text{ g MW}$ .

W praktyce wykonywania prac strzałowych w odwiercie bardzo istotne jest ograniczanie do niezbędnego minimum obciążenia rur i konstrukcji odwiertu. Z tego względu należy dla każdego rodzaju rur wydobywczych dobierać optymalnie gramaturę MW w ładunku, wystarczającą do ich przecięcia. Ponadto warunkiem skuteczności działania nacinacza kumulacyjnego jest jego przyleganie do wewnętrznej ścianki nacinanej rury. Taki stan należy zapewnić poprzez odpowiednią konstrukcję urządzenia (np. stosowanie magnesów lub skutecznych systemów orientowania i dociskania urządzenia do ścianki).

### Wyniki badań poligonowych

Poniżej przedstawiono dwa poligonowe testy strzałowe dla projektowanej nowej konstrukcji nacinacza kumulacyjnego ŁKN-150-60-34/150.

Test nr 1 wykonano w warunkach symulujących obecność medium w postaci suchego piasku, w przestrzeni między rurą wydobywczą, która ma być nacinana, a rurą okładzinową i wewnątrz rury wydobywczej. W rzeczywistych warunkach nacinanie wybuchowe odbywa się w obecności ciśnienia słupa cieczy otworowej.

Do inicjowania detonacji w próbach poligonowych naziemnych stosowano zapalnik elektryczny o takim samym ekwiwalencie ładunku spłonkowego, jaki posiada nominalny, przeznaczony do urządzenia, zapalnik naftowy typu ZEN-150.

Widok zestawu – części roboczej nacinacza kumulacyjnego ŁKN-150-60-34/150 przygotowanego do testu sprawnościowego w warunkach poligonowych (w części roboczej zastosowano ładunek kumulacyjny linowy typu ŁKL-16/80

o długości 180 mm, zawierający około 15 g MW) – przedstawiono na rysunku 4.

Wyniki testu nr 1 przedstawia rysunek 5.

Analogicznie wykonano test nr 2 (rysunek 6) różniący się tym, że w przestrzeni wewnętrznej rury wydobywczej nie było ciecchy (pozostawiono przestrzeń wolną).

Uzyskano zdecydowane nacięcie rury wydobywczej 2 $\frac{3}{8}$  cala na całej długości roboczej liniowego ładunku kumulacyjnego (około 15 cm) i szerokości około 2 cm. Wobec tego efektywne otwarcie dla przepływu wynosi minimum 30 cm<sup>2</sup>, tj. znacznie powyżej nominalnego przekroju rury wydobywczej 2 $\frac{3}{8}$  cala (około 15 cm<sup>2</sup>).



Rys. 4. Widok zestawu – części roboczej naczynia kumulacyjnego ŁKN-150-60-34/150 (w części roboczej ładunek ŁKL-16/80, 180 mm, około 15 g MW) – test poligonowy nr 1



Rys. 5. Widok fragmentu rury wydobywczej 2 $\frac{3}{8}$  cala po teście strzałowym nr 1



Rys. 6. Widok zestawu – części roboczej naczynia kumulacyjnego ŁKN-150-60-34/150 (w części roboczej ładunek ŁKL-16/80, 180 mm, około 15 g MW) – test poligonowy nr 2

### Charakterystyka naczynia typu ŁKN-150-60-D/M

Do wykonywania specjalistycznych i ratunkowych prac w głębokich odwiertach został dopuszczony do stosowania nowy typ urządzenia, opracowany wspólnie przez Instytut Nafty i Gazu – PIB w Krakowie oraz Instytut Przemysłu Organicznego – Oddział w Krupskim Młynie. Jest to naczynie kumulacyjne do rur typu ŁKN-150-60-D/M (gdzie D to średnica zewnętrzna naczynia, a M – długość cięcia, wyrażone w mm). Urządzenia te zapuszczane do odwiertu

przy użyciu kabla strzałowego karotażowego przeznaczone są do nacinania rur, np. wydobywczych – celem odzyskania cyrkulacji lub rozdzielenia połączenia rur w warunkach: temperatury do 150°C, ciśnienia do 60 MPa (przez czas do 2 h, ewentualnie dłużej dla niższych temperatur, w zależności od warunków technicznych). Urządzenia te mogą być stosowane również w innych rodzajach górnictwa i na powierzchni przy wykonywaniu specjalistycznych prac wybuchowych.

### Konstrukcja nacinacza kumulacyjnego

Nacinacz kumulacyjny ŁKN-150-60-D/M jest urządzeniem strzałowym w formie wydłużonej walcowej obudowy hermetycznej o wymaganej odporności na ciśnienie, zawierającym odpowiednio dobrany odcinek (lub odcinki) ładunku kumulacyjnego liniowego. Odrębny element w komplecie do urządzenia zabiegowego (zamówienia/dostawy) stanowi zapalnik elektryczny do inicjowania detonacji. Producentem środków strzałowych do urządzenia jest IPO – Oddział w Krupskim Młynie.

Nacinacz zawiera w części roboczej ładunek kumulacyjny liniowy o dobranej długości i gramaturze MW (do cięcia pojedynczego) lub odcinki ładunków kumulacyjnych liniowych o dobranej długości i gramaturze MW (do cięcia w segmentach – podzielonego na długości) z typoszeregu ŁKL-D/M, CE 1453 EXP.07.0135.

W opcji wykonania części roboczej do cięcia w segmentach – podzielonego na długości, może zawierać także odcinki lontu detonującego heksogenowego LDT-RDX-150, CE 1453.EXP.05.0070 i przekaźniki lontowe PLD-H, CE 1453.EXP.04.0028.

Nominalny środek strzałowy do inicjowania detonacji nacinacza stanowi zapalnik elektryczny naftowy ZEN-150,

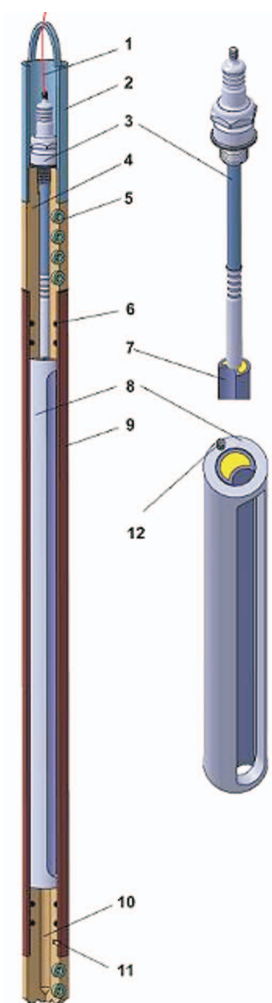
CE 1453.EXP.05.0081 (odrębny element dostarczany w komplecie do urządzenia zabiegowego).

Do nacinacza przeznaczonego do nacinania przewodu wydobywczego 2<sup>3/8</sup>" (oznaczenie typu: ŁKN-150-60-34/150) dobrano w części roboczej ładunek kumulacyjny liniowy ŁKL-16/80 o długości roboczej do 180 mm. Gramatura MW w części roboczej nacinacza wynosi około 15 g. Średnica urządzenia wynosi 34 mm i wykonuje ono nacięcie o długości około 150 mm.

Poniżej na rysunku 7 podano schemat i opis ogólny konstrukcji nacinacza kumulacyjnego ŁKN-150-60-D/M.

### Właściwości użytkowe

1. Ładunek kumulacyjny liniowy w części roboczej nacinacza detonuje od zapalnika elektrycznego naftowego typu ZEN-150 lub lontu detonującego LDT-RDX-150 z przekaźnikiem lontowym PLD-H.
2. Odporność na wysokie temperatury wynosi: 2 h w temperaturze 150°C, 48 h w temperaturze 125°C i 100 h w temperaturze 115°C.
3. Odporność na ciśnienie: 60 MPa.
4. Maksymalny okres magazynowania: 18 miesięcy od daty produkcji w temperaturach od -10°C do 30°C.



NACINACZ KUMULACYJNY ŁKN-150-60-D/M

D – średnica zewnętrzna nacinacza w [mm], M – długość cięcia w [mm]

Rys. 7. Schemat i opis konstrukcji nacinacza kumulacyjnego ŁKN-150-60-D/M

Oznaczenia: 1 – przewód strzałowy, 2 – osłona/kołpak ładunku z uchem do zapinania kabla karotażowego – strzałowego, 3 – zapalnik elektryczny naftowy (świeczozapalnik, typ ZEN-150), 4 – głowica nośna (górna) nacinacza, 5 – magnesy pozycjonujące, 6 – uszczelki o-ring, 7 – liniowy ładunek kumulacyjny (główny element roboczy urządzenia: np. ładunek typu ŁKL-16/80, odcinek 180 mm, nominalna masa MW – 14,4 g), 8 – obudowa/osłona ładunku liniowego, 9 – korpus (osłona rurowa, np. o średnicy 34 mm, jak dla całego urządzenia), 10 – głowica zamykająca (korek dolny), 11 – śruby/wkręty zabezpieczające, 12 – kołki ustalające.

### Test sprawnościowy nacinacza typu ŁKN-150-60-34/150

Testy sprawnościowe nowego typu urządzenia do przywracania cyrkulacji w odwiercie przeprowadzono w warunkach otworowych. Zastosowano w nich nacinacz kumulacyjny typu ŁKN-150-60-34/150, który szczegółowo przedstawiono wcześniej.

Zabieg z powodzeniem został wykonany przez Bazę Geofizyki w Krośnie na otworze T-14.

Na rysunku 8 przedstawiono widok nacinacza typu ŁKN-150-60-34/150 przed zapuszczeniem do otworu

(zdjęcie górne) i widok pozostałości nacinacza po zabiegu (zdjęcie dolne).

Widoczny na rysunku 8 nacinacz wyjęty po zabiegu z otworu nie ma już dolnej części korpusu. Część robocza urządzenia na odcinku ładunku liniowego uległa fragmentacji i spaleni. Świadczy to o zadziałaniu urządzenia w odwiercie, detonacji ładunku liniowego i wykonaniu cięcia. Po zabiegu została wyjęta z otworu górna część nacinacza – głowica nośna wraz z łącznikiem rurowym (obciążnikiem) zawieszenia.



Rys. 8. Widok nacinacza typu ŁKN-150-60-34/150 przed zapuszczeniem do otworu (powyżej) i widok pozostałości nacinacza po zabiegu (poniżej)

### Podsumowanie

W wyniku cyklu wykonanych prac koncepcyjnych, symulacyjnych, konstrukcyjnych i strzelań poligonowych, opracowano urządzenie narzędziowe wykorzystujące materiały wybuchowe do realizacji prac instrumentacyjnych i ratunkowych w otworach wiertniczych, pozwalające odzyskiwać cyrkulację płynów roboczych.

Urządzenie, zaprojektowane początkowo do przewodu rurowego o średnicy 2 3/8 cala, może być z łatwością przystosowane do wykonywania prac w przewodach rurowych o innych (większych) średnicach; w istocie zostało dopuszczone do stosowania w górnictwie naftowym do całego typoszerokiego średnic przewodów rurowych/rur wydobywczych.

Obliczenia symulacyjne, poprzedzające wykonanie prototypu sprawdzanego później praktycznie na poligonie i w zabiegu

przemysłowym, wykonywano przy założeniu grubości ścianek 10 mm; pozwala to na użycie opracowanego nacinacza nie tylko w przewodzie wydobywczym, ale także do odzyskiwania cyrkulacji utraconej w przewodzie wiertniczym, rozszerzając zakres stosowania urządzenia na różne awarie wiertnicze.

Oprócz użycia do odzyskiwania utraconej cyrkulacji w przewodach rurowych wykorzystywanych w górnictwie naftowym, nacinacz – z uwagi na możliwość dostosowywania w szerokim zakresie, tak pod kątem średnic zewnętrznych, jak i długości roboczej ładunku liniowego, można z powodzeniem stosować jako odpowiednik urządzenia typu *split-shot*. Narzędzie to jest szeroko rozpowszechnione na świecie i stosowane w pracach usuwających awarie polegających na nacinaniu połączeń gwintowych przewodu wiertniczego.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 12, s. 891–898

Artykuł nadesłano do Redakcji 23.09.2014 r. Zatwierdzono do druku 15.10.2014 r.

### Literatura

[1] Adamik V., Wilk Z.: *Numerical simulations of oil-well perforator 3D Lagrangian LS-Dyna code*. New Trends in Research

of Energetic Materials – NTRM 2005, Part II, Pardubice 2005, pp. 421–427.

- [2] ANSYS AUTODYN User's manual ver. 13, November 2010.
- [3] Habera L.: *Malosrednicowe perforatory do zabiegów perforacji przez rury wydobywcze*. Nafta-Gaz 2009, nr 3, s. 235–242.
- [4] Habera L., Koslik P., Paplinski A., Wilk Z.: *Laserowe inicjowanie detonacji perforatora – badania w zbiorniku balistycznym*. Nafta-Gaz 2012, nr 12, s. 1012–1017.
- [5] Jach K., Swierczynski R., Wilk Z.: *Modelling of Perforation Process of Wellbore Pipes of Geological Wells Using Shaped Charges*. Journal of Technical Physics 2004, vol. 45, no. 1, pp. 31–54.
- [6] Jach K., Swierczynski R., Wilk Z.: *Modelowanie działania ładunków kumulacyjnych w odwiertach geologicznych*. IV Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa, Waplewo 9–11.10.2002, s. 101–102.
- [7] Koslik P., Wilk Z., Witkowski W.: *Numerical simulations of linear shaped charge cutting using 3D LS-Dyna code*. New Trends in Research of Energetic Materials – NTRM, Pardubice 2009, pp. 672–677.
- [8] Koslik P., Wilk Z.: *Badania optymalizacyjne ładunków kumulacyjnych z wykorzystaniem metod numerycznych LS-Dyna. Etap II – liniowe ładunki kumulacyjne*. Sprawozdanie z pracy badawczej – statut EMC 053900013, IPO Warszawa/Krupski Młyn 2009.
- [9] LS-DYNA Keyword User's Manual Version 970, Livermore Software Technology Corporation, April 2003.



Mgr inż. Piotr KOŚLIK  
Specjalista badawczo-techniczny w Instytucie Przemysłu Organicznego w Warszawie Oddział w Krupskim Młynie.  
ul. Zawadzkiego 1  
42-693 Krupski Młyn  
E-mail: [piotr.koslik@ipo.waw.pl](mailto:piotr.koslik@ipo.waw.pl)



Dr inż. Zenon WILK  
Adiunkt, Kierownik Oddziału Instytutu Przemysłu Organicznego w Krupskim Młynie.  
ul. Zawadzkiego 1  
42-693 Krupski Młyn  
E-mail: [zenon.wilk@ipo.waw.pl](mailto:zenon.wilk@ipo.waw.pl)



Mgr inż. Antoni FRODYMA  
Główny specjalista inżynierjno-techniczny; kierownik Zakładu Techniki Strzelniczej.  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25A  
31-503 Kraków  
E-mail: [antoni.frodyma@inig.pl](mailto:antoni.frodyma@inig.pl)



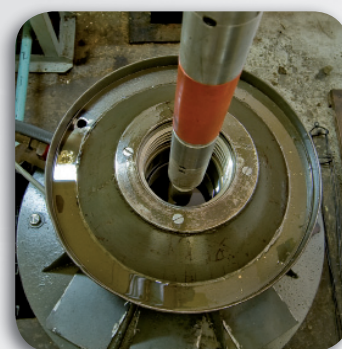
Dr inż. Łukasz HABERA  
Adiunkt w Zakładzie Techniki Strzelniczej.  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25A  
31-503 Kraków  
E-mail: [lukasz.habera@inig.pl](mailto:lukasz.habera@inig.pl)

## OFERTA

### ZAKŁAD TECHNIKI STRZELNICZEJ

Zakres działania:

- konstrukcja urządzeń strzelniczych przeznaczonych do udostępniania poziomów ropo- i gazonośnych;
- opracowywanie technologii i metod prowadzenia prac udostępniających przy wykorzystaniu własnych rozwiązań konstrukcyjnych sprzętu strzelniczego;
- konstrukcja urządzeń strzelniczych przeznaczonych do prac specjalnych i ratunkowych w otworach wiertniczych (korki detonacyjne, ładunki o działaniu pionowym, obcinacze rur okładzinowych i płuczkowych);
- przywracanie cyrkulacji w odwiercie – uwalnianie przewodu wiertniczego;
- intensyfikacja oraz stymulacja przyływów medium do odwiertu (szczelinowanie strefy przyotworowej złoża prochowymi generatorami ciśnienia);
- badania atestacyjno-wytrzymałościowe sprzętu strzałowego;
- małoseryjna produkcja urządzeń strzelniczych (perforatory, korki detonacyjne, obcinacze do rur).



**Kierownik:** mgr inż. Antoni Frodyma  
**Adres:** ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków  
**Tel:** 12 617-74-73  
**Faks:** 12 653-16-65  
**E-mail:** [antoni.frodyma@inig.pl](mailto:antoni.frodyma@inig.pl)

