

Łukasz Habera, Antoni Frodyma  
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Zenon Wilk, Piotr Koślik  
Instytut Przemysłu Organicznego Warszawa, Oddział Krupski Młyn

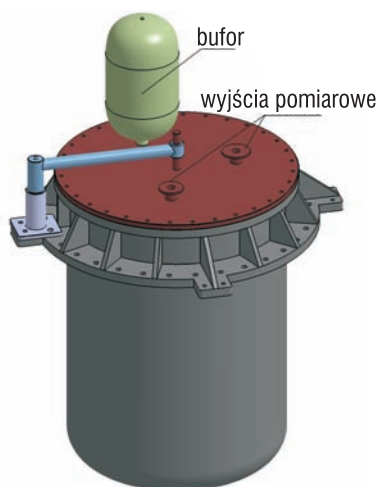
## Badania poligonowe zapłonu paliw prochowych stosowanych w perfogeneratorach

Metoda dynamicznego oddziaływania na złożę przy użyciu materiałów wybuchowych i paliw wysokoenergetycznych jest technicznie możliwa do wykonania za pomocą kompleksowego urządzenia zwanego perfogeneratorem. Niniejszy artykuł przedstawia wyniki wariantowych badań kluczowego parametru pracy perfogeneratora, jakim jest zdolność inicjowania paliwa strugą kumulacyjną materiału wybuchowego, dedykowanego dla procesu perforacji. W sensie technologicznym perfogenerator wykonuje jednocześnie dwa zabiegi: (1) perforacji otworu wiertniczego i (2) szczelinowania gazowej formacji przyotworowej. Niewątpliwą zaletą perfogeneratora, jaką jest możliwość wykonania dwóch różnych zabiegów jednym urządzeniem, w jednym marszu technologicznym, ma uzasadnienie w podstawach teorii mechaniki wybuchu, która mówi, iż spalanie paliwa wysokoenergetycznego zachodzi o trzy rzędy wielkości wolniej niż proces eksplozji materiału

wybuchowego. Dlatego odpalony perfogenerator generuje strumień kumulacyjny, który, wdzierając się w matrycę skalną, uprzednio inicjuje proces spalania paliwa [1, 2, 3].

W artykule przedstawiono technikę oraz wyniki badań zapłonu paliw wysokoenergetycznych przeznaczonych do perfogeneratorów, przeprowadzonych w komorze ciśnieniowej. Budowa zbiornika oraz jego umiejscowienie zostały tak skonstruowane i dobrane, by zapewnić maksimum bezpieczeństwa pracy. Poniższe zdjęcie przedstawia widok zbiornika oraz jego umiejscowienie (rys. 1).

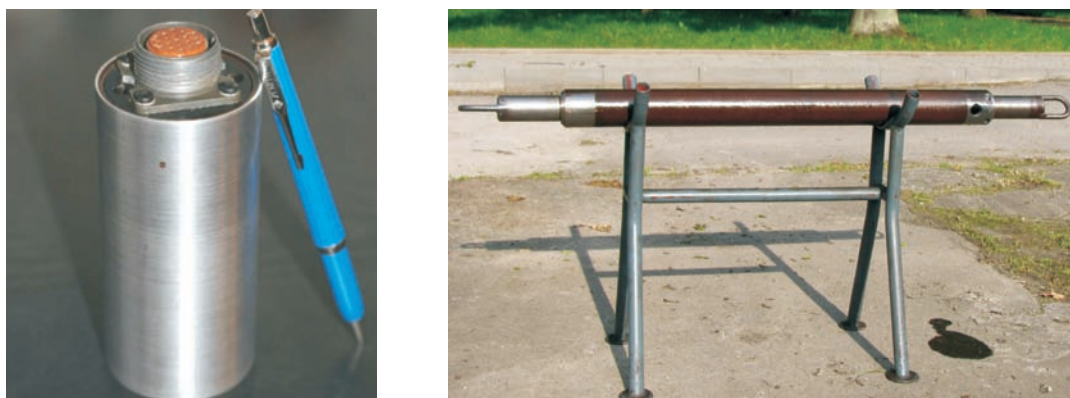
Rejestracji podstawowych parametrów, tj. ciśnienia oraz temperatury, dokonano za pomocą specjalnie do tego celu wykonanego układu rejestrującego (rys. 2). Rejestrator umieszczono w rurze, która docelowo ma być jednym z modułów perfogeneratora. Moduł rejestrujący służyłby do wykonywania pomiarów w warunkach naturalnych (złożowych).



Rys. 1. Widok zbiornika ciśnieniowego do badań paliw

Podstawowe cechy rejestratora to:

- cztery niezależne tory pomiarowe dla sygnałów 0÷5 V,
- zapisywane przebiegi analogowe powstają poprzez digitalizację sygnałów z czujników z krokiem czasowym 250  $\mu$ s i 8-bitową rozdzielczością amplitudy (256 poziomów kwantyzacji),
- możliwość zapisu przebiegów o czasie narastania  $t < 1$  ms i sumarycznym czasie zapisu 32 s,
- wizualizacja i archiwizacja zapisanych sygnałów za pomocą oscyloskopu cyfrowego; możliwość



Rys. 2. Rejestrator ciśnienia i temperatury wraz z obudową (fot. A. Frodyma)

odtworzenia zapisów bezpośrednio w warunkach polowych, po wymontowaniu modułu rejestratora z jego obudowy,

- uruchamianie zapisu następuje impulsem strzałowym, przekazywanym poprzez sprzężenie indukcyjne na obwód startowy,
  - odporność termobaryczna: 100 MPa/130°C,
  - pomiar ciśnienia za pomocą czujnika piezoelektrycznego o zakresie przetwarzania do 100 MPa,
  - pomiar temperatury,
  - zamknięcie modułu w obudowie chroniącej go przed ciśnieniem statycznym i dynamicznym w trakcie zabiegu, zapewniające również przejście dla linii strzałowej.
- Badania przewidywały testy, w których rejestrator umieszczany był zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz zbiornika.

Doświadczenia przewidywały próby zapłonu paliw za pomocą ładunku kumulacyjnego (strumieniem kumulacyjnym) oraz za pomocą lontu detonującego (LD). Badania te przeprowadzono w kilku wariantach:

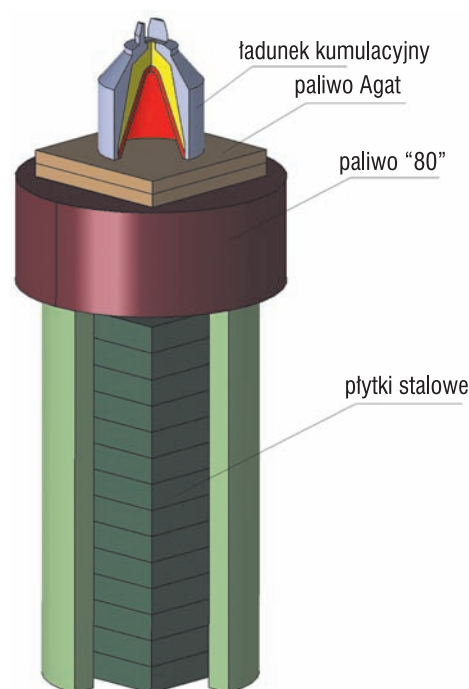
- wykonanie rejestracji ciśnień spalania paliwa zainicjowane strumieniem kumulacyjnym (ŁK),
- wykonanie rejestracji ciśnienia spalania paliwa fi 40 w osłonie stalowej zainicjowane lontem detonującym,
- wykonanie rejestracji ciśnień spalania paliwa złożonego fi 40 i 80 zainicjowane lontem detonującym.

Inicjowanie paliwa za pomocą strumienia kumulacyjnego wykonano w dwóch układach.

Układ pierwszy (rys. 3) składał się z płytek stalowych umieszczonych w rurze stalowej, na której znajdowały się kolejno paliwa:

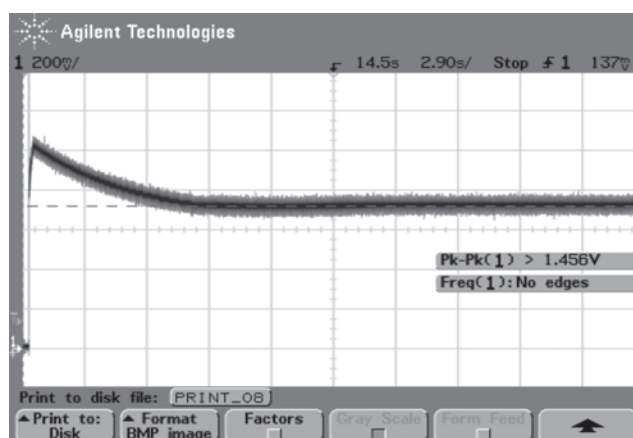
- paliwo „80”, o masie 250 gramów,
- paliwo „Agat”, o masie 50 gramów.

Bezpośrednio na paliwie znajdował się ładunek kumulacyjny, inicjowany za pomocą zapalnika elektrycznego.



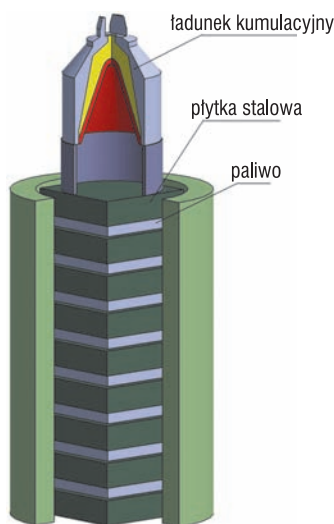
Rys. 3. Układ badawczy z ładunkiem kumulacyjnym

W próbie tej zaobserwowano pełne spalanie paliwa oraz dokonano rejestracji ciśnienia (rys. 4).



Rys. 4. Profil ciśnienia

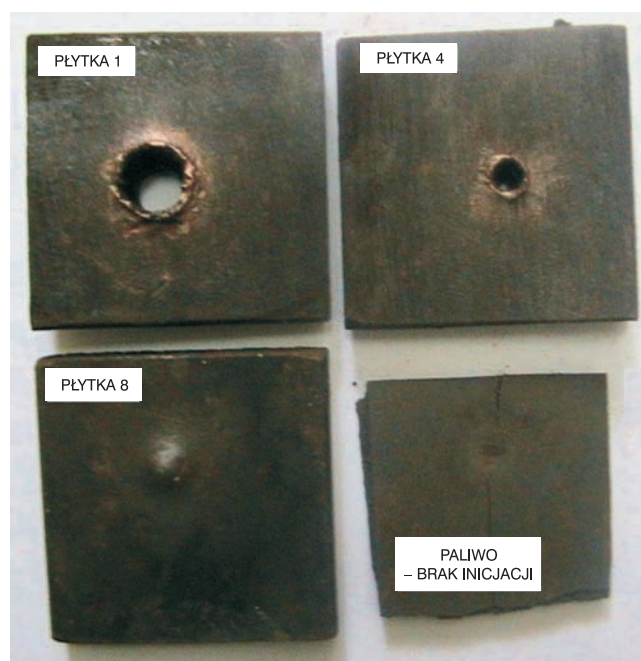
W próbie drugiej (rys. 5) wykonano inicjację paliwa typu Szmaragd, o łącznej masie 190 g, strumieniem kumulacyjnym.



Rys. 5. Układ badawczy z wkładką kumulacyjną – próba druga

W tym celu użyto ładunek typu LK 33 w osłonie polipropylenowej. Paliwo było przekładane na przemian z płytką stalową o grubości 10 mm.

Zaobserwowano graniczną liczbę płytek paliwa zainicjowanych strumieniem kumulacyjnym. Strumień kumulacyjny przebił kolejno siedem płytek stalowych, zatrzymując się na ósmej. W tym czasie zainicjował siedem warstw paliwa, natomiast na ósmej dokonał delikatnego wgłębienia (rys. 6). Zarejestrowany profil ciśnienia przedstawia rysunek 7.



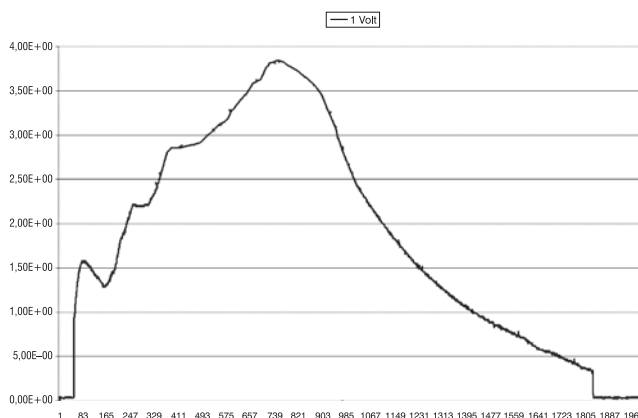
Rys. 6. Widok płytek stalowych oraz paliwa

Kolejne trzy próby inicjowania paliwa wykonano za pomocą lontu detonującego (LD), w układzie przedstawionym na rysunku 8.

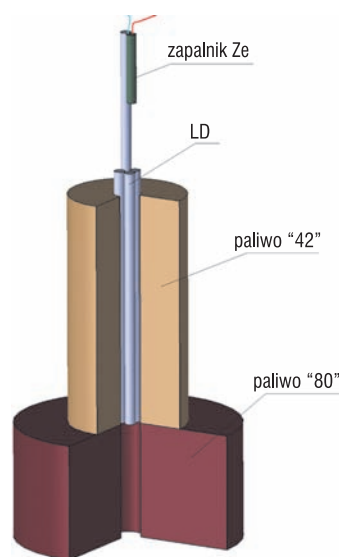
Kolejne próby obejmowały inicjację paliwa:

- „42” o masie 214 gram oraz paliwo „80” o masie 334 gramów,
- „42” o masie 193 gram oraz paliwo „80” o masie 292 gramów,
- „42” o masie 186 gram oraz paliwo „80” o masie 290 gramów.

Zaobserwowano pełne spalanie próbek oraz dokonano rejestracji ciśnienia. Profil ciśnienia wszystkich prób inicjacji ciśnienia; zarówno od ładunku kumulacyjnego, jak i od LD, przedstawia wykres na rysunku 9.

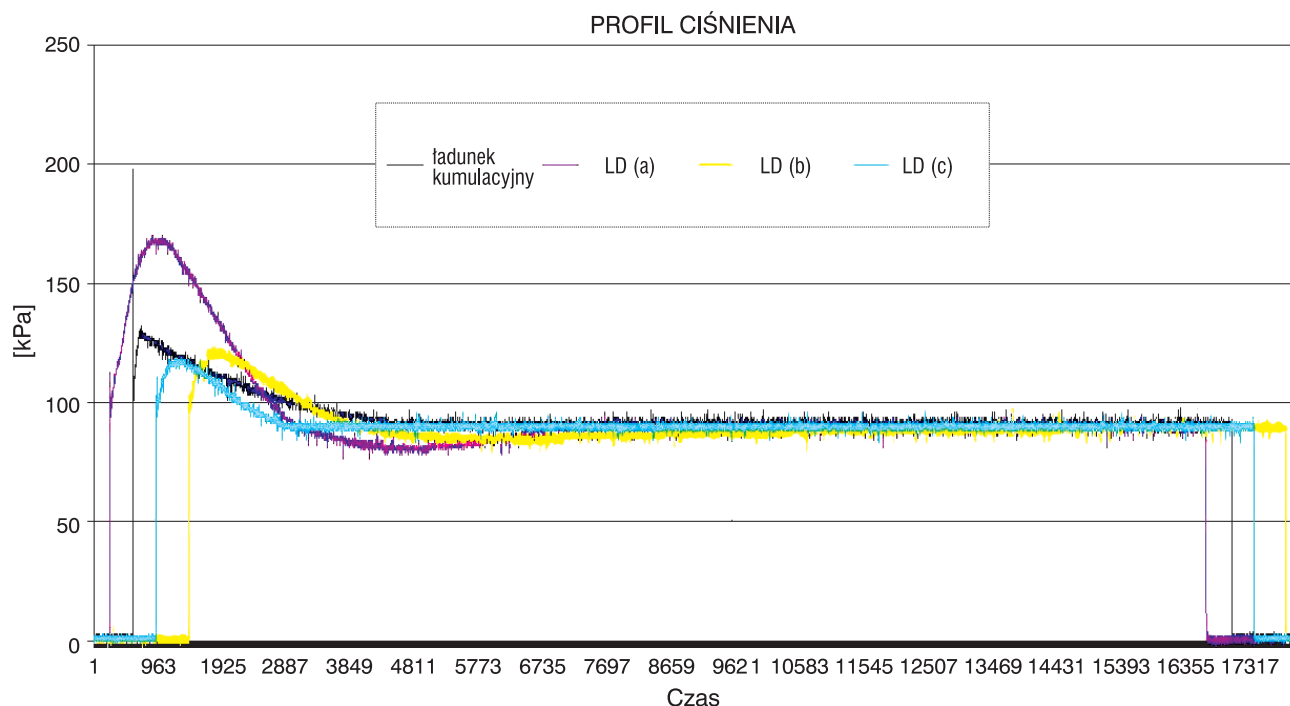


Rys. 7. Profil ciśnienia



Rys. 8. Układ badawczy – paliwo złożone (fi 42 i 80)





Rys. 9. Profil ciśnienia spalania paliwa od ŁK oraz LD

### Wnioski

Zaobserwowano inicjację oraz spalanie paliwa za pomocą lontu detonującego, jak i strumienia. Podczas inicjacji od strumienia kumulacyjnego obserwuje się graniczną

energię, od której zachodzi zapalenie paliwa. Najwyższy przyrost ciśnienia wynikający ze spalania paliwa obserwuje się podczas inicjacji od strumienia kumulacyjnego.

### Literatura

- [1] Florczak B., Witkowski W.: *Perspektywy rozwoju stałych heterogenicznych paliw raketowych*. Materiały konferencyjne IPOEX, 2007.
- [2] Leciejewski Z.: *Analiza i ocena poprawności metod badań pirostatycznych prochów jedno- i dwubazowych*. Wydawnictwo WAT, Warszawa 2008.
- [3] Schatz J.F., Haney B.L., Ager S.A.: *High-speed downhole memory recorder and software used to design and confirm perforating/propellant behavior and formation fracturing*. SPE 56434, październik 1999.



Mgr inż. Łukasz HABERA – ukończył Wydział Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie, absolwent Studium Doktoranckiego w AGH, Asystent w zakładzie Techniki Strzelniczej INiG. Zajmuje się projektowaniem sprzętu strzałowego i technologią wykorzystania materiałów wysokoenergetycznych w przemyśle naftowym.



Mgr inż. Antoni FRODYMA – absolwent Wydziału Wiertniczo-Naftowego AGH w Krakowie. Kierownik Zakładu Techniki Strzelniczej Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Zajmuje się konstruowaniem sprzętu strzałowego do otworów wiertniczych i technologią jego stosowania. Współautor kilku patentów i wzorów użytkowych.



Dr inż. Zenon WILK – absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej, specjalność Przetwarzanie i Użytkowanie Energii. Studia podyplomowe: Chemia – Technologia Materiałów Wybuchowych. Kierownik Oddziału Instytutu Przemysłu Organicznego w Krupskim Młynie. Realizował wiele projektów w zakresie materiałów wybuchowych dla górnictwa otworowego.



Mgr inż. Piotr KOŚLIK – specjalista badawczo-techniczny w Instytucie Przemysłu Organicznego w Warszawie, Oddział w Krupskim Młynie. Zajmuje się badaniami poligonowymi materiałów wybuchowych stosowanych w ładunkach kumulacyjnych perforatorów oraz modelowaniem numerycznym zjawiska wybuchu i spalania paliw wysokoenergetycznych stosowanych w przemyśle naftowym.