

**Antoni Iskra**  
**Jarosław Kałużny**  
**Maciej Babiak**  
**Konrad Marszałkowski**  
**Politechnika Poznańska**

## **INNOWACYJNA KONSTRUKCJA UTLENIAJĄCEGO REAKTORA KATALITYCZNEGO UWZGLĘDNIAJĄCA UDZIAŁ WĘGLOWODORÓW W SPALINACH**

### **STRESZCZENIE**

Obserwowany wzrost świadomości ekologicznej leży u podstaw inicjatyw mających na celu prawne zagwarantowanie ograniczenia uciążliwości dla środowiska wszelkich pojazdów z silnikami spalinowymi. Zaostrzenie norm emisji spalin wymusza poszukiwanie nowych rozwiązań technicznych, szczególnie w zakresie układów oczyszczania spalin. W artykule przedstawiono koncepcję utleniającego reaktora katalitycznego z użyciem nanomateriałów. Naniesienie nanorurek węglowych na standardowy nośnik ceramiczny umożliwia zwiększenie powierzchni kontaktu warstwy katalitycznej ze spalinami przy ograniczeniu ilości kosztownego metalu szlachetnego zastosowanego do produkcji reaktora. Przedstawione w artykule wyniki badań emisji spalin przeprowadzonych na nowoczesnym silniku pojazdu użytkowego o zapłonie samoczynnym, z zastosowaniem opisanego innowacyjnego reaktora katalitycznego, potwierdzają możliwość uzyskania wymienionych wyżej, teoretycznie przewidzianych korzyści.

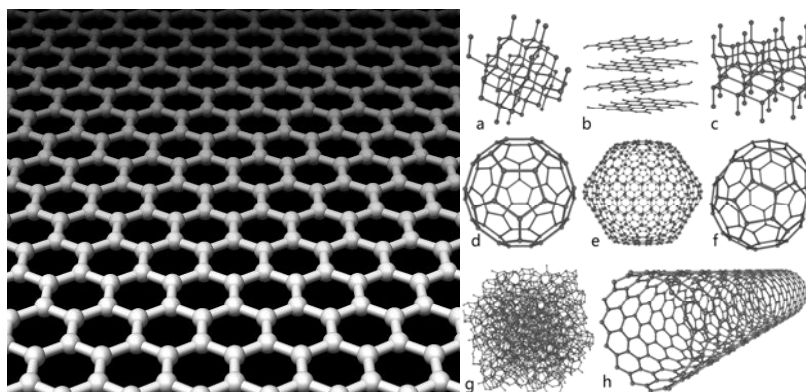
#### Słowa kluczowe:

utleniający reaktor katalityczny, nanorurki węglowe.

### **WSTĘP**

Nanotechnika powszechnie uważana jest za jedną z kluczowych technik XXI wieku. Jej szczególna pozycja wynika z niektórych wyjątkowych właściwości nanomateriałów — mechanicznych, elektrycznych, cieplnych i optycznych, zupełnie

odmiennych od właściwości konwencjonalnych materiałów konstrukcyjnych. Nanomateriały węglowe tworzą sieci krystaliczne o skrajnie ograniczonej koncentracji defektów. Zorganizowaną strukturę krystaliczną wytworzoną przez atomy węgla ułożone w płaszczyźnie tworzącej grafen przedstawiono na rysunku 1., obok schematycznie zaprezentowano wszystkie odmiany alotropowe węgla. Zrolowany grafen tworzy nanorurkę węglową. Literatura dostarcza ciekawych przykładów zastosowań nanorurek [1, 4, 5], również do budowy reaktorów katalitycznych umożliwiającą konwersję gazów [2].



Rys. 1. Struktura grafenu na tle pozostałych odmian alotropowych węgla (a — h, z prawej)  
 Źródło: opracowanie własne.

Autorzy niniejszego artykułu uznali, że celowe jest sprawdzenie przydatności nanorurek węglowych zastosowanych jako nośnik reaktora katalitycznego w układzie wylotowym silnika spalinowego.

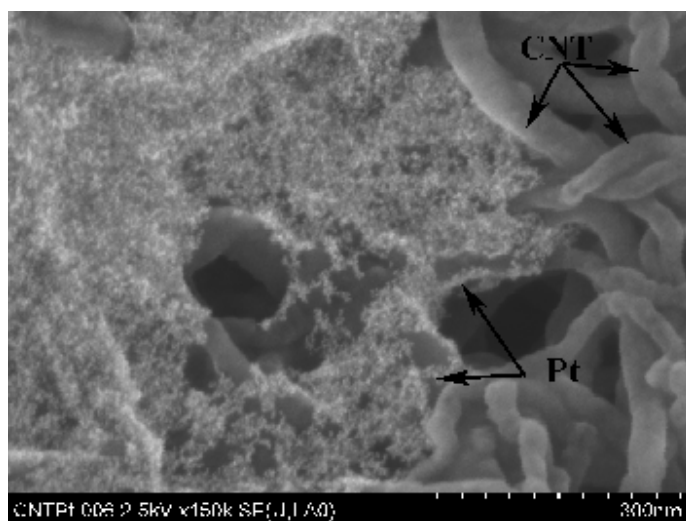
## BADANIA WSTĘPNE PROTOTYPU REAKTORA NANORURKOWEGO W WARUNKACH HAMOWNI SILNIKOWEJ

Autorzy zbudowali reaktor badawczy, którego bazę stanowi standardowy nośnik ceramiczny, na który naniesiono pełniące funkcję warstwy pośredniej nanorurki, ostatecznie pokryte punktowo nanocząstkami platyny o średnicy 4 nm. Do reaktora badawczego kierowana jest jedynie część strumienia spalin, co wynika z jego ograniczonej średnicy wynoszącej 84 mm, przy długości nośnika równej około 20 mm i gęstości kanalików wynoszącej 400 cpsi. Badawczy reaktor katalityczny nanorurkowy

przygotowano w Katedrze Techniki Ciepłej Politechniki Poznańskiej w ramach międzynarodowej współpracy z Boston College w USA oraz Hahn-Meitner-Institut w Berlinie. Typowy obraz powierzchni aktywnej prototypowego reaktora pokazany jest na rysunku 2. Bliższe informacje dotyczące procesu wzrostu rurek węglowych można znaleźć w publikacji K. Kempy [3].

Badania stopnia konwersji wybranych składników toksycznych spalin przeprowadzone zostały w laboratorium zakładu silników spalinowych. Do badań wykorzystano silnik Volkswagen TDI o kodzie AXE. Badanie składu spalin przeprowadzono za pomocą analizatora spalin TESTO 360. Widok hamowni silnikowej z silnikiem Volkswagen TDI, analizatorem spalin TESTO oraz reaktorem badawczym przedstawiono na rysunku 3.

Zbudowany badawczy reaktor katalityczny z nanorurkową warstwą pośrednią nie może oczywiście być traktowany jako w pełni funkcjonalne urządzenie, o cechach umożliwiających zastosowanie go w istniejącej formie w produkowanych samochodach. Zarówno stopień konwersji spalin, jak i opór przepływu miałyby nieakceptowane wartości chociażby ze względu na ograniczone gabaryty nośnika. Autorom zależało jednak na sprawdzeniu, czy zbudowany reaktor w ogóle działa, a także wyciągnięciu pierwszych wniosków.



Rys. 2. Nanorurki węglowe (CNT) pokryte nanocząstkami platyny (Pt) — rzeczywisty obraz powierzchni kontaktu ze spalinami prototypowego reaktora, uzyskano go za pomocą mikroskopu skaningowego

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Hamownia silnikowa, stanowisko do badań konwersji reaktora katalitycznego

Źródło: zdjęcie wykonane przez autorów.

Wstępne badania, których wyniki prezentowane są w tabeli 1., przeprowadzono dla kilku punktów pracy silnika w zakresie najczęściej występujących w przeciętnych warunkach eksploatacji obciążeniach. W przyjętej koncepcji badań strumień spalin po opuszczeniu silnika ulegał rozdzielaniu na dwie części — przepływającą przez reaktor badawczy i przez standardowy reaktor utleniający stosowany przez producenta silnika. Pomiarów składu spalin w zakresie stężeń CO dokonano przed reaktorami oraz równoległe za reaktorem badawczym i reaktorem standardowym.

Tabela 1. Stopień konwersji reaktorów badawczych

Kolejny punkt pracy silnika	Prędkość obrotowa silnika	Dawka paliwa	Temperatura spalin za turbiną	Ciśnienie absolutne za sprężarką	CO przed reaktorem	CO za reaktorem bad./standard.
–	[obr/min]	[mg/wtrysk]	[°C]	[mbar]	[ppm]	[ppm]
1	2000	25	451	1560	85	14/15
2	2000	15	388	1245	178	4/5
3	800	6	118	1050	128	115/5

Źródło: opracowanie własne.

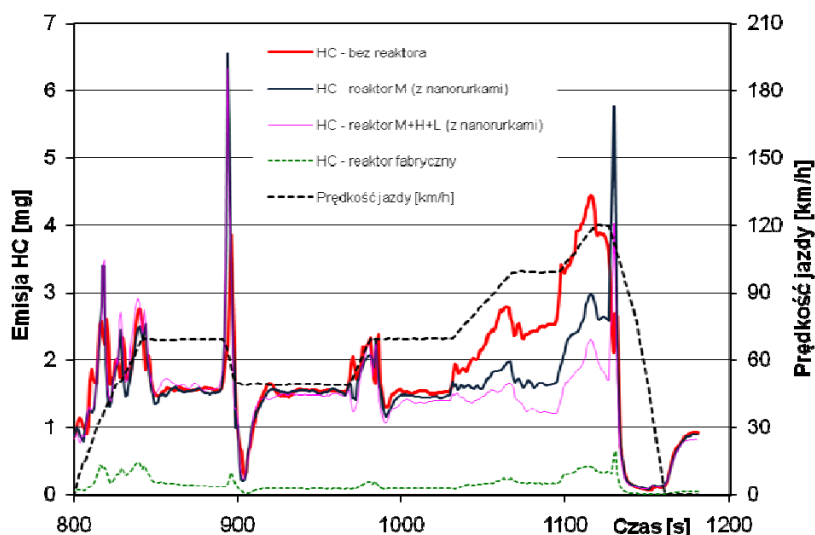
Przedstawione w tabeli 1. wyniki uzyskano dla reaktora badawczego złożonego z trzech segmentów oznaczonych w badaniach kodami E-D-C, o średnicy 84 mm i łącznej długości równej około 69 mm. Prezentowane wyniki pomiarów stopnia konwersji tlenku węgla są w zakresie średnich obciążeniach silnika lepsze niż w przypadku reaktora standardowego.

## TEST NEDC DLA NANORURKOWEGO REAKTORA PEŁNEGO PRZEPLYWU

Badania przeprowadzono na samochodzie Fiat Panda MultiJet z silnikiem 1,3 SDE. Integralną część silnika stanowi reaktor katalityczny typu close-coupled. Badania emisji związków szkodliwych spalin wykonano zgodnie z wymogami Regulaminu EKG ONZ 83.05/B oraz Dyrektywy 70/220/EWG z późniejszymi zmianami, aż do Dyrektywy 203/76/WE w zakresie Próby Typu I według testu jezdny NEDC.

Na rysunku 5. przedstawiono analizę modalną emisji spalin podczas pozamiejskiej części testu NEDC, od 800 sekundy od chwili uruchomienia zimnego silnika. Na wykresie przedstawiono przykładowo emisję węglowodorów, oddzielnie dla reaktora badawczego i standardowego oraz emisję przed reaktorem.

Wyniki testu w warunkach hamowni podwoziowej potwierdzają spostrzeżone wcześniej prawidłowości. Reaktor badawczy zaczyna obniżać emisję HC dopiero w końcowej części testu, około 1030 sekundy od rozruchu silnika, po przekroczeniu prędkości jazdy 70 km/h. Reaktor oryginalny utlenia związki zawarte w spalinach od samego początku testu NEDC i dlatego w całym teście umożliwia osiągnięcie stopni konwersji przynajmniej czterokrotnie wyższych od reaktorów nanorurkowych.



Rys. 5. Emisja HC podczas fazy EUDC testu NEDC dla samochodu FIAT Panda 1,3 Multijet z zamontowanymi kolejno różnymi wersjami reaktorów katalitycznych

Źródło: opracowanie własne.

## WNIOSKI

W artykule przedstawiono wyniki wstępnych pomiarów stopnia konwersji reaktora katalitycznego utleniającego, powstałego przez pokrycie standardowego nośnika ceramicznego warstwą nanorurek, na które naniesiono punktowo cząstki platyny o średnicy od 2,5 do 5 nm. Wykorzystano tym samym właściwość nanorurek polegającą na szczególnie korzystnym stosunku pola powierzchni do zajmowanej objętości, pozwalającą zwiększyć powierzchnię kontaktu katalizatora, którym jest platyna ze spalinami. Zaproponowano radykalne zmniejszenie ilości platyny naniesionej na ścianki reaktora — każdy z badanych nośników reaktorów nanorurkowych pokryty był platyną w ilości nieprzekraczającej 20 mg, przy czym współczesne standardowe reaktory utleniające zawierają około 3 g platyny.

W licznych seriach badawczych, przeprowadzonych na różnych silnikach, w różnych laboratoriach, potwierdzono, że zaproponowany reaktor nanorurkowy może w pewnych warunkach zapewniać stopnie konwersji porównywalne z reaktorami oryginalnymi nowoczesnych silników. Jednocześnie reaktor, w zaproponowanej pierwotnej postaci, wykazuje niekorzystne cechy niskotemperaturowe.

Sukcesem opisanego projektu jest wykazanie, że nanorurki węglowe mogą stanowić element struktury reaktora katalitycznego i nie ulegają zniszczeniu w normalnych warunkach pracy reaktora. W ocenie autorów uzyskane wyniki potwierdzają teoretycznie przewidziane korzyści wynikające z opisanego zastosowania nanomateriału i stanowią pierwszy krok w procesie optymalizacji.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Gebhard A., Knör N., Hauptert F., Schlarb A., *Nanopartikelverstärkte Hochleistungsthermoplaste für extreme tribologische Belastungen im Automobilbau*, 'Tribologie und Schmierungstechnik', 2008, No 4.
- [2] Jing Li, Cinke M., Wignarajah K., Fisher J., Partridge H., *Impregnation of Catalytic Metals in Single-Walled Carbon Nanotubes for Toxic Gas Conversion in Life Support System*, SAE, 2004-01-2492.
- [3] Kempa K., *Photonic crystals based on periodic arrays of aligned carbon nanotubes*, NANO LETTERS 3 1, 2003, pp. 13–18.
- [4] Mazurkiewicz A., *Nanonauki i nanotechnologie. Stan i perspektywy rozwoju*, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji — PIB w Radomiu, 2007.
- [5] Verpoort C., Schlaefer T., *Thermal Spraying of Nano-Crystalline Coatings for Al-Cylinder Bores*; SAE 2008-01-1050.

## **INNOVATIVE DESIGN OF OXIDIZING CATALYTIC CONVERTER WHICH TAKES INTO CONSIDERATION HYDROCARBONS FRACTION IN THE EXHAUST GAS**

### **ABSTRACT**

The rise in ecological awareness underlines the initiatives which aim at providing legal guarantee for limitation of negative effect of all internal combustion engine vehicles on the natural environment. More restrictive emissions standards require a search for new technological solutions and designs especially in the field of exhaust gas purifying systems. The paper presents a concept of new oxidizing catalytic converter based on nanomaterials. The carbon nanotubes coating of the standard ceramic carrier allows increasing the contact area of exhaust gas with catalytic layer while reduction of the noble metals used to build a reactor. The results of experimental investigations, presented in the paper, which were carried out on modern vehicle CI engine with the innovative catalytic converter confirm the possibility of obtaining the theoretical benefits mentioned above.

Keywords:

oxidizing catalytic converter, carbon nanotubes.