

Artur JAWORSKI  
Hubert KUSZEWSKI  
Kazimierz LEJDA  
Adam USTRZYCKI  
Paweł WOŚ

PTNSS–2013–SC–107

## The effect of adding gasoline to diesel fuel on its self-ignition properties

*Abstract: The aim of the researches presented in this paper was to determine the effect of some volume fractions of gasoline in the diesel fuel on the self-ignition properties for such prepared fuel. As a measure of the susceptibility of fuel to self-ignition derived cetane number was used. The measurement of derived cetane number (DCN) and self-ignition delay period, was made with a device enabling combustion in constant volume chamber. The results were compared with the legislative and standard requirements for diesel fuel.*

Keywords: diesel fuel, fuel injection, derived cetane number, self-ignition delay period

### Wpływ dodatku benzyny na właściwości samozapłonowe oleju napędowego

*Streszczenie: Celem badań, których wyniki zamieszczono w niniejszym artykule jest określenie wpływu wybranych udziałów objętościowych benzyny silnikowej w oleju napędowym na właściwości samozapłonowe tak przygotowanego paliwa. Jako miara skłonności paliwa do samozapłonu wykorzystana została pochodna liczba cetanowa. Pomiaru pochodnej liczby cetanowej (DCN), a także okresu opóźnienia samozapłonu, dokonano przy użyciu aparatu umożliwiającego spalanie w komorze o stałej objętości. Wyniki oznaczeń porównano z wymaganiami legislacyjnymi i normatywnymi, jakim podlega olej napędowy.*

Słowa kluczowe: olej napędowy, wtrysk paliwa, pochodna liczba cetanowa, okres opóźnienia samozapłonu

### 1. Wstęp

Rozwój silników o zapłonie samoczynnym z bezpośrednim wtryskiem paliwa wynika głównie z uwarunkowań ekologicznych. Jednocześnie, coraz większa uwaga przywiązywana jest do jakości paliw, którymi zasilany jest silnik. Jednym z istotnych czynników determinujących emisję toksycznych składników spalin przez silniki o zapłonie samoczynnym jest skład chemiczny i właściwości oleju napędowego (ON). Wszelkie zanieczyszczenia oleju napędowego, w tym paliwami innego rodzaju, powodują zmianę parametrów paliwa i przez to mogą zakłócać przebieg procesu spalania, a tym samym przyczyniać się do wzrostu emisji toksycznych składników spalin.

Do głównych zanieczyszczeń wewnętrznych ON zalicza się substancje asfaltowo-żywiczne oraz siarkę i jej związki [1].

Zanieczyszczenia zewnętrzne generowane są natomiast na etapie produkcyjnym i wynikają np. z jakości surowca oraz instalacji. W tej grupie zanieczyszczeń znajdują się również te o charakterze dystrybucyjnym, które przedostają się do paliwa z atmosfery, wewnętrznych powierzchni zbiorników magazynowych, środków transportu (cystern, rurociągów). Część tego typu zanieczyszczeń przedo-

staje się do ON w czasie przechowywania, transportu i dystrybucji od producenta do użytkownika.

Jednym z zanieczyszczeń ON może być benzyna silnikowa (BS), która może dostać się do oleju napędowego w wyniku niewłaściwie prowadzonego procesu dystrybucji paliwa.

Należy również dodać, że benzyna silnikowa jest często dodawana świadomie do oleju napędowego przez użytkowników pojazdów, w celu poprawy jego właściwości niskotemperaturowych. Takie działanie jest podejmowane wówczas, gdy istnieje obawa, że ON utraci płynność w niskich temperaturach i zwykle jest związane z posiadaniem paliwa o charakterze przejściowym lub letnim. Wówczas dodatek BS do ON może spowodować obniżenie temperatury zablokowania zimnego filtra. Przykładowo, dodatek 20 % (v/v) BS do paliwa letniego o TZZF = 0 ÷ -2 °C czy przejściowego o TZZF = -12 °C, powoduje obniżenie TZZF o 5 °C, ale już w przypadku ON zimowego o TZZF = -21 °C, ten spadek to już tylko 3 °C [1].

Zatem dodatek nawet 20 % (v/v) BS do ON nie należy do skutecznych sposobów poprawy parametrów niskotemperaturowych. Natomiast w przypadku dodawania benzyny do ON należy się liczyć z istotnym pogorszeniem właściwości samozapłonowych i smarowości tak przygotowanego paliwa [1].

Celem badań zamieszczonych w niniejszym artykule jest określenie wpływu określonych udziałów objętościowych benzyny silnikowej w oleju napędowym na właściwości samozapłonowe tak przygotowanego paliwa. Jako miara skłonności paliwa do samozapłonu wykorzystana została pochodna liczba cetanowa. Pomiaru pochodnej liczby cetanowej, a także okresu opóźnienia samozapłonu, dokonano przy użyciu aparatu umożliwiającego spalanie w komorze o stałej objętości. Wyniki oznaczeń porównano z wymaganiami legislacyjnymi i normatywnymi, jakim podlega olej napędowy.

## 2. Stanowisko badawcze i metodyka badań

Dla określenia zdolności paliwa do samozapłonu, kluczowe znaczenie ma oznaczanie liczby cetanowej paliwa. Na szczególną uwagę zasługuje normatywna metoda oznaczania pochodnej liczby cetanowej (*DCN – Derived Cetane Number*), która determinowana jest przebiegiem spalania w komorze o stałej objętości [3, 4].

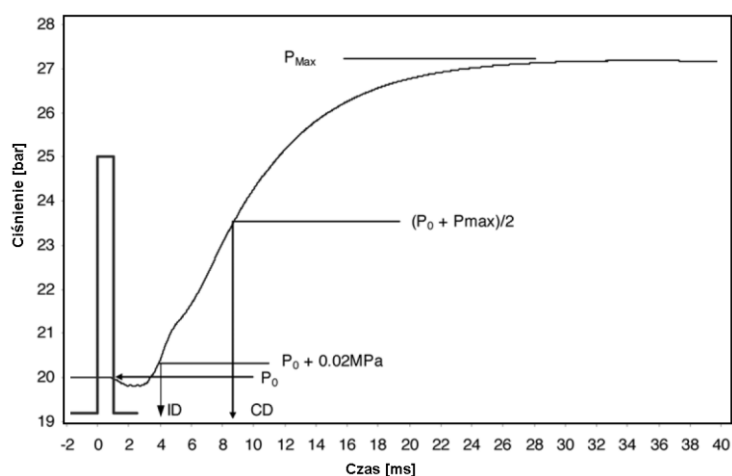
Oznaczenie okresu opóźnienia samozapłonu oraz pochodnej liczby cetanowej dla analizowanych mieszanin oleju napędowego i benzyny zrealizowane zostało według procedury zawartej w amerykańskiej normie ASTM D7668 – 12 „Standard Test Method for Determination of Derived Cetane Number (DCN) of Diesel Fuel Oils – Ignition Delay and Combustion Delay Using a Constant Volume Combustion Chamber Method”. Metoda bazuje na spalaniu paliwa w komorze o stałej objętości z bezpośrednim wtryskiem paliwa do sprężonego, podgrzewanego powietrza syntetycznego. Sekwencja testowa składa się z 5 wstępnych cykli spalania. Ich celem jest m.in. oczyszczenie układu z paliwa wcześniej badanego. Następnie kolejno realizowa-

nych jest 15 cykli testowych w celu określenia czasu opóźnienia zapłonu. Określona na podstawie 15 cykli średnia wartość opóźnienia zapłonu *ID* (*Ignition Delay*) oraz czas przyrostu ciśnienia do wartości równej połowie przyrostu ciśnienia do wartości maksymalnej *CD* (*Combustion Delay*) (rys. 2) w komorze, stanowi podstawę obliczenia pochodnej liczby cetanowej *DCN*.

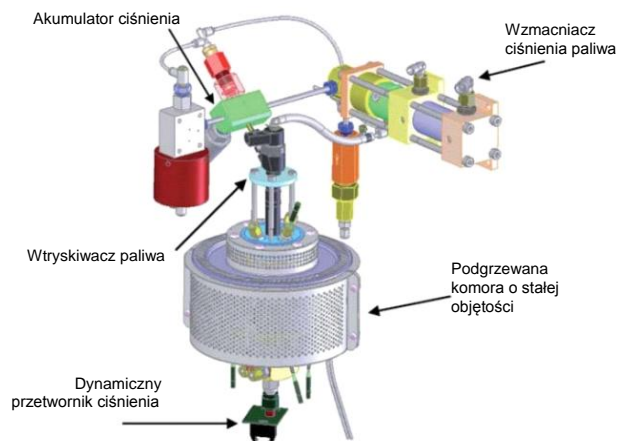
Do badań wykorzystano aparat CID 510 firmy Walter Herzog, który umożliwia oznaczenie pochodnej liczby cetanowej według normy ASTM D7668 – 12. W urządzeniu zastosowano system wtryskowy typu Common Rail. Elektronicznie sterowany wtryskiwacz CR z rozpylaczem wielotwórkowym może wtryskiwać do komory spalania paliwo pod ciśnieniem do 1500 bar. Na rys. 3, 4 i 5 przedstawiono odpowiednio, schemat układu wtryskowego, hydraulicznego oraz komory spalania aparatu CID 510.



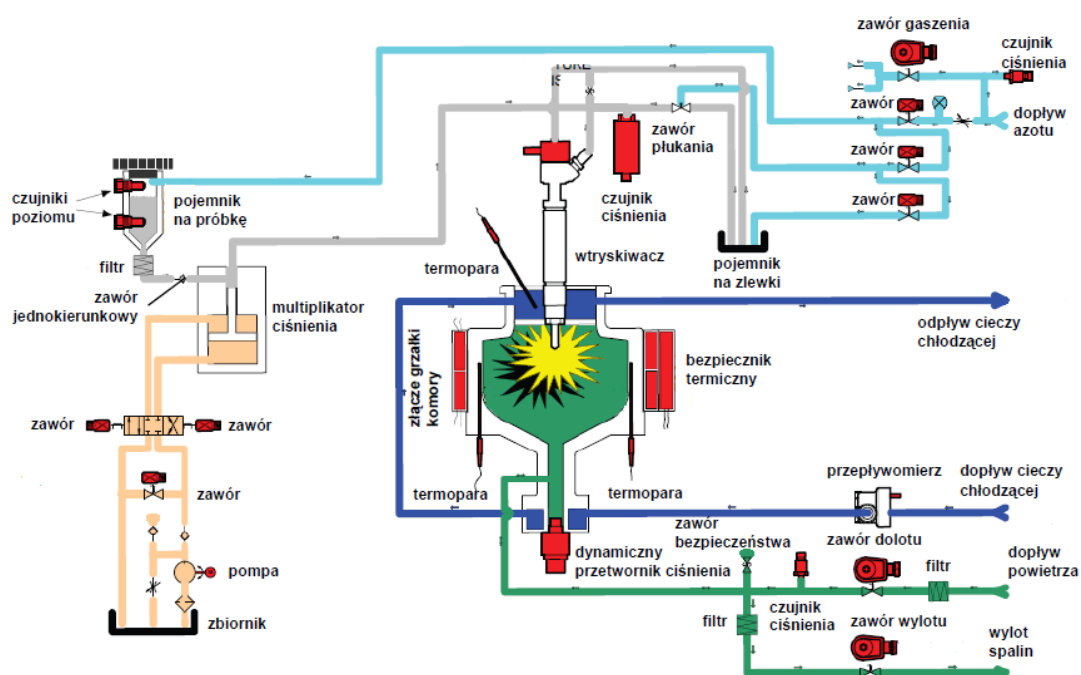
Rys. 1. Aparat do oznaczania pochodnej liczby cetanowej CID 510 firmy Walter Herzog [2, 10]



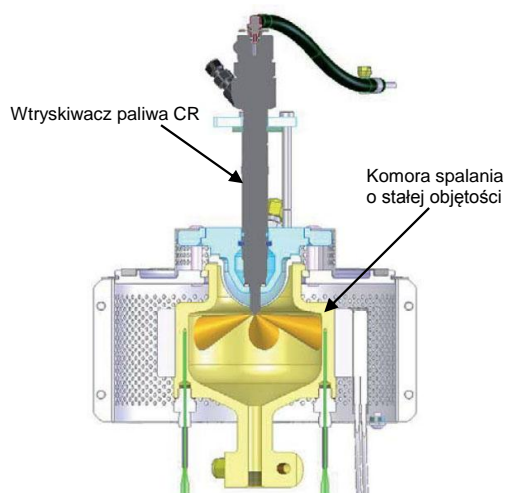
Rys. 2. Parametry służące określeniu pochodnej liczby cetanowej *DCN* [3, 5]: *ID* – czas jaki upłynął od pojawienia się sygnału sterującego wtryskiwaczem (zobocze opadające impulsu) do momentu, gdy ciśnienie w komorze wzrosło o 0,02 MPa powyżej ciśnienia początkowego  $p_0$ , *CD* – czas jaki upłynął od pojawienia się sygnału sterującego wtryskiwaczem (zobocze opadające impulsu) do momentu, gdy ciśnienie w komorze uzyskało wartość równą połowie sumy ciśnienia początkowego  $p_0$  i ciśnienia maksymalnego  $p_{max}$  w komorze



Rys. 3. Schemat układu wtryskowego aparatu CID 510 [9]



Rys. 4. Uproszczony schemat hydrauliczny aparatu CID 510 [8]



Rys. 5. Schemat komory spalania aparatu CID 510 [9]

Tabela 1. Paliwa wykorzystane podczas badań właściwości samozapłonowych

Oznaczenie paliwa	Udział [% obj.]	
	Olej napędowy	Benzyna silnikowa
ON100	100	0
ON-BS-5	95	5
ON-BS-10	90	10
ON-BS-15	85	15
ON-BS-20	80	20

Oznaczenia pochodnej liczby cetanowej DCN przeprowadzono dla pięciu próbek paliwa. Jedną z nich to olej napędowy bez dodatku benzyny silnikowej, natomiast pozostałe cztery próbki paliwa stanowiły mieszaniny ON i BS. Charakterystyka tych próbek oraz oznaczenia zostały zawarte w tabeli 1. W badaniach wykorzystano olej napędowy o polepszonych właściwościach niskotemperaturowych, zakupiony w okresie zimowym. Benzyna silnikowa to typowa BS, również zakupiona w okresie zimowym.

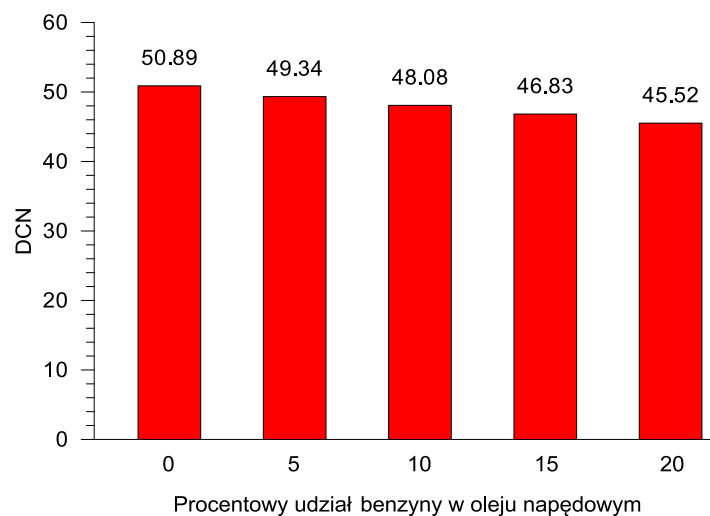
### 3. Wyniki badań

W tabeli 2 przedstawiono wyniki pomiarów pochodnej liczby cetanowej DCN oraz okresu opóźnienia samozapłonu ID (por. rys. 2) dla poszczegól-

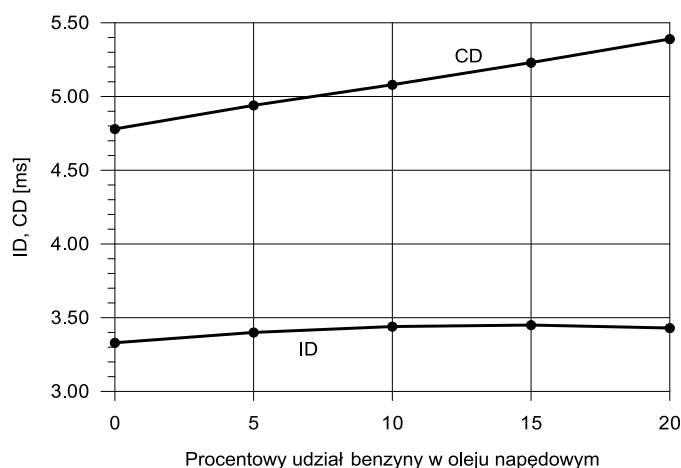
nych paliw. Ponadto w tabeli zawarte są także pozostałe charakterystyczne parametry pracy związane z funkcjonowaniem aparatu. Są to: parametr CD (por. rys. 2), czas trwania impulsu sterującego wtryskiwaczem  $t_{wtr}$ , początkowe ciśnienie w komorze spalania  $p_0$ , przyrost ciśnienia spalania  $\Delta p_k$ , temperatura powietrza w komorze spalania  $t_k$ , ciśnienie wtrysku paliwa  $p_{wtr}$  (mierzone w akumulatorze ciśnienia – por. rys. 3) oraz temperatura cieczy chłodzącej wtryskiwacz  $t_{ch}$ . Wszystkie przedstawione parametry zawarte w tabeli stanowią wartości średnie z 15 cykli, które składają się na pojedynczy test. Dodatkowo, na rys. 6 przedstawiono wpływ procentowego udziału BS w ON na wartość pochodnej liczby cetanowej DCN.

Tabela 2. Wyniki pomiarów pochodnej liczby cetanowej DCN, okresu opóźnienia zapłonu ID oraz odpowiadające im wartości charakterystycznych parametrów pracy aparatu CID 510

Paliwo	DCN	ID [ms]	CD [ms]	$p_0$ [bar]	$t_k$ [°C]	$\Delta p_k$ [bar]	$t_{ch}$ [°C]	$t_{wtr}$ [ms]	$p_{wtr}$ [bar]
ON100	50,89	3,33	4,78	20,06	586,8	21,00	50,9	2,5	1002,1
ON-BS-5	49,34	3,40	4,94	19,93	586,8	20,93	50,7	2,5	991,4
ON-BS-10	48,08	3,44	5,08	20,09	586,8	21,05	50,8	2,5	988,6
ON-BS-15	46,83	3,45	5,23	20,12	586,7	21,20	50,9	2,5	995,2
ON-BS-20	45,52	3,43	5,39	20,02	586,8	21,00	51,0	2,5	994,7



Rys. 6. Wpływ udziału benzyny w oleju napędowym na pochodną liczbę cetanową



Rys. 7. Wpływ udziału benzyny w oleju napędowym na wartość parametru ID i CD

Jak wynika z zaprezentowanych wyników, zgodnie z oczekiwaniem, wzrost udziału objętościowego benzyny w oleju napędowym skutkowało zmniejszeniem wartości pochodnej liczby cetanowej DCN. Co do wartości bezwzględnej, największą zmianę (wydłużenie) okresu opóźnienia samozapłonu, którego miarą może być parametr ID, odnotowano w stosunku do paliwa ON100 i ON\_BS\_15 (rys. 7). Co charakterystyczne, zwiększenie udziału objętościowego BS do 15% powodowało wzrost wartości parametru ID, ale już dla paliwa ON-BS-20 odnotowano wartość niższą niż w przypadku paliwa ON-BS-10. W przyjętej metodzie oznaczania, o wartości DCN decyduje jednak również parametr CD, którego wartość ulegała zwiększaniu wraz ze wzrostem udziału objętościowego BS (rys. 7), co w rezultacie spowodowało spadek DCN wraz ze wzrostem udziału objętościowego benzyny.

Odnosząc uzyskane wyniki do wymagań normy PN-EN 590+A1:2011 „Paliwa do pojazdów samochodowych - Oleje napędowe - Wymagania i metody badań” oraz Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 2 lutego 2012 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie wymagań jakościowych dla paliw ciekłych, należy stwierdzić, że żadne z analizowanych paliw, nie spełniło wymagań w zakresie

liczby cetanowej, która nie powinna być mniejsza niż 51 [6, 7]. Nieoczekiwanie, nawet paliwo bez udziału BS nie osiągnęło wymaganej wartości LC.

#### 4. Wnioski

Przeprowadzone pomiary wskazują, że nawet niewielki udział procentowy benzyny w oleju napędowym powoduje pogorszenie jego właściwości samozapłonowych. Po dodaniu do ON 5% BS wystąpił spadek wartości DCN o ok. 3% natomiast dodatek 20% benzyny skutkowało obniżeniem DCN o ponad 10%.

W przyjętej metodyce pomiaru, zmiany długości okresu opóźnienia samozapłonu ID dla poszczególnych paliw nie były tak wyraźne, jak w przypadku parametru CD. Porównując właściwości samozapłonowe paliwa o największej i najmniejszej wartości DCN, zaobserwowano wydłużenie okresu ID o ok. 3%, natomiast okresu CD o prawie 13%.

Żadne z badanych paliw nie spełniło wymagań normatywnych i legislacyjnych dla oleju napędowego w zakresie liczby cetanowej, w tym także olej napędowy bez dodatku benzyny.

*Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy.*

#### Bibliography/Literatura

- [1] Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. WKŁ, Warszawa 2004.
- [2] Cetane ID 510 Automatyczny aparat do oznaczania pochodnej liczby cetanowej. Materiały firmowe Inkom Instruments.
- [3] Jaworski A., Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A., Woś P.: Oznaczanie liczby cetanowej wybranych paliw na podstawie spalania w komorze o stałej objętości w aspekcie ich zastosowania w silniku o zmiennym stopniu sprężania VCR. Czasopismo Techniczne, zeszyt 8, rok 109 (2012), (Mechanika: 3-M/2012). Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
- [4] Kuszewski H.: Metody oznaczania właściwości samozapłonowych paliw w aspekcie obowiązujących uregulowań normatywnych. Щорічний науково-виробничий журнал No 19 „Проектування, виробництво, та екс-

- платуатія автотранспортних засобів і поїздів”, Видавництво „Логос”, Львів 2011.
- [5] Norma ASTM D7668 – 12 „Standard Test Method for Determination of Derived Cetane Number (DCN) of Diesel Fuel Oils - Ignition Delay and Combustion Delay Using a Constant Volume Combustion Chamber Method”.
- [6] Norma PN-EN 590+A1:2011. Paliwa do pojazdów samochodowych. Oleje napędowe. Wymagania i metody badań.

Mr Artur Jaworski, PhD – Assistant Professor in the Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics at Rzeszów University of Technology.

*Dr inż. Artur Jaworski – adiunkt na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.*



Mr Hubert Kuszewski, PhD – Assistant Professor in the Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics at Rzeszów University of Technology.

*Dr inż. Hubert Kuszewski – adiunkt na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.*



Prof. Kazimierz Lejda, DSc., DEng. – Professor in the Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics at Rzeszów University of Technology.

*Prof. dr hab. inż. Kazimierz Lejda – profesor na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.*



- [7] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 2 lutego 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wymagań jakościowych dla paliw ciekłych (Dz.U.2012.136).
- [8] Service Manual – Cetane Number Analyzer CID510. Materiały firmowe firmy PAC (Petroleum Analyzer Company).
- [9] <http://www.paclp.com>
- [10] <http://www.inkom.com.pl>

Mr Adam Ustrzycki, PhD – Assistant Professor in the Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics at Rzeszów University of Technology.

*Dr inż. Adam Ustrzycki – adiunkt na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.*



Mr Paweł Woś, PhD – Assistant Professor in the Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics at Rzeszów University of Technology.

*Dr inż. Paweł Woś – adiunkt na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.*

