

Experimental research of control parameters influence on mas flow from pulse injector

The paper presents the results of the impact of control parameters on injector mass flow. The control parameters examined in the papers were: frequency and puls wide modulation of modulated control signal – the second part of the injector control signal. The analysis covers 6 injector types that differ in design of both the valve element and the coil. The experiments revealed that frequency of the signal did not affects on the performance of the injectors, in contrast to pulse modulation affecting significantl.

Key words: injector, mass flow, control, LPG, CNG

Badania eksperymentalne wpływu parametrów sterowania na wydatek impulsowych wtryskiwaczy gazu

W atrykule przedstawiono wyniki badań stanowiskowych wpływu parametrów sterowania na wydatek wtryskiwacza. Jako parametry sterowania rozumiano wypełnienie oraz częstotliwość sygnału modulowanego – czyli drugiej części sygnału sterowania wtryskiwaczem. Przedstawiono wyniki badań stanowiskowych 6 typów wtryskiwaczy, różniących się konstrukcją zarówno elementu zaworowego jak i cewki elektromagnetycznej. Wykazano częstotliwość sygnału praktycznie nie pływa na wydajność wtryskiwaczy, w przeciwieństwie do wypełnienia wpływającego na nie znacząco.

Słowa kluczowe: wtryskiwacz, wydatek, sterowanie, LPG, CNG

1. Wprowadzenie

Podstawowym kierunkiem rozwoju transportu samochodowego jest obniżanie emisji dwutlenku węgla [1, 2]. Uzyskiwane jest to poprzez optymalizację procesu spalania oraz oczyszczania jak i przez stosowanie paliw o zmniejszonej zawartości węgla [3]. Zamiast paliw wysokowęglowych (takich jak benzyna i olej napędowy) wprowadzane są paliwa o znacznie mniejszej zawartości węgla. Paliwami tymi są zarówno paliwa ciekłe (etanol i metanol), jak też paliwa gazowe (propan-butan – LPG, metan – CNG, wodór).

Obecnie znacząca większość układów zasilania paliwem silników spalinowych o zapłonie iskrowym opiera się na systemach wtrysku sekwencyjnego (do kolektora dolotowego lub bezpośrednio do cylindra) wykorzystujących wtryskiwacze impulsowe. Wtryskiwacze te są zaworami dwustanowymi (otwarty, zamknięty) normalnie zamkniętymi [4].

Na rysunku 1.1 przedstawiono przykładową konstrukcję impulsowego wtryskiwacza gazu WG. Jest to wtryskiwacz płytkowy, kalibrowany wzniosem elementu zaworowego, pojedynczy. Paliwo doprowadzane jest kanałem dolotowym do komory znajdującej się nad gniazdem zaworowym. Elementem zaworowym w tym wtryskiwaczu jest płytka poruszająca się osiowo pomiędzy cewką a gniazdem zaworowym, zamykająca przepływ za pomocą elementu uszczelniającego znajdującego się na jej spodzie. Wydajność wtryskiwacza (rozumiana jako średni strumień masy wypływającego paliwa) kalibrowana jest za pomocą skoku elementu zaworo-

wego – czyli powierzchni bocznej walca tworzonego między kanałem wylotowym a elementem uszczelniającym.

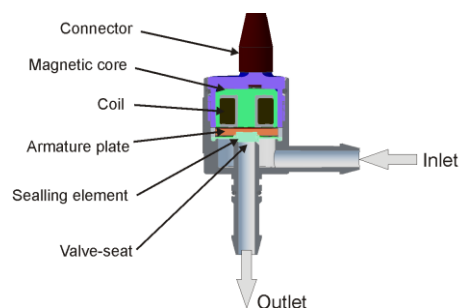


Fig. 1. Impulsowy wtryskiwacz gazu WG

Położenie elementu zaworowego (w tym przypadku płytki) jest zależna od bilansu dwóch sił:

- siły docisku elementu zaworowego wynikającej z różnicy ciśnień nad i pod tym elementem; zależy ona od warunków pracy wtryskiwacza (ciśnienia zasilania oraz ciśnienia odbioru) oraz konstrukcji samego wtryskiwacza (pola powierzchni gniazda zaworowego, rozkładu ciśnień podczas przepływu)
- siły elektromagnetycznego przyciągania elementu zaworowego do cewki elektromagnetycznej; zależy ona od konstrukcji obwodu elektromagnetycznego oraz prądu przepływającego przez cewkę.

W niektórych konstrukcjach wtryskiwaczy występuje jeszcze dodatkowa siła wynikająca z działania elementu sprężystego dopychającego element

zaworowy do gniazda zaworowego [4]. Bilas tych sił determinuje położenie elementu zaworowego a przez to wypływ paliwa z wtryskiwacza.

Szczególnie istotnym elementem jest tu siła generowana przez cewkę. Jak przedstawiono w pracy [5] wielkość tej siły determinuje szybkość otwierania wtryskiwacza. Dlatego też stosowane są coraz silniejsze cewki. Wymaga to jednak stosowania cewek o niskiej rezystancji. Powoduje to znaczący wzrost poboru prądu przez taki wtryskiwacz w stosunku do wtryskiwaczy benzynowych (średnio z około 1A do nawet 8A) [4, 5]. Taki wzrost jest niekorzystny nie tylko ze względu na zapotrzebowanie energii pobieranej pośrednio z paliwa (poprzez alternator napędzany z wał korbowego) ale przede wszystkim ze względu na wydzielanie dużych ilości ciepła w obwodzie cewki już po otwarciu wtryskiwacza [6].

Dlatego też stosuje się sterowanie z podtrzymaniem prądowym. Polega ono na podzieleniu sygnału sterującego na dwie części (rys. 2): impuls ciągły i sterowanie modulowane. Pierwsza część impulsu sterującego – impuls ciągły (t_{imp_con}) odpowiada za jak najszybsze naładowanie cewki a dzięki temu otwarcie wtryskiwacza. Druga część - impuls modulowany (t_{imp_PWM}) odpowiada jedynie za podtrzymanie otwarcia wtryskiwacza. Jest ona sygnałem modulowanym o stałej częstotliwości i wypełnieniu.

Wielkość zarówno częstotliwości jak i wypełnienia może być regulowana przez jednostkę sterującą. Pojawia się jednak pytanie czy wartość częstotliwości oraz stopnia wypełnienia wpływają na wydatek wtryskiwacza? Niniejszy artykuł stanowi odpowiedź na to pytanie.

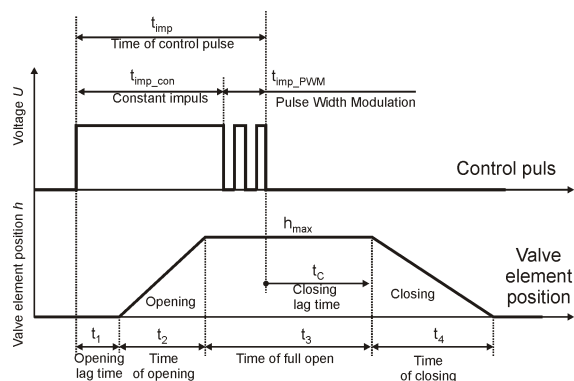


Fig. 2. Przebieg czasowy impulsu sterującego oraz położenia elementu zaworowego

2. Opis badań

Celem pracy jest analiza wpływu częstotliwości i wypełnienia sygnału modulowanego sterowania wtryskiwaczem na jego wydajność dla różnych konstrukcji impulsowego wtryskiwacza gazu.

2.1 Obiekty badań

Do badań wybrano typowe dla rynku instalacji gazowych rozwiązania konstrukcyjne impulsowych wtryskiwaczy gazu. Różnią się one zarówno elementem zaworowym (płytką, tłoczek), metodą kalibracji (średnicą otworu lub skokiem) oraz możliwością grupowania (pojedyncze, możliwe do grupowania, szyny paliwowe). Schemat podziały typów badanych wtryskiwaczy przedstawiono na rysunku 3 a dane techniczne w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry techniczne badanych wtryskiwaczy

	Hana H2000	Horizon IG3	Magic Jet	Valtek typ 30	PlaniJet	WGs14
Rezystancja	1,9 Ω	2,8 Ω	2,0 Ω	3,0 Ω	4,0 Ω	3,0 Ω
Napięcie zasilania	12 V	12 V	12 V	12 V	12 V	12 V
Ciśnienie pracy	50 ÷ 300 kPa	50 ÷ 200 kPa	50 ÷ 300 kPa	50 ÷ 250 kPa	50 ÷ 300 kPa	50 ÷ 350 kPa
Maksymalne ciśnienie	450 kPa	450 kPa	450 kPa	450 kPa	450 kPa	450 kPa
Czas impulsu ciągłego	3,2 ms	2,8 ms	4,0 ms	4,5 ms	4,0 ms	1,7 ms
Wypełnienie sygnału modulowanego	40% ± 10%	50% ± 20%	40% ± 10%	> 30%	40% ± 10%	30%
Częstotliwość sygnału modulowanego	10 kHz	10 kHz	10 kHz	10 kHz	10 kHz	10 kHz
Czas opóźnienia otwarcia ¹	2,9 ms	2,5 ms	2,2 ms	3,3 ms	1,7 ms	1,0 ms
Czas wyłączenia ¹	1,2 ms	2,0 ms	1,0 ms	2,2 ms	2,5 ms	1,2 ms
Kalibrowanie	Kalibracja skokiem	Otworem dyszy średnice od 1,0 do 3,5 mm	Otworem dyszy średnice od 1,0 do 3,0 mm	Otworem dyszy średnice od 1,0 do 4,0 mm	Otworem dyszy średnice od 1,0 do 3,0 mm	Kalibracja skokiem
Zakres temperatury pracy	-40°C ÷ 120°C	-20°C ÷ 120°C	-20°C ÷ 120°C	-20°C ÷ 120°C	-20°C ÷ 120°C	-20°C ÷ 120°C

¹ przy ciśnieniu zasilania 100 kPa i czasie impulsu sterującego 12 ms

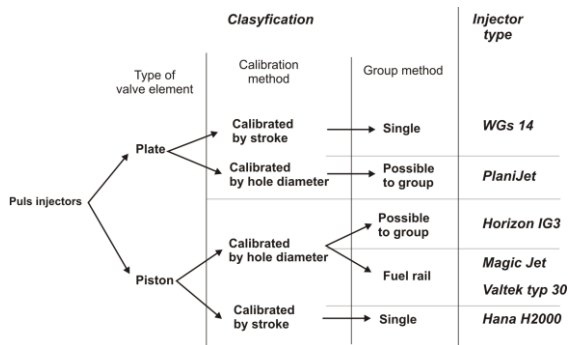


Fig. 3. Klasyfikacja obiektów badań

Badania przeprowadzono na 6 konstrukcjach:

1. Hana H2000 firmy Hana Engineering, Korea;
2. Horizon IG3 firmy Rail SpA, Włochy;
3. Magic Jet firmy HL Propan s.r.o., Czechy;
4. Valtek typ 30 firmy Valtek SpA Unipersonale, Włochy;
5. PlaniJet firmy Planiplastic Ireneusz Moćko, Polska;
6. WGs 14 firmy BD Plus Andrzej Pryzowicz, Polska.

2.2 Stanowisko badawcze

Podstawą do analiz były badania stanowiskowe na stanowisku pozasilnikowym, umożliwiającym badanie impulsowych wtryskiwaczy gazu zasilanych powietrzem. Stanowisko składa się z (rys. 4):

- a) układu pneumatycznego obejmującego sekcję przygotowania powietrza, stabilizacji jego przepływu, wtryskiwacza gazu, sekcji stabilizacji przepływu i przepływomierza masowego;
- b) systemu sterowania wraz z układem zasilania elektrycznego umożliwiającemu regulację napięcia w pożądanym zakresie – prostownik z filtrem RC zasilany poprzez autotransformator;
- c) systemu pomiarowego NI cDAQ-9178 z kartami pomiarowymi NI-9215 BNC mierzącymi sygnały:
 - sygnał sterujący (sygnał przekazywany wewnątrz jednostki sterującej z procesora do klucza prądowego);
 - napięcie w obwodzie cewki elektromagnetycznej;
 - prąd w obwodzie cewki elektromagnetycznej;
 - ciśnienie zasilania wtryskiwacza;
 - ciśnienie za wtryskiwaczem mierzone w dwóch odległościach od dyszy;
 - przyspieszenia w osi ruchu elementu zaworowego.

Stanowisko wyposażone jest w układ sterowania opracowany przez zespół Politechniki Lubelskiej pozwalający na dowolne sterowanie impulsowymi wtryskiwaczami gazu. Układ ten pozwala (z poziomu programu na komputerze – rysunek 5) na sterowanie wtryskiwaczem z określoną:

- a) częstotliwością występowania impulsów;
- b) czasem impulsu całkowitego;
- c) czasem impulsu ciągłego;
- d) częstotliwością impulsu modulowanego;
- e) wypełnieniem impulsu modulowanego.

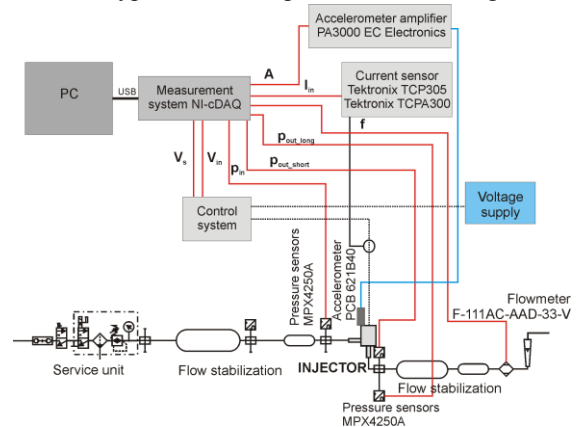


Fig. 4 Schemat stanowiska badawczego

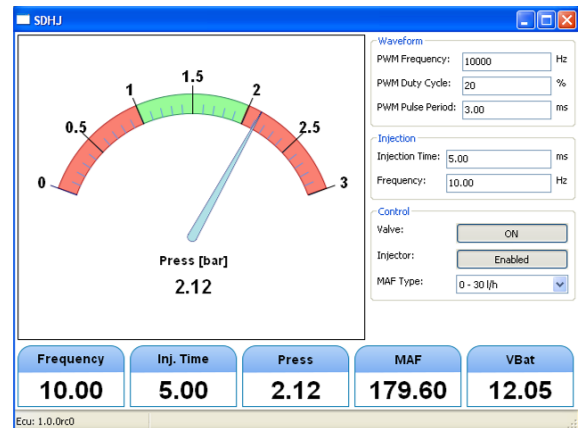


Fig. 5 Widok ekranu oprogramowania SDHJ do obsługi sterowania stanowiska badawczego

2.3 Zakres badań

Zakres badań obejmował przeprowadzenie dwóch serii badawczych dla każdego typu impulsowego wtryskiwacza gazu. Założono wykonanie następujących prób:

1. Zmiana stopnia wypełnienia (do 10 do 100 % co 10%) przy stałej częstotliwości (10 kHz);
2. Zmiana częstotliwości impulsów (2, 5, 7, 10, 13 i 15 kHz) przy wypełnieniu (30%).

Wybór wartości stałych wynikał z tego, że są to wartości typowe dla pracy impulsowego wtryskiwacza gazu w warunkach eksploatacyjnych [4].

Przyjęto także następujące stałe parametry pracy wtryskiwacza:

- a) Ciśnienie odbioru (ciśnienie do którego prowadzony był wtrysk): 100 kPa;
- b) Czynnik roboczy: powietrze;
- c) Temperatura czynnika roboczego: $25 \pm 5^\circ\text{C}$;

- d) Badania w warunkach ustalonych;
- e) Czas impulsu całkowitego: 6 ms;
- f) Czas impulsu ciągłego: 3 ms.

W każdym punkcie badawczym pomiary wykonano 5 krotnie a wyniki stanowią wartość uśrednioną.

3. Wyniki badań

W pierwszym cyklu badań przeprowadzono analizę wpływu stopnia wypełnienia sygnału modulowanego na wydajność wtryskiwaczy (rys. 6).

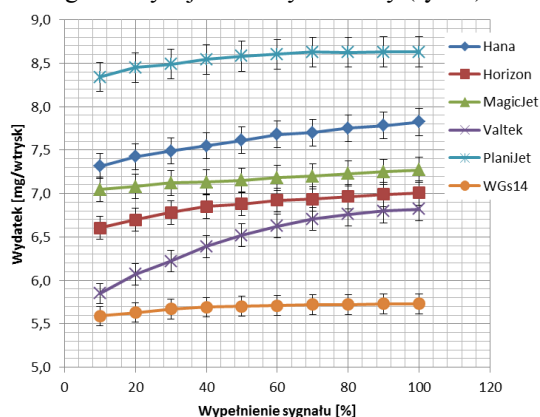


Fig. 6. Zależność wydajności wtryskiwacza od stopnia wypełnienia impulsu modulowanego dla poszczególnych konstrukcji impulsowych wtryskiwaczy gazu.

Jak można zauważyć, dla wszystkich konstrukcji wzrost stopnia wypełnienia powoduje wzrost wydajności wtryskiwacza. Zmiana ta jest jednak różna w zależności od konstrukcji. Dla lepszego zobrazowania tej zależności wyznaczono zmianę wydajności w stosunku do sterowania standardowego – czyli wypełnienia wynoszącego 30%.

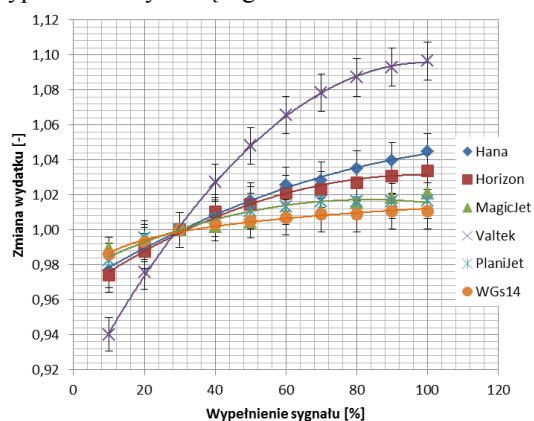


Fig. 7. Zależność zmiany wydajności wtryskiwacza od stopnia wypełnienia impulsu modulowanego dla poszczególnych konstrukcji impulsowych wtryskiwaczy gazu.

Na rysunku 7 przedstawiono zmianę wydajności wtryskiwacza przy zmianie stopnia wypełnienia w stosunku do sterowania o wypełnieniu 30%. Po

przeprowadzeniu analizy statystycznej aproksymacji stwierdzono, że zależność ta może być opisana krzywą drugiego stopnia. Widoczne jest, że większość wtryskiwaczy mieści się w zakresie zmienności od 0,97 do 1,04 a jedynie wtryskiwacz Valtek znacząco odbiega od tego zakresu wykazując zmienność na poziomie 0,94 do 1,10. Najmniejsze zmienności wykazują wtryskiwacze WGs14 i Magic Jet (0,99 do 1,01).

W drugim cyklu badań przeprowadzono analizę wpływu stopnia częstotliwości sygnału modulowanego na wydajność wtryskiwaczy (rys. 8).

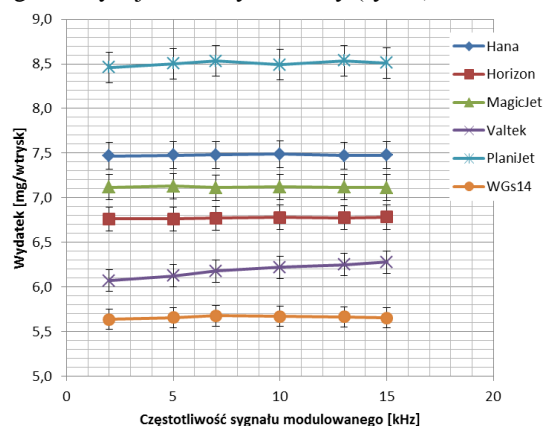


Fig. 8. Zależność wydajności wtryskiwacza od częstotliwości impulsu modulowanego dla poszczególnych konstrukcji impulsowych wtryskiwaczy gazu.

Jak można zauważyć, dla wszystkich konstrukcji zmiana częstotliwości sygnału praktycznie nie powoduje zmiany wydajności wtryskiwacza. Dla lepszego zobrazowania tej zależności wyznaczono zmianę wydajności w stosunku do sterowania standardowego – czyli częstotliwości wynoszącej 10 kHz.

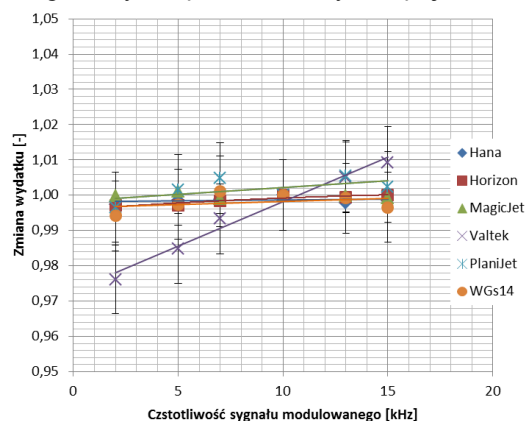


Fig. 9. Zależność zmiany wydajności wtryskiwacza od częstotliwości impulsu modulowanego dla poszczególnych konstrukcji impulsowych wtryskiwaczy gazu.

Na rysunku 9 przedstawiono zmianę wydajności wtryskiwacza przy zmianie częstotliwości sygnału modulowanego w stosunku do sterowania o częstotliwości 10 kHz. Po przeprowadzeniu analizy staty-

stycznej aproksymacji stwierdzono, że zależność ta może być opisana zależnością liniową. Dla większości konstrukcji wtryskiwaczy jest to wartość statystycznie stała. Jedynie dla wtryskiwacza Valtek występuje zależność wynosząca od 0,98 do 1,01 w badanym zakresie zmian częstotliwości.

4. Podsumowanie

Analizując wykonane badania można sformułować następujące wnioski:

1. Sposób sterowania impulsowym wtryskiwaczem gazu wpływa na jego wydatek.
2. Wzrost wypełnienia sygnału modulowanego powoduje wzrost wydatku wtryskiwacza. Zmiana ta może być opisana krzywą drugiego stopnia. W większości badanych konstrukcji zmienność ta mieści się w za-

kresie od -3% do +4% wydatku w stosunku do standardowego sterowania o 30% wypełnieniu impulsu sterującego. Wartości te będą jednak się zmieniać w zależności od czasu trwania impulsu sterującego co wykazano w pracy [4]. Zmienność ta wynika z wpływu prądu obwodzie wtryskiwacza na czas jego zamykania – co wykazano w pracach [4, 7].

3. Zmiana częstotliwości sygnału modulowanego nie wpływa na wydatek wtryskiwacza. Większość badanych konstrukcji nie wykazywała takiej zależności. Jedynie dla wtryskiwacza Valtek taki wpływ zauważono, jest on jednak pomijalnie mały: około 2% zmiany w badanym zakresie częstotliwości.

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

CNG Compressed Natural Gas/*sprężony gaz ziemny*

LPG Liquefied Petroleum Gas/*gaz skroplony*

Bibliography/Literatura

- [1] Bleischwitz R., Bader N.: „Policies for the transportation toward a hydrogen economy: The EU case” *Energy Policy* 38 (2010) 5388-5398
- [2] Litschke A., Knitschky G.: „Future development in road freight transport regarding more environmentally friendly vehicle technology” *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 48 (2012) 1557 – 1567
- [3] Kenihan S.: *Reducing the emissions from your council fleet. Cities for Climate Protection Australia: An ICLEI program in collaboration with the AGO*, <http://www.iclei.org>, 1999
- [4] Czarnigowski J.: „Teoretyczno-empiryczne studium modelowania impulsowego wtryskiwacza gazu” *Monografie Politechnika Lubelska, Lublin* 2012
- [5] Czarnigowski J. The model of pulse injector opening lag time. *Combustion Engines*. 2013, 154(3), 393-398. ISSN 0138-0346
- [6] Elbaum J.: „Obwody magnetyczne” *Państwowe Wydawnictwa Techniczne Warszawa* 1959
- [7] Duk M., Czarnigowski J., Zyska T., Jakliński P., Iskakova A.: „Badania eksperymentalne wpływu wypełnienia sygnału sterującego na czas wyłączenia impulsowego wtrysku gazu” *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY* - 2014, nr 3, vol. 90, s. 199-202 ISSN 0033-2097

Mr Jacek Czarnigowski, M.Sc., D.Sc, Eng. – Professor in the Faculty of Mechanical Engineering at Lublin University of Technology.

Dr hab. inż. Jacek Czarnigowski, prof. PL – profesor nadzwyczajny na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej.

