

# **OCENA OPÓŹNIENIA WTRYSKU PALIWA W STOSUNKU DO SYGNAŁU STERUJĄCEGO WTRYSKIWACZY ELEKTROMAGNETYCZNYCH SILNIKÓW ZI PRZY ZASTOSOWANIU RÓŻNYCH KONCEPCJI STEROWANIA**

**Dr inż. Krzysztof BALAWENDER, Inż. Mateusz WOJTOŃ**

W artykule zostały przedstawione badania czasu upływającego od wysłania sygnału elektrycznego sterującego otwarciem wtryskiwacza do momentu rozpoczęcia wtrysku w zależności od sposobu sterowania.

## **1. WSTĘP**

Sposób sterowania wtryskiwaczem elektromagnetycznym ma istotny wpływ na jego parametry. Do głównych parametrów wtryskiwacza elektromagnetycznego należą: dawka paliwa – zależna od czasu uniesienia iglicy rozpylacza, opóźnienie wtrysku w stosunku do sygnału sterującego. O ile pierwszy z wymienionych parametrów wydaje się być bardzo istotnym o tyle drugi, w przypadku silników o wtrysku pośrednim, jest już pomijany. Niemniej jednak skrócenie tego czasu pozwala na precyzyjniejsze sterowanie momentem rozpoczęcia wtrysku. Skrócenie czasu potrzebnego na uruchomienie wtryskiwacza skraca także czas cyklu jego pracy, a zatem staje się możliwe zastosowanie większej ilości dawek paliwa wtryskiwanych w czasie jednego cyklu roboczego silnika. W celu przeprowadzenia badań został zbudowany specjalny sterownik wtryskiwacza, który umożliwi zastosowanie metody sterowania pojedynczym impulsem lub wieloimpulsowo. W celu wykorzystania techniki wieloimpulsowej przy zastosowaniu tego samego wtryskiwacza zastosowano podwyższone napięcie zasilania układu wtryskowego. Dzięki temu rezystancja cewki wtryskiwacza mogła pozostać niezmienną.

## **2. SPOSOBY PRĄDOWEGO ZASILANIA WTRYSKIWACZY**

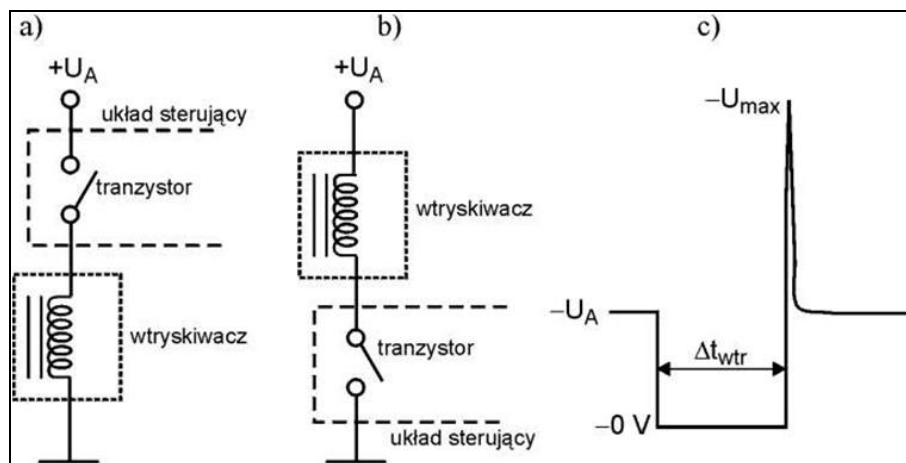
Sterowanie wtryskiwaczami elektromagnetycznymi wymaga ich włączania podczas pracy silnika nawet do 2000 razy na sekundę, przy wymaganej najwyższej precyzji i niezawodności. Żadne przekaźniki nie mogą spełnić tak wymagających kryteriów. W celu otwierania i zamykania wtryskiwaczy stosuje się tranzystorowe układy elektroniczne, elementy, w których prąd sterujący płynie w jednym obwodzie, powodując przepływ prądu o wielokrotnie większym natężeniu w innym obwodzie. Przełączniki tranzystorowe umożliwiają w bardzo szybki sposób przełączanie, w ciągu ułamka mikrosekundy. Dzięki temu możliwe jest też przełączanie wielu różnych obwodów za pomocą jednego sygnału sterującego. Ich kolejną zaletą jest też możliwość zdalnego przełączania sygnałami stałoprądowymi [3].

Wyróżnia się następujące metody sterowania wtryskiwaczami:

- pojedynczym impulsem,
- z ograniczeniem prądowym,
- wieloimpulsowo.

### **2.1. Metoda impulsu pojedynczego**

W metodzie zasilania impulsem pojedynczym wtryskiwacz włączony zostaje w chwili spadku napięcia do wartości od 1 do 1,5V, natomiast wyłączony zostaje po ponownym osiągnięciu napięcia zasilania. W tym rodzaju sterowania przez cały okres trwania wtrysku w cewce elektromagnesu zainstalowanej we wtryskiwaczu przepływa prąd o dużych wartościach. Jest to spowodowane tym, że do otwarcia i podtrzymania iglicy wtryskiwacza jest potrzebny prąd o dużym natężeniu. Powoduje to spore straty energii, które wydzielają się w postaci ciepła w obudowie wtryskiwacza oraz układzie sterującym. Taka metoda sterowania pojedynczym impulsem stosowana jest głównie w układach wtrysku wielopunktowego.



**Rys. 1.** Schematy ilustrujące w uproszczeniu układy sterowania wtryskiwaczami [3]:  
a) sterowanie od strony zasilania, b) sterowanie od strony masy, c) przebieg napięcia w układzie „b)”

W obecnych systemach jedna końcówka wtryskiwacza podłączona jest bezpośrednio lub poprzez rezystor na stałe do plusa zasilania, natomiast druga końcówka przyłączona jest do masy za pomocą sterującego czasem trwania wtrysku tranzystora. Starsze układy posiadały odmienny sposób podłączenia, gdzie wtryskiwacz podłączony był jedną końcówką do masy, a sterowanie odbywało się od strony plusowego zasilania.

Biorąc pod uwagę model uproszczony zasilania wtryskiwacza w jego stanie wyłączenia, czyli wtedy, kiedy przez jego cewkę nie płynie prąd, napięcie na końcówce, która jest połączona z tranzystorem równa jest napięciu zasilania. W opcji załączenia teoretyczne napięcie na końcówce wtryskiwacza spada do zera, ponieważ następuje zwarcie do masy, jednak w rzeczywistości wartość ta jest różna od zera i równa poziomowi napięcia nasycenia tranzystora sterującego. Cewka wtryskiwacza ma indukcyjność większą od zera, z tego powodu w chwili wyłączenia sterującego impulsu i zaniku prądu powstaje krótki „pik” napięcia, którego wartość może przekraczać nawet 100 V. Aby przeciwdziałać temu procesowi w modułach sterujących stosuje się elementy zabezpieczające, np. diody Zenera. Ich zadaniem jest ograniczanie napięcia ze względu na znaczące prawdopodobieństwo uszkodzenia tranzystora sterującego [3, 4].

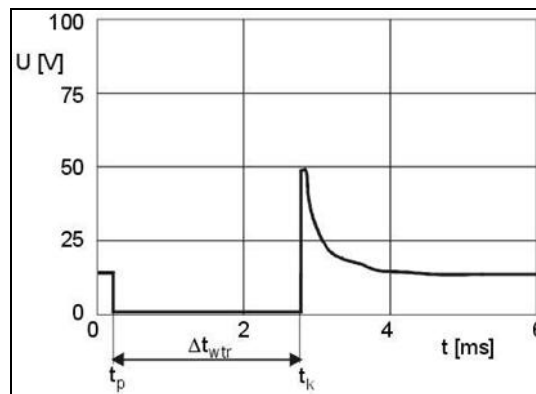
## 2.2. Metoda zasilania z ograniczeniem prądowym

W celu ograniczania strat energii elektrycznej wyzwalającej się w postaci nagrzewania się wtryskiwacza oraz układzie sterującym stosowana jest metoda opierająca się o zasadę znacznego ograniczenia wartości prądów płynących przez wtryskiwacz tuż po jego załączeniu. Takie ograniczenie występować może po pewnym ustalonym czasie od momentu rozpoczęcia wtrysku, np. po upływie 2 ms lub też po przekroczeniu pewnej ustalonej wartości natężenia prądu wtryskiwacza, np. 4 A. Takie metody stosowane są najczęściej w jednopunktowych układach wtryskowych.

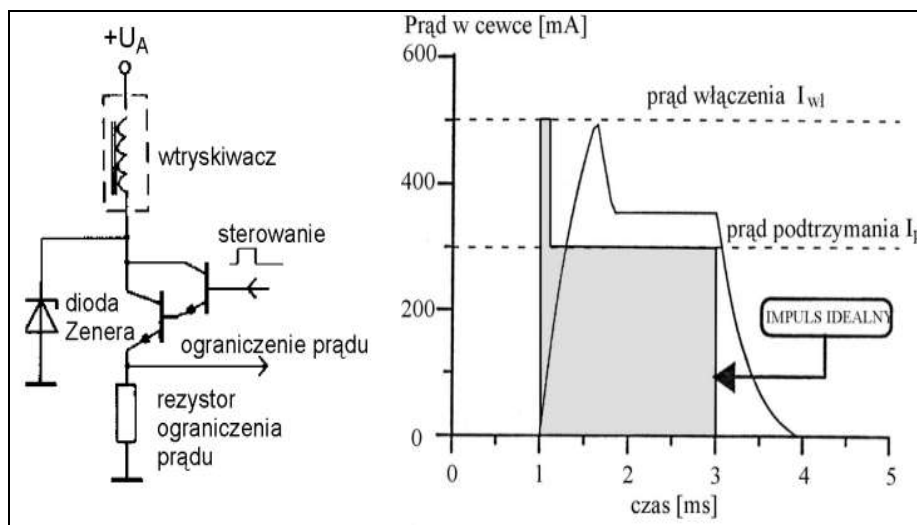
Najbardziej istotnymi parametrami, które charakteryzują elektroniczny układ wtryskiwacza są:

- prąd włączenia  $I_{wł}$ ,
- prąd podtrzymania  $I_{pd}$ .

Prąd włączenia określany jest jako maksymalny prąd, jaki może wystąpić w cewce po przesłaniu sygnału ze sterownika układu wtryskowego. Taki prąd maleje w bardzo krótkim czasie do stałej wartości. Prąd podtrzymania określa wartość średnią prądu, który płynie w cewce wtryskiwacza. W przypadku wzrostu natężenia prądu, jaki płynie przez cewkę wtryskiwacza powyżej wartości  $I_{wł}$  następuje otwarcie zaworu wtryskiwacza, natomiast jego zmniejszenie poniżej wartości  $I_{pd}$  – jego zamknięcie [1, 3, 5].



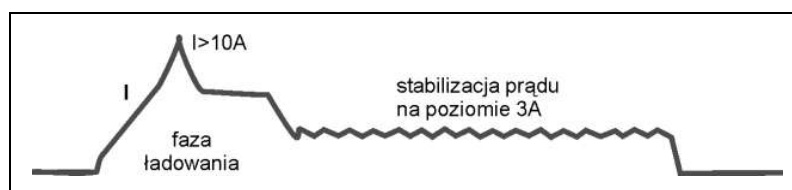
**Rys. 2.** Typowy przebieg napięcia podczas otwarcia wtryskiwacza metodą impulsu pojedynczego [3]:  $t_p$  - czas początku impulsu,  $t_k$  - koniec trwania impulsu



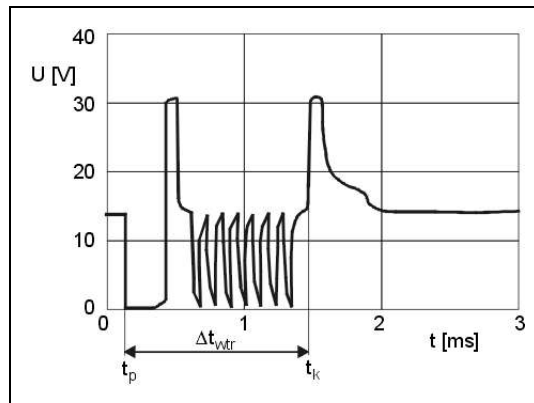
**Rys. 3.** Ideowy schemat układu zasilania z metodą ograniczenia prądowego oraz przebiegi [3]: teoretyczny i rzeczywisty prądu podczas zasilania wtryskiwacza

### 2.3. Metoda zasilania wieloimpulsowego

Metoda stosowania krótkich czasów wtrysku realizowana jest w taki sposób, że po wstępnym otwarciu wtryskiwacza z maksymalną wartością natężenia prądu następuje włączanie i wyłączanie z dużą częstotliwością prądu zasilającego. Ze względu na to, że wtryskiwacz posiada pewną mechaniczną bezwładność, a jego cewka pewną indukcyjność – wobec stosowania impulsów o odpowiednich parametrach wtryskiwacz pozostaje otwarty mimo znacznego ograniczenia mocy zasilania. Polega ona na tym, że początkowo wytwarzany prąd o natężeniu większym niż 10 A i napięciu osiąganym w fazie szczytowej na poziomie 80 V jest w następnej fazie stabilizowany w okolicach wartości 3A. Sygnałem wyłączającym wtryskiwacz jest pojawienie się ostatniego impulsu przepięcia. Takie rozwiązanie ma ograniczenie w postaci ewentualnego występowania zwiększonej emisji zakłóceń radiowych. Metoda ta stosowana jest najczęściej w układach o wtryskiwaniu bezpośrednim [1, 2, 5].



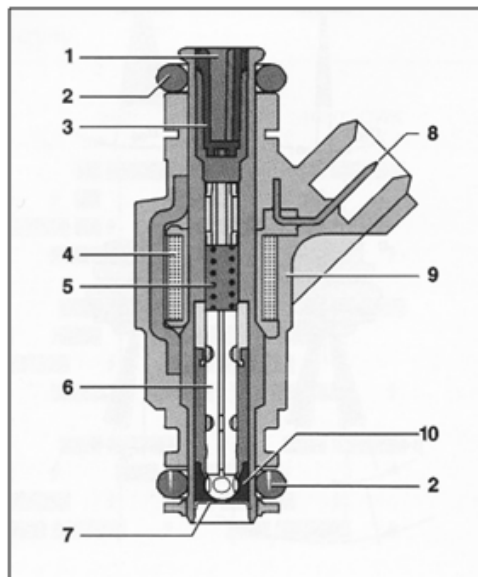
**Rys. 4.** Schematyczny przebieg prądu podczas wieloimpulsowego zasilania wtryskiwacza [3]



Rys. 5. Przebieg napięcia przy wieloimpulsowym zasilaniu wtryskiwacza [3]

### 3. OBIEKT BADAŃ

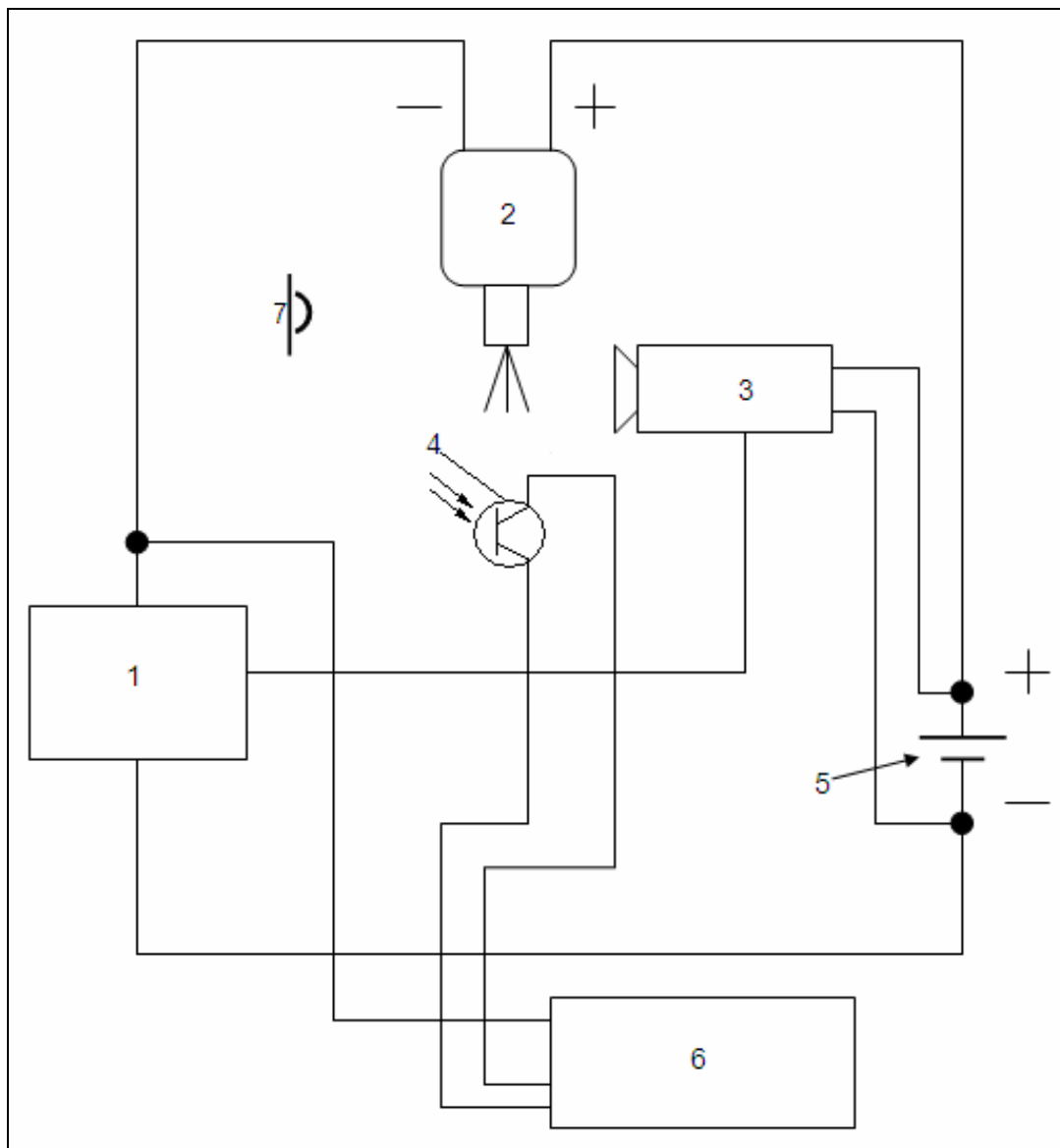
Obiektem wykorzystywanym do badań był wtryskiwacz elektromagnetyczny wykorzystywany w silniku POLONEZ 1.6 MPI z układem wtryskowym multec XM. Budowa takiego wtryskiwacza została przedstawiona na rys. 6.



Rys. 6. Elementy wtryskiwacza elektromagnetycznego [4]: 1 - króciec dopływu paliwa, 2 - pierścień uszczelniający typu O-ring, 3 - filtr siatkowy, 4 - cewka, 5 - sprężyna, 6 - iglica rozpylacza z kotwicą magnetyczną i kulką uszczelniającą, 7 - płytka iglicy rozpylacza, 8 - złącze elektryczne, 9 - obudowa wtryskiwacza, 10 - gniazdo iglicy rozpylacza

### 4. STANOWISKO BADAWCZE

W celu przeprowadzenia badań zostało zbudowane stanowisko doświadczalne, które zapewnia możliwość pomiaru czasu opóźnienia wtrysku paliwa w stosunku do sygnału sterującego pochodzącego ze sterownika podczas stosowania różnych koncepcji sterowania. Schemat elektryczny stanowiska został przedstawiony na rys. 7.

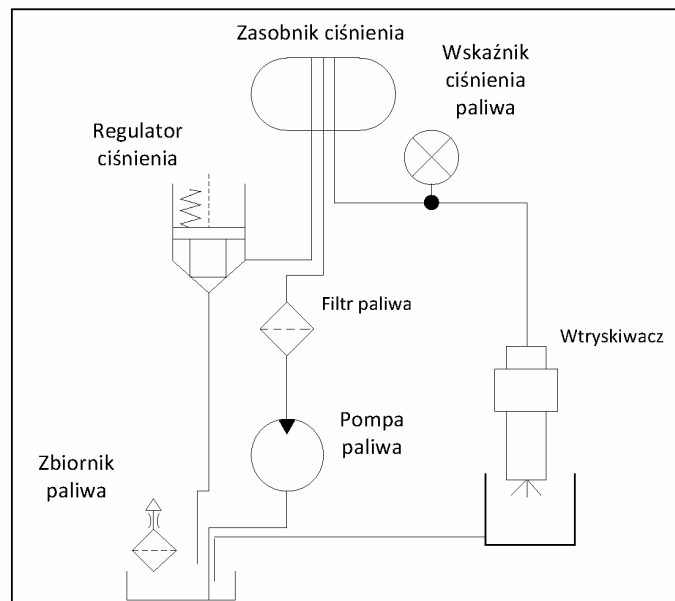


**Rys. 7.** Schemat stanowiska dla sterowania jednoimpulsowego 12 V (opcjonalnie 24 V dla sterowania wieloimpulsowego): 1 - sterownik, 2 - wtryskiwacz elektromagnetyczny, 3 - lampa stroboskopowa z regulacją opóźnienia błysku, 4 - fototranzystor, 5 - źródło napięcia stałego 12 V, 6 - oscyloskop, 7 - obserwator

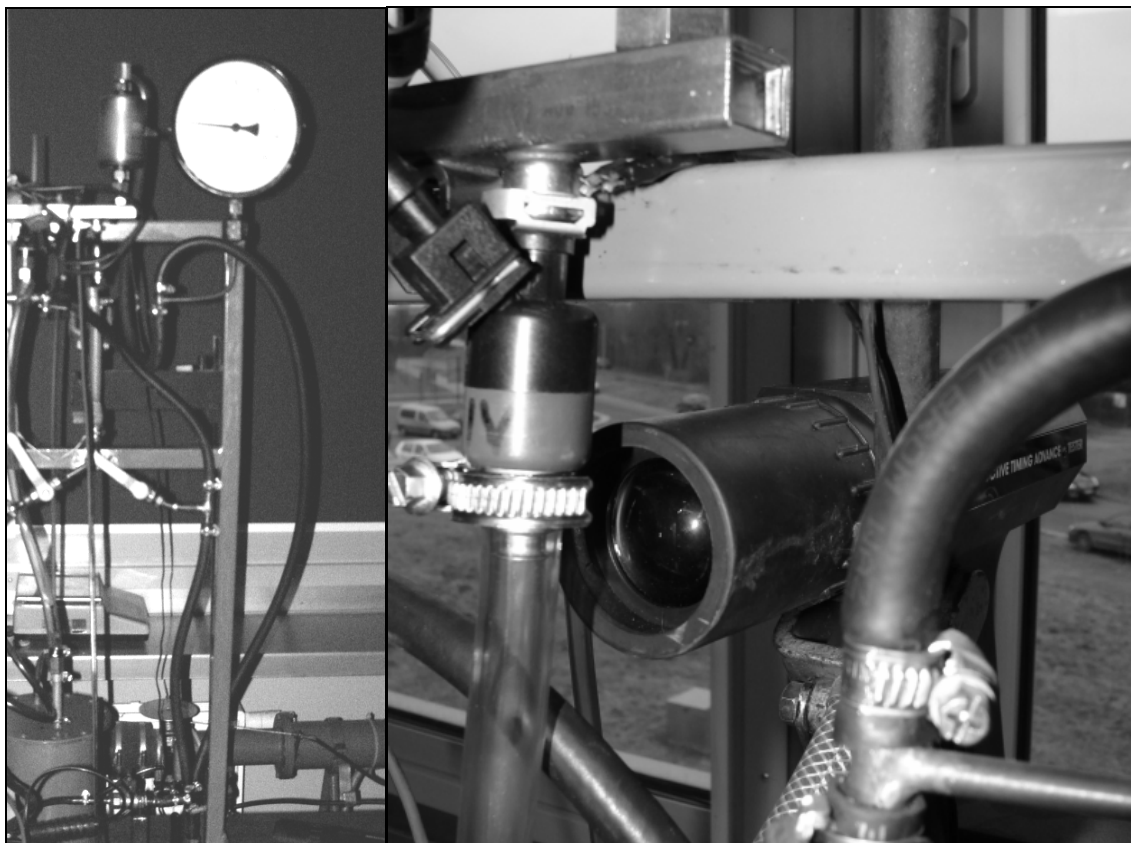
Do budowy układu hydraulicznego stanowiska zostały wykorzystane elementy układu zasilania silnika POLONEZ 1.6 MPI Multec XM:

- pompę paliwa,
- filtr paliwa,
- zasobnik ciśnienia z regulatorem podciśnieniowym,
- przewody elastyczne.

Dodatkowo zastosowano także analogowy wskaźnik ciśnienia i przezroczysty przewód do którego wtryskiwane jest paliwo. Schemat hydrauliczny stanowiska przedstawiono na rys. 8. Widok stanowiska został przedstawiony na rys. 9.



Rys. 8. Schemat hydrauliczny stanowiska badawczego



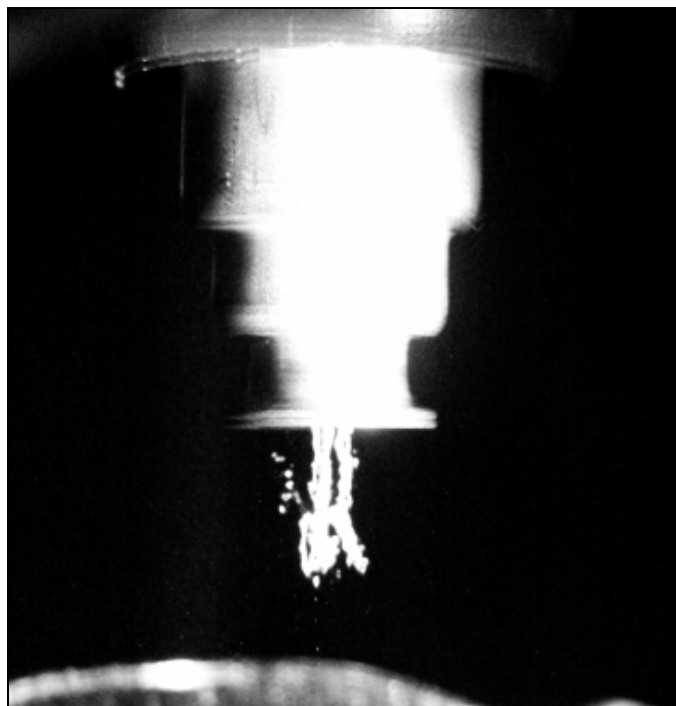
Rys. 9. Widok stanowiska badawczego

## 5. PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ

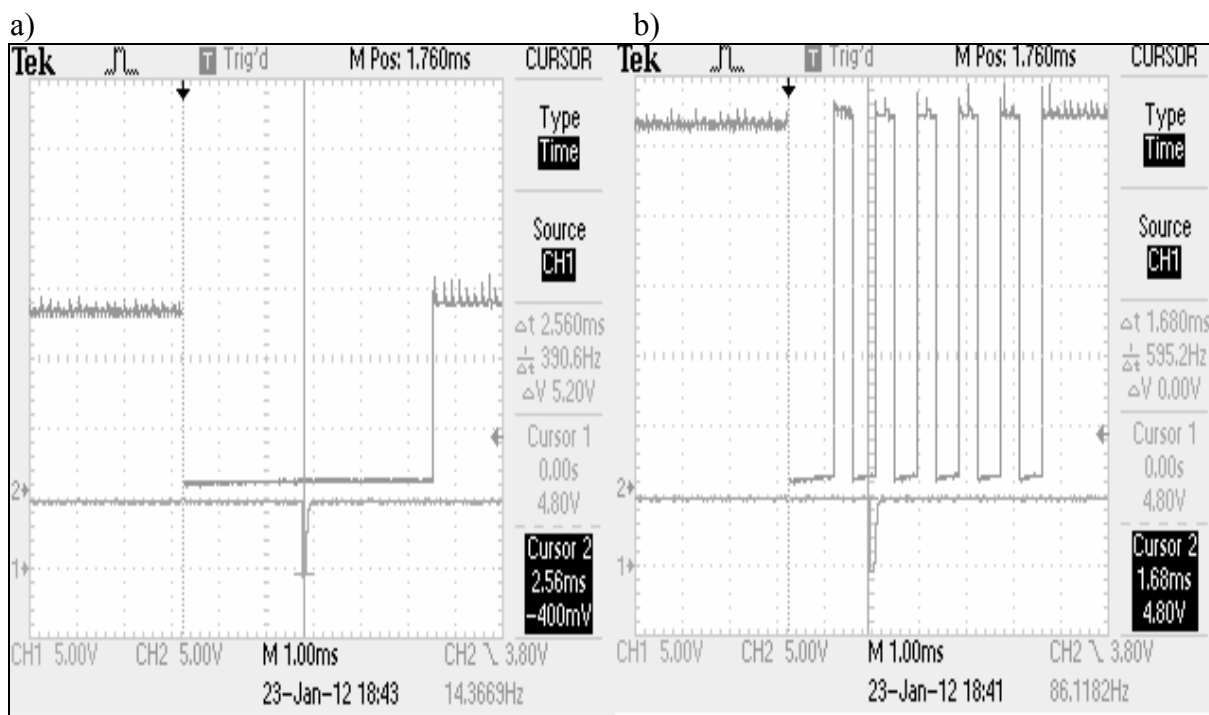
Badania były wykonywane przy ciśnieniu paliwa w układzie wynoszącym  $3 \text{ kg/cm}^2$ . W pierwszej kolejności wtryskiwacz był sterowany jednoimpulsowo. Rzeczywiste opóźnienie wtrysku było mierzone przy pomocy lampy stroboskopowej z regulowanym czasem opóźnienia błysku. Czas opóźnienia błysku dobrano w taki sposób, że był widoczny początek wtrysku rys. 10. Sygnał sterujący wtryskiwaczem i moment błysku zostały przedstawione na ekranie oscyloskopu. Błysk lampy został przetworzony na sygnał elektryczny za pomocą fototranzystora. Ponieważ badania były prowadzone w celu porównania różnicy czasów, nie pojawiła się konieczność uwzględniania

czasu opóźnienia sygnału samego fototranzystora. Badania zostały przeprowadzone także dla sterowania wieloimpulsowego. Na podstawie wyników zapisanych w pamięci oscyloskopu został obliczony różnica opóźnienia czasów wtrysku dla różnych metod sterowania.

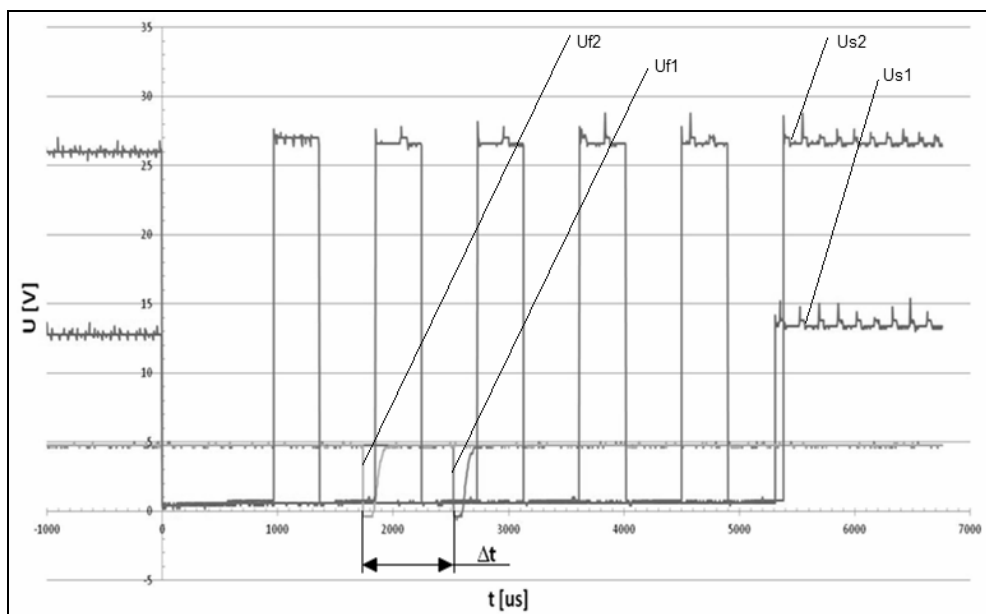
Oscylogramy z prowadzonych badań zostały przedstawione na rys. 11. Wyniki badań zostały przedstawione na rys. 12



Rys. 10. Faza początkowa wtrysku paliwa z wtryskiwacza widziana okiem niezbrojonym



Rys. 11. Zestawienie dwóch sygnałów sterownika: a - sterowanie jednoimpulsowe, b - sterowanie wieloimpulsowe



**Rys. 12.** Wykres przebiegów sygnałów, gdzie: Uf1 - napięcie fototranzystora podczas pomiaru (sygnał jednoimpulsowy), Us1 - napięcie sterujące podczas pomiaru (sygnał jednoimpulsowy), Uf2 - napięcie fototranzystora podczas pomiaru (sygnał wieloimpulsowy), Us2 - napięcie sterujące podczas pomiaru (sygnał wieloimpulsowy)

## 6. WNIOSKI

Podsumowując otrzymane rezultaty badań można jednoznacznie stwierdzić, że przy innowacyjnej koncepcji sterowania testowanego układu prądem modulowanym (sterowanie wieloimpulsowe) otrzymano znaczne skrócenie czasu opóźnienia wtrysku. Różnica w szybkości reakcji wtryskiwacza na impuls sterujący rzędu 0,8 ms, gdy cały sygnał sterowania mieścił się w przedziale czasu równym 5,5 ms stanowi 15 procentową poprawę w stosunku do jednoimpulsowej koncepcji sterowania. Świadczy to o tym, że wzrost prądu sterującego ma wpływ na uzyskiwany czas wtrysku wtryskiwacza elektromagnetycznego, a sam moment wtrysku zostaje przesunięty w czasie. Taki system wprowadzony do konwencjonalnego układu wtrysku wielopunktowego nie będzie przynosił w nim wymiernych rezultatów, gdyż paliwo jest tam wprowadzane do kolektora dolotowego i dopiero po wymieszaniu z powietrzem trafia do komory spalania. Jednak może znaleźć swoje zastosowanie w silnikach z bezpośrednim wtryskiem benzyny do cylindra. Tutaj bowiem przyśpieszenie wtrysku wiąże się z możliwościami jego podziału na mniejsze dawki aplikowane w różnych momentach suwu sprężania, a dodatkowy dotrysk mógłby być realizowany tuż przed momentem zapłonu, pozwalając tym samym na stosowanie mieszanek uwarstwionych. Taki zabieg może skutkować zmniejszonym zużyciem paliwa przez silnik.

## LITERATURA

- [1] Dziubiński M.: Badania elektronicznych urządzeń pojazdów samochodowych. Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski, Lublin 2004.
- [2] Dziubiński M.: Elektroniczne układy pojazdów samochodowych. Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski, Lublin 2003.
- [3] Herner A., Riehl H.: Elektrotechnika I elektronika w pojazdach samochodowych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2009.
- [4] Praca zbiorowa.: Informator techniczny Bosch - Sterowanie silników o zapłonie iskrowym: Zasada działania, Podzespoły. Wydanie 2008.
- [5] Praca zbiorowa.: Informator techniczny Bosch - Sterowanie silników o zapłonie iskrowym: Układy Motronic. Wydanie 2004.

### ASSESSMENT OF DELAY TIME OF FUEL INJECTION IN RELATION TO INJECTOR SOLENOID CONTROL SIGNAL IN THE SPARK IGNITION ENGINES USING DIFFERENT CONTROL CONCEPTS

The article presents research of time from sending an electrical signal controlling the opening of the injector to start of fuel injection, depending on the method of control.