

Tomasz BAŁCHANOWSKI\*  
Jarosław JAJCZYK\*

## STANOWISKO LABORATORYJNE DO BADANIA UKŁADÓW ZAPŁONOWYCH STEROWANYCH KOMPUTEROWO

W pracy omówiono rolę stanowiska laboratoryjnego w procesie edukacyjnym. Skupiono się na projekcie i konstrukcji stanowiska do badań laboratoryjnych układu zapłonowego sterowanego komputerowo. W zbudowanym stanowisku użyto zaawansowany elektroniczny układ sterowania zapłonem pozwalający na poznanie funkcjonalnych zależności pomiędzy jego elementami składowymi. Zbudowane stanowisko testowe pozwala uzyskać i zweryfikować wiedzę na temat badanego systemu w sposób praktyczny i pomaga w ugruntowaniu wiedzy teoretycznej.

SŁOWA KLUCZOWE: zapłon iskrowy, układ zapłonowy, sterowanie komputerowe, sterowanie pracą silnika

### 1. WSTĘP

Układ zapłonowy jest podstawowym podsystemem pojazdu, odpowiedzialnym za prawidłową pracę silnika o zapłonie iskrowym. W nowoczesnych silnikach spalinowych zwiększenie ich wydajności i mocy powoduje powstanie trudności w funkcjonowaniu układów zapłonowych. Stałe udoskonalanie systemów zapłonowych doprowadziło do wprowadzenia elektronicznych układów zapłonowych, a ostatecznie do zastosowania komputerowych jednostek sterujących silnikiem (ICU). Ze względu na znaczenie tego typu układów oraz stale trwające prace nad wprowadzaniem nowych rozwiązań, ważna jest znajomość budowy, sposobu działania i metod diagnostyki układów zapłonowych przez każdego, kto zajmuje się zagadnieniem systemów elektronicznych w pojazdach [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16].

W przypadku nauk technicznych ważne jest skuteczne przekazywanie uczniom i studentom wiedzy zarówno teoretycznej jak i praktycznej. Praktyczne podejście do danej tematyki pozwala na wykreowanie nawyku działań, jakie dana osoba musi przeprowadzić w przypadku badań i diagnostyki układów za-

---

\* Politechnika Poznańska.

płonowych. Jednym ze środków ułatwiających uzyskanie praktycznej wiedzy w dziedzinie technicznej jest stosowanie stanowisk laboratoryjnych, których działanie odzwierciedla rzeczywiste obiekty. Zastosowanie specjalistycznych stanowisk laboratoryjnych umożliwia zaobserwowanie i zrozumienie zjawisk zachodzących w rzeczywistym układzie zapłonowym [1, 2, 5].

W pracy przedstawiono aspekty dydaktyczne i techniczne związane z rolą stanowisk laboratoryjnych w przekazywaniu wiedzy teoretycznej oraz praktycznej dotyczącej elektronicznych układów zapłonowych sterowanych komputerowo. Praca zawiera wymagania do projektu i wykonania stanowiska laboratoryjnego, jakie należy spełnić by urządzenie było użytecznym środkiem przekazu wiedzy odbiorcom (słuchaczom i studentom). Przedstawiono założenia projektowe, projekt oraz realizację techniczną stanowiska laboratoryjnego do badań samochodowych układów zapłonowych sterowanych komputerowo.

## **2. STANOWISKO LABORATORYJNE W PRZEKAZYWANIU WIEDZY I WYTYCZNE DO JEGO BUDOWY**

Zależnie od rodzaju przekazywanej wiedzy, zmienia się optymalna metodologia jej przekazywania oraz najlepsze do tego środki przekazu. W przypadku nauk technicznych oprócz wiedzy teoretycznej ważne jest zdobycie umiejętności praktycznych. Pomocne w obu tych przypadkach są obiekty fizyczne, takie jak stanowiska laboratoryjne, pozwalające na utrwalenie i zweryfikowanie wiedzy teoretycznej oraz poznanie zależności funkcjonalnych pomiędzy elementami i wielkościami fizycznymi w zaimplementowanym układzie. Dzięki pracy ze stanowiskiem laboratoryjnym osoba wykonująca ćwiczenie ma okazję na opanowanie: metod diagnostycznych, realizacji badań i pomiarów, umiejętności napraw i regulacji elementów zainstalowanych w stanowisku. Takie podejście do sposobu przekazywania wiedzy jest pomocne przy kreowaniu przyszłej kadry inżynierów, zajmujących się np. układami elektrycznymi i elektronicznymi w pojazdach.

Opanowanie przez odbiorcę wiedzy teoretycznej oraz praktycznej zależy od prawidłowego przebiegu przekazywania informacji oraz doświadczenia z rzeczywistym obiektem. W czasie pracy z fizycznym układem technicznym może zaistnieć potrzeba realizacji standardowych badań na systemie pracującym w normalnych warunkach lub "izolacja" jego poszczególnych elementów w celu określenia ich roli w pracy układu, wielkości wejściowych i wyjściowych, a także charakterystyki pracy.

Podczas projektowania i budowy stanowiska badawczego ważne jest określenie, czy gotowy obiekt ma być bardziej funkcjonalny w badaniach jako zespół podzespołów, czy też każdy z elementów ma być maksymalnie odseparowany, umożliwiając przeprowadzenie na nim specjalistycznych badań. Jasno

określone oczekiwania wobec projektowanego urządzenia mają decydujący wpływ na założenia projektowe.

W trakcie kolejnych działań projektowych należy określić badania możliwe do przeprowadzenia w czasie pracy z urządzeniem, uwzględniając zasady pracy z układami mechanicznymi i elektrycznymi, a także przepisy BHP. Prawidłowa ergonomia stanowiska badawczego oraz jego funkcjonalność przekładają się bezpośrednio na łatwość obsługi urządzenia.

Projektowane stanowisko ma być wykorzystywane w laboratorium Układów Elektrycznych i Elektronicznych w Przemśle i Pojazdach. Stanowisko ma być pomocą dla studentów w zrozumieniu sposobu działania układu zapłonowego silnika spalinowego sterowanego przez komputer. Umożliwi poznanie i przeprowadzenie badań i diagnostyki tego typu instalacji. Ze względu na oddanie gotowego urządzenia do dyspozycji licznym, niedoświadczonym osobom, stanowisko musi cechować się bezpieczeństwem obsługi, dobrą ergonomią i łatwością obsługi przy zachowaniu wysokiej funkcjonalności badawczej.

### 3. WYBÓR UKŁADU DO ZASTOSOWANIA

Układem odpowiedzialnym za wywołanie wyładowania iskrowego zapalającego mieszanek paliwowo-powietrzną w odpowiedniej chwili jest układ zapłonowy. Kąt wyprzedzenia zapłonu jest sumą kąta statycznego (niezależnego od stanu pracy silnika) oraz kąta dynamicznego. Wartość kąta dynamicznego dobiera się przez układ zapłonowy na podstawie informacji o aktualnych parametrach pracy silnika. Parametrami, które mają decydujący wpływ na dobór kąta dynamicznego są: prędkość obrotowa wału korbowego oraz wartość podciśnienia w kolektorze dolotowym. Dostarczają one informacje o mocy dostarczanej przez silnik oraz aktualnym obciążeniu jednostki napędowej. Układy zapłonowe sterowane cyfrowo wykorzystują dodatkowo informacje o temperaturze silnika, masie powietrza dolotowego, położeniu pedału przyspieszenia itd. [1, 4, 6, 7, 11, 15].

Układ zapłonowy będący obiektem badań musi posiadać cyfrową jednostkę sterującą z zaprogramowaną mapą zapłonu. W celu wyznaczenia momentu wystąpienia wyładowania iskrowego na świecach, komputer zapłonowy powinien korzystać z takich informacji jak: położenie wału korbowego, wartość temperatury silnika i wartość podciśnienia w kolektorze dolotowym. W celu maksymalizacji niezawodności układu musi on wykorzystywać jak najmniejszą liczbę elementów mechanicznych, takich jak rozdzielacz zapłonu czy regulatory mechaniczne. W związku z powyższym zastosowany czujnik położenia wału powinien być układem bezstykowym (indukcyjnym lub hallotronowym).

W projektowanym stanowisku postanowiono zaimplementować elektroniczny układ zapłonowy sterowany komputerowo, którego geneza sięga początku

lat 90-tych. Jest to układ przejściowy, który występował pomiędzy układami średniej generacji z modułem zapłonowym a współczesnymi układami wtryskowo-zapłonowymi. Sterownik zastosowany w tym systemie nadzoruje jedynie pracę układu zapłonowego, natomiast zasilanie w paliwo odbywa się niezależnie. Układ zapłonowy jest systemem łączącym wiele dziedzin: mechanikę, technikę wysokich napięć, elektromagnetyzm i układy elektroniczne, dlatego tak ważne jest unikanie zbędnego skomplikowania układu zainstalowanego na stanowisku, by nie zatracić "przejrzystości" jego funkcjonowania. Dzięki temu podczas wykonywania badań na stanowisku możliwe będzie łatwe określenie sposobu działania systemu zapłonowego oraz zależności pomiędzy jego elementami i występującymi wielkościami.

## **4. REALIZACJA STANOWISKA LABORATORYJNEGO**

### **4.1. Budowa stanowiska**

Stanowisko badawcze powinno umożliwiać swobodne umiejscowienie w sali laboratoryjnej, a więc gabaryty i masa powinny pozwalać na przeniesienie go przez jedną osobę i ustawienie na standardowym stole. Konstrukcja powinna być tak wykonana, by możliwy był łatwy dostęp do wnętrza obudowy w celu przeprowadzenia napraw i ewentualnych czynności serwisowych, przy jednoczesnym zachowaniu odpowiedniej solidności. Powłoka lakiernicza na powierzchni metalu musi zabezpieczać go przed degradacyjnym wpływem czasu oraz niewielkimi urazami mechanicznymi. Całość powinna posiadać stabilną podstawę umożliwiającą wypoziomowanie urządzenia.

Górna pokrywa wykonana będzie z blachy z oznaczeniami i grafikami naniesionymi w sposób zapewniający im trwałość w czasie eksploatacji. Każdy podzespoł układu zapłonowego będzie widoczny na górnej pokrywie. Poszczególne styki podzespołów układu zapłonowego umieszczone będą w formie zestandaryzowanych zacisków na płycie górnej i docelowo łączone przez osobę wykonującą ćwiczenia. Rozwiązanie to umożliwi włączenie w układ przyrządów diagnostycznych i przebadanie każdego elementu osobno. Każde z wyprowadzeń będzie jednoznacznie opisane, graficznie lub tekstowo. Dodatkowo na obudowie umieszczone będzie schemat zaimplementowanego układu zapłonowego.

Koło zębate czujnika położenia wału umieszczone będzie w centralnej części pokrywy pod osłoną z pleksiglasu z naniesioną podziałką kątową. Umożliwi to obserwację zmian kąta wyprzedzenia zapłonu z zastosowaniem lampy stroboskopowej. Układ napędowy koła zębatego musi pozwalać na osiągnięcie obrotów w zakresie  $700 \div 4000$  obr/min, które odpowiadają wartościom uzyskiwanym przez wał silnika benzynowego. Regulacja obrotów musi następować w

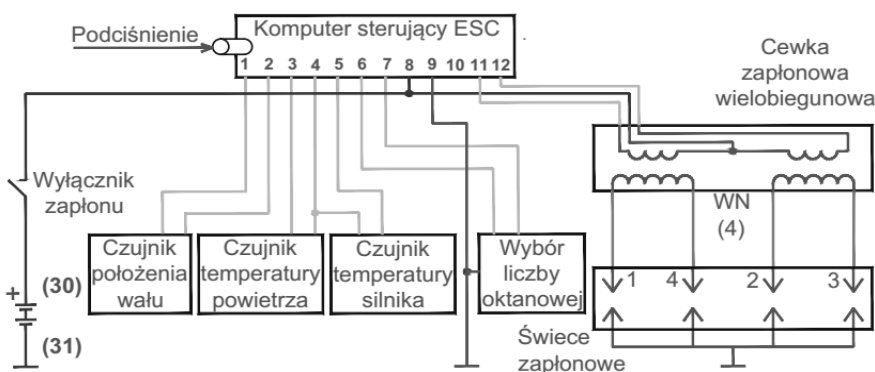
sposób płynny. Prędkość obrotowa koła zębatego mierzona będzie za pomocą optycznego obrotomierza cyfrowego z wyświetlaczem ciekłokrystalicznym.

Stanowisko powinno być zasilane z dwóch źródeł energii: akumulatora 12 V dla układu zapłonowego oraz sieci 230 V dla reszty osprzętu. Takie rozwiązanie umożliwia separację tych dwóch obwodów oraz jest naturalną konfiguracją dla systemu zapłonowego.

#### 4.2. Budowa układu zapłonowego

Komputer sterujący wybrany do zamontowania na stanowisku to model Motorcraft ESC 91AB-12A297-MA, w którym układ cyfrowy wykorzystywany jest jedynie do sterowania systemem zapłonowym. Jednostka ESC wyznacza moment wyładowania iskrowego z wykorzystaniem wewnętrznej mapy zapłonowej, na podstawie informacji z indukcyjnego czujnika położenia koła zamachowego (model Motorcraft 948F-6C315-AA), współpracującego z tarczą zębatą o 35 zębach (36 minus 1) [12].

Wartość kąta wyprzedzenia zapłonu  $\alpha_{wz}$  modyfikowana jest przez komputer dzięki odczytowi aktualnej prędkości obrotowej wału korbowego, informacjom z czujników temperatury powietrza i silnika (emulowane przez potencjometry liniowe 220 k $\Omega$ ) oraz wartości podciśnienia w kolektorze dolotowym – poprzez króciec na obudowie układu ESC. Komputer sterujący dokonuje przełączeń w wielobiegunowej cewce zapłonowej (Motorcraft 928F-12029-CA) (rys. 1).



Rys. 1. Schemat układu zapłonowego [1]

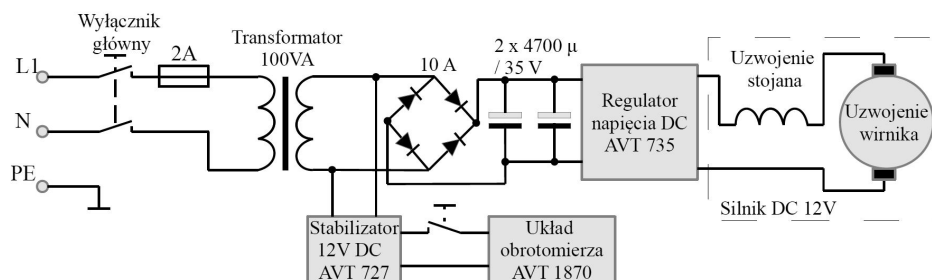
Wyjście 11 układu ESC odpowiada za cylindry 1 i 4, natomiast wyjście 12 za cylindry 2 oraz 3. Cewka zapłonowa połączona jest z uniwersalnymi świecami zapłonowymi firmy NGK za pośrednictwem silikonowych przewodów zapłonowych.

Dodatkową informacją dla jednostki sterującej jest przełącznik liczby oktanowej paliwa, który wpływa na zmianę kąta wyprzedzenia zapłonu w celu zapobiegania spalaniu stukowemu – rozwiązanie takie było wykorzystywane przed zastosowaniem piezoceramicznych czujników spalania stukowego. Rodzaj paliwa wybierany jest manualnie za pośrednictwem przełącznika "Wybór liczby oktanowej".

### 4.3. Układ napędowy i osprzęt

Zastosowany układ napędowy z założenia powinien umożliwiać osiągnięcie prędkości obrotowej zbliżonej do prędkości obrotowej wału korbowego benzynowego silnika spalinowego, czyli  $700 \div 4000$  obr/min, przy jednoczesnej możliwości płynnej zmiany tej prędkości. Aby sprostać tym wymaganiom, zastosowano silnik komutatorowy 12 V DC firmy HS (model M200) służący m.in. do napędu dmuchawy nawiewu samochodów marki Chevrolet: Matiz oraz Spark. Omawiany model silnika posiada moc około 30 W, która jest wystarczająca do napędu koła zębatego czujnika położenia wału.

Zastosowanie silnika komutatorowego DC pozwala na użycie prostego obwodu regulacji prędkości obrotowej zasilanego z sieci 230 V (rys. 2), złożonego z transformatora toroidalnego 100 VA (230/19 V; 5,26 A), układu prostującego (złożonego z mostka Greatz'a i kondensatorów elektrolitycznych  $2 \times 4700 \mu\text{F}/35 \text{ V}$ ) oraz przerywacza impulsowego DC firmy AVT (model AVT 735), którego praca opiera się o regulację PWM.



Rys. 2. Schemat układu napędowego [1]

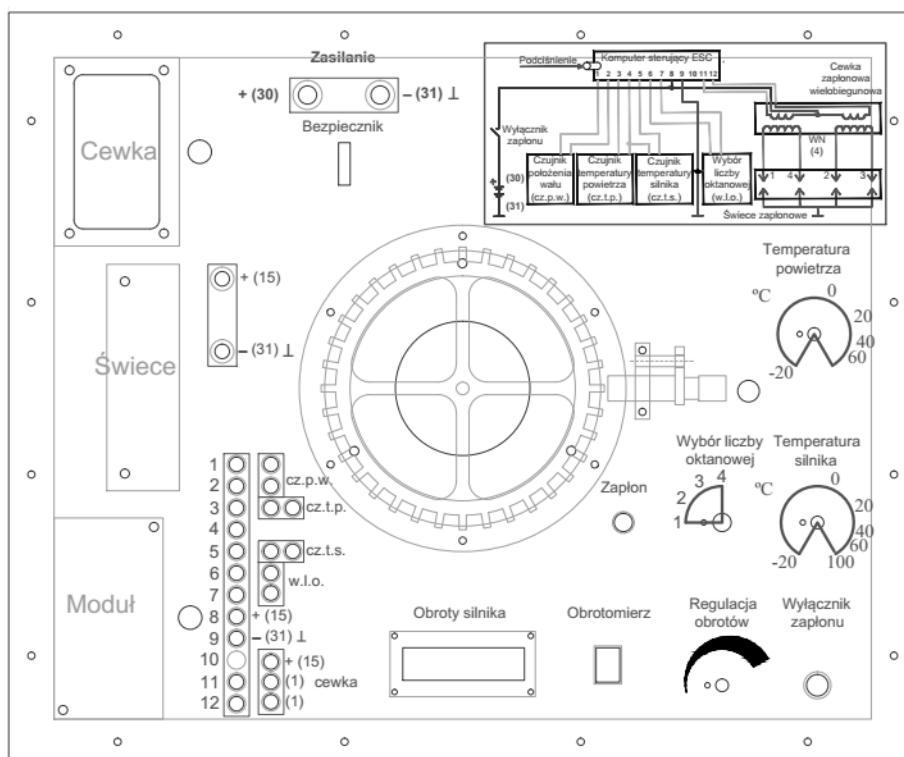
Obwód zasilania zainstalowany jest wewnątrz obudowy, natomiast potencjometr regulacji prędkości obrotowej zamontowany jest na płycie górnej. Wewnątrz obudowy, obok układu AVT 735 zamontowano dodatkowy potencjometr  $22 \text{ k}\Omega$ , służący do ograniczenia napięcia zasilania silnika.

Aktualna prędkość obrotowa określana jest przez układ AVT 1870, który jest cyfrowym obrotomierzem z przetwornikiem bezstykowym. Składa się on

z fotodiody i fototranzystora, odczytującego prędkość obrotową z koła zębatego zainstalowanego na górnej pokrywie. Układ wraz z wyświetlaczem umieszczony jest pod powierzchnią płyty wierzchniej. Jego zasilanie odbywa się za pośrednictwem stabilizatora AVT 727 podłączonego do wspomnianego transformatora 100 VA.

#### 4.4. Obudowa i pokrywa górna

Obudowa o konstrukcji ramowej posiada 6 ścian. Podstawa ma kształt prostokąta o wymiarach 500x400 mm. Górna pokrywa nachylona jest względem podstawy o kąt 14°, stąd wysokość obudowy wynosi 25 cm po wyższej stronie oraz 15 cm po stronie niższej. Całość wykonana jest ze stalowego kątownika 25x25x3 mm z wykorzystaniem procesu spawania. Podstawa oraz ściany boczne wykonano z blachy stalowej o grubości 1,5 mm, zamocowanej za pomocą aluminiowych nitów zrywalnych. Wszystkie stalowe elementy obudowy pomalowano proszkowo w stonowane barwy.

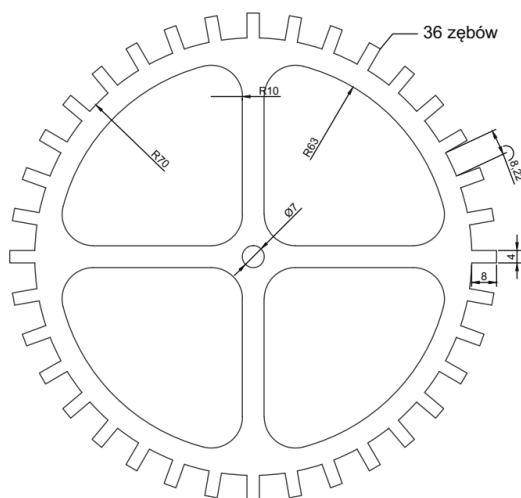


Rys. 3. Projekt górnej pokrywy wykonanego stanowiska badawczego

Całe stanowisko opiera się na 4 ogumowanych nóżkach umocowanych u podstawy za pomocą śrub, pozwalających na wypoziomowanie urządzenia. Na tylnej ścianie urządzenia umieszczone jest gniazdo zasilania 230 V, wyłącznik główny oraz bezpiecznik topikowy. Na bocznej ścianie widoczna jest tabliczka znamionowa z nazwą urządzenia oraz nazwiskiem jego twórcy.

Górna pokrywa (rys. 3) została wykonana techniką cięcia laserowego z blachy aluminiowej o grubości 3 mm. Uznano aluminium za odpowiedni materiał, ponieważ jest wytrzymały, tani i stanowi ekran elektromagnetyczny dla fali emitowanej podczas wysokoenergetycznych wyładowań na świecach zapłonowych, będących częścią zainstalowanego systemu zapłonowego. Powierzchnia aluminium nie będzie pokrywana warstwami lakieru, a jedynie zostaną naniesione nadruki.

Centralną część płyty górnej zajmuje stalowe koło zębate (rys. 4) wraz z czujnikiem położenia wału. Jego osłona (rys. 5) wykonana ze szkła akrylowego o grubości 4 mm podparta jest na 6 słupkach dystansowych. Od spodu posiada nadrukowaną podziałkę 360°, pomocną przy wyznaczaniu kąta przesunięcia fazowego. Koło zębate osadzone jest na osi silnika napędowego, umieszczonego pod powierzchnią górnej tablicy.

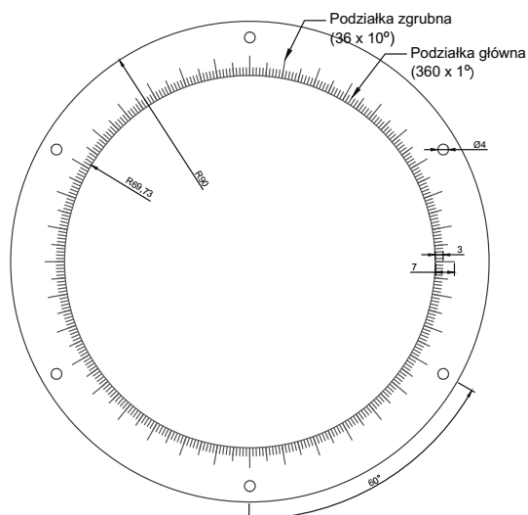


Rys. 4. Projekt koła zębatego czujnika położenia wału (stal)

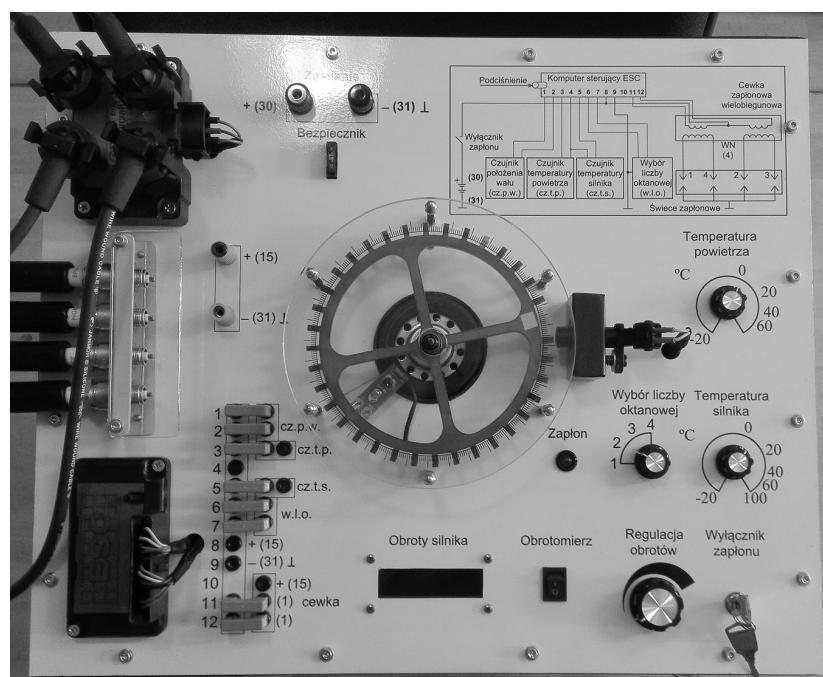
Czujnik położenia wału zamocowany jest na podstawie wyfrezowanej z tworzywa sztucznego. Dzięki odpowiedniemu mechanizmowi możliwa jest zmiana jego położenia względem koła zębatego i kalibracja układu.

Rozmieszczenie elementów na wierzchniej części wykonanego stanowiska laboratoryjnego przedstawiono na rysunku 6.





Rys. 5. Projekt osłony koła zębatego (szkło akrylowe)



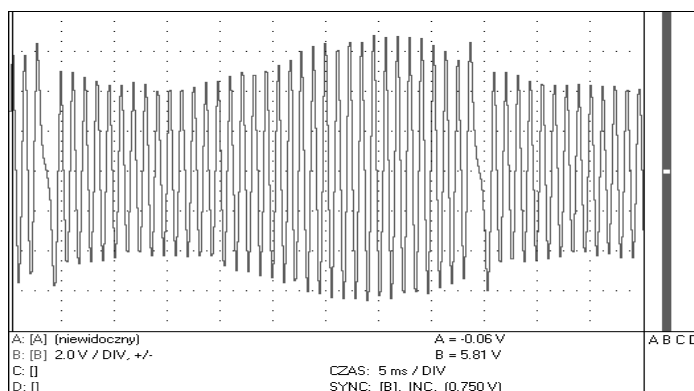
Rys. 6. Widok wykonanego stanowiska badawczego

Szerszy opis oraz szczegóły dotyczące przyjętych założeń projektowych i przedstawionego projektu zawarto w pracy [1].

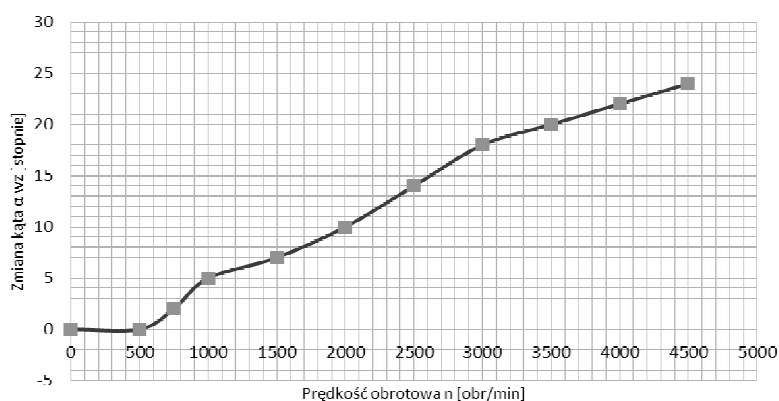
## 5. PRZYKŁADY MOŻLIWYCH DO PRZEPROWADZENIA BADAŃ

Zaprojektowane i wykonane stanowisko badawcze umożliwia przeprowadzenie wielu badań i działań diagnostycznych, przydatnych w czasie zajęć laboratoryjnych. Spośród nich najważniejsze to: oględziny zewnętrzne elementów układu zapłonowego [1, 9, 17], badania cewki zapłonowej (pomiar rezystancji uzwojeń, badanie stanu izolacji, pomiar napięcia wtórnego) [1, 5, 9, 10, 15, 17], badanie czujnika położenia wału [1, 6, 9, 11], badanie mapy zapłonowej modułu ESC (określenie wpływu prędkości obrotowej, podciśnienia w kolektorze dolotowym, temperatury silnika i powietrza oraz liczby oktanowej paliwa na wartość kąta wyprzedzenia zapłonu) [1, 10, 17, 18].

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono przykładowe wyniki badań.



Rys. 7. Przykładowy przebieg sygnału z czujnika położenia wału



Rys. 8. Charakterystyka zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu w funkcji prędkości obrotowej  $\alpha_{wz} = f(n)$

Na rysunku 7 zamieszczono przebieg sygnału z czujnika prędkości obrotowej i położenia wału. Na rysunku 8 zamieszczono charakterystykę zależności kąta wyprzedzenia zapłonu w funkcji prędkości obrotowej wału.

## 6. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE

Rozwój układów zapłonowych samochodowych silników benzynowych determinowany jest przez chęć zwiększenia ich niezawodności oraz wymogi jakie powstają przy wdrażaniu nowych rozwiązań w budowie silników. Trend ten jest nadal aktualny, stąd ważne jest, by osoby zajmujące się układami zapłonowymi znały ich budowę, metody diagnostyki i związki funkcjonalne pomiędzy elementami składowymi układu. W procesie edukacji technicznej użytecznym narzędziem są stanowiska laboratoryjne, pozwalające na sprawne przekazywanie wiedzy praktycznej i teoretycznej.

W czasie projektowania stanowiska laboratoryjnego ważne było, by zaimplementowany układ pozwalał na określenie roli jego podzespołów bez zbędnego skomplikowania, przy jednoczesnym zachowaniu walorów dydaktycznych. W wyniku realizacji projektu potwierdzono, że jest możliwe zbudowanie w pełni funkcjonalnego dydaktycznego stanowiska laboratoryjnego spełniającego wszystkie funkcje systemu zapłonowego.

## LITERATURA

- [1] Bałchanowski T., Samochodowe układy zapłonowe sterowane komputerowo, praca dyplomowa magisterska, Politechnika Poznańska, Poznań 2016.
- [2] Bałchanowski T., Bednarek K., Educational and technical aspects of the design and construction of the test bench for testing the automotive ignition systems, *Computer Applications in Electrical Engineering*, vol. 13, 2015, s. 197–208.
- [3] Demidowicz R.: Zapłon, WKiŁ, Warszawa 1998.
- [4] Dziubiński M., Ocioszyński J., Walusiak S.: *Elektrotechnika i elektronika samochodowa*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 1999.
- [5] Gołębiowski J.: *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych, Ćwiczenia laboratoryjne*, Politechnika Łódzka, Łódź 2005.
- [6] Herner A., Riehl H.: *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*, WKŁ, Warszawa 2013.
- [7] Kasedorf J.: *Układy wtryskowe i katalizatory*, WKiŁ, Warszawa 1996.
- [8] Konopiński M.: *Elektronika w technice motoryzacyjnej*, WKŁ, Warszawa 1987.
- [9] Kowalski B.: *Badania i diagnostyka samochodowych urządzeń elektrycznych*, Praca zbiorowa, WKŁ, Warszawa 1981.
- [10] Ocioszyński J.: *Elektrotechnika i elektronika pojazdów samochodowych*, WSIP, Warszawa 1996.
- [11] Pacholski K.: *Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych cz.2*, WKŁ, Warszawa 2013.

- [12] Praca zbiorowa: Ford Escort i Orion, WKŁ, Warszawa 1998.
- [13] Trzeciak K.: Diagnostyka samochodów osobowych, WKŁ, Warszawa 2005.
- [14] Wendeker M.: Sterowanie zapłonem w silniku samochodowym, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 1999.
- [15] Wrzask J., Juszczak Z.: Elektrotechnika i elektronika w samochodach, Wydawnictwo KaBe, Krosno 2009.
- [16] Zając P.: Silniki pojazdów samochodowych – Część 1 – Podstawy budowy oraz główne zespoły i układy mechaniczne, WKŁ, Warszawa 2014.
- [17] PN-ISO 6518-1, Pojazdy drogowe – Układy zapłonowe – Część 1: Terminologia, PKN, Warszawa 2001.
- [18] PN-ISO 6518-2, Pojazdy drogowe – Układy zapłonowe – Metody badań parametrów elektrycznych i działania, PKN, Warszawa 1999.

#### **POSITION OF LABORATORY FOR TESTING CAR IGNITION SYSTEMS COMPUTER CONTROLLED**

This lecture presents the role of the testing stands in education process. It's mainly focused on design and construction of test bench equipped with computer controlled ignition system. Usage of modern electronic ignition system allows to know the functional connections between its components without unnecessary complications, while retaining topicality of technology solutions. Test benches allows to get the knowledge of the practical side of implemented system in a practical and helps in solidifying theoretical knowledge.

*(Received: 30. 01. 2017, revised: 16. 02. 2017)*