

# Analysis of the Intake Valve Control System of an Internal Combustion Engine

Daniel Niziński <sup>1</sup>,

Academic supervisor: Tomasz Knefel <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Inwałd, oś. Parkowe 8, 34-120 Inwałd, Polska, dn057255@student.ubb.edu.pl, danhel20@gmail.com

<sup>2</sup> Second affiliation, Address, City and Postcode, Country, e-mail

\* Daniel Niziński, dn057255@student.ubb.edu.pl, danhel20@gmail.com

**Abstract:** This work titled “Analysis of the Intake Valve Control System of an Internal Combustion Engine” was conducted in the field of mechanical engineering. It focuses on the control of reciprocating internal combustion engines. The research was carried out on the engine dynamometer at the Department of Internal Combustion Engines and Vehicles at the University of Bielsko-Biala, with the Fiat 0.9 TwinAir engine as the object of study. The study includes research and analysis of the control signals for the solenoids in the Multiair system, responsible for variable valve timing and variable valve lift. Additionally, the aim was to verify the manufacturer’s specified clearances and the precision of the components within the intake valve control cassette, as well as to analyse the operating strategy, exploring the capabilities and limitations of Fiat’s proprietary “Multiair” system. The research was conducted at various engine speeds and load levels.

**Keywords:** Control signals, multiair, Fiat 0.9 TwinAir, boosted engine with SI, control signal testing, multiair operation strategy analysis, clearances in control components;

## Analiza systemu sterowania zaworami dolotowymi silnika spalinowego

Daniel Niziński <sup>1</sup>,

Opiekun naukowy: Tomasz Knefel <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Inwałd, oś. Parkowe 8, 34-120 Inwałd, Polska, dn057255@student.ubb.edu.pl, danhel20@gmail.com

<sup>2</sup> Druga afiliacja, adres, miasto i kod pocztowy, kraj, e-mail

\* Daniel Niziński, dn057255@student.ubb.edu.pl, danhel20@gmail.com

**Streszczenie:** Niniejsza praca pt.: „Analiza systemu sterowania zaworami dolotowymi silnika spalinowego” została wykonana w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Dotyczy sterowania tłokowymi silnikami spalinowymi. Badania przeprowadzono na hamowni silnikowej Katedry Silników Spalinowych i Pojazdów Uniwersytetu Bielsko-Bialskiego, natomiast obiektem badawczym był silnik firmy Fiat 0.9 TwinAir. W pracy zawarto badania oraz analizy sygnałów sterujących elektrozaworami systemu multiair odpowiadające za zmienne fazy rozrządu oraz zmienny wznios zaworu. Ponadto założono sprawdzenie założonych przez producenta luzów oraz dokładności wykonania elementów kasety sterującej zaworami dolotowymi oraz analizę strategii działania, poznania możliwości i ograniczeń autorskiego systemu Fiat „multiair”. Badania przeprowadzono dla różnych prędkości obrotowych oraz obciążeń użytecznych jednostki napędowej.

**Słowa kluczowe:** sygnały sterujące, multiair, Fiat 0.9 TwinAir, doładowany silnik o ZI, badania sygnałów sterujących, analiza strategii pracy multiair, luzy w podzespołach sterujących ;

## 1. Wstęp

Silniki o ZI w większości przypadków są sterowane ilościowo, a więc ilość powietrza dostarczonego do silnika bezpośrednio wpływa na jego osiągi. Badany silnik nie posiada systemu bezpośredniego zasilania cylindrów w paliwo, a więc stanowi przykład bardzo rozbudowanego sterowania ilościowego. Odnosząc się do klasycznego przypadku, w którym za regulację ilości powietrza dostarczonego do silnika odpowiadała przepustnica sterowana mechanicznie za pomocą cięgna gazu, można zauważyć istotny rozwój systemów sterowania. Badany silnik do realizacji tego samego zadania, wyposażono zarówno w sterowaną elektronicznie przepustnicę, jak i turbosprężarkę oraz zaawansowany system sterujący czasem oraz wzniosem otwarcia zaworów dolotowych. Korelacja tych trzech systemów poprzez komputer pokładowy, w celu maksymalnej optymalizacji osiągnięć silnika, zmniejszenia zużycia paliwa oraz obniżenia ilości toksycznych składników w spalinach, aby osiągnąć restrykcje narzucone prawnie, wymagała znacznej ilości badań przeprowadzonych przez producenta. Sterowanie układem zapłonowym oraz układem zasilania silnika w paliwo również zostało zmodernizowane w celu uzyskania wyżej wymienionych warunków. Mechaniczne sterowanie układów zapłonowych zostało zamienione na elektroniczne, natomiast zasilanie realizowane za pomocą wtryskiwaczy wyparło stosowane przez długie lata gaźniki. Wszystkie przedstawione zmiany pozwoliły sterować systemami silnika w szerokim zakresie oraz z dużą dokładnością, za pomocą sygnałów wysyłanych przez sterownik. Wykorzystuje się elektryczne sygnały sterujące, zarówno analogowe, jak i cyfrowe PWM. Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie badań sygnałów sterujących elektrozaworami współczesnych systemów sterowania fazami rozrządu oraz wzniosem zaworów dolotowych. Ponadto założono sprawdzenie założonych przez producenta luzów oraz dokładności wykonania elementów kasety sterującej zaworami dolotowymi oraz analizę strategii działania, poznania możliwości i ograniczeń autorskiego systemu Fiat „multiair”.

## 2. Obiekt badawczy oraz stanowisko badawcze

Obiektem badań był silnik 0.9 TwinAir (rys 2.1) oraz kasetka modułu multiair stosowana w silnikach 4 – cylindrowych (rys. 2.4) marki Fiat .



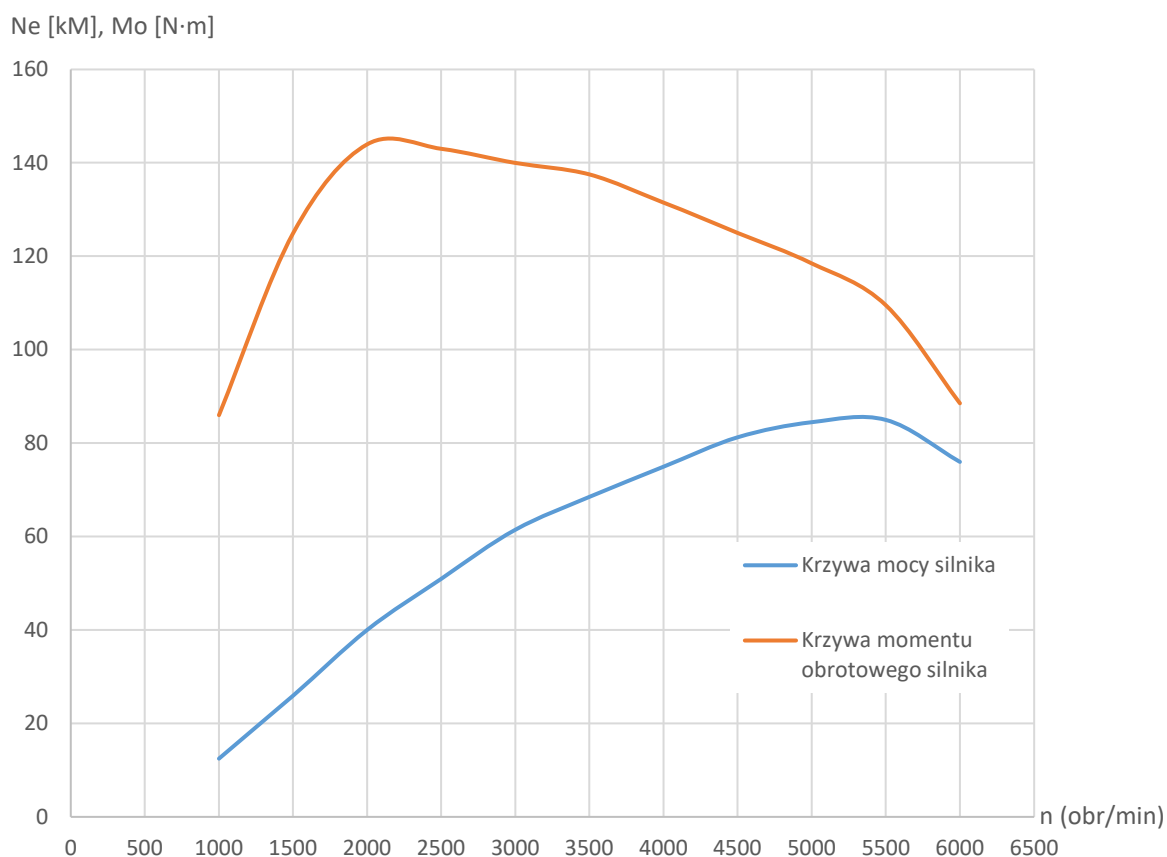
Rysunek 2.1. Obiekt badań - silnik 0.9 TwinAir [5]

Jest to dwucylindrowa, rzędowa jednostka napędowa, objętości skokowej 875 cm<sup>3</sup>, dysponująca mocą użyteczną 62,5 kW przy prędkości obrotowej wału korbowego 5500 obr/min oraz momentem obrotowym 145 N·m przy prędkości obrotowej 1900 obr/min. Producent deklaruje w cyklu mieszanym zużycie paliwa na poziomie 4,1 litra benzyny.

Podstawowe dane techniczne badanego silnika zamieszczono w tabeli 2.1. Przebieg mocy oraz maksymalnego momentu obrotowego silnika przedstawiono na rysunku 2.2 [1], [6] [5].

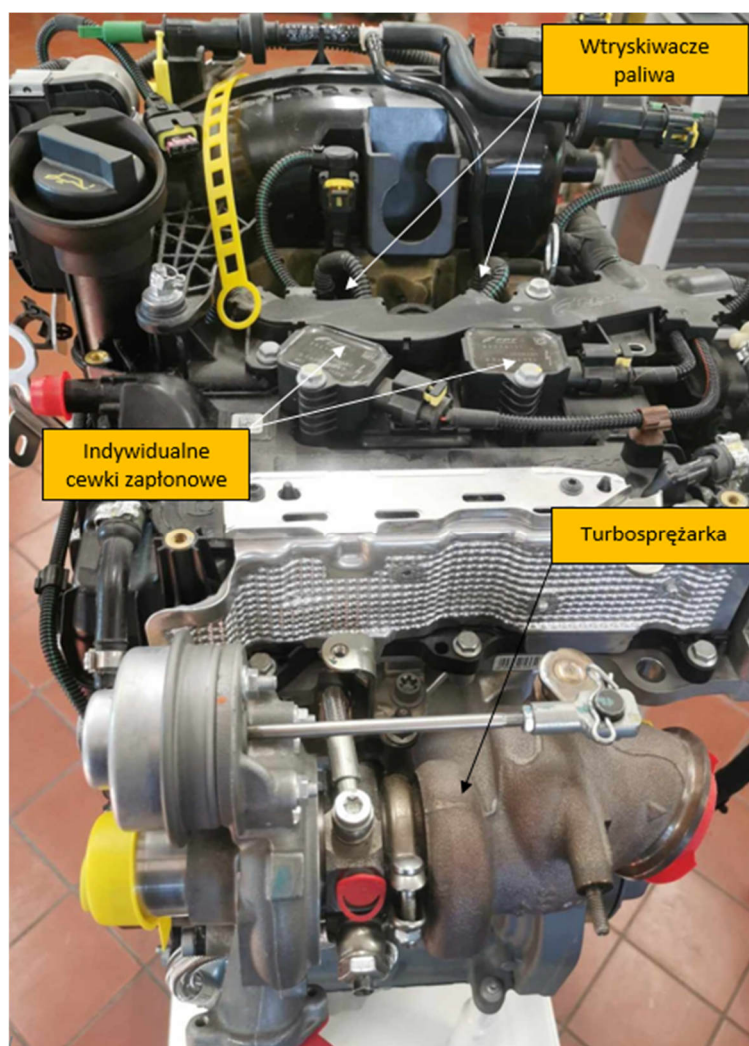
Tab. 2.1. Podstawowe parametry silnika 0.9 TwinAir [1].

Parametr	Wartość
Pojemność silnika	875 cm <sup>3</sup>
Liczba cylindrów	2
Układ cylindrów	rzędowy
Moc silnika	62,5 KW przy 5500 obr/min
Maksymalny moment obrotowy	145 N·m przy 1900 obr/min
Rodzaj układu rozrządu	DOHC
Stopień sprężania	10
Średnica tłoka	80,5 mm
Skok tłoka	86 mm
Liczba zaworów	8
Lata produkcji	od 2015 do 2019 roku
Norma emisji spalin	Euro 5



Rysunek 2.2. Przebieg maksymalnego momentu oraz mocy silnika Twinair 0.9 [7]

Wykorzystany podczas badań silnik wyposażono w wielopunktowy pośredni wtrysk paliwa, układ zapłonowy wraz z indywidualnymi cewkami zapłonowymi oraz doładowanie realizowane za pomocą turbosprężarki (rys. 2.3).

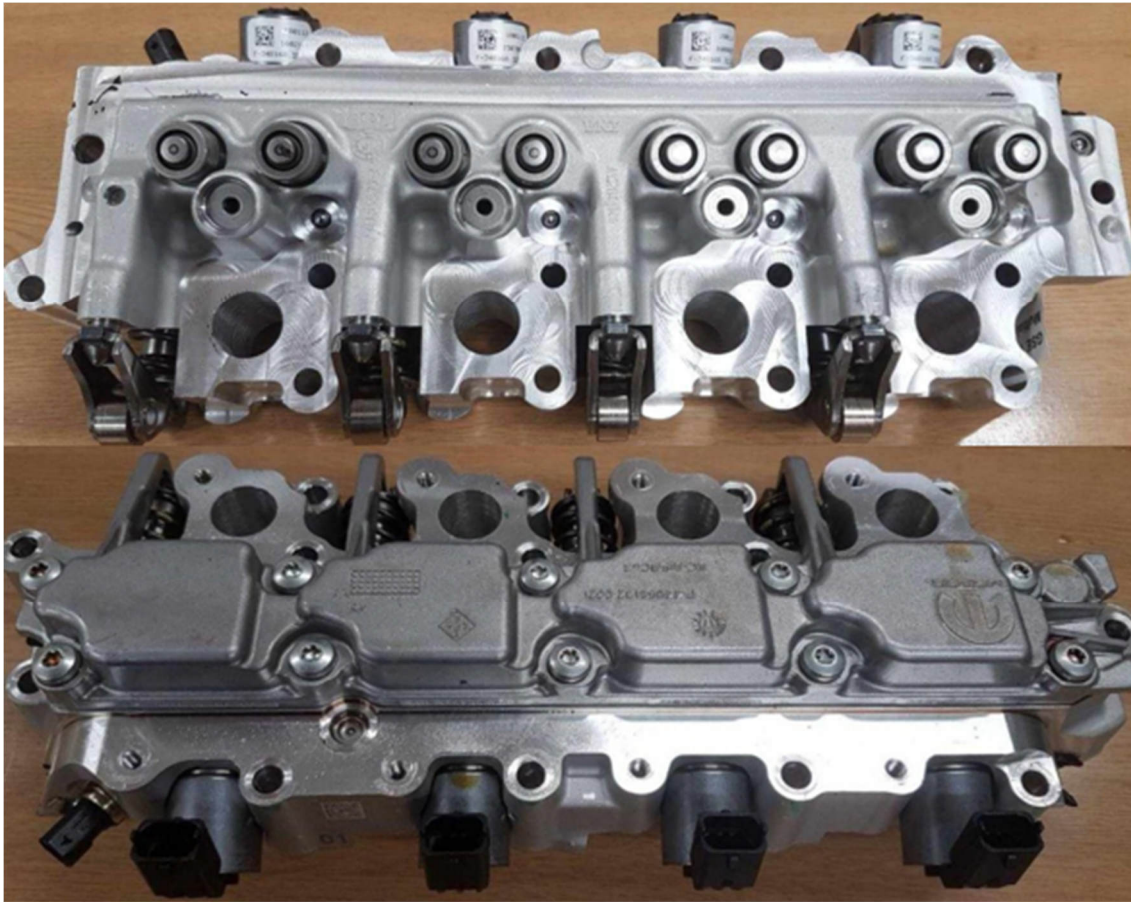


Rysunek 2.3. Zdjęcie wybranych elementów silnika

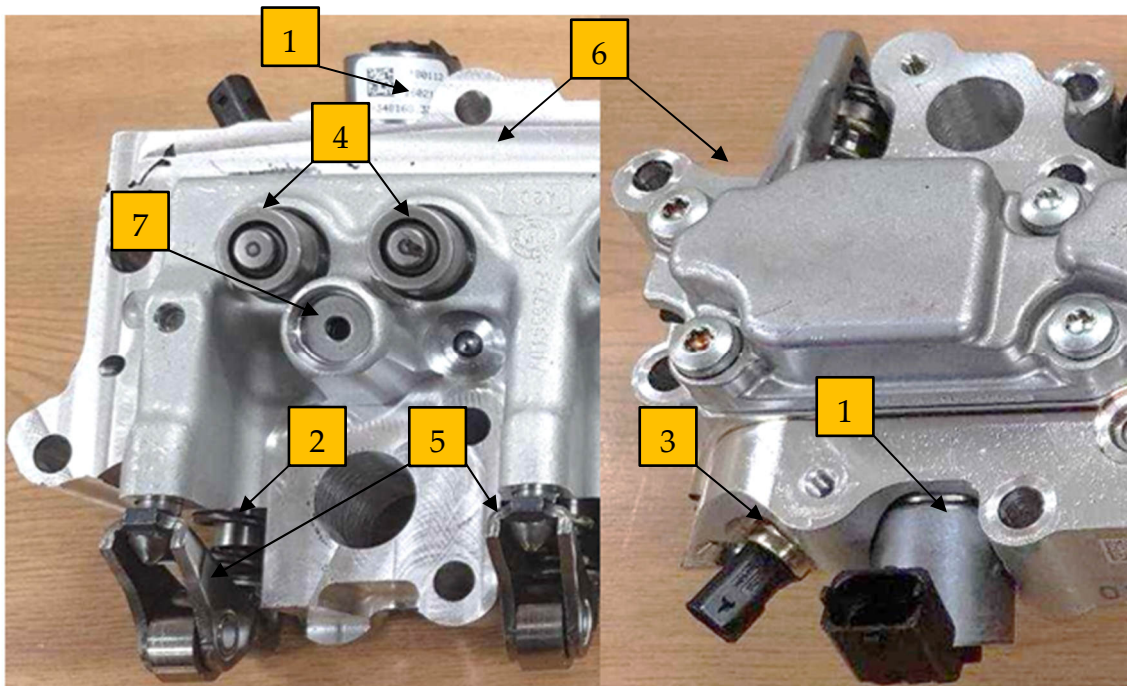
W układzie rozrządu zastosowano autorskie rozwiązanie firmy Fiat - „System Multiair”. Sterowanie zaworami wylotowymi odbywa się mechanicznie za pomocą krzywek, natomiast zawory dolotowe sterowane są połączeniem układu krzywkowego z układem elektrohydraulicznym (rys. 2.4). W tego typu rozwiązaniu krzywka nie działa bezpośrednio na element zablokowany z zaworem, lecz za pośrednictwem dźwigni zaworu porusza górnym zespołem pompującym połączonym z zaworami dolotowymi poprzez poduszkę hydrauliczną oraz zespół pompujący dolny. Przy zamkniętym elektrozaworze, olej w komorze hydraulicznej zachowuje się jak ciało stałe stałe, przez co uzyskuje się pracę jak w typowym układzie mechanicznym rozrządu. W przypadku otwarcia elektrozaworu następuje wypływ oleju z komory hydraulicznej, która steruje przebiegiem otwarcia zaworów dolotowych [4]. Widok modułu multiair z silnika 4 - cylindrowego przedstawiono na rysunku 2.4 oraz 2.5. Rozwiązanie to umożliwia w pewnym zakresie dowolne sterowanie pracą zaworów dolotowych, co bezpośrednio wpływa na ilość powietrza doprowadzonego do cylindrów silnika.

Ze względu na duże możliwości wykorzystania systemu multiair, jego pracę możemy podzielić na następujące fazy oraz operacje działania:

- pełny wznios zaworu oraz praca wynikająca z zarysu krzywki wałka rozrządu,
- wcześniejsze zamknięcie zaworu dolotowego,
- opóźnienie otwarcia zaworu dolotowego,
- dwukrotne otwarcie zaworu podczas suwu dolotu,
- całkowity brak otwarcia zaworu dolotowego [2].

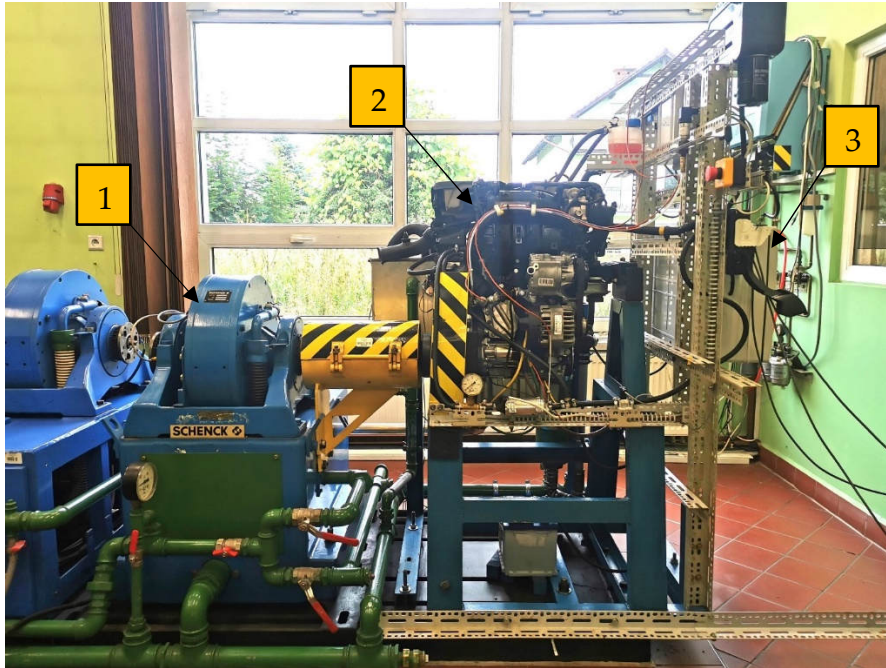


Rysunek 2.4. Moduł multi-air stosowany w silnikach 4 – cylindrowych marki Fiat

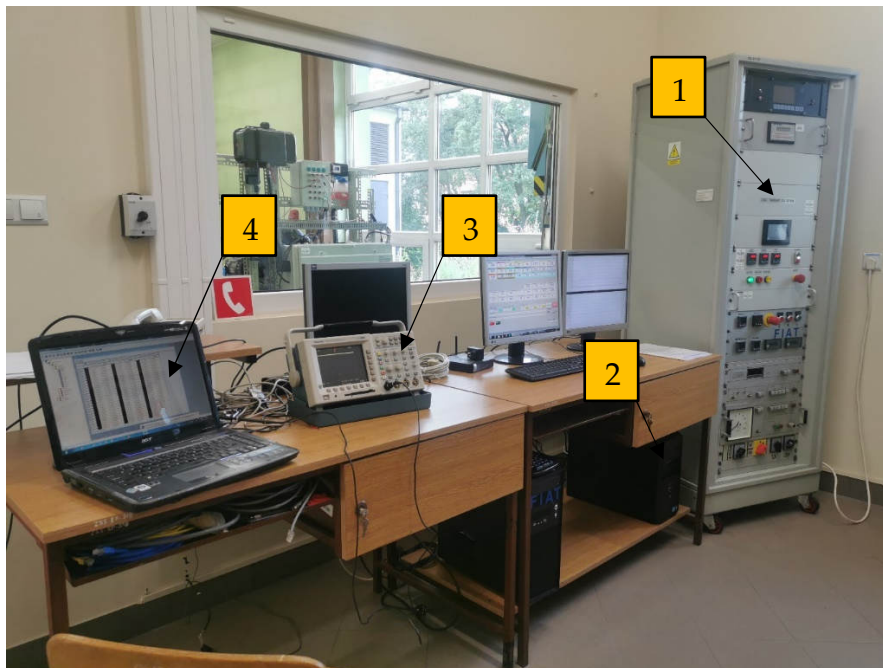


Rysunek 2.5. Pierwsza sekcja kasety systemu multi-air: 1- elektrozawór, 2 – zespół pompujący górny, 3 – czujnik ciśnienia oleju, 4 – zespoły pompujące dolne, 5 – dźwignia zaworu, 6 – korpus systemu multi-air 7 – akumulator ciśnienia

Badania sygnałów sterujących przeprowadzono na hamowni silnikowej Katedry Silników Spalinowych i Pojazdów Uniwersytetu Bielsko-Bialskiego. W hamowni, na stanowisku badawczym umieszczono jednostkę napędową wraz z osprzętem umożliwiającym pracę (rys. 2.6). Sterowanie, monitorowanie, pomiar założonych parametrów oraz archiwizowanie wybranych parametrów obiektu badawczego odbywało z izolowanego pomieszczenia (rys. 2.7).



**Rysunek 2.6.** Stanowisko badawcze: 1- obiekt badawczy połączony z hamulcem elektro-wirowym, 2 – zespół hamulca elektro-wirowego Schenck, 3 - osprzęt niezbędny do sterowania i badań.



**Rysunek 2.7.** Urządzenia sterująco-rejestrujące: 1 – układy sterowania hamulcem elektro-wirowym oraz parametrami eksploatacyjnymi hamowni, 2 – komputer PC umożliwiające zadawanie parametrów pracy silnika oraz odczyt danych z sieci CAN, 3 – czterokanałowy oscyloskop Tektronix TDS 3014, 4 – komputer umożliwiający odczyt oraz zapis danych oscyloskopowych.

### 3. Wyniki oraz analiza wyników pomiarów

#### 3.1 Określenie luzów oraz dokładności wykonania elementów występujących w podzespołach kasety multiair

Kaseta systemu multiair to złożona konstrukcja zawierająca podzespoły wymagające zastosowania wysokich dokładności obróbki oraz odpowiednich luzów między współpracującymi elementami (rys. 3.1). Jest to konieczne ze względu na utrzymanie szczelności poszczególnych podzespołów układu oraz uzyskania bezawaryjnej pracy w całym okresie eksploatacji kasety systemu aby zapewnić precyzyjne sterowanie zaworami dolotowymi silnika.

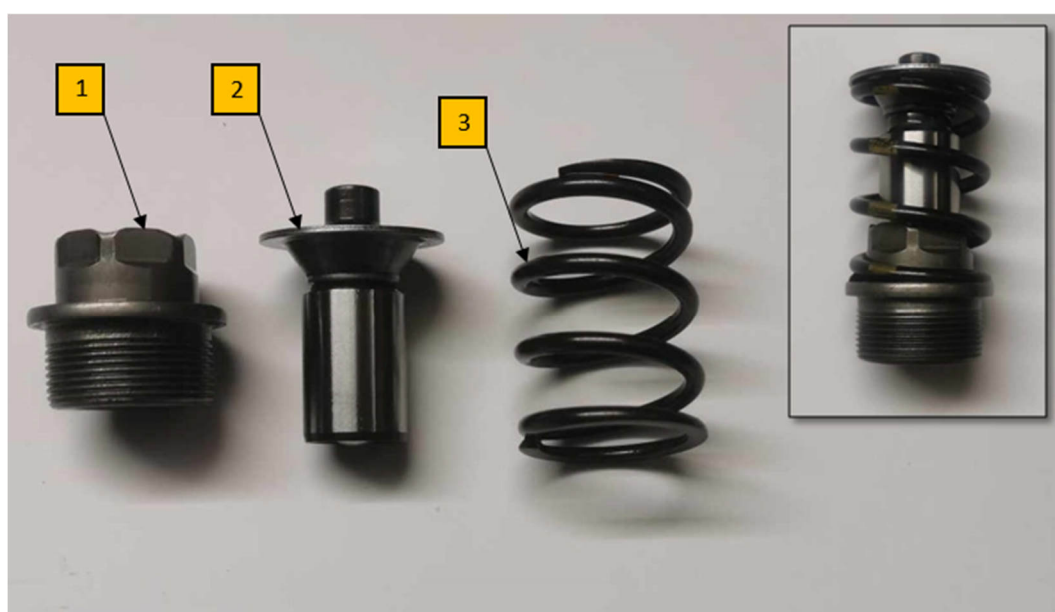


Rysunek 3.1 Współpracujące elementy układu multiair

Wyniki pomiarów oraz analizę zastosowanych luzów przedstawiono poniżej dla następujących podzespołów:

- elementu pompującego górnego (rys. 3.2.),
- elementu pompującego dolnego (rys. 3.3.),
- akumulatora ciśnienia oleju (rys. 3.4.).

#### Element pompujący górny



Rysunek 3.2. Element pompujący górny – elementy składowe: 1 – obsada, 2 – tłok, 3 – sprężyna.

Tabela 3.1. Wymiary oraz luzy występujące w zespole elementu pompującego górnego.

Zespół 1			Zespół 2		
Wymiar [mm]		Luz [mm]	Wymiar [mm]		Luz [mm]
Tłok	Obsada		Tłok	Obsada	
Ø14,105	Ø14,127	0,022	Ø14,103	Ø14,130	0,027

Elementy zostały wykonane z dokładnością do tysięcznych części milimetra, co umożliwia zapewnienie szczelności oraz prawidłowej i precyzyjnej pracy układu.

### Element pompujący dolny



Rysunek 3.3. Element pompujący dolny – elementy składowe: 1 – pokrywa tłoka górnego, 2 – sprężyna, 3 – tłok górny, 4 – tłok dolny, 5 – obsada, 6 – o-ring

Tabela 3.2. Wymiary oraz luzy występujące w zespole 1 elementu pompującego górnego.

Zespół 1				
Wymiar [mm]			Luz [mm]	
Tłok górny	Tłok dolny	Obsada	Tłok górny - obsada	Tłok dolny - obsada
Ø 8,602	Ø 8,615	Ø 8,660	0,058	0,045

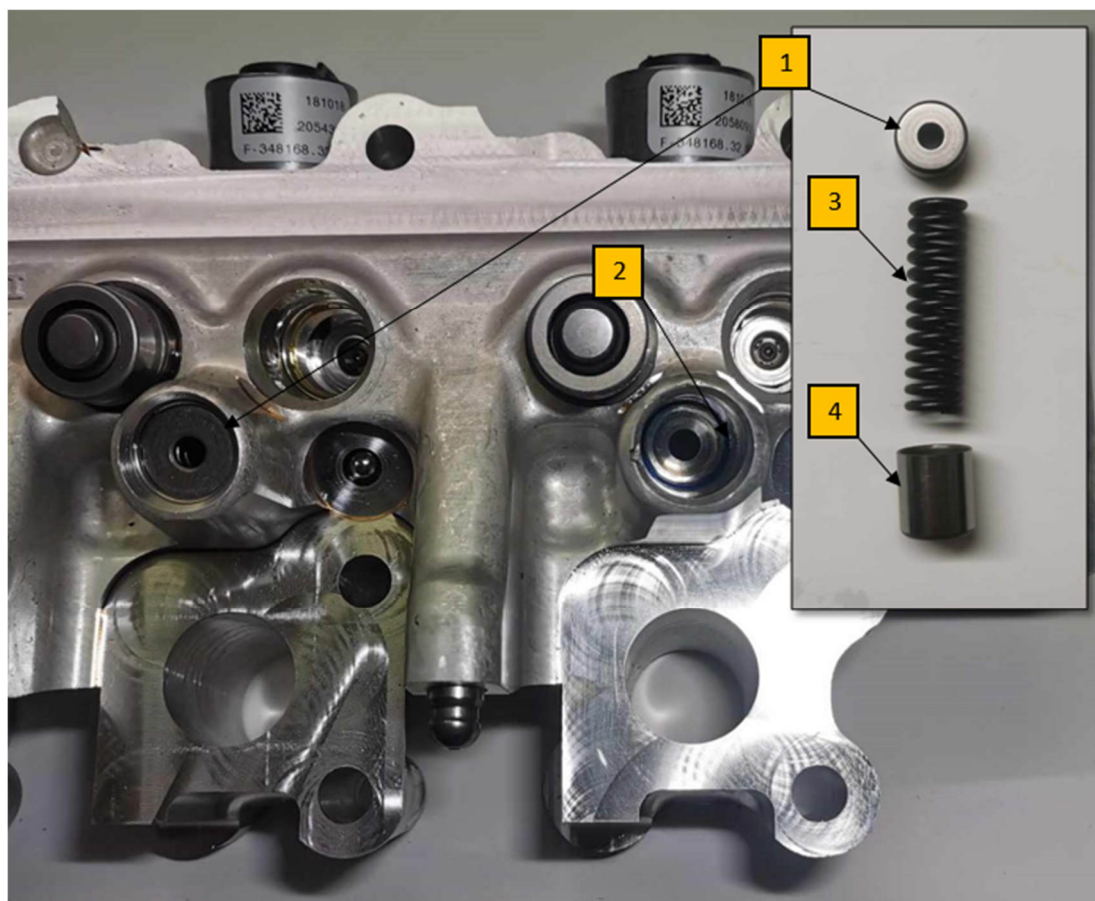
Tabela 3.3. Wymiary oraz luzy występujące w zespole 2 elementu pompującego górnego.

Zespół 2				
Wymiar [mm]			Luz [mm]	
Tłok górny	Tłok dolny	Obsada	Tłok górny - obsada	Tłok dolny - obsada
Ø 8,602	Ø 8,616	Ø 8,659	0,057	0,043



Elementy zostały wykonane z dokładnością do tysięcznych części milimetra, z występującą różnicą luzu około 0,01mm między pasowaniem tłoka górnego oraz dolnego mogącą wynikać z pełnionych funkcji elementów, bądź też różnic temperaturowych pracy elementów uwzględniając zjawisko rozszerzalności temperaturowej.

### Akumulator ciśnienia



**Rysunek 3.4.** Akumulator ciśnienia oleju – elementy składowe: 1 – pokrywa górna, 2 – obsada, 3 – sprężyna, 4 – pokrywa dolna

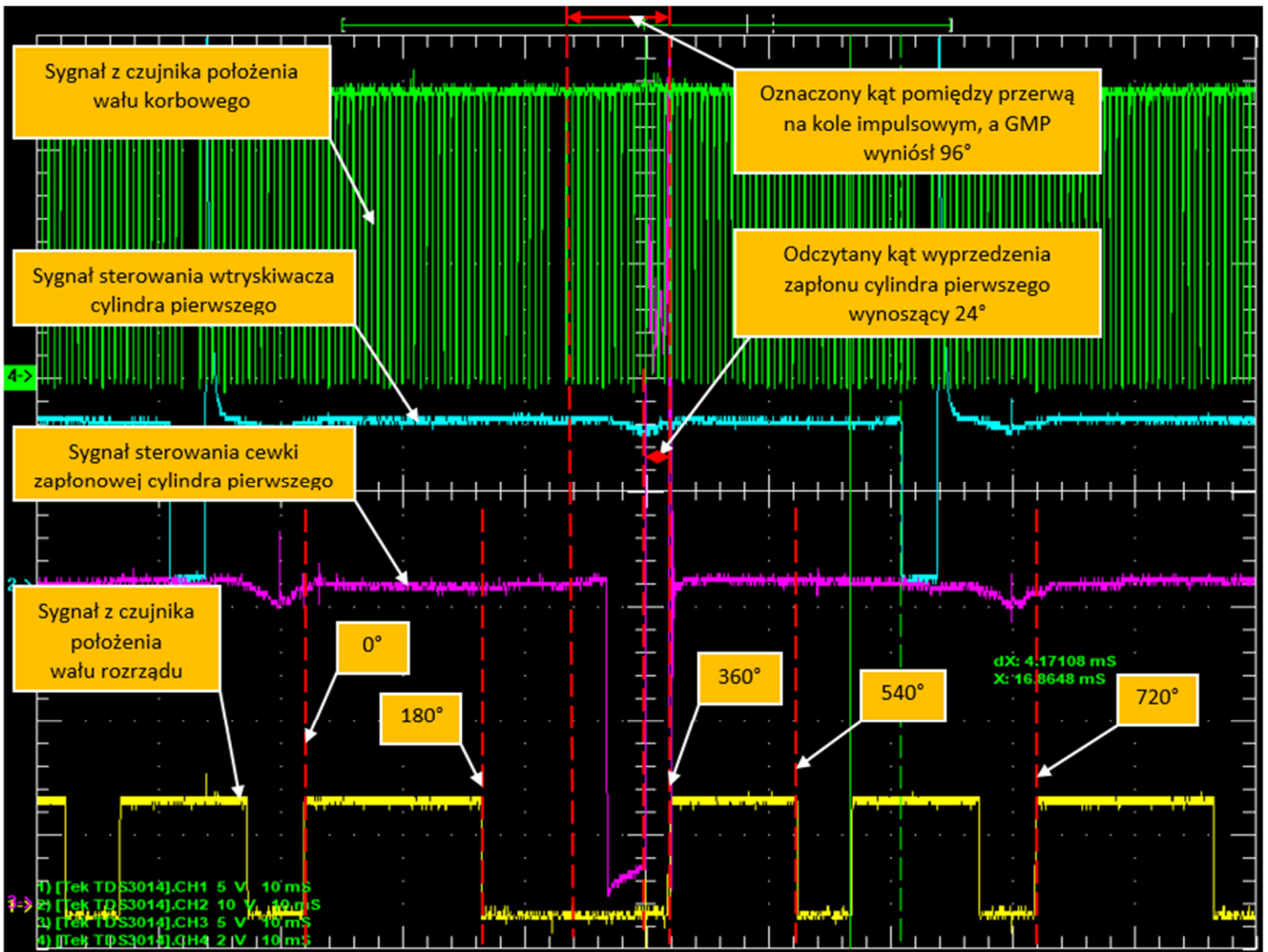
*Tabela 3.4. Wymiary oraz luzy występujące w akumulatorze ciśnienia oleju.*

<b>Zespół 1</b>				
<b>Wymiar [mm]</b>			<b>Luz [mm]</b>	
<i>Pokrywa górna</i>	<i>Pokrywa dolna</i>	<i>Obsada</i>	<i>Pokrywa górna - obsada</i>	<i>Pokrywa dolna - obsada</i>
Ø 15,881	Ø 15,970	Ø 16,003	0,122	0,033

Znacząca różnica w zastosowanym luzie oraz dokładności wykonania występująca pomiędzy pokrywą dolną i górną wynika z pełnionych przez nie funkcji. Pokrywa dolna stanowi osadzenie sprężyny oraz uszczelnia komorę zasobnikową oleju, natomiast komora górna stanowi jedynie osadzenie sprężyny i nie pełni funkcji uszczelniającej.

### 3.2 Ustalenie położenia GMP względem impulsatora wału korbowego

Analizę uzyskanych wyników rozpoczęto od ustalenia położenia przerwy na kole impulsowym wału korbowego względem górnego martwego położenia (GMP) tłoka. Na przebiegu sygnału określającego położenie wałka rozrządu (rys. 3.5) wyznaczono położenie tłoka w GMP. Wiadomo, że na kole impulsowym wału korbowego umieszczono 58 zębów oraz przerwę odpowiadającą liczbie 2 zębów, stąd na jeden impuls z czujnika hallotronowego przypada  $6^\circ$  obrotu wału korbowego (OWK). Następnie położenie GMP odniesiono do położenia przerwy w sygnale z koła impulsowego. Odczytany kąt między przerwą a położeniem GMP to  $96^\circ$  OWK.

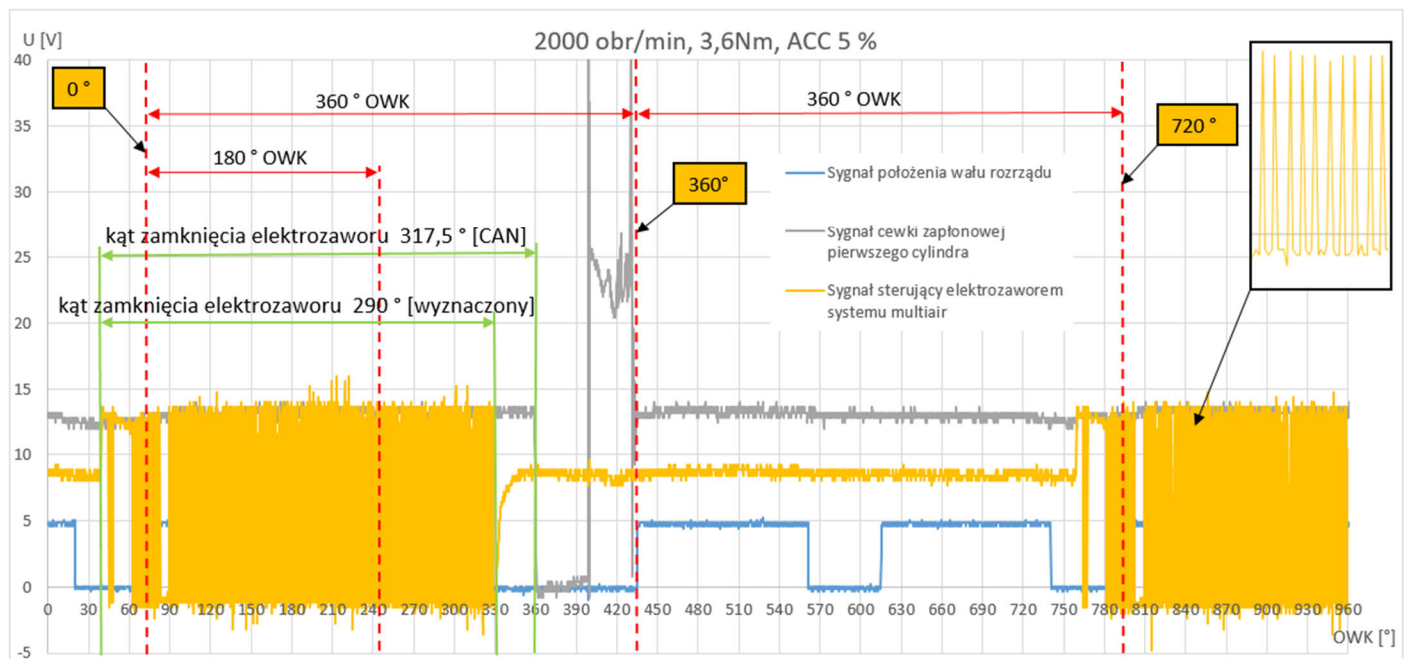


Rysunek 3.5. Analiza położenia przerwy na kole impulsowym wału rozrządu oraz wału korbowego względem GMP cylindra pierwszego

### 3.3 Analiza działania systemu multiair

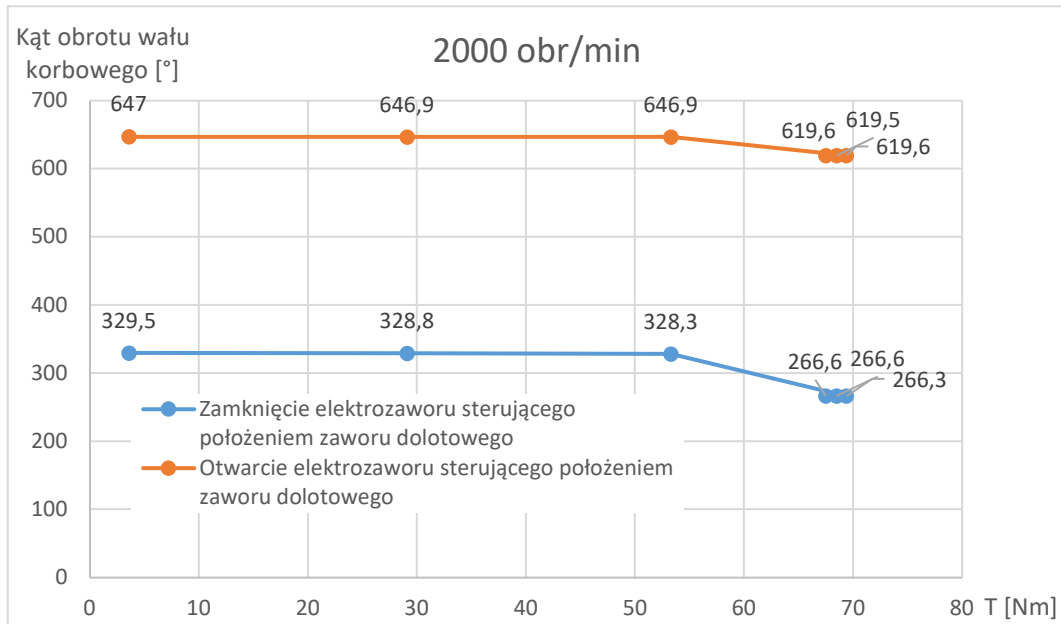
W następnej kolejności przeprowadzono analizę działania systemu multiair. Analizę oparto o zarejestrowane sygnały sterujące cewką elektrozaworu systemu (rys. 3.6) oraz położenia wałka rozrządu, a rozpatrywano w dziedzinie kąta obrotu wału korbowego. Pomiary wykonano dla dwóch prędkości obrotowych silnika i różnych obciążeń.

Na podstawie analizy materiałów literaturowych i zmierzonych przebiegów stwierdzono, że elektrozawory systemu multiair pozostają normalnie otwarte, a ich zamknięcie następuje za pomocą sygnałów napięciowych. Przebieg omawianych sygnałów stanowią bardzo często występujące impulsy napięciowe, zastosowane w celu zmniejszeniu zużycia energii i maksymalnej wartości prądu sterującego oraz w celu zapobieżenia przegrzaniu i uszkodzeniu cewki elektrozaworu systemu multiair. Kąty (czasy) otwarcia elektrozaworu systemu multiair nie mają dokładnego przełożenia na pracę zaworu dolotowego. Kąt zamknięcia elektrozaworu multiair może być większy niż kąt otwarcia zaworu dolotowego. Uzyskany przebieg sygnału sterowania może wynikać z właściwości oleju pośredniczącego w sterowaniu zaworem lub innych czynników, które wystąpiły podczas programowania działania systemu [2], [3].



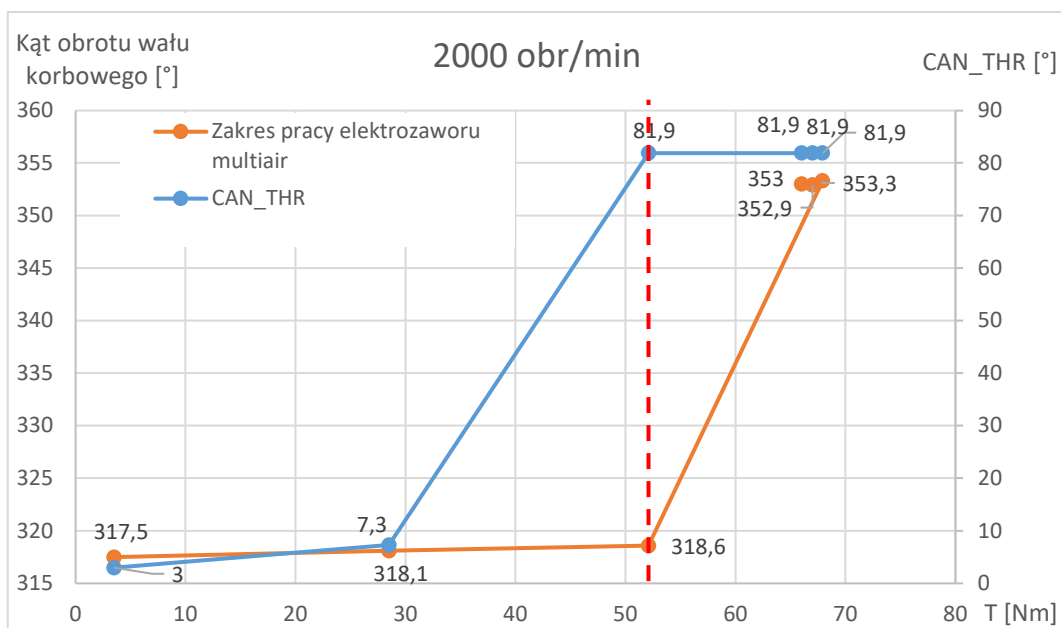
**Rysunek 3.6.** Zarejestrowane przebiegi sygnałów dla prędkości obrotowej silnika 2000 obr/min i obciążenia 3,6 Nm: niebieski - położenia wałka rozrządu, szary - z cewki zapłonowej pierwszego cylindra, żółty - sterowania elektrozaworu systemu multiair

Na rysunkach 3.7. oraz 3.9. zestawiono odczytane z sieci CAN kąty otwarcia i zamknięcia elektrozaworu systemu multiair, wyrażone w kątach obrotu wału korbowego, w zależności od chwilowego momentu obrotowego, odpowiednio dla prędkości obrotowych 2000 oraz 3000 obr/min. Rys. 3.8. oraz 3.10. przedstawiają kąt działania elektrozaworu systemu multiair oraz kąt wysterowania przepustnicy przez sterownik.



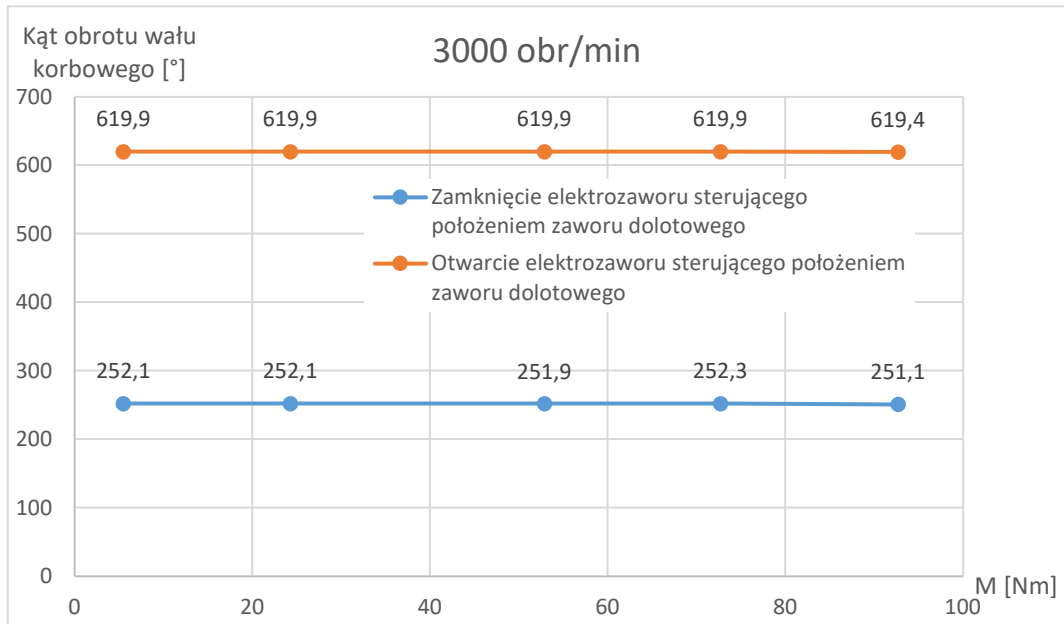
**Rysunek 3.7.** Kąty otwarcia i zamknięcia elektrozaworu systemu multi-air w zależności od obciążenia dla prędkości obrotowej silnika 2000 obr/min

Dla prędkości obrotowej silnika 2000 obr/min działanie systemu sterowania elektrozaworu multi-air zmienia się przy obciążeniu silnika 55 Nm, skutkując dłuższym otwarciem zaworu dolotowego powietrza.



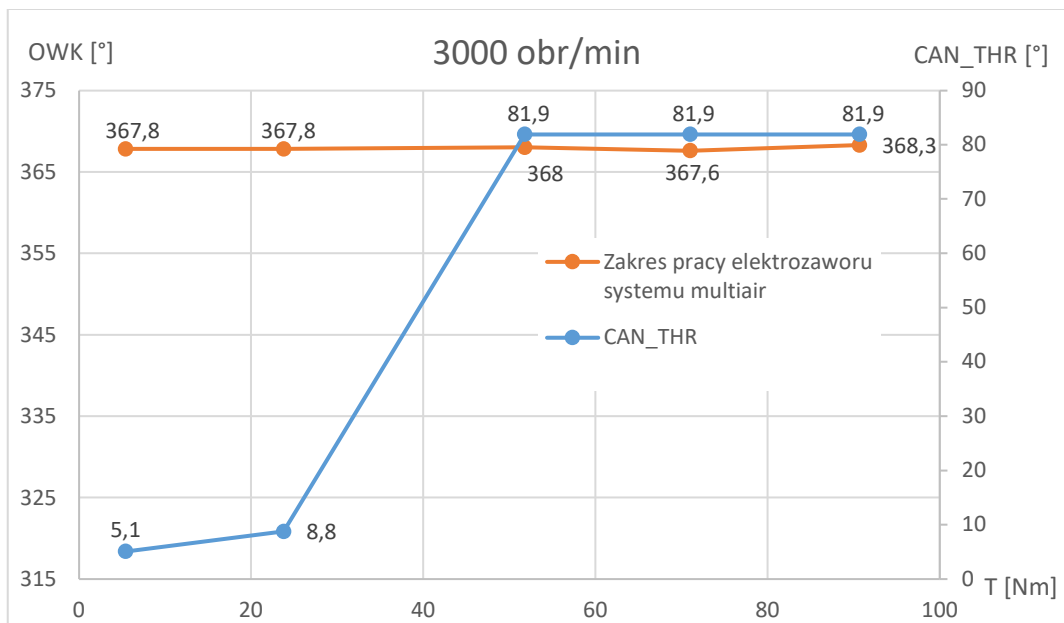
**Rysunek 3.8.** Kąt uchylenia przepustnicy oraz różnica kątów otwarcia oraz zamknięcia elektrozaworu systemu multi-air przy stałej prędkości obrotowej 2000 obr/min i zmiennym obciążeniu.

Dla prędkości obrotowej 2000 obr/min i przy zwiększaniu obciążenia silnika, kąt pracy elektrozaworu systemu multi-air zwiększa się od 317,5 do 353° OWK, a więc o 11,28%. Punktem charakterystycznym zmiany strategii sterowania zaworu systemu multi-air jest osiągnięcie obciążenia około 55 Nm oraz pełnego otwarcia przepustnicy. W tym zakresie obciążenie silnika dla różnych przypadków pracy zmieniło się o 1840%.



**Rysunek 3.9.** Kąty otwarcia i zamknięcia elektrozaworu systemu multiair w zależności od obciążenia dla prędkości obrotowej silnika 3000 obr/min

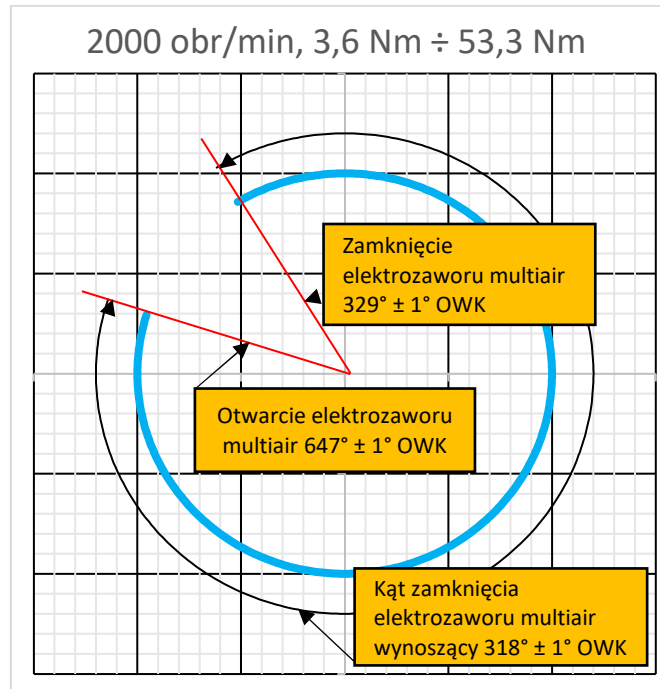
Dla prędkości obrotowej silnika 3000 obr/min działanie systemu sterownia elektrozaworu multiair nie zmienia się w całym zakresie badanych obciążeń.



**Rysunek 3.10.** Kąt uchylenia przepustnicy oraz różnica kątów otwarcia oraz zamknięcia elektrozaworu systemu multiair przy stałej prędkości obrotowej 3000 obr/min i zmiennym obciążeniu

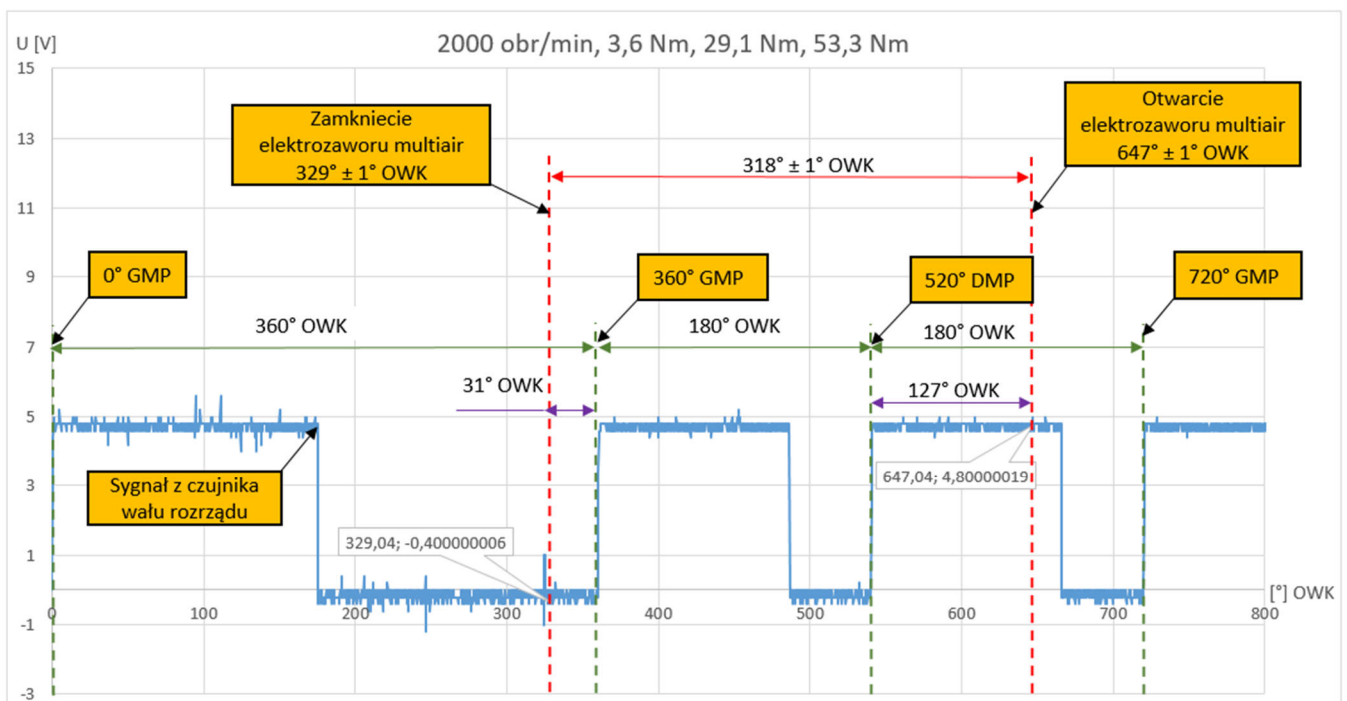
Dla prędkości obrotowej 3000 obr/min, przy różnych obciążeniach silnika, kąt pracy elektrozaworu systemu multiair utrzymywany jest na stałym poziomie, około 368° obrotu wału korbowego, natomiast kąt otwarcia przepustnicy zmienił się istotnie po przekroczeniu 55 Nm. Ostatecznie dla różnych przypadków pracy silnika zmienił się o 1579,63%. Procentowa zmiana obciążenia dla ustalonych prędkości 2000 obr/min oraz 3000 obr/min dla wszystkich przeprowadzonych analiz wynosiła jednakową wartość.

Ostatnim elementem analizy działania systemu multiair jest przedstawienie kątów działania elektrozaworów systemu na wykresach kołowych (rys. 3.11, 3.13, 3.15) oraz wykresach otwartych (rys. 3.12, 3.14, 3.16) w funkcji obrotu wału korbowego.



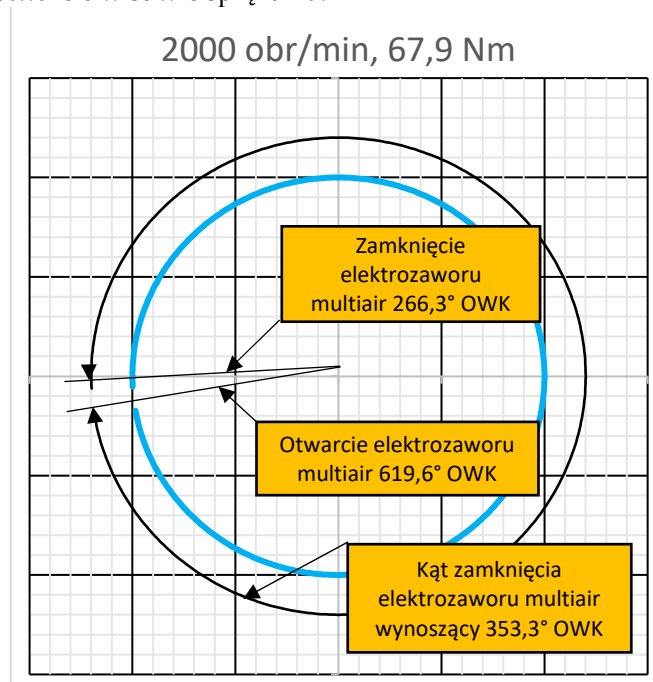
**Rysunek 3.11.** Wykres kołowy przedstawiający kąty OWK odpowiadające zamknięciu oraz otwarciu elektrozaworów systemu multiair dla obciążeń 3,6 Nm, 29,1 Nm, 53,3 Nm i prędkości obrotowej 2000 obr/min

Dla prędkości obrotowej 2000 obr/min i obciążeń w zakresie 3,6÷53,3 Nm zamknięcie elektrozaworu multi-air następuje około 30° OWK przed GMP, natomiast jego otwarcie około 107° OWK po DMP. Całkowity kąt zamknięcia elektrozaworu wynosi  $318^\circ \pm 1^\circ$ .



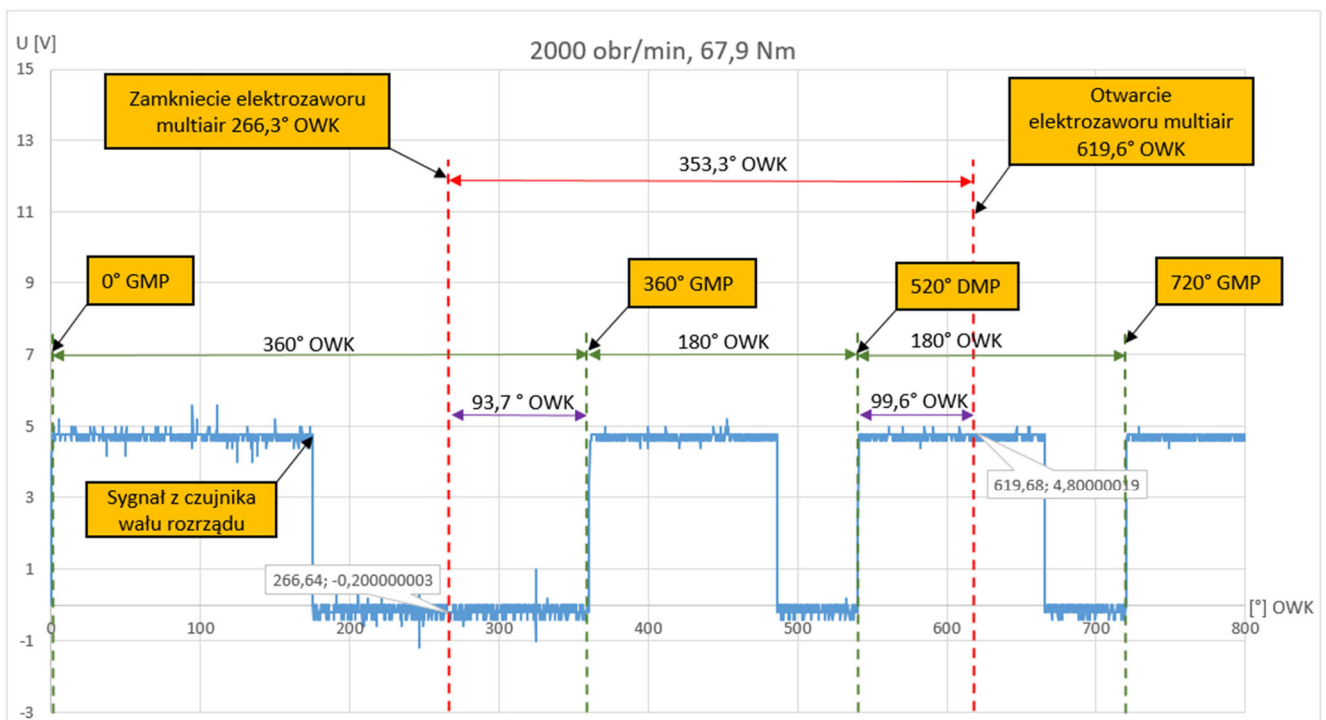
**Rysunek 3.12.** Kąty OWK odpowiadające zamknięciu oraz otwarciu elektrozaworów systemu multiair dla obciążeń 3,6 Nm, 29,1 Nm, 53,3 Nm i prędkości obrotowej 2000 obr/min

Jak można zauważyć praca elektrozaworów multiair odbywa się niestandardowo z wyprzedzeniem zamknięcia oraz opóźnieniem otwarcia o opisane wcześniej kąty. W omawianym przypadku zamknięcie elektrozaworu następuje w suwie wydechu, natomiast otwarcie w suwie sprężania.



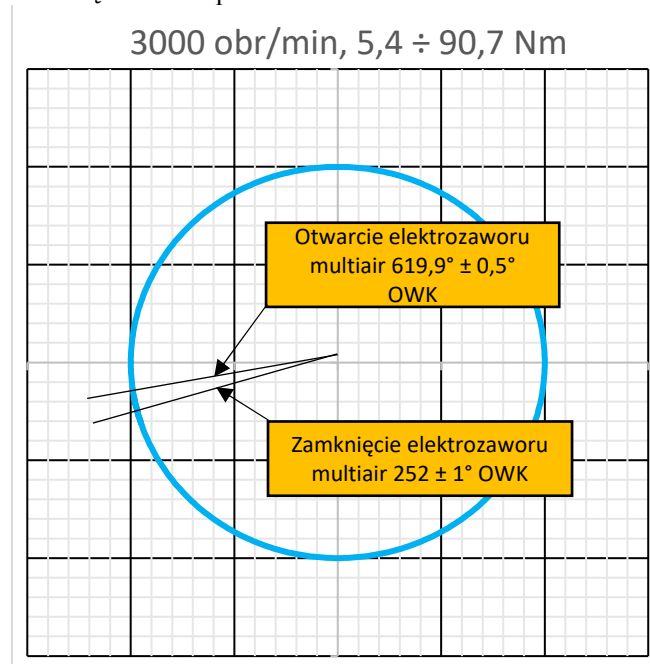
**Rysunek 3.13.** Wykres kołowy przedstawiający kąty OWK odpowiadające zamknięciu oraz otwarciu elektrozaworów systemu multiair dla obciążenia 67,9 Nm i prędkości obrotowej 2000 obr/min

Dla prędkości obrotowej 2000 obr/min i obciążenia 67,9 Nm zamknięcie elektrozaworu multiair następuje 93,7° OWK przed GMP, natomiast jego otwarcie 99,6° OWK po DMP. Całkowity kąt zamknięcia elektrozaworu wynosi 353,3° OWK.



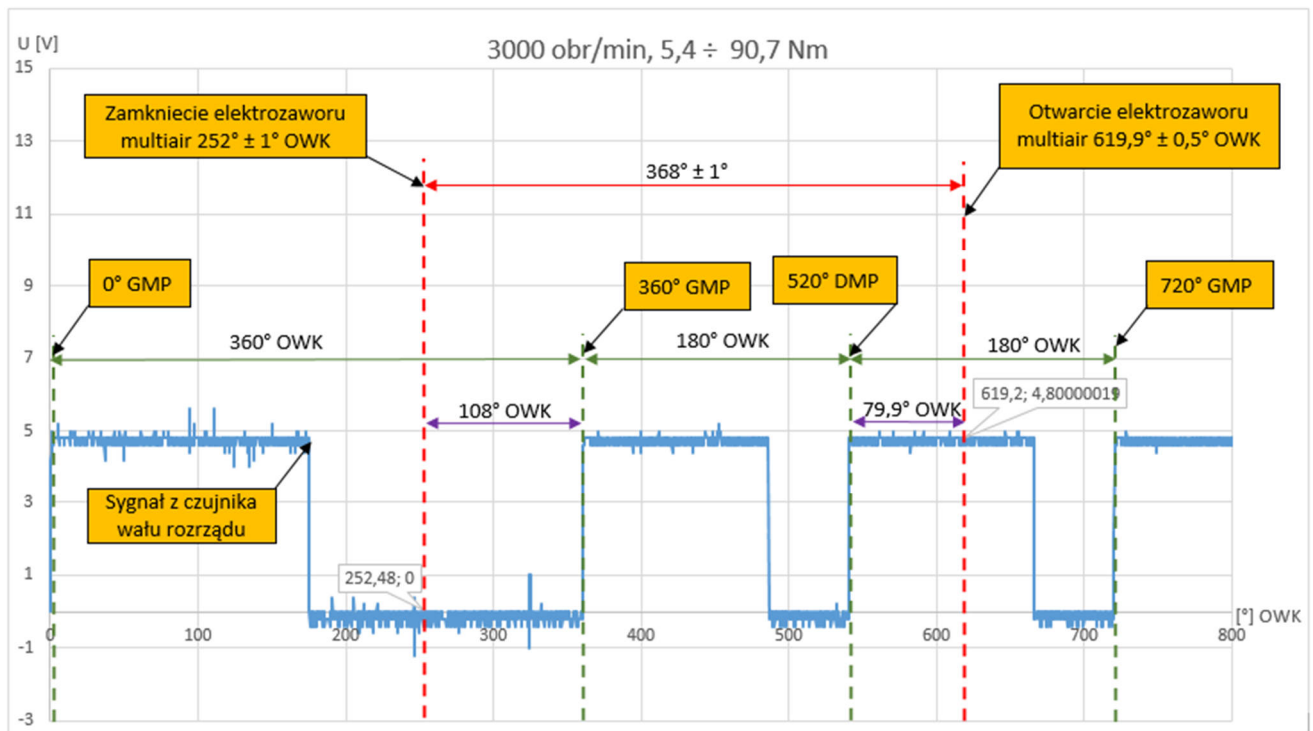
**Rysunek 3.14.** Kąty OWK odpowiadające zamknięciu oraz otwarciu elektrozaworów systemu multiair dla obciążenia 67,9 Nm i prędkości obrotowej 2000 obr/min

Zwiększenie obciążenia spowodowało zwiększenie kąta pracy zaworu multiair. Jednak również w tym przypadku zamknięcie elektrozaworu następuje w suwie wydechu, natomiast otwarcie w suwie sprężania. Jak można zauważyć wartości kątów wyprzedzenia zamknięcia oraz opóźnienia otwarcia elektrozaworu zostały wyrównane.



**Rysunek 3.15.** Wykres kołowy przedstawiający kąty OWK odpowiadające zamknięciu oraz otwarciu elektrozaworów systemu multiair dla obciążeń w zakresie  $5,4 \div 90,7$  Nm i prędkości obrotowej 3000 obr/min

Dla prędkości obrotowej 3000 obr/min i obciążeń w zakresie  $5,4 \div 90,7$  Nm zamknięcie elektrozaworu multiair następuje około  $108^\circ$  OWK przed GMP, natomiast jego otwarcie około  $79,9^\circ$  OWK po DMP. Całkowity kąt zamknięcia elektrozaworu wynosi  $368^\circ \pm 1^\circ$  OWK.



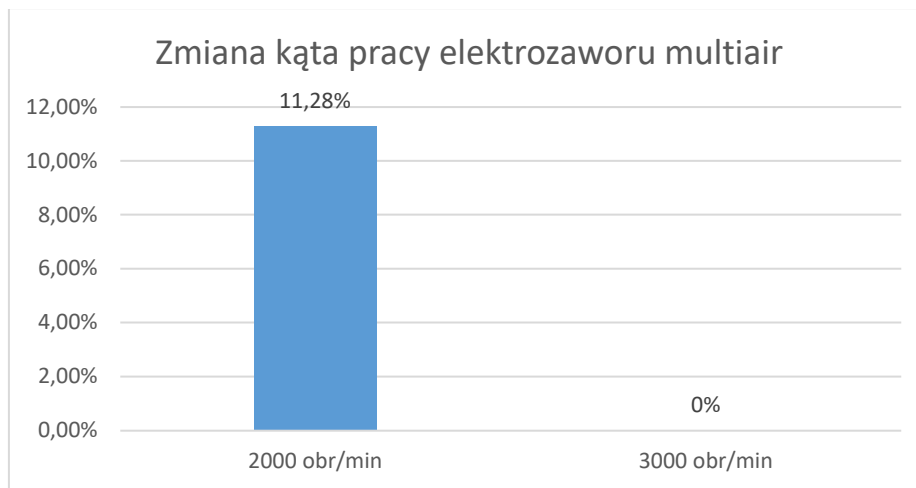
**Rysunek 3.16.** Wykres otwarty przedstawiający kąty OWK odpowiadające zamknięciu oraz otwarciu elektrozaworów systemu multiair dla obciążeń w zakresie  $5,4 \div 90,7$  Nm i prędkości obrotowej 3000 obr/min



Zwiększenie obciążenia spowodowało zwiększenie kąta pracy zaworu multiair. Jednak również w tym przypadku zamknięcie elektrozaworu następuje w suwie wydechu, natomiast otwarcie w suwie sprężania. Jak można zauważyć wartości kątów wyprzedzenia zamknięcia oraz opóźnienia otwarcia elektrozaworu zostały wyrównane.

#### 4. Podsumowanie oraz wnioski końcowe

Zastosowana przez firmę Fiat technologia multiair umożliwia skuteczne sterowanie otwarciem zaworów dolotowych. Wykorzystanie w tym celu nieściśliwego oleju jest elastycznym rozwiązaniem, dzięki któremu kontrola otwarcia zaworów zależy od stanu, w którym znajduje się elektrozawór systemu multiair. Zastosowane luzy oraz dokładności wykonania elementów wymagają bezwzględного przestrzegania interwałów wymiany oraz stosowania wysokiej jakości olejów silnikowych zalecanych przez producenta. Optymalizacja rozmiarów zastosowanych elementów oraz konieczność oszczędzania energii elektrycznej wymusiły sterowanie impulsowe cewkami elektrozaworów systemu. Zastosowanie strategii sterowania, w której elektrozawór jest normalnie otwarty pozwala w większości przypadków na krótszy czas jego zasilania w pojedynczym cyklu pracy silnika. Pozwala to zaoszczędzić energię elektryczną wykorzystywaną do jego zasilania oraz wydłuża żywotność pracy cewki elektrozaworu. Na rysunku 4.1 przedstawiono procentową zmianę położenia elektrozaworu systemu multiair, wyrażoną w stopniach obrotu wału korbowego, dla prędkości obrotowych silnika 2000 i 3000 obr/min.



**Rysunek 4.1.** Procentowa zmiana kąta pracy elektrozaworu multiair dla prędkości obrotowych silnika 2000 oraz 3000 obr/min przy różnych obciążeniach

Jak można zauważyć, dla różnych obciążeń rozwijanych przy prędkości obrotowej 2000 obr/min, zmiana kąta zamknięcia zaworu zmienia się o ponad 11% (rys. 3.7, 3.9). Oznacza to, że zmieniał się wznios zaworów oraz następowało wydłużanie czasu zamknięcia zaworów dolotowych. Zmiany były realizowane w zakresie  $35,5^\circ$  OWK, co potwierdza elastyczność pracy systemu. Natomiast przy pracy silnika z prędkością 3000 obr/min system pracował w całym badanym zakresie obciążeń jednakowo, z największą możliwą do uzyskania rozpiętością, co wskazuje na dążenie do uzyskania maksymalnych parametrów pracy jednostki napędowej. Ze względu na bezwładność oraz własności cieczy pośredniczącej w sterowaniu zaworów dolotowych oraz elementów mechanicznych układu rozrządu takich jak geometria krzywki zaworu, sygnał sterujący elektrozaworem nie odzwierciedla dokładnie pracy zaworów dolotowych. W celu uzyskania zaprojektowanej charakterystyki pracy zaworów dolotowych konieczne jest stosowanie wyprzedzenia oraz opóźnienia sterowania elektrozaworów systemu multiair.

## Literatura

1. Ambrozik A. et al. Modern experimental set-up for investigations into strategies for the control and fuel-ling of spark ignition engines. *Combustion Engines*. 2015, 162(3), 1030-1035. ISSN 2300-9896.
2. Heisner B. M., Croxell A. M.: „Fiat MultiAir System: Operation, Diagnosis, & Service”, Southern Illinois University Carbondale 2016.
3. Racewicz Sz., Olejnik A.: „Control of fiat multiair valve-lift system using atmega microcontroller”, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 24, No. 3 2017.
4. <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-sistema-de-admision-multi-air-y-como-funciona/>, (dostęp - 12 czerwiec 2024).
5. <https://moto.infor.pl/eksploatacja-auta/naped-i-skrzynia-biegow/2979625,Silnik-10-i-09-TwinAir-awarie-problemy-opinie.html>, (dostęp - 5 maj 2024).