

Dr hab. inż. Józef Tutaj
Instytut Pojazdów Samochodowych
i Silników Spalinowych Politechniki Krakowskiej
Zakład Mechatroniki

Kraków, 28.12.2015r.

R E C E N Z J A
rozprawy doktorskiej pt.:

**„Wpływ parametrów układu zapłonowego
na kształtowanie charakterystyki silnika”**

mgra inż. Mirosława Urbanowicza

podstawa opracowania: pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej z dnia 13.10.2014, L.dz. PK/WM/Dz/6/69/2015, do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

1. OCENA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Układ pracy i wybór tematyki rozprawy

Przedstawiona rozprawa mgra inż. **Mirosława Urbanowicza** zawiera 155 stron tekstu, który został podzielony logicznie na 11 rozdziałów. Zasadniczy tekst pracy obejmuje 138 stron wraz z 106 rysunkami i 10 tablicami, 6 stron zawierających spis literatury oraz wykaz skrótów i oznaczeń, a także 10 stron załączników. W spisie literatury zamieszczono 78 pozycji (w tym 25 w językach obcych).

Przedstawiona do zaopiniowania przez Radę Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej rozprawa autorstwa mgra inż. Mirosława Urbanowicza, dotyczy pewnych, współcześnie istotnych zagadnień teoretycznych i praktycznych z dziedziny silnika spalinowego ZI pojazdu samochodowego, należących do jednego z najważniejszych wyzwań inżynierii mechanicznej w XXI wieku.

Autor rozprawy podjął temat badawczy w pełni aktualny i ważny dla poszerzenia oraz usystematyzowania wiedzy związanej z jednym z fundamentalnych problemów mechatroniki samochodowej oraz budowy i eksploatacji maszyn, temat o istotnym wymiarze technicznym.

We wstępie, autor rozprawy przedstawił rozwój układów zapłonowych, a w kolejnych dwóch rozdziałach wprowadzenia do rozpatrywanej tematyki pracy, przedstawił stan wiedzy i techniki w dziedzinie budowy, analizy i zasady działania bateryjnego układu zapłonowego silnika spalinowego pojazdu samochodowego.

Doktorant proponuje własną, oryginalną koncepcję rozwiązania problemu, a mianowicie nową konstrukcję transformatora zapłonowego o regulowanej skokowo przekładni.

Przedstawione przez autora rozprawy rezultaty pracy naukowo-badawczej, dotyczące opracowania i wykonania oraz komputerowej symulacji działania nowego transformatora zapłonowego dla silnika spalinowego z zapłonem iskrowych jak również wyniki badań doświadczalnych, recenzent uważa za bardzo ważne współcześnie, z powodu istotnych problemów związanych z wdrażaniem do produkcji seryjnej pojazdów samochodowych, spełniających współczesne rygorystyczne normy emisji toksycznych składników w spalinach i ograniczenia zużycia paliwa.

Podjęcie tej problematyki jest w pełni uzasadnione zarówno względami praktycznymi jak i - naukowymi.

W rozprawie szczegółowo opisano zasadę działania zarówno konwencjonalnego układu zapłonowego jak również nowo opracowanego i wykonanego przez autora rozprawy, zmodernizowanego układu zapłonowego silnika spalinowego pojazdu samochodowego, pozwalającego na poprawę charakterystyki momentowo-prędkościowej w porównaniu do znanych, konwencjonalnych rozwiązań konstrukcyjnych.

W rozprawie tej autor sformułował najpierw model fizyczny i model matematyczny układu zapłonowego, a następnie dokonał analizy wpływu indukcyjności własnej uzwojenia pierwotnego transformatora zapłonowego na wybrane parametry pracy, jak: wartość napięcia indukowanego na uzwojeniu pierwotnym i wtórnym dla kilku wybranych wartości prędkości obrotowych silnika spalinowego.

W dalszej części rozprawy, autor przedstawił symulacyjny model fizyczny układu zapłonowego oraz wyniki badań symulacyjnych, dotyczących zależności wartości prądu w obwodzie pierwotnym transformatora zapłonowego podczas przełączeń komutatora (łącznika elektrycznego) w funkcji prędkości obrotowej. Ponadto, autor wykonał analizę statystyczną wyników pomiarów natężenia prądu iskry.

Oryginalną częścią rozprawy jest rozdział poświęcony badaniom wpływu wybranych parametrów elektrycznych układu zapłonowego (zmiana przekładni zwojowej, rezystancji oraz indukcyjności uzwojenia pierwotnego transformatora zapłonowego) na charakterystykę momentowo-prędkościową silnika spalinowego. Badania te potwierdziły korzyści - polepszenie charakterystyki momentowo-prędkościowej silnika spalinowego, wynikające z zastosowania zmodernizowanego przez autora układu zapłonowego w porównaniu do konwencjonalnego, fabrycznego układu zapłonowego. Oryginalność tego rozwiązania potwierdza również dokument o udzieleniu patentu dotyczącego tego rozwiązania.

W podsumowaniu rozprawy autor zamieścił wnioski końcowe i udowodnił tezę.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

Pan mgr inż. Mirosław Urbanowicz postawił sobie zadanie przedstawienia problematyki, związanej z wpływem wybranych parametrów elektrycznych układu zapłonowego na właściwości trakcyjne silnika spalinowego z zapłonem iskrowym.

Dla realizacji tego celu wykorzystał on nie tylko istniejące podręczniki i publikacje naukowe z dziedziny pojazdów samochodowych, oraz liczne źródła elektroniczne (materiały opublikowane w sieci Internet), lecz także własne osiągnięcia w tej dziedzinie nauki i techniki.

Analiza rozprawy

Rozdział pierwszy przedstawia rys historyczny oraz aktualny stan wiedzy i techniki w dziedzinie sterowania układem zapłonowym.

W rozprawie Autor często posługuje się określeniem "cewka zapłonowa", zdaniem recenzenta to określenie jest merytorycznie niepoprawne. Z punktu widzenia elektrotechniki, przez "cewkę" rozumie się pojedyncze uzwojenie, składające się z pewnej liczby zwojów. Natomiast dwa uzwojenia (cewki) sprzężone ze sobą magnetycznie nazywa się transformatorem, dlatego zdaniem recenzenta, poprawna nazwa tzw. "cewki zapłonowej" to transformator zapłonowy. Należy nadmienić, że ta niepoprawna merytorycznie nazwa jest bardzo popularna nie tylko w mowie potocznej, ale również w literaturze technicznej.

Innym, często popełnianym błędem, nie tylko w niniejszej rozprawie, ale również w literaturze fachowej, jest błędne określenie "posiada" w odniesieniu do cech przedmiotów - posiadać może tylko człowiek bądź firma, natomiast przedmiot może "mieć" bądź może "być wyposażony" w określone składniki, podzespoły (przykład str. 4 - ... układy tranzystorowe posiadały wady... lub str. 6 ... posiadać możliwie maksymalną wartość, str. 28 - Ferryty posiadają .., str. 20 - Uzwojenie pierwotne posiada ...) itp.

Jeszcze innym, popełnianym błędem jest używanie potocznego określenia "obroty" zamiast "prędkość obrotowa" np. str. 34 - ... co odpowiada obrotom maksymalnym wału korbowego... lub str. 36.. od obrotów silnika, str. 37 .. od obrotów wału..., str. 86 -... przy ustalonych obrotach, str. 152 -.. pomiar obrotów silnika...

Jeszcze innym często popełnianym błędem, nie tylko w niniejszej rozprawie, jest używanie w niektórych przypadkach określenia "prędkość" zamiast "szybkość". Ponieważ prędkość jest wielkością fizyczną wyrażoną w [m/s], dlatego niepoprawne jest używanie tej wielkości w odniesieniu do określenia dynamiki innych procesów, np. str. 9 -... prędkość reakcji... lub str. 23, 25, 109 - prędkość narastania prądu itp.

W rozdziale pierwszym przedstawiono również cel i hipotezę pracy.

W rozdziale drugim Autor rozprawy prezentuje dalszą część wprowadzenia do tematyki układu zapłonowego, mianowicie budowę i zasadę działania baterijnego układu zapłonowego z gromadzeniem energii w indukcyjności.

Przedstawiony w postaci tabeli 1.1 podział układów zapłonowych wymaga drobnej korekty - układ zapłonowy tranzystorowy należy już do układów elektronicznych, gdyż za układ elektroniczny rozumie się taki, który zawiera co najmniej jeden element sterowalny (tranzystor). Zasadę działania układu zapłonowego tranzystorowego oraz mikroprocesorowego, oprócz opisu tekstowego, zilustrowano schematami ideowymi przykładowych rozwiązań. Niestety, rysunki wyjaśniające budowę i zasadę działania tych układów zawierają drobne usterki. Na rysunku 2.2 brak połączenia pomiędzy początkiem uzwojenia wtórnego transformatora zapłonowego a kolektorem tranzystora bipolarnego, pełniącego funkcję komutatora (klucza) elektronicznego. Z kolei na rysunku 2.3 tranzystor sterujący układem darlingtona powinien być typu pnp (zamiast npn) oraz należy usunąć zbędne połączenie pomiędzy wejściem układu darlingtona a cewką czujnika położenia wału korbowego.

W rozdziale tym Autor przedstawił szczegółową analizę pracy układu zapłonowego w poszczególnych cyklach pracy gromadzenia i wymiany energii pola magnetycznego oraz zasadę działania zmodyfikowanego transformatora zapłonowego ze skokową regulacją przekładni zwojowej. W rozdziale tym przedstawiono również inne koncepcje wykonania transformatora zapłonowego ze zmienną indukcyjnością oraz różne rodzaje rozwiązań układowych tzw. bezrozdzielaczowych układów zapłonowych.

Kontynuacją analizy pracy układu zapłonowego jest kolejny, trzeci rozdział rozprawy doktorskiej, poświęcony w całości analizie stanów nieustalonych podczas pracy klasycznego układu zapłonowego. Układ ten, choć wymyślony już bardzo dawno (na początku XX wieku - pierwszy baterijny układ zapłonowy został opracowany w 1925r.), to przetrwał do czasów lat dziewięćdziesiątych poprzedniego stulecia i dopiero niedawno, z chwilą zastosowania wysokonapięciowych kluczy elektronicznych np. tranzystorów bipolarnych oraz IGBT, został nieco zmodyfikowany, mianowicie we współczesnych układach zapłonowych nie jest już stosowany kondensator bocznikujący łącznik komutatora. Przykładem mogą stanowić współczesne produkty niemieckiej firmy Beru, zawierające zintegrowany układ zapłonowy razem z transformatorem zapłonowych, stanowiącym tzw. "pencil coil", stosowane powszechnie między innymi w samochodach firmy Mercedes-Benz.

Analiza układu zapłonowego nie jest prosta, (choć z pozoru jest to prosty układ elektryczny), gdyż jest to układ o zmiennej strukturze. Dla poprawnej analizy stanów nieustalonych należy uwzględnić tzw. stany początkowe w elementach konserwatywnych tego obwodu (tj. prąd początkowy płynący przez łącznik komutatora w chwili jego wyłączenia - rozwierania się styków przerwnika i włączania oraz wartość napięcia początkowego na kondensatorze bocznikującym łącznik komutatora w chwili jego załączenia - zwierania się styków przerwnika). Dodatkową trudność stanowi uwzględnienie w modelu fizycznym, matematycznym i symulacyjnym strat w żelazie na histerezę i prądy wirowe w obwodzie magnetycznym transformatora zapłonowego i ich weryfikacja doświadczalna oraz zastępcza pojemności pasożytnicza uzwojenia wtórnego.

Innym, dodatkowym problemem jest określenie i weryfikacja doświadczalna współczynnika indukcyjności wzajemnej pomiędzy uzwojeniem pierwotnym i wtórnym transformatora zapłonowego, gdyż indukowanie się napięcia na uzwojeniu wtórnym odbywa się na zasadzie indukcji wzajemnej a nie samoindukcji (napięcie na zaciskach uzwojenia wtórnego zależne jest od pochodnej zmian prądu uzwojenia pierwotnego).

Przedstawiona w pracy analiza stanów nieustalonych klasycznego układu zapłonowego opiera się na uproszczonym modelu tego układu, nieuwzględniającego indukcyjność wzajemną uzwojeń transformatora zapłonowego, co może stanowić jedną z przyczyn pewnej rozbieżności pomiędzy przebiegiem czasowym napięcia wtórnego uzyskanego drogą analityczną i doświadczalną, np. na rysunku 3.6 i 3.7.

Rozdział czwarty zawiera opis konstrukcji zmodyfikowanego transformatora zapłonowego z regulowaną skokowo przekładnią zwojową. Konstrukcja ta została wykorzystana w badaniach doświadczalnych z wykorzystaniem mikroprocesorowego układu sterującego, typu Multec TBI700, pochodzącego z wcześniejszych opracowań firmy Opel.

Rozdział piąty rozprawy zawiera opis badań doświadczalnych, dotyczących wpływu zmian przekładni zwojowej i indukcyjności uzwojenia pierwotnego transformatora zapłonowego na wartość zarówno napięcia pierwotnego jak napięcia wtórnego oraz prądu wtórnego, dla kilku wybranych wartości prędkości obrotowej silnika spalinowego. W badaniach uwzględniono zarówno zmniejszenie indukcyjności uzwojenia pierwotnego, jak i jej zwiększenie w odniesieniu do wartości znamionowej, czyli dobranej fabrycznie.

Zmniejszenie wartości indukcyjności odbywało się za pomocą odczepów na uzwojeniu pierwotnym. Należy zaznaczyć przy tym, że zmieniając za pomocą odczepu miejsce połączenia zasilania do uzwojenia pierwotnego transformatora zapłonowego, następuje równoczesna zmiana innych parametrów elektrycznych transformatora, a mianowicie: zmiana rezystancji uzwojenia pierwotnego, zmiana przekładni zwojowej (zmienia się liczba zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego w konfiguracji autotransformatora) oraz indukcyjności wzajemnej. Natomiast zwiększenie indukcyjności (i rezystancji) uzwojenia pierwotnego uzyskano w sposób nieco "sztuczny" tj. poprzez dołączenie dodatkowej indukcyjności szeregowej, nie sprzężonej magnetycznie z uzwojeniami transformatora zapłonowego. Przy tym sposobie połączeń należy pamiętać o zmniejszeniu przekładni zwojowej układu zastępczego.

Rozdział też zawiera opis stanowiska pomiarowego oraz bogato ilustrowane wyniki badań eksperymentalnych, dotyczące wpływu zmian parametrów obwodu pierwotnego transformatora zapłonowego na wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu strony pierwotnej i wtórnej dla kilku wybranych wartościach prędkości obrotowej wału silnika spalinowego. Wyniki pomiarów, oprócz interpretacji ich w tekście, zebrano w postaci tabeli 5.1. W podrozdziale 5.5 zamieszczono również wyniki badań wpływu indukcyjności obwodu pierwotnego transformatora zapłonowego na wartość i składowe harmoniczne prądu uzwojenia pierwotnego z zastosowaniem zmodyfikowanego transformatora ze skokową zmianą przekładni.

W tym podrozdziale, zdaniem recenzenta, wykorzystano nieodpowiednią zależność (brak numeracji wzoru) do określenia napięcia indukowanego na stronie wtórnej transformatora zapłonowego - zamiast napięcia samoindukcji na uzwojeniu pierwotnym powinna być użyta zależność na napięcie indukowane po stronie wtórnej, pochodzące od indukcji wzajemnej ($E_2 = M_{21} \cdot di_1/dt$, przy czym $M_{21} = M_{12}$ to wartość indukcyjności wzajemnej pomiędzy uzwojeniami sprzężonymi magnetycznie).

Zamieszczone w tym rozdziale liczne oscylogramy napięcia strony pierwotnej i wtórnej transformatora zapłonowego dają pełny obraz wpływu zmian wybranych parametrów elektrycznych na wartości tych napięć i ich przebiegi czasowe. Przebiegi te dostarczają dodatkowo jeszcze innych informacji (czas trwania wyładowania iskrowego), które mogą być dodatkowym parametrem do interpretacji pracy układu zapłonowego.

Rozdział szósty niniejszej rozprawy poświęcony jest badaniu wpływu pojemności kondensatora bocznikującego komutator na pracę układu zapłonowego. Ma on mniejsze znaczenie interpretacyjne, gdyż jak wspomniano wcześniej, w większości współczesnych elektronicznych układów zapłonowych nie stosuje się już tego kondensatora.

W siódmym rozdziale dokonano analizy statystycznej przebiegów prądu iskry zarówno konwencjonalnego układu zapłonowego jak również zmodyfikowanego przez Aurorę rozprawy. Rysunek 7.1 przedstawiający schemat układu do pomiaru prądu iskry jest formalnie poprawny, ale z punktu widzenia BHP, zdaniem recenzenta, ze względów ochrony przeciwporażeniowej należało rezystor pomiarowy przenieść w inne miejsce układu - umieścić pomiędzy masą a początkiem uzwojenia wtórnego, gdyż zaciski oscyloskopu (w tym jego masa) połączone są na tym rysunku do obwodu wyjściowego wysokiego napięcia. Taka zmiana wymaga jednak ingerencji w budowę wewnętrzną fabrycznego transformatora zapłonowego.

Wyniki pomiarów i analiz zebrano zarówno w postaci wykresów jak i tabelarycznie. Wyliczono i zinterpretowano również kilka parametrów analizy statystycznej, jak: mediana, miara koncentracji, przedział ufności itp. dla wykonanych pomiarów natężenia prądu iskry.

Możliwości zastosowania zmodyfikowanego transformatora zapłonowego we współczesnych elektronicznych układach zapłonowych przedstawiono w rozdziale ósmym rozprawy. W tym rozdziale zamieszczono bogatą dokumentację z badań układu zapłonowego zmodyfikowanego i konwencjonalnego, za wybranego pomocą diagnostyki, przy różnych wartościach prędkości obrotowej silnika spalinowego samochodu osobowego Opel Astra. Za pomocą diagnostyki uzyskano czytelne oscylogramy napięcia strony wtórnej transformatora zapłonowego, umożliwiające odczyt zarówno napięcia wyładowania iskrowego (tzw. napięcia spalania) oraz czasu trwania wyładowania iskrowego (zwanego przez Autora czasem spalania, który należy odróżnić od czasu spalania mieszanki paliwowo-powietrznej). Zestawienie wyników pomiarów przedstawiono w postaci tabeli 8.1, natomiast w tabeli 8.2 przedstawiono wyniki pomiarów prądów pierwotnych zarówno dla układu zapłonowego z transformatorem konwencjonalnym jak i zmodyfikowanym, dla pięciu wybranych wartości prędkości obrotowej silnika. Dla zmodyfikowanego transformatora zapłonowego uzyskano zbliżoną wartość prądu pierwotnego w porównaniu do transformatora konwencjonalnego - wynika to ze stabilizacji prądu pierwotnego przez mikroprocesorowy układ sterowania - w tym układzie dąży się do zachowania stałego tzw. "czasu zwarcia" komutatora, czyli tranzystora kluczującego.

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że zastosowanie zmodyfikowanego transformatora zapłonowego nie pogarsza parametrów pracy mikroprocesorowego układu zapłonowego i nie wpływa negatywnie na pracę silnika spalinowego, natomiast stwarza możliwość unifikacji, przez zastosowanie uniwersalnego transformatora z możliwością doboru jego parametrów do konkretnego silnika spalinowego. Zdaniem recenzenta, dodatkowym atutem tego zmodyfikowanego transformatora zapłonowego jest możliwość jego adaptacji do silników zasilanych dwoma paliwami np. benzyna/LPG, bądź benzyna/CNG, gdy zachodzi potrzeba zmiany parametrów układu zapłonowego (głównie wysokiego napięcia po stronie wtórnej) podczas przełączenia na drugi rodzaj paliwa.

Uwieńczeniem rozprawy stanowi rozdział dziewiąty, w którym zamieszczono opis stanowiska badawczego oraz wyniki badań doświadczalnych dotyczących charakterystyki momentowo-prędkościowej silnika spalinowego 1,5 SLE oraz 1,6 GLI zarówno dla układu zapłonowego konwencjonalnego (fabrycznego) jak również układu zapłonowego ze zmodernizowanym transformatorem zapłonowym. Zmierzono też charakterystykę momentowo-prędkościową dla zapłonu zmodernizowanego przy obciążeniach częściowych, a także przedstawiono w postaci graficznej porównanie przebiegu obu charakterystyk. Dokonano również analizy uchybów pomiarowych.

W podsumowaniu rozprawy doktorskiej, zawartym w rozdziale dziesiątym wykazano, że możliwa jest poprawa charakterystyki momentowo-prędkościowej silnika spalinowego za pomocą zmiany wybranych parametrów elektrycznych układu zapłonowego, a w szczególności zmiana parametrów obwodu pierwotnego transformatora zapłonowego, co dowodzi tezę postawioną w początkowej części pracy.

W rozprawie doktorskiej Autor wykazał, że poprzez dobór odpowiednich parametrów układu zapłonowego można poprawić przebieg momentu obrotowego silnika spalinowego w funkcji prędkości obrotowej. Za pomocą układu zapłonowego ze zmodernizowanym transformatorem zapłonowym uzyskano zwiększenie wartości momentu obrotowego silnika spalinowego w dwóch przedziałach prędkości obrotowej: 1000 [obr/min] do 3000 [obr/min] oraz 4400 [obr/min] do 5400 [obr/min].

Wnioski, zawarte w pracy, zostały podzielone tematycznie, obejmując kolejne etapy badań analitycznych i doświadczalnych. Całość podsumowano, wymieniając wnioski końcowe.

W mojej opinii warte podkreślenia są następujące cechy ogólne rozprawy:

- problematyka badawcza podjęta w pracy jest aktualna, ciekawa i współcześnie istotna,
- zaproponowana i zbadana idea modernizacji układu zapłonowego poprzez modyfikację transformatora zapłonowego jest nowa i nie ma odniesienia w literaturze,
- podjęty temat ma cechy nowatorskie, które ma szansę na wdrożenie, szczególnie dla dwupaliwowych układów zasilania silników spalinowych,
- praca wyjaśnia wiele rozbieżnych opinii zawartych w dostępnej literaturze, dotyczących wpływu parametrów wyładowania iskrowego na charakterystykę momentowo-prędkościową silnika spalinowego,
- praca stanowi interesujące i na tym etapie wyczerpujące rozwiązanie sformułowanej problematyki,
- zrealizowany naukowy problem badawczy, został w pracy poprawnie ujęty,
- praca zawiera także elementy nowoczesnych metod badawczych (np. modelowanie zweryfikowane wynikami badań stanowiskowych).

Na podkreślenie zasługuje oryginalne rozwiązanie problemu przez Autora, potwierdzone uzyskaniem patentem.

Pozytywną stroną pracy jest sposób przedstawienia wniosków. Są one jasno i czytelnie przedstawione w grupach, odpowiadających tematycznie kolejnym etapom analiz teoretycznych i badań doświadczalnych. W podsumowaniu rozprawy wymieniono najważniejsze wnioski końcowe.

Do wad pracy, częściowo dyskusyjnych, można zaliczyć:

- Uproszczony model fizyczny i matematyczny baterijnego układu zapłonowego.
- Liczne usterki o charakterze edytorskim, rzadziej merytorycznym.
- Zbyteczne umieszczenie w części wstępnej monografii opisów dotyczących zagadnień powszechnie znanych, opisanych w podstawowych podręcznikach z elektrotechniki i elektroniki samochodowej, jak np. opis działania i budowy klasycznego układu zapłonowego. Również zbyteczna jest rozbudowa pracy o rozdział szósty, poświęcony badaniu wpływu pojemności kondensatora na pracę układu zapłonowego, gdyż jak wspomniano wcześniej, kondensator ten jest pomijany we współczesnych układach zapłonowych, wyposażonych w wysokonapięciowe klucze elektroniczne.
- Uzyskane wyniki badań doświadczalnych nie zawierają pomiaru energii iskry,

będącej jednym z miarodajnych parametrów układu zapłonowego.

3. Uwagi szczegółowe

W pracy zauważono także wiele pomyłek literowych oraz nieścisłości, czego przykładem mogą być:

Lp.	str.	Akapit	Jest	powinno być
1	4	5	... dalej posiadały wadydalej miały wady ...
2	5	2	Rys.1.1. (brak spacji) Prędkość obrotowa Ciśnienie otoczenia	Rys. 1.1. Prędkość obrotowa, położenie kątowny wału silnika Podciśnienie w kanale dolotowym
3	6	1	.. układy sterowania posiadają również zdolności...	..układy sterowania wykazują również zdolności...
4	6	5	... posiadać maksymalną wartość.	.. osiągać (mieć) maksymalną wartość.
5	6	6	..sterowanej cewki zapłono- wej.	.. przełączanego skokowo transfor- matora zapłonowego. (sterowanie związane jest z możliwością ciągłej regulacji).
6	7	4	..sterowanym elektronicznie /tabela 7.2/.	(brak w pracy tabeli 7.2.)
7	7	6	.. przez zmianę warunków spalania....	...przez zmianę warunków inicjacji spalania...
8	8	1	BUDOWA I ZASADY DZIAŁANIA...	BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA...
9	8	4	..każdego pojazdu jest układ zapłonowy.	..każdego pojazdu z silnikiem ZI jest układ zapłonowy.
10	8	4	.. gdy ich temperatura..gdy jej temperatura...(w domyśle mieszanki)
11	9	4	..prędkość reakcji..	..szybkość reakcji...
12	9	5	Analizując zmiany w funkcji obrotu wału..	Analizując zmiany ciśnienia w funkcji kąta obrotu wału..
13	11	2	.. cewki zapłonowej.	..transformatora zapłonowego.
14	12 13	5 4	..zwarcie obwodu pierwotnego..	Zwarcie obwodu pierwotnego do masy. (inaczej oznaczałoby to stan awaryjny)
15	14	3	.po stronie wtórnej cewki.	.po stronie wtórnej transformatora. (gdyż cewka nie ma strony wtórnej)
16	15 16	3 2	..pojemności obwodu wtórnego C ₂ .	..pojemności pasożytniczej obwodu wtórnego C ₂ .
17	20	1	.. uzwojenie pierwotne posiada..	.. uzwojenie pierwotne ma..
18	21	2	.. w mechanicznych układach zapłonowych..	...w elektromechanicznych układach zapłonowych.. (układ zapłonowy nie jest wyłącznie układem mechanicznym)
19	23 24	2 2	..prędkość narastania prądu..	..szybkość narastania prądu..

	25	1		
20	23	5	.. mechanicznego układu zapłonowego.	.. elektromechanicznego układu zapłonowego.
21	25	2	..zmniejszenie prędkości zaniku prądu w obwodzie zwłaszcza przy niskich obrotach.	..zmniejszenie szybkości zaniku prądu w obwodzie, zwłaszcza przy niskich prędkościach obrotowych.
22	27	1	Skutkuje to zwiększeniem strat energii w rezystancji bocznikującej.	(niejasność, brak wyjaśnienia odnośnie rezystancji bocznikującej - jaka to rezystancja i jaki element bocznikuje ta rezystancja?)
23	27	2	Cewka taka posiada...	Ten transformator zapłonowy ma ...
24	28	wzór 2.17	l - długość	l - długość cewki
25	28	5	Ferryty posiadają ..	Ferryty mają ..
26	29	3	.. na wartość indukcyjności w cewce.	.. na wartość jej indukcyjności.
27	34	5	.. obrotom maksymalnym wału..	.. prędkości obrotowej maksymalnej wału..
28	34	6	.. wzroście obrotów..	.. wzroście prędkości obrotowej..
29	36	1	..rysunek 2.20.	..rysunek 2.19.
30	37	Rys. 2.20	..od obrotów wału...	..od prędkości obrotowej wału...
31	39	1	Układy takie posiadają tzw. cewki indywidualne..	Układy takie są wyposażone w tzw. transformatory indywidualne..
32	40	2	.. szeregowo połączenie uzwojeń pierwotnych dwu cewek zapłonowych szeregowo.	.. szeregowo połączenie uzwojeń pierwotnych dwóch transformatorów zapłonowych.
33	41	1	..przy zwartym i rozwartym obwodzie pierwotnym.	..przy połączonym (zwartym) z masą i rozwartym obwodzie pierwotnym.
34	41	1	.. zbudowane elementów..	.. zbudowane z elementów..
35	41	1	We współcześnie stosowanych układach zapłonowych stosuje się...	We współczesnych układach zapłonowych stosuje się..
36	41	Wzory 3.1 do 3.20	L, R, C	Nie przestrzega się jednolitych oznaczeń wielkości elektrycznych, wymienionych w spisie oznaczeń (L_1, C_1, R_1)
37	46	Wzór 3.14	U_0 jest napięciem w chwili przełączenia,	U_0 - napięcie na kondensatorze C_1 w chwili przełączenia komutatora w stan włączenia (zwarcia z masą),
38	46	Wzór 3.15	$i=Cduc/dt$	$i=Cdu_c/dt$
40	49		Brak numeracji wzorów	
41	50	Rys. 3.4	.. dla narostu...	... dla narastania.. (ten schemat zastępczy jest błędny, gdyż zakłada, że napięcie indukowane w uzwojeniu wtórnym

				transformatora zapłonowego pochodzi od U_0 czyli przepięć łączeniowych i samoindukcji. Napięcie wtórne indukowane jest na skutek <u>indukcji wzajemnej</u> i energii zgromadzonej w polu magnetycznym uzwojenia pierwotnego transformatora zapłonowego)
42	52	Rys. 3.5	Występuje znaczna rozbieżność pomiędzy wartością okresu oscylacji napięcia na podstawie symulacji ($T=0.25$ ms) i pomiaru ($T=2$ ms)	
43	53 54	2	... duże podobieństwo obu rysunków.	(zdaniem recenzenta istnieje znaczna rozbieżność obu przebiegów czasowych napięcia wtórnego)
44	56	2	... na duże prądu płynące..	... na duże natężenie (?) prądu płynącego..
45	60	2	Zwiększenie indukcyjności osiągnięto przez dodanie zewnętrznego uzwojenia pierwotnego.	Zwiększenie indukcyjności obwodu pierwotnego osiągnięto przez dodanie dodatkowej, zewnętrznej indukcyjności. (ta dodatkowa indukcyjność nie jest sprzężona magnetycznie z uzwojeniem wtórnym transformatora)
46	63	1	Linia iskry jest zdegradowana.	Linia iskry jest obniżona (?).
47	65	2	... z częstotliwością $f \sim 1,6$ Hz.	... z częstotliwością $f \sim 1,6$ kHz.
48	69	2	Bateryjny układ zapłonowy jest pozbawiony praktycznie możliwości sterowania prądem pierwotnym...	(ta uwaga dotyczy tylko tzw. klasycznego układu zapłonowego, gdyż zarówno tranzystorowy jak i mikroprocesorowy układ zapłonu ma taką możliwość)
49	73	3	.. ma mniejszą prędkość zaniku i gorsze warunki indukowania napięcia wtórnego zgodnie z równaniem:	..ma mniejszą szybkość zaniku i powoduje indukowanie mniejszej wartości napięcia wtórnego, zgodnie z równaniem: (- brak numeracji równania - równanie dotyczy napięcia samoidukcji a powinno indukacji wzajemnej: $E_2 = M_{21} * di_1/dt$, przy czym $M_{21} = M_{12}$ to wartość indukcyjności wzajemnej)
50	73	4	..prędkość zmian strumienia..	..szybkość zmian strumienia..
51	74	5	..ekranowania przewodów posiadająekranowania przewodów mają..
52	74	5	..obrotów silnika...	..prędkości obrotowej silnika...
53	76	1	..zmiana pojemności na pracę	..zmiana pojemności kondensatora C_1 na pracę ...
54	82	1	..pojemność obwodu pierwo-	..wartość pojemności kondensatora

			tego powinna zawierać się w określonych granicach.	C_1 powinna być tak dobrana, aby uzyskać optymalny przebieg charakterystyki wysokiego napięcia w zakresie średnich prędkości obrotowych silnika spalinowego.
55	84	1	Daje to wzrost energii iskry, co widać na wykresie /seria 3/	(na wykresie podana jest wartość średnia prądu iskry a nie energia iskry)
56	85	2	..wartość rozwarcia komutatora prądu..	..wartość prądu podczas stanu wyłączenia (rozwarcia) komutatora.. (należy pamiętać, że komutator jest elementem przełączającym, przechodzi cyklicznie ze stanu włączenia do wyłączenia ON-OFF i odwrotnie, natomiast komutator elektromechaniczny (przerywacz) pracuje ON-OFF przez zwieranie i rozwieranie swoich styków).
57	85,86	2	..w zależności od obrotów..	w zależności od prędkości obrotowej
58	88	Tab.7.1	Obroty[obr/min]	Prędkość obrotowa [obr/min]
59	96	1	..wartości napięć pierwotnych osiągają podobne wartości..	.. napięcia pierwotne osiągają podobne wartości..
60	105	Tab. 8.1	Cewka fabryczna 3000, napięcie spalania 1,1,1,1 kV	1,4 kV
61	106	2	..prowadzi do zdrobnienia impulsów prądowych.	..prowadzi do zmniejszenia amplitudy (?) impulsów prądowych.
62	107	1	Porównanie prądów w różnych rodzajach zapłonów.	Porównanie wartości prądów pierwotnych w różnych rodzajach układów zapłonowych.
63	107	2	.. prędkość narostu prądu..	.. szybkość narastania prądu..
64	108	5	Przebieg prądu w fazie narastania ma charakter liniowy.	Przebieg czasowy prądu w fazie narastania ma charakter nieliniowy.
65	108	6	Zmniejszenie prędkości narastania wynika ze wzrostu prędkości obrotowej..	Zmniejszenie czasu narastania prądu wynika ze wzrostu prędkości obrotowej.. (nie dotyczy mikroprocesorowych układów zapłonowych)

Omawiane uwagi nie umniejszają mojej pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej. Mimo wielu uwag krytycznych, niektórych dyskusyjnych, oceniam pozytywnie realizację postawionego zadania ze względu na:

- prawidłowe określenie i zdefiniowanie przedmiotu badań;
- rzeczowy sposób prezentacji wyników badań, analizę uchybów pomiarów;
- sumienność i oryginalność wykonania poszczególnych etapów pracy, dzięki czemu praca zawiera elementy świadczące o nowatorskim wkładzie Autora w rozważaną dziedzinę, zwłaszcza oryginalne rozwiązanie transformatora zapłonowego ze skokową zmianą przekładni zwojowej;
- wykazane przez Autora dobre rozeznanie w prezentowanych dziedzinach wiedzy;

- wymierne osiągnięcia aplikacyjne, pozwalające na praktyczne zastosowanie osiągniętych wyników we współczesnych układach zapłonowych.

Podsumowanie oceny rozprawy doktorskiej

Oceniając przedstawioną rozprawę doktorską, należy podkreślić aktualność jej tematyki z punktu widzenia potrzeb konstrukcji silników spalinowych z zapłonem iskrowym. Zawiera ona elementy, które można uznać za oryginalne i znaczny wkład w rozwój dyscypliny „Budowa i Eksploatacja Maszyn”, a zwłaszcza wiedzy w specjalności mechatronika samochodowa. Autor podał w niej szereg wyników swoich rozważań i badań doświadczalnych, które mają dużą wartość także dla praktyki technicznej.

Uważam, że rozprawa doktorska mgra inż. Mirosława Urbanowicza pt. „Wpływ parametrów układu zapłonowego na kształtowanie charakterystyki silnika” spełnia wymagania stawiane pracom promocyjnym na stopień naukowy doktora, zgodnie z obowiązującymi przepisami Ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. Ustaw Nr 65 z dnia 14 marca 2003r. wraz z wprowadzonymi później zmianami).

Rekomenduję Radzie Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej dopuszczenie Pana mgra inż. Mirosława Urbanowicza do obrony rozprawy doktorskiej.

Kierownik
Zakładu Mechatroniki

Dr hab. inż. Józef Tutaj