



DOI: 10.5604/20830157.1166559

## BADANIA ELEKTRYCZNYCH PARAMETRÓW PROCESU ROZRUCHU SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

**Jacek Caban**<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, <sup>2</sup>Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Maszyn Rolniczych i Transportowych

**Streszczenie.** Podczas procesu rozruchu silnika spalinowego zachodzi wiele negatywnych zjawisk, mających wpływ na kondycję silnika, jego osprzętu elektrycznego oraz środowiska naturalnego w jakim jest użytkowany. Na proces uruchamiania silnika spalinowego wpływ ma wiele czynników takich jak: stan techniczny układu rozruchowego, stan techniczny silnika, stopień naładowania akumulatora, własności smaru, czas unieruchomienia silnika, temperatura silnika etc. Energia mechaniczna potrzebna do zainicjowania pracy silnika spalinowego dostarczana jest przez rozrusznik elektryczny poprzez napędzanie wału korbowego silnika. Wiedza na temat parametrów pracy elektrycznego rozrusznika w trakcie rozruchu silnika spalinowego może być istotna nie tylko dla użytkownika silnika (kierowcy pojazdu), ale przede wszystkim dla projektantów nowoczesnych układów rozruchowych silników spalinowych oraz personelu obsługi serwisowej. W artykule przedstawiono wyniki badań parametrów elektrycznych rozruchu jednocylinowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym.

**Słowa kluczowe:** pobór prądu elektrycznego, rozrusznik elektryczny, silnik spalinowy

### ТЕСТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПУСКУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

**Анотація.** В процесі запуску двигуна внутрішнього згоряння, є багато негативних чинників, які впливають на стан двигуна, його електрообладнання та середовище, в якому використовується. На процес запуску двигуна внутрішнього згоряння впливає багато факторів, таких як: стан вихідної системи, технічний стан двигуна, ступінь зарядженості акумулятора, властивості моторного масла, необхідний час для зупинки двигуна, температура двигуна і т.д. Механічна енергія, необхідна для ініціювання роботи двигуна внутрішнього згоряння, живлення якого відбувається від електричного стартера при русі колінчастого валу двигуна. Знання, що до експлуатаційних параметрів електричного стартера при запуску двигуна, можуть бути важливими не тільки для користувача двигуна (водія автомобіля), але насамперед, для дизайнерів сучасних двигунів внутрішнього згоряння і для обслуговуючого персоналу. У статті представлені результати досліджень електричних параметрів дизельного одноциліндрового двигуна внутрішнього згоряння.

**Ключові слова:** споживання електроенергії, електричний стартер, двигун внутрішнього згоряння

### RESEARCH OF ELECTRICAL PARAMETERS OF START-UP PROCESS OF DIESEL ENGINES

**Abstract.** During the engine start-up occurs the number of negative phenomena, which have an impact on the engine condition, its electrical equipment and the natural environment in which it is used. The starting process of the diesel engine is affected by number of factors such as: technical condition of the start-up engine unit, engine technical condition, the level of charged battery, the features of grease, engine immobilization time, engine temperature, etc. Mechanical energy needed to initiate the diesel engine start-up is supplied by electric starter motor by means of engine crankshaft. Knowledge concerning the work parameters of electrical starter during the start-up of diesel engine may be crucial not only for the user of the engine (driver of the vehicle), but above all for designers of modern diesel engine start-up units and maintenance staff. The article presents the results of electrical parameters of start-up of single cylinder diesel engine.

**Keywords:** electrical current consumption, electric starter, combustion engine

### Wstęp

Obecnie używane silniki tłokowe o zapłonie samoczynnym muszą być w stanie generować jak najmniejsze szkodliwe skutki dla środowiska naturalnego, jak to tylko możliwe, co oznacza, że muszą wytwarzać niską emisję spalin i hałasu [2]. Podczas rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym obserwuje się występowanie wielu negatywnych zjawisk i procesów, które oddziałują nie tylko na silnik, ale także na jego otoczenie [7]. Stąd więc proces rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym jest zjawiskiem skupiającym uwagę wielu badaczy, czego wyrazem są prowadzone badania oraz opublikowane prace naukowe [1, 3, 5, 6, 12, 13, 15, 17]. Analizując dostępną krajową i światową literaturę należy stwierdzić, że badania silników spalinowych w przeważającej mierze wykonywane są w warunkach doświadczeń stanowiskowych.

Do parametrów charakteryzujących przebieg procesu rozruchu silnika o ZS zalicza się [9]: maksymalne natężenie prądu pobierane przez rozrusznik, średnie natężenie prądu podczas napędzania silnika samym rozrusznikiem, czas trwania pracy rozrusznika pod obciążeniem, czas przyłożenia napięcia na zaciskach rozrusznika, czas rozruchu, temperatura silnika i temperatura oleju smarującego na początku rozruchu oraz prędkość kątowna rozruchu. Właściwościami rozruchowymi tłokowego silnika spalinowego określa się stopień jego przystosowania do podjęcia samodzielnej pracy w różnych warunkach otoczenia [16]. We współczesnych samochodowych silnikach spalinowych niezbędną energię mechaniczną

### Вступ

В даний час використовуються поршневі дизельні двигуни, які повинні, як найменш шкідливо впливати на навколишнє середовище, це означає, що мають виробляти низький рівень викидів і шуму [2]. При запуску дизельного двигуна спостерігаємо багато негативних чинників і процесів, які впливають не тільки на двигун, а й на навколишнє середовище [7]. Тому увага багатьох науковців зосереджена на процесі запуску дизельного двигуна, а результати проведених досліджень опубліковані в наукових працях [1, 3, 5, 6, 12, 13, 15, 17]. Аналізуючи доступну літературу, слід зазначити, що дослідження двигунів внутрішнього згоряння в основному проводять в умовах робочого досвіду.

Параметри, що характеризують процес запуску дизельного двигуна включають в себе [9]: максимальний струм стартера, середній струм при запуску двигуна стартером, тривалість роботи стартера під навантаженням, час подачі напруги на стартер, тривалість запуску, температура двигуна і температура моторного масла на початку пуску та його кутову швидкість. Властивості запуску поршневого двигуна внутрішнього згоряння, ступінь його адаптації для самостійної роботи в різних умовах [16]. У сучасних автомобільних двигунах внутрішнього згоряння необхідна механічна енергія, для ініціювання їх самостійної роботи, передається найчастіше при русі колінчастого валу за допомогою електричного стартера підживлюваного

potrzebną do zainicjowania ich samodzielnego działania przekazuje się najczęściej poprzez napędzanie wału korbowego za pomocą rozrusznika elektrycznego zasilanego z akumulatora [8]. Podczas eksploatacji rozrusznika następuje stopniowe zużywanie się jego elementów i podzespołów, bądź zużycie przyspieszone w wyniku nieprawidłowego użytkowania i obsługi lub pracy rozrusznika w ciężkich warunkach, np. częsty rozruch silnika w okresie zimowym, rozruch silnika z nie domaganiami układu zasilania lub układu zapłonowego [14]. W zależności od charakteru uszkodzenia rozrusznika wyróżnić można uszkodzenia mechaniczne i elektryczne [10, 14]. Stan techniczny układu rozruchowego ma zatem szczególnie istotne znaczenie podczas rozruchu silnika spalinowego.

W artykule przedstawiono częściowe wyniki obszernych badań parametrów elektrycznych podczas rozruchu silnika spalinowego, wykonane na stanowisku badawczym jednocylindrowego silnika o zapłonie samoczynnym.

## 1. Badania przebiegu procesu rozruchu

Badania parametrów elektrycznych rozruchu silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym zostały zrealizowane w Hamowni Silnikowej Instytutu Transportu, Silników Spalinowych i Ekologii Politechniki Lubelskiej na dedykowanym do tego celu stanowisku badawczym.

### 1.1. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze wyposażone jest w aparaturę do pomiaru charakterystycznych parametrów procesu rozruchu silnika o ZS. Na stanowisku badawczym informację o położeniu wału korbowego silnika uzyskuje się z enkodera inkrementalnego firmy Kübler 8.5820.1312.3600. Do pomiaru temperatury cylindra, temperatury oleju i temperatury otoczenia stosuje się czujniki TP-371, TP-372 z pojedynczym elementem przetwarzającym (opornik platynowy Pt100). Natężenie prądu pobieranego przez rozrusznik mierzone jest za pomocą czujnika LEM, HTA-1000, zamocowanego na przewodzie zasilającym rozrusznik. Czujnik pozwala mierzyć prądy w zakresie  $0 \div 1000$  A przy dokładności  $\pm 1\%$  i liniowości  $\pm 0,5\%$ . Wyposażony jest w wyjście napięciowe  $0 \div 4$  V oraz pasmo przenoszenia 40 kHz [4]. Pomiaru napięcia na zaciskach akumulatora dokonano za pomocą specjalnie wykonanego układu pomiarowego opartego o dwa rezystory 100  $\Omega$  połączone w układzie szeregowym [4]. Wszystkie sygnały pomiarowe są rejestrowane przy pomocy karty pomiarowej DAQPad-6070E (16 inputs, 1.25MS/s, 12-bit, Multifunction  $\pm 5$ V) firmy National Instruments.

Podstawowe dane techniczne silnika Ruggerini Diesel RY125 zostały przedstawione w tabeli 1. Układ rozruchowy składa się z rozrusznika firmy BOSCH 0 001 107 090, o napięciu nominalnym 12V oraz akumulatora rozruchowego o parametrach: napięcie – 12V, pojemność elektryczna – 60 Ah, maksymalny prąd rozruchu – 570 A. Wybrane dane techniczne rozrusznika przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Dane techniczne silnika Ruggerini serii RY125

Cykl pracy silnika	Czterosuwowy
Rodzaj wtrysku	Bezpośredni
Rodzaj chłodzenia	Powietrzne
Pojemność skokowa	505 cm <sup>3</sup>
Moc	8,8 kW przy 3600 obr/min
Maksymalny moment obrotowy	31 Nm przy 2000 obr/min
Liczba zaworów	2
Stopień sprężania	20:1
Średnica cylindra	87 mm
Skok tłoka	85 mm
Liczba otworów wtryskiwacza	5

Tabela 2. Dane techniczne rozrusznika BOSCH 0 001 107 090

Napięcie	12 V
Moc znamionowa	1.1 kW
Maksymalna prędkość obrotowa	300 obr/min
Kierunek obrotów	Prawy
Liczba zębów zębniaka	11

akumulatorom [8]. Pod czas roboty startera postepowo znošujęta Ÿogo detałi, abo pšuvannja priskoręjeťta v rezulťtati nepravilnogo vikoristannja startera u važkich umovach, napriklad, častę zapuski dviguна v zimovij čas, zapusk dviguна z slabkoju sistemoju živlennja abo sistemoju zapalovannja [14]. Zaležno vid charakteru poškodžennja startera možna vidiliti, meħanične ta električne poškodžennja [10, 14]. Tehničnij stan sistemi zapalovannja e osoblivo važlivoju pid čas zapusku dviguна.

U statťi predstavleni promižni rezulťtati ob'ємnih doslidžennja električnih parametriv pid čas zapusku dviguна, зробleni na osnovi odnociłindrovogo dizel'nogo dviguна vnutrišnogo zgorannja.

## 1. Дослідження процесу запуску

Дослідження електричних параметрів запуску дизельного двигуна внутрішнього згорання були проведені в Інституті Транспорту, двигунів внутрішнього згорання та екології в Люблінській Політехніці, в спеціально виділеному для цієї мети дослідницькому місці.

### 1.1. Місце випробувань

Місце випробувань, було оснащено приладами для вимірювання характерних параметрів процесу пуску дизельного двигуна. На місці досліджень інформація про положення колінчастого валу двигуна виходила з інкрементного датчика фірми Кюблер 8.5820.1312.3600. Для вимірювання температури циліндра, температури масла і температури навколишнього середовища використовуються датчики TP-371, TP-372 з одним процесорним елементом (Pt100 платиновий резистор). Інтенсивність струму, який бере стартер, вимірюється за допомогою датчика LEM, HTA-1000 встановленого на кабелі живлення startera. Датчик може вимірювати струм в діапазоні  $0 \div 1000$  A з точністю  $\pm 1\%$  і лінійністю  $\pm 0,5\%$ . Він оснащений вихідною напругою  $0 \div 4$  V і частотою 40 кГц [4]. Вимір напруги на клеммах акумулятора був зроблений за допомогою спеціально виготовленої вимірювальної системи на основі двох 100  $\Omega$  резисторів, з'єднаних послідовно [4]. Усі вимірювальні сигнали, записані за допомогою вимірювальної карти DAQPad-6070E (16 inputs, 1.25MS/s, 12-bit, Multifunction  $\pm 5$ V) фірми National Instruments.

Основні технічні дані двигуна Ruggerini Diesel RY125 представлені в таблиці 1. Система запуску складається з startera BOSCH 0001107090, номінальної напруги 12V і пускового акумулятора з параметрами: напруга – 12V, ємність – 60 А, максимальний пусковий струм – 570 А. Обрані характеристики startera наведені в таблиці 2.

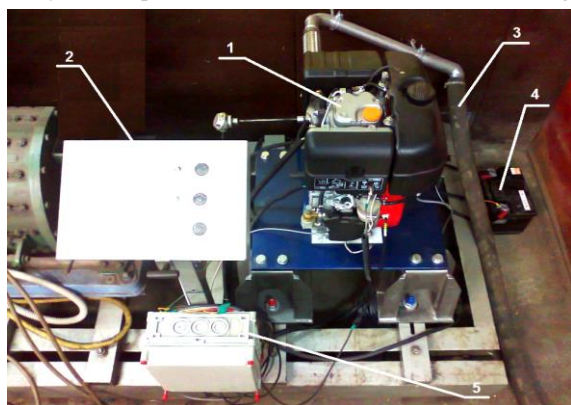
Таблиця 1. Технічні характеристики двигуна серії Ruggerini RY125

Робочий цикл двигуна	Чотирихідний
Тип упорскування	Прямий
Тип охолодження	Повітряний
Ємність	505 см <sup>3</sup>
Потужність	8,8 кВт при 3600 об/хв
Максимальний момент крутіння	31 Нм при 2000 об/хв
Кількість клапанів	2
Ступінь стисання	20:1
Діаметр циліндра	87 мм
Хід поршня	85 мм
Кількість отворів інжектора	5

Таблиця 2. Технічні характеристики startera BOSCH 0001107090

Напруга	12 В
Номінальна потужність	1.1 кВт
Максимальна швидкість обертота	300 об/хв
Напрямок обертання	Вправо
Кількість зубів шестерні	11

Na rysunku 1 przedstawiono widok stanowiska badawczego.



Rys. 1. Stanowisko jednocylindrowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym, 1 – silnik jednocylindrowy, 2 – pulpit sterowniczy, 3 – układ odprowadzenia spalin, 4 – akumulator, 5 – skrzynka przyłączyowa sygnałów pomiarowych [4]  
Мал. 1. Дизельний одноциліндровий двигун внутрішнього згорання, 1 – одноциліндровий двигун, 2 – пульт управління, 3 – система виведення окалин, 4 – акумулятор, 5 – розподільна коробка вимірювальних сигналів [4]

## 1.2. Metodyka badawcza

W artykule przedstawiono częściowe wyniki obszernych badań nad przebiegiem procesu rozruchu, przeprowadzone na stanowisku badawczym jednocylindrowego silnika o zapłonie samoczynnym. Badania parametrów elektrycznych procesu rozruchu silnika spalinowego o ZS przeprowadzono na tak zwanym zimnym silniku. Zimne rozruchy silnika następowały przy pierwszym dziennym rozruchu i po ustalonym czasie od unieruchomienia silnika w 4 godzinnych odstępach czasu, przy ustalonych parametrach wtrysku paliwa oraz w temperaturze otoczenia. Próby rozruchu przeprowadzono przy następujących ustalonych parametrach:

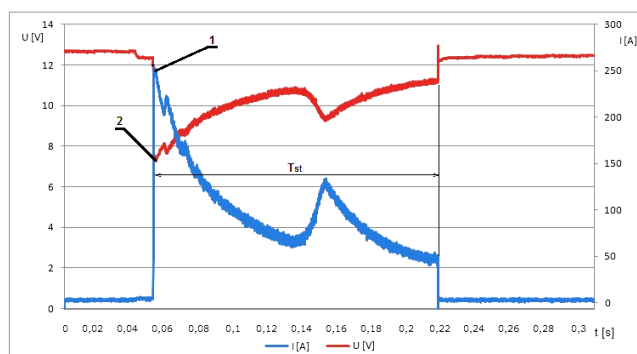
- statyczny kąt wyprzedzenia wtrysku paliwa –  $18,5^{\circ}\text{OWK}$ ,
- dawka paliwa – fabryczna dla biegu jałowego,
- ciśnienie otwarcia wtryskiwacza – 21 MPa,
- prędkość biegu jałowego – 760 obr/min,
- temperatura rozruchu – temperatura otoczenia.

W literaturze zagadnienia występuje wiele możliwości oceny parametru – czas rozruchu. W niniejszych badaniach czas rozruchu wyznaczono w oparciu o moment uzyskania stabilnej prędkości obrotowej wału korbowego silnika. Natomiast czas pracy rozrusznika wyznaczono na podstawie czasu poboru energii na zaciskach akumulatora.

## 1.3. Dyskusja wyników badań

Rozpoczęciem rozruchu jest chwila zwarcia obwodu elektrycznego układu rozruchowego. Wtedy za pomocą mechanizmu sprzęgającego zębniaka rozrusznika dochodzi do współpracy zębów wieńca koła zamachowego, wynikiem czego jest wprawienie w ruch wału korbowego silnika. Wiąże się to z pokonaniem oporów ruchu elementów ruchomych silnika spalinowego i uwidacznia się to w postaci maksymalnej wartości natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik na początku rozruchu. Natomiast, wartość maksymalnego natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik na początku rozruchu nie zależy od temperatury silnika czy temperatury oleju smarującego. Na rysunku 2 przedstawiono wykres zależności natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik i spadek napięcia na zaciskach akumulatora w funkcji czasu.

На мал. 1 вигляд науково-дослідного місця.



Rys. 2. Przebieg natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik i napięcia na zaciskach akumulatora podczas rozruchu w funkcji czasu  
Мал. 2. Напрямок струму, який використовує стартер і напруги на клеммах акумулятора при пуску в функції часу

## 1.2. Методологія дослідження

У статті представлені проміжні результати досліджень перебігу процесу пуску, проведені на дизельному одноциліндровому двигуні внутрішнього згорання. Дослідження електричних параметрів процесу запуску дизельного двигуна внутрішнього згорання проводили на так званому холодному двигуні. Холодні запуски двигуна відбувалися протягом першого денного пуску і після певного періоду іммобілізації двигуна з 4-годинними інтервалами, з фіксованими параметрами вприскування палива і при кімнатній температурі. Спроби пусків проводилися з встановленими параметрами:

- статичний кут випереджування вприскування палива –  $18,5^{\circ}\text{OWK}$ ,
- кількість палива – заводська, на холостому ходу
- тиск відкриття вприскувача – 21 МПа,
- число обертів холостого ходу – 760 об/хв,
- температура пуску – температура навколишнього середовища.

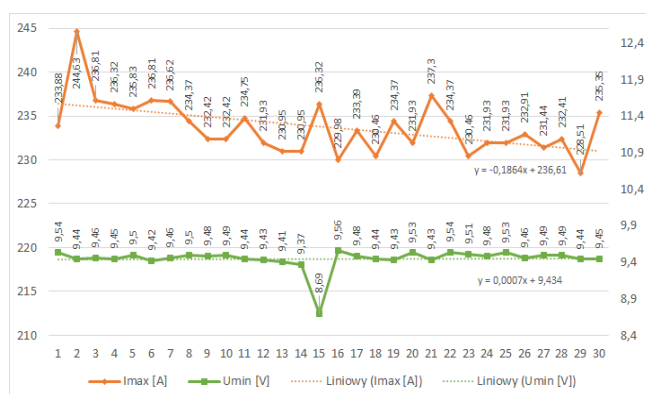
У літературі є багато можливостей оцінки параметрів – часу пуску. У цьому дослідженні, час пуску був визначений на основі часу для отримання стабільної швидкості обертання колінчастого вала двигуна. Натомість, час роботи стартера визначено на основі часу споживання енергії на клеммах акумулятора.

## 1.3. Обговорення результатів досліджень

Початком пуску є момент короткого замикання електричної схеми системи стартера. Потім за допомогою механізму з'єднання шестерні стартера відбувається співпраця між зубами маховика, в результаті чого приводиться в рух колінчастий вал двигуна. Це пов'язано з подоланням опору руху двигуна внутрішнього згорання і рухомих частин, та відображається у вигляді максимального струму стартера на початку старту. З іншого боку, максимальний струм стартера на початку завантаження не залежить від температури двигуна і температури мастила. На малюнку 2 показано графік залежності струму використовуваного стартером і падіння напруги на клеммах акумулятора, як функції часу.

Maksymalne natężenie prądu pobranego przez rozrusznik występuje na początku rozruchu, w chwili ruszania wału korbowego silnika, punkt 1 (na rysunku 2). Parametr ten charakteryzuje więc opory sił tarcia spoczynkowego występującego w zespołach i elementach ruchomych silnika [7]. Minimalna wartość spadku napięcia na zaciskach akumulatora podczas podjęcia pracy przez rozrusznik została oznaczona jako punkt 2 na wykresie. Odległość określona jako –  $T_{st}$  wyznacza czas pracy rozrusznika pod obciążeniem podczas próby rozruchu. Jest to czas jaki upłynął od chwili włączenia rozrusznika do chwili, kiedy jego parametry elektryczne (napięcie i natężenie prądu) osiągną wartości odpowiadające działaniu bez obciążenia [7]. W praktyce eksploatacyjnej odpowiada on czasowi, w którym kierowca pojazdu (poprzez przekręcenie kluczyka w stacyjce), zwiera styki rozruchowego obwodu elektrycznego do momentu zwolnienia kluczyka.

Na wykresie przedstawionym na rysunku 3 zaprezentowano rozkład wartości maksymalnego natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik w chwili początku rozruchu oraz najniższą wartość napięcia na zaciskach akumulatora.



Rys. 3. Przebieg wartości natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik i napięcia na zaciskach akumulatora podczas rozruchu

Mal. 3. Naprąmek strumu, який використовує стартер і напруга на клеммах акумулятора при пуску

Analizując wykres na rysunku 3 można zauważyć, że wartości natężenia prądu w kolejnych próbach rozruchowych ulegają zmianie. Najwyższą wartość natężenia prądu tj. 244,63A, zarejestrowano w trakcie 2 rozruchu. Najniższą wartość natężenia prądu tj. 228,51A, zarejestrowano przy rozruchu numer 29. Natomiast w przypadku napięcia na zaciskach akumulatora wartości napięcia są bardziej zbliżone i oscylują w granicy wartości 9,43V, co potwierdza prawie płaski przebieg linii trendu.

Przebieg wartości średniej natężenia prądu w poszczególnych próbach rozruchu przedstawiono na rysunku 4.

Średnie natężenie prądu pobierane przez rozrusznik podczas uruchamiania silnika, które określa się podczas napędzania wału korbowego silnika tylko samym rozrusznikiem, nazywane jest w literaturze prądem rozruchu [11, 16]. Należy powiedzieć, że parametr ten wykorzystuje się do określenia wartości rozruchowego momentu oporowego silnika spalinowego, na który składają się: moment oporu sprężania mieszanki paliwowopowietrznej w cylindrach oraz moment sił tarcia kinematycznego występujące w zespołach i układach ruchomych [11, 16].

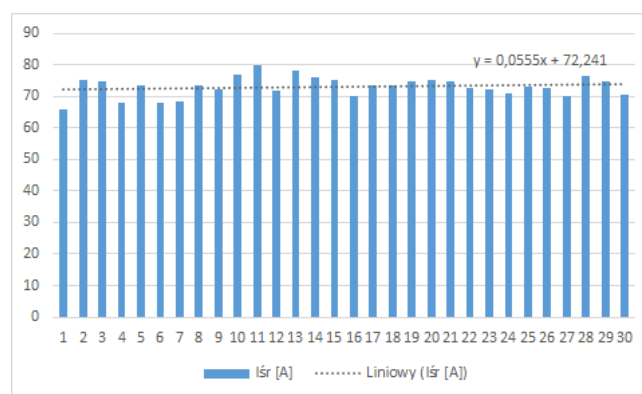
Na rysunku 5 zaprezentowano wykres mocy maksymalnej pobieranej przez rozrusznik na początku procesu rozruchu dla poszczególnych prób rozruchu jednocylinowego silnika o ZS.

$P_{max}$  określa moc zużywaną przez rozrusznik przy jego maksymalnej intensywności pracy obecnej podczas rozruchu. Energia ta jest konsumowana na pokonanie oporów ruchu i tarcia występujących w parach kinematycznych silnika oraz sił gazowych związanych ze sprężaniem ładunku w cylindrze.

Na rysunku 6 przedstawiono porównanie wartości mocy maksymalnej  $P_{max}$  i mocy średniej  $P_{sr}$ , uzyskiwanych podczas próby rozruchu jednocylinowego silnika o ZS. Średnia moc  $P_{sr}$  to moc pobierana przez rozrusznik podczas napędzania wału korbowego silnika w trakcie procesu rozruchu.

Максимальний струм використовуваний стартером присутній на початку пуску, під час запуску колінчастого валу двигуна, пункт 1 (мал. 2). Цей параметр характеризує опір сили тертя в спокої, що виникає в рухомих частинах двигуна [7]. Мінімальне значення падіння напруги на клеммах акумулятора, коли стартер розпочинає роботу було відзначено, в пункті 2 на графіку. Відстань визначена як –  $T_{st}$  встановлює час роботи стартера під навантаженням при спробі пуску. Це час, що минув з моменту пуску стартера до тих пір, коли його електричні параметри (напруга і струм) досягнуть значень, що відповідають холостому ходу [7]. На практиці це відповідає часу, протягом якого водій транспортного засобу (поворотом ключа в замку запалювання), закриває електричний ланцюг контактів, поки не відпустить ключ.

На графіку, малюнок 3 представлено розподіл значень максимального струму стартера на початку запуску, і найнижче значення напруги на клеммах акумулятора.



Rys. 4. Przebieg wartości średniej natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik podczas rozruchu

Mal. 4. Середні значення струму використовуваного стартером під час пуску

Аналізуючи діаграму на малюнку 3 видно, що значення струму в наступних спробах пуску змінюються. Найбільше значення струму 244,63A, зареєстровано під час 2 пуску. Найменше значення струму 228,51A, зареєстровано під час 29 пуску. Однак, у випадку напруги на клеммах акумулятора значення напруги є більш наближені та коливаються в межах 9,43V, що підтверджує майже плоский пробіг лінії тренду.

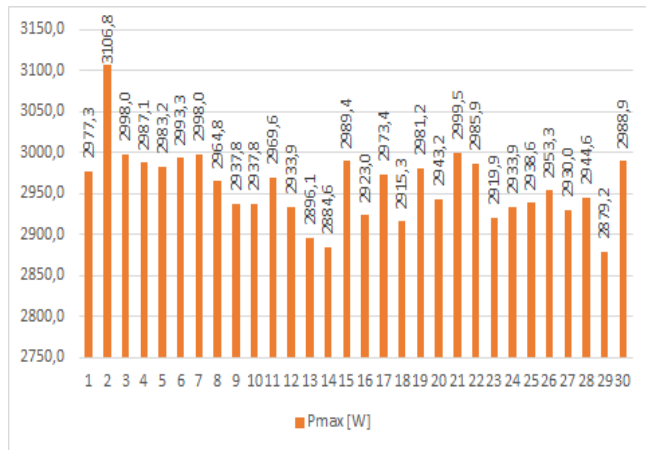
Середні значення струму у відповідних зразках пуску показано на мал. 4.

Середні значення струму, що використовує стартер при запуску двигуна, під час руху колінчастого валу двигуна, тільки самим стартером, в літературі називається струмом запуску [11, 16]. Треба сказати, що цей параметр використовується для визначення пускового моменту опору двигуна внутрішнього згорання, який складається з: моменту опору, стиснення повітряно-паливної суміші в циліндрах і моменту кінематичної сили тертя, що виникає в рухомих системах [11, 16].

На малюнку 5 представлений графік максимальної потужності, споживаної стартером на початку процесу пуску для окремих спроб запуску одноциліндрового дизельного двигуна.

$P_{max}$  визначає потужність, споживану стартером при його максимальній інтенсивності пускової роботи. Ця енергія споживається, щоб подолати опір тертя та руху, що спостерігаються в кінематичних парах двигуна і силах пов'язаних із стисненням газу в заряді циліндра.

На малюнку 6 показано порівняння значень величини максимальної потужності  $P_{max}$  і середньої потужності  $P_{sr}$ , що генеруються при спробі запуску одноциліндрового дизельного двигуна. Середня потужність  $P_{sr}$ , це потужність використовувана стартером при впровадженні в рух колінчастого валу двигуна, під час процесу запуску.

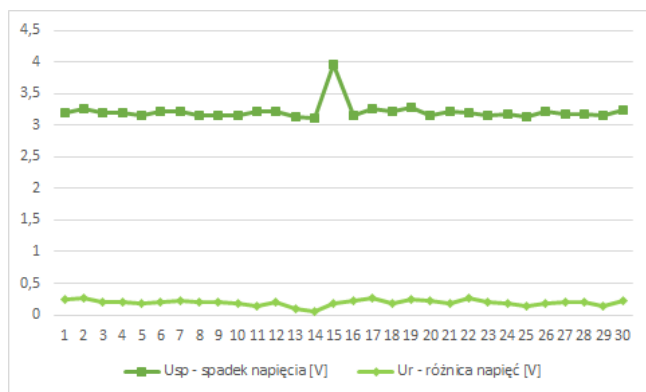


Rys. 5. Wykres wartości maksymalnej natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik w poszczególnych próbach rozruchu  
 Мал. 5. Діаграма максимального значення струму використовуваного стартером в окремих спробах пуску

Analizując wykres na rysunku 6, można zauważyć, że wartość  $P_{sr}$  wynosi około 25% wartości mocy maksymalnej  $P_{max}$ . Należy zaznaczyć, że moc maksymalna występuje tylko w początkowej fazie procesu rozruchu i drastycznie spada po przejściu wału korbowego silnika ze stanu spoczynku w ruch.

Wartość napięcia na zaciskach akumulatora podczas podjęcia pracy przez rozrusznik jest miarą kondycji danego akumulatora rozruchowego i jego zdolności do dostarczenia potrzebnej energii. Spadek napięcia  $U_{sp}$ , wywołany jest dużym zapotrzebowaniem na prąd w pierwszej fazie procesu rozruchu. Wyznaczony jest on poprzez różnicę napięcia przed rozruchem do minimalnego spadku napięcia podczas rozruchu (w czasie pracy rozrusznika). Natomiast wartość różnicy napięcia  $U_r$  wyznaczona jest różnicą wartości napięcia przed rozruchem do wartości napięcia po procesie rozruchu i podjęciu przez silnik stabilnej pracy ze stałą prędkością obrotową wału korbowego.

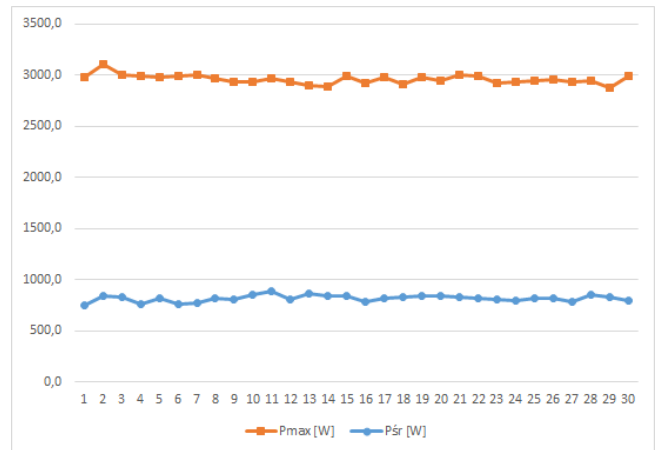
Na rysunku 7 przedstawiono wykres obrazujący spadek napięcia na zaciskach akumulatora –  $U_{sp}$  oraz różnicę napięć –  $U_r$  dla poszczególnych rozruchów.



Rys. 7. Porównanie wartości napięcia  $U_{sp}$  oraz  $U_r$  podczas rozruchu  
 Мал. 7. Порівняння значення напруги,  $U_{sp}$  і  $U_r$  під час пуску

Analizując dane z rysunku 7 można zauważyć, że różnica wartości napięć występująca na początku i końcu procesu rozruchu wynosi około 0,2 V w procesie rozruchu. Ponadto przebieg wartości  $U_r$  dla poszczególnych rozruchów kształtuje się na podobnym poziomie. Podobną tendencję można zauważyć, w przypadku wartości  $U_{sp}$ , gdzie poza jednym rozruchem wszystkie wartości kształtowały się na podobnym poziomie uzyskując wynoszącym około 3,2 V w procesie rozruchu.

Na rysunku 8 przedstawiono uzyskane wyniki wartości czasu rozruchu jednocylindrowego silnika spalinyowego o ZS.

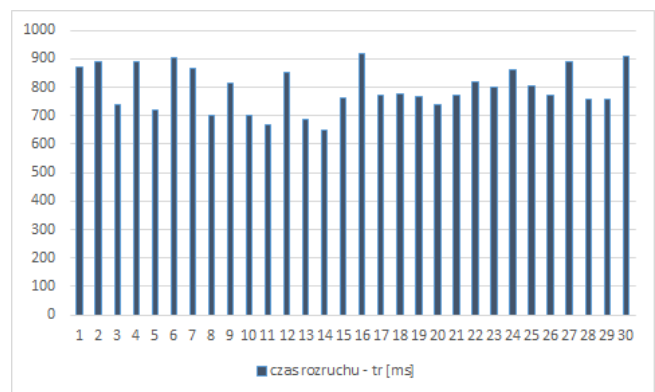


Rys. 6. Porównanie wartości  $P_{max}$  oraz  $P_{sr}$  pobieranej przez rozrusznik podczas rozruchu  
 Мал. 6. Порівняння  $P_{max}$  і  $P_{sr}$ , що споживаються стартером під час пуску

Analizując grafik na мал. 6, можна побачити, що значення  $P_{sr}$  складає близько 25% від максимальної потужності  $P_{max}$ . Слід зазначити, що максимальна потужність має місце тільки в початковій фазі процесу пуску і різко зменшується після проходження колінчастого вала двигуна зі стану спокою в рух.

Напруга на клеммах акумулятора, під час початку роботи стартера є мірою стану акумулятора стартера і його здатності забезпечувати необхідну кількість енергії. Падіння напруги  $U_{sp}$ , викликане високим попитом на електроенергію в першій фазі процесу пуску. Він визначається через відмінності напруги перед пуском, до мінімального падіння напруги під час пуску (під час роботи стартера). У той час, як значення різниці напруг є різниця  $U_r$ , яка визначається різницею значень напруги після процесу пуску з стабільною роботою двигуна на постійній швидкості колінчастого вала.

На мал. 7 графік показує падіння напруги на клеммах акумулятора –  $U_{sp}$ , і різницю напруг –  $U_r$  для конкретних пусків.



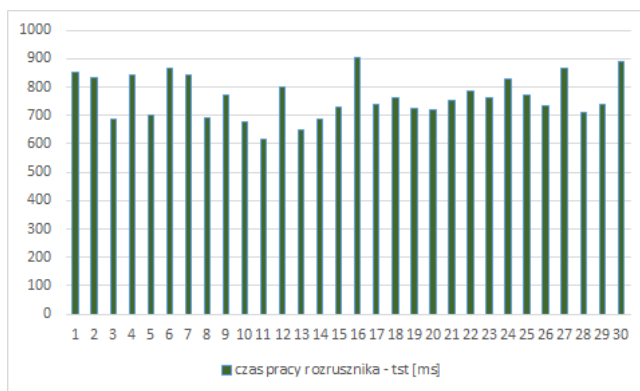
Rys. 8. Wartości czasu rozruchu w podczas rozruchu  
 Мал. 8. Час пуску під час пуску

Analizując дані з мал. 7, можна побачити, що різниця в значеннях напруги відбувається на початку і в кінці процесу пуску, і становить близько 0,2 V в процесі пуску. Крім того, значення  $U_r$  для окремих пусків формується на подібних рівнях. Аналогічна тенденція спостерігається в значеннях  $U_{sp}$ , де всі, крім одного з вихідних значень були на тому ж рівні, в співвідношенні приблизно 3,2 V в процесі пуску.

Малюнок 8 показує результати під час пуску дизельного одноциліндрового двигуна внутрішнього згорання.

Analizując dane przedstawione na rysunku 8 widać, że uzyskiwane czasy rozruchu we wszystkich przeprowadzonych próbach wynosiły poniżej jednej sekundy. Największy czas rozruchu wynosił 917 ms, natomiast najkrótszy wynosił 647 ms.

Na rysunku 9 przedstawiono uzyskane wyniki wartości czasu pracy rozrusznika pod obciążeniem podczas procesu rozruchu jednocylinowego silnika spalinowego o ZS.



Rys. 9. Wartości czasu pracy rozrusznika pod obciążeniem w poszczególnych próbach rozruchu  
Mал. 9. Час роботи стартера під навантаженням в окремих спробах пуску

Analizując dane przedstawione na rysunku 9 widać, że podobnie jak w przypadku czasu rozruchu uzyskiwane czasy pracy rozrusznika pod obciążeniem we wszystkich próbach rozruchu jednocylinowego silnika spalinowego o ZS wynosiły poniżej jednej sekundy. Najdłuższy czas pracy rozrusznika pod obciążeniem wynosił 902 ms, natomiast najkrótszy czas wynosił 617 ms. Analizując uzyskane wyniki czasu rozruchu i czasu pracy rozrusznika pod obciążeniem można stwierdzić, że czas pracy rozrusznika pod obciążeniem w każdej próbie rozruchu jest krótszy od czasu rozruchu.

Szczegółowa analiza procesu rozruchu wymaga powiązania wielu parametrów oddziałujących na siebie takich jak: maksymalne natężenie prądu pobieranego przez rozrusznik, napięcie na akumulatorze przed i po rozruchu, spadek napięcia na akumulatorze podczas rozruchu, prędkość obrotowa wału korbowego, temperatura otoczenia i zespołów silnika oraz intensywność rozruchów obiektu technicznego. Parametry te powiązane są ze stanem technicznym zespołów silnika spalinowego, temperaturą otoczenia, stanem układu rozruchowego i stanu naładowania akumulatora, długością przerw pomiędzy kolejnymi rozruchami.

## 2. Podsumowanie badań

W niniejszej pracy przedstawiono cząstkowe wyniki obserwowanych badań procesu rozruchu jednocylinowego silnika spalinowego o ZS uwzględniając parametry elektryczne tego procesu. Z punktu widzenia eksploatacji bardzo istotne jest uzyskanie powodzenia rozruchu silnika spalinowego, które pozwala na pracę innych urządzeń zasilanych silnikiem spalinowym. Niezależnie od tego czy jest to zasilanie urządzeń budowlanych poprzez odbiór prądu z agregatu prądotwórczego, czy realizacja zadania transportowego w przypadku pojazdów samochodowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań można wnioskować, że wpływ na powodzenie rozruchu mają:

- stan techniczny silnika spalinowego,
- ustawienia parametrów wtrysku paliwa,
- kondycja układu rozruchowego silnika (stan rozrusznika oraz stan naładowania akumulatora),
- warunki otoczenia.

При аналізі даних, представлених на малюнку 8 видно, що отриманий час початку пуску для всіх випробувань був коротший ніж секунда. Найдовший час пуску склав 917 мс, а найкоротший 647 мс.

На мал. 9 показані результати часу роботи обтяженого стартера під час пуску дизельного одноциліндрового двигуна внутрішнього згорання.

Аналізуючи дані, представлені на малюнку 9 видно, що, як і у випадку, під час запуску, час роботи стартера під навантаженням у всіх спробах запуску дизельного одноциліндрового двигуна внутрішнього згорання був менший секунди. Найдовший час роботи стартера під навантаженням 902 мс, а мінімальний час 617 мс. Аналізуючи результати часу пуску і часу роботи стартера під навантаженням можна зробити висновок, що час роботи стартера під навантаженням в кожній спробі пуску, коротший від часу пуску.

Детальний аналіз процесу пуску вимагає поєднання багатьох параметрів, які взаємодіють: максимальний струм стартера, напруга акумулятора до і після пуску, падіння напруги на акумуляторі під час пуску, швидкість обертання колінчастого валу, температура навколишнього середовища та систем двигуна, інтенсивність пусків технічного об'єкту. Ці параметри пов'язані з технічним станом систем двигуна внутрішнього згорання, температурою навколишнього середовища, станом пускової системи і акумулятора, довжиною пауз між пусками.

## 2. Підсумок досліджень

У цій статті, показані проміжні результати об'ємних досліджень процесу пуску дизельного одноциліндрового двигуна внутрішнього згорання, беручи до уваги електричні параметри цього процесу. З точки зору експлуатації дуже важливо, досягти успіху запуску двигуна внутрішнього згорання, що дозволяє функціонувати іншому обладнанню, яке приводить в рух двигун внутрішнього згорання. Незалежно від того, чи це приведення в рух будівельних пристроїв, через отримання струму від генератора, чи здійснення транспортного завдання у випадку транспортних засобів.

На підставі досліджень можна зробити висновок, що вплив на успіх пуску мають:

- технічний стан двигуна внутрішнього згорання,
- налаштування вприскування палива,
- стан системи запуску двигуна (стан стартера і стан акумулятора),
- умови навколишнього середовища

## Podziękowania

Praca powstała w ramach projektu *PL-NTU Transgraniczna wymiana doświadczeń* PBU.03.01.00-06-386/11-00 współfinansowanego w ramach Programu Współpracy Transgranicznej Polska-Białoruś-Ukraina 2007–2013 finansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Instrumentu Sąsiedztwa i Partnerstwa.

Niniejsza publikacja została stworzona przy pomocy Unii Europejskiej. Wyłączną odpowiedzialność za zawartość niniejszej publikacji ponosi Jacek Caban oraz w żaden sposób nie może być ona postrzegana jako odzwierciedlenie poglądów Unii Europejskiej.

## Literatura || Література

- [1] Abramek K. F.: Phenomenon of Load Losses at the Engine Start-up Stage. TEKA Komisji Energetyki Rolnictwa - OL PAN, 8a, 2008, 7–11.
- [2] Ambrozik A., Ambrozik T., Kurczyński D., Łagowski P.: Comparative Assessment of CI Engine Response. Transport and Communications, Vol. 1, 2014, 1–4.
- [3] Broatch A., Ruiz S., Margot X., Gil A.: Methodology to estimate the threshold in-cylinder temperature for selfignition of fuel during cold start of Diesel engines. Energy 35, 2010, 2251–2260.
- [4] Caban J.: Budowa stanowiska do badań rozruchu silnika o zaplonie samoczynnym. Praca magisterska pod kierunkiem P. Drożdźela, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, Lublin 2012.
- [5] Chartier C., Aronsson U., Andersson O., Egnell R.: Effect of injection strategy on cold start performance in an optical lightduty DI diesel engine. SAE Paper 2009-24-0045.
- [6] Cui Y., Peng H., Deng K., Shi L.: The effects of unburned hydrocarbon recirculation on ignition and combustion during diesel engine cold starts. Energy 64, 2014, 323–329.
- [7] Drożdźel P.: O rozruchu silnika o zaplonie samoczynnym. Eksploatacja i Niezawodność, 2 (34), 2007, 51–59.
- [8] Drożdźel P.: Widmo rozruchu silnika o zaplonie samoczynnym jako kryterium oceny warunków użytkowania samochodu. PNTTE, Warszawa 2009.

**Mgr inż. Jacek Caban**  
e-mail: j.caban@pollub.pl

Doktorant na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej w dziedzinie Budowy i Eksploatacji Maszyn. Asystent w Katedrze Maszyn Rolniczych i Transportowych na Wydziale Inżynierii Produkcji, Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Autor ponad 50 artykułów naukowych z dziedziny budowy i eksploatacji maszyn, transportu i bezpieczeństwa. Członek Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacyjnego.



## Завдяки

Робота створена в рамках проекту *PL-NTU Прикордонного обміну досвідом* PBU.03.01.00-06-386/11-00, фінансованих в рамках Програми Транскордонного Співробітництва Польща-Білорусь-Україна 2007–2013 фінансується Європейським Союзом в рамках Європейського Інструменту Сусідства та Партнерства.

Ця публікація була створена за допомогою Європейського Союзу. Відповідальність за зміст цієї публікації лежить на Яцеку Чабан, і жодним чином не може розглядатися як відображення поглядів Європейського Союзу.

- [9] Drożdźel P., Krzywonos L., Liščak Š.: Selected aspects of diesel engines start-ups. Liber-Duo, Lublin 2013.
- [10] Dziubiński M., Krasowski E., Plizga K.: Metody rozpoznawania uszkodzeń rozruszników samochodowych. XXXIII Zimowa Szkoła Niezawodności „Metody badań przyczyn i skutków uszkodzeń”. Sekcja Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn PAN, Szczyrk 2005, 106–117.
- [11] Mysłowski J.: Rozruch silników samochodowych z zaplonem samoczynnym. WNT, Warszawa 1996.
- [12] Pacaud P., Perrin H., Laget O.: Cold start on diesel engine: is low compression ratio compatible with cold start requirements? SAE, Paper 2008-01-1310.
- [13] Pastor J.V., Garcia-Oliver J.M., Pastor J.M., Ramirez-Hernandez J.G.: Ignition and combustion development for high speed direct injection diesel engines under low temperature cold start conditions. Fuel, 90 (4), 2011, 1556–1566.
- [14] Plizga K.: Metody diagnozowania rozruszników samochodowych. MOTROL nr 10, 2008, 102–109.
- [15] Pszczółkowski J.: Analiza i modelowanie procesu rozruchu silników o zaplonie samoczynnym. WAT, Warszawa 2009.
- [16] Pszczółkowski J.: Charakterystyki rozruchowe silników o zaplonie samoczynnym. Wydawnictwo SEEP „Cogito”. Zbąszynek 2004.
- [17] Roberts A., Brooks R., Shipway P.: Internal combustion engine cold-start efficiency: A review of the problem, causes and potential solutions. Energy Conversion and Management 82, 2014, 327–350.

**Магістр інж. Яцек Чабан**  
e-mail: j.caban@pollub.pl

Аспірант факультету машинобудування Люблінської Політехніки в галузі будівництва та експлуатації машин Асистент на кафедрі сільськогосподарського машинобудування та транспорту факультету технологій виробництва Люблінської Політехніки. Автор понад 50 наукових статей в галузі будівництва та експлуатації машин, транспорту та безпеки. Член Польського Науково-Технічного Товариства Експлуатації.