

Jacek DUDZIŃSKI

## MASA NIERESOROWANA ORAZ NOWE KONCEPCJE TECHNOLOGICZNE W NAPĘDACH BEZPOŚREDNICH

**STRESZCZENIE** *W artykule omówiono wpływ masy nieresorowanej na bezpieczeństwo w czasie jazdy i obsługę urządzeń w pojeździe elektrycznym. Przedstawiono stan zaawansowanych prac oraz stopień wdrożenia modułów przeznaczonych do sterowania podstawowymi układami jezdnyymi pojazdu elektrycznego.*

**Słowa kluczowe:** *pojazd elektryczny, moduł sterujący, masa nieresorowana, wspomaganie elektryczne, symulacja, napęd bezpośredni*

### 1. WSTĘP

---

Dodanie masy do pojazdu osłabia przyspieszenie i zwiększa drogę hamowania. Te wartości są bardzo istotne w dwu aspektach – masy nieresorowanej i momentu bezwładności. Masa nieresorowana to masa opon, felg, hamulców, fragmentów zawieszenia i innych części, które poruszają się w osi pionowej razem z kołami. W typowym samochodzie nieresorowane jest ok. 15% jego całkowitej masy. Jeśli pominiemy sprężystość opon, cała ta masa przesuwana się pionowo w bezpośredniej zależności od ukształtowania nawierzchni.

---

**mgr inż. Jacek DUDZIŃSKI**  
e-mail: dudz@iel.waw.pl

Zakład Maszyn Elektrycznych, Instytut Elektrotechniki

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 260, 2012

Stosunek masy nieresorowanej do masy resorowanej jest bardzo ważny, ponieważ pionowe siły oddziaływujące na masę nieresorowaną poprzez wyboje na drodze muszą być kontrolowane i pochłaniane przez masę resorowaną. Gdy opona trafia na wybój, koło jest przyspieszane w osi pionowej z prędkością zależną od charakterystyki opony, rozmiaru nierówności i poziomej prędkości samochodu [3].

Im większa masa zostanie przyspieszona w ten sposób (im większa jest masa nieresorowana), tym większą energię kinetyczną będzie musiało pochłonąć zawieszenie auta, jeśli masa resorowana ma pozostać w miejscu. Dbłość, aby masa nieresorowana była możliwie najmniejsza, jest więc bardzo korzystna dla komfortu jazdy. Jeśli stosunek masy nieresorowanej do resorowanej jest wysoki, koło będzie również słabiej przyciskane do podłoża na dziurach. Praca kół, opon, zawieszenia, a także silnika, hamulców, układu kierowniczego i układu chłodzenia jest ściśle związana ze sobą w czasie jazdy.

## 2. WPŁYW MASY NIERESOROWANEJ NA PARAMETRY POJAZDU

---

W jednym z ośrodków badawczych w Niemczech [1, 2] przeprowadzono badania wpływu masy nieresorowanej na kierowanie i obsługę urządzeń pojazdu. Zastosowano dwie metody polegające na:

- kompleksowym modelowaniu;
- wykonaniu prób drogowych na średniej wielkości samochodzie typu hatchback (Ford Focus) przez pracowników firmy Lotus. Półroczny projekt został ukończony w listopadzie 2010 roku.

### 2.1. Badania symulacyjne

---

Skupiono się na następujących parametrach:

- możliwości zawieszenia do absorbowania zakłóceń;
- możliwości pojazdu do tłumienia hałasu i drgań;
- bezpieczeństwo czynne – zdolność pojazdu do zatrzymania i kierowania w sytuacjach awaryjnych;
- ergonomia – obsługa pojazdu w warunkach normalnych (rozmieszczenie pokręteł, pedałów hamulca i przyspieszenia);
- rozpatrzono model samochodu (1/4 pojazdu) wzdłuż osi podłużnej;

- symulacja jazd początkowych – wartości średnie przyśpieszenia pionowego zawieszenia przy częstotliwości  $f = 0 \div 3$  Hz;
- symulacja jazd dodatkowych – wartości średnie przyśpieszenia pionowego zawieszenia przy częstotliwości  $f > 3$  Hz;
- symulacja przyczepności opon – wartości średnie przy zmianach obciążenia opon oraz przy losowych zmianach wejściowych dotyczących stanu nawierzchni – „szorstka” lub „gładka”.

Parametry modelu symulacyjnego:

- obciążenie osi: 720 kg  $\div$  2300 kg;
- zakres masy nieresorowanej 50 kg  $\div$  80 kg na koło, tzn. bez dodawania cząstkowego aż do +30 kg;
- jazda początkowa – częstotliwość  $f = 0,8$  Hz  $\div$  2,5 Hz;
- tłumienie: 3%  $\div$  180%.

Wnioski z modelowania:

- rodzaj zastosowanych opon oraz rodzaj nawierzchni mają ok. dziesięciokrotnie większy wpływ na przyczepność pojazdu w porównaniu do powiększenia o ok. +30 kg masy nieresorowanej na każde koło;
- po dodaniu masy nieresorowanej zalecany jest montaż twardszych amortyzatorów niż w standardowym wyposażeniu pojazdu;
- zaobserwowano zmniejszenie sztywności zawieszenia po dodaniu masy nieresorowanej przy jednoczesnym zachowaniu tłumienia.

## 2.2. Badania pojazdu

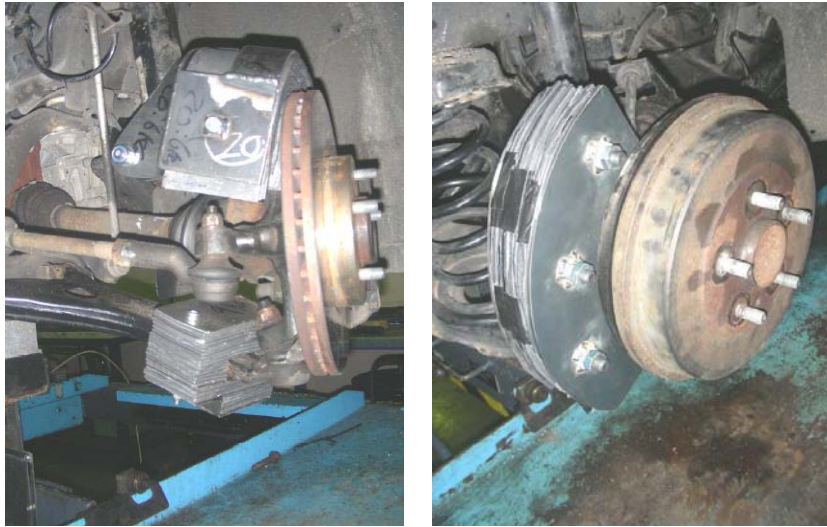
---

Porównano trzy wersje pojazdów:

- bez przeróbek;
- z masą nieresorowaną 120 kg (4 x 30 kg na koło);
- z masą nieresorowaną 120 kg (4 x 30 kg na koło) oraz zawieszeniem z pojazdu w wersji ST (wersja ST – wersja z zawieszeniem utwardzonym, przeznaczona do sportu).

Celem prób było wykazanie, iż zmiany w kierowaniu i obsłudze urządzeń pojazdu po dodaniu 120 kg masy nieresorowanej można poprawić poprzez zmodernizowanie zawieszenia.

Na rysunku 1 przedstawiono zawieszenie pojazdu ze zwiększoną masą nieresorowaną w pojeździe przygotowanym do prób.

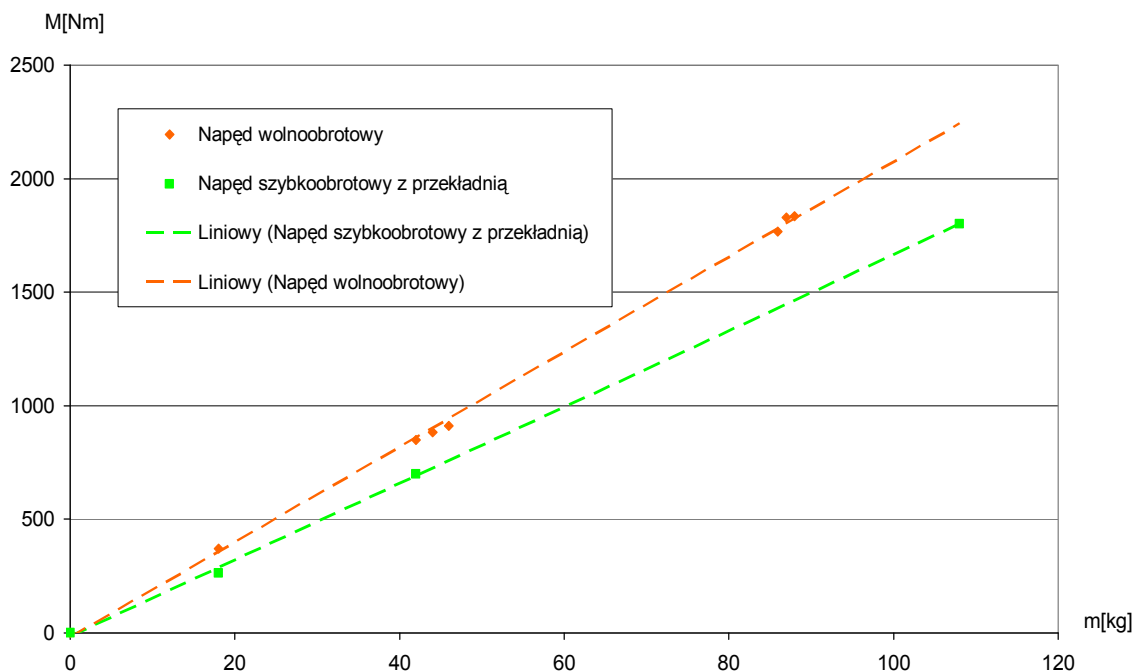


**Rys. 1. Masa nieresorowana zwiększona do 120 kg (4 x 30 kg) w pojeździe przygotowanym do prób (źródło: [1, 2])**

Wnioski z badań dotyczących usprawnienia zawieszenia:

- dodanie masy 120 kg najbardziej obciążało fabryczne elementy układu kierowniczego, przez co zaobserwowano mniejszą stabilność pojazdu;
- montaż zwiększonej masy nieresorowanej w zawieszeniu w wersji ST poprawił precyzję działania układu kierowniczego;
- montaż zawieszenia z wersji ST z dodatkową masą nieresorowaną 120 kg nie pogorszył kierowności pojazdu, a stabilność podczas kierowania polepszyła się w porównaniu do wersji fabrycznej;
- komfort jazdy nieznacznie pogorszył się po zamontowaniu zawieszenia ST (nie jest to zaskoczeniem, biorąc pod uwagę sportowe własności tego typu zawieszenia);
- w dalszym rozwoju konstrukcji wykonywanie tuningu zawieszenia może w większym stopniu polepszyć komfort jazdy w stosunku do wersji fabrycznej.

Masa nieresorowana niezależnie od stopnia zestrojenia zawieszenia posiada kluczowe znaczenie dla komfortu jazdy i bezpieczeństwa samochodu. Podobnie zwiększenie masy nieresorowanej dla napędów niskoobrotowych i szybkoobrotowych bezpośrednich może być ustalane na podstawie szczegółowych obliczeń. Wyniki opracowano dla napędów wysokoobrotowych z dodatkową masą przekładni 0,05 kg/Nm oraz napędu niskoobrotowego. Z pomiarów wynika, iż korzystny jest napęd niskoobrotowy. Dla tej samej mocy mechanicznej wymaga to mniejszej masy nieresorowanej na kołach. Na rysunku 2 przedstawiono odpowiednie charakterystyki.



Rys. 2. Moment obrotowy w zależności od masy nieresorowanej umieszczonej w piastach kół (źródło: [1, 2])

### 3. MODUŁY STERUJĄCE ECM – STAN PRAC ORAZ STOPIEŃ ICH WDROŻENIA

Electric Corner Modules (ECM) to sterowanie elektroniczne m.in. pracą kół, zawieszenia, silnika, hamulców, układu kierowniczego, układu chłodzenia. Każdy z modułów ECM jest ośrodkiem kierującym układ sterowania danego podzespołu w pojeździe. Pozostałe zalety to zmniejszenie masy pojazdu o 10-25% i oszczędność energii o 20-30%. Moduły ECM umieszcza się kole lub w pobliżu koła [5].

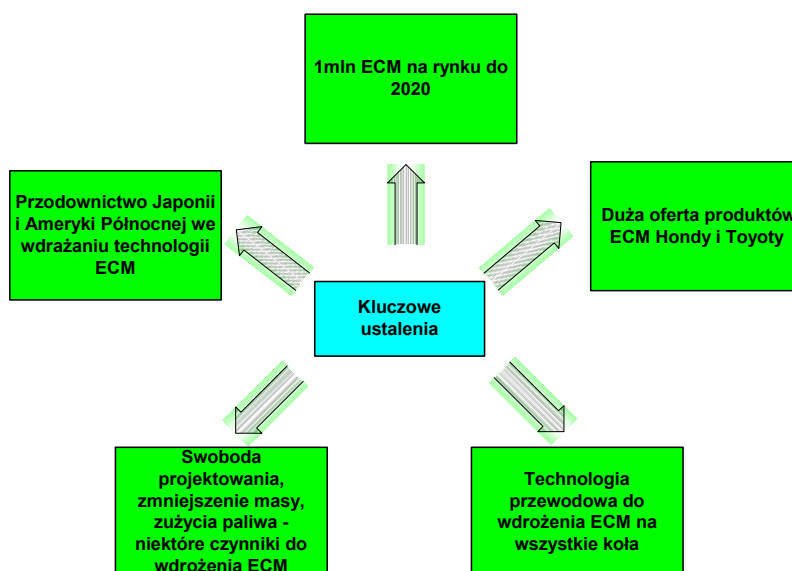
Zasadę działania można porównać np. do działania modułów sterowania silnikiem we współczesnych samochodach czy motocyklach. Przewiduje się, że do roku 2020 moduły sterujące ECM będą umieszczone w ok. 1 mln samochodów elektrycznych. Głównym czynnikiem do realizacji modułów ECM będzie elastyczność w projektowaniu oraz zmniejszenie masy pojazdu. W konwencjonalnych pojazdach nie można zastosować tego systemu. Moduły ECM wymagają napięcia w instalacji elektrycznej powyżej 42 V. Alternatywne napędy takie jak: hybrydowe, hybrydowe typu plug-in, ogniwa paliwowe, elektryczne, posiadają wyższe zakresy napięć (42 V i większe), a więc pojazdy z takimi napędami mogły być wyposażone w moduły ECM [4].

System modułów ECM może być stosowany początkowo na dwa koła tylne ze względu na łatwiejsze wdrożenie i mniejsze zmiany konstrukcyjne w pojeździe. Przewiduje się, iż w przyszłości zastosowanie modułów ECM prawdopodobnie nastąpi na wszystkie cztery koła. Kluczowym znaczeniem dla realizacji ECM na wszystkie cztery koła będzie skala postępu w systemach elektronicznych.

Japońscy producenci tacy jak Honda, Toyota, Mitsubishi, już zaprezentowali technologię modułów ECM w pojazdach elektrycznych. Ze względu na postęp w pojazdach z napędem hybrydowym, technologii ogniw paliwowych i rygorystyczne normy dotyczące emisji spalin w Japonii, kraj ten może być pierwszym regionem wdrożenia ECM.

Tacy dostawcy, jak Bridgestone, Michelin, Continental (Siemens VDO) zaprezentowali już koncepcję w zakresie technologii ECM. Jednak pewne rozwiązania nadal borykają się z problemami związanymi z masą nieresorowaną, wyższą temperaturą silników przy wysokiej prędkości obrotowej oraz z pracą na zakurzonych drogach.

Wdrożenie systemu modułów ECM nastąpi w najbliższych latach w Ameryce Północnej i w Europie. Na rysunku 3 przedstawiono kluczowe ustalenia dotyczące systemu ECM na najbliższe lata.



**Rys. 3. Kluczowe ustalenia dotyczące systemu modułów ECM** (źródło: [4])

W tabeli 1 zestawiono przewidywane etapy prac koniecznych do wykonania w celu pełnego wdrożenia systemu w pojazdach elektrycznych z napędem bezpośrednim w latach 2010÷2025. Pojazdy będą sukcesywnie wyposażane w takie nowości techniczne, jak m.in.: elektryczne wspomaganie hamo-

wania, elektryczne wspomaganie układu kierowniczego, elektryczne wspomaganie zawieszenia z hamowaniem regeneracyjnym.

**TABELA 1**

Etapy technologii wdrażania systemu ECM w Europie w latach 2010-2025 (źródło: [4])

Koncepcja systemu ECM	Typ napędu
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Silnik elektryczny;</li> <li>• System chłodzenia cieczą;</li> <li>• Hamulce hydrauliczne;</li> <li>• Wspomaganie hydrauliczne lub elektryczne układu kierowniczego;</li> <li>• Konwencjonalne zawieszenie</li> </ul>	<p><b>Napęd bezpośredni na tylne koła</b> Konwencjonalne hamowanie, układ kierowniczy i zawieszenie.</p>
	<p>Zastosowanie napędu bezpośredniego w tylnych kołach z tradycyjnymi systemami pomoże w realizacji napędu na cztery koła. Taka kombinacja nie wymaga różnic dla systemów 4WD.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Silnik elektryczny;</li> <li>• System chłodzenia cieczą;</li> <li>• Elektryczne wspomaganie układu hamulcowego;</li> <li>• Wspomaganie hydrauliczne lub elektryczne układu kierowniczego;</li> <li>• Konwencjonalne zawieszenie</li> </ul>	<p><b>Napęd bezpośredni na tylne koła</b> Napęd będzie współpracował z elektrycznym wspomaganie hamowania.</p>
	<p>Zastosowanie napędu w tylnych kołach z elektrycznym wspomaganie hamowania będzie pomocą w opracowaniu hamowania regeneracyjnego i wdrożeniu napędu na cztery koła. Pozwoli to na zwiększenie oszczędności energii.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Silnik elektryczny;</li> <li>• System chłodzenia cieczą;</li> <li>• Elektryczne wspomaganie układu hamulcowego;</li> <li>• Elektryczne wspomaganie układu kierowniczego;</li> <li>• Konwencjonalne zawieszenie</li> </ul>	<p><b>Napęd bezpośredni na tylne koła</b> Napęd będzie współpracował z elektrycznym wspomaganie układu kierowniczego.</p>
	<p>Zastosowanie napędu w tylnych kołach ze współdziałaniem z elektrycznym wspomaganie układu hamulcowego i kierowniczego będzie pomocą do zastosowania elektrycznego hamowania regeneracyjnego, kierownicy bezkontaktowej (bez wału) oraz realizacji napędu na cztery koła.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Silnik elektryczny;</li> <li>• System chłodzenia cieczą;</li> <li>• Elektryczne wspomaganie układu hamulcowego;</li> <li>• Elektryczne wspomaganie układu kierowniczego;</li> <li>• Elektryczne wspomaganie zawieszenia</li> </ul>	<p><b>Napęd bezpośredni na tylne i przednie koła</b> Napęd będzie współpracował z elektrycznym zawieszeniem.</p>
	<p>Zastosowanie napędu z niezależnym sterowaniem napędu czterech kół oraz elektrycznego i regeneracyjnego wspomaganie hamowania, elektrycznego wspomaganie układu kierowniczego, elektrycznego wspomaganie zawieszenia pozwoli na usunięcie takich elementów, jak: skrzynia biegów, mechanizm różnicowy itp.</p>

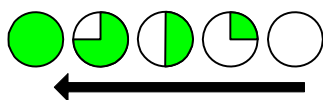
Obecnie stopień zaawansowania prac nad systemem ECM jest bardzo różnorodny u czołowych producentów samochodów. Pomijając producentów japońskich, pozostali wytwórcy określają dość odległe daty wdrożenia systemu, a więc i produkcję elektrycznego pojazdu z napędem bezpośrednim w piastach kół. Główny ciężar projektowania w tych firmach jest w obecnej chwili kładziony na pojazdy z napędem hybrydowym. Będzie to prawdopodobnie kontynuowane przez następnych kilkanaście lat.

W tabeli 2 przedstawiono porównanie stanu zaawansowania prac nad systemem ECM oraz przewidywane jego daty wdrożenia do napędu pojazdów elektrycznych u czołowych producentów pojazdów.

**TABELA 2**

Porównanie stanu zaawansowania prac w koncernach samochodowych nad systemem ECM oraz przewidywany czas wdrożenia do napędu pojazdów elektrycznych (źródło: [4])

Koncerny samochodowe	Zainteresowanie	Prace nad ECM	Masa nieresorowana - główna wada	Data wdrożenia
TOYOTA				2011
HONDA				2010
NISSAN				2012
GENERAL MOTORS				2018
MITSUBISHI				2010
FORD				2020
HYUNDAI				2020
BMW				---
PSA GROUP				2020
RENAULT				2020
DAIMLER BENZ				2018



## 4. PODSUMOWANIE

Umieszczenie silnika w kole pojazdu zwiększa masę nieresorowaną, która ma decydujące znaczenie dla przyspieszenia, hamowania oraz kierowania pojazdem. Zmiany w kierowaniu i obsłudze urządzeń pojazdu przy



zwiększeniu masy nieresorowanej można poprawić poprzez zmodernizowanie zawieszenia.

Na podstawie analizy można stwierdzić, iż najbardziej zalecany jest napęd bezpośredni o niskich prędkościach obrotowych ze względu na mniejszą masę nieresorowaną pojazdu. Niemniej jednak wciąż pozostaje jeszcze wiele problemów do rozwiązania, takich chociażby, jak optymalizacja konstrukcji mechanicznej (redukcja masy i poprawa dynamiki pojazdu).

Moduły sterujące ECM (*Electric Corner Modules*) umieszcza się w kole lub w pobliżu koła. Są one odpowiedzialne za pracę innych elementów, takich jak opony, koła, hamulce, układ kierowniczy, zawieszenie, silnik elektryczny oraz układ chłodzący.

Korzyści z zastosowania modułów ECM obejmują lepszą kontrolę momentu obrotowego, zapewniają więcej miejsca w pojeździe, powodują redukcję masy pojazdu, lepsze przyśpieszenia i większą oszczędność paliwa.

Tacy dostawcy, jak Bridgestone, Michelin, Continental (Siemens VDO) już zaprezentowali koncepcję z zakresie technologii modułów ECM. Jednak pewne rozwiązania nadal borykają się z problemami związanymi z masą nieresorowaną, wyższą temperaturą silników przy wysokiej prędkości, pracą na drogach o wysokim zapyleniu. Oprócz japońskich producentów, takich jak Honda, Toyota i Mitsubishi, żaden z innych producentów samochodów nie wykazał większego zainteresowania w zakresie wprowadzania modułów ECM do pojazdów elektrycznych. Dlatego rynek produkcji i wdrażania modułów ECM będzie zdominowany przez producentów opon i silników, a nie przez koncerny samochodowe.

## LITERATURA

1. Gerling D., Dajaku G., Lange B.: Electric Traction for Automobiles Comparison of Differt Wheel Hub Drives. Proteanelectric, <http://www.proteanelectric.com/wp-content/uploads/-/2011/12/protean-Services2.pdf>, 10.09.2012.
2. Watts A.: CTO Proteanelectric, <http://www.proteanelectric.com/wp-content/uploads/2011/12/SAE-World-Congress-Unsprung-Mass-V6-CH-presented.pdf>, 20.09.2012.
3. Witkowski S.: Masy nieresorowane, <http://www.autokult.pl/2012/11/15>, 21.09.2012.
4. Filippi S., Valsan A.: Strategic Analysis of European Market for Electric Corner Modules – Frost & Sullivan, M2D1-18, September 2008 (Strat\_Anal\_Electric\_Corner\_Modules.pdf), 21.09.2012.
5. Perez S.: Analisis of a light permanent magnet in-wheel motor for an electric vehicle with autonomus corner modules. [https://eeweb01.ee.kth.se/upload/publications/reports/2011/XR-EE-EME\\_2011\\_001.pdf](https://eeweb01.ee.kth.se/upload/publications/reports/2011/XR-EE-EME_2011_001.pdf), XR-EE-EME 2011:001, 31.10.2012.

UNSPRUNG MASS  
AND NEW TECHNOLOGICAL CONCEPTS  
OF DIRECT DRIVES

Jacek DUDZIŃSKI

**ABSTRACT** *The impact of unsprung weight on the safety and equipment's handling in the vehicle is discussed in the article. It is presented the state of advanced works and the degree of control modules implementation intended for basic electric vehicle drivetrains.*

**Keywords:** *electric vehicle, control module, unsprung mass, electrical power, simulation, direct drive*

**Mgr inż. Jacek DUDZIŃSKI** ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w roku 1981. W tym samym roku rozpoczął pracę w Instytucie Elektrotechniki w Międzyzlesiu. Jest współautorem i autorem kilku patentów.

W swojej pracy zawodowej zajmował się m.in.: pomiarami parametrów elektrycznych i mechanicznych maszyn elektrycznych, pomiarami tensometrycznymi, konstrukcją przetworników mechanicznych, pomiarami hałasu i drgań maszyn elektrycznych, metodami przetwarzania i utylizacji sprzętu elektrycznego i elektronicznego, pracami dotyczącymi energii odnawialnej. Jest współautorem prac dotyczących konstrukcji pojazdów elektrycznych oraz silników elektrycznych przeznaczonych do napędu bezpośredniego.

