

## WDROŻENIA PRZEMYSŁOWE MOTTEM PRAC BADAWCZYCH KATEDRY NAPĘDÓW I MASZYN ELEKTRYCZNYCH

Wojciech Jarzyna<sup>1</sup>, Dariusz Zieliński<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Lubelska, Katedra Napędów i Maszyn Elektrycznych, <sup>2</sup>Politechnika Lubelska, doktorant na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono aktualną ofertę badawczo wdrożeniową Katedry Napędów i Maszyn Elektrycznych Politechniki Lubelskiej. Ofertę tą przedstawiono na tle historycznej działalności Katedry kierowanej przez poprzednich kierowników. Podkreślono praktyczny charakter badań. Wyróżniono kierunki prac wdrożeniowych obejmujących m.in. napędy i sterowanie dźwigów osobowych, układy elektromaszynowe zasilane ze źródeł fotowoltaicznych i współpracę elektrowni wiatrowych z siecią elektroenergetyczną. Zaznaczono również aktywny udział pracowników i doktorantów katedry w dostosowywaniu oferty dydaktycznej do potrzeb rynku i kształcenie kadr na studiach podyplomowych.

**Słowa kluczowe:** napędy elektryczne, sterowani, układy PV, kształcenie

### INDUSTRIAL IMPLEMENTATION AS A RESEARCH WORK KEYNOTE OF THE ELECTRICAL DRIVES AND ELECTRICAL MACHINES DEPARTMENT

**Abstract.** The paper presents current offer of the implementation research at Electrical Drives and Electrical Machines Department at Lublin University of Technology. The offer was presented on the background of the historic activity of Department led by former managers. The practical nature of the research was emphasized. Implementation directions including, i.e. drives and passenger lifts control, electromechanical systems powered by renewable solar and wind power cooperation to the grid were distinguished. The active participation of the department employees and PhD students in adapting the educational offer to the market needs, as well as postgraduate staff training were also noticed.

**Keywords:** electric drives, control, PV systems, education

### Historyczne podstawy działalności

Laboratoria obecnej Katedry Napędów i Maszyn Elektrycznych Politechniki Lubelskiej, w swojej ponad pięćdziesięcioletniej historii istniały w różnych strukturach organizacyjnych Politechniki. Początkowo należały one do Zespołu i Pracowni Maszyn i Napędów Elektrycznych, następnie do Zakładu Energetyki Przemysłowej, Zakładu Automatykacji i Elektryfikacji Kopalń, Zakładu Maszyn i Napędów Górniczych aby ostatecznie przyjął obecną nazwę Katedry Napędów i Maszyn Elektrycznych.

Charakterystyczną cechą prac badawczych prowadzonych w tym zespole był ich użytkowy charakter, polegający na rozwiązywaniu rzeczywistych problemów naukowo-technicznych. Jej podstawą była szeroka współpraca z zakładami przemysłowymi Regionu. Pierwszymi liderami zespołu byli między innymi doc. Romuald Krzywicki, mgr inż. Kazimierz Kawiak i doc. dr inż. Wiesław Lasocki (fot. 1, 2, 3).



Fot. 1. Doc. dr inż. R. Krzywicki



Fot. 2. Mgr inż. K. Kawiak



Fot. 3. Doc. dr inż. W. Lasocki



Fot. 4. Doc. dr hab. inż. J. Skwarna

Współpraca z przemysłem, z tego pierwszego okresu istnienia jednostki, obejmowała między innymi badania nad usprawnieniem wózków akumulatorowych produkowanych przez Hutę Stalowa Wola oraz doskonalenie małych napędów elektrycznych AGD dla Fabryki EDA w Poniatowej.

Ważną i rozpoznawalną w kraju specjalnością Zespołu były prace w zakresie maszyn szybkobieżnych, tzw. elektowrzecion szlifierskich opracowywanych głównie we współpracy z Fabryką Łożysk Tocznych w Kraśniku. Pracami tymi kierował doc. dr hab.

inż. Jan Skwarna (fot. 4). Projekty te przyniosły liczne pozytywne efekty o charakterze badawczo-wdrożeniowym.

Postęp technologiczny w zakresie automatycznej regulacji i elektroniki przyczynił się w kolejnych latach do przesunięcia zainteresowań w kierunku zautomatyzowanych energoelektronicznych układów napędowych. Ten zwrot zainteresowań inspirowany był przez ówczesnych kierowników Zakładu, dra inż. Stanisława Tarasiewicza (fot. 5), dra inż. Waldemara Smołucha (fot. 6) i dra inż. Marka Różyckiego (fot. 7).



Fot. 5. Dr inż. St. Tarasiewicz



Fot. 6. Dr inż. W. Smoluch



Fot. 7. Dr inż. M. Różycki



Fot. 8. Prof. A. Horodecki

Poszukując nowych kierunków rozwoju, rozpoczęto prace nad niekonwencjonalnym wykorzystaniem napędów elektrycznych. Pod naukowym kierunkiem prof. dr hab. inż. Andrzeja Horodeckiego (fot. 8) i prof. dr hab. inż. Eugeniusza Kozieja (fot. 9) prowadzono prace, które na wiele lat ukształtowały zainteresowania naukowe Zespołu. Prof. A. Horodecki zainicjował badania w zakresie układów napędowych współpracujących z odnawialnymi źródłami energii oraz zaawansowanych technik wnioskowania wielowartościowego. Wspierał i uczestniczył w badaniach w zakresie współpracy generatorów elektrowni wiatrowych z siecią elektroenergetyczną oraz był jednym z prekursorów stosowania układów fotowoltaicznych w Polsce.

Zespół prof. Eugeniusza Kozieja zajmował się natomiast zagadnieniami projektowania maszyn reluktancyjnych i sterowaniem energooszczędnym silników elektrycznych.

Opracowane w Katedrze metody sterowania maszynami elektrycznymi zasilanymi z generatora fotowoltaicznego należały

do pionierskich badań w Polsce. Tutaj w Zespole broniona była pierwsza praca doktorska autorstwa Marka Niechaja z napędów prądu stałego i przemiennego zasilanych z generatorów PV. Tutaj również opracowano pierwszą monografię z systemów fotowoltaicznych zasilających układy napędowe, na podstawie której prof. Jan Kolano (fot. 10) uzyskał stopień doktora habilitowanego.



Fot. 9. Prof. E. Koziej



Fot. 10. Dr hab. inż. J. Kolano, prof. PL



Fot. 11. Dr hab. inż. W. Jarzyna, prof. PL

Szeroki wachlarz prowadzonych w tym okresie prac badawczych obejmował również systemy diagnostyczne napędów elektrycznych. Korzystając z nowoczesnych technik logiki wielowartościowej i rozmytej formułowano metody oceny techniczno-ekonomicznej napędów elektrycznych. Indywidualny wkład w ten kierunek badań miały prace dotyczące diagnostyki w czasie rzeczywistym napędów elektrycznych. Korzystając z technik obserwatorów odprzegających, Wojciech Jarzyna (fot. 11) opracował oryginalną metodę identyfikacji wybranych uszkodzeń układów elektromaszynowych, która opisana została w jego rozprawie habilitacyjnej.

W problematykę niekonwencjonalnych nowoczesnych wpisują się także badania dr inż. Radosława Machlarza prowadzone w zakresie konstrukcji i sterowania silników reluktancyjnych. Być może stanowią one przyszłość szerokiej grupy układów napędowych.

Praktyczne znaczenie mają również prace nad opracowaniem energooszczędnych metod sterowania maszynami indukcyjnymi. Prowadzi je dr inż. Henryk Banach, a jego rozprawa habilitacyjna dotycząca tego zagadnienia, to ciekawe dzieło naukowe, poparte szerokimi badaniami laboratoryjnymi [1].

Mimo, że działalność naukowo-badawcza pracowników Katedry znacząco różniła się na przestrzeni minionych pięćdziesięciu lat, śmiało można stwierdzić że skierowana ona była głównie na rozwiązywanie problemów praktycznych. Niekiedy proponowane rozwiązania wyprzedzały możliwości realizacji, a innym razem brak było instrumentów do ich praktycznego wprowadzania.

## 1. Warsztat badawczy

Umiejętności pracowników oraz wyposażenie laboratoriów i stanowisk badawczych stanowią podstawę dla efektywnego prowadzenia prac badawczo-wdrożeniowych. Zespół pracowników katedry reprezentuje szeroki zakres wiedzy, znacząco wykraczający poza ramy wykładanych przedmiotów:

- Zautomatyzowane układy napędowe,
- Maszyny elektryczne,
- Energoelektroniczne układy przekształtnikowe,
- Sterowanie i regulacja układów napędowych,
- Automatyka przemysłowa,
- Układy przekształtnikowe i napędowe współpracujące z odnawialnymi źródłami energii,

- Napędy elektryczne pojazdów samochodowych,
- Kształcenie kadry inżynierskiej z zakresu eksploatacji i projektowania systemów automatyki przemysłowej.

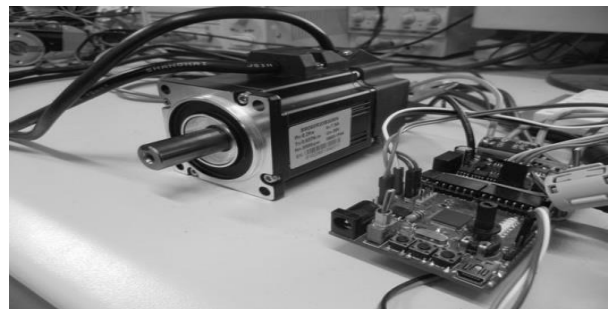
Na rozszerzenie badań naukowych w stosunku do wykładanych przedmiotów wpłynęły realizowane wcześniej liczne projekty badawcze finansowane z KBN. Obecnie realizowane projekty finansowane są z NCBiR, potwierdzając tym samym, że projekty dotyczą problemów zgłaszanych przez środowisko przemysłowe.

Samodzielnie zdobywane fundusze oraz uzyskane projekty aparaturowe sprawiły, że baza laboratoryjna znacząco się rozwinęła. Obecnie na wyposażenie stanowisk badawczych składają się między innymi:

- liczne stanowiska elektromaszynowe i przekształtnikowe,
- wyposażenie do przeprowadzania badań laboratoryjnych,
- specjalistyczne oprzyrządowanie pomiarowe,
- profesjonalny system prototypowania oparty o środowisko sprzętowo-programowe d'Space (fot. 12).

Szczególne znaczenie w rozwiązywaniu nowych, zaawansowanych rozwiązań ma wspomniany system d'Space. Stwarza on możliwość korzystania ze środowiska Matlab Simulink, korzystania z programów symulacyjnych własnych i dostępnych w bazach bibliotecznych.

Wykorzystanie układu d'Space znakomicie przyspiesza proces uruchamiania nowych rozwiązań. Z tego względu, opracowywane obecnie przez pracowników i doktorantów Katedry rozwiązania mogą być wykonywane zdecydowanie szybciej, mogą być szerzej przetestowane i sprawdzone pod kątem różnych zakłóceń, a dalsze możliwości modernizacji umożliwiają wprowadzanie najnowszych rozwiązań technologicznych.



Fot. 12. Stanowisko uruchomieniowe układu napędowego z wykorzystaniem sprzętowo-programowego systemu prototypowania d'Space

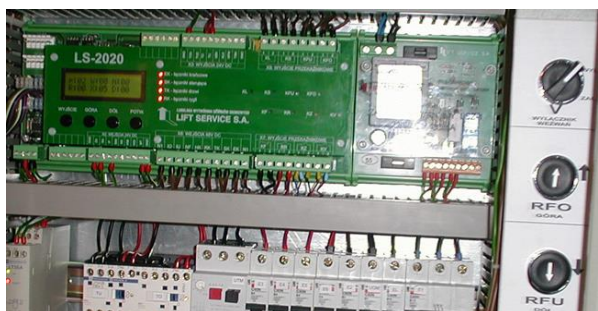
## 2. Wyniki ważniejszych prac badawczo-wdrożeniowych

Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat, prace badawczo-wdrożeniowe realizowane były we współpracy z wieloma przedsiębiorstwami. Początkowo, realizowane one były głównie w ramach ogólnej współpracy z firmami, by następnie zyskać formę badań realizowanych w ramach projektów finansowanych przez KBN a później NCBiR. Wśród ważniejszych wdrożeń są:

- System automatycznej kontroli pacy stanowisk badawczych opartych na rejestratorach TA11. Wdrożenie realizowane w oparciu o umowę z dnia 15.06. 1998 r. Zakończenie projektu 27.06. 2000r.
- Wdrożenie w Lubelskiej Wytwórni Dźwigów Osobowych nowoczesnego systemu mikroprocesorowego sterowania dźwigów nagrodzonego Nagrodą Gospodarczą Wojewody Lubelskiego w 2005r.
- Wdrożenie w firmie SOLNOWA Sp. z o.o. z Dąbrowy Górniczej opatentowanego wynalazku (umowa licenc. nr 1/2009).
- Wdrożenie w firmie AG Metall ITM Sp. z o.o. z Obornik Śląskich opatentowanego wynalazku (umowa licenc. 2/2009).
- Wdrożenie w firmie AG Metall Factory Sp. z o.o. z Obornik Śląskich opatentowanego wynalazku (umowa licenc. 3/2009).

## 2.1. Prace badawczo wdrożeniowe w zakresie sterowników i napędów dźwigowych

Pod koniec lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku, zarysował się nowy kierunek prac badawczych, obejmujących sterowanie układów napędowych dźwigów osobowych. Po realizacji wstępnych prac, z których część miała charakter prac dyplomowych, współpraca z Lubelską Wytwórną Dźwigów Osobowych „Lift Service” rozwinęła się nadzwyczaj intensywnie. Uzyskano wówczas wsparcie ze strony KBN na opracowanie sterownika dźwigów osobowych. Zrealizowany w ramach projektu celowego „Uruchomienie produkcji mikroprocesorowego sterownika przeznaczonego do układów sterowania napędów dźwigów osobowych” sterownik LS2020 (fot. 13) stał się sztandarowym produktem Wytwórni. W uznaniu tych dokonań, zespół pracowników Katedry i LWDO otrzymał w 2005 r. nagrodę gospodarczą I stopnia Wojewody Lubelskiego w kategorii „Wynalazek w dziedzinie produktu lub technologii”.



Fot. 13. Sterownik dźwigów osobowych LS2020 wdrożony do produkcji w 2003r. w LWDO Lift Service

Od tamtej pory wdrożony do produkcji sterownik jest stale udoskonalany i produkowany w ilości kilkuset sztuk rocznie. Jego szczegółowe rozwiązania technologiczne są modernizowane, a funkcje pracy dostosowywane do bieżących wymagań eksploatacyjnych. Pracami tymi kieruje dr inż. Krzysztof Kolano, który jest również autorem kolejnego wdrożenia zrealizowanego ramach projektu INNOTECH, ścieżka Hi-Tech „bezreduktorowego napędu mikroprocesorowego SDK-2 z silnikiem BLDC” (fot. 14).



Fot. 14. Bezreduktorowy napęd drzwi kabinowych z silnikiem BLDC Laureat Międzynarodowych Targów Dźwigowych Kielce 2012

Opracowane rozwiązanie to kolejny znaczący sukces dr K. Kolano i osób z nim współpracujących. Rozwiązanie to dzięki wysokim parametrom pracy oraz rewelacyjnym wskaźnikom efektywności energetycznej nagrodzone zostało w 2012r. medalem Międzynarodowych Targów Dźwigowych w Kielcach.

## 2.2. Prace w zakresie systemów elektrowni fotowoltaicznych i wiatrowych

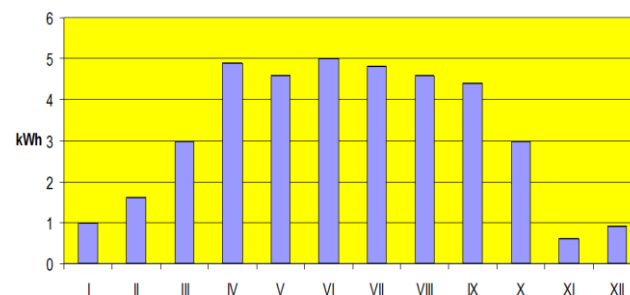
Wspomniane wcześniej prace badawcze w zakresie fotowoltaiki, pod względem praktycznym zaowocowały uzyskaniem kilku patentów. Dotyczyły one głównie sposobu zasilania z ogniw fotowoltaicznych odbiorców o wymagających

charakterystykach prądowo napięciowych. Do odbiorów takich należą w szczególności układy napędowe prądu przemiennego i stałego, które podczas rozruchu wymagają znacznie większych mocy niż podczas pracy ustalonej. Przewymiarowywanie układu generatora fotowoltaicznego jest niecelowe, a zaproponowane procedury i sposób wykonania układów umożliwiają racjonalne wykonanie tego typu urządzeń. Takie rozwiązania są szczególnie korzystne w obecnie rozwijanych prosumenckich systemach energetycznych. Wykaz uzyskanych patentów z tego zakresu przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Wykaz patentów z zakresu niekonwencjonalnych energooszczędnych układów napędowych

Twórca patentu	Tytuł patentu	Numer i data uzyskania
M. Niechaj	Sposób poszukiwania mocy maksymalnej źródła energii	PL 191885 B1 31.07.2006
M. Niechaj	Sposób symulacji pracy generatora fotowoltaicznego	PL 193852 B1 14.05.2007
J. Kolano	Sposób i układ sterowania silnika indukcyjnego zasilanego z generatora fotowoltaicznego	PL 196130 05.11.2007
J. Kolano	Sposób i układ sterowania silnika prądu stałego zasilanego z generatora fotowoltaicznego	PL 197211 06.03.2008
J. Kolano	Sposób i układ maksymalizacji mocy silnika indukcyjnego zasilanego z generatora fotowoltaicznego	PL 196131 5.11.2007
J. Urbański	Sposób i układ obciążenia prądnic prądu stałego z odzyskiem energii	P-390487 Przyznany w 2014

W Katedrze wykonywany jest stały monitoring warunków nasłonecznienia (rys. 1). Od blisko 20 lat działa system pomiarowy i badane warunki efektywności energetycznej układów fotowoltaicznych. Od początku badania te prowadzi dr inż. Marek Niechaj, który specjalizuje się między innymi w szacowaniu opłacalności energetycznej układów fotowoltaicznych.



Rys. 1. Przeciętna dzienna wartość energii możliwej do uzyskania z baterii PV o mocy 1kWp w 2003 z generatora zainstalowanego na dachu wydziału

Opracowane w zakresie układów fotowoltaicznych ekspertyzy dotyczyły szeregu opinii nt. innowacyjności inwestycji, ekonomicznej zasadności wykorzystania energii słonecznej, oszacowania szacunkowych kosztów budowy w Lublinie elektrowni fotowoltaicznej.

Podobny zakres mają wykonane opinie dotyczące elektrowni wiatrowych. Szczególnie ważne są przy tym prace, które dotyczyły oceny istniejących rozwiązań i wydania ekspertyz kłopotliwych dla dostawców, które negatywnie oceniały produkty.

Obecna oferta badawczo-wdrożeniowa Katedry w zakresie elektrowni wiatrowych i fotowoltaicznych obejmuje ponadto dynamiczne przekształtniki energoelektroniczne zapewniające wysoką jakość napięcia i możliwość aktywnego tworzenia inteligentnych sieci smart grid. Obecnie trwają zaawansowane badania nad opracowaniem układów synchronizacji przekształtników z siecią w obecności licznych zakłóceń napięcia w sieci elektroenergetycznej. Istniejący warsztat badawczy i realizacja tych zadań w międzynarodowym zespole badawczym stwarza na przyszłość dobre perspektywy również na praktyczne zastosowanie wyników badań. Kilka wniosków zastrzeżeń patentowych z tego obszaru zgłoszonych zostało w 2014 r. do rzecznika patentowego Politechniki Lubelskiej.



### 3. Kształcenie na studiach I, II i III stopnia oraz na studiach podyplomowych

Chociaż mottem pracy naukowej pracowników Katedry jest rozwiązywanie praktycznych problemów technologicznych, to w pierwszym rzędzie transfer wiedzy ma miejsce na poziomie pracownik naukowo-dydaktyczny – student. W Katedrze niekwestionowanym liderem jest w tym zakresie dr inż. Piotr Filipek, który z wielkim oddaniem pracuje ze studentami w ramach Koła Naukowego. Inspirując studentów zadaniami mającymi charakter innowacyjnych projektów inżynierskich, wzbudza w nich pasję poznawczą, które w sposób znaczący wpływają na kształtowanie zainteresowań i osobowości studentów.

Skonstruowany w Kole Naukowym pojazd elektryczny Elvic to udokumentowanie prac projektowo-badawczych pasjonatów pojazdów z napędem elektrycznym (fot. 15).



Fot. 15. Pojazd elektryczny Elvic 1 przygotowany na zawody Shell Eco Marathon

### 4. Puenta

Badania realizowane w Katedrze Napędów i Maszyn Elektrycznych Politechniki Lubelskiej mają w dużym stopniu praktyczny wymiar. Ich realizacja oparta jest na dobrych relacjach i współpracy z przedsiębiorstwami. Stąd znaczna część realizowanych zadań prowadzi do praktycznych rozwiązań.

Znaczącą wartością jest fakt, że dzięki stabilnej polityce personalnej, Katedra zapewnia długoterminowe wsparcie produkcji i unowocześnianie opracowanych rozwiązań przez cały okres ich produkcji i eksploatacji.

Największe z dotychczas prowadzonych prac badawczo-wdrożeniowych prowadzone były w ramach projektów współfinansowanych przez NCBiR, dawniej KBN oraz przedsiębiorstwa przystępujące do projektów. Dla uczestniczących w projektach przedsiębiorstw środki pozyskane z NCBiR ograniczają ryzyko wdrożeniowe oraz zdecydowanie ograniczają koszty przedsięwzięcia.

Ponieważ do rozwiązywania określonych zadań badawczych angażowani są również studenci i doktoranci, w ten sposób mogą oni zdobywać ważne doświadczenia przygotowujące ich do wejścia na rynek pracy. Z obserwacji losów dyplomantów Katedry można stwierdzić, że są oni niemal rozchwytywani przez pracodawców, znajdując pracę nawet na tak trudnym rynku zatrudnienia jakim jest Lubelskie.

Zdawać by się mogło, że tak różnorodna problematyka rozwijana przez kolejne pokolenia, w zmieniającym się zespole maszyn i napędów, nie wiąże się zbyt mocno. Specjalności naukowe i tematy badawcze zmieniały się bowiem znacząco, jednak zawsze były one ukierunkowane na praktyczne

rozwiązywanie problemów. I w tym kontekście upatrywać można istnienie szczególnej szkoły naukowej, szkoły tworzonej przez wybitnych i oddanych nauce i technice ludzi, których nazwiska wymienione zostały w niniejszym opisie.

Obecny zespół pracowników i doktorantów Katedry przedstawia fot. 16.



Fot. 16. Pracownicy i doktoranci Katedry Napędów i Maszyn Elektrycznych (2014), od lewej u dołu - H. Banach, W. Jarzyna, M. Zielińska, K. Kolano; II rzęd - A. Chmielowski, K. Jaholkowski, A. Kolodziejczyk, J. Kolano, M. Niechaj, J. Urbański, R. Machlarz; III rzęd - P. Filipek, L. Furgala, K. Kowalski, M. Boczek, D. Zieliński, Wang Chong

### Literatura

- [1] Banach H. Minimalizacja strat mocy w indukcyjnych silnikach trójfazowych pracujących ze zmiennym obciążeniem, Politechnika Lubelska, Lublin, 2013.
- [2] Jarzyna W.: Diagnostyka układu napędowego w czasie rzeczywistym. Zeszyt 50. Komitet Elektrotechniki PAN, Seria Wyd. Postępy Napędu Elektrycznego i Energoelektroniki, Lublin, 2003.
- [3] Kolano J.: Systemy fotowoltaiczne zasilające układy napędowe. Zeszyt 47. Komitet Elektrotechniki PAN, Seria Wyd. Postępy Napędu Elektrycznego i Energoelektroniki, Lublin, 2002.
- [4] Kolano K.: Praca układu napędowego drzwi kabinowych z silnikiem synchronicznym przy zasilaniu awaryjnym. Maszyny Elektryczne: Zeszyty Problemowe, nr 1, vol. 98, 2013.
- [5] Machlarz R.: Wybór metody sterowania DTC dla synchronicznego silnika reluktancyjnego. Maszyny Elektryczne: Zeszyty Problemowe, 2013, nr 1, vol. 98.

**Dr hab. inż. Wojciech Jarzyna, prof. PL**  
e-mail: w.jarzyna@pollub.pl

Od 1980 roku pracuje na Politechnice Lubelskiej. Przez cały okres zatrudnienia związany jest Katedrą Napędów i Maszyn Elektrycznych. Od 2012 roku pełni funkcję kierownika Katedry. Główne zainteresowania koncentrują się wokół sterowania układów napędowych i systemów przekształtnikowych, warunków współpracy elektrowni wiatrowych i fotowoltaicznych z siecią elektroenergetyczną.



**Mgr inż. Dariusz Zieliński**  
e-mail: shadow031@gmail.com

Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej (2013). Obecnie uczestnik studiów doktoranckich. Zainteresowania naukowe obejmują energoelektroniczne przekształtniki o wysokich parametrach dynamicznych. Stosowane techniki badawcze to m.in. prototypowanie z wykorzystaniem środowiska d'Space, Matlab-Simulink i szeregu innych narzędzi informatycznych i sprzętowych.



otrzymano/received: 17.05.2014

przyjęto do druku/accepted: 29.05.2014