

Adres: Politechnika Wrocławska, Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych
ul. Smoluchowskiego 19, 50-372 Wrocław, tel. 603950550, e-mail: jan.zawilak@pwr.edu.pl

IMPREZY NAUKOWE

XVI Konferencja Wybrane Zagadnienia Elektrotechniki i Elektroniki



XVI międzynarodowa Konferencja „Wybrane Zagadnienia Elektrotechniki i Elektroniki” odbyła się w dniach 13-15.09.2021 r. w Rzeszowie na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Została zrealizowana w ramach programu pn. „Doskonała Nauka” **ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki na podstawie umowy nr DNK/SP/467128/2020**. Współorganizatorami konferencji

prowadzonej w sposób hybrydowy było Polskie Towarzystwo Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej, Politechnika Lwowska, Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, Technical University of Kosice-Technicka.

Podczas konferencji omawiane były najnowsze osiągnięcia i przyszłe zmiany związane z Przemysłem 4.0, elektromobilnością, odnawialnymi źródłami energii oraz smart elektroniką, indukujące rozwój gospodarki opartej na wiedzy

Z uwagi na fakt, iż jest to prestiżowa impreza naukowa, wzięło w niej udział łącznie ponad 200 przedstawicieli z instytucji krajowych z 13 ośrodków, oraz ponad 40 osób z 16 jednostek zagranicznych oraz studentów i uczniów szkół średnich. W ramach wydarzenia organizowane były również warsztaty naukowe w których udział wzięło 12 przedsiębiorstw (po 3 przedsiębiorstwa w każdym z obszarów tematycznych konferencji) oraz ponad 100 osób (studenci, pracownicy dydaktyczni uczelni, pracownicy przedsiębiorstw działających w branżach związanych z tematyką konferencji).

Celem konferencji, organizowanej przez Wydział Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej, była prezentacja dorobku naukowego, wymiany doświadczeń zawodowych oraz integracja interdyscyplinarnego środowiska naukowego z zakresu wybranych zagadnień Elektrotechniki, Elektroniki oraz Mechatroniki. Wydarzenie było już po raz czwarty organizowane w Rzeszowie. Zgromadziło ono naukową śmietankę inżynierów i naukowców zarówno ze środowiska akademickiego, jak i przemysłowego z całego świata.

Patronat konferencji objęli: prof. dr hab. Piotr Koszelnik, Rektor Politechniki Rzeszowskiej, dr hab. inż. Roman Zajdel, prof. PRz., Dziekan Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej, Polska Akademia Nauk, Polska Sekcja IEEE, SEP wraz z przewodniczącym Oddziału Rzeszowskiego, mgr inż. Bolesławem Pałacem, PTI.

Były to trzy dni bardzo owocnych obrad z udziałem wielu naukowców polskich oraz zagranicznych. Obrady odbyły się w budynkach A oraz B przy ulicy Wincentego Pola w Rzeszowie. Spotkanie w Rzeszowie utrzymało wysoki poziom treści naukowo-technicznej poprzednich Konferencji i służyło jako forum, gdzie naukowcy z całego Świata skupili się na rozwiązaniach ważnych problemów badawczych w czterech obszarach tematycznych konferencji. Pełne wersje artykułów (pozytywnie zrecenzowanych przez członków Komitetu Naukowego) wygłoszone na konferencji będą dostępne na IEEE Xplore. Komitet Naukowy składał się ze 105 naukowców z Polski, Wielkiej Brytanii, Niemiec,

Ukrainy i Słowacji, USA, Czech, Serbii, Bośni i Hercegowiny oraz Chin pod kierownictwem Przewodniczącego Komitetu Elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk, prof. dr hab. inż. Mariana Łukaniszyna. Ważną rolę moderatorów na Konferencji odgrywali przewodniczący poszczególnych Oddziałów PTETiS w liczbie 15. Konferencję wspierało pod względem naukowym dwóch reprezentantów Polskiej Akademii Nauk. Duże poparcie uzyskała Konferencja ze strony reprezentanta Europy w Radzie International Compumag Society, wiceprzewodniczącego PTETiS, członka Komisji do Spraw Stopni i Tytułów, prof. dr hab. inż. Andrzeja Demenko. Zagranicznymi naukowcami bezpośrednio opiekującymi się pod względem naukowym Konferencją byli profesorowie Stefan Kulig z Uniwersytetu w Dortmundzie, prof. Christian Kreischer z Uniwersytetu w Hamburgu oraz prof. Jan Sykulski z Uniwersytetu w Southampton.

Zaszczycili nas swoją obecnością: prorektor ds. Nauki Politechniki Warszawskiej, członek RDN, prezydent IEEE Industrial Electronics Society (IEEE IES), prof. Mariusz Malinowski z Politechniki Warszawskiej oraz Redaktorzy Naczelní czasopism Śląskich Wiadomości Elektrycznych, Pomiarów, Automatyka, Kontrola, Przeglądu Elektrotechnicznego, Wiadomości Elektrycznych, Archiwum Elektrotechniki.

Podczas konferencji było wygłoszonych 7 zaproszonych wykładów (prof. Jacka Kluski - INTELLIGENT CONTROL AND MACHINE LEARNING BASED DIAGNOSTIC SYSTEMS DESIGN z Politechniki Rzeszowskiej, prof. Andrzeja Demenko - EQUIVALENCE OF FINITE DIFFERENCE, FINITE ELEMENT, FINITE INTEGRAL AND NETWORK METHODS IN COMPUTATIONAL ELECTROMAGNETICS z Politechniki Poznańskiej, prof. Lecha Grzesiaka - ELECTRIC POWERTRAIN SYSTEMS, THE EVOLUTION OF TECHNOLOGY z Politechniki Warszawskiej, prof. Jana Sykulskiego- ADVANCES AND TRENDS IN DESIGN OPTIMISATION z Wielkiej Brytanii, prof. Mariusza Malinowskiego - FAULT TOLERANT SMART TRANSFORMER IN DISTRIBUTED ENERGY SYSTEMS - OPPORTUNITIES AND CHALLENGES z Politechniki Warszawskiej, prof. Mariusza Węglarskiego SYNTHESIS OF RFID SENSORS FOR MONITORING PHOTOVOLTAIC MODULES INTEGRATED WITH GLASS PANELS z Politechniki Rzeszowskiej oraz Ihor Shchur - BRUSHLESS DC DRIVE SYSTEM BASED ON DUAL THREE-PHASE FRACTIONAL SLOT AND CONCENTRATED WINDING CONFIGURATION SURFACE PM MOTOR. W trakcie konferencji podczas 3 dniowych obrad odbyły się 24 sesje naukowe.

Przemysł 4.0 – inteligentne systemy sterowania i diagnozowania procesów produkcyjnych i technologicznych, w tym rozwiązania w zakresie predykcyjnego utrzymania ruchu

Istotę IV rewolucji przemysłowej (Przemysł 4.0) stanowią systemy informatyczne wykorzystujące metody sztucznej inteligencji, które umożliwiają sterowanie, optymalizację i realizację procesów produkcyjnych w sposób zautomatyzowany i zrobotyzowany. Systemy produkcyjne działające zgodnie z założeniami Przemysłu 4.0 gromadzą wielkie ilości danych (Big Data), do których przetwarzania konieczne jest wykorzystanie metod sztucznej inteligencji w celu optymalizacji, maszynowego odkrywania wiedzy, sterowania i zarządzania realizacją procesów produkcyjnych.

Doświadczenie Zespołu Badawczego pozyskiwane w wyniku długoletniej współpracy z przemysłem w regionie (np. Dolina Lotnicza), wskazuje, że kluczowym elementem umożliwiającym wdrażanie rozwiązań Przemysłu 4.0 w gospodarce, jest opracowanie inteligentnych, uczących się (ewoluujących) systemów diagnozowania (Condition Monitoring) i nadzorowania zrobotyzowanych i zautomatyzowanych procesów produkcyjnych oraz systemów realizujących założenia predykcyjnego utrzymania ruchu (Predictive Maintenance). W zautomatyzowanych i zrobotyzowanych systemach wytwarzania wyeliminowano bezpośredni udział człowieka w bieżącym nadzorowaniu zasobów produkcyjnych i procesów technologicznych, co często prowadzi do produkcji elementów niezgodnych z wymaganiami jakościowymi (mimo pełnej automatyzacji i robotyzacji procesów) oraz występowania nieprzewidzianych awarii zasobów produkcyjnych. Inteligentne systemy sterowania i nadzorowania wymagają opracowywania nowych platform sprzętowo-programowych umożliwiających ich wdrażanie

w praktyce przemysłowej (w tym zgodnie z koncepcją szybkiego prototypowania) oraz udoskonalania i opracowywania nowych algorytmów sztucznej inteligencji, w tym działających w czasie rzeczywistym. Istotnym czynnikiem w rozwoju Przemysłu 4.0 jest również opracowywanie nowych urządzeń wbudowanych.

Działalność naukowa prowadzona przez Zespół Badawczy w obszarze Przemysłu 4.0

Działalność naukowa prowadzona przez Zespół Badawczy w obszarze Przemysłu 4.0 dotyczy projektowania i konstruowania rozwiązań sprzętowych i programowych umożliwiających sterowanie i zarządzanie procesami produkcyjnymi oraz gromadzenie i zaawansowaną analizę danych wykorzystującą metody sztucznej inteligencji.

Działalność w zakresie Przemysłu 4.0 ma charakter interdyscyplinarny i dotyczy w szczególności:

- konstruowania systemów wbudowanych, w tym z układami FPGA, umożliwiających również realizację algorytmów inteligencji obliczeniowej w czasie rzeczywistym,
- konstruowania platform do szybkiego prototypowania inteligentnych systemów sterowania i diagnozowania procesów technologicznych,
- opracowywania systemów i algorytmów maszynowego odkrywania wiedzy w obszarze realizacji procesów technologicznych i produkcyjnych,
- prowadzenie badań w obszarze konstruowania systemów predykcyjnego utrzymania ruchu (Predictive Maintenance) oraz nadzorowania procesów technologicznych (Condition Monitoring) w czasie rzeczywistym,
- realizacji konsultacji i opracowywania koncepcji dotyczących nowej roli pracowników w systemach Przemysłu 4.0 oraz wyzwań technologicznych i etycznych związanych z IV rewolucją przemysłową i Społeczeństwem 4.0.

Prace badawcze i ich rezultaty uzyskane przez Zespół Badawczy w obszarze Przemysłu 4.0 stanowią podstawę do realizacji działań mających bezpośredni wpływ na otoczenie społeczno-gospodarcze w znaczeniu lokalnym, regionalnym i krajowym:

- działania popularyzujące wiedzę o Przemśle 4.0 i konieczności cyfrowej transformacji społeczeństwa i systemów produkcyjnych polskich firm, która jest kluczowym elementem budowy i utrzymania konkurencyjności polskiej gospodarki,
- umowy o współpracy, prace badawcze, usługowe oraz konsultacje realizowane na zlecenie firm,
- seminaria i spotkania z przedstawicielami otoczenia społeczno-gospodarczego,

W znaczeniu międzynarodowym działania prowadzone przez Zespół Badawczy dotyczą:

- udziału w targach międzynarodowych – USA, Kanada, Australia, Korea,
- udziału w seminariach i spotkaniach z przedstawicielami korporacji (MTU – seminarium dla przedstawicieli zespołu badawczego z MTU Monachium, Borg Warner – seminarium dla 200 przedstawicieli fabryk z 28 krajów),
- spotkań i konsultacji z przedstawicielami uczelni zagranicznych (USA, Kanada, Australia).

Zaprezentowano prace stanowiące efekt badań realizowanych we współpracy z otoczeniem społeczno-gospodarczym. Prace te powstały w ramach jednego z zadań projektu badawczego pt. „[Regionalne Centrum Doskonałości Automatyki i Robotyki, Informatyki, Elektrotechniki, Elektroniki oraz Telekomunikacji Politechniki Rzeszowskiej](#)”, finansowanego przez MNiSW z programu „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” (nr 027/RID/2018/19, całkowita wartość projektu: niecałe 12 mln. zł, okres realizacji: 2019-2022, zadanie KSEiT pn. „Uwarunkowania syntezy układów mikroelektronicznych w aspekcie propagacji sygnałów i zaburzeń elektromagnetycznych”). W przedmiotowych badaniach m. in. wykorzystano aparaturę zakupioną w ramach projektów:

- „EMC-LabNet – Polska Sieć Laboratoriów EMC”, nr POIR.04.02.00-02-A007/16-00, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego z Działania 4.2 Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020;

- *Rozbudowa infrastruktury naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej*, nr POPW.01.03.00-18-012/09, współfinansowanego ze środków UE w ramach PO RPW 2007-2013, Priorytet I, Nowoczesna Gospodarka, Działanie 1.3, Wsparcie Innowacji;
- *Budowa, rozbudowa i modernizacja bazy naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej*, nr UDA-RPPK.01.03.00-18-003/10-00, współfinansowanego ze środków UE w ramach RPO WP 2007-2013.

Połowa referatów była wygłaszana w sposób stacjonarny, pozostała w trybie zdalnym. Należy podkreślić wysoką jakość zdalnych połączeń internetowych praktycznie z terenu całej Europy. W referatach z obszaru elektromobilności omówiono wszystkie najważniejsze typy silników i napędów, w tym konwencjonalne i bezszczotkowe silniki prądu stałego, silniki indukcyjne, silniki synchroniczne wszystkich typów, silniki reluktancyjne i skokowe jak też systemy wysoce dostosowane lub specyficzne dla danego zastosowania, np. cyfrowe dyski twarde. Zwrócono uwagę na napędy z silnikami indukcyjnymi, co odzwierciedla ich dominującą pozycję na rynku pod względem liczebności. Przedstawione systemy elektrowni wiatrowych z generatorami typu PMSM oraz DFIG z obszaru odnawialnych źródeł energii, jak też sposoby ich sterowania. Zwrócono uwagę na projektowanie regulatorów prądu i prędkości silników prądu stałego, które można łatwo zastosować do regulatorów prądu i prędkości silników prądu przemiennego, co umożliwia wysokowydajne sterowania silnikami i generatorami AC. Tematem referatów był też falownik z modulacją szerokości impulsu typu PWM i różne metody jego sterowania dla napędów. Zwrócono uwagę na estymację prędkości i bezczujnikowe sterowanie silników, które jest najnowocześniejszą techniką w dziedzinie sterowania silnikiem. Ważnym tematem były bezszczotkowe silniki prądu stałego BLDC. Referaty przedstawiały ciekawe podejście do zagadnień związanych z oprzyrządowaniem i układami czujnikowymi i systemami oraz z przykładami wykorzystującymi symulacje oparte na PSIM. Referaty przedstawiały modelowanie maszyn elektrycznych za pomocą obwodów zastępczych z przykładami maszyny indukcyjnej podwójnie zasilanej (DFIMs) jak też samowzbudne generatory indukcyjne (SEIGs), maszyny synchroniczne z magnesami trwałymi, które były badane w środowisku programu Simulink w zakresie dotyczącym stanów przejściowych oraz modelowanie jednofazowych transformatorów nieidealnych ze źródłami odkształconymi. Część referatów dotyczyła dziedziny energii odnawialnej, która odgrywa ważną rolę w nowoczesnych technologiach, szczególnie w elektroenergetyce i energoelektronice. W referatach przedstawiono najnowocześniejsze rozwiązania dotyczące wykorzystania energii słonecznej, w tym systemy skoncentrowane i PV oraz techniki uzyskania punktu mocy maksymalnej, jak też związane z nimi aspekty projektowe systemów użytkowych i mieszkaniowych. Przedstawiono najnowocześniejsze rozwiązania systemów turbin wiatrowych, w tym ich generatory elektryczne, układy sterowania, przekształtniki mocy oraz związane z nimi aspekty projektowe i wykonawcze. Część referatów poświęcono tematyce morskiej, hydrokinetycznej i ogniowom paliwowym. Bardzo ciekawa była podjęta tematyka magazynowania energii za pomocą akumulatorów i ultra kondensatorów. Omówiono bardzo aktualne tematy związane z architekturą, sterowaniem, ochroną w zastosowaniu do mikrosieci. Każdy referat zawierał opisy podstawowych i zaawansowanych pojęć, był poparty licznymi ilustracjami i przykładami liczbowymi i praktycznymi. Ważna też była tematyka przedstawiona na Sesji plakatowej.

Uroczystego otwarcia konferencji WZEE dokonał Dziekan Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej, dr hab. inż. Roman Zajdel, prof. PRz, który podkreślił wagę podejmowanej tematyki. Szczegółowe informacje dotyczące programu konferencji, podziału na sesje, autorów i tematów ich wystąpień, sponsorów można znaleźć na stronie:

https://2021.wzee.pl/wp-content/uploads/2021/09/final_program_WZEE2021-9.pdf



Otwarcie Konferencji: Dziekan prof. Roman Zajdel, Przewodniczący PTETiS, prof. Krzysztof Kluszczyński, przewodniczący Oddz. Rzeszowskiego PTETiS prof. Lesław Gołębiowski



Wykład prowadzi prof. Jacek Kluska



Wykład prowadzi prof. Mariusz Malinowski



Wykład prowadzi prof. Ihor Shchur z Politechniki Lwowskiej



Dyskusja w przerwie: prof. Andrzej Demenko, prof. Marek Gołębiowski, obecni prof. Marian Łukaniszyn i prof. Damian Mazur



Dyskutują od lewej prof. Mariusz Węglarski, prof. Piotr Jankowski-Mihułowicz, dr Dariusz Klepacki

Opracował: prof. dr hab. inż. Lesław Gołębiowski

XXVIII Konferencja Naukowo-Techniczna Łukasiewicz-KOMEL Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych

W dniach 22-24.09.2021 r. w Rytrze po raz 29. spotkali się uczestnicy Konferencji Naukowo - Technicznej „**Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych**”, organizowanej przez **Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL** z Katowic. Tegoroczna konferencja PEMINE została po raz trzeci objęta honorowym patronatem **Ministerstwa Rozwoju**

i Technologii. Patronat nad konferencją po raz kolejny objął Komitet Elektrotechniki PAN. Konferencję zorganizowano przy współpracy Stowarzyszenia Elektryków Polskich.

Konferencja PEMINE to jedyna w kraju, bardzo wysoko oceniana przez uczestników konferencja o tematyce maszyn i napędów elektrycznych, mająca charakter aplikacyjny. Oprócz przedstawicieli świata nauki licznie uczestniczą w niej goście z zakładów przemysłowych. Zagadnieniami dominującymi podczas konferencji były m.in.:

- elektromobilność: projektowanie, eksploatacja pojazdów i środków transportu o napędzie elektrycznym,
- projektowanie i nowe serie maszyn elektrycznych,
- silniki z magnesami trwałymi do napędu pojazdów elektrycznych i innych urządzeń transportowych,
- energoelektroniczne układy zasilania i sterowania maszyn elektrycznych,
- modernizacja silników i ich dobór do układów napędowych,
- metody badań, diagnostyka i nowoczesna aparatura badawcza,
- odnawialne źródła energii i transport przyjazny środowisku.

Inaugurując obrady dyrektor Łukasiewicz-KOMEL, prof. Jakub Bernatt omówił program oraz cel konferencji. Kolejno dr inż. Stanisław Gawron zaprezentował najważniejsze osiągnięcia Instytutu w ostatnim okresie oraz plany na przyszłość. W ramach konferencji odbyły się 4 sesje plenarne oraz sesja dialogowa.



Inauguracyjne wystąpienie dyrektora Łukasiewicz-KOMEL, prof. Jakuba Bernatta



Premiera dwóch monografii zasłużonych pracowników Łukasiewicz-KOMEL

Ogółem zaprezentowano 51 referatów: 26 na sesjach plenarnych, pozostałe na sesji dialogowej. Zgodnie z wieloletnią tradycją odrębną sesją była sesja dotycząca **Elektromobilności**, na której prym wiodły zagadnienia związane z projektowaniem, eksploatacją pojazdów i środków transportu o napędzie elektrycznym. W trakcie konferencji premierę miały dwie mono-grafie przygotowane na cześć wieloletnich, zasłużonych pracowników Łukasiewicz-KOMEL - Panów: Macieja Bernatta oraz Tadeusza Glinki. Podczas wystawy pojazdów elektrycznych zaprezentowano pierwszy polski zeroemisyjny autobus elektryczny, do którego napęd zaprojektowano w Łukasiewicz - KOMEL, a także nowe pojazdy elektryczne firm FSO z Kutna oraz Melex.

Referaty prezentowane na konferencji wydane zostały w kwartalniku "Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe". Podczas konferencji 11 firm z branży maszyn i napędów elektrycznych zaprezentowało nowe technologie, wyroby i usługi, zarówno w formie prezentacji reklamowych, jak i na stoiskach firmowych.

Na stoisku Łukasiewicz-KOMEL zaprezentowano szereg nowych, innowacyjnych rozwiązań w zakresie napędów elektrycznych, w tym dedykowanych specjalnie na potrzeby obronności kraju.

W konferencji uczestniczyło blisko 130 osób z 64 firm i instytucji, w tym 7 instytutów reprezentujących Sieć Badawczą Łukasiewicz.

Podczas kolacji biesiadnej w Karczmie nad Potokiem, przy ognisku i grillu goście mieli okazję obejrzeć występ barwnej kapeli regionalnej Górali z Łososiny.

W trakcie bankietu wśród uczestników rozlosowano atrakcyjne nagrody, ufundowane przez Łukasiewicz-KOMEL. Uroczystą kolację uświetnił występ znanego i lubianego aktora i satyryka Cezarego Pazury oraz zespołu Riformacja.

Wszyscy uczestnicy konferencji otrzymali pamiątkowe certyfikaty oraz upominki firmowe.

Patronat medialny nad konferencją objęły redakcje następujących czasopism: Napędy i Sterowanie, ElektroInfo, Śląskie Wiadomości Elektryczne, Elektrosystemy, Wiadomości Elektrotechniczne, Energetyka, Energetyka Wodna, Utrzymanie Ruchu, Industrial Monitor, Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie, Główny Mechanik, a także portale branżowe: robotyka.com, energoelektronika.pl, zrobotyzowany.pl oraz sta-leo.pl.

Na zakończenie dyrektor podziękował uczestnikom za liczne uczestnictwo oraz zaprosił na kolejną, jubileuszową XXX konferencję PEMINE, która odbędzie się we wrześniu 2022 roku.



Pamiątkowe zdjęcie uczestników konferencji

Opracował: mgr Mariusz Czechowicz



Prof. dr hab. Tadeusz Glinka

Sieć Badawcza Łukasiewicz -

Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL

Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe

Streszczenie. Dwa kolejne numery 1/2021 (125) i 2/2021 (126) czasopisma Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe. ISSN 0239-3646, wydał Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL. W wymienionych ME-ZP opublikowano łącznie 50 artykułów, które były prezentowane jako referaty i postery na Konferencji naukowo – technicznej „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych” PEMiNE w Rytrze w dniach 22-24.09.2021r. Problematyka przedstawiona w artykułach to: Elektromobilność, Energooszczędność napędów elektrycznych i transformatorów, Badania i diagnostyka, Technologia, Bezpieczeństwo, Energoelektronika, Obliczenia i Wspomnienia.

1. Wstęp

Łukasiewicz – Instytut Komel wydał dwa kolejne numery 1/2021 (125) i 2/2021 (126) czasopisma Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe. ISSN 0239-3646. W wymienionych Zeszytach opublikowano łącznie 50 artykułów, które były prezentowane w referatach i posterach w czasie Konferencji naukowo – technicznej „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych” PEMiNE w Rytrze w dniach 22-24.09.2021r. Problematykę przedstawioną w artykułach zgrupowałem w tematach: Elektromobilność (15), Energooszczędność napędów elektrycznych i transformatorów (14), Badania i diagnostyka (7), Technologia (5), Bezpieczeństwo (3), Energoelektronika (2), Obliczenia (2) i Wspomnienia (2). W nawiasach podano liczbę artykułów. Poniżej omawiam bardzo krótko ciekawsze, moim zdaniem, artykuły.

2. Elektromobilność.

W kilku artykułach opisano rozwiązania i badania pojazdów elektrycznych. W artykule [Analiza zużycia energii przez autobus elektryczny eksploatowany w ruchu miejskim](#) autorzy: A. Dębowski, P. Stankiewicz, M. Marczak, przedstawili wyniki pomiarów parametrów układu napędowego z silnikiem PMSM autobusu wyprodukowanego w Solcu Kujawskim w czasie jego jazdy miejskich w Czechowicach-Dziedzicach. Określono rzeczywistą efektywność energetyczną autobusu i sprawdzono poprawność

modelu symulacyjnego opisującego zużycie energii przy pokonywaniu tras o różnych profilach pionowych i różnych harmonogramach jazdy. Artykuł *Analiza możliwości odzyskiwania energii przez elektryczny układ napędowy pojazdu do przewozu osób na potrzeby autobusowego transportu zbiorowego komunikacji miejskiej* opracowali: M. Biernacki i P. Majewski. Omówili w nim sposoby odzyskiwania oraz magazynowania energii hamowania pojazdu przeznaczonego do zbiorowego transportu pasażerskiego na terenach miejskich. Badano układ napędowy zasilany z jednego i z dwóch magazynów energii w wariantach przejazdu trasą testową. Przeanalizowali wybrane warunki opłacalności odzyskiwania energii. Nowy pojazd dostawczy N. Truck firmy Melex - od pomysłu do realizacji zaprezentowali: A. Barszcz, M. Chłosta i M. Szlęzak. Przedstawili wybrane zagadnienia związane z nową konstrukcją pojazdu MELEX opracowanego w ramach programu INNOMOTO finansowanego przez NCBiR. W artykule *Założenia projektu elektrycznego zespołu napędowego do pojazdów użytkowych* autorzy: B. Będkowski, Ł. Cyganik, P. Dukalski, T. Jarek, przedstawili koncepcję silników elektrycznych zabudowanych w kołach. Projekt finansuje NCBiR w ramach programu LIDER XI. *Elektryczna lokomotywa akumulatorowa "Electra" ze zmiennym rozstawem kół* to artykuł panów: P. Laseka, R. Setlaka, W. Zieleźnego i S. Kupczaka. Przedstawiono w nim model symulacyjny elektrycznej lokomotywy górniczej i wyniki badań symulacyjnych układu napędowego w różnych stanach pracy w prostym cyklu jezdnym.

Tematyka hamowania odzyskowego pojazdów elektrycznych jest istotna z punktu bezpieczeństwa i ekonomiki jazdy. Artykuł *Analiza wpływu charakterystyki hamowania odzyskowego na komfort jazdy, zużycie energii oraz zasięg pojazdu elektrycznego na podstawie testów WLTC* został opracowany przez autorów: D. Skórzaka i W. Gawrona. Zdefiniowano w nim charakterystykę rekuperacji energii hamowania, która uwzględnia zwiększenie zasięgu pojazdu i utrzymanie możliwie wysokiego komfortu jazdy. Kolejny artykuł *Analiza wpływu awaryjnego hamowania samochodu na temperaturę wirnika silnika elektrycznego przeznaczonego do zabudowy w kole* jest autorów: B. Będkowski, P. Dukalski, J. Madej. Przedstawiono w nim badania symulacyjne temperatury wirnika silnika pojazdu poruszającego się z prędkością 100 km/h przy nagłym wyhamowaniu do 0 km/h.

Ekologiczne stacje ładowania pojazdów to ważny problem w upowszechnianiu pojazdów elektrycznych. *Stacja szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych* zaproponowana przez autorów: J. Bernatt, S. Gawron, T. Glinka, A. Polak, zawiera magazyn energii, baterie fotowoltaiczne i małe elektrownie wiatrowe. Zasilanie stacji z sieci elektroenergetycznej jest zasilaniem dodatkowym. Ładowanie akumulatorów w pojeździe elektrycznym może odbywać się dużą mocą nie obciążając tą mocą sieci elektroenergetycznej. *Dwustopniowy przekształtnik AC/DC z wysokoczęstotliwościowym transformatorem separującym dedykowany do szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych* autorów: J. Załęski, S. Piasecki, K. Stępień, przedstawia aplikację przemysłową stacji ładowania pojazdów elektrycznych. W artykule *Eksperymentalne porównanie modułów ładowania pojazdów elektrycznych wykonanych w technologii krzemowej i węglaka krzemu* autorzy: S. Piasecki, J. Załęski, M. Jasiński, prezentują eksperymentalne porównanie sprawności ładowarek o mocy 50 kW wykonanych z modułów IGBT i SiC. W artykule *Układy szybkiego ładowania baterii akumulatorów w systemach fotowoltaicznych* J. Bakalarczyk prezentuje konstrukcję ładowarki opartej na układzie regulatora dwustawnego pracującego w trybie regulacji prądu obciążenia. *Rola kabli i przewodów w obecnym standardzie systemu ładowania pojazdów elektrycznych* jest omawiana przez panów: M. Trajdos, A. J. Moradewicz. Oryginalna jest koncepcja chłodzenia wodą połączeń kabli i przewodów.

Magazyny energii determinują zasilanie i zasięg pojazdów elektrycznych. *Inteligentny hybrydowy magazyn energii z przekształtnikami energoelektronicznymi wykorzystującymi wysokonapięciowe, niskoindukcyjne moduły mocy sic MOSFET* jest autorów: W. Kobos, R. Sobieski. W artykule zdefiniowano kryteria optymalnego doboru pojemności energetycznej superkondensatorów, baterii Li-ion oraz mocy baterii fotowoltaicznej i elektrowni wiatrowej. W artykule *Następna generacja baterii trakcyjnych o zwiększonej gęstości energii* autorzy M. Kwiatkowski, B. Kras, przedstawiają nową generację modułu baterijnego o bardzo wysokiej gęstości energii.

3. Energooszczędność napędów elektrycznych i transformatorów

Układy napędowe zużywają znaczną część wytwarzanej energii elektrycznej, lecz także rozpraszają energię w formie ciepła. W artykule *Energooszczędny układ napędowy*, autorzy: J. Bernatt, T. Glinka, A. Polak, porównują sprawność energetyczną trzech układów napędowych o mocy 630 kW napędzających maszynę roboczą z prędkością obrotową $n = 187,5$ obr/min. Wykazano, że sprawność silnika synchronicznego, o liczbie par biegunów $p = 2$, plus przekładnia mechaniczna o przełożeniu $i = 8$, jest największa. W artykule *Analiza korzyści i stosowanie pięciofazowego silnika indukcyjnego* autor J. Kańuch z UT w Koszycach wskazuje, że zasilanie silników z falowników umożliwia stosowanie dowolnej liczby faz. Przedstawia właściwości i zalety pięciofazowych silników indukcyjnych zasilanych z falowników. D. Świerczyński, i W. Książek w artykule *Napęd sześciofazowy z silnikiem PMSM dla pojazdów hybrydowych* przedstawili budowę i badania symulacyjne układu napędowego składającego się z silnika PMSM o mocy 200 kW zasilanego z przekształtnika wykonanego w technologii IGBT. Układ sterowania bazuje na metodzie wektorowej z podwójną transformacją Parka. Modele symulacyjne są w programie PSIM. W artykule *Silniki PMSM do zastosowań trakcyjnych - właściwości układu zasilania ograniczające parametry silnika* autorzy E. Król, i T. Wolnik wskazują, że akumulator i falownik ograniczają moment silnika PMSM i w konsekwencji wpływają na kształtowanie charakterystyki mechanicznej napędu. W artykule *Napęd elektryczny eKIT - kształtowanie charakterystyk elektromechanicznych wybranymi zabiegami konstrukcyjnymi* R. Rossa, na bazie układu napędowego pojazdu o masie do 3.5 t, przedstawia warianty konstrukcyjne silnika PMSM, które korzystnie zmieniają charakterystyki elektromechaniczne napędu.

Prądnice wzbudzane magnesami trwałymi mają stały strumień wzbudzenia i nie ma możliwości regulacji wzbudzenia poprzez zmianę strumienia. Autorzy: J. Bernatt, S. Gawron, T. Glinka w artykule, *Prądnica wzbudzana magnesami trwałymi z przełącznikiem zaczepów*, proponują regulację napięcia prądnicy przełącznikami zaczepów identycznie jak w transformatorach. Rozpatrują przełączania zaczepów na postoju prądnicy i w czasie pracy prądnicy oraz połączenie prądnicy z transformatorem i regulację napięcia na zaczepach uzwojeniu transformatora.

Energia elektryczna ze źródła do odbiorcy jest kilka razy transformowana. Transformatory energetyczne pracują ciągle bez względu jaką mocą są obciążane. Dlatego nawet przy niewielkich procentowo stratach mocy ilość traconej energii w transformatorze może być znaczna. *Straty mocy i sprawność transformatorów* porównuje T. Glinka. W obecnie produkowanych transformatorach straty jałowe są około trzy razy mniejsze od strat jałowych w transformatorach z lat 60. XX w. Od 01 lipca 2021 r. Komisja Unii Europejskiej i Normy Europejskie ustaliły dalsze obniżenie strat mocy i zwiększenie sprawności w instalowanych transformatorach. W artykule *Kryteria wymiany transformatora na transformator nowy* U. Kałużna, na przykładzie dwóch transformatorów olejowych grupy III, przedstawiła kryteria determinujące wymianę transformatorów na nowe, są to degradacja izolacji i straty mocy. W artykule, *Elementy indukcyjne i transformatory chłodzone wodą*, autorzy M. Łukiewski, A. Łukiewska, przedstawili wyniki symulacji pracy transformatora przy częstotliwości 10 kHz i dławika przy częstotliwości 25 kHz.

4. Badania i diagnostyka

Badanie drgań maszyn elektrycznych. J. Bernatt, T. Glinka, A. Polak na przykładzie, silnika indukcyjnego 2500 kW i silnika synchronicznego 13750 kW, przedstawili wpływ niesymetrii osiowej obwodu magnetycznego silników na prędkość drgań osiowych. W artykule *Możliwość wykorzystania SEM maszyny ze wzbudzeniem od magnesów trwałych do diagnostyki wibracyjnej* M. Barański opisuje wyniki testów przeprowadzonych na stole wibracyjnym obejmujące przebiegi czasowe i analizę częstotliwości prędkości drgań i napięć indukowanych w uzwojeniu maszyny będącej w spoczynku i wirującej. Identyfikuje częstotliwości odpowiadające konkretnym stanom niepożądanym w maszynie. J. Dziura w artykule *Właściwe zabezpieczanie dławików kompensacyjnych kluczem do ich niezawodnej eksploatacji* podaje wytyczne do poprawnego zabezpieczania i wskazuje, że niewłaściwe ich zabezpieczanie może prowadzić do ich zniszczenia. *Stanowisko do badania elementów magnetycznych podwyższonej*

częstotliwości prezentują T. Biskup, H. Kołodziej, M. Lorenc, D. Paluszczak, M. Haltof, J. Sontowski Stanowisko umożliwia regulację wartości skutecznej i częstotliwości napięcia wyjściowego w zakresie do 20 kHz i amplitudzie prądu wyjściowego do 200 A. Artykuł *Układ i program do badania charakterystyki magnetycznej i stratności blach (SST-H)*, autorów: T. Lerch, M. Rad, W. Rams, opisuje algorytm kształtowania przebiegu napięcia probierczego według kryterium sinusoidalnego napięcie indukowane w cewce pomiarowej. Poprawne działanie układu potwierdzono wynikami pomiarów. J. Zielonka, M. Sułowicz, M. Czechowski są autorami artykułu *System zbierania danych z czujników zabudowanych w smartfonach na potrzebę monitorowania wybranych parametrów pojazdów z napędem elektrycznym* w którym prezentują zapisane parametry pracy silników indukcyjnych klatkowych napędzających tramwaj. Zebrane dane z karty pomiarowej i czujników smartfonu są wykorzystywane w diagnostyce. W artykule *Skuteczne algorytmy diagnostyki stanu klatki silników indukcyjnych zaimplementowane w nowoczesnym uniwersalnym zabezpieczeniu cyfrowym* A. Duda, M. Sułowicz, J. Tulicki, T. Węgiel, M. Iwiński, przedstawili, dla silnika małej mocy, wskaźniki diagnostyczne determinowane przez różne uszkodzenia wirnika i wyniki testów wykonanych na silniku dużej mocy. Wykazano, że algorytm działa poprawnie i pozwala na skuteczną ocenę stanu klatki silników indukcyjnych.

5. Bezpieczeństwo

W artykule *Bateria trakcyjna z podwyższonym poziomem ochrony przeciwporażeniowej* autorzy: E. Król, M. Maciążek, T. Glinka, proponują podzielenie baterii na moduły połączone stycznikami i zabezpieczone czujnikiem uderzeniowym. W przypadku kolizji drogowej pojazdu i zadziałania czujnika styczniki rozłączają moduły baterii. Autorki B. Wiśniewski, K. Śledzińska przedstawiły *Struktury włókiennicze chroniące przed działaniem pola elektromagnetycznego (PEM)*. Materiały są pokryte powłokami metalowymi: Cu/Sn, Cu/Zn/Ni, Ni/Cr Ni/Cu/Fe, a materiały dziane są posrebrzane. Materiały te tłumią pole elektromagnetyczne w zakresie częstotliwości od kilkunastu MHz do 18 GHz. Artykuł *Nowoczesne, dostępne metody fizyczne wykorzystywane w leczeniu owrzodzeń podudzi - przegląd literaturowy* autorów: D. Dziadek, D. Sieroń, prezentuje nowoczesne metody terapii medycznej: światłoterapię, magnetoterapię, tlenoterapię, ozonoterapię i ocena ich skuteczności.

6. Obliczenia

W artykule *Analizy i numeryczne obliczanie wartości naprężeń w szybkoobrotowych wirnikach z magnesami trwałymi typu SPM* S. Opach zajmuje się cienkościennymi pierścieniami zabezpieczającymi magnesy trwałe zabudowane na wirnikach. P. Dukalski, B. Będkowski, R. Krok, w artykule *Obliczenia cieplne silnika elektrycznego do zabudowy w piaście koła samochodu* przedstawili modele sprzężone obliczania obwodów: elektrycznego, magnetycznego i cieplnego w dwóch strefach pracy silnika, przy stałym momencie i stałej mocy.

7. Energoelektronika

W artykule *Symulacja w czasie rzeczywistym dwóch falowników w konfiguracji master-follower wykorzystujących szybką synchronizację momentu i prędkości silnika* autorzy: W. Jurczak, A. Watoła i J. Fievet, przedstawili tester układu sterowania i kontroli współbieżnych lub synchronicznych układów napędowych wykorzystujących dwa przemienniki częstotliwości. T. Biskup, H. Kołodziej, D. Paluszczak, J. Sontowski i J. Michalak w artykule *Analiza możliwości zastosowania materiałów nanokrystalicznych w energoelektronice* wskazują dwa obszary ich zastosowania: w filtrach LCL i w transformatorach o podwyższonej częstotliwości, gdzie umożliwiają korzystnie kształtowanie przebiegów prądu.

8. Technologia

W artykule *Konstrukcja przyrządu do klejenia magnesów na wirniku*, Ł. Cyganik, przedstawia przyrząd pozycjonowania magnesów podczas klejenia z wysoką powtarzalność parametrów klejenia. J. Pytel w artykule *Zespół uszczelniający wał maszyny* - przedstawia propozycję uszczelnienia wału przed pyłem i wodą. Uszczelnienie dedykowane jest do pomp zatapianych i maszyn pracujących środowiskach o dużym zapyleniu, a także iskroszczelnych. *Koncepcja Przemysłu 4.0 dla małoseryjnej produkcji samochodów elektrycznych* jest prezentowana przez panów: T. Mirosław i M. Mirosław. Projekt „Rozwój polskiej

elektromobilności” realizuje Konsorcjum międzynarodowe w ramach projektu AVANGARD, a celem jest budowa Sieci małych firm produkujących samochody elektryczne. Przedstawiono założenia i realizację projektu z przewidywanymi korzyściami dla polskich firm. Artykuł J. Mikosia *Przegląd technologii druku 3D jako produkcji dodatkowej (przyrostowa) do wykonywania prototypów małych maszyn elektrycznych* jest przeglądowy. Technologia druku 3D przyspiesza etap wykonywania prototypów projektowanych maszyn elektrycznych i umożliwia szybszą weryfikację ich parametrów z obliczeniami. *Cyberbezpieczeństwo maszyn w przemyśle 4.0* przedstawia M. Dźwiarek. Obecnie problem ochrony danych w komputerowych systemach sterowania maszynami nie jest uwzględniany przez projektantów ze względu na brak przystępnej metodyki oceny ryzyka. W artykule omówione główne zagadnienia, które należy wziąć pod uwagę przy ocenie ryzyka cyber atakiem dotyczącego pracy maszyn.

9. Wspomnienie

Wspomnienie o *Bronisławie Drak - dr hab. inż., prof. Politechniki Śląskiej* napisał T. Glinka. W PEMiNE profesor B. Drak uczestniczył regularnie do roku 2017 i przedstawił 29 referatów jako autor i współautor, wszystkie są opublikowane w ME- ZP. Zabierał głos w dyskusji i był osobą znaną wśród uczestników konferencji. Autorzy: J. Hickiewicz, P. Rataj, P. Sadowski są autorami artykułu historycznego *Początki przemysłu maszyn elektrycznych w Polsce do 1939 roku w 100-lecie powstania fabryki w Żychlinie*. Przedstawili początki tego przemysłu na terenie zaborów byłej Rzeczypospolitej Obojga Narodów do 1918 r. i rozwój w II Rzeczypospolitej Polskiej do 1939 r.. Wymienili fabryki wytwarzające maszyny elektryczne i transformatory, a uwagę skupili na największej z nich - fabryce w Żychlinie założonej w 1921 r.

SEMINARIUM NAUKOWE SEKCJI

MASZYN ELEKTRYCZNYCH I TRANSFORMATORÓW KE PAN

Seminarium odbyło się 23 czerwca 2021 r.

Maszyny elektryczne wzbudzone hybrydowo; analiza numeryczna i weryfikacja eksperymentalna

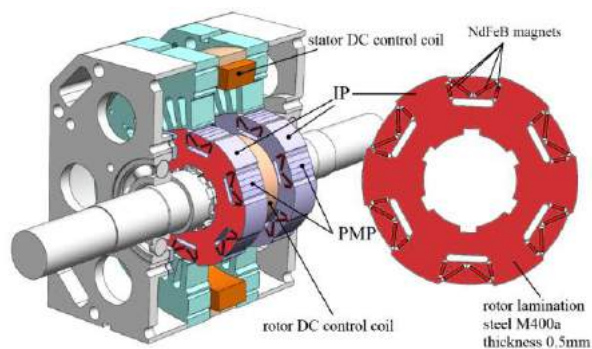
Prelegent: dr hab. inż. Marcin Wardach prof. Zach. Uniw. Techn.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny

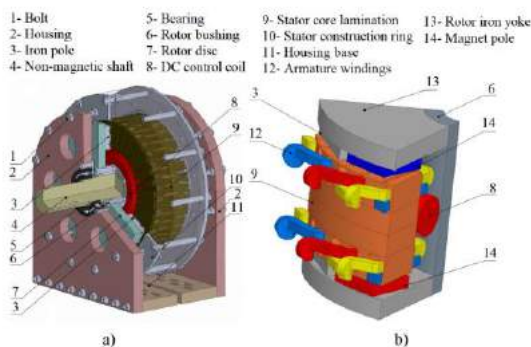
Podczas seminarium zaprezentowano wyniki badań prowadzonych w Katedrze Maszyn i Napędów Elektrycznych Wydziału Elektrycznego ZUT w zakresie rozwiązań i koncepcji dotyczących maszyn wzbudzanych hybrydowo. Prezentujący przedstawił kilkanaście najciekawszych rozwiązań konstrukcyjnych tego typu maszyn, jakie można znaleźć w literaturze. Wiele z prezentowanych rozwiązań posiada dobre właściwości regulacyjne, ale ich skomplikowana struktura eliminuje lub mocno utrudnia ich praktyczne zastosowanie. Na tym tle prelegent zaprezentował cztery rodzaje maszyn, które są przedmiotem badań symulacyjnych i eksperymentalnych w ośrodku szczecińskim, bowiem w Katedrze Maszyn i Napędów Elektrycznych WE ZUT prowadzone są prace nad poniższymi rodzajami maszyn posiadających wzbudzenie hybrydowe:

1. maszyna synchroniczna cylindryczna z magnesami trwałymi i dodatkowym obwodem wzbudzenia,
2. maszyna synchroniczna tarczowa z magnesami trwałymi i dodatkowym obwodem wzbudzenia,
3. maszyna kłowa o wzbudzeniu hybrydowym,
4. maszyna cylindryczna reluktancyjna z magnesami trwałymi i dodatkowym obwodem wzbudzenia.

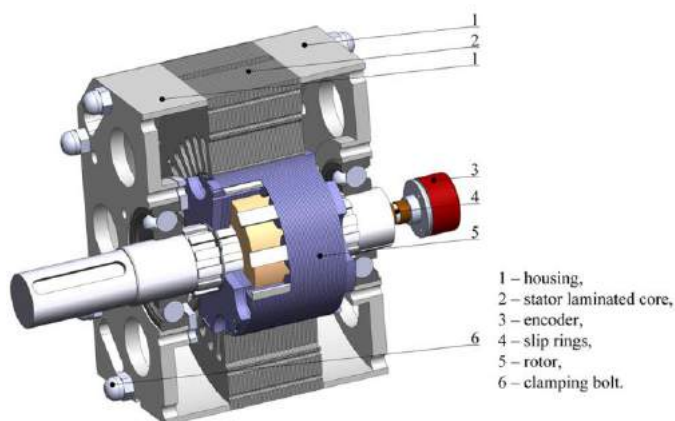
Podczas prezentacji przedstawione zostały wyniki badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych, które w wysokim stopniu były ze sobą zbieżne. Maszyny wzbudzone hybrydowo są na tyle ciekawymi i jednocześnie skomplikowanymi elektromechanicznymi przetwornikami energii, że wydaje się, iż będą one obiektem inspiracji i badań naukowych dla wielu pracowników nauki jeszcze przez wiele lat.



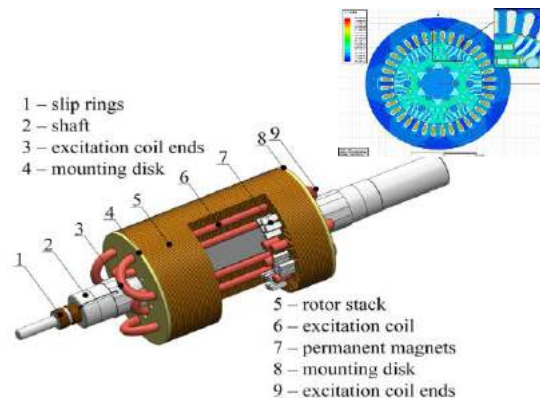
Maszyna synchroniczna cylindryczna z magnesami trwałymi i dodatkowym obwodem wzbudzenia



Maszyna synchroniczna tarczowa z magnesami trwałymi i dodatkowym obwodem wzbudzenia.



Maszyna kłowa o wzbudzeniu hybrydowym



Maszyna cylindryczna reluktancyjna z magnesami trwałymi i dodatkowym obwodem wzbudzenia.

Wywiad z profesorem Bolesławem Zaporowskim

dla czasopisma ACADEMIA Energetyka

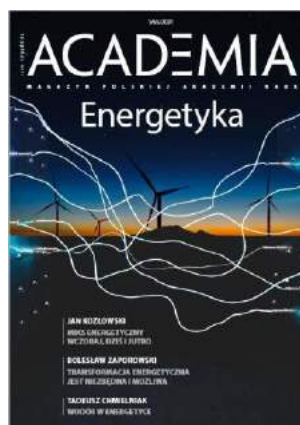
Transformacja jest możliwa i niezbędna

Lead: Czy neutralność klimatyczna jest celem osiągalnym dla Polski? Co oznacza i z czym wiąże się to cywilizacyjne wyzwanie?

Jaka była bezpośrednia przyczyna zwrócenia uwagi na to, że wysoka konsumpcja paliw kopalnych stanowi zagrożenie dla ludzkości?

Bolesław Zaporowski: Po drugiej wojnie światowej, a szczególnie po 1950 roku, w większości krajów świata nastąpiło bardzo duże przyspieszenie rozwoju gospodarczego. Było ono spowodowane naturalnym dążeniem do nadrobienia strat poniesionych w czasie wojny, a także

wcześniejszych, z czasu wielkiego kryzysu gospodarczego lat 1929–1933. Wiązało się to z dużym wzrostem zużycia naturalnych źródeł energii (energii pierwotnej), szczególnie paliw kopalnych, takich jak węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny. W wyniku ich spalania nastąpił bardzo szybki wzrost emisji CO₂ do atmosfery. Z poziomu około 6 mld ton CO₂ w 1950 roku wzrósł on do około 43 mld ton CO₂ w 2019 roku. W konsekwencji została zakłócona równowaga między emisją a pochłanianiem CO₂ w ekosystemie i wzrost koncentracji CO₂ w atmosferze z poziomu 315 ppm (parts per milion – liczby cząstek na milion) w 1950 roku do poziomu 415 ppm w 2019 roku. W 1900 roku, uznawanym za początek okresu produkcji i użytkowania w szerokim zakresie energii elektrycznej, emisja CO₂ do atmosfery wynosiła około 2 mld ton CO₂, a koncentracja CO₂ w atmosferze około 288 ppm.



50 Rozmowa

TRANSFORMACJA ENERGETYCZNA JEST NIEZBĘDNA I MOŻLIWA

| Bolesław Zaporowski

Czy neutralność klimatyczna jest celem osiągalnym dla Polski?

Na początku proces wzrostu koncentracji CO₂ w atmosferze i jego wpływu na klimat toczył się niepostrzeżenie. Dopiero w 1988 roku Światowa Organizacja Meteorologiczna (World Meteorological Organization, WMO) i Organizacja Narodów Zjednoczonych (ONZ) powołały Międzyrządowy Zespół ds. Zmiany Klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), który miał bliżej rozpoznać ten problem.

Na 14. Światowej Konferencji Energetycznej (World Energy Congress) w Montrealu (1989), która odbyła się pod hasłem „Energy for Tomorrow”, przyjęto zasadę, że kierunki rozwoju energetyki powinny być rozważane w trzech aspektach: efektywności energetycznej, wpływu na środowisko i efektywności ekonomicznej. W skrócie nazwano je „trzy E” (efficiency, ecology, economy). Istotną zmianą było dodanie nowych aspektów do najważniejszej dotychczas efektywności energetycznej.

Na podstawie raportu IPCC, Zgromadzenie Ogólne ONZ w 1990 roku przyjęło rezolucję w sprawie rozpoczęcia procesu międzynarodowych negocjacji w sprawie przeciwdziałania zmianom klimatu. 9 maja 1992 roku w siedzibie ONZ w Nowym Jorku międzynarodowy zespół specjalistów z 35 państw, w tym z Polski, zakończył prace nad Ramową Konwencją Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmiany Klimatu (United Nations Framework Convention on Climate Change), która została wyłożona do podpisu 4 czerwca 1992 roku na konferencji ONZ „Środowisko i Rozwój” w Rio de Janeiro. Ze strony polskiej konwencję podpisał 21 marca 1994 roku minister spraw zagranicznych Andrzej Olechowski, a ratyfikował 16 czerwca 1994 roku prezydent Lech Wałęsa. Konwencja weszła w życie 24 października 1994 roku i jest zobowiązującym międzynarodowym aktem prawnym (Dz.U. z 1996 r. nr 53, poz. 238). Zaczyna się od słów: „Uznając, że zmiany klimatu Ziemi i ich negatywne skutki są wspólnym problemem ludzkości...”, co świadczy o zrozumieniu znaczenia tego problemu przez światowych przywódców.

Najwyższym organem Konwencji są coroczne konferencje Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmiany Klimatu (Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change). Przedmiotem obrad rządów w czasie cyklicznych spotkań jest treść dokumentów określających wdrażanie przez państwa zobowiązań wynikających z Konwencji. Jej nadrzędnym celem jest ustabilizowanie koncentracji CO₂ w atmosferze na bezpiecznym poziomie. Dotychczas odbyło się 25 takich konferencji, począwszy od 1995 roku do 2019 roku. W 2020 roku z powodu pandemii spotkanie odwołano. Na przełomie listopada i grudnia 2021 roku przedstawiciele rządów mają się zebrać po raz 26 w Glasgow. W Polsce odbyły się trzy konferencje Stron Ramowej Konwencji ONZ poświęcone zmianom klimatycznym: 13. w 2008 roku w Poznaniu, 19. w 2013 roku w Warszawie i 24. W 2018 roku w Katowicach. Najważniejsze decyzje zostały podjęte na 3. Konferencji w Kioto (1997), na której przyjęto tzw. Protokół z Kioto, i na 21. Konferencji w Paryżu (2015), na której osiągnięto tzw. Porozumienie paryskie (Paris Agreement).

Protokół z Kioto zobowiązywał kraje, które go ratyfikowały, do redukcji emisji gazów cieplarnianych w okresie 2008–2012 poniżej bazowego poziomu emisji. Dla większości państw bazowym poziomem była emisja w 1990 roku, a dla Polski w 1988 roku. Polska była zobowiązana do redukcji emisji o 6 proc. poniżej tego poziomu. Protokół z Kioto wszedł w życie 16 lutego 2005 roku. Do końca 2005 roku dokument ratyfikowało 157 krajów, które tym samym stały się jego stronami. Protokół z Kioto był pierwszym krokiem do właściwych negocjacji międzynarodowych w sprawie zmian klimatu, na których rezultat świat musiał czekać aż do 2015 roku, do 21. Konferencji Stron Ramowej Konwencji ONZ w Paryżu. To właśnie wtedy zawarto pierwsze w historii powszechne, prawnie wiążące porozumienie klimatyczne, które może uchronić świat przed skutkami zmian klimatu. Jego realizacja ma zatrzymać średni wzrost temperatury na Ziemi poniżej 2 st. C w porównaniu z temperaturą naszego globu w okresie przedprzemysłowym. Są jednak podejmowane wysiłki, aby ten wzrost nie był większy niż 1,5 st. C. W Europie prace dotyczące obserwacji, zbierania danych i analiz w dziedzinie zmian klimatu są prowadzone m.in. w ramach zarządzanego przez Unię Europejską programu Copernicus przez europejską służbę monitorowania zmiany klimatu (Copernicus Climate Change Service, C3S). Wyniki tych prac są wykorzystywane m.in. przez Europejskie Centrum Średnioterminowych Prognoz Pogody (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF). Copernicus Climate Change Service przekazała informację, że 2020 rok (obok 2016) był najcieplejszym rokiem w historii pomiarów, a średnia temperatura na Ziemi była w tym roku już wyższa o 1,25 st. C w porównaniu z temperaturą okresu przedprzemysłowego.

Porozumienie paryskie zostało przyjęte przez 189 krajów przez aklamację w ostatnim dniu Konferencji w Paryżu, 12 grudnia 2015 roku. Polska podpisała je w siedzibie ONZ w Nowym Jorku 27 kwietnia 2016 roku, a Sejm przyjął ustawę o jego ratyfikacji 6 października w tym samym roku. Porozumienie weszło w życie 4 listopada 2016 roku, po jego ratyfikacji przez 55 krajów mających udział ponad

55 proc. W globalnej emisji CO₂. Przed 21. Konferencją Stron Ramowej Konwencji ONZ kraje przedkładały plany redukcji emisji CO₂ w różnej wysokości. Na kolejnych konferencjach doszło jednak do ich ujednolicenia w postaci zobowiązania uzyskania neutralności klimatycznej, to znaczy stanu, w którym wystąpi równowaga emisji i pochłaniania CO₂. Większość krajów, w tym państwa członkowskie Unii Europejskiej, zamierza uzyskać ten stan do 2050 roku. W skali świata oznacza to zmniejszenie emisji CO₂ z obecnego poziomu około 43 mld ton CO₂ do około 4,5 mld ton CO₂ w 2050 roku. Stan ten ma być osiągnięty dzięki poważnej redukcji emisji CO₂ we wszystkich dziedzinach transportu, przemysłu i rolnictwa, a redukcji emisji CO₂ do zera przy wytwarzaniu energii elektrycznej i prawie do zera przy wytwarzaniu ciepła. W 2019 roku energia elektryczna w Polsce była wytwarzana w ponad 73 proc. z węgla, a tylko w około 15 proc. z odnawialnych źródeł energii (OZE). I właśnie z tym problemem jest związana „Opinia Komitetu Elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk w sprawie wdrożenia elektrowni jądrowych w Polsce”.

Wiemy już, że transformacja energetyczna jest konieczna nie tylko ze względu na cele i zobowiązania klimatyczne, ale i wymagania rynku. Czy pana zdaniem jest ona wykonalna?

Odpowiedź na to pytanie zależy od tego, do jakiej części naszej planety ją odniesiemy. Porozumienie paryskie dotyczy całego świata. Stan energetyki w poszczególnych regionach świata jest zróżnicowany i ściśle związany z ich sytuacją ekonomiczną oraz stanem zasobów naturalnych źródeł energii (energii pierwotnej). Stan sektora wytwórczego energii elektrycznej w poszczególnych krajach najlepiej charakteryzują ich systemy elektroenergetyczne. Światowa Rada Energetyczna (World Energy Council) corocznie od 10 lat dokonuje oceny systemów elektroenergetycznych w ponad 130 krajach świata. Stosuje przy tym trzy kryteria oceny: bezpieczeństwo dostawy energii elektrycznej (energy security), dostępność energii elektrycznej, mierzoną ceną energii elektrycznej, odniesioną do dochodu narodowego na jednego mieszkańca w danym kraju (energy equity) i zrównoważony wpływ na środowisko (environmental sustainability).

Na czele listy rankingowej systemów elektroenergetycznych 2020 roku znalazły się Szwajcaria i zaraz za nią Szwecja. W 2019 roku energia elektryczna była w tych krajach wytwarzana w 98,8 proc. W źródłach zeroemisyjnych, w tym 30–40 proc. w elektrowniach jądrowych. Dalsze miejsca na tej liście zajmują: Francja, Brazylia, Finlandia, Kanada, Słowacja, Belgia, Słowenia, Węgry i Hiszpania. Energia elektryczna w źródłach zeroemisyjnych jest w tych krajach wytwarzana od 88,8 proc. do 59,2 proc. Transformacja energetyczna powinna w nich przebiec względnie szybko i bez ponoszenia bardzo wysokich kosztów.

Polska na liście rankingowej systemów elektroenergetycznych 2020 roku zajmuje 41. miejsce na świecie, a 26. (przedostatnie przed Cyprem) wśród państw członkowskich Unii Europejskiej. Dlatego transformacja energetyczna w naszym kraju musi być procesem czaso- i kapitałochłonnym. Dodatkowym utrudnieniem jest fakt, że nasz kraj jest dużym (piątym w Unii Europejskiej i 25. w skali światowej) producentem i konsumentem energii elektrycznej i ma w tej dziedzinie znaczne opóźnienia, gdyż na liście potencjału ekonomicznego zajmuje wyższe, 21. miejsce na świecie, mierzone rocznym PKB.

Transformacja energetyczna w Polsce jest wykonalna, ale będzie wymagała znacznych środków finansowych na rozwój zeroemisyjnych technologii wytwarzania energii elektrycznej. Trzeba jednak pamiętać, że wiele państw świata ma dużo gorszą sytuację ekonomiczną, a Polska może dodatkowo liczyć na wsparcie w ramach sprawiedliwej transformacji energetycznej Unii Europejskiej. Dzięki temu powinno się nam udać tak jak innym państwom UE skutecznie przeprowadzić transformację energetyczną. W skali światowej w ramach polityki solidarności Porozumienie paryskie przewiduje powstanie specjalnego funduszu na pomoc w transformacji energetycznej krajom rozwijającym się. Jednak Polska już na początku 2020 roku została zaliczona do krajów rozwiniętych.

Jakie warunki technologiczne w sektorze energetycznym muszą być spełnione, żeby Polska mogła dojść do neutralności klimatycznej?

Najważniejszym problemem, który musi znaleźć rozstrzygnięcie w najbliższych miesiącach, żeby w Polsce została otwarta „brama” na drodze do neutralności klimatycznej, jest wprowadzenie w życie uchwalonej przez Radę Ministrów 2 lutego 2021 roku „Polityki energetycznej Polski do 2040 roku” oraz uzgodnienie z Komisją Europejską „Krajowego planu na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030”, przesłanego do Brukseli w grudniu 2019 roku. Dokumenty te nakreślają drogę długoterminowej strategii budowy bezpiecznego i zeroemisyjnego systemu elektroenergetycznego, zapewniającego bezpieczeństwo elektroenergetyczne kraju, oraz poważnej redukcji emisji CO₂ we wszystkich działach gospodarki. Z tym

problemem jest związana „Opinia Komitetu Elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk w sprawie wdrożenia energetyki jądrowej w Polsce”. Dowodzi ona, że przy braku wystarczających zasobów energii wodnej w Polsce, które pozwoliłyby na budowę elektrowni wodnych dużej mocy, budowa bezpiecznego i zeroemisyjnego systemu elektroenergetycznego musi być oparta na OZE, czyli odnawialnych źródłach energii, i zeroemisyjnych elektrowniach jądrowych. Osiągnięcie neutralności klimatycznej w Polsce około 2050 roku będzie możliwe, jeżeli zostaną wdrożone decyzje przede wszystkim o budowie bezpiecznego i zeroemisyjnego systemu elektroenergetycznego oraz o poważnej redukcji emisji CO₂ przy wytwarzaniu ciepła, w transporcie i we wszystkich gałęziach przemysłu i rolnictwa.

Poza uzależnieniem od węgla, czym jeszcze wyróżnia się polski rynek energetyczny na tle Europy?

Jeżeli rynek energetyczny rozumiemy szeroko, jako dział gospodarki zajmujący się wytwarzaniem i dostawą energii elektrycznej oraz ciepła do przemysłu, transportu, usług i ludności, a także paliw do transportu kołowego i lotnictwa, to polski sektor energetyczny ma kilka cech wyróżniających na tle Europy. Pierwsza z nich dotyczy podsektora wytwarzania i dostawy ciepła. W Polsce, we wszystkich dużych i średnich miastach oraz w większości małych, a także w wielu zakładach przemysłowych istnieją systemy ciepłownicze, które razem tworzą Krajowy System Ciepłowniczy. Charakteryzuje go centralne wytwarzanie ciepła i dostarczanie go do odbiorców za pomocą sieci ciepłowniczych. W większości krajów europejskich przeważa indywidualne wytwarzanie ciepła. Ciepło wytwarzane centralnie i dostarczane do odbiorców za pomocą sieci ciepłowniczych nazywamy ciepłem systemowym albo sieciowym. Rocznie wartość centralnie wytwarzanego ciepła systemowego w Polsce wynosi około 480 000 TJ, czyli około 133,3 TWh. W 2019 roku wartość ta wynosiła 475 477,8 TJ (132,1 TWh). Około 65 proc. ciepła systemowego jest wytwarzane w Polsce w skojarzeniu z energią elektryczną. Aby system ciepłowniczy można było nazwać efektywnym energetycznie, wartość ciepła wytwarzanego w kogeneracji z energią elektryczną powinna wynosić co najmniej 75 proc. Ewentualnie w 50 proc. ciepło systemowe powinno być wytwarzane z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła systemowego odbywa się w tzw. kogeneracyjnych blokach energetycznych, które pracują równocześnie w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym i w jednym z kilkuset (około 400) systemów ciepłowniczych, o różnej mocy cieplnej. Współpraca Krajowego Systemu Elektroenergetycznego z Krajowym Systemem Ciepłowniczym stawia temu pierwszemu dodatkowe wymagania co do ciągłości i stabilności pracy, a w konsekwencji bezpieczeństwa pracy. Najważniejszym kryterium pracy bloku kogeneracyjnego jest bowiem praca z mocą cieplną w skojarzeniu zgodną z zapotrzebowaniem na moc cieplną w systemie ciepłowniczym, która w większości typów bloków kogeneracyjnych wymusza pracę z odpowiednią mocą elektryczną w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym. Wymaga to regulacji mocy w innych jednostkach wytwórczych pracujących w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym, tak by suma mocy elektrycznej wszystkich jednostek wytwórczych była w każdej chwili równa zapotrzebowaniu na moc.

Dodatkowo Polski System Elektroenergetyczny ma stosunkowo słabe połączenia sieciowe z systemami elektroenergetycznymi krajów sąsiednich, co utrudnia w sytuacjach awaryjnych korzystanie z ich pomocy.

Polska energetyka na tle Europy wyróżnia się niestety także dość zużyтыми jednostkami wytwórczymi, pracującymi w elektrowniach i elektrociepłowniach. Spośród 91 parowych bloków opalanych węglem kamiennym i brunatnym pracującymi w elektrowniach, aż 41 pracuje w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym już ponad 40 lat. Czas pracy kogeneracyjnych bloków parowych pracujących w elektrociepłowniach jest średnio jeszcze dłuższy. W ciągu ostatnich 30 lat nie było w polskiej energetyce ciągłości odnowy parku bloków wytwórczych. Po 1988 roku była przerwa w procesie budowy nowych bloków w elektrowniach aż do 1994 roku. W latach 1994–1997 oddano do eksploatacji cztery nowe bloki w elektrowni Opole. Po tej inwestycji znowu nastąpiła przerwa do 2008 roku, gdy oddano nowy blok parowy na parametry nadkrytyczne w elektrowni Pątnów. W ostatnich 12 latach oddano do eksploatacji tylko sześć bloków parowych na parametry nadkrytyczne. Ta nieciągłość inwestowania w źródła wytwórcze w polskiej elektroenergetyce spowodowała zakłócenia w procesie regularności starzenia się bloków energetycznych i wyłączania ich z ruchu oraz powstawanie, w pewnych okresach, niedoboru mocy dyspozycyjnej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym, szczególnie jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych (JWCD). Obecnie mamy do czynienia z kumulacją starzenia się jednostek wytwórczych i koniecznością wyłączania dużej ich liczby z ruchu w krótkim czasie. Konieczność transformacji energetycznej źródeł wytwórczych w polskiej energetyce jest spowodowana zatem nie tylko powstałym problemem związanym ze zmianami klimatu, ale i z zestarzeniem się parku źródeł wytwórczych.

Właściwością, która odróżnia polską energetykę od energetyk większości krajów Europy jest również stosunkowo niskie zużycie energii elektrycznej na jednego mieszkańca, nawet przy podobnym poziomie dochodu narodowego w innych państwach. W państwach członkowskich Unii Europejskiej wskaźnik ten wyniósł w 2019 roku średnio 6 305 kWh/mieszkańca, a w Polsce 4 477 kWh/mieszkańca. Największe było w Finlandii i wynosiło 12 334 kWh/mieszkańca. Może to spowodować zwiększone zapotrzebowanie na moc elektryczną w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym w najbliższych latach.

Czy istnieją techniczne ograniczenia dla wprowadzenia energetyki jądrowej do miksu energetycznego Polski?

Wdrożenie energetyki jądrowej w każdym kraju jest dużym wyzwaniem technologicznym, ekonomicznym i cywilizacyjnym. Problemy związane z wdrażaniem energetyki jądrowej były poważniejsze w początkowym okresie jej rozwoju na świecie, czyli w drugiej połowie ubiegłego wieku. Dzisiaj, gdy na świecie pracuje ponad 440 bloków jądrowych o łącznej mocy ponad 493 GW, możemy mówić o dużym doświadczeniu w budowie i eksploatacji elektrowni jądrowych. W ostatnich 20 latach opracowano konstrukcje nowoczesnych i najbardziej bezpiecznych reaktorów wodno-ciśnieniowych (tzw. PWR - pressurized water reactor) generacji III+ i zebrano doświadczenie, w jaki sposób najlepiej je budować i eksploatować.

Dla Polski, która przygotowuje się do wprowadzenia energetyki jądrowej, są to korzystne warunki zewnętrzne. Istnieje jednak wielka odpowiedzialność krajowego przemysłu i krajowego budownictwa przemysłowego dotycząca przygotowania się do podjęcia zadań związanych z wdrożeniem energetyki jądrowej. Około dwóch trzecich zadań inwestycyjnych związanych z wdrożeniem energetyki jądrowej w naszym kraju może być zrealizowana przez przedsiębiorstwa krajowe. Dotyczy to szczególnie wielu zadań budowlanych związanych z fundamentami pod reaktor i maszynownię, obudowę bezpieczeństwa i układ chłodzenia. Mogą one być z powodzeniem wykonane przez krajowe przedsiębiorstwa budownictwa przemysłowego, takie jak Polimex-Mostostal SA, Mostostal Warszawa SA czy Budimex SA, posiadające wysokie kwalifikacje i doświadczenie w budowie parowych bloków energetycznych o jednostkowej mocy rzędu 1000 MW. Mamy też duży potencjał konstrukcyjny i wykonawczy, jeśli chodzi o wytwornice pary w firmie Rafako. Zadaniem nowym i wymagającym wieloletniego przygotowania jest zapewnienie bezpiecznej eksploatacji jądrowych bloków energetycznych. Poziom technologiczny, ekonomiczny i cywilizacyjny naszego kraju oraz wielkość Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, według mnie, pozwolą Polsce te zadania z powodzeniem wykonać.

Czy istniejące dziś technologie produkcji i dystrybucji OZE są wystarczające do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego mieszkańcom Polski i przemysłowi?

Za bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej do przemysłu, transportu, usług i ludności odpowiedzialne jest państwo, które aby móc ten obowiązek wypełniać, musi mieć do dyspozycji sprawnie i bezpiecznie pracujący Krajowy System Elektroenergetyczny. W nowej rzeczywistości energetycznej świata, po przyjęciu przez prawie wszystkie kraje Porozumienia paryskiego, nowoczesne systemy elektroenergetyczne muszą spełniać trzy kryteria. Są to: bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej, umiarkowane jej ceny (co zależy od niskich kosztów produkcji) i zrównoważony wpływ jej produkcji na środowisko. Z tego wynika, że nowoczesny system elektroenergetyczny musi charakteryzować się wysokim bezpieczeństwem pracy, zeroemisyjnością pracujących w nim źródeł energii elektrycznej i wysoką efektywnością ekonomiczną. Innymi słowy, taki system musi być bezpieczny i zeroemisyjny oraz dostarczać energię elektryczną odbiorcom po możliwie niskiej cenie. Taki właśnie system elektroenergetyczny musi zostać zbudowany w Polsce w ciągu najbliższych 30 lat.

Czy może on powstać w oparciu o źródła wytwórcze wykorzystujące wyłącznie odnawialne źródła energii (OZE)? Komitet Elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk stwierdził, że w polskich warunkach naturalnych, bez znaczących zasobów energii wodnej, jest to niemożliwe w wymaganej perspektywie czasowej.

W Polsce, podobnie jak w większości krajów, spośród różnych rodzajów odnawialnych źródeł energii (OZE), przede wszystkim energia wiatru i słońca jest obecnie i będzie w przyszłości wykorzystywana do wytwarzania energii elektrycznej, a w znacznie mniejszym stopniu energia wody i biomasy. Źródła energii elektrycznej, w których jako energia pierwotna jest wykorzystywana energia wiatru i słońca charakteryzują się stosunkowo niskimi wartościami czasu wykorzystania mocy zainstalowanej (capacity factor). Wynoszą one dla warunków meteorologicznych panujących w Polsce: dla morskich elektrowni wiatrowych około 3400 godz./rok, lądowych elektrowni wiatrowych około 1900 godz./rok i elektrowni foto-

woltaicznych około 950 godz./rok. Jeżeli w systemie elektroenergetycznym pracowałyby wyłącznie źródła energii elektrycznej charakteryzujące się takimi parametrami ciągłości pracy, to nie będzie on w stanie zapewnić ciągłości (bezprzerwowego) zasilania odbiorców. Trudność polega na magazynowaniu energii elektrycznej w ilościach pozwalających na bezpieczną i stabilną pracę systemu elektroenergetycznego. Można to robić tylko, wykorzystując konwersję energii elektrycznej na inne postacie energii, najlepiej wodnej lub chemicznej, w postaci elektrowni wodnych pompowo-szczytowych lub magazynów elektrochemicznych albo magazynów wodoru. Do budowy elektrowni pompowo-szczytowych są potrzebne odpowiednie warunki naturalne do budowy górnego i dolnego zbiornika wody i bardzo duże środki finansowe. W przypadku magazynów elektrochemicznych a szczególnie wodorowych straty energii w procesach wielokrotnej jej konwersji oraz koszt potrzebnych urządzeń do konwersji energii sprawiają, że dla potrzeb współpracy z systemem elektroenergetycznym, w wymaganym dla transformacji energetycznej horyzoncie czasowym, według mnie, nie uzyskają one dojrzałości komercyjnej, szczególnie jeśli chodzi o kryterium efektywności ekonomicznej. Natomiast magazyny elektrochemiczne już znajdują zastosowanie w transporcie i w mniejszym zakresie w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych a technologia wodorowa wkracza do transportu, a w przyszłości może znaleźć zastosowanie również w energetyce rozproszonej. Bezpośrednie magazynowanie energii elektrycznej jest możliwe tylko w małych ilościach w specjalnych urządzeniach nazywanych superkondensatorami, ale nie w zakresie wymaganym do współpracy z systemem elektroenergetycznym. Dlatego żaden przemysłowo rozwinięty kraj na świecie, posiadający podobne warunki naturalne jak Polska, nie zamierza budować bezpiecznego i zeroemisyjnego systemu elektroenergetycznego wyłącznie w oparciu o OZE. Wyjątkiem są Niemcy, które zamierzają jednak mocno wspomagać się elektrowniami wykorzystującymi gaz ziemny, który stosowany do produkcji energii elektrycznej powoduje emisję CO₂ na poziomie 45 proc. emisji źródeł wykorzystujących węgiel. Czyli nie jest to technologia zeroemisyjna. Jedynym odnawialnym źródłem energii, które pozwalałoby na ciągłą i bezpieczną pracę systemu elektroenergetycznego są duże zasoby energii wodnej, których Polska nie posiada. Z krajów europejskich warunki takie ma między innymi Norwegia.

Rozmawiała dr Justyna Orłowska

STOPNIE NAUKOWE

Dr inż. Szymon Lipiński



„Analiza stanów cieplnych w silnikach synchronicznych z rozruchem bezpośrednim wzbudzanych magnesami trwałymi”

Promotor: dr hab. inż. Jan Zawilak, prof. PWr

Recenzenci: dr hab. inż. Roman Krok – profesor Politechniki Śląskiej,

prof. dr hab. inż. Marian Łukaniszyn - Politechnika Opolska,

Stopień doktora nauk inżyneryjno - technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika nadała Rada Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej w dniu 25 października 2021 r.

Celem pracy jest wzbogacenie wiedzy na temat zjawisk cieplnych zachodzących w silnikach elektrycznych z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim. Szczególnym osiągnięciem jest opracowanie sprzężonego modelu elektromagnetyczno-cieplnego oraz wentylacyjnego do obliczeń rozkładu temperatur i parametrów elektromechanicznych silnika w różnych stanach pracy. Przedstawiono również sposób weryfikacji obliczeń na zautomatyzowanym stanowisku pomiarowym. Zaprezentowana metoda ma zastosowanie w przypadku projektowania maszyn z magnesami o dużym stopniu wyzyskania materiałów czynnych. Praca dostępna w Bibliotece Politechniki Wrocławskiej.