

Leszek Kasprzyk

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY

ZAŁĄCZNIK 2.

**Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć
naukowych**

AUTOREFERAT

23 kwietnia 2019 r.

1. Imię i nazwisko

Leszek Kasprzyk

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

1. Magister inżynier. Kierunek: *Elektrotechnika*. Specjalność: *Układy elektryczne i elektroniczne pojazdów*, Wydział Elektryczny, Politechnika Poznańska, 2000.
2. Studia podyplomowe. Kierunek: *Informatyka*. Specjalność: *Sieci komputerowe i aplikacje internetowe*, Wydział Elektryczny, Politechnika Poznańska, 2002.
3. Studia podyplomowe. Kierunek: *Pedagogika dla nauczycieli akademickich*. Wydział Inżynierii Zarządzania, Politechnika Poznańska, 2007.
4. Doktor nauk technicznych w dziedzinie *Nauk technicznych*, dyscyplinie *Elektrotechnika*. Stopień nadany uchwałą Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej dnia 22.01.2008 r. Tytuł rozprawy: *Obliczenia równoległe rozkładu strumienia świetlnego*, promotor prof. dr hab. inż. Ryszard Nawrowski, 2008.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Od 1.03.2000 do 1.03.2008 – asystent w Zakładzie Podstaw Elektrotechniki (później Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej) w Instytucie Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej.

Od 1.03.2008 – adiunkt w Zakładzie Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej w Instytucie Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1789) w okresie po uzyskaniu stopnia doktora

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Cykl publikacji powiązanych tematycznie pod wspólną nazwą: *Modelowanie elementów systemów magazynowania energii w pojazdach elektrycznych i układach współpracujących z odnawialnymi źródłami energii.*

b) publikacje lub inne prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego (po uzyskaniu stopnia doktora)

[LK-1] Kasprzyk L., Tomczewski A., Bednarek K., *Rozproszenie obliczeń elektromagnetycznych i optymalizacyjnych układów elektrycznych z zastosowaniem procesorów wielordzeniowych*, Przegląd Elektrotechniczny, vol. 86 (12b), 2011, s. 82-85.

[LK-2] Kasprzyk L., *Optimization of lighting systems with the use of the parallelized genetic algorithm on multi-core processors using the .NET Technology*, Przegląd Elektrotechniczny, vol. 88 (7b), 2012, s. 131-133.

[LK-3] Burzyński D., Kasprzyk L., *Modelling and simulation of lead-acid battery pack powering electric vehicle*, E3S Web of Conferences, vol. 14, 2017, 01041.

[LK-4] Kasprzyk L., *Modelling and analysis of dynamic states of the lead-acid batteries in electric vehicles*, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, vol. 19, 2017, s. 229-236.

[LK-5] Tomczewski A., Kasprzyk L., *Optimisation of the Structure of a Wind Farm – Kinetic Energy Storage for Improving the Reliability of Electricity Supplies*, Applied Science, vol. 8, 2019, 1439.

[LK-6] Burzyński D., Kasprzyk L., *Analysis of the potential use of lithium-ion energy storage in the home charging station for electric cars*, 2nd International Conference on the Sustainable Energy and Environmental Development, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, vol. 214, 2019, 012077.

[LK-7] Kasprzyk L., *Wybrane zagadnienia modelowania trwałości akumulatorów litowo-jonowych w pojazdach elektrycznych*, Przegląd Elektrotechniczny, vol. 95 (3), 2019, s. 70-73.

[LK-8] Kasprzyk L., *Wybrane zagadnienia modelowania ogniwo elektrochemicznych i superkondensatorów w pojazdach elektrycznych*, Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering, vol. 101 (5), 2019, s. 1-55.



c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

c.1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój technologiczny w XX i XXI wieku doprowadził do masowego powstawania i powszechnego wykorzystania zaawansowanych elektrycznych urządzeń mobilnych, oferujących bogate możliwości użytkowe. W tego typu urządzeniach istotne jest stosowanie nowoczesnych magazynów energii elektrycznej, charakteryzujących się małą masą i wymiarami, przy jednoczesnym zachowaniu określonych możliwości gromadzenia energii oraz jej szybkiego uzupełniania. Podobna sytuacja dotyczy wszelkiego rodzaju pojazdów elektrycznych i hybrydowych, które również wymagają zasilania z przenośnych magazynów energii elektrycznej. W ostatnich latach zauważyć można intensywny wzrost popularności takich pojazdów, co w dużej mierze spowodowane jest postępowaniem technologicznym, dotyczącym udoskonalania istniejących i wytwarzania nowych elektrochemicznych magazynów energii. Wyróżniają się one na tle innych magazynów energii elektrycznej stosunkowo dużą gęstością mocy i energii. Z tego powodu aktualnie w pojazdach elektrycznych stosuje się niemal wyłącznie akumulatory. Pojawienie się nowych ogniw elektrochemicznych determinuje konieczność systematycznego opracowywania ich modeli, umożliwiających analizę ogniw zarówno pod kątem elektrycznym (prądów i napięć na ich zaciskach), jak również w aspekcie termicznym oraz trwałościowym. Zastosowanie skutecznych metod modelowania jest szczególnie istotne na etapie projektowania wszelkich układów zasilanych z akumulatorów, ponieważ pozwala uniknąć kosztownych i czasochłonnych badań eksperymentalnych oraz przewidywać sytuacje zagrażające bezpieczeństwu tworzonych układów i ich użytkowników (niepoprawne funkcjonowanie systemu kontroli pracy ogniw może doprowadzić do ich eksplozji i pożaru).

Trudność polega jednak na tym, że zachowanie się ogniw zależy od wielu czynników, które są wzajemnie intensywnie powiązane i charakteryzują się silną nieliniowością. Z tego powodu wciąż brakuje dokładnych i uniwersalnych metod modelowania ogniw oraz aplikacji komputerowych umożliwiających symulacje ich parametrów elektrycznych, termicznych i starzeniowych, a także metod służących do identyfikacji parametrów wybranych modeli. Problem modelowania jest szczególnie istotny w przypadku pojazdów elektrycznych, które pobierają energię w sposób niemal stochastyczny. Mimo to, producenci pojazdów elektrycznych i hybrydowych zobligowani są przewidzieć zachowanie się akumulatorów (ich prądów, napięć czy temperatury) podczas jazdy oraz oszacować ich żywotność.



Do popularności wykorzystania magazynów energii elektrycznej w istotny sposób przyczynia się także fakt, że w ostatnich latach na całym świecie intensywnie rozwijają się różnorodne źródła energii odnawialnej, których pracę można skutecznie stabilizować z wykorzystaniem magazynów energii (pokrywanie niedoborów energii, gdy ich generacja jest niska, a gromadzenie w okresach nadmiernej produkcji). W sektorze energetycznym odnotowano znaczący wzrost ilości wytworzonej energii elektrycznej przez tego typu źródła, spośród których wyróżnić należy układy solarne i wiatrowe (wg danych z Eurostat, łączna moc zainstalowanych źródeł solarnych i wiatrowych w krajach EU-28 wzrosła od 2000 roku z niecałych 13 TW do 257 TW w 2016 roku – czyli z 1,9% do 26% w stosunku do mocy całego systemu elektroenergetycznego). Źródła te charakteryzują się dużą niestabilnością generacyjną, dlatego w celu poprawy ich efektywności konieczna jest ich współpraca z magazynami energii, uzupełniającymi niedobory w okresach o obniżonej wydajności. Również w takich układach tematyka analizy pracy magazynów energii oraz optymalnego ich doboru do konkretnego rozwiązania jest ważnym i aktualnym problemem.

Przedstawione fakty świadczą o ważności i aktualności podjętej przez autora tematyki, dotyczącej modelowania magazynów energii w pojazdach elektrycznych i układach współpracujących z odnawialnymi źródłami energii. Potwierdzeniem tego są również liczne publikacje naukowe na tematy związane zarówno z problematyką analizy pracy elektrochemicznych magazynów energii (akumulatorów i kondensatorów elektrochemicznych), jak i układów z nimi współpracujących, w szczególności tych, które charakteryzują się dużą dynamiką zmian obciążenia, jak to ma miejsce w przypadku pojazdów elektrycznych i odnawialnych źródeł energii.

Uwzględniając powyższe, *motywacją podjęcia badań przez autora były poszukiwania nowej strategii zarządzania przepływami energii w hybrydowych magazynach energii elektrycznej – współpracujących z dynamicznie zmieniającymi się obciążeniami – mającej na celu poprawę ich trwałości.*

Jako cel naukowy autor postawił sobie udoskonalenie istniejących oraz opracowanie nowych skutecznych metod i algorytmów modelowania pracy oraz procesu zużycia magazynów energii stosowanych w pojazdach elektrycznych i układach współpracujących z odnawialnymi źródłami energii.

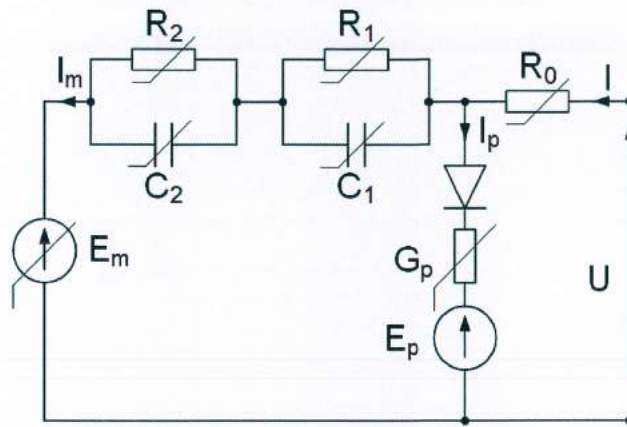
Przedstawiony cykl powiązanych tematycznie publikacji naukowych obejmuje podjętą tematykę, a przeprowadzone przez autora badania i analizy oraz opracowane metody i algorytmy doprowadziły do poszerzenia stanu wiedzy na temat modelowania magazynów energii w pojazdach elektrycznych i układach współpracujących z odnawialnymi źródłami energii.

c.2. Modelowanie pracy magazynów energii stosowanych w pojazdach elektrycznych i współpracujących z odnawialnymi źródłami energii elektrycznej

W literaturze naukowej oraz dokumentacjach technicznych producentów znaleźć można informacje na temat najważniejszych parametrów elektrycznych magazynów elektrochemicznych (akumulatorów i superkondensatorów) oraz ich zależności od wybranych czynników. Zazwyczaj przedstawiają one wyłącznie dane dotyczące pracy ze stabilnym obciążeniem (przy stałej mocy lub stałym prądzie), lecz zagadnienia analizy ich pracy w stanach dynamicznych wymagają dodatkowo uwzględnienia zjawisk fizykochemicznych w nich zachodzących oraz wpływu otoczenia (ze względu na aspekty termiczne). Wówczas najczęściej stosuje się różne metody modelowania matematycznego, pozwalające ocenić aktualny stan naładowania ogniwa, a nawet wyznaczać parametry, które byłyby trudne lub niemożliwe do zmierzenia w rzeczywistych obiektach. Wielkości uzyskane w wyniku wykonanych obliczeń analitycznych z wykorzystaniem modeli są często stosowane do różnego rodzaju optymalizacji oraz doboru zasobników energii, niezależnie od charakteru urządzenia współpracującego z zasobnikiem i jego struktury. **W pracach [LK-4, LK-8] dokonano szczegółowej analizy metod modelowania elektrochemicznych magazynów energii pod kątem ich stosowania w pojazdach elektrycznych oraz układach współpracujących z odnawialnymi źródłami energii elektrycznej.** W szczególności omówiono modele:

- elektrochemiczne – równania opisujące procesy elektrochemiczne zachodzące w elektrodach, elektrolicie i obszarze warstw podwójnych,
- obwodowe – ekwiwalentne obwody elektryczne (schematy zastępcze) odwzorowujące zachowanie się akumulatorów (prądów i napięć na zaciskach akumulatorów oraz temperatury) podczas ładowania i rozładowania.

Modele elektrochemiczne, zwłaszcza trójwymiarowe, wykazują większą dokładność w zakresie analizy procesów fizykochemicznych zachodzących wewnątrz ogniwa, lecz są kłopotliwe w zastosowaniu ze względu na trudność w dostępie do danych parametryzowania modeli, których nieprecyzyjne określenie może doprowadzić do znacznych błędów obliczeniowych. Z tego powodu do analiz obwodów elektrycznych współpracujących z magazynami elektrochemicznymi zdecydowanie częściej stosuje się metody obwodowe. Także dlatego autor wniosku w swoich pracach wykorzystywał modele obwodowe, stosując różne schematy zastępcze ogniwa. Schematy te zazwyczaj składają się z bloków zawierających podstawowe elementy elektryczne o charakterze nieliniowym – najczęściej z łańcucha bloków RC (rys. 1), których inercja odzwierciedla szybkość zachodzenia procesów fizykochemicznych. W niektórych źródłach literaturowych znaleźć można również obwody zawierające elementy impedancyjne o rzeczywistych właściwościach elektrycznych, np. elementy stałofazowe CPE (impedancje wyróżniające się tym, że ich moduł zależy od częstotliwości, a kąt przesunięcia fazowego jest stały).



Rys. 1. Przykładowy schemat ekwiwalentny ogniwa elektrochemicznego

W przypadku niektórych ogniw w literaturze znaleźć można zależności empiryczne opisujące pojemność oraz wartości elementów w funkcji stopnia naładowania, temperatury itp. Na przykład dla modelu II rzędu (z 2 blokami RC) ogniwa kwasowo-olowiowego:

– pojemność ogniwa:

$$C(I, T) = \frac{K_C C_0 \left(1 + \frac{T}{-T_f}\right)^\varepsilon}{1 + (K_C - 1) \left(\frac{I}{I_n}\right)^\delta} \quad (1)$$

gdzie: K_C , C_0 , ε , δ – stałe wyznaczone na podstawie danych katalogowych akumulatora lub empirycznie, będące parametrami modelu, T – temperatura elektrolitu, T_f – temperatura zamarzania elektrolitu, I – natężenie prądu akumulatora, I_n – znamionowy prąd akumulatora,

– elementy obwodu ekwiwalentnego:

$$E_m = E_{m0} - K_E(273,15 + T)(1 - SOC) \quad (2)$$

$$R_0 = R_{00}(1 - A_0(1 - SOC)) \quad (3)$$

$$R_1 = -R_{10} \ln(DOC) \quad (4)$$

$$C_1 = \frac{\tau_1}{R_1} \quad (5)$$

$$R_2 = R_{20} \frac{\exp[A_{21}(1 - SOC)]}{1 + \exp\left(\frac{A_{22} I_m}{I_n}\right)} \quad (6)$$

$$C_2 = \frac{\tau_2}{R_2} \quad (7)$$

$$G_P = G_{P0} \exp\left(\frac{U_P}{U_{P0}} + A_P \left(1 + \frac{T}{-T_f}\right)\right) \quad (8)$$

gdzie: R_{00} , R_{10} , R_{20} , G_{P0} , A_0 , A_{21} , A_{22} , A_P , E_P , K_E – współczynniki zależne od konstrukcji i stanu akumulatora, τ_1 , τ_2 – stałe czasowe gałęzi RC, E_{m0} – napięcie nieobciążonego ogniwa w temperaturze 0°C.

Natomiast stopień naładowania (SOC) oraz poziom naładowania ogniwa (DOC) w trakcie wyładowania lub ładowania opisane są równaniami:

$$SOC = 1 - \frac{\int_0^t i_m(t) dt}{C(0, T)} \quad (9)$$

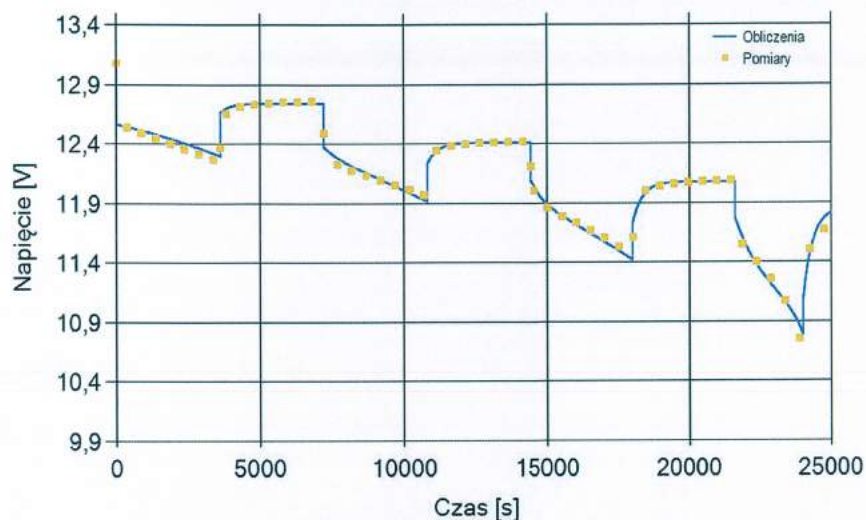
$$DOC = 1 - \frac{\int_0^t i_m(t) dt}{C(I_{avg}, T)} \quad (10)$$

gdzie: i_m – prąd pobierany z ogniwa, $C(0, T)$ – pojemność nieobciążonego ogniwa w temperaturze T , $C(I_{avg}, T)$ – pojemność ogniwa odniesiona do średniego prądu rozładowania I_{avg} w temperaturze T .

W pracach [LK-3, LK-4] autor szczegółowo przedstawił problematykę modelowania parametrów elektrycznych i termicznych ogniw kwasowo-ołowiowych z wykorzystaniem zależności (1) – (10) oraz **opracował algorytm służący do identyfikacji parametrów modelu akumulatora, rozwiązując układy równań i stosując techniki optymalizacyjne samodzielnie wyznaczył wartości współczynników (niezbędnych do określenia wartości parametrów o silnych nieliniowościach i wzajemnych powiązaniach) na podstawie odpowiednio dobranych i zrealizowanych pomiarów badanego akumulatora.** Opracowane algorytmy zaimplementowano w autorskim programie komputerowym.

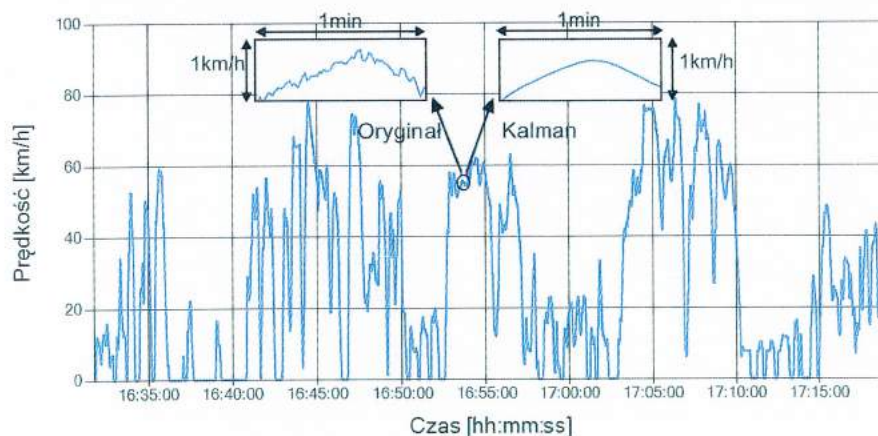
Wykorzystując utworzony model magazynu energii, autor opracował model numeryczny służący do analizy zachowania się ogniw kwasowo-ołowiowych w stanach dynamicznych, który wykorzystał do symulacji pracy baterii akumulatorów podczas jazdy pojazdem elektrycznym [LK-3, LK-4].

Przykładowe wyniki przedstawiające zbieżność charakterystyk uzyskanych na podstawie modelu ogniwa z przeprowadzonymi pomiarami, podczas dynamicznej pracy ogniwa (cyklicznie przerywanego rozładowywania), zaprezentowano na rys. 2. Pomiary przeprowadzono z wykorzystaniem specjalistycznej aparatury pomiarowej przeznaczonej do badań ogniw elektrochemicznych w Instytucie Elektrochemii Politechniki Poznańskiej.

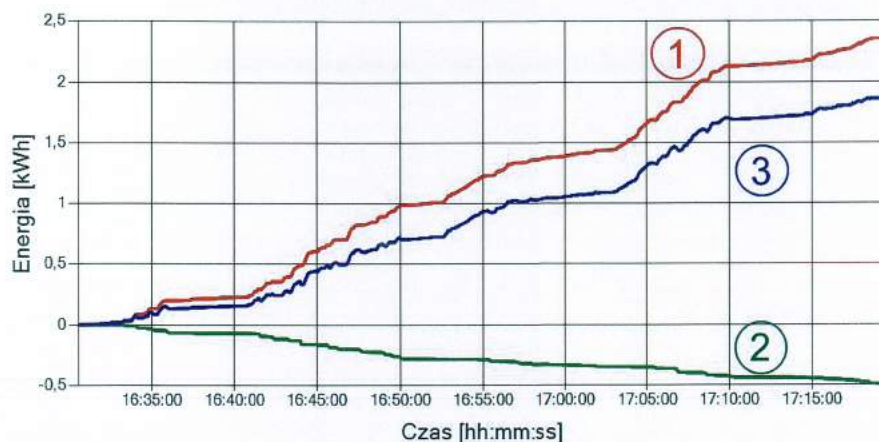


Rys. 2. Porównanie wartości napięć zmierzonych oraz uzyskanych z pomiarów [LK-4]

W pracach [LK-3, LK-4] przedstawiono **opracowany przez autora algorytm służący do analizy energochłonności pojazdów samochodowych podczas standardowych cykli jazdy, jak również rzeczywistych przejazdów, których pomiary zrealizowano z wykorzystaniem zaprojektowanego przez autora rejestratora parametrów jazdy pojazdów**, zapisującego cyklicznie aktualną pozycję, prędkość oraz ciśnienie powietrza (na podstawie którego określano zmianę położenia pojazdu w osi pionowej – podczas jazdy pod górę lub z góry). **Autor zaimplementował własny model numeryczny, służący do wyznaczania chwilowego zapotrzebowania na energię w pojeździe**, a powstałą aplikację systematycznie rozbudowywał o moduły umożliwiające współpracę z dedykowanymi do tego celu rejestratorami jazdy, takimi jak np. VBOX Drift BOX firmy Motorsport (o częstotliwości rejestracji danych 10 Hz i dokładności 0,1 km/h) [LK-8]. Przykładowe wyniki badań (zarejestrowanej prędkości i zużytej energii podczas jazdy) przedstawiono na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Zarejestrowana prędkość pojazdu w funkcji czasu pokonywanej trasy [LK-8]

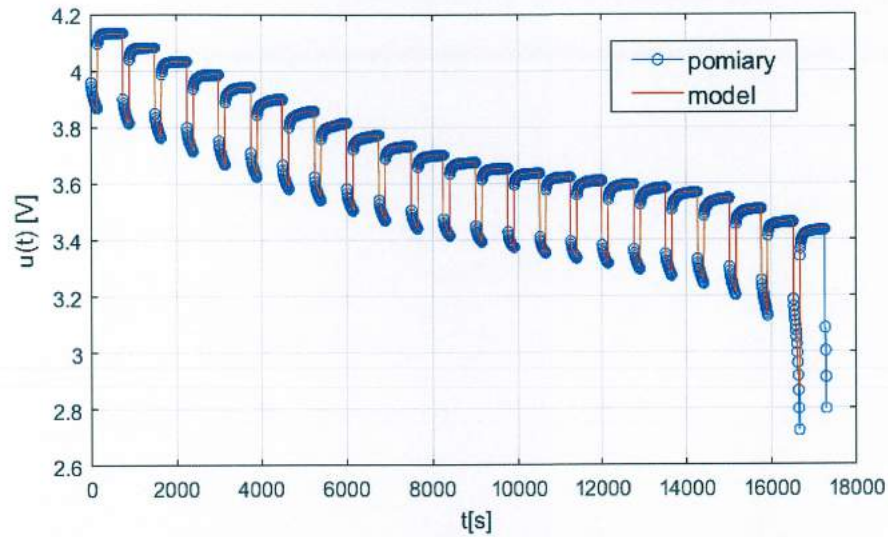


Rys. 4. Energia w funkcji czasu jazdy [LK-8]

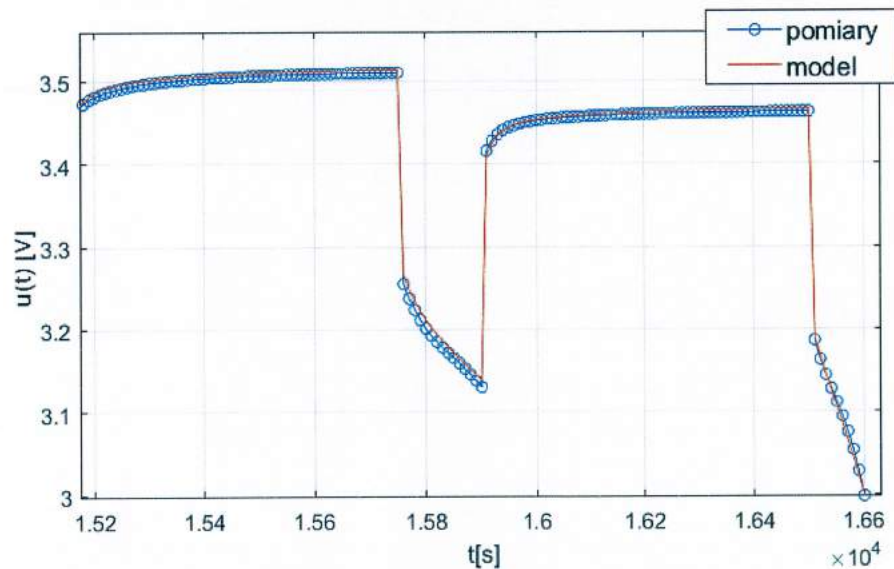
1 – energia zużyta podczas przyspieszania pojazdu, 2 – energia możliwa do odzyskania podczas hamowania odzyskowego, 3 – suma energii 1 i 2, oznaczająca ilość energii zużytej przez pojazd z możliwością hamowania odzyskowego

W przypadku ogniwi, dla których nie opracowano zależności empirycznych opisujących wartości elementów schematu zastępczego, problem ich nieliniowości rozwiązuje się tworząc tzw. mapy wartości w funkcji badanych parametrów. Podczas analizy różnych akumulatorów autor w pracach [LK-4, LK-6, LK-8] **przeprowadził badania polegające na rozładowywaniu cząstkowym ogniwa, na podstawie których wykonał identyfikację parametrów obwodu ekwiwalentnego I oraz II rzędu (z jednym lub dwoma blokami RC), z uwzględnieniem warunków termicznych.** W tym celu **opracował algorytm służący do identyfikacji parametrów modelu obwodowego [LK-4, LK-6, LK-8], a następnie zaimplementował, adaptując opracowany przez siebie model obliczeniowy i program optymalizacyjny, wykorzystujący zrównoleglony algorytm genetyczny** – opisany w artykułach [LK-1, LK-2]. W pracach tych przedstawiono także różne możliwości techniczne i narzędzia służące do rozpraszania obliczeń na komputerach wieloprocesorowych oraz uzyskiwaną efektywność zrównoleglenia na różnych procesorach.

Wysoką zbieżność wyników symulacji wykonanej na podstawie wyznaczonych w artykule [LK-8] parametrów modelu z wynikami pomiarów przeprowadzonych podczas rozładowania cząstkowego, wykazano na przykładzie zaprezentowanym na rysunkach 5 oraz 6 (współczynnik determinacji modelu wyniósł 0,998).

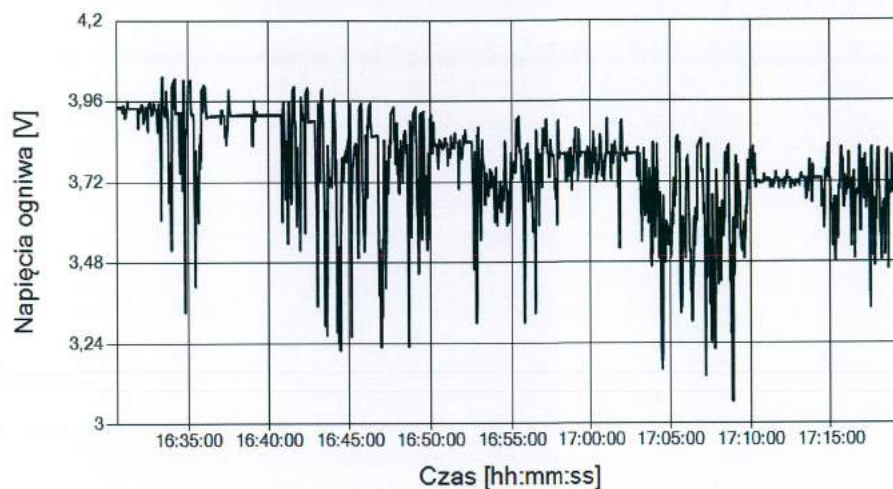


Rys. 5. Napięcie na zaciskach ogniwa podczas rozładowywania prądem 1C – porównanie wyników uzyskanych podczas pomiarów oraz obliczeń wykonanych na podstawie modelu

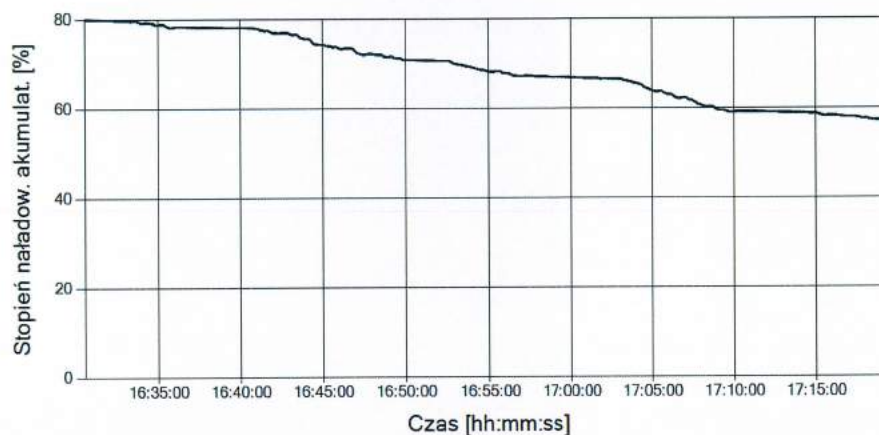


Rys. 6. Powiększony wycinek wykresu przedstawiającego napięcie na zaciskach ogniwa podczas rozładowywania prądem 1C – porównanie wyników uzyskanych podczas pomiarów oraz obliczeń wykonanych na podstawie modelu

Innym przykładem obrazującym zaawansowane możliwości obliczeniowe autorskiego algorytmu do analizy pracy akumulatorów przedstawiono na rysunkach 7 i 8, na których umieszczono odpowiednio: zależność napięcia oraz stopnia naładowania ogniów w funkcji czasu jazdy pojazdu poruszającego się z prędkością, której przebieg w funkcji czasu zaprezentowano na rysunku 3 [LK-8].



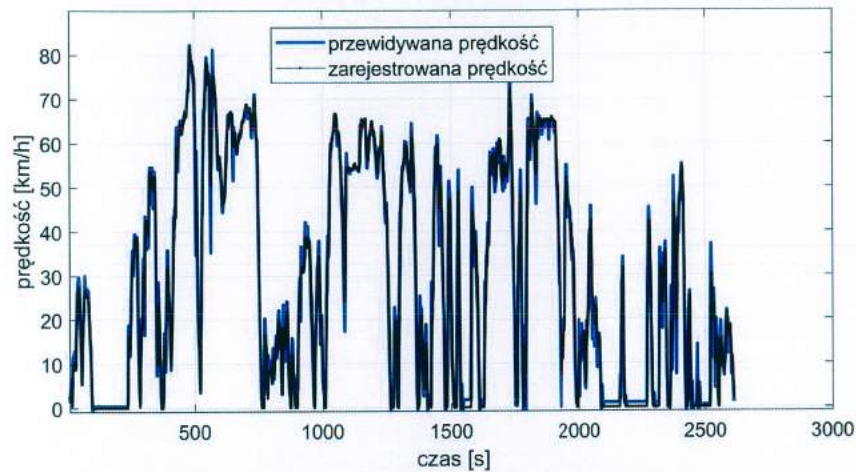
Rys. 7. Napięcie na zaciskach ogniwa w funkcji czasu jazdy



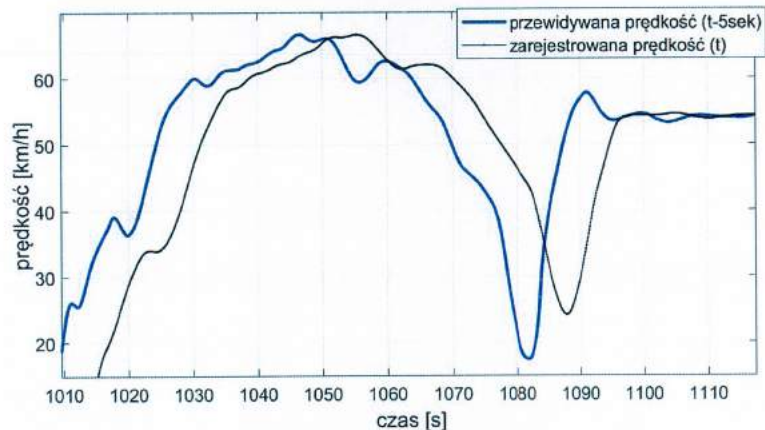
Rys. 8. Stan naładowania ogniwa w funkcji czasu jazdy

Kolejnym istotnym osiągnięciem autora przedstawionym w pracy [LK-8] było opracowanie nowej metody zarządzania energią w magazynach hybrydowych (zbudowanych z akumulatorów i superkondensatorów), uwzględniającej prognozowanie prędkości jazdy oraz umożliwiającą sterowanie przepływami energii – skierowanie odpowiedniej jej ilości do superkondensatora (dodatniej lub ujemnej, czyli podładowania lub rozładowania) w taki sposób, aby przygotować go do pokrycia zapotrzebowania na energię podczas stanów dynamicznych: zwalniania pojazdu (odzyskiwania energii) lub przyspieszania pojazdu (oddawania energii). W tym celu 10-krotnie zarejestrowano prędkość jazdy pojazdu poruszającego się tą samą trasą o tej samej porze dnia. Następnie autor opracował algorytm, który wykorzystując sztuczną sieć neuronową typu feedforward z algorytmem ucącym Levenberga-Marquardta, dokonał predykcji prędkości jazdy w okresie 5 s. Przykładowe wyniki prognozy prędkości przedstawiono na rysunkach 9 i 10. Uzyskany poziom zgodności prędkości prognozowanych z rzeczywistymi, wyrażony przez

współczynnik determinacji R^2 , wyniósł w zaprezentowanym przykładzie 0,82, co potwierdza skuteczność opracowanej metody predykcji.



Rys. 9. Porównanie zarejestrowanej prędkości jazdy oraz przewidywanej prędkości wyznaczonej przy użyciu sztucznej sieci neuronowej i przesuniętej o 5 sekund, aby wykresy nakładały się na siebie (w celu ich porównania)



Rys. 10. Prędkość pojazdu oraz spodziewana prędkość wyznaczona przy użyciu sieci neuronowej (wycinek trasy)

Autorskim osiągnięciem przedstawionym w pracy [LK-8] było:

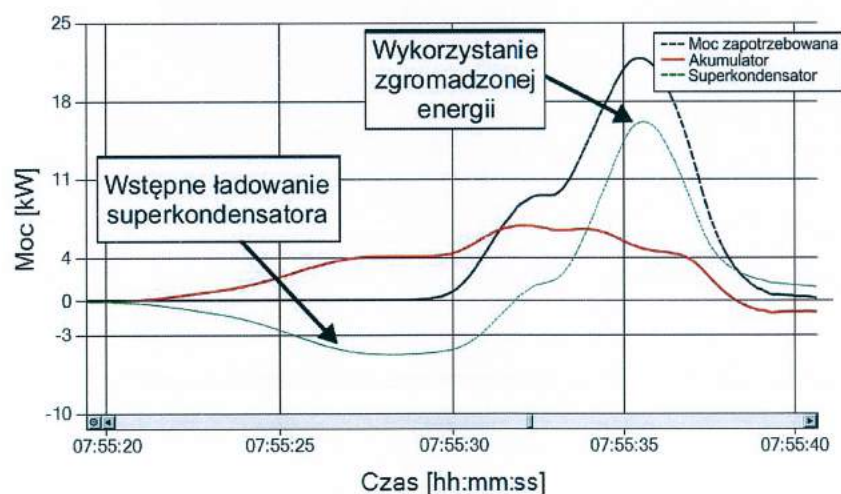
- **przeprowadzenie badań oraz identyfikacja parametrów modelu obwodowego dla kolejnego magazynu energii elektrycznej, jakim jest superkondensator,**
- **opracowanie algorytmu do analizy pracy superkondensatorów oraz jego implementacja informatyczna.**

W artykule tym autor opisał także **samodzielnie opracowany algorytm służący do analizy pracy magazynu hybrydowego zbudowanego z akumulatora i superkondensatora w dwóch wariantach: połączonych galwanicznie oraz przez układ sterujący ich pracą, tzn. zarządzający przepływem energii elektrycznej z obu tych magazynów niezależnie. Opracowany algorytm autor wniosku zaimplementował**

we własnym programie komputerowym służącym do analiz przepływów energii między zasobnikami oraz układem napędowym pojazdu elektrycznego.

Podczas analizy pracy magazynu hybrydowego – wykorzystując sztuczną sieć neuronową służącą do przewidywania prędkości jazdy – wyznaczano spodziewane zapotrzebowanie na energię dla najbliższych 5 s i w taki sposób sterowano przepływem energii między układem napędowym i zasobnikiem energii, aby minimalizować obciążenie akumulatora oraz nie dopuszczać do przekraczania założonych zakresów napięcia na zaciskach superkondensatora (co jest niezwykle istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy superkondensatora). W algorytmie uwzględniono również ograniczanie mocy wynikającej z hamowania odzyskowego przyjmując, że jeśli spowodowałaby ona przekroczenie dopuszczalnego prądu przepływającego przez pojedyncze ogniwo akumulatora, prędkość pojazdu wytracana byłaby z wykorzystaniem hamulców mechanicznych.

Skuteczność działania autorskiego algorytmu zaprezentowano na rysunku 11, na którym przedstawiono wykres mocy wydzielonej w pojedynczym ogniwie oraz mocy superkondensatorów, przeliczonej na jedno ogniwo, w funkcji czasu jazdy. Zaprezentowano w ten sposób przykładowe zachowanie się zaimplementowanego układu sterowania, który w momencie postoju pojazdu, przewidując że pojazd wkrótce ruszy, podładowuje superkondensator i wykorzystuje zgromadzoną w nim energię w chwili zwiększonego zapotrzebowania na moc.



Rys. 11. Moc pojedynczego ogniwa oraz moc jednostkowa superkondensatorów przeliczona na jedno ogniwo w funkcji czasu jazdy – wycinek 25-sekundowy (wartości dodatnie uzyskiwane są podczas przyspieszania, a ujemne podczas hamowania odzyskowego)

Szczegółowe badania na ten temat przedstawiono w pracy [LK-8], w której wykazano, że odpowiednie zarządzanie przepływem energii w pojazdach elektrycznych z magazynem hybrydowym jest skuteczną metodą zwiększenia ilości

odzyskiwanej energii podczas hamowania rekuperacyjnego, a tym samym poprawy efektywności energetycznej pojazdów elektrycznych.

W pracy [LK-5] autor zajął się istotnym problemem poprawy niezawodności dostaw energii elektrycznej do systemu elektroenergetycznego ze źródeł niestabilnych, jakimi są elektrownie wiatrowe. Do realizacji tego celu zaproponował wykorzystanie kinetycznych magazynów energii, których właściwości są silnie zbieżne z charakterem pracy turbin wiatrowych, szczególnie w zakresie temperatur roboczych oraz dynamiki zmian prądów ładowania i rozładowania. **Autorski wkład obejmuje opracowanie wskaźników niezawodności dostaw energii, związanych ze stochastycznymi zmianami stopnia pokrycia mocy zapotrzebowanej przez możliwości wytwórcze podsystemu (farmy wiatrowej oraz zespołu kinetycznych magazynów energii).** Zaproponowane wskaźniki wynikają z zastosowanej strategii zarządzania magazynami energii, będącej zmodyfikowaną metodą kształtowania profili generacyjnych odnawialnych źródeł energii elektrycznej.

Kolejnym autorskim osiągnięciem opisanym w [LK-5] było **opracowanie modelu numerycznego układu turbina wiatrowa – kinetyczny magazyn energii oraz algorytmu optymalizacji jego struktury przy założonych mocach układu i wskaźnikach niezawodności dostaw energii do systemu elektroenergetycznego.** Autor wykazał, że zastosowanie opracowanego algorytmu optymalizacji struktury układu turbina wiatrowa – kinetyczny magazyn energii, dla zadanej mocy znamionowej farmy i jej lokalizacji geograficznej, jest skuteczną metodą minimalizacji pojemności magazynu oraz czasu powstałych niedoborów dostaw do systemu elektroenergetycznego mocy mniejszej od referencyjnej, przy zachowaniu założonych ograniczeń dotyczących długości okresów o obniżonej mocy generacyjnej systemu wiatrowego oraz opracowanych wskaźników niezawodności. **Autor potwierdził skuteczność opracowanych algorytmów wykazując, że zastosowanie układu zoptymalizowanego prowadzi do utrzymywania przyjętego charakteru profilu generacyjnego i poprawy przewidywalności wydatku energetycznego rozpatrywanego podsystemu.**

W ramach badań dotyczących współpracy magazynów energii elektrycznej ze źródłami solarnymi [LK-6] **opracowano model numeryczny przeznaczony do analizy ogniw fotowoltaicznych zasilających stację ładowania pojazdów elektrycznych wyposażoną w akumulatory litowo-jonowe oraz przeprowadzono badania symulacyjne, polegające na analizie współpracy ogniw elektrochemicznych z instalacją solarną (analiza funkcjonowania oraz stanu zużycia akumulatorów).**

c.3. Modelowanie procesu zużycia akumulatorów

Na intensywność degradacji elektrochemicznych magazynów energii ma wpływ wiele czynników. Do najistotniejszych zalicza się temperaturę, natężenie przepływającego prądu oraz głębokość rozładowania ogniwa. Znaczną część badań na świecie realizuje się wyznaczając stan zużycia akumulatora na podstawie trzech wymienionych parametrów. W literaturze znaleźć można również propozycje metod, które szacują stan zużycia na podstawie rezystancji wewnętrznej, określanej poprzez analizę prądów i napięć podczas krótkich impulsów prądowych (tzw. rozładowania cząstkowego). W ostatnich latach coraz częściej stosowane są również metody, polegające na analizie charakterystyki impedancyjnej Nyquista ogniwa z wykorzystaniem elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej. Metody te zazwyczaj stosowane są podczas wyznaczania stanu zużycia rzeczywistych ogniw, natomiast do modelowania trwałości akumulatorów intensywnie rozwijane są różne metody adaptacyjne, np.: z wykorzystaniem filtru Kalmana, sieci neuronowych lub algorytmów rozmytych [LK-8]. Wadą jednak tych metod jest konieczność długiej kalibracji i wykorzystania dużej mocy obliczeniowej. Z tego powodu podczas analizy trwałości ogniw popularne są metody polegające na eksperymentalnym (na podstawie pomiarów) tworzeniu charakterystyk – określających wpływ poszczególnych czynników na szybkość procesu degradacji – i dobieraniu funkcji matematycznych aproksymujących wyniki pomiarów.

Przykład takich zależności przedstawiono w pracy [LK-6], w której zużycie ogniwa opisano parametrem $\varepsilon(n)$, przyjmującym wartości od 0 (nowe ogniwo) do 1 (zużyte ogniwo):

$$\varepsilon(n) = \varepsilon(n-1) + \frac{0,5}{N(n-1)} \left(2 - \frac{DOD(n-2) + DOD(n)}{DOD(n-1)} \right) \quad (11)$$

gdzie: n – numer półcyklu pracy (zwiększany o 1 podczas każdego ładowania i rozładowania), N – trwałość ogniwa, rozumiana jako liczba cykli pracy, po których ogniwo przestanie być zdatne do pracy (wg norm oznacza to ubytek 20% pojemności ogniwa), $DOD(n)$ – głębokość rozładowania w n -tym półcyklu.

Do szacowania liczby cykli pracy N ogniwa zazwyczaj przyjmuje się model multiplikatywny (zależność 12), w którym wpływ prądów ładowania I_{CH} i rozładowania I_D oraz głębokości rozładowania DOD jest wykładniczy, a wpływ temperatury wynika z równania Arrheniusa (zależność 13) [LK-6, LK-7]:

$$N = N(I_{CH}, I_D, T, DOD) = N(I_{CH}) \cdot N(I_D) \cdot N(T) \cdot N(DOD) \quad (12)$$

$$N(n) = N_0 \left(\frac{DOD(n)}{100} \right)^{-\xi} \exp \left(-\psi \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_a(n)} \right) \right) (I_D(n))^{-\gamma_1} (I_{CH}(n))^{-\gamma_2} \quad (13)$$

gdzie: N_0 – stała odzwierciedlająca liczbę cykli pracy w warunkach znamionowych, ξ , γ_1 , γ_2 – stałe określające odpowiednio wpływ: głębokości rozładowania, natężenia

prądu rozładowania i ładowania na szybkość starzenia się ogniwa, ψ – stała Arrheniusa, T_{ref} – temperatura odniesienia, T_a – temperatura otoczenia.

W pracy [LK-7] autor przedstawił opracowany przez siebie oryginalny algorytm służący do identyfikacji parametrów modelu starzeniowego ogniwa na podstawie samodzielnie dobranych warunków pracy i wykonanych pomiarów (niezwykle czasochłonnych, co jest charakterystyczną cechą pomiarów związanych z trwałością obiektów), dotyczących ubytku pojemności ogniwa elektrochemicznych. Na ich podstawie wyznaczył parametry modelu, opracował model numeryczny służący do wyznaczania stanu zużycia akumulatorów, tworzących magazyn energii przydomowej stacji ładowania pojazdów elektrycznych, zasilanej z instalacji fotowoltaicznej.

W wielu pracach często stosowanym parametrem określającym stan zużycia, w jakim aktualnie znajduje się ogniwo, jest *SOH* (ang. state of health) [LK-7, LK-8]. Jego wartość wyznaczana jest z zależności, którą w temperaturze znamionowej T_n i prądzie znamionowym I_n przedstawić można za pomocą następujących wzorów:

$$SOH = \frac{C(I_n, T_n)}{C_{BOL}(I_n, T_n)} \quad \text{lub} \quad SOH = \frac{Q(I_n, T_n) - Q_{\min}(I_n, T_n)}{Q_{BOL}(I_n, T_n) - Q_{\min}(I_n, T_n)} \quad (14)$$

gdzie: C – aktualna pojemność elektryczna ogniwa, C_{BOL} – pojemność elektryczna nowego ogniwa, Q – ładunek aktualnie zgromadzony w ogniwie, Q_{\min} – minimalny poziom ładunku, poniżej którego ogniwa nie należy rozładowywać, Q_{BOL} – ładunek w pełni naładowanego nowego ogniwa (skrót BOL oznacza nowe ogniwo).

Niezależnie od parametru określającego stan zużycia, liczba cykli pracy określana jest z wykorzystaniem modelu multiplikatywnego – zależności (12) i (13). Metoda ta ma jednak wadę, która związana jest z tym, że: zależność (13) jest poprawna tylko w ściśle określonych warunkach otoczenia, dla których wyznaczono parametry termiczne modelu, oraz z uwagi na nierealnie duże wartości liczby cykli uzyskiwane dla bardzo małych prądów ładowania i rozładowania (ze względu na asymptotyczny charakter modelu). Pewnym udoskonaleniem metody opisanej zależnością (13) jest rozwiązanie, jakie autor zaprezentował w pracy [LK-7], w którym liczbę cykli wyznaczano z zależności:

$$\begin{aligned} N(I_{CH}, I_D, DOD, T) &= \\ &= N_0 \cdot a_{CH,D} \exp\left(\frac{-b_{CH} \cdot I_{CH}}{C_n}\right) \cdot \exp\left(\frac{-b_D \cdot I_D}{C_n}\right) \cdot \\ &\cdot a_{DOD} \exp(-b_{DOD} \cdot DOD) \cdot (a_T T^3 + b_T T^2 + c_T T + d_T) \end{aligned} \quad (15)$$

gdzie: N_0 – stała zależna od analizowanego ogniwa, dopasowująca uzyskany wynik do liczby cykli w warunkach znamionowych, a , b – współczynniki zależne od analizowanego ogniwa, opatrzone indeksami związanymi z parametrami modelu, których dotyczą (D, CH, T, DOD), C_n – pojemność znamionowa ogniwa.

Jednak również ta metoda charakteryzuje się wadą, polegającą na tym, że uwzględnia ona stopień naładowania ogniwa (poprzez czynnik DOD) tylko przy założeniu, że ogniwo rozładowywane jest od stanu pełnego naładowania. Tymczasem wpływ na trwałość ma nie tylko ilość pobranego ładunku (uwzględniana poprzez parametr ΔDOD), ale także średni stopień naładowania ogniwa (SOC_{avg} lub jako DOD_{avg}) [LK-7]. Mimo to w wielu artykułach dotyczących analizy procesów starzeniowych podczas pracy cyklicznej przyjmuje się, że $DOD = \Delta DOD$ (pomija się stan naładowania). Zazwyczaj nie jest to błędem, jak np. w przypadku rozważań dotyczących systemów zasilania gwarantowanego, które często oddają energię o stałej mocy, a po oddaniu energii ładowane są w warunkach zalecanych przez producenta akumulatorów do stanu pełnego naładowania. Wówczas zależność (15) daje zadawalające wyniki, lecz w przypadku ogniw elektrochemicznych w pojazdach elektrycznych i układach współpracujących z odnawialnymi źródłami energii może to przyczyniać się do uzyskiwania błędnych wyników (ogniwa rzadko są ładowane do stanu pełnego naładowania).

Dodatkowo w przypadku analizy trwałości ogniw w pojazdach elektrycznych obliczenia nie powinny być wykonywane raz na pełen cykl pracy, ponieważ uśrednienie prądu rozładowania skutkować może przekłamaniami w uzyskanych wynikach – duże prądy w trakcie krótkotrwałego gwałtownego przyspieszania pojazdu zostałyby pominięte („spłaszczone”), podczas gdy to właśnie one powodują najistotniejsze ubytki trwałości.

Rozwiązaniem problemu uśredniania parametrów pracy jest wyznaczenie stanu zużycia w krótkich okresach, zwanych mikrocyklami. Najczęściej mikrocykl rozumiany jest jako okres między kolejnymi maksimami funkcji stanu naładowania w czasie $SOC(t)$. Niekiedy stosuje się różne metody, umożliwiające pominięcie nieistotnych mikrocykli, jak na przykład metoda płynącego deszczu [LK-8]. Konsekwencją stosowania mikrocykli jest konieczność uwzględnienia w zależności (15) średniego stanu naładowania SOC_{avg} niezależnie od ilości pobranego ładunku (np. wyrażonego przez ΔDOD). Dodatkowo determinuje to potrzebę rozpatrywania możliwości innej zmiany głębokości rozładowania podczas ładowania ΔDOD_{CH} i innej podczas rozładowania ΔDOD_D , co jest istotne w przypadku obliczeń dla mikrocykli liczonych w układach, charakteryzujących się dynamicznie zmiennym obciążeniem, np. w pojazdach elektrycznych z możliwością hamowania odzyskowego.

Opis badań nad tym zagadnieniem autor zaprezentował w pracy [LK-7], w której **wykazał, że rozpatrywane ogniwo litowo-jonowe typu NMC charakteryzuje się najmniejszą degradacją, gdy użytkowane jest w stanie naładowania 50-55%, a dla pozostałych wartości degradacja jest większa – liczba cykli maleje zgodnie z charakterystyką przypominającą parabolę, natomiast wpływ ilości pobranego ładunku na trwałość jest zbliżony do funkcji wykładniczej.** Na tej podstawie autor

zapropował nową postać modelu starzeniowego ogniw NMC, przekształcając zależność (15) do postaci (16). W zależności tej autor jednocześnie **uwzględnił, że podczas mikrocyklu ładunek oddany ΔDOD_D może się różnić od ładunku pobranego ΔDOD_{CH} :**

$$N(I_{CH}, I_D, \Delta DOD, SOC_{AVG}, T) = N_0 \cdot a_{CH} \cdot \exp\left(\frac{-b_{CH} \cdot I_{CH}}{C_n}\right) \cdot a_D \cdot \exp\left(\frac{-b_D \cdot I_D}{C_n}\right) \cdot \frac{2 \cdot a_{\Delta DOD}}{\Delta DOD_D^{b_{\Delta DOD}} + \Delta DOD_{CH}^{b_{\Delta DOD}}} \cdot (a_{SOC} SOC_{avg}^2 + b_{SOC} SOC_{avg} + c_{SOC}) \cdot (a_T T^3 + b_T T^2 + c_T T + d_T) \quad (16)$$

Takie podejście do problemu wyznaczania trwałości jest uniwersalne, ponieważ może mieć zastosowanie w szerokiej gamie układów elektrycznych zasilanych z ogniw elektrochemicznych, w szczególności w układach charakteryzujących się dynamicznie zmiennym obciążeniem. Bardzo ważnym aspektem jest uwzględnienie w opracowanych zależnościach możliwości niepełnego rozładowania oraz ponownego naładowania do innego poziomu.

Kontynuację badań nad nowymi metodami modelowania trwałości autor przedstawił w pracy [LK-8], w której **zapropował i opracował metodę analizy stanu zużycia ogniw w obiektach charakteryzujących się silnie dynamicznym poborem energii (np. w pojazdach elektrycznych), umożliwiającą systematyczną (tzw. krokową) analizę stanu zużycia tych ogniw bez konieczności uśredniania parametrów pracy w cyklach lub mikrocyklach.** Uniknięcie problemu uśredniania parametrów determinujących trwałość ogniw elektrochemicznych wydaje się być możliwe poprzez szacowanie jego ubytku w krótszych okresach, np. cyklicznie podczas regularnej rejestracji parametrów pracy akumulatora. Z pozoru takie podejście wydaje się być najbardziej oczywistą techniką, umożliwiającą wyznaczenie stanu zużycia w sposób możliwie dokładny. Jednak w obiektach rzeczywistych niemal niemożliwe jest określenie degradacji akumulatora z dużą częstotliwością, bowiem nie można mierzyć ubytku pojemności co kilka sekund, minut, a nawet godzin. Dodatkowo w rzeczywistych układach stan zużycia określany jest zazwyczaj – niezależnie od metody – raz na wiele cykli pracy, dzięki czemu znane są informacje na temat zmierzonych parametrów rozładowania i ładowania (dotyczące obu zrealizowanych etapów, które są niezbędne do obliczenia stanu zużycia za pomocą wcześniej opisywanych modeli). Dlatego podejście krokowe mogłoby wydawać się nietrafne.

Tymczasem do oceny poprawności działania, opisanego w poprzednim rozdziale, algorytmu zarządzającego przepływem energii niezbędne jest podejście krokowe (np. co sekundę), które wymaga wyznaczania stanu zużycia jedynie na podstawie chwilowych wartości parametrów pracy. Autor dotychczas nie spotkał się z takim modelem w literaturze naukowej ani takim, w którym postęp zużycia szacowano niezależnie na etapie rozładowywania (bez znajomości warunków ładowania) oraz ładowania (bez uwzględniania warunków rozładowywania). Mimo to autor podjął taką próbę

i opracował metodę krokowego wyznaczania stanu zużycia akumulatora, której słuszność udowodnił, a następnie wykorzystał ją w kolejnych działaniach badawczych w celu przeprowadzenia optymalizacji pracy zasobnika energii w taki sposób, aby wydłużyć trwałość ogniw elektrochemicznych. Zagadnienie to szczegółowo opisano w pracy [LK-8]. W opracowanej metodzie autor zaproponował zastosowanie funkcji określającej stan zużycia akumulatora z zastosowaniem formy addytywnej części modelu dotyczącego zależności, według której wyznacza się liczbę cykli na podstawie natężenia przepływających prądów podczas ładowania i rozładowania:

$$\begin{aligned}
 N(I_{CH}, I_D, \Delta DOD, SOC, T) &= N_0 \cdot N(I_{CH}, I_D) \cdot N(\Delta DOD) \cdot N(SOC) \cdot N(T) = \\
 &= N_0 \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{1}{a_{CH} \exp\left(\frac{-b_{CH} \cdot I_{CH}}{C_n}\right)} + \frac{1}{a_D \exp\left(\frac{-b_D \cdot I_D}{C_n}\right)} \right) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \frac{a_{\Delta DOD}}{\Delta DOD_D^{b_{\Delta DOD}} + \Delta DOD_{CH}^{b_{\Delta DOD}}} \cdot \\
 &\quad \cdot (a_{SOC} SOC_{avg}^2 + b_{SOC} SOC_{avg} + c_{SOC}) \cdot \\
 &\quad \cdot (a_T T^3 + b_T T^2 + c_T T + d_T)
 \end{aligned} \tag{17}$$

Addytywność umożliwia niezależne wyznaczanie wpływu prądów rozładowania i ładowania na ubytek trwałości. Liczba 2 znajdująca się w członie, określającym wpływ prądów na trwałość, związana jest z tym, że oba człony reprezentują półcykle (których jest dwukrotnie więcej niż cykli).

Zarówno w pracy [LK-7], jak i [LK-8] przeprowadzono identyfikację parametrów modelu z wykorzystaniem zaimplementowanej metody optymalizacji – wykorzystującej autorską koncepcję zrównoleglenia algorytmu genetycznego [LK-1, LK-2] – której celem była minimalizacja współczynnika determinacji R^2 , stanowiącego funkcję celu zadania optymalizacji (zależność 18). Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 1.

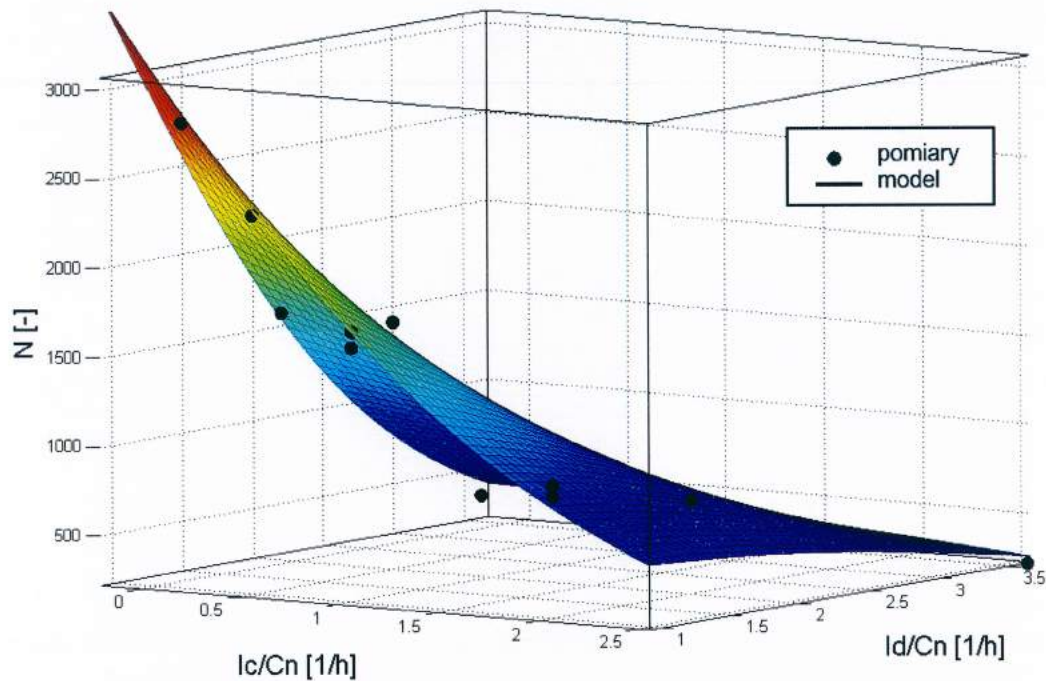
$$F = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (N_{obl}(I_{CHi}, I_{Di}, \Delta DOD_i, SOC_{avgi}, T_i) - N_{pom\ avg})^2}{\sum_{i=1}^n (N_{pom}(I_{CHi}, I_{Di}, \Delta DOD_i, SOC_{avgi}, T_i) - N_{pom\ avg})^2} \tag{18}$$

gdzie: n – liczba pomiarów, $N_{obl}(I_{CHi}, I_{Di}, \Delta DOD_i, SOC_{avgi}, T_i)$ – wartość obliczona na podstawie modelu dla parametrów zgodnych z i -tym punktem pomiarowym, $N_{pom}(I_{CHi}, I_{Di}, \Delta DOD_i, SOC_{avgi}, T_i)$ – wartość otrzymana na podstawie pomiarów dla parametrów zgodnych z i -tym punktem pomiarowym, $N_{pom\ avg}$ – średnia liczba cykli uzyskana na podstawie pomiarów.

Tabela 1. Parametry modelu wyznaczone z wykorzystaniem algorytmu genetycznego

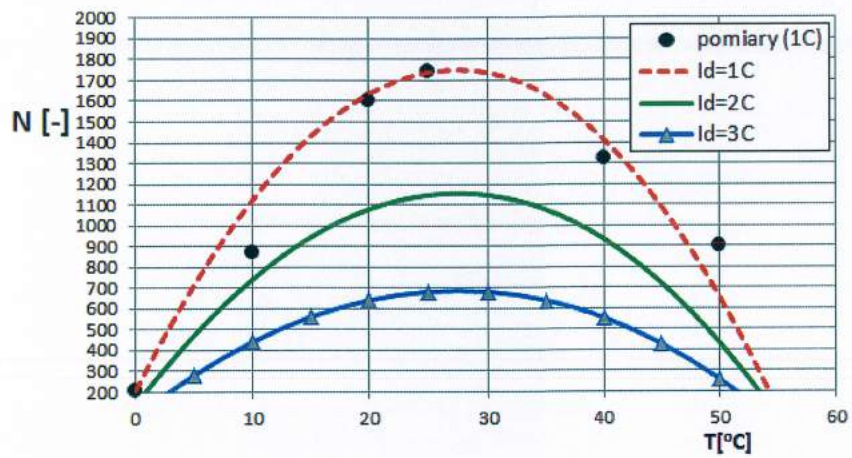
Parametr	Wartość	Parametr	Wartość
N_0	$3,8 \cdot 10^{-10}$	a_{SOC}	-5467
a_{CH}	3502	b_{SOC}	5471
b_{CH}	1,09	c_{SOC}	248
a_D	2299	a_T	201
b_D	0,71	b_T	106
a_{ADOD}	1468	c_T	-1,85
b_{ADOD}	1,62	d_T	-0,0021

W celu zaprezentowania prawidłowości dobranego modelu, porównano wartości osiągnięte na podstawie pomiarów i uzyskane na podstawie obliczeń (z modelu). Na rysunku 12 przedstawiono zależność liczby cykli pracy, po których ogniwa osiągnęły SOH = 80%, w funkcji prądu ładowania i rozładowania w temperaturze 25°C (umożliwiając graficzne porównanie wyników pomiarów i uzyskanych z zastosowaniem opracowanego modelu).

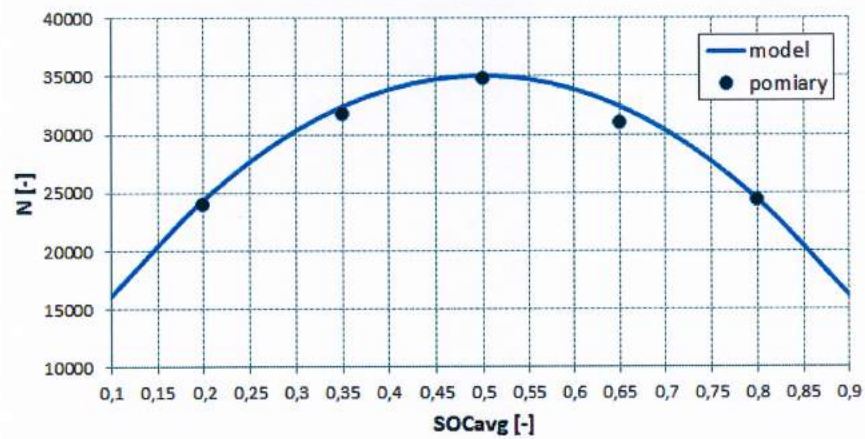


Rys. 12. Graficzne porównanie zmierzonej liczby cykli pracy ogniwa oraz wyniki obliczeń wykonanych z zastosowaniem opracowanego modelu

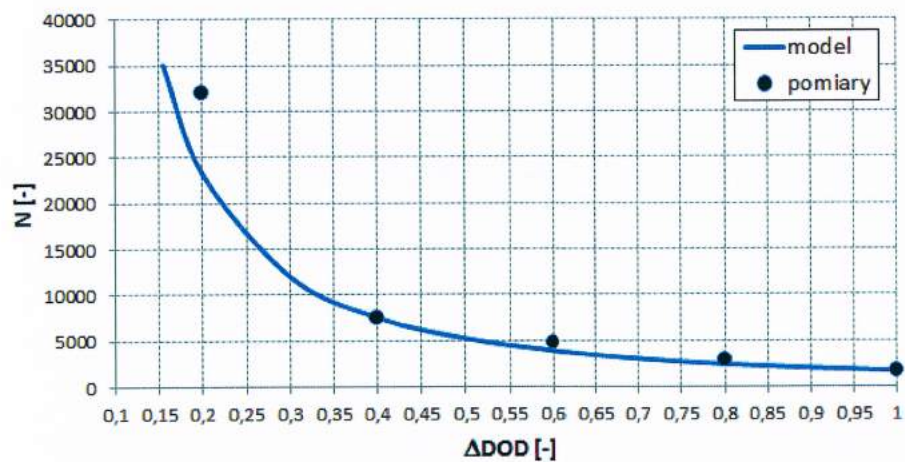
Podobnie na kolejnych rysunkach przedstawiono charakterystyki liczby cykli pracy uzyskanych z pomiarów oraz wyznaczonych na podstawie opracowanego modelu w funkcji: temperatury dla kilku prądów rozładowania – rys. 13, średniego stanu naładowania – rys. 14, względnego pobranego ładunku – rys. 15.



Rys. 13. Liczba cykli pracy w funkcji temperatury przy różnych prądach rozładowania ogniwa: wyniki pomiarów (dla prądu 1C) i obliczeń (dla prądu 1C, 2C oraz 3C)



Rys. 14. Liczba cykli pracy w funkcji średniego stanu naładowania podczas pobierania stałego względnego ładunku $\Delta\text{DOD} = 16\%$ (wyniki pomiarów i obliczeń)



Rys. 15. Liczba cykli w funkcji ilości pobranego względnego ładunku przy stałym średnim stanie naładowania równym $\text{SOC}_{\text{avg}} = 55\%$ (wyniki pomiarów i obliczeń)

Wyznaczony współczynnik zbieżności obliczeń wynosi około 0,026 (współczynnik determinacji R^2 wynosi 0,974), co **świadczy o bardzo dobrym odwzorowaniu modelu w stosunku do przeprowadzonych pomiarów** [LK-8].

Po wykazaniu poprawności opracowanego przez autora modelu starzeniowego, wykorzystując algorytm analizy hybrydowego zasobnika energii, składającego się z akumulatora i superkondensatora (który szczegółowo opisano we wcześniejszym rozdziale), przeprowadzono badania polegające na analizie wpływu algorytmu rozdziału energii na efekt starzenia się ogniw elektrochemicznych. Badania na ten temat przedstawiono w pracy [LK-8], w której **wykazano, że zaproponowane, prawidłowe zarządzanie przepływem energii stanowi skuteczną metodę wydłużania trwałości ogniw litowo-jonowych**. Wynika to z faktu wstępnego przygotowania energii w superkondensatorze (podładowania lub rozładowania) zgodnie z przewidywanym zapotrzebowaniem na energię, określonym z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej. O poprawności działania algorytmu sterowania przepływem energii świadczą również przebiegi mocy w funkcji czasu przedstawione na rysunku 10, na których zauważyć można charakterystyczne ładowanie superkondensatora małym prądem z akumulatorów (mało degradacyjnym dla ogniw) po to, aby w momencie podwyższonego zapotrzebowania na moc wykorzystać ją, ograniczając duże prądy akumulatora, a tym samym jego zużycie. Na podstawie przebiegu napięcia na superkondensatorze stwierdzić można, że algorytm sterujący przepływem mocy poprawnie wykorzystywał energię superkondensatora i nie dopuszczał do jego nadmiernego rozładowania lub przeładowania. **Autor wykazał, że zaimplementowanie takich układów w pojazdach systematycznie poruszających się po tych samych trasach (np. autobusach miejskich) w połączeniu z intensywnie rozwijającymi się technikami lokalizacji i analizy natężenia ruchu może w najbliższym czasie stać się opłacalną metodą poprawy trwałości ogniw elektrochemicznych, co jest bardzo istotne ekonomicznie szczególnie w pojazdach, w których występuje duża liczba ogniw.**

c.4. Podsumowanie

Prowadzone przez autora wniosku prace były ukierunkowane przede wszystkim na udoskonalenie istniejących oraz opracowanie nowych, skutecznych metod i algorytmów modelowania pracy oraz procesu zużycia magazynów energii stosowanych w pojazdach elektrycznych i układach współpracujących z odnawialnymi źródłami energii. Autor koncentrował się na poszukiwaniu takich metod modelowania, które związane były z możliwością poszukiwania nowych strategii zarządzania przepływami energii w hybrydowych magazynach energii elektrycznej – współpracujących z dynamicznie zmieniającymi się obciążeniami – mających na celu poprawę ich trwałości.

Istotna część prowadzonych przez autora wniosku badań wymagała opracowania szeregu autorskich metod, modeli, algorytmów i programów służących do analizy systemów magazynowania energii w pojazdach elektrycznych i układach współpracujących z odnawialnymi źródłami energii.

Do najważniejszych osiągnięć w głównym nurcie badań autora wniosku zalicza się:

- opracowanie zbioru algorytmów służących do identyfikacji parametrów modeli wybranych magazynów energii,
- opracowanie modelu obliczeniowego służącego do analizy pracy magazynu hybrydowego zbudowanego z akumulatorów i superkondensatorów,
- opracowanie metody predykcji prędkości jazdy, wykorzystującej sztuczną sieć neuronową,
- zaproponowanie nowej metody zarządzania przepływami energii w systemach z zasobnikiem hybrydowym, uwzględniającej prognozowanie prędkości jazdy pojazdu,
- określenie charakteru wpływu wybranych parametrów pracy ogniwa NMC na jego trwałość oraz udoskonalenie metody służącej do wyznaczania trwałości tego typu ogniw,
- opracowanie i weryfikacja eksperymentalna nowej metody analizy zużycia ogniw pracujących w stanach dynamicznych,
- zaprojektowanie i zbudowanie rejestratora parametrów jazdy pojazdów samochodowych,
- opracowanie algorytmu służącego do analizy energochłonności pojazdów elektrycznych,
- zaproponowanie wskaźników niezawodności dostaw energii, związanych ze stochastycznymi zmianami stopnia pokrycia mocy zapotrzebowanej przez możliwości wytwórcze podsystemu (farmy wiatrowej oraz zespołu kinetycznych magazynów energii),
- opracowanie modelu numerycznego układu turbina wiatrowa – kinetyczny magazyn energii oraz algorytmu optymalizacji jego struktury przy założonych mocach układu i wskaźnikach niezawodności dostaw energii do systemu elektroenergetycznego,
- opracowanie modelu numerycznego stacji ładowania pojazdów elektrycznych zasilanej z ogniw fotowoltaicznych, wyposażonej w akumulatory litowo-jonowe.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych (okres po uzyskaniu stopnia naukowego doktora)

Do pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych, niewchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w pkt. 4, autor zalicza publikacje związane z tematyką:

- analizy rozprywu mocy w systemach elektroenergetycznych (5.1),
- analizy jakości energii elektrycznej w sieci zasilającej oraz związanej z funkcjonowaniem układów odbiorczych (5.2).

5.1. Analizy rozplywu mocy w systemach elektroenergetycznych

5.1.1. Alemany J., Kasprzyk L., Magnago F., 2018, *Effects of binary variables in mixed integer linear programming based unit commitment in large-scale electricity markets*, Electric Power Systems Research, Vol. 160, s. 429-438, ISSN 0378-7796.

Punkty MNiSW(2016) = 35 (Lista A MNiSW); IF(2017) = 2,856; Artykuł indeksowany w bazach: *Web of Science, Scopus*.

W artykule przedstawiono propozycję zastosowania algorytmu programowania liniowego z elementami programowania całkowitoliczbowego MILP (ang. Mixed-Integer Linear Programming) do planowania pracy elektrycznych jednostek wytwórczych pracujących w systemie elektroenergetycznym, z uwzględnieniem jednodniowego wyprzedzenia. Zagadnienie to polega na wielkoskalowym, zmiennym w czasie, modelowaniu systemu oraz optymalizacji pracy jednostek, prowadzącej do minimalizacji kosztów produkcji energii elektrycznej. Poruszany w referacie problem jest bardzo złożony szczególnie ze względu na dużą liczbę (nawet tysiące) czynników mających wpływ na wyniki optymalne (zmiennych decyzyjnych) i dużą liczbę ograniczeń rozwiązywanego zadania (np. uwzględnienie bilansu energetycznego, rezerwy mocy poszczególnych jednostek, czasu rozruchu jedno- i wieloetapowego itd.). Wielkość zadania obliczeniowego dla rozpatrywanego problemu jest jednym z głównych powodów ciągłego poszukiwania nowych strategii poprawiających wydajność algorytmów optymalizacyjnych, szczególnie w aspekcie czasu obliczeń.

W tym celu w pracy zaproponowano wykorzystanie elementów programowania zero-jedynkowego, zwanego również binarnym. Z wymienioną metodą związany był podstawowy cel pracy, który dotyczył analizy efektów stosowania zmiennych binarnych i porównania wpływu różnych wariantów relaksacji na skuteczność działania algorytmu optymalizacyjnego.

Podczas badań numerycznych rozpatrywano dwa systemy zasilania: układ testowy IEEE-118 (uwzględniający 54 jednostki wytwórczych) i rzeczywisty o bardzo dużej skali (uwzględniający 2321 jednostek wytwórczych). Autor chciałby podkreślić, że w literaturze można znaleźć przykłady podobnych analiz, jednak uwzględniające tylko standardowe sieci energetyczne, nieprzekraczające kilkudziesięciu jednostek wytwórczych.

Uzyskane dla sieci o dużej liczbie jednostek wytwórczych wyniki badań świadczą o bezpośrednim związku między zakresem relaksacji zmiennych binarnych a wielkością i złożonością zadania obliczeniowego. W artykule potwierdzono zalecenie, aby traktować zmienne jako ciągłe (zamiast binarnych), ponieważ prowadzi to zazwyczaj do poprawy wydajności obliczeniowej. Autorzy pracy zwrócili jednak uwagę, że relaksacja zmiennych binarnych nie powinna być stosowana w każdym przypadku, a decyzję

o poziomie relaksacji zmiennych należy podjąć testując konkretny model dla różnych scenariuszy planowania pracy jednostek wytwórczych.

5.1.2. Kasprzyk L., Pietracho R., Bednarek K., 2018, *Analysis of the impact of electric vehicles on the power grid*, E3S Web of Conferences, Vol. 44, 00065.

Materiały konferencyjne indeksowane w WoS i Scopus; Punkty MNiSW=15; Mój udział procentowy szacuję na 40%

W artykule przedstawiono przykład analizy rozptyłu mocy w testowej sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym 20 kV z przyłączonymi 4 stacjami ładowania pojazdów elektrycznych, pełniącymi funkcję magazynów energii z możliwością pobierania i oddawania energii z i do sieci. Dla założonego dziennego profilu obciążenia poszczególnych węzłów sieci, z zastosowaniem pakietu Matpower w środowisku Matlab, wyznaczono rozptył mocy w układzie bez pojazdów oraz z podłączonymi pojazdami w 3 wariantach o różnych przyjętych profilach ładowania i rozładowywania. Dla rozpatrywanych przypadków przeanalizowano także straty mocy i energii w liniach przesyłowych. Wykazano, że straty wynikające z niedopasowania generacji do obciążeń zostały zmniejszone. Dowiedziono tym samym, że pojazdy elektryczne mogą być wykorzystane jako magazyny energii i brać udział w procesach regulacyjnych w systemie elektroenergetycznym, obejmujących lokalne pokrywanie strat systemowych spowodowanych zmianą obciążenia w węzłach sieci. Dotyczy to szczególnie sieci dystrybucyjnych dużych aglomeracji miejskich, w których w przyszłości przewidywana jest znaczna liczba samochodów elektrycznych włączanych wielokrotnie w okresie doby do systemu. Kolejnym, ważnym aspektem poruszonym w referacie są względy ekonomiczne proponowanego rozwiązania, a szczególnie wpływ cyklicznego rozładowywania na żywotność akumulatorów oraz konieczność modernizacji istniejących stacji średniego napięcia do technologii, która pozwalałaby na odpowiednie zarządzanie procesami przepływu energii między siecią a magazynami pojazdów, dopasowane do aktualnego zapotrzebowania na moc.

5.2. Analizy jakości energii elektrycznej w sieci zasilającej oraz związanej z funkcjonowaniem układów odbiorczych

5.2.1. Bednarek K., Kasprzyk L., 2012, *Suppression of higher harmonic components introduction to the networks and improvement of the conditions of electric supply of electrical equipment*, Przegląd Elektrotechniczny, Vol. 88, Issue 12B/2012, s. 236-239.

Punkty MNiSW(2012) = 15 (Lista B MNiSW); Artykuł indeksowany w bazach: *Web of Science, Scopus*.

W pracy zajmowano się badaniami jakości energii w układach z odbiornikami o charakterze nieliniowym. Przedstawiono rozważania dotyczące możliwości przedostawania się zaburzeń elektromagnetycznych z obwodów odbiorczych do sieci zasilającej oraz wpływu jakości energii na prawidłowość pracy odbiorników. Kolejnym

zagadnieniem poruszonym w pracy była analiza wpływu systemów zasilania gwarantowanego UPS na warunki pracy odbiorników oraz sieci zasilającej. W celu weryfikacji rozważań teoretycznych przeprowadzono pomiary napięć, prądów, mocy, współczynników THDi, THDu oraz zawartości poszczególnych harmonicznych prądu i napięcia od strony zasilania sieciowego i na wyjściu UPS przy zmianach mocy oraz charakteru obciążenia (nieliniowość układu, asymetria sygnału). Analizowano ilościowo i jakościowo rezultaty działania systemu zasilania gwarantowanego, polegające na ograniczaniu wprowadzania przez system UPS do sieci zasilającej wyższych harmonicznych generowanych przez załączane obciążenia nieliniowe. Dokonano również oceny stopnia eliminacji przez system zasilania gwarantowanego oddziaływania zakłóceń występujących w sieci na odbiorniki podłączone do UPS.

5.2.2. Kasprzyk L., Bednarek K., 2016, *Kształtowanie jakości energii i niezawodności w systemach zasilania elektrycznego*, Przegląd Elektrotechniczny, Vol. 92, Issue 12/2016, s. 9-12.

Punkty MNiSW(2016) = 14 (Lista B MNiSW); Artykuł indeksowany w bazie Scopus.

W pracy zaprezentowano zagadnienia dotyczące jakości i niezawodności zasilania elektrycznego priorytetowych odbiorników energii. Omówiono zalety i wady elementów systemu zasilania gwarantowanego, jakimi są zasilacze UPS oraz zespoły prądotwórcze. Ponadto przeprowadzono badania i dokonano analizy współpracy systemu zasilania UPS i zespołu prądotwórczego z siecią zasilającą oraz wrażliwymi odbiornikami energii elektrycznej. Przeprowadzono niezależne badania sieci, zasilacza UPS, agregatu prądotwórczego oraz współpracy tych układów zasilania. Rejestrowano prądy, napięcia, częstotliwość, moce czynną, bierną i pozorną, ich przebiegi czasowe, całkowite współczynniki odkształceń harmonicznych prądu i napięcia oraz zawartość poszczególnych harmonicznych (widmo częstotliwościowe). Badania realizowano dla systemu zasilania gwarantowanego EVER&FOGO 15-33, składającego się z UPS EVER POWERLINE GREEN 33 oraz zespołu prądotwórczego FOGO FP 20 ACG. Przedstawiono w pracy uzyskane rozkłady widmowe harmonicznych napięć fazowych na wyjściu zespołu prądotwórczego przy obciążeniu o różnych charakterze, a także przy dynamicznej zmianie obciążenia. W badaniach potwierdzono przypuszczenia, że najmniej odkształcony od sinusoidy jest przebieg napięcia zasilacza UPS (współczynniki odkształcenia napięć z pozostałych źródeł są wyższe).

5.2.3. Bednarek K., Kasprzyk L., 2016, *Odształcenia prądów i napięć oraz problematyka mocy biernej w sieci zasilającej obiektu informatycznego*, Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering, Poznań, Polska, Issue 86, s. 291-300.

Punkty MNiSW(2016) = 9 (Lista B MNiSW).

W pracy przedstawiono badania odkształceń przebiegów napięcia i prądu w układzie zasilania obiektu informatycznego. Przeprowadzono pomiary prądu, napięcia, mocy (czynnej, biernej oraz pozornej), współczynnika mocy, całkowitego współczynnika odkształceń THD napięcia i prądu, przebiegów czasowych oraz zawartości poszczególnych harmoniczných prądu i napięcia w rozważanym obiekcie. Uzyskane wyniki przeanalizowano i skomentowano pod kątem wprowadzania racjonalizacji gospodarowania energią i eliminacji oddziaływania zaburzeń w układach: zasilanie elektryczne – odbiorniki energii, czyli osiągnięcia korzyści technicznych (niezawodność urządzeń) oraz ekonomicznych (ograniczanie kosztów eksploatacyjnych wynikających z powstających strat mocy oraz opłat za zużycie energii elektrycznej) w użytkowaniu dużych obiektów zasilanych elektrycznie.

Autor wniosku wykorzystuje również dobrą znajomość tematyki dotyczącej analizy jakości energii elektrycznej podczas ekspertyz przeprowadzanych dla znanych i renomowanych firm:

1. *Badania systemu zasilania gwarantowanego UPS EVER POWERLINE 33*, zleceniodawca: Ever Sp. z o. o., 2012, nr 42-130/12 (funkcja: kierownik zespołu),
2. *Badania systemu zasilania gwarantowanego Ever&Fogo*, zleceniodawca: Ever Sp. z o. o., 2015, nr 04/42/0319 (funkcja: główny wykonawca),
3. *Badania zestawów oświetleniowych typu LED*, zleceniodawca: Lidl Polska Sp. z o. o., 2017, nr 04/42PRJG/0379 (funkcja: kierownik zespołu).

6. Podsumowanie

Dorobek naukowy autora wniosku po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych obejmuje **85** artykułów. W czasopismach z listy *Journal Citation Report* zostało opublikowanych **6** artykułów, a **37** opublikowano w czasopismach specjalistycznych nieposiadających współczynnika IF (*Impact Factor*). Pozostałe prace opublikowano w monografiach i materiałach renomowanych konferencji naukowych międzynarodowych i krajowych.

Baza **Web of Science Core Collection** (WoS) indeksuje **23** publikacje autora wniosku, z czego **17** publikacji jest cytowanych **136** razy (w tym **67** cytowań bez autocytowań); **H-index** = **8**. Publikacje te są cytowane w **61** artykułach. Ponadto baza zawiera **24** publikacje nieindeksowane w bazie WoS (uwidocznione w *Cited Reference Search*) cytowane **36** razy (w tym **16** cytowań bez autocytowań). Publikacje te są cytowane w **24** artykułach cytujących. **Sumarycznie** wynikiem przeszukania bazy **Web of Science Core Collection** są **172** cytowania (w tym **83** cytowania bez autocytowań) **41** publikacji autora wniosku. Publikacje te są cytowane w **85** artykułach cytujących.

Baza **Scopus** indeksuje **32** publikacje autora wniosku, z czego **27** publikacji jest cytowanych **210** razy (w tym **114** cytowań bez autocytowań); **H-index** = **9**. Ponadto baza zawiera **21** publikacji nieindeksowanych w bazie Scopus (pobranych z pola *References* artykułów cytujących-secondary documents) cytowanych **31** razy (w tym **14** cytowań obcych). Publikacje te są cytowane w **29** artykułach cytujących. Publikacje są cytowane w **89** artykułach cytujących. Sumarycznie wynikiem przeszukania bazy Scopus jest **241** cytowań (w tym **128** cytowań bez autocytowań) **48** publikacji autora wniosku. Publikacje te są cytowane w **118** artykułach cytujących.

Sumaryczny 2-letni Impact Factor dla czasopism z listy publikacji autora według Journal Citation Reports zgodnie z rokiem opublikowania wynosi: **6,61**.

Suma punktów MNiSW publikacji autora wniosku wynosi: **568**.

Działalność autora wniosku w środowisku naukowym związana jest m.in. z aktywnym uczestnictwem w **komitetach naukowych**:

- Sekretarz Naukowy Konferencji Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice,
- Członek Komitetu Naukowego Sympozjum Środowiskowego Polskiego Towarzystwa Zastosowań Elektromagnetyzmu,
- Sekretarz Naukowy Zeszytów Naukowych Politechniki Poznańskiej,
- Sekretarz Naukowy Monografii Computer Applications in Electrical Engineering.

Autor wniosku jest także recenzentem artykułów w renomowanych czasopismach naukowych, w tym będących na liście JCR, np. recenzował prace dla takich czasopism jak: International Journal of Electrical Power & Energy Systems – Elsevier, Engineering Review Journal, Archives of Electrical Engineering, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, Przegląd Elektrotechniczny, Poznan University of Technology Academic Journals, Computer Applications in Electrical Engineering, Computer Science and Mathematics Web of Conferences.

Od wielu lat ubiega się o środki na dofinansowanie swojej działalności naukowej, związanej z zagadnieniami magazynów energii w pojazdach elektrycznych, np. w ramach programu Opus (NCN). Był kierownikiem zespołu (składającego się z 20 osób) z Politechniki Poznańskiej, który wspólnie z grupą firm złożył wniosek do NCBiR w ramach programu Innomoto o dofinansowanie projektu na budowę pojazdu elektrycznego. Aktualnie trwają prace nad przygotowaniem kolejnego wniosku do NCBiR (w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój) o dofinansowanie budowy pojazdu elektrycznego, w którym pełnił rolę koordynatora reprezentującego Politechnikę Poznańską. Niedawno składał też wniosek do Narodowego Centrum Nauki o dofinansowanie w ramach projektu Miniatura. Od 3 lat jest także opiekunem

Studenckiego Koła Naukowego „PUT Solar Dynamics”, projektującego i budującego solarny pojazd elektryczny.

Autor chciałby także podkreślić, że jego zainteresowania od wielu lat dotyczą wskazanej tematyki. Ukończył studia na kierunku Elektrotechnika o specjalności „Układy elektryczne i elektroniczne pojazdów”. Od początku swojej pracy naukowej zajmował się zagadnieniami komputerowych metod modelowania układów elektrycznych. W roku 2011 odbył kilkumiesięczny staż w znanej polskiej firmie Ever Sp. z o. o., produkującej systemy zasilania gwarantowanego. W ostatnich latach kilkakrotnie przebywał w Fraunhofer Institute for Factory Operation and Automation IFF w Niemczech, gdzie prowadził badania w ramach stażu oraz odbywał szkolenia dofinansowane z programu Erasmus + Staff Mobility for Training, związane z zagadnieniami magazynowania energii w pojazdach elektrycznych. Dodatkowo, niemal od początku swojej pracy w Politechnice Poznańskiej, prowadzi zajęcia dydaktyczne na Wydziale Elektrycznym z takich przedmiotów jak: Komputeryzacja projektowania w elektrotechnice, a od kilku lat z przedmiotów Pojazdy hybrydowe oraz Pojazdy elektryczne i hybrydowe (w ramach przedmiotu obieralnego Ekologia w transporcie), a także Optymalizacja układów technicznych. Równocześnie prowadzi zajęcia ze studentami w języku angielskim.

Był współautorem 3 wniosków o dofinansowanie projektów z NCBiR (Działanie 4.1. Wzmocnienie i rozwój potencjału dydaktycznego uczelni oraz zwiększenie liczby absolwentów kierunków o kluczowym znaczeniu dla gospodarki opartej na wiedzy), a także koordynatorem jednego z nich nr. POKL 04.01.02-00-088/12 „Energetyka z przyszłością” (budżet około 2 mln. zł) w latach 2012-2015. Był również koordynatorem wydziałowym w ramach projektu „Zamawianie kształcenia na kierunkach technicznych, matematycznych i przyrodniczych – pilotaż” POKL 4.1.2 umowa 24/DSW/4.1.2/2008. Na uwagę zasługuje również czynny udział w wieloletnim projekcie „Era inżyniera Rozbudowa potencjału rozwojowego Politechniki Poznańskiej” POKL-04.01.01-00-211/08 (dotyczącego przygotowania, otwierania i realizacji kierunku Energetyka na Wydziale Elektrycznym) oraz w realizacji zadań związanych ze studiami podyplomowymi „Odnawialne źródła energii. Technologie. Projektowanie. Finansowanie. Pomiary. Badania” POKL. 04.01.01-00-213/10.

Autor wniosku chciałby również dodać, że aktualnie oczekuje na wyniki recenzji artykułu: Tomczewski A., Kasprzyk L., Nadolny Z., „*Reduction of power production costs in the wind power plant – flywheel energy storage system arrangement*”, wysłanego do czasopisma Energies (Impact Factor: 2,676).

Poza działalnością naukowo-badawczą autor wniosku prowadzi także aktywną działalność popularyzatorską. W 2017 roku został zaproszony na Wydział Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, gdzie przedstawił wykład otwarty pt. „Analiza pracy magazynów energii w pojazdach elektrycznych”. Podobne wykłady



prezentował podczas Poznańskiego Dnia Energii. W latach 2009-2018 uczestniczył w organizowaniu „The European Researcher’s Night project” (Noc Naukowców). Brał udział w Festiwalu Nauki i Sztuki. Wielokrotnie (od roku 2008) przygotowywał prezentacje podczas cyklicznych akcji promocyjnych: Drzwi Otwarte, Dziewczyny na Politechniki, Poznański Dzień Elektryka, podczas których – oprócz prezentacji kierunków – demonstrował również różne referaty związane z układami elektrycznymi pojazdów samochodowych. Organizował także prezentacje podczas wielokrotnych wizyt w szkołach średnich i na licznych Targach Edukacji.

Autor wniosku wyróżnia się również dużą sprawnością organizacyjną. Do najważniejszych jego licznych funkcji pełnionych przez niego na uczelni i poza nią, zaliczyć należy:

- od roku 2008 do dziś – zastępca dyrektora Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej (zatrudnienie około 65 osób),
- przewodniczący zespołu ds. Krajowych Ram Kwalifikacji na kierunku Elektrotechnika (2012-2016),
- członek Rady Wydziału Elektrycznego (w kadencji 2012-2016 oraz 2016-2020),
- członek Komisji Rewizyjnej Polskiego Towarzystwa Zastosowań Elektromagnetyzmu,
- ekspert Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (w latach 2012-2016),
- członek Uczelnianej Komisji Wyborczej (w kadencji 2016-2020),
- członek Zespołu Przygotowującego Raport Samooceny dla Państwowej Komisji Akredytacyjnej w 2012 oraz 2018 roku – kierunek elektrotechnika i energetyka,
- członek Wydziałowej Komisji ds. jakości kształcenia (w kadencji 2012-2016 oraz 2016-2020),
- członek Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej oraz Wydziałowej Komisji Egzaminacyjnej na studiach 2 stopnia (od roku 2008),
- przewodniczący zespołu odpowiedzialnego za modyfikacje planów studiów na kierunku Elektrotechnika na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej (od roku 2008),
- pełnomocnik Dziekana Wydziału Elektrycznego ds. studiów w języku angielskim (w latach 2007-2009),
- członek Wydziałowej Komisji Stypendialnej (w latach 2012-2015),
- członek zespołu oceniającego podczas Ogólnopolskiej Olimpiady Wiedzy Technicznej.

Ponadto:

- wielokrotnie był opiekunem stażystów z zagranicy (Tajlandii, Japonii, Chin, Chorwacji, Turcji itd.) w ramach międzynarodowego programu The International Association for the Exchange of Students for Technical Experience,
- był promotorem studentów, którzy zdobyli nagrody na ogólnopolskich konkursach na wyróżniającą się pracę dyplomową w dziedzinie elektrotechniki,
- dwukrotnie był opiekunem dydaktyczno-naukowym zespołu studentów, którzy zajęli II miejsce w międzynarodowym konkursie EDPR University Challenge 2016 i 2017,
- był organizatorem i opiekunem licznych krajowych i zagranicznych (Niemcy, Francja, Czechy, Słowacja) wyjazdów dydaktycznych dla studentów Wydziału Elektrycznego,
- był organizatorem licznych zajęć dodatkowych, szkoleń i egzaminów potwierdzających kwalifikacje (np. SEP) dla studentów Wydziału Elektrycznego,
- organizował płatne staże dla studentów (zarówno krajowe jak i zagraniczne),
- organizował wykłady dla studentów przez zaproszonych profesorów z kraju i zagranicy oraz ekspertów z przemysłu.

Zaangażowanie autora wniosku w pracę naukową, dydaktyczną i organizacyjną zostało wyróżnione wieloma nagrodami Rektora Politechniki Poznańskiej.



Zestawienie osiągnięć po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych			Razem
<i>Opublikowane prace naukowe po uzyskaniu stopnia doktora</i>			84
<i>Czasopisma</i>	<i>międzynarodowe (z JCR)</i>	4 (3)	
	<i>krajowe (z JCR)</i>	40 (3)	
<i>Materiały konferencyjne</i>	<i>międzynarodowe</i>	17	
	<i>Krajowe</i>	21	
<i>Rozdziały w książkach i monografiach</i>		2	
<i>Opracowania zbiorowe</i>			15
<i>Członkostwo w komitetach naukowych czasopism i konferencji</i>			4
<i>Recenzowanie artykułów dla czasopism</i>	<i>międzynarodowych (z JCR)</i>	7 (6)	57
	<i>krajowych</i>	50	
<i>Recenzowanie materiałów konferencyjnych</i>	<i>międzynarodowe</i>	5	45
	<i>krajowe</i>	40	
<i>Ekspertyzy i prace zlecone</i>			4
<i>Stáže krajowe / zagraniczne</i>			1/2
<i>Uczestnictwo w programach europejskich (kierowanie)</i>			4 (1)
<i>Członkostwo w towarzystwach naukowych</i>			6
<i>Prace dyplomowe inżynierskie / magisterskie</i>			61/52
<i>Nagrody i wyróżnienia prac dyplomowych i projektów studenckich</i>			4
Zestawienie wskaźników bibliometrycznych			
<i>Sumaryczny Impact Factor (IF) publikacji z listy JCR</i>			6,61
<i>Indeks Hirscha według bazy WoS</i>			8
<i>Liczba cytowań publikacji według bazy WoS (bez autocytowań)</i>			172 (83) *
<i>Sumaryczna liczba pkt. MNiSW</i>			568


 Leszek Kasprzyk

* – liczba cytowań z uwzględnieniem artykułów cytujących widocznych w *Cited Reference Search* – określona na podstawie Analizy dorobku naukowego, wykonanej przez Oddział Informacji Naukowej Politechniki Poznańskiej (załącznik 6).