

Dr hab. inż. Roman Kaczyński prof. nzw. PB
Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny
ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Białystok, 10 lipiec 2017r.



OPINIA

o osiągnięciu naukowym dr inż. Jakuba Gajewskiego pt.: „Symptomy stanu obiektów technicznych jako zmienne systemów neuronowych w procesie konstruowania oraz ocenie zużycia części maszyn” a także o Jego istotnej aktywności naukowej

Jako podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych, **dr inż. Jakub Gajewski** przedstawił cykl 10 publikacji o spójnej tematyce: **„Symptomy stanu obiektów technicznych jako zmienne systemów neuronowych w procesie konstruowania oraz ocenie zużycia części maszyn”**.

Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe:

1. Gajewski J.(90%), Jonak J.: Badania zużycia noży statyczno-obrotowych, Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, 2009, t. 11 c, s. 40-50
2. Jonak J., Jedliński Ł., Gajewski J.(60%): Analysis of the mining torque signal with continuous wavelet transform, Mechanics and Control, Volume 29, Number 4, 2010, Pages 169-173
3. Jonak J., Jedliński Ł., Gajewski J.(60%): Selection and application of the optimal signal features used in evaluation of technical condition of cutting head tools of the longwall shearer, Aspects of fracture and cutting mechanics of materials, Societas Scientiarum Lublinensis, Lublin 2010, s. 9-21
4. Gajewski J.(90%), Jonak J.: Towards the identification of worn picks on cutterdrums based on torque and power signals using Artificial Neural Networks, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 26, Issue 1, January 2011, Pages 22-28
5. Gajewski J.(90%), Jedliński Ł., Jonak J.: Classification of wear level of mining tools with the use of fuzzy neural network , Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 35, April 2013, Pages 30–36
6. Gajewski J.(80%), Sadowski T.: Sensitivity analysis of crack propagation in pavement bituminous layered structures using a hybrid system integrating Artificial Neural

Networks and Finite Element Method, Computational Materials Science - 2014, vol. 82, s. 114-117

7. Gajewski J.(90%), Jonak K.: Sieci neuronowe w zagadnieniach klasyfikacji stanu ostrzy narzędzi urabiających, Przegląd Mechaniczny - 2014, nr 3, s. 21-24
8. Gajewski J.(85%), Nowakowski P., Różyło P.: Prognozowanie występowania pęknięć w oparciu o system FEM-MLP, Logistyka - 2015, nr 3, s. 1381-1386
9. Gajewski J.(85%), Machrowska A., Jonak K.: Hybrid system of engine turbine condition assessment, Science Conference PRMR: Problems of Development Machines, Zakopane 2016
10. Gajewski J.(80%), Golewski P., Sadowski T.: Geometry optimization of a thin-walled element for an airstructure with a system of ribs and holes using a hybrid system integrating Artificial Neural Network and Finite Element Method, Composite Structures 2016, In Press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2016>

Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników badań

Przedstawione publikacje stanowią osiągnięcie badawczo-naukowe dotyczące tematyki inżynierskich zastosowań wybranych metod sztucznej inteligencji w ocenie stanu technicznego maszyn i urządzeń. Poniżej krótkie uzasadnienie

Dobór i analiza symptomów pozwalających na ocenę stanu obiektu technicznego stanowi kluczową rolę w projektowaniu struktur neuronowych. Określenie stanu obiektów technicznych najczęściej odbywa się za pomocą analizy cech tychże symptomów. Takich cech jest bardzo wiele, dlatego ich dobór ma decydujące znaczenie w obliczeniach i użycie wielu zmiennych może utrudnić uzyskanie prawidłowej informacji o stanie obiektu. Jeśli analizujemy proces uczenia klasyfikatora neuronowego, to zastosowanie zbyt dużej liczby zmiennych wydłuży czas obliczeń i może powodować wzrost wartości błędu. Należy również zwrócić uwagę na to, że zwiększenie liczby zmiennych powoduje nieliniowo większy przyrost niezbędnej liczby przypadków potrzebnych do nauki sieci neuronowej. W związku z powyższym, szczególnie ważne są badania zmierzające do określenia istotności wybranych zmiennych do oceny stanu technicznego obiektu. Autor takie informacje dostarczył poprzez system neuronowy, dzięki wyznaczonym poziomom wrażliwości działania sieci.

Sztuczne sieci neuronowe stanowią skuteczną metodę klasyfikowania i prognozowania zmiennych. Sieci neuronowe są w istocie matematycznymi strukturami, nazywane bywają rodzajami „czarnych skrzynek”, ze względu na otrzymywanie jedynie informacji na wyjściu sieci, na podstawie sygnałów wejściowych. Zdecydowaną zaletą

takiego podejścia według Habilitanta jest fakt, że mamy dostęp do interesujących nas wyników, z pominięciem skomplikowanego aparatu matematycznego.

Wyniki opublikowane w czasopiśmie *Tunnelling and Underground Space Technology*, dotyczyły możliwości zastosowania parametrów statystycznych sygnałów mocy i momentu urabiania głowicą wielonarzędziową do oceny stanu ostrzy narzędzi. Poszukując nowych symptomów zużycia za celowym wydaje się prowadzenie badań bezpośrednio na obiekcie, pozwoliło by to na weryfikację części mierzonych sygnałów. Zastosowany przez autora perceptron wielowarstwowy pomaga zamodelować funkcję o niemal dowolnej złożoności, wymaga to jednak odpowiedniej liczby neuronów oraz warstw. Jest to determinowane złożonością rozważanego problemu. Proponowany model, według autora, sprawdza się przy pozyskaniu danych eksperymentalnych z dużej liczby wyników badań.

W przedstawionych publikacjach sygnowanych jako osiągnięcie naukowe przetestowano różne metody uczenia perceptronu. Przede wszystkim zastosowano algorytm uczenia warstw sztucznej sieci neuronowej zwany propagacją wsteczną. W publikacjach dotyczących możliwości prognozowania stanu narzędzi pracujących zespołowo na głowicy wielonarzędziowej wykazano skuteczność stosowania w tym aspekcie systemów opartych na sieciach z zastosowaniem perceptronu wielowarstwowego. Perceptrony działające w oparciu o wybrane wielkości statystyczne wykazywały dużą skuteczność jako narzędzie klasyfikacyjne.

Kolejną siecią zastosowaną przez Habilitanta w badaniach numerycznych jest sieć o radialnych funkcjach bazowych. Warstwa ukryta składa się z neuronów radialnych, która w analizowanym przypadku kształtuje gaussowską powierzchnię wyników. Do zamodelowania funkcji o jakimkolwiek kształcie, wystarczy jedna warstwa ukryta. W celu stworzenia przez sieć skutecznego modelu danej funkcji, należy zapewnić w strukturze sieci dostateczną liczbę neuronów radialnych. W publikacjach stanowiących osiągnięcie naukowe autorzy zawarli wnioski dotyczące doboru cech sygnałów jako zmienne wejściowe systemów o radialnych funkcjach bazowych, porównując je z dotychczas stosowanymi modelami sieci. Należy uznać, że skuteczność oceny stanu technicznego obiektu zależy przede wszystkim od prawidłowo dobranych parametrów funkcji bazowych systemu neuronowego. Wybór optymalnych cech jest wykonywany subiektywnie przez osobę diagnozującą, która na podstawie własnego doświadczenia z daną grupą maszyn wybiera cechy, które uważa za optymalne a to może powodować, że system, może stracić zdolność uogólniania i wprowadzać niepożądane błędy.

W artykule zamieszczonym w czasopiśmie *Mechanics and Control* do nauki sztucznej sieci neuronowej Habilitant zastosował wybrane współczynniki falkowe. Zaproponował w nim



wykorzystanie ciągłej transformaty falkowej do analizy sygnałów momentu urabiania głowicą wielonarzędziową z wykorzystaniem zespołu narzędzi zamontowanych na głowicy. Celem prowadzonych przez Habilitanta badań była budowa systemu monitorującego stan narzędzi głowicy wielonarzędziowej podczas procesu urabiania. System taki powinien rozpoznawać rodzaj narzędzi zamontowanych na głowicy urabiającej, stan ostrzy oraz zastosowany rodzaj procesu technologicznego. Wyniki badań numerycznych przedstawione w publikacji dają możliwość zastosowania metod sztucznej inteligencji w klasyfikacji ich stanu jednak efektywność metody może być oceniona tylko w praktyce badając bezpośrednio ostrza noży na głowicy a więc w badaniach aplikacyjnych.

Otrzymywane sygnały wymagają często „ulepszenia”. Zastosowana przez Habilitanta metoda odszumiania sygnału w czasopiśmie *Tunnelling and Underground Space Technology* została wykorzystana do usunięcia zakłóceń z zarejestrowanego sygnału mocy przy urabianiu. Zakłócenia w sygnale wynikają z losowego charakteru procesu urabiania, który maskuje informacje o stanie ostrzy głowicy urabiającej, niejednorodności urabianego materiału a także z toru pomiarowego. Badania te z wykorzystaniem sygnału urabiania głowicą wielonarzędziową z zamontowanymi narzędziami promieniowymi pozwoliły Habilitantowi na opracowanie wynalazku zarejestrowanego w zgłoszeniu patentowym nr P.416875 pt. *Tuleja mocująca nóż urabiający*, w którym zastosowana tuleja jest zabezpieczeniem noża urabiającego przed katastroficznym uszkodzeniem.

Odbyty staż naukowy w Otto von Guericke Universität w Magdeburgu przez Habilitanta to dalszy proces zastosowań jego metod badawczych, zarówno w odniesieniu do metody elementów skończonych jak i sztucznych sieci neuronowych. Opracowane przez Habilitanta założenia metody pozwalającej na prognozowanie możliwości występowania pęknięć materiałów uwarstwionych dotyczą bezpośrednio nawierzchni drogowych i raczej trudno je zaliczyć do symptomów stanu obiektów technicznych wykorzystywanych w procesie konstruowania oraz ocenie zużycia części maszyn zgodnie z tematem opiniowanego osiągnięcia naukowego.

W opublikowanym w 2014 roku w *Computational Materials Science* artykule *Sensitivity analysis of crack propagation in pavement bituminous layered structures using a hybrid system integrating Artificial Neural Networks and Finite Element Method* przedstawiony system oparty został na modelach sieci o radialnych funkcjach bazowych oraz o strukturze perceptronu wielowarstwowego. Zastosowana przez Habilitanta metoda daje możliwość oszacowania wpływu poszczególnych parametrów projektowanej nawierzchni na występowanie pęknięć ale także trudno powiedzieć, że jest wykorzystywana w ocenie stanu technicznego maszyn i urządzeń. Natomiast w publikacji *Geometry optimization of a thin-*



walled element for an airstructure with a system of ribs and holes using a hybrid system integrating Artificial Neural Network and Finite Element Method zamieszczonej w *Composite Structures* w 2016 roku Habilitant przedstawił zastosowanie zintegrowanego systemu opartego na sztucznych sieciach neuronowych oraz obliczeniach z użyciem metody elementów skończonych do optymalizacji geometrii cienkościennego elementu konstrukcji lotniczej. Badania numeryczne dotyczyły fragmentu konstrukcji steru wysokości samolotu „Bryza”. Celem analiz z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych było zbadanie wpływu poszczególnych zmiennych modelu na odkształcenia konstrukcji. To niewątpliwie tylko jedynie jeden z przykładów możliwych zastosowań modelu. Opracowanie metod łatwej i szybkiej analizy wpływu czynników zewnętrznych na pracę konstrukcji pozwoliło by na kształtowanie charakterystyk kompozytowych konstrukcji cienkościennych w pełnym zakresie obciążeń.

Ważnym aspektem prowadzonych przez Habilitanta badań były prace podejmowane w ramach projektu badawczego INNOLOT/II/7/NCBR/2013 (2013-2017) – TED oraz aktualnie prowadzone badania, we współpracy z Department of Combat and Special Vehicles University of Defence w Brnie (Republika Czeska). Wykorzystuje w nich Habilitant swoje dotychczasowe doświadczenie a badania koncentrują się wokół analizy możliwości zastosowania metod sztucznej inteligencji do oceny stanu technicznego systemów na podstawie zebranych danych diagnostycznych z rzeczywistych warunków eksploatacji.

Analiza opiniowanego osiągnięcia naukowego pt.: „Symptomy stanu obiektów technicznych jako zmienne systemów neuronowych w procesie konstruowania oraz ocenie zużycia części maszyn” wskazuje na ogromny obszar możliwych zastosowań systemów neuronowych. Najistotniejsze jest jednak znalezienie takich sygnałów oraz metod ich przetwarzania, aby dla danego, konkretnego systemu zapewnić wiarygodną możliwość oceny jego stanu. A to w pracy Habilitanta jest podstawą jego osiągnięcia naukowego. Dowodzi to nie tylko jego dużych umiejętności, ale także dojrzałości do samodzielnego formułowania i podejmowania zadań naukowo-badawczych z tego obszaru badawczego. Dorobek ten spełnia warunki określone w Ustawie.

Opinia dotycząca istotnej aktywności naukowej

Dr inż. Jakub Gajewski swoją dysertację doktorską pt. *Ocena stanu ostrzy noży głowicy wielonarzędziowej do urabiania węgla* napisał pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Józefa Jonaka. Praca realizowana była w ramach projektu badawczego promotorskiego nr N501 035 31/2504 pt. *Badania nad możliwością oceny stanu ostrzy noży pracujących zespołowo,*



zamontowanych na głowicy wielonarzędziowej do urabiania. Na bazie prowadzonych badań zawartych w pracy doktorskiej kontynuował swoją dalszą pracę.

W 2000 roku odbył miesięczny staż w University of Wales Swansea, Department of Mechanical Engineering. Był on częścią projektu TEMPUS S_JEP nr 12242-97. W ramach stażu realizował praktyczny projekt obejmujący m.in. analizy wytrzymałościowe oraz dynamiczne z zastosowaniem Metody Elementów Skończonych. Tam rozwinął swoje zainteresowania w zakresie analiz numerycznych. Badania naukowe realizowane przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora koncentrowały się, oprócz tematyki bezpośrednio związanej z pracą doktorską, na zagadnieniach pękania oraz skrawania materiałów kruchych. Znalazło to odzwierciedlenie w szeregu publikacjach powstałych w tym okresie. Odbył również miesięczne staże w Otto von Guericke Universität w Magdeburgu i University of Zilina na Słowacji w 2012 r. oraz na University of Defence, Brno w Czechach w 2014 r.

Wyniki badań Habilitant prezentował uczestnicząc w krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych, m.in. Computer Methods And Systems, Kraków 2005; Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane 2006, 2007, 2008; 16th International Workshop On Computational Mechanics Of Materials w Lublinie 2006 i wielu innych. Był również organizatorem lub współorganizatorem kilku konferencji doktoranckich w Lublinie oraz Kazimierzu Dolnym, Multiscale Modelling of Damage and Fracture Processes In Composite Materials, Fizyka Uszkodzeń Eksploatacyjnych oraz kilkakrotnie Zagadnienia Mechaniki Pękania i Skrawania Materiałów.

Wskaźniki bibliometryczne Habilitanta stosowane do analizy i oceny piśmiennictwa naukowego, jako narzędzie oceny parametrycznej badaczy, świadczą o jego dojrzałości naukowej. Sumaryczny impact factor publikacji naukowych wynosi 12,964. Liczba cytowań prac wg bazy Web of Science wynosi 66, indeks Hirscha 6.

Praca naukowa Habilitanta znalazła praktyczne zastosowanie w realizacji pięciu projektów w tematach: *Metody sztucznej inteligencji w klasyfikacji stanu narzędzi urabiających, Nowoczesne, niezawodne i bezpieczne systemy mechanizacyjne dla górnictwa, Klasyfikacja stanu i rodzaju noży głowicy wielonarzędziowej z wykorzystaniem sieci neuronowych, Klasyfikacja stanu zużycia narzędzi górniczych z użyciem rozmytej sieci neuronowej, Klasyfikacja sygnałów urabiania z wykorzystaniem SSN.*

Należy zauważyć brak osiągnięć aplikacyjnych habilitanta oraz niezbyt bogatą działalność organizacyjną. Zrealizowane przez niego prace zasługują by poszukiwać metod wdrożenia do praktyki przemysłowej w doborze i analizie symptomów stanu obiektów technicznych szczególnie w ocenie zużycia części maszyn.

Wniosek końcowy

Podsumowując, praca naukowo-badawcza dr inż. Jakuba Gajewskiego, umiejętność selektywnego doboru i analizy symptomów pozwalających na ocenę stanu obiektu technicznego, realizowane projekty zarówno krajowe jak i finansowane ze środków UE stanowią wartościowy wkład w rozwój wiedzy w obszarze budowy i eksploatacji maszyn. Zarówno osiągnięcia naukowe jak i istotna aktywność naukowa dr inż. Jakuba Gajewskiego spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o Stopniach i Tytule Naukowym i Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki przy ubieganiu się o stopień naukowy doktora habilitowanego w dziedzinie *nauki techniczne* w dyscyplinie *budowa i eksploatacja maszyn*. Wnioskuje o nadanie dr inż. Jakubowi Gajewskiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie *nauki techniczne* w dyscyplinie *budowa i eksploatacja maszyn*.

